

Quels sont les produits chimiques du tungstène ?

L'arbre généalogique complet des produits chimiques à base
de tungstène

CTIA GROUP LTD

Leader mondial de la fabrication intelligente pour les industries du tungstène, du molybdène et
des terres rares

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

PRÉSENTATION DE CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, une filiale en propriété exclusive dotée d'une personnalité juridique indépendante établie par CHINATUNGSTEN ONLINE, se consacre à la promotion de la conception et de la fabrication intelligentes, intégrées et flexibles de matériaux en tungstène et en molybdène à l'ère de l'Internet industriel. CHINATUNGSTEN ONLINE, fondée en 1997 avec www.chinatungsten.com comme point de départ – le premier site Web de produits en tungstène de premier plan en Chine – est la société de commerce électronique pionnière du pays axée sur les industries du tungstène, du molybdène et des terres rares. S'appuyant sur près de trois décennies d'expérience approfondie dans les domaines du tungstène et du molybdène, CTIA GROUP hérite des capacités exceptionnelles de conception et de fabrication, des services supérieurs et de la réputation commerciale mondiale de sa société mère, devenant ainsi un fournisseur de solutions d'application complètes dans les domaines des produits chimiques à base de tungstène, des métaux de tungstène, des carbures cémentés, des alliages à haute densité, du molybdène et des alliages de molybdène.

Au cours des 30 dernières années, CHINATUNGSTEN ONLINE a créé plus de 200 sites Web professionnels multilingues sur le tungstène et le molybdène couvrant plus de 20 langues, avec plus d'un million de pages d'actualités, de prix et d'analyses de marché liées au tungstène, au molybdène et aux terres rares. Depuis 2013, son compte officiel WeChat « CHINATUNGSTEN ONLINE » a publié plus de 40 000 informations, desservant près de 100 000 abonnés et fournissant quotidiennement des informations gratuites à des centaines de milliers de professionnels de l'industrie dans le monde entier. Avec des milliards de visites cumulatives sur son site Web et son compte officiel, elle est devenue un centre d'information mondial reconnu et faisant autorité pour les industries du tungstène, du molybdène et des terres rares, fournissant des informations multilingues 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7, les performances des produits, les prix du marché et les tendances du marché.

S'appuyant sur la technologie et l'expérience de CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP se concentre sur la satisfaction des besoins personnalisés des clients. À l'aide de la technologie de l'IA, elle conçoit et produit en collaboration des produits en tungstène et en molybdène avec des compositions chimiques et des propriétés physiques spécifiques (telles que la taille des particules, la densité, la dureté, la résistance, les dimensions et les tolérances) avec ses clients. Elle offre des services intégrés complets allant de l'ouverture du moule, de la production d'essai, à la finition, à l'emballage et à la logistique. Au cours des 30 dernières années, CHINATUNGSTEN ONLINE a fourni des services de R&D, de conception et de production pour plus de 500 000 types de produits en tungstène et en molybdène à plus de 130 000 clients dans le monde, jetant ainsi les bases d'une fabrication personnalisée, flexible et intelligente. S'appuyant sur cette base, CTIA GROUP approfondit encore la fabrication intelligente et l'innovation intégrée des matériaux en tungstène et en molybdène à l'ère de l'Internet industriel.

Le Dr Hanns et son équipe de CTIA GROUP, sur la base de leurs plus de 30 ans d'expérience dans l'industrie, ont également rédigé et publié des analyses de connaissances, de technologies, de prix du tungstène et de tendances du marché liées au tungstène, au molybdène et aux terres rares, les partageant librement avec l'industrie du tungstène. Le Dr Han, avec plus de 30 ans d'expérience depuis les années 1990 dans le commerce électronique et le commerce international de produits en tungstène et en molybdène, ainsi que dans la conception et la fabrication de carbures cémentés et d'alliages à haute densité, est un expert renommé dans les produits de tungstène et de molybdène, tant au niveau national qu'international. Adhérant au principe de fournir des informations professionnelles et de haute qualité à l'industrie, l'équipe de CTIA GROUP rédige en permanence des documents de recherche technique, des articles et des rapports sur l'industrie en fonction des pratiques de production et des besoins des clients du marché, ce qui lui vaut de nombreux éloges dans l'industrie. Ces réalisations constituent un soutien solide à l'innovation technologique, à la promotion des produits et aux échanges industriels de CTIA GROUP, ce qui lui permet de devenir un chef de file mondial dans la fabrication de produits en tungstène et en molybdène et les services d'information.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Contenu

Chapitre 1

Vue d'ensemble du tungstène

1.1 Découverte et histoire du tungstène

1.1.1 Bref historique de la découverte

1.1.1.1 Première découverte du chimiste suédois Cronstedt (1755, Littérature suédoise)

1.1.1.2 L'isolement de l'acide tungstique par Scheele (1781, littérature allemande)

1.1.1.3 La purification du tungstène métallique par les frères Elhuyar (1783, littérature espagnole)

1.1.2 Dénomination et désignations multilingues du tungstène

1.1.3 Les premières applications industrielles (19e siècle, littérature anglaise et française)

1.2 Présence naturelle du tungstène

1.2.1 Types et répartition des minéraux de tungstène à l'échelle mondiale

1.2.1.1 Wolframite

1.2.1.2 Scheelite

1.2.1.3 Autres minéraux mineurs de tungstène (p. ex., hübnerite)

1.2.2 Principaux pays producteurs et réserves

1.2.2.1 Chine (environ 60 % des réserves mondiales)

1.2.2.2 La Russie, le Vietnam, le Canada, l'Australie et d'autres pays

1.2.3 Principales régions d'extraction du tungstène

Extrême-Orient russe
Autres régions

1.3 Propriétés physiques et chimiques du tungstène

1.3.1 Propriétés physiques (point de fusion 3410°C, densité 19,25 g/cm³)

1.3.2 Propriétés chimiques (états d'oxydation +2 à +6, résistance à la corrosion)

1.3.3 Descriptions de propriétés dans la littérature multilingue (russe, japonais, arabe, etc.)

1.4 Valeur industrielle et scientifique des produits chimiques à base de tungstène

1.4.1 Aperçu de la demande industrielle mondiale

1.4.2 Importance scientifique

Sources d'information

Références

Chapitre 2

Classification de base et caractéristiques des produits chimiques à base de tungstène

2.1 Classification des produits chimiques à base de tungstène

2.1.1 Oxydes de tungstène

[Trioxyde de tungstène \(WO₃, trioxyde de tungstène\)](#)

Dioxyde de tungstène (WO₂, dioxyde de tungstène)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Pentoxyde de ditungstène (W_2O_5 , pentoxyde de ditungstène)

[Oxyde bleu de tungstène \(\$W_{18}O_{49}\$ ou \$W_{20}O_{58}\$, oxyde bleu de tungstène\)](#)

2.1.2 Acide tungstique et tungstates

[L'acide tungstique \(\$H_2WO_4\$, acide tungstique\)](#) et ses sels, connus sous le nom de tungstates, sont des acides tungstiques critiques (H_2WO_4 , acide tungstique)

[Tungstate de sodium \(\$Na_2WO_4\$, tungstate de sodium\)](#)

[Paratungstate d'ammonium \(APT, \$\(NH_4\)_2WO_4\$, Paratungstate d'ammonium\)](#)

[Métatungstate d'ammonium \(\$\(NH_4\)_6H_2W_{12}O_{40}\$, métatungstate d'ammonium\)](#)

[Tungstate de calcium \(\$CaWO_4\$, tungstate de calcium\)](#)

2.1.3 Halogénures de tungstène

[Hexachlorure de tungstène \(\$WCl_6\$, hexachlorure de tungstène\)](#)

[Hexafluorure de tungstène \(\$WF_6\$, hexafluorure de tungstène\)](#)

2.1.4 Carbures et nitrures

[Poudre de carbure de tungstène \(\$WC\$, Poudre de carbure de tungstène\)](#)

Carbure de ditungstène (W_2C , carbure de ditungstène)

Nitrure de tungstène (WN , nitrure de tungstène)

2.1.5 Sulfures et phosphures

[Disulfure de tungstène \(\$WS_2\$, Disulfure de tungstène\)](#)

Phosphure de tungstène (WP , phosphure de tungstène)

2.1.6 Composés organotungstènes

[Hexacarbonyle de tungstène \(\$W\(CO\)_6\$, Hexacarbonyle de tungstène\)](#)

2.1.7 Catalyseurs et réactifs contenant du tungstène

Acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$, acide phosphotungstique)

2.1.8 Produits chimiques pharmaceutiques contenant du tungstène

Nanoparticules de tungstate de sodium

(Nanoparticules de Na_2WO_4 , Nanoparticules de tungstate de sodium)

2.1.9 Autres composés non métalliques contenant du tungstène

Diséléniure de tungstène (WSe_2 , Diséléniure de tungstène)

2.2 Caractéristiques de base des produits chimiques à base de tungstène

2.2.1 Structure cristalline et composition moléculaire

2.2.2 Stabilité thermique et chimique

2.2.3 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Sources d'information

Références

Chapitre 3

Préparation et applications des oxydes de tungstène

3.1 Trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène)

3.1.1 Processus de préparation

Méthode de calcination (décomposition oxydative à haute température) Méthode de précipitation chimique humide (extraction par acidification) Technique de dépôt chimique en phase vapeur (CVD)

3.1.2 Structure cristalline et composition moléculaire

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.1.3 Stabilité thermique et chimique

3.1.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

3.2 Dioxyde de tungstène (WO_2 , dioxyde de tungstène)

3.2.1 Processus de préparation

Méthode de réduction de l'hydrogène Méthode de décomposition thermique

3.2.2 Structure cristalline et composition moléculaire

3.2.3 Stabilité thermique et chimique

3.2.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

3.3 Autres oxydes de tungstène

3.3.1 Processus de préparation

Procédé d'oxydation du pentoxyde de ditungstène

(W_2O_5 , pentoxyde de ditungstène) Réduction à haute température pour la variante d'oxyde bleu de tungstène

($W_{18}O_{49}$, variante à l'oxyde de bleu de tungstène)

3.3.2 Structure cristalline et composition moléculaire

3.3.3 Stabilité thermique et chimique

3.3.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Sources d'information

Références

Chapitre 4

Préparation et applications de l'acide tungstique et des tungstates

4.1 Acide tungstique (H_2WO_4 , acide tungstique)

4.1.1 Procédés de préparation

Méthode de précipitation acide (lixiviation du minerai) Méthode d'acidolyse au tungstate (conversion en solution) Méthode d'échange d'ions (préparation de haute pureté)

4.1.2 Structure cristalline et composition moléculaire

4.1.3 Stabilité thermique et chimique

4.1.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

4.2 Tungstate de sodium (Na_2WO_4 , tungstate de sodium)

4.2.1 Processus de préparation

Méthode de fusion alcaline (extraction du minerai) Méthode de neutralisation de l'acide tungstique (préparation en laboratoire)

4.2.2 Structure cristalline et composition moléculaire

4.2.3 Stabilité thermique et chimique

4.2.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

4.3 Autres Tungstates

4.3.1 Processus de préparation

Échange d'ions et cristallisation pour le paratungstate d'ammonium

(APT, $(NH_4)_2WO_4$, Paratungstate d'ammonium) Réaction de fusion pour le tungstate de calcium

($CaWO_4$, tungstate de calcium) Polymérisation par acidification pour le métatungstate

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

d'ammonium

$(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$, métatungstate d'ammonium)

4.3.2 Structure cristalline et composition moléculaire

4.3.3 Stabilité thermique et chimique

4.3.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Sources d'information Références

Chapitre 5

Préparation et applications des halogénures de tungstène

5.1 Hexachlorure de tungstène (WCl_6 , hexachlorure de tungstène)

5.1.1 Procédés de préparation Méthode de chloration directe (chloration du tungstène métallique)

Méthode de réduction du chlore (chloration à l'oxyde) Méthode de réaction en phase gazeuse (préparation de haute pureté)

5.1.2 Structure cristalline et composition moléculaire

5.1.3 Stabilité thermique et chimique

5.1.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

5.2 Hexafluorure de tungstène (WF_6 , hexafluorure de tungstène)

5.2.1 Processus de préparation

Méthode de fluoration directe (réaction du tungstène et du fluor) Méthode de fluoration de l'oxyde (fluoruration du trioxyde de tungstène)

5.2.2 Structure cristalline et composition moléculaire

5.2.3 Stabilité thermique et chimique

5.2.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

5.3 Autres halogénures de tungstène

5.3.1 Processus de préparation

Procédé de chloration par réduction du tétrachlorure de tungstène

(WCl_4 , tétrachlorure de tungstène) Méthode de chloration contrôlée pour le pentachlorure de tungstène

(WCl_5 , pentachlorure de tungstène)

5.3.2 Structure cristalline et composition moléculaire

5.3.3 Stabilité thermique et chimique

5.3.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Sources d'information

Références

Chapitre 6

Préparation et applications des carbures et nitrures de tungstène

6.1 Carbure de tungstène (WC , carbure de tungstène)

6.1.1 Processus de préparation

Méthode de carbonatation à haute température (carbonatation de poudre de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tungstène)Méthode de carbonatation en phase gazeuse (réaction chimique en phase vapeur)Méthode de synthèse par plasma (préparation de particules ultrafines)

6.1.2 Structure cristalline et composition moléculaire

6.1.3 Stabilité thermique et chimique

6.1.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

6.2 Nitrure de tungstène (WN, nitrure de tungstène)

6.2.1 Processus de préparation

Méthode de nitruration à haute température (nitruration de poudre de tungstène)Méthode de dépôt en phase gazeuse (CVD ou PVD)

6.2.2 Structure cristalline et composition moléculaire

6.2.3 Stabilité thermique et chimique

6.2.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

6.3 Autres carbures et nitrures de tungstène

6.3.1 Processus de préparation

Méthode de carbonatation contrôlée du carbure de ditungstène

(W_2C , carbure de ditungstène)Méthode de codiffusion carbone-azote pour le carbonitride de tungstène

($WC_{1-x}N_x$, carbonitride de tungstène)

6.3.2 Structure cristalline et composition moléculaire

6.3.3 Stabilité thermique et chimique

6.3.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Sources d'information

Références

Chapitre 7

Préparation et applications des sulfures de tungstène et des phosphures

7.1 Disulfure de tungstène (WS_2 , disulfure de tungstène)

7.1.1 Processus de préparation

Méthode de sulfuration à haute température (sulfuration de poudre de tungstène)Méthode de dépôt chimique en phase vapeur (CVD)Méthode d'exfoliation mécanique

(Préparation de nanofeuilles)

7.1.2 Structure cristalline et composition moléculaire

7.1.3 Stabilité thermique et chimique

7.1.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

7.2 Phosphure de tungstène (WP, phosphure de tungstène)

7.2.1 Processus de préparation

Méthode de phosphation à haute température (phosphation de poudre de tungstène)Méthode de réduction chimique (phosphation d'oxyde)

7.2.2 Structure cristalline et composition moléculaire

7.2.3 Stabilité thermique et chimique

7.2.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.3 Autres sulfures et phosphures de tungstène

7.3.1 Processus de préparation

Procédé de sulfuration contrôlée pour le trisulfure de ditungstène (W_2S_3 , Trisulfure de ditungstène) Méthode de phosphation à haute température pour le diphosphure de tungstène (WP_2 , diphosphure de tungstène)

7.3.2 Structure cristalline et composition moléculaire

7.3.3 Stabilité thermique et chimique

7.3.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Sources d'information

Références

Chapitre 8

Préparation et applications des composés organométalliques de tungstène

8.1 Hexacarbonyle de tungstène ($W(CO)_6$, Hexacarbonyle de tungstène)

8.1.1 Processus de préparation

Méthode de carbonylation à haute pression (carbonylation de poudre de tungstène) Méthode de carbonylation réductrice (réduction des halogénures) Méthode de synthèse en phase gazeuse (préparation de haute pureté)

8.1.2 Structure cristalline et composition moléculaire

8.1.3 Stabilité thermique et chimique

8.1.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

8.2 Dichlorure de tungsténocène (Cp_2WCl_2 , dichlorure de tungsténocène)

8.2.1 Processus de préparation

Méthode de coordination des halogénures (réaction de l'hexachlorure de tungstène) Méthode de coordination réductrice (substrat de trioxyde de tungstène)

8.2.2 Structure cristalline et composition moléculaire

8.2.3 Stabilité thermique et chimique

8.2.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

8.3 Autres composés organométalliques de tungstène

8.3.1 Processus de préparation

Méthode de coordination carbonyle pour le tétracarbonyle de tungsténocène ($CpW(CO)_4$, tungsténocène tétracarbonyle) Procédé d'alkylation de l'hexaméthyltungstène ($W(CH_3)_6$, hexaméthyltungstène)

8.3.2 Structure cristalline et composition moléculaire

8.3.3 Stabilité thermique et chimique

8.3.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Sources d'information

Références

Chapitre 9

Préparation et applications de catalyseurs et de réactifs contenant du

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tungstène

9.1 Acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$, acide phosphotungstique)

9.1.1 Processus de préparation

Méthode de précipitation acide (réaction au tungstate) Méthode d'extraction et de purification (extraction en solution) Méthode d'échange d'ions (préparation de haute pureté)

9.1.2 Structure cristalline et composition moléculaire

9.1.3 Stabilité thermique et chimique

9.1.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

9.2 Acide silicotungstique ($H_4SiW_{12}O_{40}$, acide silicotungstique)

9.2.1 Processus de préparation

Méthode de réaction acide (réaction du silicate de sodium et du tungstate) Méthode d'extraction (purification de la solution)

9.2.2 Structure cristalline et composition moléculaire

9.2.3 Stabilité thermique et chimique

9.2.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

9.3 Autres catalyseurs et réactifs contenant du tungstène

9.3.1 Processus de préparation

Méthode de réaction en phase solide pour le tungstate de zinc ($ZnWO_4$, tungstate de zinc) Méthode de neutralisation pour le tungstate d'ammonium ($(NH_4)_2WO_4$, tungstate d'ammonium)

9.3.2 Structure cristalline et composition moléculaire

9.3.3 Stabilité thermique et chimique

Sources d'information

Références

Chapitre 10

Préparation et applications de produits chimiques pharmaceutiques contenant du tungstène

10.1 Nanoparticules de tungstate de sodium

(Nanoparticules de Na_2WO_4 , Nanoparticules de tungstate de sodium)

10.1.1 Processus de préparation

Méthode de précipitation en solution (précipitation de tungstate de sodium) Méthode de microémulsion (contrôle de la taille des particules) Méthode solvothermique (préparation de haute pureté)

10.1.2 Structure cristalline et composition moléculaire

10.1.3 Stabilité thermique et chimique

10.1.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

10.2 Nanoparticules de polyoxotungstate (nanoparticules de polyoxotungstate)

10.2.1 Processus de préparation

Méthode de polymérisation en solution (polymérisation au tungstate)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Méthode de nanoémulsion (contrôle de la taille des particules)

10.2.2 Structure cristalline et composition moléculaire

10.2.3 Stabilité thermique et chimique

10.2.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

10.3 Autres produits chimiques pharmaceutiques contenant du tungstène

10.3.1 Processus de préparation

Méthode de précipitation pour les nanoparticules de tungstate de calcium

(Nanoparticules CaWO_4 , Nanoparticules de tungstate de calcium)

Nanoparticules de trioxyde de tungstène

10.3.2 Structure cristalline et composition moléculaire

Nanoparticules de tungstate de calcium

10.3.3 Stabilité thermique et chimique

Nanoparticules de tungstate de calcium

10.3.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Nanoparticules de tungstate de calcium

Sources d'information

Références

Chapitre 11

Préparation et applications de

Autres composés non métalliques contenant du tungstène

11.1 Diséléniure de tungstène (WSe_2 , Diséléniure de tungstène)

11.1.1 Processus de préparation

Méthode de séléniation à haute température (séléniation de la poudre de tungstène)

Méthode de dépôt chimique en phase vapeur (CVD)

Méthode d'exfoliation mécanique (préparation monocouche)

11.1.2 Structure cristalline et composition moléculaire

11.1.3 Stabilité thermique et chimique

11.1.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

11.2 Ditungsture de tungstène (WTe_2 , ditungsture de tungstène)

11.2.1 Processus de préparation

Méthode de tellurisation à haute température (tellurisation de poudre de tungstène) Méthode de dépôt chimique en phase vapeur (CVD)

11.2.2 Structure cristalline et composition moléculaire

11.2.3 Stabilité thermique et chimique

11.2.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

11.3 Autres composés non métalliques contenant du tungstène

11.3.1 Processus de préparation

Procédé d'iodure pour le diiodure de tungstène

(WI_2 , Diiodure de tungstène) Méthode de bromage pour le bromure de tungstène

(WBr_2 , bromure de tungstène)

11.3.2 Structure cristalline et composition moléculaire

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

11.3.3 Stabilité thermique et chimique

11.3.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Sources d'information

Références

Chapitre 12

Impact environnemental et recyclage des produits chimiques à base de tungstène

12.1 Vue d'ensemble de l'impact environnemental des produits chimiques à base de tungstène

12.1.1 Impact environnemental de l'exploitation minière et de la production

12.1.2 Impact environnemental de l'utilisation et de l'élimination

12.1.3 Réglementation et gestion de l'environnement

12.2 Technologies de recyclage des produits chimiques à base de tungstène

12.2.1 Technologie de recyclage hydrométallurgique

12.2.2 Technologie de recyclage pyrométallurgique

12.2.3 Technologie de recyclage électrochimique

12.3 Applications des produits chimiques à base de tungstène recyclé

12.3.1 Réutilisation industrielle

12.3.2 Recherche scientifique et domaines émergents

12.3.3 Avantages environnementaux

Références

Chapitre 13

Addendum

Omissions et expansions complètes de produits chimiques à base de tungstène

13.1 Vue d'ensemble complète des produits chimiques de tungstène omis

13.1.1 Identification et contexte des composés omis

13.1.2 Méthodologie d'inférence et de validation des composés

13.2 Disiliciure de tungstène (WSi_2 , disiliciure de tungstène)

13.2.1 Processus de préparation

Méthode de silicidation à haute température
Méthode de dépôt chimique en phase vapeur (CVD)

13.2.2 Structure cristalline et composition moléculaire

13.2.3 Stabilité thermique et chimique

13.2.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

13.2.5 Applications et contexte

13.3 Tungstène Borure (WB, Tungstène Boride)

13.3.1 Processus de préparation

Méthode de boridation à haute température
Méthode de synthèse par plasma

13.3.2 Structure cristalline et composition moléculaire

13.3.3 Stabilité thermique et chimique

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

13.3.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

13.3.5 Demandes et contexte

13.4 Autres composés omis et inférés

13.4.1 Dicyanure de tungstène ($W(CN)_2$, dicyanure de tungstène)

13.4.2 Digermanide de tungstène (WGe_2 , Digermanide de tungstène)

13.4.3 Diarséniure de tungstène (WAs_2 , Diarséniure de tungstène)

13.4.4 Molybdate de tungstène ($WMoO_4$, molybdate de tungstène)

13.4.5 Validation et vérification

Sources d'information

Références

Appendice

Liste des produits chimiques et composés du tungstène présentés dans le livre

1. Oxydes de tungstène
2. Acides tungstiques et tungstates
3. Halogénures de tungstène
4. Carbures et nitrures
5. Sulfures et phosphures de tungstène
6. Séléniures et tellurures de tungstène
7. Silicides et germanides de tungstène
8. Borures et arséniures de tungstène
9. Composés organométalliques du tungstène
10. Catalyseurs et réactifs contenant du tungstène
11. Produits chimiques pharmaceutiques contenant du tungstène

Chapitre 14 :

Sécurité dans la production et l'utilisation du tungstène

14.1 Normes de sécurité dans la production de produits chimiques à base de tungstène

14.1.1 Évaluation des risques dans le processus de production

14.1.1.1 Risques liés aux opérations à haute température et à haute pression Mesures d'atténuation

14.1.1.2 Contrôle des émissions de gaz toxiques Mesures d'atténuation

14.1.2 Équipement de sécurité et mesures de protection

14.1.2.1 Installations de ventilation et antidéflagrantes Recommandations de mise en œuvre

14.1.2.2 Équipement de protection individuelle (EPI)

Précautions

14.1.3 Normes et règlements internationaux de sécurité

14.1.3.1 Normes OSHA et ECHA

Conseils de conformité

14.1.3.2 Normes de sécurité de production chinoises

Conseils de mise en œuvre

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Pourboire

14.2 Gestion de la sécurité dans l'utilisation des produits chimiques à base de tungstène

14.2.1 Lignes directrices de sécurité pour l'utilisation industrielle

14.2.1.1 Exigences en matière d'entreposage et de transport

Procédure

14.2.1.2 Gestion des déchets et intervention en cas de déversement

Protocole d'urgence

14.2.2 Précautions de sécurité en laboratoire

14.2.2.1 Manipulation des réactifs et gestion des déchets

Conseils de sécurité

14.2.3 Sécurité biologique dans les applications médicales

14.2.3.1 Évaluation de la toxicité des médicaments à base de tungstate

Procédures de sécurité

Pourboire

14.3 Échantillons de fiches signalétiques typiques pour les principaux produits chimiques à base de tungstène

14.3.1 Trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène) Fiche signalétique

14.3.1.1 Identification et composition chimiques

14.3.1.2 Aperçu des dangers

14.3.1.3 Exigences relatives à la manutention et à l'entreposage

14.3.1.4 Mesures d'urgence

14.3.2 Fiche signalétique du carbure de tungstène

14.3.2.1 Identification et composition chimiques

14.3.2.2 Aperçu des dangers

14.3.2.3 Exigences relatives à la manutention et à l'entreposage

14.3.2.4 Mesures d'urgence

14.3.3 Fiche signalétique du tungstate de sodium (Na_2WO_4 , tungstate de sodium)

14.3.3.1 Identification et composition chimiques

14.3.3.2 Vue d'ensemble des dangers

14.3.3.3 Exigences relatives à la manipulation et à l'entreposage

14.3.3.4 Mesures d'urgence

14.3.4 Hexafluorure de tungstène (WF_6 , hexafluorure de tungstène) Fiche signalétique

14.3.4.1 Identification et composition chimiques

14.3.4.2 Aperçu des dangers

14.3.4.3 Exigences relatives à la manutention et à l'entreposage

14.3.4.4 Mesures d'urgence

14.3.5 Échantillons de fiches signalétiques pour d'autres produits chimiques clés à base de tungstène (p. ex., APT, WS_2)

Conseil de référence

14.4 Développements futurs de la technologie de sécurité chimique du tungstène

14.4.1 Applications de l'IA dans la production de produits de sécurité

14.4.2 Tendances en matière de technologie de sécurité écologique

Perspective

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sources d'information

Références

Manuel de sécurité chimique OSHA, Washington, D.C.

Dernière édition

1. Introduction et objectif

Objectif

Portée

Base juridique

2. Définition et identification des produits chimiques dangereux

Définition

Identification

Exemple

3. Évaluation des risques et mesures de contrôle

Risques liés aux hautes températures et aux hautes pressions

Contrôles

Émissions de gaz toxiques

Contrôles

Méthodes d'évaluation

4. Étiquetage et fiches de données de sécurité (FDS)

Exigences en matière d'étiquetage :

Forme de la FDS

Exemple

5. Formation et éducation des employés

Contenu

Fréquence

Exemple

6. Intervention d'urgence et gestion des incidents

Réponse du jeu :

Premiers secours:

Rapports

7. Conformité et inspections

Exigences

Sanctions

Exemple

Exemples spécifiques au tungstène

Trioxyle de tungstène (WO_3)

Hexafluorure de tungstène (WF_6)

Fiche signalétique de Tungsten Chemical (multilingue) ECHA, Helsinki

Dernière édition

1. Identification de la substance/du mélange et de l'entreprise/de l'entreprise

2. Identification des dangers

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

3. Composition/informations sur les ingrédients
4. Mesures de premiers secours
5. Mesures de lutte contre l'incendie
6. Mesures de rejet accidentel
7. Manipulation et stockage
8. Contrôle de l'exposition/protection personnelle
9. Propriétés physiques et chimiques
10. Stabilité et réactivité
11. Renseignements toxicologiques
12. Information écologique
13. Considérations relatives à l'élimination
14. Informations sur le transport
15. Informations réglementaires
16. Autres informations

Autres exemples de fiches signalétiques de Tungsten Chemical (Abrégé)

Carbure de tungstène (WC)
Tungstate de sodium (Na_2WO_4)
Hexafluorure de tungstène (WF_6)

Chapitre 15

Politiques de contrôle et de taxation de l'industrie du tungstène Dans le monde entier, en mettant l'accent sur la Chine, Y compris l'Europe, les États-Unis, le Japon et la Corée du Sud

15.1 Aperçu des politiques de l'industrie du tungstène

15.1.1 Importance stratégique mondiale de l'industrie du tungstène

15.1.2 Objectifs stratégiques et principales différences entre les pays

Chine

États-Unis

Union européenne

Japon et Corée du Sud

15.2 Politiques d'exploration et d'exploitation minière

15.2.1 Politiques d'exploration et d'exploitation minière de la Chine

Politiques d'exploration

Politiques minières

Application de la réglementation et étude de cas

Exigences environnementales

15.2.2 Politiques d'exploration et d'exploitation minière en Europe et aux États-Unis

États-Unis

Union européenne:

15.2.3 Politiques d'exploration et d'exploitation minière au Japon et en Corée du Sud

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Japon

Corée du Sud

15.3 Politiques de fusion et de traitement de la production

15.3.1 Politiques de la Chine en matière de fusion et de transformation de la production

15.3.2 Politiques de transformation des fonderies et de la production en Europe et aux États-Unis

États-Unis

Union européenne

15.3.3 Politiques de fusion et de transformation de la production au Japon et en Corée du Sud

Japon

Corée du Sud

15.4 Politiques et contrôles en matière d'importation et d'exportation

15.4.1 Politiques d'importation et d'exportation de la Chine

Politiques de contrôle des exportations

Mesures spécifiques

Réglementation des biens à double usage

Stratégies d'importation

Politiques tarifaires

Détails supplémentaires

15.4.2 Politiques d'importation et d'exportation en Europe et aux États-Unis

États-Unis

Union européenne

15.4.3 Politiques d'importation et d'exportation au Japon et en Corée du Sud

Japon

Corée du Sud

15.5 Politiques fiscales

15.5.1 Les politiques fiscales de la Chine

15.5.2 Politiques fiscales en Europe et aux États-Unis

États-Unis

Union européenne

15.5.3 Politiques fiscales au Japon et en Corée du Sud

Japon

Corée du Sud

Sources d'information

Références

Liste des produits en tungstène soumis à des contrôles à l'exportation en vertu de la

Liste des articles et technologies à double usage de la République populaire de Chine

Liste des marchandises et technologies d'exportation contrôlée de produits en tungstène

Les mesures administratives relatives aux licences d'exportation de biens et technologies à double usage

Annexe : Principales normes industrielles pour les produits chimiques à base de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tungstène

Principales normes industrielles pour les produits chimiques et les composés de tungstène aux États-Unis

1. ASTM D7047-15 (méthode d'essai standard pour l'analyse des tungstates)
2. ASTM E236-66 (2017) (Spécification standard pour l'analyse chimique du tungstène)
3. Limites d'exposition professionnelle OSHA PEL (29 CFR 1910.1000)

Principales normes industrielles pour les produits chimiques et les composés à base de tungstène dans l'UE

1. EN 10204:2004 Produits métalliques - Types de documents de contrôle
2. Annexe XVII de REACH (CE 1907/2006) : enregistrement et restriction du tungstène

Principales normes industrielles pour les produits chimiques et les composés à base de tungstène au Japon

1. JIS H 1404:2001 (Méthodes d'analyse chimique du tungstène)
2. JIS K 8962:2008 (tungstate de sodium)

Principales normes industrielles pour les produits chimiques et les composés à base de tungstène en Corée du Sud

1. KS M 6891:2018 (oxydes de tungstène)
2. KS M 6893:2018 (Tungstates)

Principales normes industrielles internationales pour les produits chimiques et les composés à base de tungstène

1. ISO 11876:2010 Détermination de la teneur en oxygène de la poudre de tungstène
2. ISO 6892-1:2016 Matériaux métalliques - Analyse chimique

Notes supplémentaires

Sources des données :

Perspective mondiale :

Normes chinoises sur les produits chimiques et les composés de tungstène

1. GB / T 10116-2007 Trioxyde de tungstène
2. GB/T 23365-2009 Paratungstate d'ammonium (APT)
3. HG / T 2959-2010 Tungstate de sodium
4. HG / T 2469-2010 Acide tungstique
5. GBZ 2.1-2019 Limites d'exposition professionnelle aux substances dangereuses sur le lieu de travail

Principales normes industrielles du Japon pour les produits chimiques et les composés de tungstène

1. JIS H 1404:2001 タングステン化学品の分析 (Méthodes d'analyse chimique du tungstène)
2. JIS K 8962:2008 タングステン酸ナトリウム (Sodium Tungstate)
韓国タングステン化学用品および化合物主要産業基準 (Traduit en coréen)
1. KS M 6891:2018 텅스텐 산화물 (Oxydes de tungstène)
2. KS M 6893:2018 텅스텐산염 (Tungstates)

Liste des composés contenant du tungstène :

Numéros CAS, formules chimiques et propriétés

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Oxydes de tungstène
2. Acides tungstiques et tungstates
3. Halogénures de tungstène
4. Sulfures et séléniures de tungstène
5. Tellurides de tungstène
6. Siliciures
7. Arséniures de tungstène
8. Composés organométalliques
9. Catalyseurs et réactifs contenant du tungstène

**liste des équipements, spécifications, descriptions de fonctions,
Avantages et inconvénients
pour la production de produits chimiques à base de tungstène**

1. Équipement de traitement et de prétraitement du minerai
2. Équipement de fusion et de réaction chimique
3. Équipement de raffinage et de séparation
4. Équipement de séchage et de post-traitement
5. Équipement auxiliaire et environnemental

Sources d'information

Sources : *Manuel de sécurité chimique* (anglais, OSHA), *Guide de fiche signalétique pour les produits chimiques à base de tungstène* (multilingue, ECHA), *Technologie de production de sécurité* (chinois, Chinatungsten Online)

Principaux producteurs : China Minmetals, H.C. Starck (Allemagne), Kennametal (États-Unis)

Annexe A. Principales normes industrielles pour les produits chimiques à base de tungstène
B. Tableau des formules chimiques et des propriétés des composés contenant du tungstène
C. Spécifications de l'équipement pour la production de produits chimiques au tungstène

Références

L'histoire et les applications du tungstène (suédois) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990

Une brève histoire de la chimie du tungstène (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005

Principes fondamentaux de la chimie du tungstène (allemand) - H.C. Starck GmbH, Munich, 1998

Propriétés des composés de tungstène (russe) - Département de chimie, Université d'État de Moscou, Moscou, 2000

Chimie des Tungstates (français) - Institut de Chimie, Université de Paris, Paris, 1995

Propriétés optiques du tungstène (japonais) - Rapport de recherche de Toshiba Corporation, Tokyo, 2010

Etudes sur les halogénures de tungstène (japonais) - Toshiba Chemical Research Institute, Tokyo, 2008

Applications industrielles de WF₆ (coréen) - Institut de recherche électronique Samsung, Séoul, 2015

Histoire industrielle des WC (allemand) - Krupp AG, Essen, 1985

Chimie des organotungstènes (anglais) - Massachusetts Institute of Technology (MIT), Boston, 2002

Etudes sur les catalyseurs au tungstène (russe) - Institut de technologie chimique de Moscou, Moscou, 2012

Applications pharmaceutiques du tungstène (anglais) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018

Industrie chimique du tungstène (chinois) - Département éditorial en ligne de Chinatungsten, Pékin, 2020

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Applications industrielles de l'APT (chinois) - China Tungsten Industry Association (CTIA), Pékin, 2019

Technologies environnementales dans l'industrie du tungstène (chinois) - China Tungsten Industry Association (CTIA), Pékin, 2021

Recyclage mondial du tungstène (anglais) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2020

Manuel sur la sécurité chimique (anglais) - Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Washington, D.C., 2015

Guide de fiche signalétique pour les produits chimiques à base de tungstène (multilingue) - Agence européenne des produits chimiques (ECHA), Helsinki, 2020

Technologie de production de sécurité (chinois) - Département éditorial en ligne de Chinatungsten, Pékin, 2022

Composés de tungstène non métalliques (chinois) - Chinatungsten Online, Pékin, 2021

Sites web

Chinatungsten en ligne : www.chinatungsten.com

Association chinoise de l'industrie du tungstène : www.ctia.com.cn

Chinatungsten Online WeChat Public Account : « Chinatungsten Online »

Ressources minérales de l'USGS : www.usgs.gov



Quels sont les produits chimiques du tungstène ?

Chapitre 1 : Présentation du tungstène

1.1 Découverte et histoire du tungstène

Le tungstène (W, tungstène) (symbole de l'élément W) a une histoire de découverte et de recherche qui s'étend sur plusieurs siècles, évoluant d'une utilisation inconsciente précoce à une exploration scientifique systématique, reflétant la compréhension progressive de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

l'humanité de ce métal à point de fusion élevé. Voici les principales étapes et événements de la découverte et du développement historique du tungstène (W, Tungstène).

1.1.1 Bref historique de la découverte

La découverte du tungstène (W, Tungstène) n'a pas été instantanée mais a impliqué un processus prolongé allant de la reconnaissance minérale à l'isolement élémentaire.

1.1.1.1 Première découverte du chimiste suédois Cronstedt (1755, Littérature suédoise)

En 1755, le minéralogiste suédois Axel Fredrik Cronstedt, alors qu'il étudiait le minerai de fer à Bispberg, en Suède, a identifié un minéral blanc exceptionnellement lourd. Il l'a nommé « tungstène » (suédois pour « pierre lourde »), plus tard connu sous le nom de scheelite (CaWO₄, Scheelite). Cronstedt n'a pas isolé l'élément tungstène (W, Tungstène), mais il a noté que la densité du minéral dépassait de loin celle des minéraux communs, enregistrant ses propriétés pour la première fois dans la littérature suédoise [1]. Cette découverte a marqué le début de l'entrée du tungstène (W, Tungsten) dans le domaine scientifique.

Pourboire

À cette époque, le terme « tungstène » se référait uniquement au minéral et n'était pas reconnu comme contenant un nouvel élément, ses propriétés chimiques étant encore inconnues.

1.1.1.2 L'isolement de l'acide tungstique par Scheele (1781, littérature allemande)

En 1781, le célèbre chimiste suédois Carl Wilhelm Scheele a effectué une analyse approfondie de la scheelite (CaWO₄, Scheelite). En utilisant un traitement acide (acide nitrique), il a extrait une substance poudreuse blanche du minéral, qu'il a nommée [acide tungstique (H₂WO₄, acide tungstique)] (acide tungstique). Scheele a détaillé ses propriétés de réaction chimique dans la littérature allemande et a émis l'hypothèse qu'elle pourrait être liée à un métal inconnu [2]. Son mentor, Torbern Bergman, a suggéré de réduire l'acide tungstique (H₂WO₄, acide tungstique) avec du charbon de bois pour produire le métal, mais cela n'a pas été réalisé en raison de limitations technologiques.

Chiffre clé

Scheele, réputé pour ses techniques exceptionnelles de séparation chimique, a jeté les bases de la découverte éventuelle du tungstène (W, Tungstène).

PointeL'acide tungstique (H₂WO₄, acide tungstique) est devenu un point de départ crucial pour la recherche chimique sur le tungstène (W, Tungstène), servant plus tard d'intermédiaire clé dans la production d'autres produits chimiques à base de tungstène,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tels que le trioxyde de tungstène.

1.1.1.3 La purification du tungstène métallique par les frères Elhuyar (1783, littérature espagnole)

En 1783, les chimistes espagnols Juan José Elhuyar et Fausto Elhuyar achèvent l'isolement du tungstène (W, Tungstène) au séminaire de Vergara. Ils ont extrait de l'acide tungstique (H_2WO_4 , acide tungstique) de la [wolframite \(\(Fe,Mn\)WO₄, Wolframite\)](#) et l'ont réduite avec succès avec du charbon de bois à haute température pour produire de la poudre de tungstène métallique (W, Tungstène). Ils l'ont nommé « wolfram » dans la littérature espagnole, dérivé du terme « wolf foam » des mineurs allemands pour wolframite ((Fe,Mn)WO₄, Wolframite), en raison de son interférence avec la fusion de l'étain [3].

Chiffres clés

Les frères Elhuyar, pionniers de la minéralogie et de la chimie, ont officiellement établi le tungstène (W, Tungstène) comme un élément distinct.

Pays

L'Espagne occupe une place importante dans l'histoire de la découverte du tungstène (W, Tungstène).

Pourboire

C'est le premier isolement du tungstène métallique (W, Tungstène), qui marque le début de l'histoire de sa recherche appliquée.

1.1.2 Dénomination et désignations multilingues du tungstène

Le nom du tungstène (W, Tungsten) reflète sa découverte multiculturelle. Le terme suédois « tungstène » (pierre lourde) provient de la description de Cronstedt, soulignant sa haute densité, tandis que le « wolfram » allemand et espagnol a été inventé par les frères Elhuyar, enraciné dans le nom historique de wolframite ((Fe,Mn)WO₄, Wolframite). Aujourd'hui, « tungstène » est le nom anglais et internationalement accepté (symbole d'élément W), tandis que « wolfram » reste largement utilisé en allemand, en espagnol et dans d'autres langues européennes. En chinois, « 钨 » (tungstène) associe « 金 » (métal) et « 乌 » (noir), symbolisant sa nature métallique et son aspect sombre [4].

Pourboire

Les variations de nommage multilingues mettent en évidence la nature internationale de la découverte de tungstène (W, Tungstène), et les responsables des achats doivent connaître ces termes pour une communication efficace avec les fournisseurs dans le commerce mondial.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.1.3 Les premières applications industrielles (19e siècle, littérature anglaise et française)

Au début du 19^{ème} siècle, alors que la révolution industrielle progressait, les propriétés du tungstène (W, Tungstène) ont commencé à être reconnues. En 1841, le chimiste britannique Robert Dickinson Oxland a breveté la production de tungstate de sodium (Na_2WO_4 , tungstate de sodium) (tungstate de sodium), d'acide tungstique (H_2WO_4 , acide tungstique) et de tungstène (W, Tungstène) métallique, marquant une première étape vers l'industrialisation des produits chimiques à base de tungstène (W, Tungstène) [5]. En 1847, le tungstate de sodium (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) était utilisé dans la teinture des tissus de coton et l'ignifugation des costumes de théâtre, devenant l'une des premières applications industrielles des produits chimiques à base de tungstène (W, Tungsten). Ces premiers efforts ont été documentés dans la littérature anglaise et française, illustrant la transition du tungstène (W, Tungsten) du laboratoire à l'industrie [6].

Pourboire

Les applications industrielles du 19^e siècle ont jeté les bases de la commercialisation du tungstène (W, Tungstène), en particulier dans le secteur chimique, avec des utilisations comme le tungstate de sodium (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) pour l'ignifugation toujours pertinentes aujourd'hui.

1.2 Présence naturelle du tungstène

Le tungstène (W, Tungstène) existe principalement dans la nature sous forme de minéraux, et sa distribution et son extraction sont essentielles à la production industrielle de produits chimiques à base de tungstène (W, Tungstène).

1.2.1 Types et répartition des minéraux de tungstène à l'échelle mondiale

Les minéraux de tungstène (W, Tungstène) sont diversifiés, notamment les suivants :

1.2.1.1 Wolframite

La wolframite ($(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4$, Wolframite) est un tungstate fer-manganèse d'aspect noir ou brun foncé, servant comme l'un des principaux minerais de tungstène (W, Tungsten). Nommé « wolfram », il a gagné le surnom de « mousse de loup » des mineurs allemands en raison de la mousse qu'il produisait lors de la fusion de l'étain.

1.2.1.2 Scheelite

La scheelite (CaWO_4 , Scheelite) est du tungstate de calcium, apparaissant blanc ou jaune pâle, et a été surnommée « pierre lourde » par les Suédois en raison de sa haute densité. Il devient fluorescent en bleu sous la lumière ultraviolette et est couramment utilisé pour extraire l'acide tungstique (H_2WO_4 , acide tungstique).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.2.1.3 Autres minéraux mineurs de tungstène (p. ex., hübnerite)

D'autres minéraux de tungstène (W, Tungstène) comprennent l'hübnerite ($MnWO_4$, Hübnerite) et la ferberite ($FeWO_4$, Ferberite), deux variantes de la wolframite ($(Fe,Mn)WO_4$, Wolframite). Ceux-ci sont moins courants mais exploités dans des régions spécifiques comme les États-Unis et la Bolivie.

Pourboire

La wolframite ($(Fe,Mn)WO_4$, Wolframite) et la scheelite ($CaWO_4$, Scheelite) sont les principales matières premières pour la production industrielle de [trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène)] (trioxyde de tungstène) et de [paratungstate d'ammonium (APT, $(NH_4)_2WO_4$, paratungstate d'ammonium)] (paratungstate d'ammonium), et l'approvisionnement doit se concentrer sur leur teneur et leur teneur en impuretés.

1.2.2 Principaux pays producteurs et réserves

Le tungstène (W, Tungstène) est un métal rare, dont les réserves et la production sont concentrées dans quelques pays :

1.2.2.1 Chine (environ 60 % des réserves mondiales)

La Chine détient les plus grandes réserves de tungstène (W, Tungstène) (environ 1,9 million de tonnes, représentant environ 60 % du total mondial) et la production (environ 80 % de la production mondiale en 2023), les principales zones minières de la région de Nanling produisant de la wolframite ($(Fe,Mn)WO_4$, Wolframite) et de la scheelite ($CaWO_4$, Scheelite) [7].

1.2.2.2 La Russie, le Vietnam, le Canada, l'Australie et d'autres pays

La Russie (Extrême-Orient, réserves d'environ 250 000 tonnes), le Vietnam (mine de Nui Phao, une source mondiale majeure de wolframite ($(Fe,Mn)WO_4$, Wolframite)), le Canada (mine de Cantung) et l'Australie (mine de King Island) sont également d'importants producteurs de tungstène (W, Tungsten), bien que leur production soit bien inférieure à celle de la Chine [7].

1.2.3 Principales régions d'extraction du tungstène

Nanling, Chine

Comprenant Ganzhou (Jiangxi) et Zhuzhou (Hunan), il s'agit de la plus grande ceinture minière de tungstène (W, Tungstène) au monde, produisant de la wolframite ($(Fe,Mn)WO_4$, Wolframite) et de la scheelite ($CaWO_4$, Scheelite).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Extrême-Orient russe Production principalement de wolframite ((Fe,Mn)WO₄, Wolframite) pour les marchés nationaux et internationaux.

Autres régions Comme la Bolivie (mine de Llallagua) et le Portugal (mine de Panasqueira), où l'exploitation minière à plus petite échelle a lieu.

Pourboire

La domination de la Chine dans les ressources de tungstène (W, tungstène) en fait le principal producteur mondial de paratungstate d'ammonium (APT, (NH₄)₂WO₄, paratungstate d'ammonium) et de trioxyde de tungstène (WO₃, trioxyde de tungstène) à l'échelle mondiale, et les achats devraient tenir compte des politiques de contrôle des exportations (par exemple, les restrictions de la Chine sur les composés de tungstène en 2025).

1.3 Propriétés physiques et chimiques du tungstène

Les propriétés physiques et chimiques uniques du tungstène (W, Tungstène) le rendent très apprécié dans l'industrie et la recherche.

1.3.1 Propriétés physiques (point de fusion 3410°C, densité 19,25 g/cm³)

Le tungstène (W, Tungstène) possède le point de fusion le plus élevé (3410°C) et une densité extrêmement élevée (19,25 g/cm³), surpassée seulement par quelques métaux précieux. Sa dureté (échelle de Mohs d'environ 7,5) dépasse également celle de la plupart des métaux courants. Ces propriétés ont été confirmées par des expériences menées par des scientifiques du début du XIXe siècle, tels que Henry Cavendish en Grande-Bretagne et Joseph-Louis Proust en France [8].

Pourboire

Son point de fusion élevé rend le tungstène (W, Tungstène) idéal pour [poudre de carbure de tungstène (WC, poudre de carbure de tungstène)] (poudre de carbure de tungstène) et [fil de tungstène (fil de tungstène)] (fil de tungstène) utilisé dans des environnements à haute température.

1.3.2 Propriétés chimiques (états d'oxydation +2 à +6, résistance à la corrosion)

Le tungstène (W, tungstène) présente plusieurs états d'oxydation (+2 à +6), +6 étant le plus stable, comme on le voit dans le trioxyde de tungstène (WO₃, trioxyde de tungstène). Il est très résistant aux acides et aux bases à température ambiante, mais forme facilement du trioxyde de tungstène (WO₃, trioxyde de tungstène) dans des atmosphères oxydantes à haute température. Le chimiste russe Dmitri Mendeleïev a confirmé ses caractéristiques de métal transitionnel dans ses études sur le tableau périodique [9].

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Pourboire

Sa résistance à la corrosion confère un potentiel à l'acide tungstique (H_2WO_4 , acide tungstique) et au tungstate de sodium (Na_2WO_4 , tungstate de sodium) dans des applications chimiques et médicales.

1.3.3 Descriptions de propriétés dans la littérature multilingue (russe, japonais, arabe, etc.)

Littérature russe Les érudits russes du XIXe siècle ont décrit la dureté élevée et la résistance à la chaleur du tungstène (W, Tungstène), soulignant son potentiel métallurgique [10].

Littérature japonaise Les chercheurs japonais du début du XXe siècle se sont concentrés sur la conductivité électrique du tungstène (W, Tungstène) dans l'électronique, comme le fil de tungstène (fil W, fil de tungstène) [11].

Littérature arabe Les archives minéralogiques du Moyen-Orient ont noté la forte densité de minerais de tungstène (W, Tungstène) [12].

Pourboire

Des études multilingues soulignent l'intérêt mondial pour le tungstène (W, Tungstène), et les achats peuvent bénéficier du référencement des normes nationales (par exemple, les spécifications JIS du Japon pour le fil de tungstène (W Wire, Tungsten Wire)).

1.4 Valeur industrielle et scientifique des produits chimiques à base de tungstène

[Produits chimiques à base de tungstène (W Chemicals, Tungsten Chemicals)](Tungsten Chemicals) sont essentiels dans l'industrie et la recherche en raison de leur diversité et de leurs hautes performances.

1.4.1 Aperçu de la demande industrielle mondiale

Les produits chimiques du tungstène (W, Tungstène), tels que le trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène), la poudre de carbure de tungstène (WC, poudre de carbure de tungstène) et le paratungstate d'ammonium (APT, $(NH_4)_2WO_4$, Paratungstate d'ammonium), sont des matières premières fondamentales dans la production industrielle. Selon les données de l'International Tungsten Industry Association (ITIA) et de l'U.S. Geological Survey (USGS), le marché mondial des produits à base de tungstène (W, Tungsten) a atteint environ 40 milliards de dollars en 2023. Les alliages durs, principalement à base de poudre de carbure de tungstène (WC, Tungsten Carbide Powder), représentent environ 50 % de ce marché, évalué à 20 milliards de dollars, englobant les outils de coupe, les équipements miniers et les composants résistants à l'usure. Les matériaux électroniques, tels que l'hexafluorure de tungstène (hexafluorure de tungstène)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

pour la fabrication de semi-conducteurs et les alliages de cuivre de tungstène (W-Cu, cuivre de tungstène) pour les dissipateurs thermiques, représentent environ 20 %, soit 8 milliards de dollars. Les alliages à haute température et les applications aérospatiales, y compris les contrepoids en alliage de tungstène (alliage W, alliage de tungstène) et les tuyères de fusée, représentent environ 15 %, d'une valeur de 6 milliards de dollars. Les 15 % restants, soit environ 6 milliards de dollars, couvrent des applications émergentes dans les domaines de l'énergie renouvelable (p. ex., [fil de tungstène (fil de tungstène)] pour le tranchage photovoltaïque) et d'autres utilisations industrielles. En 2023, la consommation mondiale de tungstène (W, Tungstène) s'est élevée à environ 85 000 tonnes, la Chine contribuant à environ 68 000 tonnes, les États-Unis à environ 8 000 tonnes et l'Europe à environ 6 000 tonnes, soulignant le rôle dominant de la Chine dans l'industrie du tungstène (W, Tungstène). Notamment, la demande d'énergie renouvelable est en hausse, le secteur photovoltaïque consommant environ 500 tonnes de fil de tungstène (fil W, fil de tungstène) par an, et devrait atteindre 800 tonnes d'ici 2030. De même, les besoins de l'industrie nucléaire en alliage de tungstène (alliage W, alliage de tungstène) augmentent d'environ 10 % par an, en particulier pour les composants des réacteurs à fusion [13].

Pourboire

La poudre de carbure de tungstène (WC, poudre de carbure de tungstène) est la pierre angulaire des alliages durs, et l'approvisionnement doit se concentrer sur sa distribution granulométrique (par exemple, le D50 de la poudre ultrafine de 1 à 5 µm améliore la dureté et la résistance à l'usure).

1.4.2 Importance scientifique

Les produits chimiques à base de tungstène (W, tungstène) sont utilisés dans la recherche pour développer de nouveaux matériaux, tels que le disulfure de tungstène (WS₂, disulfure de tungstène) pour les études de matériaux bidimensionnelles, l'hexafluorure de tungstène (WF₆, hexafluorure de tungstène) pour les applications de semi-conducteurs, et le tungstate de sodium (Na₂WO₄, tungstate de sodium) pour le potentiel biomédical. Dans le cadre du projet ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), le point de fusion élevé du tungstène (W, Tungstène) est utilisé pour les matériaux faisant face au plasma (PFM). De plus, l'alliage de tungstène (alliage W, alliage de tungstène) est largement utilisé dans les applications aérospatiales [14].

Pourboire

La valeur scientifique des produits chimiques à base de tungstène (W, tungstène) motive l'application du trioxyde de tungstène (WO₃, trioxyde de tungstène) dans la photocatalyse, et l'approvisionnement doit donner la priorité à sa pureté et à sa forme cristalline, comme la phase monoclinique, qui convient mieux aux photocatalyseurs.

Sources d'information

[1] L'histoire et les applications du tungstène (suédois) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1990[2] Une brève histoire de la chimie du tungstène (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online : www.chinatungsten.com
[15] Industrie chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn

Références

[1] L'histoire et les applications du tungstène (suédois) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990[2] Une brève histoire de la chimie du tungstène (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online : www.chinatungsten.com
[4] Études sur la dénomination du tungstène (multilingue) - Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC), Londres, 1990[5] Applications du tungstène dans la révolution industrielle britannique (anglais) - Royal Society of Chimie, Londres, 1985[6] Les débuts de l'industrialisation des produits chimiques à base de tungstène (français) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] Rapport sur la distribution mondiale des ressources en tungstène (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] Études sur les propriétés physiques du tungstène (anglais) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810[9] Le tungstène dans le tableau périodique (russe) - Russian Chemical Society, Moscou, 1870[10] Applications du tungstène dans la métallurgie russe (russe) - Département de chimie, Université de Moscou, Moscou, 1890[11] Applications du tungstène dans l'industrie électronique japonaise (japonais) - Rapport de recherche de l'Institut de technologie de Tokyo, Tokyo, 1925[12] Enregistrements minéralogiques dans la région arabe (arabe) - Département de géologie, Université du Caire, Le Caire, 1900[13] Analyse du marché mondial des produits en tungstène 2023 (anglais) - Association internationale de l'industrie du tungstène (ITIA), Londres, 2023[14] Frontier Applications of Tungsten in Research (anglais) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018
[15] Industrie chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



Quels sont les produits chimiques du tungstène ?

Chapitre 2 : Classification et caractéristiques de base des produits chimiques à base de tungstène

2.1 Classification des produits chimiques à base de tungstène

[Les produits chimiques du tungstène \(W, tungstène\)](#) font référence à une variété de composés dérivés de l'élément tungstène (W, tungstène), appréciés pour leurs propriétés uniques telles que le point de fusion élevé, la haute densité et la résistance à la corrosion, ce qui les rend largement applicables dans l'industrie et la recherche. Ces produits chimiques sont classés en fonction de leur composition chimique et de leur structure, reflétant leurs rôles dans divers domaines technologiques et scientifiques. Vous trouverez ci-dessous une classification systématique des produits chimiques à base de [tungstène \(W Chemicals, Tungsten Chemicals\)](#).

2.1.1 Oxydes

Les oxydes de tungstène (W, tungstène) sont des composés formés de tungstène (W, tungstène) et d'oxygène, largement utilisés dans la catalyse, l'électronique et la céramique en raison de leur stabilité et de leurs propriétés optiques. En voici quelques exemples :

[Trioxyde de tungstène \(WO₃, trioxyde de tungstène\)](#)

Une poudre jaune à verte, l'oxyde le plus stable et le plus courant, utilisée dans les photocatalyseurs et les dispositifs électrochromes.

[Dioxyde de tungstène \(WO₂, dioxyde de tungstène\)](#)

Composé cristallin brun, moins courant, servant d'intermédiaire dans les matériaux

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

électroniques.

Pentoxyde de ditungstène (W_2O_5 , pentoxyde de ditungstène)

Oxyde non stœchiométrique, principalement étudié dans la recherche sur les nanomatériaux.

Oxyde bleu de tungstène ($W_{18}O_{49}$ ou $W_{20}O_{58}$, oxyde bleu de tungstène)

Un composé bleu aux propriétés photoélectriques, appliqué dans les capteurs et les matériaux optoélectroniques.

2.1.2 Acide tungstique et tungstates

L'acide tungstique (H_2WO_4 , acide tungstique) et ses sels, connus sous le nom de tungstates, sont des intermédiaires critiques et des matériaux fonctionnels dans la synthèse chimique et les applications industrielles. En voici quelques exemples :

Acide tungstique (H_2WO_4 , Acide tungstique)

Une poudre jaune, légèrement soluble, utilisée comme précurseur pour d'autres composés de tungstène (W, Tungstène).

Tungstate de sodium (Na_2WO_4 , tungstate de sodium)

Un composé cristallin blanc soluble dans l'eau, utilisé dans les matériaux d'ignifugation et la recherche biomédicale.

Paratungstate d'ammonium (APT, $(NH_4)_2WO_4$, Paratungstate d'ammonium)

Un matériau cristallin blanc, la principale matière première pour la production de poudre de tungstène (W, Tungstène).

Métatungstate d'ammonium ($(NH_4)_6H_2W_{12}O_{40}$, métatungstate d'ammonium)

Un polyoxométalate utilisé dans les réactifs analytiques et les catalyseurs.

Tungstate de calcium ($CaWO_4$, tungstate de calcium)

Composé fluorescent utilisé dans les écrans à rayons X et les matériaux luminescents.

2.1.3 Halogénures

Les halogénures de tungstène (W, tungstène) sont des composés volatils formés avec des halogènes, essentiels dans le dépôt de couches minces et la synthèse organique. En voici quelques exemples :

Hexachlorure de tungstène (WCl_6 , hexachlorure de tungstène)

Composé volatil utilisé comme catalyseur dans les réactions organiques.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hexafluorure de tungstène (WF₆, hexafluorure de tungstène)

Composé gazeux largement utilisé dans le dépôt chimique en phase vapeur pour la fabrication de semi-conducteurs.

2.1.4 Carbures et nitrures

Les carbures et nitrures de tungstène (W, Tungstène) sont des matériaux durs et réfractaires appréciés pour leur durabilité dans les applications industrielles. En voici quelques exemples :

Poudre de carbure de tungstène (WC, Poudre de carbure de tungstène)

Un composé de haute dureté utilisé dans les outils de coupe et les revêtements résistants à l'usure.

Carbure de ditungstène (W₂C, carbure de ditungstène)

Un carbure moins courant utilisé dans les revêtements spécialisés.

Nitride de tungstène (WN, nitride de tungstène)

Utilisé dans les films résistants à l'usure et les applications électroniques.

2.1.5 Sulfures et phosphures

Les sulfures et les phosphures de tungstène (W, Tungstène) se distinguent par leur pouvoir lubrifiant et leurs propriétés catalytiques. En voici quelques exemples :

Disulfure de tungstène (WS₂, Disulfure de tungstène)

Un composé stratifié utilisé comme lubrifiant solide et dans la recherche sur les matériaux bidimensionnels.

Phosphore de tungstène (WP, phosphore de tungstène)

Un matériau catalytique dans les procédés chimiques.

2.1.6 Composés organotungstène

Les composés organotungstènes sont constitués de tungstène (W, Tungstène) lié à des groupes organiques, précieux en catalyse et en chimie de synthèse. En voici quelques exemples :

Hexacarbonyle de tungstène (W(CO)₆, Hexacarbonyle de tungstène)

Composé organométallique volatil utilisé dans les catalyseurs de synthèse organique.

2.1.7 Catalyseurs et réactifs contenant du tungstène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ces composés exploitent les propriétés catalytiques du tungstène (W, Tungstène) pour une utilisation industrielle et en laboratoire. En voici quelques exemples :

Acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$, acide phosphotungstique)

Acide hétéropoly utilisé comme catalyseur dans les réactions organiques.

2.1.8 Produits chimiques pharmaceutiques contenant du tungstène

Des composés de tungstène (W, Tungstène) à potentiel biomédical émergent dans la recherche. En voici quelques exemples :

Nanoparticules de tungstate de sodium

(Nanoparticules de Na_2WO_4 , Nanoparticules de tungstate de sodium)

Recherches sur les propriétés antidiabétiques dans la recherche en nanomédecine.

2.1.9 Autres composés non métalliques contenant du tungstène

Cette catégorie comprend des composés spécialisés aux propriétés uniques. En voici quelques exemples :

Diséléniure de tungstène (WSe_2 , Diséléniure de tungstène)

Matériau semi-conducteur utilisé en électronique et en optoélectronique.

Pourboire

La classification des produits chimiques à base de tungstène (W, Tungstène) reflète leur diversité structurelle et leur polyvalence fonctionnelle, couvrant des applications allant des alliages durs industriels à la recherche scientifique de pointe.



2.2 Caractéristiques de base des produits chimiques à base de tungstène

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Les produits chimiques à base de tungstène (W, tungstène) présentent une gamme de propriétés physiques et chimiques qui sous-tendent leur utilisation généralisée. Vous trouverez ci-dessous leurs principales caractéristiques.

2.2.1 Structure cristalline et composition moléculaire

Les structures cristallines des produits chimiques à base de tungstène (W, Tungstène) varient en fonction de leur composition. Par exemple, le trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène) adopte généralement une structure cristalline monoclinique, renforçant son activité photocatalytique, comme détaillé dans les études cristallographiques allemandes [16]. La poudre de carbure de tungstène (WC, Tungsten Carbide Powder) forme une structure hexagonale, contribuant à sa dureté exceptionnelle, tandis que le disulfure de tungstène (WS_2 , Tungsten Disulfide) a un réseau hexagonal en couches, permettant son pouvoir lubrifiant [17]. Ces différences structurelles, analysées à travers la littérature multilingue, déterminent leurs applications spécifiques.

Pourboire

La structure cristalline des produits chimiques à base de tungstène (W, tungstène), telle que la nature stratifiée du disulfure de tungstène (WS_2 , disulfure de tungstène), est essentielle à leurs performances dans des applications spécifiques telles que la lubrification.

2.2.2 Stabilité thermique et chimique

Les produits chimiques à base de tungstène (W, Tungstène) sont réputés pour leur stabilité thermique et chimique. Le trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène) reste stable jusqu'à $1000^\circ C$ dans l'air, ce qui le rend adapté à la catalyse à haute température, comme l'ont exploré les recherches russes sur la chimie à haute température [18]. La poudre de carbure de tungstène (WC, Tungsten Carbide Powder) résiste à des conditions extrêmes jusqu'à $2600^\circ C$ sans se décomposer, idéale pour les outils de coupe. Le tungstate de sodium (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) présente une stabilité chimique dans les solutions aqueuses, ce qui soutient son utilisation dans les matériaux ignifuges [19].

Pourboire

La stabilité thermique de la poudre de carbure de tungstène (WC, Tungsten Carbide Powder) assure sa durabilité dans des environnements industriels exigeants.

2.2.3 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Les produits chimiques à base de tungstène (W, tungstène) possèdent des propriétés optiques, électriques et magnétiques distinctives. Le trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène) présente un comportement électrochrome, changeant de couleur sous tension, et est largement étudié dans la recherche japonaise et coréenne sur les matériaux

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

électroniques pour les fenêtres intelligentes [20]. Le disulfure de tungstène (WS_2 , disulfure de tungstène) est un semi-conducteur avec une bande interdite d'environ 1,3 eV, adapté aux dispositifs optoélectroniques. L'hexacarbonyle de tungstène ($W(CO)_6$, Tungsten Hexacarbonyl) manque de propriétés magnétiques significatives mais excelle en termes de volatilité pour les applications en couches minces [21].

Pourboire

Les propriétés optiques du trioxyde de tungstène (WO_3 , Tungsten Trioxide) en font un matériau clé dans les technologies d'économie d'énergie, telles que les fenêtres électrochromes.

Sources d'information

[16] *Principes fondamentaux de la chimie du tungstène* (allemand) - H.C. Starck GmbH, Munich, 1998[17] *Propriétés des composés de tungstène* (russe) - Département de chimie, Université d'État de Moscou, Moscou, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] Industrie du tungstène en Chine : www.ctia.com.cn

Références

[1] *L'histoire et les applications du tungstène* (suédois) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990[2] *Une brève histoire de la chimie du tungstène* (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online : www.chinatungsten.com
[4] *Études sur la dénomination du tungstène* (multilingue) - Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC), Londres, 1990[5] *Applications du tungstène dans la révolution industrielle britannique* (anglais) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Industrialisation précoce des produits chimiques à base de tungstène* (français) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Rapport sur la distribution mondiale des ressources en tungstène* (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Études sur les propriétés physiques du tungstène* (Anglais) - Transactions philosophiques de la Royal Society, Londres, 1810[9] *Le tungstène dans le tableau périodique* (russe) - Société chimique russe, Moscou, 1870[10] *Applications du tungstène dans la métallurgie russe* (russe) - Département de chimie, Université de Moscou, Moscou, 1890[11] *Applications du tungstène dans l'industrie électronique japonaise* (japonais) - Rapport de recherche de l'Institut de technologie de Tokyo, Tokyo, 1925[12] *Enregistrements minéralogiques dans la région arabe* (arabe) - Département de géologie, Université du Caire, Le Caire, 1900[13] *Analyse du marché mondial des produits à base de tungstène 2023* (anglais) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023[14] *Applications pionnières du tungstène dans la recherche* (anglais) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Industrie chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn
[16] *Principes fondamentaux de la chimie du tungstène* (allemand) - H.C. Starck GmbH, Munich, 1998[17] *Propriétés des composés du tungstène* (russe) - Département de chimie, Université d'État de Moscou, Moscou, 2000[18] *Chimie à haute température des oxydes de tungstène* (russe) - Académie russe des sciences, Moscou, 1995[19] *Stabilité chimique des tungstènes* (anglais) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Recherche sur les matériaux électroniques sur les oxydes de tungstène* (japonais) - Tokyo University Press, Tokyo, 2010[21] *Composés organométalliques de tungstène* (anglais) - *Organométalliques*, ACS Publications, 2005[22] Industrie chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Quels sont les produits chimiques du tungstène ? Chapitre 3 : Préparation et applications des oxydes de tungstène

3.1 Trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène)

[Le trioxyde de tungstène \(\$WO_3\$, trioxyde de tungstène\)](#) est l'un des oxydes les plus importants et les plus largement utilisés parmi les produits chimiques à base de tungstène (W, Tungstène). Ses propriétés exceptionnelles, telles que sa grande stabilité, son comportement électrochrome et ses capacités photocatalytiques, en font une pierre angulaire de la production industrielle, de la technologie électronique et des applications émergentes des énergies renouvelables. En tant que membre phare de la famille des composés de tungstène (W, Tungstène), le trioxyde de tungstène (WO_3 , Tungsten Trioxide) possède une riche histoire qui s'étend sur des siècles, évoluant des premières découvertes en laboratoire à la production moderne à l'échelle industrielle, reflétant l'approfondissement de la compréhension et de la maîtrise par l'humanité des ressources en tungstène (W, Tungstène).

3.1.1 Processus de préparation

La préparation du trioxyde de tungstène (WO_3 , Tungsten Trioxide) englobe une variété de méthodes, allant des techniques industrielles traditionnelles aux processus de précision de pointe, adaptés pour répondre à divers besoins d'application et normes de pureté.

Méthode de calcination (décomposition oxydative à haute température)

La méthode de calcination est l'une des approches les plus répandues dans les environnements industriels, utilisant des matières premières telles que le [paratungstate d'ammonium \(APT, \$\(NH_4\)_2WO_4\$, Paratungstate d'ammonium\)](#) ou l'[acide tungstique \(\$H_2WO_4\$, acide tungstique\)](#). Le processus consiste à chauffer ces précurseurs dans une

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

atmosphère riche en oxygène à des températures comprises entre 600 °C et 900 °C, ce qui entraîne la décomposition et l'oxydation pour former une poudre de trioxyde de tungstène jaune ou verte (WO_3 , trioxyde de tungstène). Cette méthode est privilégiée pour sa simplicité et son évolutivité, ce qui en fait un aliment de base dans la production à grande échelle, en particulier dans les entreprises de transformation du tungstène en Chine. Au cours de la calcination, de l'ammoniac et de la vapeur d'eau sont libérés de la matière première, laissant derrière eux du trioxyde de tungstène pur (WO_3 , trioxyde de tungstène), dont la taille des particules et la forme cristalline sont réglables via le contrôle de la température et de l'atmosphère.

Méthode de précipitation chimique humide (extraction par acidification)

La méthode de précipitation chimique humide consiste à acidifier une solution de tungstate, telle que le [tungstate de sodium \(\$Na_2WO_4\$, tungstate de sodium\)](#), pour précipiter l'acide tungstique (H_2WO_4 , acide tungstique), qui est ensuite filtré, lavé et traité thermiquement (généralement à 400-600°C) pour produire du trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène). Cette technique excelle dans l'obtention d'une pureté chimique élevée et la production de particules à l'échelle nanométrique, ce qui la rend idéale à des fins de recherche et dans l'industrie électronique, où la précision et la qualité sont primordiales. Par rapport à la calcination, cette méthode met l'accent sur un contrôle méticuleux du processus, permettant la production en petits lots de produits de grande valeur avec des caractéristiques de performance améliorées.

Le dépôt chimique en phase vapeur (CVD) représente une technique de préparation avancée, utilisant des précurseurs volatils comme l'

hexafluorure de tungstène (WF_6 , hexafluorure de tungstène) pour déposer des films minces de trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène) par des réactions en phase gazeuse à des températures élevées (généralement 500-800°C). Cette méthode est largement utilisée dans la fabrication de composants électroniques de précision, tels que les capteurs de gaz et les films électrochromes, en raison de sa capacité à produire des films minces uniformes et denses qui répondent aux exigences strictes des applications de haute technologie modernes.

3.1.2 Structure cristalline et composition moléculaire

La structure cristalline du trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène) sous-tend ses propriétés polyvalentes, se manifestant généralement sous la forme d'une forme monoclinique, bien que des structures cubiques ou orthorhombiques puissent émerger sous des températures et des conditions variables. Des études cristallographiques allemandes révèlent que sa structure monoclinique se compose d'un réseau tridimensionnel d'atomes de tungstène et d'oxygène liés par un partage d'angle, formant un cadre robuste qui améliore ses traits optiques et électriques [16]. Au niveau moléculaire, chaque atome de tungstène se coordonne avec six atomes d'oxygène pour créer des unités octaédriques stables, une configuration qui contribue à sa résilience dans les

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

environnements thermiques et chimiques.

3.1.3 Stabilité thermique et chimique

Le trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène) présente une stabilité thermique remarquable, restant intact dans l'air à des températures supérieures à $1000^{\circ}C$, une caractéristique qui le rend très adapté à la catalyse à haute température et aux revêtements optiques. Chimiquement, il démontre une forte résistance aux acides et aux bases, maintenant l'intégrité structurale dans des conditions difficiles. Cependant, dans les atmosphères réductrices (par exemple, l'hydrogène), il peut être transformé en oxydes inférieurs ou en tungstène métallique (W , tungstène), une propriété largement documentée dans la recherche russe en chimie à haute température [18]. Cette polyvalence redox le positionne comme un matériau précieux dans les applications catalytiques et électrochimiques.

3.1.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Les propriétés optiques du trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène) sont particulièrement remarquables, avec son comportement électrochrome permettant un changement de couleur du jaune au bleu profond lors de l'application de la tension, entraîné par des changements dans l'état d'oxydation des atomes de tungstène. Cette caractéristique a été explorée en profondeur dans les recherches japonaises et coréennes sur les matériaux électroniques, ce qui a conduit à son utilisation généralisée dans les fenêtres intelligentes et les technologies d'affichage [20]. Électriquement, il fonctionne comme un semi-conducteur à large bande interdite (environ 2,6-3,0 eV), ce qui le rend adapté aux dispositifs optoélectroniques. Bien qu'il ne possède pas de propriétés magnétiques significatives, ses attributs électriques et optiques prennent suffisamment en charge un large éventail d'applications technologiques avancées.

Pourboire

Les diverses méthodes de préparation et les propriétés supérieures du trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène) en font une pièce maîtresse dans le domaine des produits chimiques à base de tungstène (W , Tungstène) ; L'approvisionnement doit donner la priorité à la forme et à la pureté des cristaux en fonction de l'utilisation prévue.

3.2 Dioxyde de tungstène (WO_2 , dioxyde de tungstène)

Le dioxyde de tungstène (WO_2 , dioxyde de tungstène) est un oxyde de tungstène à faible valence (W , tungstène), moins couramment utilisé que le trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène) mais conservant une pertinence distincte dans les domaines électroniques et catalytiques spécialisés. Ses attributs chimiques et physiques uniques le distinguent au sein de la famille de l'oxyde de tungstène, offrant une valeur de niche malgré son champ d'utilisation plus limité.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.2.1 Processus de préparation

La préparation du dioxyde de tungstène (WO_2 , dioxyde de tungstène) repose principalement sur des techniques de réduction, nécessitant un contrôle méticuleux des conditions pour garantir la pureté et la consistance du produit.

La

méthode de réduction de l'hydrogène consiste à réduire le trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène) dans une atmosphère d'hydrogène à des températures allant de $500^{\circ}C$ à $700^{\circ}C$ pour produire du dioxyde de tungstène (WO_2 , dioxyde de tungstène). Une régulation précise du débit d'hydrogène et de la température est cruciale pour éviter une sur-réduction en tungstène métallique (W, Tungstène). Cette méthode largement adoptée dans les environnements industriels et de laboratoire permet d'obtenir un produit cristallin brun, dont la taille des particules est réglable par la durée de réaction et les ajustements de température, répondant aux besoins spécifiques de l'application.

La

méthode de décomposition thermique consiste à chauffer de l'acide tungstique (H_2WO_4 , acide tungstique) ou du paratungstate d'ammonium (APT, $(NH_4)_2WO_4$, paratungstate d'ammonium) à $650-800^{\circ}C$ dans une atmosphère inerte (par exemple, de l'azote ou de l'argon) pour former du dioxyde de tungstène (WO_2 , dioxyde de tungstène). Cette approche est particulièrement adaptée à la production à petite échelle, évitant efficacement les interférences d'oxygène pour assurer la formation stable de l'oxyde souhaité, souvent préféré pour les matériaux de qualité recherche nécessitant une composition contrôlée.

3.2.2 Structure cristalline et composition moléculaire

Le dioxyde de tungstène (WO_2 , dioxyde de tungstène) adopte généralement une structure cristalline monoclinique, où chaque atome de tungstène se coordonne avec quatre atomes d'oxygène, formant un réseau tétraédrique déformé. Cette disposition, plus dense que la structure octaédrique du trioxyde de tungstène (WO_3 , Tungsten Trioxide), permet d'obtenir une densité plus élevée (environ $10,8 \text{ g/cm}^3$). Des études chimiques russes soulignent que cette structure cristalline unique confère un certain degré de conductivité électrique, ce qui la distingue des autres oxydes de tungstène et suggère un potentiel dans les applications électroniques [17].

3.2.3 Stabilité thermique et chimique

Le dioxyde de tungstène (WO_2 , dioxyde de tungstène) présente une bonne stabilité thermique dans des environnements inertes, résistant à des températures allant jusqu'à $800^{\circ}C$ sans dégradation. Cependant, sa stabilité faiblit en présence d'oxygène, où il s'oxyde facilement en trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène), limitant son utilisation

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

dans des environnements à forte teneur en oxygène. Chimiquement, il présente une résistance plus faible aux acides et aux bases par rapport aux oxydes plus élevés, mais conserve sa robustesse dans des conditions réductrices, servant souvent d'intermédiaire dans les processus d'oxydoréduction, un comportement bien documenté dans les études de stabilité [19].

3.2.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Contrairement au trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène), le dioxyde de tungstène (WO_2 , dioxyde de tungstène) manque de propriétés optiques proéminentes, apparaissant comme un solide brun foncé sans comportement électrochrome significatif. Électriquement, il agit comme un semi-conducteur à bande interdite étroite (environ 1,0-1,3 eV), offrant une conductivité modérée qui lui convient pour la recherche sur les matériaux électroniques. Magnétiquement, il ne présente aucune propriété notable, son utilité étant principalement liée à ses caractéristiques électriques plutôt qu'à ses applications optiques ou magnétiques.

Pourboire

La préparation du dioxyde de tungstène (WO_2 , dioxyde de tungstène) exige un contrôle précis de la réduction, et son potentiel dans les matériaux électroniques et la catalyse mérite d'être exploré plus avant.

3.3 Autres oxydes de tungstène

Au-delà du trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène) et du dioxyde de tungstène (WO_2 , dioxyde de tungstène), le tungstène (W, Tungstène) forme des oxydes supplémentaires tels que le pentoxyde de ditungstène (W_2O_5 , pentaoxyde de ditungstène) et la variante d'oxyde bleu de tungstène ($W_{18}O_{49}$, variante d'oxyde bleu de tungstène). Ces oxydes non stœchiométriques, bien que moins courants, offrent une valeur unique dans des applications spécialisées, en particulier dans les nanotechnologies et l'optoélectronique.

3.3.1 Processus de préparation

La préparation de ces autres oxydes de tungstène se fait généralement à l'échelle du laboratoire, impliquant des processus complexes adaptés à leurs compositions spécifiques.

Méthode d'oxydation du pentoxyde de ditungstène (W_2O_5 , pentaoxyde de ditungstène)

Le pentoxyde de ditungstène (W_2O_5 , pentaoxyde de ditungstène) est préparé par oxydation du dioxyde de tungstène (WO_2 , dioxyde de tungstène) ou par réduction partielle du trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène) dans des conditions contrôlées (400-600°C) avec une faible pression partielle d'oxygène. Cette méthode nécessite un étalonnage

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

minutieux pour conserver sa nature non stœchiométrique, équilibrant l'état d'oxydation entre WO_2 et WO_3 , et est souvent utilisée dans les milieux de recherche pour explorer ses propriétés transitionnelles.

Réduction à haute température pour la variante d'oxyde bleu de tungstène ($W_{18}O_{49}$, variante d'oxyde bleu de tungstène)

La variante de l'oxyde de tungstène ($W_{18}O_{49}$, variante de l'oxyde de bleu de tungstène) est synthétisée en réduisant le trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène) à 700-900 °C dans une atmosphère légèrement réductrice (par exemple, un mélange de gaz inerte d'hydrogène). Ce processus est optimisé pour produire des nanostructures en forme d'aiguille, améliorant ainsi ses propriétés photoélectriques, et constitue une technique privilégiée pour créer des matériaux adaptés aux applications technologiques avancées.

3.3.2 Structure cristalline et composition moléculaire

Le pentoxyde de ditungstène (W_2O_5 , pentoxyde de ditungstène), un oxyde non stœchiométrique, présente une structure cristalline intermédiaire entre le dioxyde de tungstène (WO_2 , dioxyde de tungstène) et le trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène), avec un environnement de coordination transitionnel qui reflète son état d'oxydation mixte. La variante de l'oxyde bleu de tungstène ($W_{18}O_{49}$, variante de l'oxyde bleu de tungstène) adopte une structure monoclinique en forme d'aiguille, caractérisée par des lacunes d'oxygène qui contribuent à sa conductivité et à ses traits optiques, ce qui en fait un sujet de recherche approfondie en nanotechnologie.

3.3.3 Stabilité thermique et chimique

Le pentoxyde de ditungstène (W_2O_5 , pentoxyde de ditungstène) est thermiquement instable dans l'air, s'oxydant facilement en trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène), mais peut persister jusqu'à 600 °C dans des conditions inertes. La variante d'oxyde bleu de tungstène ($W_{18}O_{49}$, variante d'oxyde bleu de tungstène) offre une stabilité thermique légèrement meilleure, supportant jusqu'à 800 °C, bien qu'elle s'oxyde également dans les environnements riches en oxygène. Les deux présentent une stabilité chimique limitée contre les acides et les bases, s'épanouissant mieux dans des environnements non oxydants où leurs propriétés uniques peuvent être exploitées.

3.3.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Le pentoxyde de ditungstène (W_2O_5 , pentoxyde de ditungstène) possède une conductivité modérée mais manque de caractéristiques optiques significatives, limitant son utilité à des applications électriques spécifiques. En revanche, la variante de l'oxyde de bleu de tungstène ($W_{18}O_{49}$, variante de l'oxyde de bleu de tungstène) brille par son aspect bleu et ses excellentes propriétés photoélectriques, avec une bande interdite d'environ 2,4 eV, idéale pour les photodétecteurs et les capteurs. Aucun des deux composés ne présente un comportement magnétique notable, leur valeur étant enracinée dans les domaines

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

électrique et optique.

Pourboire

D'autres oxydes de tungstène, tels que la variante de l'oxyde de bleu de tungstène ($W_{18}O_{49}$, variante de l'oxyde de bleu de tungstène), gagnent du terrain pour leur potentiel dans la nanotechnologie et l'optoélectronique, ce qui justifie une attention particulière.

Sources d'information

[16] *Principes fondamentaux de la chimie du tungstène* (allemand) - H.C. Starck GmbH, Munich, 1998[17] *Propriétés des composés de tungstène* (russe) - Département de chimie, Université d'État de Moscou, Moscou, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] Industrie du tungstène en Chine : www.ctia.com.cn

Références

[1] *L'histoire et les applications du tungstène* (suédois) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990[2] *Une brève histoire de la chimie du tungstène* (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online : www.chinatungsten.com
[4] *Études sur la dénomination du tungstène* (multilingue) - Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC), Londres, 1990[5] *Applications du tungstène dans la révolution industrielle britannique* (anglais) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Industrialisation précoce des produits chimiques à base de tungstène* (français) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Rapport sur la distribution mondiale des ressources en tungstène* (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Études sur les propriétés physiques du tungstène* (Anglais) - Transactions philosophiques de la Royal Society, Londres, 1810[9] *Le tungstène dans le tableau périodique* (russe) - Société chimique russe, Moscou, 1870[10] *Applications du tungstène dans la métallurgie russe* (russe) - Département de chimie, Université de Moscou, Moscou, 1890[11] *Applications du tungstène dans l'industrie électronique japonaise* (japonais) - Rapport de recherche de l'Institut de technologie de Tokyo, Tokyo, 1925[12] *Enregistrements minéralogiques dans la région arabe* (arabe) - Département de géologie, Université du Caire, Le Caire, 1900[13] *Analyse du marché mondial des produits à base de tungstène 2023* (anglais) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023[14] *Applications pionnières du tungstène dans la recherche* (anglais) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Industrie chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn
[16] *Principes fondamentaux de la chimie du tungstène* (allemand) - H.C. Starck GmbH, Munich, 1998[17] *Propriétés des composés du tungstène* (russe) - Département de chimie, Université d'État de Moscou, Moscou, 2000[18] *Chimie à haute température des oxydes de tungstène* (russe) - Académie russe des sciences, Moscou, 1995[19] *Stabilité chimique des tungstènes* (anglais) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Recherche sur les matériaux électroniques sur les oxydes de tungstène* (japonais) - Tokyo University Press, Tokyo, 2010[21] *Composés organométalliques de tungstène* (anglais) - *Organométalliques*, ACS Publications, 2005[22] Industrie chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Quels sont les produits chimiques du tungstène ?

Chapitre 4 : Préparation et applications de l'acide tungstique et des tungstates

4.1 Acide tungstique (H_2WO_4 , acide tungstique)

L'acide tungstique (H_2WO_4 , acide tungstique) est un membre essentiel de la famille chimique du tungstène (W, Tungstène), servant de précurseur crucial pour de nombreux composés de tungstène, y compris les tungstates et les oxydes. Réputé pour sa faible solubilité, sa réactivité chimique et sa stabilité dans les environnements acides, l'acide tungstique (H_2WO_4 , Tungstic Acid) joue un rôle essentiel à la fois dans la production industrielle et la recherche scientifique. Au-delà de son utilité en tant qu'intermédiaire pour la synthèse d'oxydes de tungstène de haute pureté, il trouve des applications dans les catalyseurs, les pigments et la chimie analytique, mettant en valeur sa valeur polyvalente. Les procédés de préparation et les études de propriétés de l'acide tungstique (H_2WO_4 , Tungstic Acid) s'étendent sur des siècles, évoluant de l'extraction minière rudimentaire à l'ingénierie chimique moderne sophistiquée, reflétant la maîtrise progressive de la chimie du tungstène (W, Tungstène).

4.1.1 Processus de préparation

La préparation de l'acide tungstique (H_2WO_4 , Tungstic Acid) englobe une gamme de méthodes, de la précipitation acide traditionnelle aux techniques de laboratoire avancées, s'adaptant à divers niveaux de pureté et exigences d'application.

Méthode de précipitation acide (lixiviation du minéral)

La méthode de précipitation acide est la technique industrielle la plus largement utilisée,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

commençant généralement par des minerais tels que la [wolframite \(\(Fe,Mn\)WO₄, Wolframite\)](#) ou la [scheelite \(CaWO₄, Scheelite\)](#). Des acides forts (par exemple, l'acide chlorhydrique ou nitrique) sont utilisés pour lessiver le tungstène du minerai, formant un précipité d'acide tungstique (H₂WO₄, acide tungstique). Le procédé consiste à mélanger du minerai finement broyé avec de l'acide, réagissant à 50-80°C avec une agitation continue, au cours de laquelle l'acide tungstique (H₂WO₄, Tungstic Acid) précipite sous forme de solide jaune. S'ensuit une filtration et un lavage pour obtenir un produit brut. En raison de sa dépendance à l'égard de matières premières abondantes et de la maturité établie du processus, cette méthode est largement utilisée par les entreprises de traitement du tungstène en Chine, telles que celles de Ganzhou, dans le Jiangxi, où le contrôle précis de la concentration d'acide et de la durée de la réaction minimise les impuretés comme le fer et le manganèse.

Méthode d'acidolyse au tungstate (conversion en solution)

La méthode d'acidolyse au tungstate produit de l'acide tungstique (H₂WO₄, acide tungstique) en acidifiant une solution soluble de tungstate, telle que le [tungstate de sodium \(Na₂WO₄, tungstate de sodium\)](#). En règle générale, la solution de tungstate de sodium (Na₂WO₄, tungstate de sodium) est mélangée à de l'acide chlorhydrique et le pH est ajusté à 2-3, ce qui provoque la précipitation de l'acide tungstique (H₂WO₄, acide tungstique). Après filtration, lavage et séchage à basse température (environ 100-150°C), on obtient un produit de haute pureté. Cette technique excelle dans le contrôle des niveaux d'impuretés et la production de particules à l'échelle nanométrique, ce qui la rend idéale pour les industries chimiques fines et la recherche en laboratoire, comme la préparation de précurseurs de catalyseurs ou d'oxydes de haute pureté, où la qualité et la précision sont primordiales.

Méthode d'échange d'ions (préparation de haute pureté)

La méthode d'échange d'ions est une technique moderne de haute précision qui consiste à faire passer une solution contenant du tungstène (par exemple, une solution de tungstate) à travers une résine échangeuse d'ions pour isoler les ions tungstate (WO₄²⁻), suivie d'une acidification (généralement avec de l'acide sulfurique) pour précipiter l'acide tungstique (H₂WO₄, acide tungstique). Cette méthode est particulièrement efficace pour éliminer les traces d'impuretés (par exemple, les ions de métaux lourds), ce qui permet d'obtenir de l'acide tungstique de très haute pureté (H₂WO₄, acide tungstique) adapté aux matériaux électroniques, aux catalyseurs spécialisés et aux réactifs analytiques de haute précision. Le choix et la régénération de la résine sont critiques, ce qui a un impact direct sur la pureté du produit et les coûts de production.

4.1.2 Structure cristalline et composition moléculaire

L'acide tungstique (H₂WO₄, acide tungstique) présente généralement une structure cristalline orthorhombique, avec ses molécules composées d'un atome de tungstène coordonné avec quatre atomes d'oxygène dans un arrangement tétraédrique, où deux

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

atomes d'oxygène sont liés aux atomes d'hydrogène par des liaisons hydrogène. Des études cristallographiques allemandes indiquent que cette structure explique sa faible solubilité dans l'eau (environ 0,02 g/100 mL) et sa tendance à se décomposer en [trioxyde de tungstène \(WO₃, trioxyde de tungstène\) lors du](#) chauffage [16]. Les liaisons hydrogène au sein de son cadre moléculaire lui confèrent une faible acidité (pKa autour de 2,2), ce qui lui permet de réagir avec les bases pour former des tungstates, une propriété largement exploitée dans la synthèse industrielle.

4.1.3 Stabilité thermique et chimique

L'acide tungstique (H₂WO₄, acide tungstique) présente une excellente stabilité chimique à température ambiante, résistant à la corrosion de la plupart des acides et des bases. Cependant, dans les solutions fortement alcalines (par exemple, l'hydroxyde de sodium), il se dissout pour former des tungstates tels que le tungstate de sodium (Na₂WO₄, Sodium Tungstate). Thermiquement, il commence à perdre de l'eau cristalline à 100-200 °C, se transformant en trioxyde de tungstène (WO₃, trioxyde de tungstène), avec une décomposition complète se produisant autour de 250 °C. Ce comportement de décomposition thermique en fait une matière première vitale pour la production d'oxydes de tungstène de haute pureté, comme l'ont noté les recherches chimiques russes soulignant sa stabilité dans les environnements acides comme un avantage clé en hydrométallurgie [17].

4.1.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Les propriétés optiques de l'acide tungstique (H₂WO₄, acide tungstique) sont relativement modestes, son aspect jaune résultant de transitions d'électrons au sein de sa structure cristalline, bien qu'il manque d'activité optique significative telle que l'électrochromisme ou la fluorescence, limitant son utilisation directe dans les applications optiques. Électriquement, il s'agit d'un isolant à conductivité négligeable, s'appuyant sur son produit de décomposition, le trioxyde de tungstène (WO₃, trioxyde de tungstène), pour les applications électriques. Magnétiquement, l'acide tungstique (H₂WO₄, acide tungstique) ne présente aucune propriété notable, sa valeur principale résidant dans sa réactivité chimique et son rôle de précurseur plutôt que dans ses caractéristiques physiques intrinsèques.

Pourboire

Les méthodes de préparation polyvalentes et le rôle central de l'acide tungstique (H₂WO₄, Tungstic Acid) en tant que précurseur dans la chimie du tungstène (W, Tungstène) soulignent son importance ; L'approvisionnement doit se concentrer sur la pureté et les caractéristiques des particules adaptées aux applications en aval.

4.2 Tungstate de sodium (Na₂WO₄, tungstate de sodium)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

[Le tungstate de sodium \(Na₂WO₄, Sodium Tungstate\)](#) est le tungstate le plus répandu et le plus polyvalent, prisé pour son excellente solubilité dans l'eau, sa stabilité chimique et sa multifonctionnalité, assurant son utilisation généralisée dans la production industrielle, la recherche médicale et la chimie analytique. En tant que tungstate soluble représentatif, le tungstate de sodium (Na₂WO₄, Sodium Tungstate) excelle dans des applications allant des matériaux ignifuges aux études bioactives et à la synthèse d'autres composés de tungstène, avec une longue histoire qui a cimenté son statut de maillon essentiel dans la chaîne de l'industrie chimique du tungstène.

4.2.1 Processus de préparation

La préparation du tungstate de sodium (Na₂WO₄, Sodium Tungstate) intègre l'extraction du minerai à des techniques de réaction basées sur la solution, répondant ainsi aux divers besoins de la production à l'échelle industrielle et de la précision du laboratoire.

Méthode de fusion alcaline (extraction de minerai)

La méthode de fusion alcaline consiste à faire réagir la wolframite ((Fe,Mn)WO₄, Wolframite) ou la scheelite (CaWO₄, Scheelite) avec de l'hydroxyde de sodium (NaOH) à haute température (600-800°C) pour former une solution de tungstate de sodium (Na₂WO₄, Sodium Tungstate). Le processus consiste à mélanger du minerai en poudre avec de l'hydroxyde de sodium et à le chauffer dans un four à fusion jusqu'à ce qu'il soit fondu, où le tungstène réagit avec le sodium pour produire du tungstate de sodium soluble (Na₂WO₄, Sodium Tungstate). Après refroidissement, les impuretés sont filtrées et la solution est évaporée et cristallisée pour donner des cristaux blancs. Cette méthode, favorisée pour son utilisation efficace des ressources minérales et son fonctionnement simple, est la technique prédominante dans l'industrie chinoise de traitement du tungstène, en particulier dans les grands centres comme le Jiangxi et le Hunan.

Méthode de neutralisation de l'acide tungstique (préparation en laboratoire)

La méthode de neutralisation de l'acide tungstique prépare le tungstate de sodium (Na₂WO₄, tungstate de sodium) en neutralisant l'acide tungstique (H₂WO₄, acide tungstique) avec une solution d'hydroxyde de sodium à température ambiante (20-40°C), après la réaction : $H_2WO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2WO_4 + 2H_2O$. La solution résultante est concentrée par évaporation et refroidie pour cristalliser les cristaux de tungstate de sodium (Na₂WO₄, Sodium Tungstate) dihydratés. Cette méthode simple est idéale pour la production à petite échelle et de haute pureté dans les laboratoires, couramment utilisée pour la préparation de solutions standard ou de réactifs dans la recherche scientifique et la chimie analytique.

4.2.2 Structure cristalline et composition moléculaire

Le tungstate de sodium (Na₂WO₄, Sodium Tungstate) existe généralement sous forme de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

dihydrate ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) avec une structure cristalline orthorhombique. Dans cette structure, un atome de tungstène se coordonne avec quatre atomes d'oxygène pour former une unité tétraédrique stable (WO_4^{2-}), tandis que deux atomes de sodium sont liés ioniquement à l'ion tungstate, et les molécules d'eau sont incorporées via une liaison hydrogène. Des études cristallographiques confirment que cet arrangement explique sa grande solubilité dans l'eau (environ 730 g/L à 20°C), facilitant son utilisation dans des applications aqueuses tout en maintenant la stabilité cristalline [19].

4.2.3 Stabilité thermique et chimique

Le tungstate de sodium (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) présente une stabilité thermique robuste dans des conditions sèches, résistant jusqu'à 300°C sans décomposition. Au-dessus de cette température, il perd de l'eau cristalline, se transformant en tungstate de sodium anhydre (Na_2WO_4), avec une décomposition complète nécessitant des températures d'environ 700°C. Chimiquement, sa solution aqueuse est légèrement alcaline (pH 8-9) et sensible aux acides, se transformant facilement en acide tungstique (H_2WO_4 , acide tungstique) dans des conditions acides, mais elle résiste à la corrosion dans des environnements neutres et légèrement alcalins, ce qui la rend adaptable à une variété de paramètres de réaction [19].

4.2.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Les propriétés optiques du tungstate de sodium (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) ne sont pas remarquables, ses cristaux blancs manquant d'activité optique significative telle que la fluorescence ou l'électrochromisme, limitant ainsi ses applications optiques. Électriquement, il agit comme un conducteur ionique en solution en raison de la mobilité des ions sodium et tungstate, mais c'est un isolant sous forme solide avec une conductivité négligeable. Magnétiquement, le tungstate de sodium (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) ne présente aucune propriété notable, son utilité dérivant principalement de ses attributs chimiques, tels que la solubilité et la réactivité, plutôt que de ses caractéristiques physiques.

Pourboire

La solubilité dans l'eau et la stabilité chimique du tungstate de sodium (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) le rendent inestimable dans l'ignifugation et les applications biomédicales.

4.3 Autres Tungstates

Au-delà de l'acide tungstique (H_2WO_4 , acide tungstique) et du tungstate sodique (Na_2WO_4 , tungstate de sodium), la famille des tungstates comprend des composés importants tels que le [paratungstate d'ammonium \(APT, \$\(\text{NH}_4\)_2\text{WO}_4\$, paratungstate d'ammonium\)](#), le [tungstate de calcium \(\$\text{CaWO}_4\$, Calcium Tungstate\)](#) et le [métatungstate d'ammonium \(\$\(\text{NH}_4\)_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}\$, métatungstate d'ammonium\)](#). Ces tungstènes excellent dans la production industrielle, la recherche scientifique et les applications spécialisées,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

enrichissant ainsi le champ d'application de la chimie du tungstène.

4.3.1 Processus de préparation

Les procédés de préparation de ces autres tungstates varient en fonction de leurs propriétés chimiques et des utilisations prévues, allant de l'extraction du minerai aux techniques de synthèse en solution.

Échange d'ions et cristallisation pour le paratungstate d'ammonium

(APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, Paratungstate d'ammonium) Le paratungstate

d'ammonium (APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, Paratungstate d'ammonium) est généralement préparé à partir de solutions de tungstate extraites de minerais de tungstène, passées à travers des résines échangeuses d'ions pour isoler les ions tungstate (WO_4^{2-}). De l'ammoniac est ensuite ajouté pour ajuster le pH de la solution à 7-8, déclenchant la précipitation du paratungstate d'ammonium (APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, Paratungstate d'ammonium), qui est filtré, lavé et séché (environ 100-150°C) pour donner des cristaux blancs. Cette méthode est une pierre angulaire de l'industrie chinoise du tungstène, largement utilisée dans la production de poudre de tungstène (poudre W, poudre de tungstène), avec des productions annuelles atteignant des dizaines de milliers de tonnes dans des régions comme le Jiangxi et le Hunan.

Réaction de fusion pour le tungstate de calcium

(CaWO_4 , Tungstate de calcium)

Le tungstate de calcium (CaWO_4 , Tungstate de calcium) est synthétisé par fusion du tungstate de sodium (Na_2WO_4 , Tungstate de sodium) avec du chlorure de calcium (CaCl_2) à des températures élevées (environ 800-1000°C), suite à la réaction : $\text{Na}_2\text{WO}_4 + \text{CaCl}_2 \rightarrow \text{CaWO}_4 + 2\text{NaCl}$. Le produit obtenu se refroidit en cristaux blancs, qui sont broyés et tamisés pour être utilisés. Ce processus simple est couramment utilisé pour produire des matériaux fluorescents et des composants optiques, tirant parti de sa grande stabilité thermique pour l'évolutivité industrielle.

Polymérisation par acidification pour le métatungstate d'ammonium

($(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$, Métatungstate d'ammonium) Le métatungstate

d'ammonium ($(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$, Métatungstate d'ammonium) est préparé en acidifiant une solution de paratungstate d'ammonium (APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, Paratungstate d'ammonium) et en contrôlant le pH à 3-4, incitant les ions tungstate à polymériser en ions polytungstate ($\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}^{6-}$). L'ammoniac est ensuite ajouté pour stabiliser la solution, suivi d'une cristallisation pour produire le produit final. Cette méthode est conçue pour la production de catalyseurs et de réactifs analytiques de haute pureté, en capitalisant sur sa structure unique en polyoxométalate.

4.3.2 Structure cristalline et composition moléculaire

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Le paratungstate d'ammonium (APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, Paratungstate d'ammonium) présente une structure cristalline monoclinique complexe avec plusieurs unités octaédriques tungstène-oxygène stabilisées par des ions ammonium par liaison hydrogène, formant un cadre composite robuste. Le tungstate de calcium (CaWO_4 , Calcium Tungstate) adopte une structure cristalline tétragonale semblable à la scheelite naturelle, avec des atomes de tungstène coordonnant quatre atomes d'oxygène dans un arrangement tétraédrique, soutenu par des ions calcium via des liaisons ioniques. Le métatungstate d'ammonium ($(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$, métatungstate d'ammonium) présente une structure polyoxométallate, comprenant un groupe de 12 octaèdres tungstène-oxygène entourés d'ions ammonium, conférant une complexité moléculaire distinctive adaptée aux applications catalytiques.

4.3.3 Stabilité thermique et chimique

Le paratungstate d'ammonium (APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, paratungstate d'ammonium) a une stabilité thermique modérée, se décomposant en trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène) à 250-300°C avec libération d'ammoniac et de vapeur d'eau, et sa stabilité chimique est sensible aux conditions acides. Le tungstate de calcium (CaWO_4 , Calcium Tungstate) présente une stabilité thermique exceptionnelle, supportant des températures supérieures à 1000°C et une excellente stabilité chimique, étant presque insoluble dans l'eau et résistant à la plupart des acides et des bases, ce qui le rend idéal pour les applications à haute température. Le métatungstate d'ammonium ($(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$, métatungstate d'ammonium) perd de l'eau cristalline autour de 200°C et se décompose davantage à des températures plus élevées, avec une stabilité chimique plus faible nécessitant une protection contre les acides ou les bases fortes pour préserver sa structure polyoxométallate.

4.3.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Le paratungstate d'ammonium (APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$, paratungstate d'ammonium) manque de propriétés optiques notables, apparaissant sous forme de cristaux blancs avec une activité optique minimale, et est un isolant électriquement et magnétiquement inerte. Le tungstate de calcium (CaWO_4 , Calcium Tungstate) est réputé pour sa fluorescence, émettant de la lumière bleue sous excitation UV (bande interdite ~4,2 eV), ce qui le rend précieux dans les détecteurs de rayons X et les matériaux fluorescents, bien qu'il reste un isolant sans propriétés magnétiques. Le métatungstate d'ammonium ($(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$, métatungstate d'ammonium) ne présente aucun caractère optique ou magnétique significatif, mais présente une conductivité ionique en solution, tout en restant un isolant sous forme solide, ses applications étant principalement déterminées par ses capacités catalytiques.

Pourboire

D'autres tungtats comme le tungstate de calcium (CaWO_4 , tungstate de calcium) et le métatungstate d'ammonium ($(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$, métatungstate d'ammonium) offrent des

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

avantages uniques en matière de fluorescence et de catalyse, respectivement.

Sources d'information

[16] *Principes fondamentaux de la chimie du tungstène* (allemand) - H.C. Starck GmbH, Munich, 1998[17] *Propriétés des composés de tungstène* (russe) - Département de chimie, Université d'État de Moscou, Moscou, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] Industrie du tungstène en Chine : www.ctia.com.cn

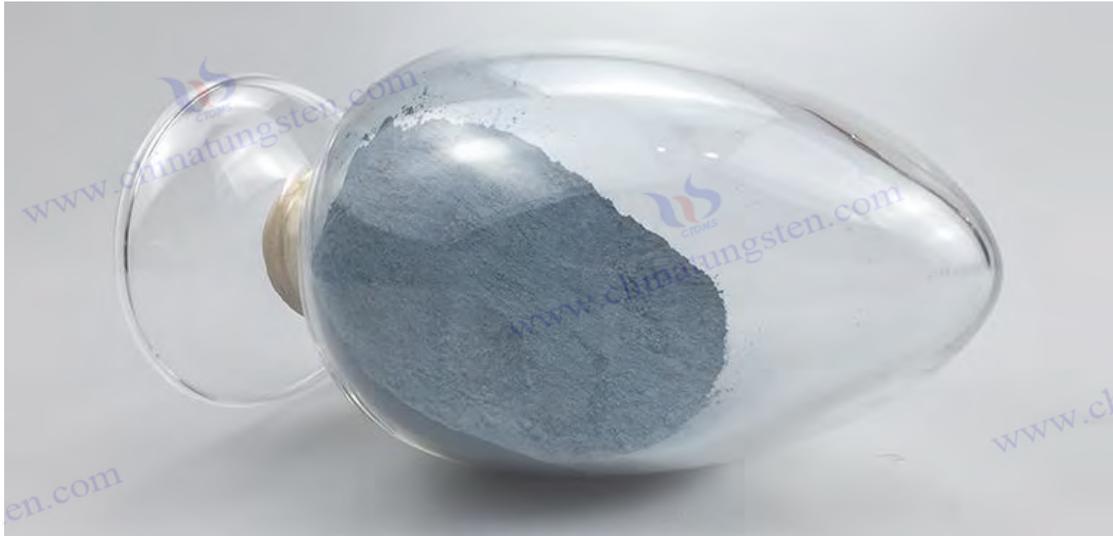
Références

[1] *L'histoire et les applications du tungstène* (suédois) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990[2] *Une brève histoire de la chimie du tungstène* (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online : www.chinatungsten.com
[4] *Études sur la dénomination du tungstène* (multilingue) - Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC), Londres, 1990[5] *Applications du tungstène dans la révolution industrielle britannique* (anglais) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Industrialisation précoce des produits chimiques à base de tungstène* (français) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Rapport sur la distribution mondiale des ressources en tungstène* (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Études sur les propriétés physiques du tungstène* (Anglais) - Transactions philosophiques de la Royal Society, Londres, 1810[9] *Le tungstène dans le tableau périodique* (russe) - Société chimique russe, Moscou, 1870[10] *Applications du tungstène dans la métallurgie russe* (russe) - Département de chimie, Université de Moscou, Moscou, 1890[11] *Applications du tungstène dans l'industrie électronique japonaise* (japonais) - Rapport de recherche de l'Institut de technologie de Tokyo, Tokyo, 1925[12] *Enregistrements minéralogiques dans la région arabe* (arabe) - Département de géologie, Université du Caire, Le Caire, 1900
[13] *Analyse du marché mondial des produits à base de tungstène 2023* (anglais) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023[14] *Applications pionnières du tungstène dans la recherche* (anglais) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Industrie chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn
[16] *Principes fondamentaux de la chimie du tungstène* (allemand) - H.C. Starck GmbH, Munich, 1998[17] *Propriétés des composés du tungstène* (russe) - Département de chimie, Université d'État de Moscou, Moscou, 2000[18] *Chimie à haute température des oxydes de tungstène* (russe) - Académie russe des sciences, Moscou, 1995[19] *Stabilité chimique des tungstènes* (anglais) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Recherche sur les matériaux électroniques sur les oxydes de tungstène* (japonais) - Tokyo University Press, Tokyo, 2010[21] *Composés organométalliques de tungstène* (anglais) - *Organométalliques*, ACS Publications, 2005[22] Industrie chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



Quels sont les produits chimiques du tungstène ? Chapitre 5 : Préparation et applications des halogénures de tungstène

5.1 Hexachlorure de tungstène (WCl_6 , hexachlorure de tungstène)

[L'hexachlorure de tungstène \(\$WCl_6\$, hexachlorure de tungstène\)](#) est un membre important de la famille des halogénures de tungstène (W, tungstène), très apprécié dans les milieux industriels et de recherche pour sa volatilité, sa réactivité élevée et ses capacités catalytiques dans diverses réactions chimiques. En tant que composé volatil de tungstène, l'hexachlorure de tungstène (WCl_6 , hexachlorure de tungstène) se distingue par son aspect cristallin bleu foncé distinctif et ses propriétés chimiques exceptionnelles, ce qui le rend inestimable dans la synthèse organique, le dépôt de couches minces et la préparation de catalyseurs. Son parcours, de la synthèse initiale en laboratoire aux applications industrielles contemporaines, reflète l'évolution continue et l'approfondissement de la compréhension de la chimie des halogénures de tungstène, ce qui le positionne comme un contributeur unique au domaine plus large des produits chimiques à base de tungstène (W, Tungstène).

5.1.1 Processus de préparation

La préparation de l'hexachlorure de tungstène (WCl_6 , hexachlorure de tungstène) englobe une variété de méthodes, y compris des techniques de chloration directe et de réduction du chlore, adaptées pour répondre à diverses exigences de pureté et d'application.

Méthode de chloration directe

(Chloration du tungstène métallique)

La méthode de chloration directe consiste à faire réagir du tungstène métallique de haute pureté (W, Tungstène), tel que la [poudre de tungstène \(poudre W, poudre de tungstène\)](#), avec du chlore gazeux (Cl_2) à des températures élevées (généralement 600-800°C) pour produire de l'hexachlorure de tungstène (WCl_6 , hexachlorure de tungstène). La réaction,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$W + 3Cl_2 \rightarrow WCl_6$, se produit dans un réacteur à quartz scellé pour exclure l'oxygène et l'humidité, avec les cristaux bleu foncé qui en résultent se condensant à partir du produit gazeux. Cette méthode est privilégiée pour sa simplicité et sa franchise, ce qui en fait un aliment de base dans la production industrielle, en particulier pour l'hexachlorure de tungstène de haute pureté (WCl_6 , hexachlorure de tungstène) utilisé dans la synthèse de catalyseurs, où des normes de qualité strictes sont essentielles.

Méthode de réduction du chlore

(Chloration à l'oxyde)

La méthode de réduction du chlore prépare l'hexachlorure de tungstène (WCl_6 , hexachlorure de tungstène) en faisant réagir [le trioxyde de tungstène \(\$WO_3\$, trioxyde de tungstène\)](#) avec du chlore gazeux et un agent réducteur (par exemple, du carbone ou de l'hydrogène) à 500-700°C. Un contrôle précis du débit et de la température du chlore est essentiel pour éviter la formation de chlorures inférieurs, tels que le tétrachlorure de tungstène (WCl_4 , tétrachlorure de tungstène). Cette approche est avantageuse pour les laboratoires et la production à petite échelle, car elle permet d'exploiter des sous-produits industriels tels que le trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène) pour améliorer l'efficacité des ressources et réduire les coûts.

Méthode de réaction en phase gazeuse

La

méthode de réaction en phase gazeuse synthétise l'hexachlorure de tungstène (WCl_6 , hexachlorure de tungstène) en faisant réagir le tungstène (W, Tungstène) ou ses composés avec du chlore gazeux en phase vapeur à environ 800°C, suivi d'une condensation en cristaux. Cette technique excelle dans l'élimination des traces d'impuretés, produisant de l'hexachlorure de tungstène de très haute pureté (WCl_6 , hexachlorure de tungstène) idéal pour les matériaux électroniques et la recherche de catalyseurs de précision, où même des contaminants infimes peuvent avoir un impact significatif sur les performances.

5.1.2 Structure cristalline et composition moléculaire

L'hexachlorure de tungstène (WCl_6 , hexachlorure de tungstène) adopte une structure cristalline octaédrique, avec un atome de tungstène central coordonné à six atomes de chlore, formant une unité moléculaire symétrique WCl_6 . Des études cristallographiques allemandes mettent en évidence que cette coordination octaédrique contribue à sa forte volatilité (point de fusion environ 275°C, point d'ébullition autour de 347°C), facilitant son utilisation dans les réactions en phase gazeuse [16]. Dans sa composition moléculaire, l'atome de tungstène est dans l'état d'oxydation +6, et la forte électronégativité des atomes de chlore augmente sa réactivité, ce qui lui permet de s'engager facilement dans des réactions de coordination ou de substitution avec des composés organiques.

5.1.3 Stabilité thermique et chimique

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

L'hexachlorure de tungstène (WCl_6 , hexachlorure de tungstène) présente une stabilité thermique modérée dans des conditions anhydres et sans oxygène, conservant sa structure cristalline en dessous de $300^{\circ}C$. Cependant, à des températures plus élevées ou en présence d'air, il se décompose en chlorures inférieurs et en chlore gazeux, ce qui nécessite une manipulation soignée. Chimiquement, il est très instable en présence d'humidité, s'hydrolysant rapidement dans des environnements humides pour former du chlorure d'hydrogène (HCl) et des oxychlorures de tungstène, nécessitant un stockage et une utilisation dans des atmosphères sèches et inertes. La recherche chimique russe souligne sa grande réactivité, ce qui en fait un agent de chloration efficace et un catalyseur dans la synthèse organique [17].

5.1.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Les propriétés optiques de l'hexachlorure de tungstène (WCl_6 , hexachlorure de tungstène) sont caractérisées par sa forme cristalline bleu foncé frappante, résultant des transitions d'électrons d-d de l'atome de tungstène, bien que son activité optique soit limitée dans les applications pratiques. Électriquement, c'est un isolant à l'état solide, mais sous forme gazeuse ou en solution, il peut présenter une légère conductivité ionique due à la décomposition ou aux interactions avec les solvants. Magnétiquement, l'hexachlorure de tungstène (WCl_6 , hexachlorure de tungstène) ne présente aucune propriété significative, son utilité principale provenant de sa réactivité chimique plutôt que de ses caractéristiques physiques.

Pourboire

La préparation de l'hexachlorure de tungstène (WCl_6 , hexachlorure de tungstène) exige une exclusion rigoureuse de l'humidité et de l'oxygène ; sa haute réactivité en fait une référence en matière de catalyse et de synthèse organique, et l'approvisionnement doit privilégier la pureté et les conditions de stockage.

5.2 Hexafluorure de tungstène (WF_6 , hexafluorure de tungstène)

L'hexafluorure de tungstène (WF_6 , hexafluorure de tungstène) est l'halogénure de tungstène le plus important sur le plan industriel, célèbre pour sa volatilité exceptionnelle et son rôle central dans l'industrie des semi-conducteurs. En tant que gaz incolore, l'hexafluorure de tungstène (WF_6 , hexafluorure de tungstène) est largement utilisé dans le dépôt chimique en phase vapeur (CVD) pour produire des films minces de tungstène métallique, sa réactivité et sa stabilité élevées le rendant indispensable dans la microélectronique moderne. L'évolution de la synthèse en laboratoire à la production à grande échelle met en évidence sa contribution à l'avancement de la chimie du tungstène dans les applications de haute technologie.

5.2.1 Processus de préparation

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La préparation de l'hexafluorure de tungstène (WF₆, Tungsten Hexafluorure) repose principalement sur des réactions de fluoration, menées dans des conditions anhydres pour garantir la qualité du produit.

Méthode de fluoration directe

(Réaction au tungstène et au fluor)

La méthode de fluoration directe fait réagir le tungstène (W, Tungstène) métallique de haute pureté (par exemple, la poudre de tungstène (poudre W, Poudre de tungstène)) avec le gaz fluoré (F₂) à 300-500°C pour former du gaz hexafluorure de tungstène (WF₆, Hexafluorure de tungstène), après la réaction : $W + 3F_2 \rightarrow WF_6$. Ce processus se produit dans un réacteur en alliage de nickel résistant à la corrosion en raison de la nature agressive du fluor, le produit gazeux étant condensé sous forme liquide (point d'ébullition 17,1 °C) pour la collecte. Largement adoptée dans l'industrie pour sa grande pureté et son approche simple, cette méthode domine les applications de semi-conducteurs nécessitant des normes de qualité strictes.

Méthode de fluoration de l'oxyde

(fluoration au trioxyde de tungstène)

La méthode de fluoration à l'oxyde prépare l'hexafluorure de tungstène (WF₆, hexafluorure de tungstène) en faisant réagir le trioxyde de tungstène (WO₃, trioxyde de tungstène) avec du fluorure d'hydrogène (HF) ou du fluor gazeux à 400-600°C. Ce processus nécessite un contrôle minutieux pour éviter de former des fluorures plus faibles, en tirant parti de sous-produits industriels comme le trioxyde de tungstène (WO₃, trioxyde de tungstène) pour réduire les coûts. Il est couramment utilisé en laboratoire et dans la production à petite échelle, offrant une alternative rentable pour les applications spécialisées.

5.2.2 Structure cristalline et composition moléculaire

L'hexafluorure de tungstène (WF₆, hexafluorure de tungstène) adopte une structure moléculaire octaédrique à l'état gazeux et liquide, avec un atome central de tungstène coordonné à six atomes de fluor, formant une unité WF₆ symétrique. La recherche chimique japonaise note que cet arrangement octaédrique est à l'origine de sa volatilité et de sa stabilité élevées (point de fusion 2,3 °C, point d'ébullition 17,1 °C), ce qui le rend idéal pour le dépôt en phase gazeuse [20]. L'atome de tungstène est dans l'état d'oxydation +6, et la forte électronégativité du fluor améliore la force de liaison, assurant la stabilité dans diverses conditions.

5.2.3 Stabilité thermique et chimique

L'hexafluorure de tungstène (WF₆, hexafluorure de tungstène) présente une excellente stabilité thermique dans des conditions anhydres, restant stable sous forme de gaz à température ambiante. Cependant, à des températures supérieures à 400°C ou en présence

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

d'humidité, il se décompose en fluorure d'hydrogène (HF) et en oxydes de tungstène, nécessitant une manipulation contrôlée. Par rapport à l'hexachlorure de tungstène (WCl_6 , hexachlorure de tungstène), il est moins sensible à l'eau mais peut être réduit en tungstène (W, tungstène) ou en fluorures inférieurs dans des environnements fortement réducteurs, une propriété qui renforce son utilité dans le dépôt de semi-conducteurs.

5.2.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

L'hexafluorure de tungstène (WF_6 , hexafluorure de tungstène) est un gaz incolore et transparent sans activité optique significative, limitant ses applications optiques. Électriquement, il n'est pas conducteur à l'état gazeux, mais sa décomposition en tungstène métallique donne une excellente conductivité (résistivité $\sim 5,6 \mu\Omega \cdot cm$), cruciale pour les films minces conducteurs. Magnétiquement, il ne présente aucune propriété notable, sa valeur étant principalement liée à ses capacités de réactivité et de dépôt plutôt qu'à des traits physiques.

Pourboire

La préparation de l'hexafluorure de tungstène (WF_6 , Tungsten Hexafluorure) nécessite un environnement anhydre ; Son rôle essentiel dans l'industrie des semi-conducteurs en fait une référence parmi les halogénures de tungstène, l'approvisionnement se concentrant sur la pureté des gaz et l'intégrité du confinement.

5.3 Autres halogénures de tungstène

En plus de l'hexachlorure de tungstène (WCl_6 , hexachlorure de tungstène) et de l'hexafluorure de tungstène (WF_6 , hexafluorure de tungstène), la famille des halogénures de tungstène comprend des composés à faible valence tels que le tétrachlorure de tungstène (WCl_4 , tétrachlorure de tungstène) et le pentachlorure de tungstène (WCl_5 , pentachlorure de tungstène). Bien que moins largement utilisés, ces halogénures offrent une valeur dans des réactions catalytiques spécifiques et la recherche sur les matériaux.

5.3.1 Processus de préparation

La préparation de ces autres halogénures de tungstène se fait généralement à l'échelle du laboratoire, ce qui nécessite un contrôle précis des conditions de réaction.

Procédé de chloration par réduction du tétrachlorure de tungstène (WCl_4 , tétrachlorure de tungstène)

Le tétrachlorure de tungstène (WCl_4 , tétrachlorure de tungstène) est synthétisé par réduction partielle de l'hexachlorure de tungstène (WCl_6 , hexachlorure de tungstène) avec de l'hydrogène à 450-600°C dans une atmosphère inerte pour éviter l'oxydation. Cette réduction contrôlée garantit la formation de l'état tétravalent souhaité, ce qui donne généralement un produit vert adapté aux applications de niche.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Méthode de chloration contrôlée du pentachlorure de tungstène (WCl₅, pentachlorure de tungstène)

Le pentachlorure de tungstène (WCl₅, pentachlorure de tungstène) est préparé en chlorant soigneusement le tungstène (W, Tungstène) ou l'hexachlorure de tungstène réducteur (WCl₆, hexachlorure de tungstène) avec un apport limité en chlore à 500-700°C. Cette méthode nécessite un dosage précis du chlore pour atteindre l'état pentavalent, produisant un matériau cristallin rouge foncé.

5.3.2 Structure cristalline et composition moléculaire

Le tétrachlorure de tungstène (WCl₄, tétrachlorure de tungstène) présente une structure cristalline tétragonale, l'atome de tungstène étant coordonné à quatre atomes de chlore dans un arrangement carré et planaire, offrant une stabilité modérée. Le pentachlorure de tungstène (WCl₅, Tungsten Pentachloride) adopte une structure bipyramidale trigonale avec cinq atomes de chlore, présentant une stabilité plus faible en raison de son état d'oxydation intermédiaire. Ces structures permettent de réduire la volatilité par rapport aux halogénures hexavalents.

5.3.3 Stabilité thermique et chimique

Le tétrachlorure de tungstène (WCl₄, tétrachlorure de tungstène) et le pentachlorure de tungstène (WCl₅, pentachlorure de tungstène) ont une stabilité thermique limitée, se décomposant en chlorures inférieurs ou en chlore gazeux à 200-400°C. Chimiquement, les deux sont très sensibles à l'humidité, nécessitant un stockage scellé pour éviter l'hydrolyse, ce qui limite leur utilisation pratique aux environnements contrôlés.

5.3.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Le tétrachlorure de tungstène (WCl₄, tétrachlorure de tungstène) apparaît en vert, et le pentachlorure de tungstène (WCl₅, pentachlorure de tungstène) est rouge foncé, mais aucun des deux ne présente d'activité optique significative. Électriquement, les deux sont des isolants, et ils manquent de propriétés magnétiques notables, leurs applications étant principalement axées sur la recherche catalytique plutôt que sur les caractéristiques physiques.

Pourboire

D'autres halogénures de tungstène comme le tétrachlorure de tungstène (WCl₄, Tungsten Tetrachloride) ont un potentiel en catalyse ; leur préparation et leur stabilité nécessitent une attention particulière lors de la manipulation et de l'utilisation.

Sources d'information

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

[16] *Principes fondamentaux de la chimie du tungstène* (allemand) - H.C. Starck GmbH, Munich, 1998[17] *Propriétés des composés de tungstène* (russe) - Département de chimie, Université d'État de Moscou, Moscou, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] Industrie du tungstène en Chine : www.ctia.com.cn

Références

[1] *L'histoire et les applications du tungstène* (suédois) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990[2] *Une brève histoire de la chimie du tungstène* (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online : www.chinatungsten.com
[4] *Études sur la dénomination du tungstène* (multilingue) - Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC), Londres, 1990[5] *Applications du tungstène dans la révolution industrielle britannique* (anglais) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Industrialisation précoce des produits chimiques à base de tungstène* (français) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Rapport sur la distribution mondiale des ressources en tungstène* (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Études sur les propriétés physiques du tungstène* (Anglais) - Transactions philosophiques de la Royal Society, Londres, 1810[9] *Le tungstène dans le tableau périodique* (russe) - Société chimique russe, Moscou, 1870[10] *Applications du tungstène dans la métallurgie russe* (russe) - Département de chimie, Université de Moscou, Moscou, 1890[11] *Applications du tungstène dans l'industrie électronique japonaise* (japonais) - Rapport de recherche de l'Institut de technologie de Tokyo, Tokyo, 1925[12] *Enregistrements minéralogiques dans la région arabe* (arabe) - Département de géologie, Université du Caire, Le Caire, 1900[13] *Analyse du marché mondial des produits à base de tungstène 2023* (anglais) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023[14] *Applications pionnières du tungstène dans la recherche* (anglais) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Industrie chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn
[16] *Principes fondamentaux de la chimie du tungstène* (allemand) - H.C. Starck GmbH, Munich, 1998[17] *Propriétés des composés de tungstène* (russe) - Département de chimie, Université d'État de Moscou, Moscou, 2000[18] *Chimie à haute température des oxydes de tungstène* (russe) - Académie russe des sciences, Moscou, 1995[19] *Stabilité chimique des tungstènes* (anglais) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Recherche sur les matériaux électroniques sur les oxydes de tungstène* (japonais) - Tokyo University Press, Tokyo, 2010[21] *Composés organométalliques de tungstène* (anglais) - *Organométalliques*, ACS Publications, 2005[22] Industrie chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Quels sont les produits chimiques du tungstène ?

Chapitre 6 : Préparation et applications des carbures et nitrures de tungstène

6.1 Carbure de tungstène (WC, carbure de tungstène)

[Le carbure de tungstène \(WC, carbure de tungstène\)](#) est l'un des composés les plus précieux et les plus largement appliqués de la famille chimique du tungstène (W, Tungstène), réputé pour sa dureté exceptionnelle, sa résistance à l'usure et sa stabilité thermique. En tant que pierre angulaire des carbures cémentés, le carbure de tungstène (WC, carbure de tungstène) joue un rôle indispensable dans les outils de coupe, les équipements miniers et les revêtements résistants à l'usure. Son aspect poudre noire ou noir grisâtre dément son éclat dans l'industrie moderne, avec une histoire de développement allant des premières expériences en laboratoire à la production mondialisée d'aujourd'hui, mettant en évidence l'impact profond de la chimie du tungstène sur la science des matériaux.

6.1.1 Processus de préparation

La préparation du carbure de tungstène (WC, carbure de tungstène) englobe une variété de méthodes, y compris la carbonatation à haute température et les réactions en phase gazeuse, adaptées pour répondre à diverses exigences de pureté et de taille de particule.

Méthode de carbonatation à haute température (carbonatation de la poudre de tungstène)

La méthode de carbonatation à haute température fait réagir la [poudre de tungstène \(poudre W, poudre de tungstène\)](#) avec une source de carbone (par exemple, noir de carbone ou graphite) à 1400-1600°C pour former du carbure de tungstène (WC, carbure de tungstène), en suivant l'équation : $W + C \rightarrow WC$. Ce processus est généralement mené dans

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

une atmosphère sous vide ou à hydrogène pour prévenir l'oxydation et contrôler la teneur en carbone. Après réaction, le produit est broyé et tamisé pour produire une poudre de carbure de tungstène (WC, carbure de tungstène) finement uniforme. En raison de son processus mature et de sa rentabilité, cette méthode domine la production industrielle, largement adoptée dans la fabrication de carbure cémenté, en particulier dans les grandes entreprises de traitement du tungstène en Chine et en Europe.

Méthode de carbonatation en phase gazeuse

La

méthode de carbonatation en phase gazeuse utilise des composés volatils de tungstène, tels que l'[hexafluorure de tungstène \(WF₆, hexafluorure de tungstène\)](#), réagissant avec les hydrocarbures (par exemple, le méthane, CH₄) à 800-1000°C via une réaction chimique en phase vapeur pour produire du carbure de tungstène (WC, carbure de tungstène). Cette technique peut produire des particules de carbure de tungstène (WC, carbure de tungstène) à l'échelle nanométrique, ce qui la rend adaptée aux revêtements haute performance et aux outils de précision. La réaction se produit dans des réacteurs spécialisés avec un contrôle précis du débit de gaz pour assurer une distribution uniforme des particules.

Méthode de synthèse du plasma

(Préparation de particules ultrafines)

La méthode de synthèse par plasma fait réagir rapidement la poudre de tungstène (poudre W, poudre de tungstène) avec une source de carbone dans un environnement plasma à haute température (>5000°C), produisant une poudre de carbure de tungstène ultrafine (WC, carbure de tungstène) (taille des particules <100 nm). Cette méthode excelle dans la génération de particules ultrafines de haute pureté, idéales pour des applications avancées telles que les revêtements résistants à l'usure dans les matériaux aérospatiaux, bien que ses coûts d'équipement élevés la limitent à la production en petits lots et à forte valeur ajoutée.

6.1.2 Structure cristalline et composition moléculaire

Le carbure de tungstène (WC, carbure de tungstène) présente une structure cristalline hexagonale, où les atomes de tungstène et de carbone se lient dans un rapport de 1:1 par le biais de fortes liaisons covalentes, formant un réseau étroitement tassé. Des études cristallographiques allemandes indiquent que cet arrangement hexagonal lui confère une dureté exceptionnelle (dureté de Mohs ~ 9, juste derrière le diamant) et des propriétés mécaniques supérieures [16]. Dans sa composition moléculaire, le tungstène contribue à une densité élevée (15,63 g/cm³), tandis que le carbone améliore la stabilité du réseau, ce qui lui permet de maintenir l'intégrité structurelle dans des conditions extrêmes.

6.1.3 Stabilité thermique et chimique

Le carbure de tungstène (WC, carbure de tungstène) possède une stabilité thermique remarquable, conservant sa structure en dessous de 2600°C, et présente une excellente

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

résistance à l'oxydation, ne s'oxydant que lentement en trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène) au-dessus de $600^\circ C$ dans des environnements riches en oxygène. Chimiquement, il résiste à la corrosion des acides et des bases, bien qu'il puisse être progressivement érodé dans les acides oxydants forts (par exemple, l'acide nitrique). La recherche russe sur les matériaux met en évidence sa stabilité thermique et son inertie chimique, ce qui en fait un choix idéal pour les matériaux résistants à l'usure à haute température [17].

6.1.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Les propriétés optiques du carbure de tungstène (WC, carbure de tungstène) ne sont pas remarquables, avec son aspect noir ou noir-grisâtre résultant de l'absorption d'électrons dans sa structure cristalline, sans fluorescence notable ou activité optique. Électriquement, il possède une conductivité modérée (résistivité $\sim 20 \mu\Omega \cdot cm$), nettement inférieure à celle du tungstène métallique (W, Tungstène), mais suffisante pour des applications telles que l'usinage par décharge électrique. Magnétiquement, le carbure de tungstène (WC, carbure de tungstène) ne présente pas de propriétés significatives, sa valeur étant principalement enracinée dans des attributs mécaniques plutôt que dans des caractéristiques physiques.

Pourboire

Les diverses méthodes de préparation et la dureté et la résistance à l'usure exceptionnelles du carbure de tungstène (WC, carbure de tungstène) le rendent irremplaçable dans les applications industrielles ; L'approvisionnement doit se concentrer sur la taille et la pureté des particules adaptées à des utilisations spécifiques.

6.2 Nitrure de tungstène (WN, nitrure de tungstène)

Le nitrure de tungstène (WN, nitrure de tungstène) est un composé formé de tungstène (W, Tungstène) et d'azote, avec un champ d'application plus étroit par rapport au carbure de tungstène (WC, carbure de tungstène), mais il détient une valeur unique dans les revêtements résistants à l'usure, les matériaux électroniques et les films minces à haute dureté. Son aspect gris foncé et ses excellentes propriétés physiques font du nitrure de tungstène (WN, nitrure de tungstène) une gemme moins connue de la famille chimique du tungstène, sa recherche et son développement ouvrant de nouvelles possibilités en science des matériaux.

6.2.1 Processus de préparation

La préparation du nitrure de tungstène (WN, nitrure de tungstène) repose principalement sur des techniques de nitruration à haute température ou de dépôt en phase gazeuse, nécessitant un contrôle précis pour garantir la qualité du produit.

Méthode de nitruration à haute température

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(Nitridation de poudre de tungstène)

La méthode de nitruration à haute température fait réagir la poudre de tungstène (poudre W, poudre de tungstène) avec de l'azote gazeux (N_2) ou de l'ammoniac (NH_3) à 1000-1200°C pour former du nitrure de tungstène (WN, nitrure de tungstène), représenté par l'équation : $W + N_2 \rightarrow WN$. Ce processus est mené dans un vide ou une atmosphère inerte pour éviter les interférences d'oxygène, ce qui donne une poudre gris foncé. Sa simplicité et sa capacité à utiliser de la poudre de tungstène facilement disponible (poudre W, poudre de tungstène) le rendent adapté à la production industrielle.

Méthode de dépôt en phase gazeuse

(CVD ou PVD)

La méthode de dépôt en phase gazeuse utilise le dépôt chimique en phase vapeur (CVD) ou le dépôt physique en phase vapeur (PVD) pour faire réagir l'hexafluorure de tungstène (WF_6 , hexafluorure de tungstène) ou le tungstène (W, tungstène) avec une source d'azote (par exemple, l'ammoniac) à 600-900°C, formant des films minces de nitrure de tungstène (WN, nitrure de tungstène). Cette technique produit des films de haute pureté, couramment utilisés pour les revêtements résistants à l'usure et les composants électroniques, nécessitant un équipement spécialisé pour contrôler l'épaisseur et l'uniformité du film.

6.2.2 Structure cristalline et composition moléculaire

Le nitrure de tungstène (WN, nitrure de tungstène) adopte généralement une structure cristalline cubique, avec des atomes de tungstène et d'azote liés dans un rapport de 1:1 par un réseau covalent. La recherche cristallographique russe note que sa structure en réseau ressemble à celle du carbure de tungstène (WC, carbure de tungstène), bien que l'incorporation d'azote entraîne une dureté légèrement inférieure (dureté de Mohs ~ 8) et une densité d'environ 14,5 g / cm³ [17]. Les fortes liaisons covalentes dans sa composition moléculaire contribuent à ses propriétés mécaniques robustes et à sa résistance à la corrosion.

6.2.3 Stabilité thermique et chimique

Le nitrure de tungstène (WN, nitrure de tungstène) reste stable jusqu'à environ 1000°C dans des atmosphères inertes, mais s'oxyde en trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène) au-dessus de 600°C dans des conditions riches en oxygène, présentant une stabilité thermique légèrement inférieure à celle du carbure de tungstène (WC, carbure de tungstène). Chimiquement, il résiste à la corrosion des acides et des bases, bien qu'il se décompose progressivement dans des environnements fortement oxydants (par exemple, l'acide nitrique concentré). Sa résistance à la corrosion améliore son aptitude aux applications de revêtement.

6.2.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Les propriétés optiques du nitrure de tungstène (WN, nitrure de tungstène) ne sont pas remarquables, son aspect gris foncé manquant d'activité optique significative. Électriquement, il fonctionne comme un semi-conducteur (bande interdite ~1,8-2,2 eV) avec une conductivité modérée, ce qui le rend viable pour les matériaux électroniques. Magnétiquement, le nitrure de tungstène (WN, nitrure de tungstène) ne présente pas de propriétés notables, ses applications étant principalement motivées par des attributs mécaniques et électriques.

Pourboire

La préparation du nitrure de tungstène (WN, nitrure de tungstène) nécessite un contrôle rigoureux de la nitruration, et son potentiel dans les revêtements résistants à l'usure et les matériaux électroniques mérite d'être exploré plus avant.

6.3 Autres carbures et nitrures de tungstène

Au-delà du carbure de tungstène (WC, carbure de tungstène) et du nitrure de tungstène (WN, nitrure de tungstène), la famille du carbure et du nitrure de tungstène comprend des composés tels que le carbure de tungstène (W_2C , carbure de ditungstène) et le carbonitride de tungstène ($WC_{1-x}N_x$, carbonitride de tungstène), qui offrent une valeur unique dans des applications spécifiques résistantes à l'usure et à haute température.

6.3.1 Processus de préparation

Les processus de préparation de ces autres carbures et nitrures de tungstène impliquent généralement des réactions à haute température ou des techniques composites.

Méthode de carbonatation contrôlée du carbure de ditungstène

(W_2C , carbure de ditungstène)Le

carbure de ditungstène (W_2C , carbure de ditungstène) est synthétisé en faisant réagir le tungstène (W, Tungstène) avec du carbone à 1200-1400°C, en contrôlant soigneusement le rapport de carbone pour éviter la formation excessive de carbure de tungstène (WC, carbure de tungstène). Cette méthode garantit la structure en carbure divalent souhaitée.

Méthode de codiffusion carbone-azote pour le carbonitride de tungstène

($WC_{1-x}N_x$, carbonitride de tungstène)Le carbonitride de

tungstène ($WC_{1-x}N_x$, carbonitride de tungstène) est préparé en faisant réagir du tungstène (W, Tungstène) ou du carbure de tungstène (WC, carbure de tungstène) avec de l'azote et une source de carbone à 800-1000°C, formant une structure composite par co-diffusion d'atomes de carbone et d'azote.

6.3.2 Structure cristalline et composition moléculaire

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Le carbure de ditungstène (W_2C , carbure de ditungstène) présente une structure cristalline hexagonale avec un rapport tungstène/carbone de 2:1, ce qui donne un réseau moins dense que le carbure de tungstène (WC , carbure de tungstène). Le carbonitride de tungstène ($WC_{1-x}N_x$, carbonitride de tungstène) forme une structure cristalline composite, avec des atomes de carbone et d'azote qui se substituent partiellement pour créer une solution solide, améliorant ainsi ses propriétés.

6.3.3 Stabilité thermique et chimique

Le carbure de ditungstène (W_2C , carbure de ditungstène) reste stable en dessous de $2000^{\circ}C$ mais se décompose dans les atmosphères oxydantes. Le carbonitride de tungstène ($WC_{1-x}N_x$, carbonitride de tungstène) combine la stabilité des carbures et des nitrures, résistant à des températures allant jusqu'à environ $1500^{\circ}C$, offrant des performances robustes dans des conditions exigeantes.

6.3.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Le carbure de ditungstène (W_2C , carbure de ditungstène) et le carbonitride de tungstène ($WC_{1-x}N_x$, carbonitride de tungstène) manquent d'activité optique significative, avec une conductivité électrique modérée adaptée à des applications spécifiques, et aucune propriété magnétique notable, leur valeur résidant dans les performances mécaniques.

Pourboire

D'autres carbures et nitrures de tungstène, tels que le carbure de ditungstène (W_2C , carbure de ditungstène), excellent en termes de résistance à l'usure et d'utilisation à haute température ; la sélection doit se concentrer sur leurs propriétés spécifiques pour des applications ciblées.

Sources d'information

[16] *Principes fondamentaux de la chimie du tungstène* (allemand) - H.C. Starck GmbH, Munich, 1998 [17] *Propriétés des composés de tungstène* (russe) - Département de chimie, Université d'État de Moscou, Moscou, 2000 [20] Chinatungsten Online WeChat Public Account [22] Industrie du tungstène en Chine : www.ctia.com.cn

Références

[1] *L'histoire et les applications du tungstène* (suédois) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990 [2] *Une brève histoire de la chimie du tungstène* (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005 [3] Chinatungsten Online : www.chinatungsten.com [4] *Études sur la dénomination du tungstène* (multilingue) - Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC), Londres, 1990 [5] *Applications du tungstène dans la révolution industrielle britannique* (anglais) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985 [6] *Industrialisation précoce des produits chimiques à base de tungstène* (français) - Société Chimique de France, Paris, 1990 [7] *Rapport sur la distribution mondiale des*

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ressources en tungstène (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] Études sur les propriétés physiques du tungstène (Anglais) - Transactions philosophiques de la Royal Society, Londres, 1810[9] Le tungstène dans le tableau périodique (russe) - Société chimique russe, Moscou, 1870[10] Applications du tungstène dans la métallurgie russe (russe) - Département de chimie, Université de Moscou, Moscou, 1890[11] Applications du tungstène dans l'industrie électronique japonaise (japonais) - Rapport de recherche de l'Institut de technologie de Tokyo, Tokyo, 1925[12] Enregistrements minéralogiques dans la région arabe (arabe) - Département de géologie, Université du Caire, Le Caire, 1900[13] Analyse du marché mondial des produits à base de tungstène 2023 (anglais) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023[14] Applications pionnières du tungstène dans la recherche (anglais) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Industrie chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn
[16] Principes fondamentaux de la chimie du tungstène (allemand) - H.C. Starck GmbH, Munich, 1998[17] Propriétés des composés du tungstène (russe) - Département de chimie, Université d'État de Moscou, Moscou, 2000[18] Chimie à haute température des oxydes de tungstène (russe) - Académie russe des sciences, Moscou, 1995[19] Stabilité chimique des tungstènes (anglais) - Journal of Materials Science, Springer, 2000[20] Recherche sur les matériaux électroniques sur les oxydes de tungstène (japonais) - Tokyo University Press, Tokyo, 2010[21] Composés organométalliques de tungstène (anglais) - Organométalliques, ACS Publications, 2005[22] Industrie chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn



Quels sont les produits chimiques du tungstène ? Chapitre 7 : Préparation et applications des sulfures de tungstène et des phosphures

7.1 Disulfure de tungstène (WS_2 , disulfure de tungstène)

[Le disulfure de tungstène \(\$WS_2\$, disulfure de tungstène\)](#) est l'un des sulfures les plus importants de la famille chimique du tungstène (W, Tungstène), célèbre pour sa structure en couches unique, son faible coefficient de frottement et son pouvoir lubrifiant exceptionnel. En tant que lubrifiant solide exceptionnel, le disulfure de tungstène (WS_2 , disulfure de tungstène) trouve de nombreuses applications dans les industries mécaniques, les environnements à haute température et la recherche sur les matériaux bidimensionnels. Sa forme de poudre ou de flocon gris foncé à noir dissimule des capacités de performance remarquables, traçant un chemin de développement allant des lubrifiants traditionnels aux nanotechnologies de pointe, démontrant les diverses contributions de la chimie du tungstène à la science des matériaux.

7.1.1 Processus de préparation

La préparation du disulfure de tungstène (WS_2 , Tungsten Disulfide) englobe une variété de méthodes, y compris la sulfuration à haute température et le dépôt chimique en phase vapeur, adaptées pour répondre à diverses exigences en matière de taille et de pureté des particules.

Méthode de sulfuration à haute température (Sulfidation en poudre de tungstène)

La méthode de sulfuration à haute température fait réagir la [poudre de tungstène \(poudre W, poudre de tungstène\)](#) avec la poudre de soufre (S) à des températures allant de 600°C

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

à 900°C pour produire du disulfure de tungstène (WS_2 , disulfure de tungstène), en suivant l'équation : $W + 2S \rightarrow WS_2$. Ce processus est généralement mené dans un vide ou une atmosphère inerte (par exemple, l'argon) pour éviter l'oxydation, ce qui donne une poudre grise profonde. Après la réaction, le produit est broyé et tamisé pour obtenir des particules uniformes. Largement utilisée dans la production industrielle en raison de sa simplicité et de la disponibilité des matières premières, cette méthode domine la fabrication de matériaux lubrifiants.

Méthode de dépôt chimique en phase vapeur (CVD)

La méthode de dépôt chimique en phase vapeur (CVD) utilise du [trioxyde de tungstène \(\$WO_3\$, trioxyde de tungstène\)](#) ou [de l'hexafluorure de tungstène \(\$WF_6\$, hexafluorure de tungstène\)](#) réagissant avec le sulfure d'hydrogène (H_2S) à 400-700°C pour former des films minces de disulfure de tungstène (WS_2 , disulfure de tungstène). Cette technique peut produire du disulfure de tungstène monocouche ou multicouche (WS_2 , disulfure de tungstène), ce qui la rend idéale pour la recherche sur les matériaux bidimensionnels et les dispositifs électroniques. La réaction se produit dans des réacteurs spécialisés, nécessitant un contrôle précis du débit de gaz et de la température pour garantir la qualité du film.

Méthode d'exfoliation mécanique

La méthode d'

exfoliation mécanique sépare les nanofeuilles du disulfure de tungstène en vrac (WS_2 , disulfure de tungstène) à l'aide de techniques physiques (par exemple, l'exfoliation par ultrasons ou le ruban adhésif), couramment utilisées dans les laboratoires pour préparer du disulfure de tungstène monocouche de haute pureté (WS_2 , disulfure de tungstène). Bien que limitée en termes de rendement, cette méthode préserve l'intégrité de la structure en couches, ce qui la rend précieuse pour la recherche fondamentale et l'exploration des nanotechnologies.

7.1.2 Structure cristalline et composition moléculaire

Le disulfure de tungstène (WS_2 , disulfure de tungstène) présente une structure cristalline hexagonale en couches, avec des atomes de tungstène pris en sandwich entre deux couches d'atomes de soufre, formant une unité bidimensionnelle en forme de « sandwich » maintenue ensemble par de faibles forces de van der Waals entre les couches adjacentes. Des études cristallographiques allemandes indiquent que cette structure stratifiée se traduit par une faible résistance au cisaillement (coefficient de frottement $\sim 0,03-0,1$) et un pouvoir lubrifiant élevé [16]. Dans sa composition moléculaire, chaque atome de tungstène se lie de manière covalente à deux atomes de soufre, avec un espacement intercouche d'environ 6,18 Å, contribuant à ses excellentes performances en matière de glissement mécanique et d'exfoliation.

7.1.3 Stabilité thermique et chimique

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Le disulfure de tungstène (WS_2 , disulfure de tungstène) présente une stabilité thermique exceptionnelle dans les atmosphères inertes, résistant à des températures allant jusqu'à environ $1200^{\circ}C$ sans dégradation. Cependant, dans les environnements riches en oxygène, il s'oxyde au-dessus de $350^{\circ}C$ pour former du trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène) et du dioxyde de soufre (SO_2), limitant ainsi son utilisation dans des conditions d'oxydation à haute température. Chimiquement, il résiste à la corrosion des acides et des bases, mais se décompose progressivement sous l'effet d'oxydants puissants (par exemple, le peroxyde d'hydrogène). La recherche russe sur les matériaux met en évidence sa stabilité thermique et son inertie chimique, ce qui le rend très efficace dans les applications de lubrification à haute température [17].

7.1.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Les propriétés optiques du disulfure de tungstène (WS_2 , disulfure de tungstène) varient avec l'épaisseur de la couche ; le disulfure de tungstène monocouche (WS_2 , disulfure de tungstène) possède une bande interdite directe ($\sim 2,0$ eV), présentant une fluorescence, tandis que les formes multicouches ont une bande interdite indirecte ($\sim 1,3$ eV), réduisant l'activité optique. Électriquement, il fonctionne comme un semi-conducteur, les couches uniques offrant une conductivité supérieure à celle des multicouches, ce qui le rend adapté aux dispositifs optoélectroniques. Magnétiquement, le disulfure de tungstène (WS_2 , disulfure de tungstène) ne présente pas de propriétés significatives, ses applications étant principalement déterminées par le pouvoir lubrifiant et les caractéristiques électriques.

Pourboire

Les méthodes de préparation flexibles et la structure en couches du disulfure de tungstène (WS_2 , disulfure de tungstène) lui confèrent un avantage unique en matière de lubrification et de matériaux bidimensionnels ; La sélection doit tenir compte du nombre de couches et de la pureté en fonction des besoins de l'application.

7.2 Phosphore de tungstène (WP, phosphore de tungstène)

Le phosphore de tungstène (WP, Tungsten Phosphide) est un composé formé entre le tungstène (W, Tungstène) et le phosphore, avec un champ d'application plus limité par rapport au disulfure de tungstène (WS_2 , Tungsten Disulfide), mais il a une valeur spécifique dans les catalyseurs et les matériaux résistants à l'usure. Son aspect gris-noir et ses excellentes propriétés catalytiques positionnent le phosphore de tungstène (WP, Tungsten Phosphide) comme un acteur discret mais percutant de la famille chimique du tungstène, ses recherches apportant de nouvelles voies à la catalyse et à la science des matériaux.

7.2.1 Processus de préparation

La préparation du phosphore de tungstène (WP, Tungsten Phosphide) implique

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

principalement des techniques de phosphation à haute température ou de réduction chimique, nécessitant un contrôle précis des conditions de réaction.

Méthode de phosphation à haute température (Phosphation en poudre de tungstène)

La méthode de phosphation à haute température fait réagir la poudre de tungstène (poudre W, poudre de tungstène) avec de la poudre de phosphore (P) ou de la phosphine (PH₃) à 800-1000°C pour former du phosphure de tungstène (WP, phosphure de tungstène), en suivant l'équation : $W + P \rightarrow WP$. Ce processus se produit dans un réacteur scellé pour exclure l'oxygène, produisant une poudre gris-noir. Il convient à la fois à la production industrielle et à petite échelle en raison de son processus simple et de l'utilisation des ressources en tungstène disponibles.

Méthode de réduction chimique (Phosphation d'oxyde)

La méthode de réduction chimique prépare le phosphure de tungstène (WP, Tungsten Phosphide) en faisant réagir le trioxyde de tungstène (WO₃, Tungsten Trioxide) avec une source de phosphore (par exemple, le phosphore rouge) dans une atmosphère d'hydrogène à 700-900°C. Cette technique peut produire des particules à l'échelle nanométrique, idéales pour le développement de catalyseurs, avec un dosage minutieux du phosphore nécessaire pour empêcher la formation de phosphures inférieurs.

7.2.2 Structure cristalline et composition moléculaire

Le phosphure de tungstène (WP, phosphure de tungstène) adopte généralement une structure cristalline orthorhombique, avec des atomes de tungstène et de phosphore liés dans un rapport de 1:1 au sein d'un réseau covalent. Les recherches indiquent que son réseau relativement dense (densité ~12,5 g/cm³) et l'incorporation de phosphore renforcent son activité catalytique [17]. Les liaisons covalentes tungstène-phosphore dans sa composition moléculaire contribuent à sa dureté élevée et à sa stabilité chimique.

7.2.3 Stabilité thermique et chimique

Le phosphure de tungstène (WP, phosphure de tungstène) reste stable jusqu'à environ 900 °C dans des atmosphères inertes, mais s'oxyde en trioxyde de tungstène (WO₃, trioxyde de tungstène) et en oxydes de phosphore au-dessus de 500 °C dans des conditions riches en oxygène. Chimiquement, il résiste à la corrosion des acides et des bases, mais se décompose progressivement sous l'effet d'oxydants puissants, sa stabilité soutenant ses performances dans les réactions catalytiques.

7.2.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Le phosphure de tungstène (WP, Tungsten Phosphide) ne présente aucune activité optique

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

significative, son aspect gris-noir manquant de traits optiques distinctifs. Électriquement, il s'agit d'un semi-conducteur à bande interdite étroite (~0,8-1,2 eV) à conductivité modérée, adapté comme support de catalyseur. Magnétiquement, il ne présente aucune propriété notable, sa valeur principale dérivant des capacités catalytiques.

Pourboire

La préparation du phosphore de tungstène (WP, Tungsten Phosphide) nécessite un contrôle précis de la phosphidation, et son potentiel en catalyse mérite une attention particulière.

7.3 Autres sulfures et phosphures de tungstène

En plus du disulfure de tungstène (WS_2 , disulfure de tungstène) et du phosphore de tungstène (WP, Tungsten Phosphide), la famille des sulfures et des phosphures de tungstène comprend des composés tels que le trisulfure de ditungstène (W_2S_3 , trisulfure de ditungstène) et le diphosphure de tungstène (WP_2 , diphosphure de tungstène), qui offrent des avantages distincts dans des applications spécifiques de catalyse et de haute dureté.

7.3.1 Processus de préparation

La préparation de ces autres sulfures et phosphures de tungstène implique généralement des techniques de réaction à haute température.

Procédé de sulfuration contrôlée pour le trisulfure de ditungstène

(W_2S_3 , Trisulfure de ditungstène)Le

trisulfure de ditungstène (W_2S_3 , Trisulfure de ditungstène) est synthétisé en faisant réagir le tungstène (W, Tungstène) avec du soufre à 500-700°C, en contrôlant le rapport de soufre pour éviter une sulfuration excessive.

Méthode de phosphation à haute température pour le diphosphure de tungstène

(WP_2 , Diphosphure de tungstène)

Le diphosphure de tungstène (WP_2 , Diphosphure de tungstène) est préparé en faisant réagir le tungstène (W, Tungstène) avec un excès de phosphore à 900-1100°C, formant un composé riche en phosphore.

7.3.2 Structure cristalline et composition moléculaire

Le trisulfure de ditungstène (W_2S_3 , trisulfure de ditungstène) présente une structure cristalline orthorhombique avec un rapport tungstène/soufre de 2:3, ce qui donne un réseau relativement lâche. Le diphosphure de tungstène (WP_2 , diphosphure de tungstène) adopte une structure monoclinique avec un rapport tungstène/phosphore de 1:2, améliorant ainsi son activité catalytique.

7.3.3 Stabilité thermique et chimique

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Le trisulfure de ditungstène (W_2S_3 , ditungstène trisulfure) reste stable en dessous de $800^{\circ}C$ mais s'oxyde facilement dans des conditions riches en oxygène. Le diphosphure de tungstène (WP_2 , diphosphure de tungstène) résiste à des températures allant jusqu'à environ $1000^{\circ}C$, présentant une forte stabilité chimique.

7.3.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Le trisulfure de ditungstène (W_2S_3 , disulfure de ditungstène) et le diphosphure de tungstène (WP_2 , diphosphure de tungstène) manquent d'activité optique significative, présentent une conductivité électrique modérée adaptée à des applications spécifiques et ne présentent aucune propriété magnétique notable, leur valeur étant principalement dans les performances catalytiques.

Pourboire

D'autres sulfures et phosphures de tungstène, tels que le trisulfure de ditungstène (W_2S_3 , ditungstène trisulfure), offrent des avantages uniques en catalyse ; la sélection doit se concentrer sur leur composition chimique.

Sources d'information

[16] *Principes fondamentaux de la chimie du tungstène* (allemand) - H.C. Starck GmbH, Munich, 1998[17] *Propriétés des composés de tungstène* (russe) - Département de chimie, Université d'État de Moscou, Moscou, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] Industrie du tungstène en Chine : www.ctia.com.cn

Références

[1] *L'histoire et les applications du tungstène* (suédois) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990[2] *Une brève histoire de la chimie du tungstène* (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online : www.chinatungsten.com
[4] *Études sur la dénomination du tungstène* (multilingue) - Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC), Londres, 1990[5] *Applications du tungstène dans la révolution industrielle britannique* (anglais) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Industrialisation précoce des produits chimiques à base de tungstène* (français) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Rapport sur la distribution mondiale des ressources en tungstène* (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Études sur les propriétés physiques du tungstène* (Anglais) - Transactions philosophiques de la Royal Society, Londres, 1810[9] *Le tungstène dans le tableau périodique* (russe) - Société chimique russe, Moscou, 1870[10] *Applications du tungstène dans la métallurgie russe* (russe) - Département de chimie, Université de Moscou, Moscou, 1890[11] *Applications du tungstène dans l'industrie électronique japonaise* (japonais) - Rapport de recherche de l'Institut de technologie de Tokyo, Tokyo, 1925[12] *Enregistrements minéralogiques dans la région arabe* (arabe) - Département de géologie, Université du Caire, Le Caire, 1900[13] *Analyse du marché mondial des produits à base de tungstène 2023* (anglais) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023[14] *Applications pionnières du tungstène dans la recherche* (anglais) - National Institutes of Health (NIH),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Bethesda, 2018[15] Industrie chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn

[16] *Principes fondamentaux de la chimie du tungstène* (allemand) - H.C. Starck GmbH, Munich, 1998[17]

Propriétés des composés du tungstène (russe) - Département de chimie, Université d'État de Moscou, Moscou,

2000[18] *Chimie à haute température des oxydes de tungstène* (russe) - Académie russe des sciences, Moscou,

1995[19] *Stabilité chimique des tungstènes* (anglais) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Recherche*

sur les matériaux électroniques sur les oxydes de tungstène (japonais) - Tokyo University Press, Tokyo, 2010[21]

Composés organométalliques de tungstène (anglais) - *Organométalliques*, ACS Publications, 2005[22] Industrie

chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn



Quels sont les produits chimiques du tungstène ?

Chapitre 8 :

Préparation et applications des composés organométalliques de tungstène

8.1 Hexacarbonyle de tungstène ($W(CO)_6$, Hexacarbonyle de tungstène)

[L'hexacarbonyle de tungstène \(\$W\(CO\)_6\$, Tungsten Hexacarbonyl\)](#) est le composé organométallique le plus représentatif du tungstène (W, Tungstène), réputé pour sa haute volatilité, son activité chimique de coordination et ses capacités catalytiques dans la synthèse organique. En tant que composé métallique carbonyle classique, l'hexacarbonyle de tungstène ($W(CO)_6$, Tungsten Hexacarbonyl) présente un large potentiel d'application dans la préparation de catalyseurs, les réactions organiques et le dépôt de couches minces. Son aspect cristallin blanc et son odeur distinctive démentent son rôle central en chimie, avec une trajectoire de développement allant de la recherche en laboratoire aux applications industrielles qui met en évidence l'extension de la chimie du tungstène dans le domaine de la chimie organique.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8.1.1 Processus de préparation

La préparation de l'hexacarbonyle de tungstène ($W(CO)_6$, Tungsten Hexacarbonyl) implique diverses méthodes, notamment des techniques de carbonylation à haute pression et de carbonylation réductrice, adaptées pour répondre aux différentes exigences de pureté et d'application.

Méthode de carbonylation à haute pression (Carbonylation de la poudre de tungstène)

La méthode de carbonylation à haute pression fait réagir la [poudre de tungstène \(poudre W, poudre de tungstène\)](#) avec le monoxyde de carbone (CO) sous haute pression (100-200 atm) et à des températures élevées (200-300°C) pour produire de l'hexacarbonyle de tungstène ($W(CO)_6$, Tungsten Hexacarbonyl), en suivant l'équation : $W + 6CO \rightarrow W(CO)_6$. Ce processus nécessite un autoclave à haute pression, souvent avec des catalyseurs (par exemple, des iodures) ajoutés pour améliorer l'efficacité de la réaction. Le produit précipite sous forme de cristaux blancs, qui sont purifiés par sublimation pour produire de l'hexacarbonyle de tungstène de haute pureté ($W(CO)_6$, Tungsten Hexacarbonyl). Cette méthode est un pilier dans les environnements industriels et de laboratoire en raison de sa franchise et de son rendement élevé.

Méthode de carbonylation réductrice (Réduction des halogénures)

La méthode de carbonylation réductrice prépare l'hexacarbonyle de tungstène ($W(CO)_6$, Hexacarbonyle de tungstène) en faisant réagir [l'hexachlorure de tungstène \(\$WCl_6\$, Hexachlorure de tungstène\)](#) avec du monoxyde de carbone en présence d'un agent réducteur (par exemple, de la poudre de zinc ou d'aluminium) à 150-250°C. Cette réaction doit se produire dans des conditions anhydres et sans oxygène pour éviter la formation de sous-produits. Adaptée à la production à petite échelle, cette méthode exploite les halogénures de tungstène intermédiaires, améliorant ainsi l'utilisation des ressources et est couramment utilisée pour la synthèse de composés organométalliques de haute pureté.

Méthode de synthèse en phase gazeuse

La

méthode de synthèse en phase gazeuse consiste à faire réagir le tungstène (W, Tungstène) ou ses composés avec le monoxyde de carbone en phase vapeur sous haute pression (50-100 atm) et à des températures d'environ 300°C, formant directement du gaz hexacarbonyle de tungstène ($W(CO)_6$, Tungsten Hexacarbonyl), qui est ensuite condensé en cristaux. Cette technique excelle dans l'élimination des impuretés à l'état de traces, produisant du tungstène hexacarbonyle de très haute pureté ($W(CO)_6$, Tungsten Hexacarbonyl) idéal pour les matériaux électroniques et la recherche sur les catalyseurs de précision.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8.1.2 Structure cristalline et composition moléculaire

L'hexacarbonyle de tungstène ($W(CO)_6$, Tungsten Hexacarbonyl) adopte une structure cristalline octaédrique, avec un atome central de tungstène coordonné à six ligands carbonyles (CO) via des liaisons de coordination, formant une unité moléculaire symétrique $W(CO)_6$. Des études cristallographiques allemandes indiquent que cette configuration octaédrique contribue à sa forte volatilité (point de fusion $\sim 170^\circ C$, point de sublimation $\sim 175^\circ C$), ce qui la rend très efficace dans les réactions en phase gazeuse [16]. Dans sa composition moléculaire, l'atome de tungstène est dans un état d'oxydation zéro, les fortes propriétés σ -donneur et π -accepteur des ligands carbonyles améliorant sa stabilité chimique, facilitant les réactions de coordination ou de substitution avec d'autres ligands dans les processus organiques.

8.1.3 Stabilité thermique et chimique

L'hexacarbonyle de tungstène ($W(CO)_6$, Tungsten Hexacarbonyl) présente une stabilité thermique modérée dans des conditions sans oxygène ni eau, maintenant sa structure cristalline en dessous d'environ $150^\circ C$. Cependant, à des températures plus élevées ou dans l'air, il se décompose en monoxyde de carbone et en oxydes de tungstène. Chimiquement, il est relativement instable, sensible à la lumière et à l'oxygène, se décomposant sous l'irradiation UV ou en présence d'oxygène en tungstène (W, Tungstène) et en monoxyde de carbone, nécessitant un stockage et une manipulation dans une atmosphère inerte. La recherche chimique russe met en évidence sa forte activité de coordination, le positionnant comme un précurseur catalyseur efficace dans la synthèse organique [17].

8.1.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Les propriétés optiques de l'hexacarbonyle de tungstène ($W(CO)_6$, Tungsten Hexacarbonyl) sont évidentes dans son aspect cristallin blanc, résultant de transitions d'électrons impliquant les ligands carbonyles, bien qu'il ait une utilité limitée dans les applications optiques. Électriquement, c'est un isolant à l'état solide, mais sous forme gazeuse ou en solution, il peut présenter une légère conductivité due à la décomposition. Magnétiquement, l'hexacarbonyle de tungstène ($W(CO)_6$, Tungsten Hexacarbonyl) ne présente aucune propriété significative, ses applications principales reposant sur sa chimie de coordination plutôt que sur ses caractéristiques physiques.

Pourboire

La préparation de l'hexacarbonyle de tungstène ($W(CO)_6$, Tungsten Hexacarbonyl) nécessite l'exclusion stricte de l'oxygène et de la lumière ; son activité de coordination offre des avantages significatifs en matière de catalyse et de synthèse organique, l'approvisionnement se concentrant sur la pureté et les conditions de stockage.

8.2 Dichlorure de tungsténocène (Cp_2WCl_2 , dichlorure de tungsténocène)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Le dichlorure de tungsténocène (Cp_2WCl_2 , dichlorure de tungsténocène) est un composé organométallique clé du tungstène, qui se distingue par sa structure métallocène stable et sa réactivité en chimie organométallique. En tant que membre de la famille des métallocènes, le dichlorure de tungsténocène (Cp_2WCl_2 , dichlorure de tungsténocène) a une valeur unique dans la préparation de catalyseurs, la synthèse organique et la recherche en science des matériaux. Son aspect cristallin vert et sa polyvalence chimique le distinguent des produits chimiques à base de tungstène, son étude faisant progresser l'application des composés organométalliques de tungstène dans la chimie moderne.

8.2.1 Processus de préparation

La préparation du dichlorure de tungsténocène (Cp_2WCl_2 , dichlorure de tungsténocène) repose principalement sur des techniques de réaction de coordination, menées dans des conditions anhydres et sans oxygène pour garantir la qualité du produit.

Méthode de coordination des halogénures (Réaction à l'hexachlorure de tungstène)

La méthode de coordination des halogénures synthétise le dichlorure de tungsténocène (Cp_2WCl_2 , dichlorure de tungsténocène) en faisant réagir l'hexachlorure de tungstène (WCl_6 , hexachlorure de tungstène) avec du cyclopentadiénure de sodium ($NaCp$) dans un solvant comme le tétrahydrofurane (THF) à des températures allant de $-78^{\circ}C$ à température ambiante, en suivant l'équation : $WCl_6 + 2NaCp \rightarrow Cp_2WCl_2 + 2NaCl + 2Cl_2$. Ce processus nécessite une atmosphère inerte (par exemple, de l'azote ou de l'argon), le produit de réaction étant extrait et recristallisé pour donner des cristaux verts. Prédominante dans la synthèse en laboratoire, cette méthode permet un contrôle précis de la coordination des ligands, idéal pour la production de dichlorure de tungsténocène de haute pureté (Cp_2WCl_2 , dichlorure de tungsténocène).

Méthode de coordination réductrice (Substrat de trioxyde de tungstène)

La méthode de coordination réductrice prépare le dichlorure de tungsténocène (Cp_2WCl_2 , dichlorure de tungsténocène) en faisant réagir [le trioxyde de tungstène \(\$WO_3\$, trioxyde de tungstène\)](#) avec un agent réducteur (par exemple, de la poudre de zinc) et du cyclopentadiène (C_5H_6) en présence d'un agent chlorant (par exemple, PCl_5) à $100-150^{\circ}C$. Réalisé dans des conditions anhydres, le produit est obtenu par extraction par solvant et purification. Cette méthode convient à la production à petite échelle, en exploitant les matières premières d'oxyde pour réduire les coûts, et est couramment utilisée dans la recherche en chimie organométallique.

8.2.2 Structure cristalline et composition moléculaire

Le dichlorure de tungsténocène (Cp_2WCl_2 , dichlorure de tungsténocène) adopte une

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

structure cristalline de type sandwich, avec deux ligands de cyclopentadiényle (Cp) parallèles l'un à l'autre autour d'un atome de tungstène central, et deux atomes de chlore positionnés sur le côté opposé, formant une structure à quatre coordonnées. La recherche chimique japonaise indique que cette configuration en sandwich améliore sa stabilité (en décomposition à $\sim 230^{\circ}\text{C}$), avec le tungstène à l'état d'oxydation +4, et les nuages d' π -électrons des ligands cyclopentadiényles formant de fortes liaisons de coordination avec le tungstène [20]. La composition moléculaire, caractérisée par des ligands Cp, confère son caractère organométallique, permettant une réactivité élevée dans les processus catalytiques.

8.2.3 Stabilité thermique et chimique

Le dichlorure de tungsténocène (Cp_2WCl_2 , dichlorure de tungsténocène) présente une bonne stabilité thermique dans des conditions sans oxygène, conservant sa structure en dessous d'environ 200°C . Cependant, en présence d'oxygène ou d'humidité, il se décompose en oxydes de tungstène et en sous-produits organiques, nécessitant un stockage dans une atmosphère inerte. Chimiquement, il a une stabilité modérée, étant sensible à l'eau et aux oxydants, sa structure de coordination contribuant à une réactivité significative dans les réactions organiques, comme l'ont noté les études de recherche [21].

8.2.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Les propriétés optiques du dichlorure de tungsténocène (Cp_2WCl_2 , dichlorure de tungsténocène) se reflètent dans son aspect cristallin vert, résultant des transitions d-électrons de l'atome de tungstène, bien qu'il n'ait pas d'utilité optique significative. Électriquement, c'est un isolant à l'état solide sans conductivité notable. Magnétiquement, le dichlorure de tungsténocène (Cp_2WCl_2 , dichlorure de tungsténocène) ne présente aucune propriété significative en raison de l'appariement des électrons d du tungstène, ses applications étant principalement déterminées par la réactivité chimique plutôt que par des traits physiques.

Pourboire

La préparation du dichlorure de tungsténocène (Cp_2WCl_2 , dichlorure de tungsténocène) nécessite des conditions anhydres et sans oxygène ; sa structure sandwich stable offre un potentiel en catalyse organométallique, l'approvisionnement mettant l'accent sur la pureté et la stabilité.

8.3 Autres composés organométalliques de tungstène

Au-delà de l'hexacarbonyle de tungstène ($\text{W}(\text{CO})_6$, Tungstène hexacarbonyle) et du dichlorure de tungsténocène (Cp_2WCl_2 , dichlorure de tungsténocène), la famille des composés organométalliques de tungstène comprend le tungsténocène tétracarbonyle ($\text{CpW}(\text{CO})_4$, tungsténocène tétracarbonyle) et les composés alkyl de tungstène (par exemple, $\text{W}(\text{CH}_3)_6$, hexaméthyltungstène), qui ont une valeur spécifique dans la recherche

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sur la catalyse et la synthèse organique.

8.3.1 Processus de préparation

La préparation de ces autres composés organométalliques de tungstène implique généralement des techniques de synthèse en laboratoire avec un contrôle précis des conditions de réaction.

Méthode de coordination carbonyle pour le tétracarbonyle de tungsténocène (CpW(CO)₄, Tungsténocène tétracarbonyle)

Le tétracarbonyle de tungsténocène (CpW(CO)₄, Tungsténocène tétracarbonyle) est synthétisé en faisant réagir le dichlorure de tungsténocène (Cp₂WCl₂, dichlorure de tungsténocène) avec du monoxyde de carbone sous haute pression (50-100 atm) et à basse température (0-50°C), en évitant la carbonylation excessive pour garantir le produit souhaité.

PROCÉDÉ D'ALKYLATION DE L'HEXAMÉTHYLTUNGSTÈNE (W(CH₃)₆, Hexaméthyltungstène)

L'hexaméthyltungstène (W(CH₃)₆, Hexaméthyltungstène) est préparé en faisant réagir l'hexachlorure de tungstène (WCl₆, Hexachlorure de tungstène) avec du méthyllithium (CH₃Li) à -78°C dans des conditions extrêmement sèches, nécessitant une manipulation méticuleuse en raison de son instabilité.

8.3.2 Structure cristalline et composition moléculaire

Le tétracarbonyle de tungsténocène (CpW(CO)₄, Tungsténocène tétracarbonyle) présente une structure de coordination monocyclopentadiényle, avec du tungstène lié à un ligand Cp et quatre ligands CO, formant un arrangement à cinq coordonnées. L'hexaméthyltungstène (W(CH₃)₆, Hexaméthyltungstène) adopte une structure octaédrique, avec six ligands méthyles entourant l'atome de tungstène, bien que sa stabilité soit notablement faible.

8.3.3 Stabilité thermique et chimique

Le tétracarbonyle de tungsténocène (CpW(CO)₄, tétracarbonyle de tungsténocène) est stable en dessous de 150 °C mais se décompose facilement dans les environnements riches en oxygène. L'hexaméthyltungstène (W(CH₃)₆, Hexaméthyltungstène) est extrêmement instable, se décomposant à température ambiante et nécessitant un stockage à basse température.

8.3.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Le tungsténocène tétracarbonyle (CpW(CO)₄, tungsténocène tétracarbonyle) et

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

l'hexaméthyltungstène ($W(CH_3)_6$, hexaméthyltungstène) ne présentent aucune activité optique significative, sont des isolants électriques et manquent de propriétés magnétiques notables, leur valeur étant principalement dans l'activité catalytique plutôt que dans les caractéristiques physiques.

Pourboire

D'autres composés organométalliques de tungstène offrent un potentiel dans la recherche sur la catalyse ; La sélection doit se concentrer sur leur stabilité et leur réactivité.

Sources d'information

[16] *Principes fondamentaux de la chimie du tungstène* (allemand) - H.C. Starck GmbH, Munich, 1998[17] *Propriétés des composés de tungstène* (russe) - Département de chimie, Université d'État de Moscou, Moscou, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] Industrie du tungstène en Chine : www.ctia.com.cn

Références

[1] *L'histoire et les applications du tungstène* (suédois) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990[2] *Une brève histoire de la chimie du tungstène* (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online : www.chinatungsten.com
[4] *Études sur la dénomination du tungstène* (multilingue) - Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC), Londres, 1990[5] *Applications du tungstène dans la révolution industrielle britannique* (anglais) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Industrialisation précoce des produits chimiques à base de tungstène* (français) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Rapport sur la distribution mondiale des ressources en tungstène* (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Études sur les propriétés physiques du tungstène* (Anglais) - Transactions philosophiques de la Royal Society, Londres, 1810[9] *Le tungstène dans le tableau périodique* (russe) - Société chimique russe, Moscou, 1870[10] *Applications du tungstène dans la métallurgie russe* (russe) - Département de chimie, Université de Moscou, Moscou, 1890[11] *Applications du tungstène dans l'industrie électronique japonaise* (japonais) - Rapport de recherche de l'Institut de technologie de Tokyo, Tokyo, 1925
[12] *Enregistrements minéralogiques dans la région arabe* (arabe) - Département de géologie, Université du Caire, Le Caire, 1900[13] *Analyse du marché mondial des produits à base de tungstène 2023* (anglais) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023[14] *Applications pionnières du tungstène dans la recherche* (anglais) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Industrie chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn
[16] *Principes fondamentaux de la chimie du tungstène* (allemand) - H.C. Starck GmbH, Munich, 1998[17] *Propriétés des composés de tungstène* (russe) - Département de chimie, Université d'État de Moscou, Moscou, 2000[18] *Chimie à haute température des oxydes de tungstène* (russe) - Académie russe des sciences, Moscou, 1995[19] *Stabilité chimique des tungstènes* (anglais) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Recherche sur les matériaux électroniques sur les oxydes de tungstène* (japonais) - Tokyo University Press, Tokyo, 2010[21] *Composés organométalliques de tungstène* (anglais) - *Organométalliques*, ACS Publications, 2005[22] Industrie chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Quels sont les produits chimiques du tungstène ?

Chapitre 9 :

Préparation et applications de catalyseurs et de réactifs contenant du tungstène

9.1 Acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$, acide phosphotungstique)

L'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$, acide phosphotungstique) est l'un des catalyseurs et réactifs contenant du tungstène les plus représentatifs et les plus largement appliqués, réputé pour sa forte acidité, sa forte activité catalytique et sa stabilité dans diverses réactions. En tant qu'acide hétéropoly typique, l'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$, acide phosphotungstique) excelle dans la synthèse organique, les processus pétrochimiques et la chimie analytique. Son aspect cristallin blanc ou jaune pâle dément son rôle central dans la catalyse, avec une trajectoire de développement allant des études de laboratoire aux applications industrielles qui souligne l'impact profond de la chimie du tungstène dans le domaine catalytique.

9.1.1 Processus de préparation

La préparation de l'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$, acide phosphotungstique) comprend diverses méthodes, y compris des techniques de purification par précipitation et extraction d'acides, adaptées pour répondre aux différentes exigences de pureté et d'application.

Méthode de précipitation acide

(Réaction au tungstate)

La méthode de précipitation acide consiste à faire réagir le tungstate de sodium (Na_2WO_4 , tungstate de sodium) avec de l'acide phosphorique (H_3PO_4) dans des conditions acides (généralement ajusté à pH 1-2 avec de l'acide chlorhydrique ou sulfurique) pour former de l'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$, acide phosphotungstique). L'équation de réaction est la suivante : $12Na_2WO_4 + H_3PO_4 + 21HCl \rightarrow H_3PW_{12}O_{40} + 24NaCl + 12H_2O$. Réalisé à 50-80°C, le produit précipite sous forme de cristaux blancs ou jaune pâle, qui sont filtrés,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

lavés et séchés (à ~100-150°C) pour obtenir le produit final. La simplicité de cette méthode et l'utilisation de matières premières accessibles la rendent répandue dans les environnements industriels et de laboratoire.

Méthode d'extraction et de purification (Extraction en solution)

La méthode de purification par extraction prépare l'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$, acide phosphotungstique) en acidifiant une solution contenant du tungstène (par exemple, une solution de tungstate) avec de l'acide phosphorique, suivie d'une extraction avec un solvant organique (par exemple, de l'éther diéthylique ou du butanone), puis d'une évaporation et d'une cristallisation ultérieures du solvant pour obtenir un produit pur. Cette technique élimine efficacement les impuretés, produisant de l'acide phosphotungstique de haute pureté ($H_3PW_{12}O_{40}$, acide phosphotungstique), couramment utilisé dans les réactifs analytiques et la recherche de catalyseurs de précision dans les environnements de laboratoire.

Méthode d'échange d'ions (Préparation de haute pureté)

La méthode d'échange d'ions mélange une solution de tungstate avec de l'acide phosphorique, la fait passer à travers une résine échangeuse d'ions pour isoler les ions phosphotungstique, puis acidifie la solution pour précipiter l'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$, acide phosphotungstique). Cette méthode excelle dans le contrôle des impuretés à l'état de traces, ce qui la rend adaptée à la préparation de produits de très haute pureté, souvent utilisée dans la catalyse avancée et les études scientifiques.

9.1.2 Structure cristalline et composition moléculaire

L'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$, acide phosphotungstique) adopte une structure hétéropolyacide de type Keggin, avec un atome de phosphore central entouré de 12 octaèdres tungstène-oxygène, formant une molécule en forme de cage hautement symétrique. Des études cristallographiques allemandes révèlent que cette structure confère une forte acidité ($pK_a < 0$) et une activité catalytique élevée, le cristal contenant généralement plusieurs molécules d'eau (généralement $H_3PW_{12}O_{40} \cdot nH_2O$, $n \approx 14-30$) [16]. Dans sa composition moléculaire, le tungstène est à l'état d'oxydation +6, le phosphore à l'état +5, liés par des ponts d'oxygène pour créer un cadre tridimensionnel stable qui maintient l'intégrité dans diverses conditions de réaction.

9.1.3 Stabilité thermique et chimique

L'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$, acide phosphotungstique) présente une bonne stabilité thermique dans des conditions sèches, conservant sa structure en dessous d'environ 300°C, au-dessus de laquelle il perd de l'eau cristalline et se décompose progressivement en trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène) et en oxydes de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

phosphore. Chimiquement, il est exceptionnellement stable dans les environnements acides, mais se décompose en tungstates et phosphates dans des conditions fortement alcalines. Les recherches russes sur la catalyse mettent en évidence sa forte acidité et sa stabilité, ce qui la rend très efficace dans les réactions catalysées par l'acide [17].

9.1.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Les propriétés optiques de l'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$, acide phosphotungstique) ne sont pas remarquables, ses cristaux blancs ou jaune pâle manquant d'activité optique significative, servant principalement à des fins chimiques plutôt qu'optiques. Électriquement, c'est un isolant à l'état solide mais présente une conductivité ionique en solution en raison de sa forte acidité. Magnétiquement, l'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$, acide phosphotungstique) ne présente aucune propriété notable, sa valeur étant enracinée dans ses performances catalytiques et son acidité.

Pourboire

Les méthodes de préparation flexibles et la forte acidité de l'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$, acide phosphotungstique) offrent des avantages significatifs en catalyse ; l'approvisionnement doit tenir compte de sa pureté et de son état d'hydratation.

9.2 Acide silicotungstique ($H_4SiW_{12}O_{40}$, acide silicotungstique)

L'acide silicotungstique ($H_4SiW_{12}O_{40}$, acide silicotungstique) est un autre hétéropolyacide crucial contenant du tungstène, qui se distingue par sa grande acidité, son activité redox et sa polyvalence dans la synthèse organique et les réactions catalytiques. En tant qu'acide hétéropoly de type Keggin, l'acide silicotungstique ($H_4SiW_{12}O_{40}$, acide silicotungstique) trouve de nombreuses applications dans la catalyse acide, les réactions d'oxydation et la recherche sur les piles à combustible. Son aspect cristallin incolore ou jaune clair dissimule ses puissantes capacités catalytiques, son étude et son application repoussant les frontières de la chimie du tungstène dans la chimie verte et les champs énergétiques.

9.2.1 Processus de préparation

La préparation de l'acide silicotungstique ($H_4SiW_{12}O_{40}$, acide silicotungstique) implique principalement des techniques de réaction acide et d'extraction, menées dans des conditions acides.

Méthode de réaction acide

(Silicate de sodium et réaction au tungstate)

La méthode de réaction acide synthétise l'acide silicotungstique ($H_4SiW_{12}O_{40}$, acide silicotungstique) en faisant réagir du silicate de sodium (Na_2SiO_3) avec du tungstate de sodium (Na_2WO_4 , tungstate de sodium) dans une solution acide (ajustée à pH 1-2 avec de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

l'acide chlorhydrique) à 60-90°C, en suivant l'équation : $12\text{Na}_2\text{WO}_4 + \text{Na}_2\text{SiO}_3 + 22\text{HCl} \rightarrow \text{H}_4\text{SiW}_{12}\text{O}_{40} + 26\text{NaCl} + 11\text{H}_2\text{O}$. Le produit précipite sous forme de cristaux, qui sont filtrés et séchés (à ~100-120°C) pour obtenir le composé final. L'accessibilité de cette méthode et son processus mature la rendent largement utilisée dans la production industrielle et en laboratoire.

Méthode d'extraction (purification en solution)

La méthode d'extraction consiste à acidifier une solution mixte contenant du tungstène et du silicium, à extraire l'acide silicotungstique ($\text{H}_4\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}$, acide silicotungstique) avec un solvant organique (par exemple, l'éther diéthylique), et à évaporer le solvant suivi d'une cristallisation pour produire un produit pur. Cette technique élimine efficacement les impuretés, ce qui permet d'obtenir de l'acide silicotungstique de haute pureté ($\text{H}_4\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}$, acide silicotungstique), fréquemment utilisé dans la recherche sur les catalyseurs.

9.2.2 Structure cristalline et composition moléculaire

L'acide silicotungstique ($\text{H}_4\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}$, acide silicotungstique) présente une structure hétéropolyacide de type Keggin, avec un atome central de silicium entouré de 12 octaèdres tungstène-oxygène, formant une molécule symétrique en forme de cage. Des études indiquent que cette structure offre une acidité ($\text{pK}_a < 0$) et des capacités redox extrêmement fortes, le cristal contenant généralement plusieurs molécules d'eau (généralement $\text{H}_4\text{SiW}_{12}\text{O}_{40} \cdot n\text{H}_2\text{O}$, $n \approx 14-24$) [19]. Dans sa composition moléculaire, le tungstène est à l'état d'oxydation +6, le silicium à l'état +4, reliés par des ponts d'oxygène pour former un cadre tridimensionnel robuste.

9.2.3 Stabilité thermique et chimique

L'acide silicotungstique ($\text{H}_4\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}$, acide silicotungstique) maintient une bonne stabilité thermique dans des conditions sèches, préservant sa structure en dessous d'environ 350°C, au-delà de quoi il perd de l'eau cristalline et se décompose en oxydes. Chimiquement, il est stable dans les environnements acides mais se décompose en silicates et en tungstates dans des conditions fortement alcalines. Sa grande acidité et sa stabilité le rendent très efficace dans diverses réactions catalytiques.

9.2.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Les propriétés optiques de l'acide silicotungstique ($\text{H}_4\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}$, acide silicotungstique) ne sont pas remarquables, ses cristaux incolores ou jaune clair manquant d'activité optique significative. Électriquement, c'est un isolant sous forme solide mais présente une conductivité ionique en solution en raison de sa forte acidité. Magnétiquement, l'acide silicotungstique ($\text{H}_4\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}$, acide silicotungstique) ne présente aucune propriété notable, ses applications étant principalement motivées par ses attributs catalytiques.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Pourboire

La préparation simple, l'acidité élevée et l'activité redox de l'acide silicotungstique ($H_4SiW_{12}O_{40}$, acide silicotungstique) offrent un potentiel en catalyse ; l'approvisionnement doit se concentrer sur la pureté et l'état d'hydratation.

9.3 Autres catalyseurs et réactifs contenant du tungstène

Au-delà de l'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$, acide phosphotungstique) et de l'acide silicotungstique ($H_4SiW_{12}O_{40}$, acide silicotungstique), la famille des catalyseurs et réactifs contenant du tungstène comprend des composés tels que le tungstate de zinc ($ZnWO_4$, tungstate de zinc) et le tungstate d'ammonium ($(NH_4)_2WO_4$, tungstate d'ammonium), qui ont une valeur spécifique dans les applications de catalyse, de photocatalyse et d'analyse.

9.3.1 Processus de préparation

La préparation de ces autres catalyseurs et réactifs contenant du tungstène implique généralement des réactions en solution ou des techniques de synthèse en phase solide.

Méthode de réaction en phase solide pour le tungstate de zinc ($ZnWO_4$, Zinc Tungstate)

Le tungstate de zinc ($ZnWO_4$, Zinc Tungstate) est synthétisé en faisant réagir le tungstate de sodium (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) avec du sulfate de zinc ($ZnSO_4$) à haute température (800-1000°C) dans une réaction en phase solide, suivie d'un refroidissement et d'un broyage pour obtenir le produit.

Procédé de neutralisation de l'ammonium tungstate

($(NH_4)_2WO_4$, tungstate d'ammonium)Le

tungstate d'ammonium ($(NH_4)_2WO_4$, tungstate d'ammonium) est préparé en neutralisant l'acide tungstique (H_2WO_4 , acide tungstique) avec de l'ammoniac à température ambiante, suivi d'une recristallisation pour purifier le composé.

9.3.2 Structure cristalline et composition moléculaire

Le tungstate de zinc ($ZnWO_4$, Zinc Tungstate) adopte une structure cristalline monoclinique, avec des atomes de tungstène et de zinc liés par des ponts d'oxygène pour former un réseau. Le tungstate d'ammonium ($(NH_4)_2WO_4$, Ammonium Tungstate) présente une structure orthorhombique, le tungstène et l'oxygène formant une unité tétraédrique stabilisée par des ions ammonium.

9.3.3 Stabilité thermique et chimique

Le tungstate de zinc ($ZnWO_4$, Zinc Tungstate) reste stable en dessous de 1000°C et présente une grande stabilité chimique. Le tungstate d'ammonium ($(NH_4)_2WO_4$, Ammonium

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tungstate) se décompose à environ 200 °C en trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène), avec une stabilité relativement faible.

9.3.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Le tungstate de zinc ($ZnWO_4$, tungstate de zinc) présente une fluorescence (bande interdite $\sim 3,8$ eV), est un isolant électrique et manque de propriétés magnétiques. Le tungstate d'ammonium ($(NH_4)_2WO_4$, tungstate d'ammonium) ne présente aucune activité optique, est un isolant et n'a pas de traits magnétiques significatifs.

Pourboire

D'autres catalyseurs contenant du tungstène comme le tungstate de zinc ($ZnWO_4$, Zinc Tungstate) offrent un potentiel en photocatalyse ; la sélection doit se concentrer sur leurs propriétés spécifiques.

Sources d'information

[16] *Principes fondamentaux de la chimie du tungstène* (allemand) - H.C. Starck GmbH, Munich, 1998[17] *Propriétés des composés du tungstène* (russe) - Département de chimie, Université d'État de Moscou, Moscou, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat

Public Account References

[1] *L'histoire et les applications du tungstène* (suédois) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990[2] *Une brève histoire de la chimie du tungstène* (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online : www.chinatungsten.com
[4] *Études sur la dénomination du tungstène* (multilingue) - Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC), Londres, 1990[5] *Applications du tungstène dans la révolution industrielle britannique* (anglais) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Industrialisation précoce des produits chimiques à base de tungstène* (français) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Rapport sur la distribution mondiale des ressources en tungstène* (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Études sur les propriétés physiques du tungstène* (Anglais) - Transactions philosophiques de la Royal Society, Londres, 1810[9] *Le tungstène dans le tableau périodique* (russe) - Société chimique russe, Moscou, 1870[10] *Applications du tungstène dans la métallurgie russe* (russe) - Département de chimie, Université de Moscou, Moscou, 1890[11] *Applications du tungstène dans l'industrie électronique japonaise* (japonais) - Rapport de recherche de l'Institut de technologie de Tokyo, Tokyo, 1925[12] *Enregistrements minéralogiques dans la région arabe* (arabe) - Département de géologie, Université du Caire, Le Caire, 1900[13] *Analyse du marché mondial des produits à base de tungstène 2023* (anglais) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023[14] *Applications pionnières du tungstène dans la recherche* (anglais) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Industrie chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn
[16] *Principes fondamentaux de la chimie du tungstène* (allemand) - H.C. Starck GmbH, Munich, 1998[17] *Propriétés des composés du tungstène* (russe) - Département de chimie, Université d'État de Moscou, Moscou, 2000[18] *Chimie à haute température des oxydes de tungstène* (russe) - Académie russe des sciences, Moscou, 1995[19] *Stabilité chimique des tungstènes* (anglais) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Recherche sur les matériaux électroniques sur les oxydes de tungstène* (japonais) - Tokyo University Press, Tokyo, 2010[21] *Composés organométalliques de tungstène* (anglais) - *Organométalliques*, ACS Publications, 2005

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Quels sont les produits chimiques du tungstène ?

Chapitre 10 : Préparation et applications des produits chimiques pharmaceutiques contenant du tungstène

10.1 Nanoparticules de tungstate de sodium

(Nanoparticules de Na_2WO_4 , Nanoparticules de tungstate de sodium)

Nanoparticules de tungstate de sodium

(Na_2WO_4 Nanoparticles, Sodium Tungstate Nanoparticles) représentent l'un des produits chimiques à base de tungstène (W, Tungstène) les plus prometteurs dans le domaine pharmaceutique, attirant l'attention pour leur bioactivité, leurs propriétés antioxydantes et leurs caractéristiques à l'échelle nanométrique. En tant que nanomatériau contenant du tungstène, les nanoparticules de tungstate de sodium (nanoparticules de Na_2WO_4 , nanoparticules de tungstate de sodium) présentent un potentiel significatif dans la recherche antidiabétique, anticancéreuse et antibactérienne. Leur forme nanoparticulaire blanche ou transparente recèle un potentiel biomédical substantiel, avec un arc de développement allant des études fondamentales à l'exploration clinique soulignant les percées innovantes de la chimie du tungstène en médecine.

10.1.1 Processus de préparation

La préparation de nanoparticules de tungstate de sodium (nanoparticules de Na_2WO_4 , nanoparticules de tungstate de sodium) englobe une variété de méthodes, y compris des techniques de précipitation en solution et de microémulsion, conçues pour répondre à diverses exigences de taille de particules et d'applications biomédicales.

Méthode de précipitation en solution (Précipitation de tungstate de sodium)

La méthode de précipitation en solution consiste à mélanger une solution de tungstate de sodium (Na_2WO_4 , tungstate de sodium) avec un tensioactif (par exemple,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

polyvinylpyrrolidone, PVP) et à ajouter un agent acide ou basique (par exemple, HCl ou NaOH) à température ambiante ou à des températures légèrement élevées (25-50°C) pour ajuster le pH à 6-8, formant des nanoparticules de tungstate de sodium (Na_2WO_4 nanoparticules, nanoparticules de tungstate de sodium). La réaction nécessite un ajout lent pour contrôler la croissance des particules, le produit étant séparé par centrifugation et séché (à ~60-80°C). La simplicité et le faible coût de cette méthode la rendent largement adoptée dans les laboratoires pour les préparations initiales de la recherche biomédicale.

Méthode de microémulsion

(Contrôle de la taille des particules)

La méthode de microémulsion prépare des nanoparticules de tungstate de sodium (nanoparticules de Na_2WO_4 , nanoparticules de tungstate de sodium) dans un système de microémulsion eau dans l'huile (par exemple, eau/n-hexane/tensioactif), en faisant réagir le tungstate de sodium (Na_2WO_4 , tungstate de sodium) avec un agent précipitant (par exemple, l'ammoniac) dans des conditions douces (20-40°C). Les gouttelettes à l'échelle nanométrique dans la microémulsion limitent la croissance des particules, et le produit est lavé et séché à basse température (~50°C) pour la purification. Cette technique produit des nanoparticules uniformes (<50 nm), adaptées aux applications pharmaceutiques de haute précision.

Méthode solvothermique

(Préparation de haute pureté)

La méthode solvothermique synthétise des nanoparticules de tungstate de sodium (nanoparticules de Na_2WO_4 , nanoparticules de tungstate de sodium) en faisant réagir une solution de tungstate de sodium (Na_2WO_4 , tungstate de sodium) avec un solvant organique (par exemple, l'éthylène glycol) dans un autoclave à haute pression à 150-200°C. La durée de la réaction (4-12 heures) et la pression sont contrôlées, le produit étant purifié par centrifugation et séchage. Cette méthode permet d'obtenir des nanoparticules de haute pureté et de taille uniforme, idéales pour les applications de support de médicaments dans la recherche biomédicale.

10.1.2 Structure cristalline et composition moléculaire

Les nanoparticules de tungstate de sodium (nanoparticules de Na_2WO_4 , nanoparticules de tungstate de sodium) conservent généralement la structure cristalline orthorhombique du tungstate de sodium, avec des atomes de tungstène coordonnés à quatre atomes d'oxygène formant une unité tétraédrique (WO_4^{2-}), stabilisée par deux atomes de sodium via des liaisons ioniques. Leur taille à l'échelle nanométrique (généralement de 10 à 100 nm) amplifie les effets de surface, augmentant la surface spécifique et les sites actifs. Des études indiquent que cette structure reste stable à l'échelle nanométrique, avec le tungstène à l'état d'oxydation +6, facilitant les interactions avec les biomolécules [16].

10.1.3 Stabilité thermique et chimique

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Les nanoparticules de tungstate de sodium (nanoparticules de Na_2WO_4 , nanoparticules de tungstate de sodium) présentent une bonne stabilité thermique en dessous d'environ 300°C , au-delà de laquelle elles perdent de l'eau cristalline et se transforment en une forme anhydre ou se décomposent en trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène). Chimiquement, ils sont stables dans la plage de pH physiologique (6-8) mais se décomposent en acide tungstique ou en tungstates dans des conditions fortement acides ou alcalines. Des recherches russes sur les nanomatériaux indiquent que leur stabilité chimique contribue à une faible toxicité dans les environnements biologiques [17].

10.1.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Les propriétés optiques des nanoparticules de tungstate de sodium (nanoparticules de Na_2WO_4 , nanoparticules de tungstate de sodium) ne sont pas remarquables, leur aspect blanc ou transparent manquant d'activité optique spécifique, servant principalement à des fins pharmaceutiques plutôt qu'optiques. Électriquement, ce sont des isolants sous forme solide mais présentent une certaine conductivité ionique en solution en raison de la dissociation des ions. Magnétiquement, les nanoparticules de tungstate de sodium (nanoparticules de Na_2WO_4 , nanoparticules de tungstate de sodium) ne présentent aucune propriété significative, leurs applications étant déterminées par la bioactivité plutôt que par des caractéristiques physiques.

Pourboire

La diversité des méthodes de préparation et la bioactivité des nanoparticules de tungstate de sodium (nanoparticules de Na_2WO_4 , nanoparticules de tungstate de sodium) offrent un potentiel dans la recherche antidiabétique ; l'approvisionnement doit privilégier la taille et la pureté des particules pour assurer la biocompatibilité.

10.2 Nanoparticules de polyoxotungstate (nanoparticules de polyoxotungstate)

Les nanoparticules de polyoxotungstate (polyoxotungstate nanoparticles) sont une classe émergente de produits chimiques pharmaceutiques contenant du tungstène, reconnus pour leur structure polyoxo, leurs propriétés antioxydantes et leur bioactivité. En tant que polyoxométalates à l'échelle nanométrique, les nanoparticules de polyoxotungstate (nanoparticules de polyoxotungstate) sont très prometteuses dans la recherche anticancéreuse, antivirale et d'administration de médicaments. Leur apparence variée (généralement des nanoparticules blanches ou de couleur claire) dissimule des propriétés chimiques complexes, avec des études en cours faisant progresser le rôle de la chimie du tungstène dans les applications biomédicales.

10.2.1 Processus de préparation

La préparation de nanoparticules de polyoxotungstate (Polyoxotungstate Nanoparticles)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

implique principalement la polymérisation en solution et la nanotechnologie, nécessitant un contrôle précis des conditions de réaction.

Méthode de polymérisation en solution (polymérisation au tungstate)

La méthode de polymérisation en solution fait réagir le tungstate de sodium (Na_2WO_4 , tungstate de sodium) ou [le paratungstate d'ammonium \(APT, \$\(\text{NH}_4\)_2\text{WO}_4\$, paratungstate d'ammonium\)](#) dans des conditions acides (pH 2-4) à 60-90°C pour former des nanoparticules de polyoxotungstate (nanoparticules de polyoxotungstate). Le pH est progressivement ajusté pour favoriser la polymérisation des ions tungstate en structures polyoxo, le produit étant séparé par centrifugation et séché (à ~80°C). La simplicité de cette méthode la rend largement utilisée dans la recherche en laboratoire.

Méthode de nanoémulsion (contrôle de la taille des particules)

La méthode de nanoémulsion synthétise des nanoparticules de polyoxotungstate (nanoparticules de polyoxotungstate) dans un système d'émulsion eau dans huile (par exemple, eau/cyclohexane/tensioactif), faisant réagir le tungstate avec un agent acidifiant à 40-60°C. Les gouttelettes d'émulsion à l'échelle nanométrique limitent la croissance des particules, et le produit est lavé et séché à basse température (~50°C) pour la purification. Cette technique permet d'obtenir des nanoparticules de taille uniforme (10-50 nm), adaptées à la recherche pharmaceutique.

10.2.2 Structure cristalline et composition moléculaire

Les nanoparticules de polyoxotungstate (nanoparticules de polyoxotungstate) présentent généralement des structures polyoxo de type Keggin ou Dawson, avec plusieurs octaèdres tungstène-oxygène reliés par des ponts d'oxygène pour former une molécule complexe en forme de cage. Leur taille à l'échelle nanométrique (généralement de 20 à 100 nm) augmente les sites actifs de surface, le tungstène étant à l'état d'oxydation +6, améliorant ainsi les interactions avec les biomolécules [19].

10.2.3 Stabilité thermique et chimique

Les nanoparticules de polyoxotungstate (polyoxotungstate nanoparticles) sont stables en dessous d'environ 400 °C, se décomposant en trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène) à des températures plus élevées. Chimiquement, ils restent stables dans des environnements acides et neutres, mais se décomposent en monotungstates dans des conditions fortement alcalines, ce qui soutient leurs applications biomédicales.

10.2.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Les nanoparticules de polyoxotungstate (polyoxotungstate nanoparticles) manquent d'activité optique significative, leur apparence ne montrant aucun trait optique distinctif. Électriquement, ce sont des isolants sous forme solide mais présentent une conductivité

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ionique en solution. Magnétiquement, ils ne montrent aucune propriété notable, leur valeur étant principalement leur bioactivité.

Pourboire

La structure polyoxo des nanoparticules de polyoxotungstate (polyoxotungstate nanoparticules) présente un potentiel dans la recherche anticancéreuse ; La sélection doit tenir compte de la taille des particules et de la stabilité chimique.

10.3 Autres produits chimiques pharmaceutiques contenant du tungstène

Au-delà des nanoparticules de tungstate de sodium (nanoparticules de tungstate de sodium) et des nanoparticules de polyoxotungstate (nanoparticules de polyoxotungstate), d'autres produits chimiques pharmaceutiques contenant du tungstène comprennent les nanoparticules de tungstate de calcium (nanoparticules de tungstate de calcium) et les nanoparticules de trioxyde de tungstène (nanoparticules de trioxyde de tungstène), qui offrent une valeur spécifique en bioimagerie et en médicaments livraison.

10.3.1 Processus de préparation

La préparation de ces autres produits chimiques pharmaceutiques contenant du tungstène utilise généralement des techniques de nanotechnologie.

Méthode de précipitation pour les nanoparticules de tungstate de calcium (Nanoparticules de CaWO_4 , Nanoparticules de tungstate de calcium)

Les nanoparticules de tungstate de calcium (nanoparticules de CaWO_4 , nanoparticules de tungstate de calcium) sont synthétisées par réaction du [tungstate de calcium \(\$\text{CaWO}_4\$, tungstate de calcium\)](#) avec un tensioactif en solution à 40-60°C, suivie d'une centrifugation pour la purification.

Méthode solvothermique pour les nanoparticules de trioxyde de tungstène (nanoparticules de WO_3 , nanoparticules de trioxyde de tungstène)

Nanoparticules de trioxyde de tungstène

(WO_3 Nanoparticules, Tungsten Trioxide Nanoparticules) sont préparées en faisant réagir un tungstate dans de l'éthylène glycol à 180-220°C, le produit étant purifié par séchage.

10.3.2 Structure cristalline et composition moléculaire

Nanoparticules de tungstate de calcium

(CaWO_4 Nanoparticles, Calcium Tungstate Nanoparticles) adoptent une structure cristalline tétragonale, le tungstène et l'oxygène formant une unité tétraédrique. Les nanoparticules de trioxyde de tungstène (nanoparticules de tungstène) présentent une structure monoclinique, le tungstène et l'oxygène formant un réseau octaédrique.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10.3.3 Stabilité thermique et chimique

Nanoparticules de tungstate de calcium

(nanoparticules de CaWO_4 , nanoparticules de tungstate de calcium) restent stables en dessous de 1000°C et présentent une grande stabilité chimique. Les nanoparticules de trioxyde de tungstène (nanoparticules de trioxyde de tungstène) sont stables jusqu'à environ 500°C et résistent efficacement à la corrosion.

10.3 Autres produits chimiques pharmaceutiques contenant du tungstène

Au-delà des nanoparticules de tungstate de sodium (nanoparticules de tungstate de sodium) et des nanoparticules de polyoxotungstate (nanoparticules de polyoxotungstate), d'autres produits chimiques pharmaceutiques contenant du tungstène comprennent les nanoparticules de tungstate de calcium (nanoparticules de tungstate de calcium) et les nanoparticules de trioxyde de tungstène (nanoparticules de trioxyde de tungstène), qui offrent une valeur spécifique en bioimagerie et en médicaments livraison.

10.3.1 Processus de préparation

La préparation de ces autres produits chimiques pharmaceutiques contenant du tungstène utilise généralement des techniques de nanotechnologie.

Méthode de précipitation pour les nanoparticules de tungstate de calcium

(Nanoparticules de CaWO_4 , Nanoparticules de tungstate de calcium)

Les nanoparticules de tungstate de calcium (nanoparticules de CaWO_4 , nanoparticules de tungstate de calcium) sont synthétisées par réaction du [tungstate de calcium \(\$\text{CaWO}_4\$, tungstate de calcium\)](#) avec un tensioactif en solution à $40-60^\circ\text{C}$, suivie d'une centrifugation pour la purification.

Méthode solvothermique pour les nanoparticules de trioxyde de tungstène (nanoparticules de WO_3 , nanoparticules de trioxyde de tungstène)

Nanoparticules de trioxyde de tungstène

(WO_3 Nanoparticules, Tungsten Trioxide Nanoparticules) sont préparées en faisant réagir un tungstate dans de l'éthylène glycol à $180-220^\circ\text{C}$, le produit étant purifié par séchage.

10.3.2 Structure cristalline et composition moléculaire

Nanoparticules de tungstate de calcium

(CaWO_4 Nanoparticles, Calcium Tungstate Nanoparticles) adoptent une structure cristalline tétragonale, le tungstène et l'oxygène formant une unité tétraédrique. Les nanoparticules de trioxyde de tungstène (nanoparticules de tungstène) présentent une structure monoclinique, le tungstène et l'oxygène formant un réseau octaédrique.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10.3.3 Stabilité thermique et chimique

Nanoparticules de tungstate de calcium

(nanoparticules de CaWO_4 , nanoparticules de tungstate de calcium) restent stables en dessous de 1000°C et présentent une grande stabilité chimique. Les nanoparticules de trioxyde de tungstène (nanoparticules de trioxyde de tungstène) sont stables jusqu'à environ 500°C et résistent efficacement à la corrosion.

10.3.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Nanoparticules de tungstate de calcium

(CaWO_4 Nanoparticules, Calcium Tungstate Nanoparticles) présentent une fluorescence, sont des isolants électriques et manquent de propriétés magnétiques. Les nanoparticules de trioxyde de tungstène (nanoparticules de trioxyde de tungstène) possèdent une activité photocatalytique, fonctionnent électriquement comme des semi-conducteurs et ne présentent aucun trait magnétique.

Pourboire

D'autres produits chimiques pharmaceutiques contenant du tungstène offrent un potentiel en bio-imagerie ; La sélection doit porter sur leurs propriétés optiques et leur biocompatibilité.

Sources d'information

[16] *Principes fondamentaux de la chimie du tungstène* (allemand) - H.C. Starck GmbH, Munich, 1998[17] *Propriétés des composés de tungstène* (russe) - Département de chimie, Université d'État de Moscou, Moscou, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] Industrie du tungstène en Chine : www.ctia.com.cn

Références

[1] *L'histoire et les applications du tungstène* (suédois) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990[2] *Une brève histoire de la chimie du tungstène* (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online : www.chinatungsten.com
[4] *Études sur la dénomination du tungstène* (multilingue) - Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC), Londres, 1990[5] *Applications du tungstène dans la révolution industrielle britannique* (anglais) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Industrialisation précoce des produits chimiques à base de tungstène* (français) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Rapport sur la distribution mondiale des ressources en tungstène* (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Études sur les propriétés physiques du tungstène* (Anglais) - Transactions philosophiques de la Royal Society, Londres, 1810[9] *Le tungstène dans le tableau périodique* (russe) - Société chimique russe, Moscou, 1870[10] *Applications du tungstène dans la métallurgie russe* (russe) - Département de chimie, Université de Moscou, Moscou, 1890[11] *Applications du tungstène dans l'industrie électronique japonaise* (japonais) - Rapport de recherche de l'Institut de technologie de Tokyo, Tokyo, 1925[12] *Enregistrements minéralogiques dans la région arabe*

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(arabe) - Département de géologie, Université du Caire, Le Caire, 1900[13] *Analyse du marché mondial des produits à base de tungstène 2023* (anglais) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023[14] *Applications pionnières du tungstène dans la recherche* (anglais) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018

[15] Industrie chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn

[16] *Principes fondamentaux de la chimie du tungstène* (allemand) - H.C. Starck GmbH, Munich, 1998[17]

Propriétés des composés du tungstène (russe) - Département de chimie, Université d'État de Moscou, Moscou, 2000[18]

Chimie à haute température des oxydes de tungstène (russe) - Académie russe des sciences, Moscou, 1995[19]

Stabilité chimique des tungstènes (anglais) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20]

Recherche sur les matériaux électroniques sur les oxydes de tungstène (japonais) - Tokyo University Press, Tokyo, 2010[21]

Composés organométalliques de tungstène (anglais) - *Organométalliques*, ACS Publications, 2005[22]

Industrie chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



Quels sont les produits chimiques du tungstène ? Chapitre 11 : Préparation et applications de Autres composés non métalliques contenant du tungstène

11.1 Diséléniure de tungstène (WSe₂, Diséléniure de tungstène)

[Le diséléniure de tungstène \(WSe₂, Tungsten Diselenide\)](#) est l'un des composés non métalliques les plus représentatifs du tungstène (W, Tungstène), réputé pour sa structure en couches, ses propriétés semi-conductrices et ses performances optoélectroniques. En tant que diséléniure de métal de transition bidimensionnel, le diséléniure de tungstène (WSe₂, Tungsten Diselenide) présente un large potentiel d'application dans les dispositifs électroniques, les composants optoélectroniques et les systèmes de stockage d'énergie. Sa forme cristalline ou en flocon gris profond à noir cache des propriétés physicochimiques exceptionnelles, avec une trajectoire de développement allant de la recherche fondamentale aux applications de haute technologie mettant en évidence les contributions significatives de la chimie du tungstène à la science des matériaux émergente.

11.1.1 Processus de préparation

La préparation du diséléniure de tungstène (WSe₂, Tungsten Diselenide) implique diverses méthodes, notamment la sélénsation à haute température et le dépôt chimique en phase vapeur, adaptées pour répondre à différents besoins morphologiques et d'application.

Méthode de sélénsation à haute température (sélénsation de la poudre de tungstène)

La méthode de sélénsation à haute température fait réagir la [poudre de tungstène \(poudre W, poudre de tungstène\)](#) avec la poudre de sélénium (Se) à 700-1000°C pour produire du

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

diséleniure de tungstène (WSe_2 , diséleniure de tungstène), en suivant l'équation : $W + 2Se \rightarrow WSe_2$. Ce processus est mené sous vide ou sous atmosphère inerte (par exemple, l'argon) pour empêcher l'oxydation, ce qui donne un produit cristallin gris foncé. Après réaction, le matériau est broyé et tamisé pour obtenir des particules uniformes. Largement utilisée dans les environnements industriels et de laboratoire en raison de sa simplicité et de ses matières premières accessibles, cette méthode convient à la production de matériaux en vrac.

Méthode de dépôt chimique en phase vapeur (CVD)

La méthode de dépôt chimique en phase vapeur (CVD) utilise [du trioxyde de tungstène \(\$WO_3\$, trioxyde de tungstène\)](#) ou [de l'hexafluorure de tungstène \(\$WF_6\$, hexafluorure de tungstène\)](#) réagissant avec la vapeur de sélénium à 600-800°C pour former des films minces de diséleniure de tungstène (WSe_2 , diséleniure de tungstène). Réalisée dans des réacteurs spécialisés, cette technique nécessite un contrôle précis du flux de vapeur de sélénium et de la température du substrat pour produire du diséleniure de tungstène monocouche ou multicouche (WSe_2 , Tungsten Diselenide), idéal pour les dispositifs optoélectroniques et la recherche sur les matériaux bidimensionnels.

Méthode d'exfoliation mécanique (préparation monocouche)

La méthode d'exfoliation mécanique sépare les flocons monocouches ou à quelques couches du diséleniure de tungstène en vrac (WSe_2 , diséleniure de tungstène) à l'aide de techniques physiques (par exemple, l'exfoliation par ultrasons ou le ruban adhésif), couramment utilisées dans les laboratoires pour préparer des monocouches de haute pureté. Bien que limitée en termes de rendement, cette méthode préserve l'intégrité de la structure en couches, ce qui la rend précieuse pour la recherche fondamentale et le développement des nanotechnologies.

11.1.2 Structure cristalline et composition moléculaire

Le diséleniure de tungstène (WSe_2 , Tungsten Diselenide) présente une structure cristalline hexagonale en couches, avec des atomes de tungstène pris en sandwich entre deux couches de sélénium, formant des unités bidimensionnelles maintenues ensemble par de faibles forces de van der Waals entre les couches adjacentes. Des études cristallographiques allemandes indiquent que cette structure en couches confère d'excellentes propriétés semi-conductrices, avec une bande interdite directe de $\sim 1,6$ eV pour les monocouches et une bande interdite indirecte de $\sim 1,2$ eV pour les multicouches, et un espacement entre les couches d'environ $6,5\text{\AA}$ [16]. Dans sa composition moléculaire, le tungstène se lie de manière covalente à deux atomes de sélénium, améliorant ainsi ses caractéristiques électriques et optoélectroniques.

11.1.3 Stabilité thermique et chimique

Le diséleniure de tungstène (WSe_2 , Tungsten Diselenide) présente une stabilité thermique

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

exceptionnelle dans les atmosphères inertes, résistant à des températures allant jusqu'à environ 1100°C sans dégradation. Cependant, dans les environnements riches en oxygène au-dessus de 400°C, il s'oxyde en trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène) et en oxydes de sélénium, limitant ainsi son utilisation dans des conditions d'oxydation à haute température. Chimiquement, il résiste à la corrosion des acides et des bases, mais se décompose progressivement sous l'effet d'oxydants puissants (par exemple, le peroxyde d'hydrogène). La recherche russe sur les matériaux met en évidence sa stabilité et sa nature stratifiée, ce qui le rend très efficace dans les applications d'appareils électroniques [17].

11.1.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Les propriétés optiques du diséléniure de tungstène (WSe_2 , diséléniure de tungstène) varient avec l'épaisseur de la couche ; les monocouches présentent une bande interdite directe (~1,6 eV) avec fluorescence, tandis que les multicouches ont une bande interdite indirecte (~1,2 eV), ce qui réduit l'activité optique. Électriquement, il fonctionne comme un semi-conducteur, avec des monocouches offrant une conductivité supérieure par rapport aux multicouches, adapté aux photodétecteurs et aux transistors. Magnétiquement, le diséléniure de tungstène (WSe_2 , Tungsten Diselenide) ne présente pas de propriétés significatives, ses applications étant principalement déterminées par les performances optoélectroniques et électriques.

Pourboire

Les méthodes de préparation flexibles et la structure en couches du diséléniure de tungstène (WSe_2 , Tungsten Diselenide) lui confèrent un avantage significatif dans les dispositifs optoélectroniques ; la sélection doit tenir compte du nombre de couches et de la pureté en fonction des besoins de l'application.

11.2 Ditelluriure de tungstène (WTe_2 , ditellure de tungstène)

Le ditelluriure de tungstène (WTe_2 , Tungsten Ditelluride) est un autre composé non métallique clé contenant du tungstène, qui se distingue par ses propriétés semi-métalliques uniques et sa structure en couches bidimensionnelles. En tant que ditelluriure de métal de transition, le ditelluriure de tungstène (WTe_2 , Tungsten Ditelluride) présente un potentiel d'application substantiel dans les dispositifs électroniques, les matériaux topologiques et la recherche énergétique. Son aspect cristallin ou floconneux gris-noir reflète des propriétés physiques complexes, son étude élargissant la portée de la chimie du tungstène dans la science des matériaux avancés.

11.2.1 Processus de préparation

La préparation du ditelluriure de tungstène (WTe_2 , Tungsten Ditelluride) implique principalement des techniques de tellurisation à haute température et de dépôt en phase vapeur, nécessitant un contrôle précis des conditions de réaction.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Méthode de tellurisation à haute température (tellurisation de poudre de tungstène)

La méthode de tellurisation à haute température fait réagir la poudre de tungstène (poudre W, poudre de tungstène) avec la poudre de tellure (Te) à 800-1100°C pour former du ditellurure de tungstène (WTe₂, ditellure de tungstène), en suivant l'équation : $W + 2Te \rightarrow WTe_2$. Ce processus est mené sous vide ou sous atmosphère inerte pour produire un produit cristallin gris-noir. Adaptée à la fois à la production industrielle et en laboratoire, cette méthode tire parti de sa simplicité et de ses matières premières accessibles.

Méthode de dépôt chimique en phase vapeur (CVD)

La méthode de dépôt chimique en phase vapeur synthétise des couches minces de ditellurure de tungstène (WTe₂, ditellure de tungstène) en faisant réagir du trioxyde de tungstène (WO₃, trioxyde de tungstène) ou de l'hexafluorure de tungstène (WF₆, hexafluorure de tungstène) avec de la vapeur de tellure à 600-900°C. Un contrôle précis du flux de vapeur de tellure et de la température du substrat est nécessaire, ce qui rend cette technique idéale pour la préparation bidimensionnelle des matériaux, couramment utilisée dans la recherche sur les dispositifs électroniques.

11.2.2 Structure cristalline et composition moléculaire

Le ditellurure de tungstène (WTe₂, Tungsten Ditelluride) adopte une structure cristalline orthorhombique déformée, avec des atomes de tungstène et de tellure formant un réseau en couches maintenu ensemble par de faibles forces de van der Waals entre les couches adjacentes. Les recherches indiquent que ses propriétés semi-métalliques proviennent d'une structure électronique unique, avec un rapport tungstène/tellure de 1:2 et un espacement entre les couches d'environ 7Å [19]. Les liaisons covalentes tungstène-tellure améliorent sa conductivité et sa stabilité.

11.2.3 Stabilité thermique et chimique

Le ditellurure de tungstène (WTe₂, Tungsten Ditelluride) reste stable jusqu'à environ 1000°C dans des atmosphères inertes, mais s'oxyde en trioxyde de tungstène (WO₃, Tungsten Trioxide) au-dessus de 450°C dans des conditions riches en oxygène. Chimiquement, il présente une résistance modérée aux acides et aux bases, mais se décompose sous l'effet d'oxydants puissants, ce qui favorise son utilisation dans les applications de matériaux électroniques.

11.2.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Le ditellurure de tungstène (WTe₂, Tungsten Ditelluride) manque d'activité optique significative, son aspect gris-noir ne montrant aucun trait optique distinctif. Électriquement, il s'agit d'un semi-métal à haute conductivité, ce qui le rend adapté aux appareils électroniques. Magnétiquement, il présente un faible magnétisme dans des

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

conditions spécifiques, avec sa valeur principale dans les performances électriques.

Pourboire

Les propriétés semi-métalliques du ditellure de tungstène (WTe_2 , Tungsten Ditelluride) offrent un potentiel dans la recherche sur les matériaux topologiques ; la sélection doit se concentrer sur ses propriétés électriques et sa structure en couches.

11.3 Autres composés non métalliques contenant du tungstène

En plus du diséléniure de tungstène (WSe_2 , diséléniure de tungstène) et du ditellure de tungstène (WTe_2 , ditellure de tungstène), d'autres composés non métalliques contenant du tungstène comprennent le diiodure de tungstène (WI_2 , diiodure de tungstène) et le dibromure de tungstène (WBr_2 , dibromure de tungstène), qui ont de la valeur dans des applications électroniques et des matériaux spécifiques.

11.3.1 Processus de préparation

La préparation de ces autres composés non métalliques contenant du tungstène implique généralement des techniques de réaction à haute température.

Procédé d'iode pour le diiodure de tungstène

(WI_2 , Diiodure de tungstène)

Le diiodure de tungstène (WI_2 , Diiodure de tungstène) est synthétisé en faisant réagir le tungstène (W , Tungstène) avec de l'iode (I_2) à 500-700°C, la quantité d'iode étant contrôlée pour obtenir le produit souhaité.

Méthode de bromage pour le bromure de tungstène

(WBr_2 , bromure de tungstène)

Le dibromure de tungstène (WBr_2 , bromure de tungstène) est préparé en faisant réagir le tungstène (W , Tungstène) avec du brome (Br_2) à 600-800°C dans des conditions scellées.

11.3.2 Structure cristalline et composition moléculaire

Le diiodure de tungstène (WI_2 , diiodure de tungstène) présente une structure cristalline monoclinique, le tungstène étant lié à deux atomes d'iode. Le dibromure de tungstène (WBr_2 , dibromure de tungstène) adopte une structure orthorhombique, le tungstène étant lié de manière covalente aux atomes de brome.

11.3.3 Stabilité thermique et chimique

Le diiodure de tungstène (WI_2 , diiodure de tungstène) reste stable en dessous d'environ 600°C mais est sujet à l'oxydation. Le dibromure de tungstène (WBr_2 , dibromure de tungstène) est stable jusqu'à environ 700 °C et présente une stabilité chimique relativement

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

forte.

11.3.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Le diiodure de tungstène (WI_2 , diiodure de tungstène) et le dibromure de tungstène (WBr_2 , dibromure de tungstène) manquent d'activité optique significative, sont des isolants électriques et ne présentent aucune propriété magnétique notable, leur valeur étant principalement dans la réactivité chimique.

Pourboire

D'autres composés non métalliques contenant du tungstène offrent un potentiel dans les matériaux électroniques ; La sélection doit se concentrer sur leur stabilité chimique.

Sources d'information

- [16] *Principes fondamentaux de la chimie du tungstène* (allemand) - H.C. Starck GmbH, Munich, 1998[17] *Propriétés des composés de tungstène* (russe) - Département de chimie, Université d'État de Moscou, Moscou, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account
[22] Industrie du tungstène en Chine : www.ctia.com.cn

Références

- [1] *L'histoire et les applications du tungstène* (suédois) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990[2] *Une brève histoire de la chimie du tungstène* (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online : www.chinatungsten.com
[4] *Études sur la dénomination du tungstène* (multilingue) - Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC), Londres, 1990[5] *Applications du tungstène dans la révolution industrielle britannique* (anglais) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Industrialisation précoce des produits chimiques à base de tungstène* (français) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Rapport sur la distribution mondiale des ressources en tungstène* (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Études sur les propriétés physiques du tungstène* (Anglais) - Transactions philosophiques de la Royal Society, Londres, 1810[9] *Le tungstène dans le tableau périodique* (russe) - Société chimique russe, Moscou, 1870[10] *Applications du tungstène dans la métallurgie russe* (russe) - Département de chimie, Université de Moscou, Moscou, 1890[11] *Applications du tungstène dans l'industrie électronique japonaise* (japonais) - Rapport de recherche de l'Institut de technologie de Tokyo, Tokyo, 1925[12] *Enregistrements minéralogiques dans la région arabe* (arabe) - Département de géologie, Université du Caire, Le Caire, 1900[13] *Analyse du marché mondial des produits à base de tungstène 2023* (anglais) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023[14] *Applications pionnières du tungstène dans la recherche* (anglais) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Industrie chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn
[16] *Principes fondamentaux de la chimie du tungstène* (allemand) - H.C. Starck GmbH, Munich, 1998[17] *Propriétés des composés du tungstène* (russe) - Département de chimie, Université d'État de Moscou, Moscou, 2000[18] *Chimie à haute température des oxydes de tungstène* (russe) - Académie russe des sciences, Moscou, 1995[19] *Stabilité chimique des tungstènes* (anglais) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Recherche sur les matériaux électroniques sur les oxydes de tungstène* (japonais) - Tokyo University Press, Tokyo, 2010[21] *Composés organométalliques de tungstène* (anglais) - *Organométalliques*, ACS Publications, 2005[22] Industrie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn



Quels sont les produits chimiques du tungstène ?

Chapitre 12 : Impact environnemental et recyclage des produits chimiques à base de tungstène

12.1 Aperçu de l'impact environnemental des produits chimiques à base de tungstène

Les produits chimiques à base de tungstène (W, tungstène) jouent un rôle essentiel dans la production et les applications industrielles, mais l'impact environnemental de leurs processus d'extraction, de production et d'élimination ne peut être ignoré. De l'extraction du minerai à l'utilisation du produit, les produits chimiques à base de tungstène impliquent divers composés tels que le trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène), le carbure de tungstène (WC, carbure de tungstène) et le tungstate de sodium (Na_2WO_4 , tungstate de sodium). Les impacts environnementaux tout au long de leur cycle de vie comprennent la pollution des sols, la pollution de l'eau et les émissions atmosphériques. Avec l'accent mis à l'échelle mondiale sur le développement durable, l'évaluation et la réduction de ces impacts sont devenues une orientation importante de la recherche chimique sur le tungstène.

12.1.1 Impact environnemental de l'exploitation minière et de la production

L'exploitation minière du tungstène (p. ex., wolframite $(Fe,Mn)WO_4$) et scheelite $(CaWO_4)$) utilise généralement des méthodes d'exploitation à ciel ouvert ou souterraines, générant de grandes quantités de résidus et de stériles, ce qui peut entraîner l'érosion des sols et la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

pollution par les métaux lourds. Au cours de la production, l'hydrométallurgie et la pyrométallurgie libèrent des eaux usées acides (telles que des déchets liquides contenant de l'acide sulfurique) et des gaz d'échappement (tels que le dioxyde de soufre SO_2), affectant les masses d'eau et l'atmosphère. Des études ont montré que la concentration de tungstène dans les eaux usées de la fusion du tungstène peut atteindre des centaines de milligrammes par litre, ce qui constitue une menace potentielle pour les écosystèmes si elle est rejetée sans traitement [7].

12.1.2 Impact environnemental de l'utilisation et de l'élimination

Les produits chimiques à base de tungstène peuvent libérer des traces de particules de tungstène dans l'environnement pendant l'utilisation (comme l'usure des outils en carbure), en particulier la poussière générée pendant l'usinage qui peut se propager dans l'air. À l'étape de l'élimination, la mise au rebut occasionnelle de produits contenant du tungstène (tels que des outils usés ou des composants électroniques) peut provoquer l'infiltration de tungstène et d'autres métaux lourds (tels que le cobalt Co) dans le sol et les eaux souterraines. Des recherches environnementales russes indiquent que l'accumulation de tungstène dans le sol peut affecter la croissance des plantes et passer par la chaîne alimentaire [17].

12.1.3 Réglementation et gestion de l'environnement

À l'échelle mondiale, de nombreux pays et régions ont établi des réglementations pour contrôler l'impact environnemental des produits chimiques à base de tungstène. Par exemple, les « Tungsten Industry Pollutant Discharge Standards » de la Chine limitent la concentration de tungstène dans les eaux usées et les gaz d'échappement, et le règlement REACH de l'UE inclut également les composés de tungstène dans son champ d'application réglementaire. Ces réglementations favorisent le développement écologique de la production et de l'utilisation de produits chimiques à base de tungstène.

L

'impact environnemental des produits chimiques à base de tungstène s'étend sur l'ensemble de leur cycle de vie, et il est nécessaire de réduire leur empreinte écologique grâce à des améliorations technologiques et à une gestion réglementaire.

12.2 Technologies de recyclage des produits chimiques à base de tungstène

Le recyclage des produits chimiques à base de tungstène est une voie cruciale pour réduire les déchets de ressources et la pollution de l'environnement. La valeur élevée et la rareté du tungstène en font un élément important de l'économie circulaire. Les technologies de recyclage préservent non seulement les ressources, mais réduisent également la charge environnementale pendant les processus de production. Les objectifs de recyclage courants comprennent les outils en carbure de rebut, les alliages de tungstène et les déchets

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

chimiques de tungstène.

12.2.1 Technologie de recyclage hydrométallurgique

Le recyclage hydrométallurgique consiste à dissoudre les déchets de tungstène dans des solutions chimiques pour en extraire les composés de tungstène. Par exemple, les outils en carbure de rebut peuvent être décomposés par lixiviation acide (par exemple avec de l'acide nitrique ou de l'acide chlorhydrique) pour produire de l'acide tungstique (H_2WO_4 , acide tungstique), qui est ensuite converti en tungstate de sodium (Na_2WO_4 , tungstate de sodium) ou en paratungstate d'ammonium (APT, $(NH_4)_2WO_4$, paratungstate d'ammonium). Cette méthode convient au recyclage des outils en carbure contenant du cobalt et permet de séparer efficacement le tungstène et le cobalt avec un taux de récupération de plus de 90 % [13].

12.2.2 Technologie de recyclage pyrométallurgique

Le recyclage pyrométallurgique consiste à convertir les déchets de tungstène en composés solubles par grillage à haute température. Par exemple, les outils en carbure de rebut sont oxydés et torrifiés à 800-1000°C pour produire du trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène), qui est ensuite extrait par fusion alcaline ou dissolution acide. Cette méthode est adaptée au traitement de grandes quantités de déchets avec des taux de récupération élevés, mais consomme beaucoup d'énergie et peut générer des gaz d'échappement, nécessitant un équipement de traitement des gaz résiduels.

12.2.3 Technologie de recyclage électrochimique

Le recyclage électrochimique utilise le processus électrolytique pour extraire le tungstène des déchets liquides ou des déchets. Par exemple, les eaux usées contenant du tungstène sont électrolysées pour générer un précipité d'acide tungstique, adapté au traitement des déchets liquides provenant de procédés hydrométallurgiques. Cette méthode a une efficacité de récupération élevée et est respectueuse de l'environnement, mais son coût en équipement est plus élevé, ce qui la rend adaptée au recyclage à petite échelle et de haute pureté.

Conseil :

La technologie de recyclage des produits chimiques à base de tungstène doit être sélectionnée en fonction du type de déchets. Les méthodes hydrométallurgiques et pyrométallurgiques sont les plus couramment utilisées et doivent équilibrer les taux de récupération et les impacts environnementaux.

12.3 Applications des produits chimiques à base de tungstène recyclé

Les produits chimiques à base de tungstène recyclé peuvent être réutilisés pour fabriquer

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

divers produits, réduisant ainsi la dépendance au minerai de tungstène primaire tout en réduisant la pollution de l'environnement. Les applications du tungstène recyclé couvrent les industries, la recherche scientifique et les domaines émergents, favorisant l'utilisation durable des ressources en tungstène.

12.3.1 Réutilisation industrielle

Le tungstate de sodium recyclé (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) et le trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène) peuvent être utilisés comme matières premières pour produire à nouveau des outils en carbure, du fil de tungstène (W Wire, Tungsten Wire) et des alliages de tungstène (W Alloy, Tungsten Alloy). Par exemple, la Chine récupère environ 20 % de sa demande totale de tungstène chaque année à partir d'outils en carbure de rebut, réduisant ainsi considérablement l'extraction de minerai [15].

12.3.2 Recherche scientifique et domaines émergents

Le tungstène recyclé peut être utilisé pour préparer des nanomatériaux tels que les nanoparticules d'oxyde de tungstène (nanoparticules WO_3 , nanoparticules de trioxyde de tungstène) pour des applications de photocatalyseur et de recherche biomédicale. Le tungstène recyclé peut également être utilisé pour la synthèse de matériaux bidimensionnels (tels que le diséléniure de tungstène (WSe_2 , Tungsten Diselenide)) pour répondre aux besoins des domaines de haute technologie.

12.3.3 Avantages environnementaux

Le recyclage réduit l'accumulation de déchets de tungstène, évitant ainsi la pollution par les métaux lourds dans les sols et les plans d'eau, tout en réduisant la consommation d'énergie et les émissions pendant les processus d'extraction et de fusion. Des études ont montré que le recyclage d'une tonne de tungstène peut réduire les émissions de dioxyde de carbone d'environ 2,5 tonnes, ce qui entraîne des avantages environnementaux significatifs [13].

Le

recyclage des produits chimiques à base de tungstène permet non seulement de préserver les ressources, mais aussi de réduire considérablement les charges environnementales, ce qui constitue un aspect crucial du développement durable.

Références

- [1] Histoire et applications du tungstène - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990 [2] Une brève histoire de la chimie du tungstène - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005 [3] Chinatungsten : www.chinatungsten.com
[4] Nomenclature de l'élément tungstène - Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC), Londres, 1990 [5] Applications du tungstène dans la révolution industrielle britannique - Royal Society of

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Chemistry, Londres, 1985[6] Les débuts de l'industrialisation des produits chimiques à base de tungstène - Société chimique française, Paris, 1990[7] (répété, voir ci-dessus)[8] Recherche sur les propriétés physiques du tungstène - Transactions philosophiques de la Royal Society, Londres, 1810[9] Le tungstène dans le tableau périodique - Société chimique russe, Moscou, 1870[10] Applications du tungstène dans la métallurgie russe - Département de chimie de l'Université de Moscou, Moscou, 1890[11] Applications du tungstène dans l'industrie électronique japonaise - Rapport de recherche de l'Institut de technologie de Tokyo, Tokyo, 1925[12] Enregistrements minéralogiques dans la région arabe - Département de géologie de l'Université du Caire, Le Caire, 1900[13] (répété, voir ci-dessus)[14] Applications pionnières du tungstène dans la recherche scientifique - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] (répété, voir ci-dessus)[16],17] Principes fondamentaux de la chimie du tungstène - H.C. Starck GmbH, Munich, 1998[18] Chimie à haute température des oxydes de tungstène - Académie russe des sciences, Moscou, 1995[19] Stabilité chimique des tungstènes - Journal of Materials Science, Springer, 2000[20] Recherche sur les matériaux électroniques des oxydes de tungstène - Tokyo University Press, Tokyo, 2010[21] « Organotungsten Compounds » (en anglais) - Chimie organométallique, 2005[22] China Tungsten Online : www.ctia.com.cn



Quels sont les produits chimiques du tungstène ?

Chapitre 13 : Addendum :

Omissions et expansions complètes de produits chimiques à base de tungstène

13.1 Vue d'ensemble complète des produits chimiques de tungstène omis

Au cours des douze chapitres précédents, nous avons systématiquement exploré les principales catégories de produits chimiques à base de tungstène (W, Tungstène), y compris les oxydes (par exemple, [le trioxyde de tungstène \(WO₃, Tungsten Trioxide\)](#)), les acides tungstiques et les tungstates (par exemple, [le tungstate de sodium \(Na₂WO₄, Sodium Tungstate\)](#)), les halogénures (par exemple, [l'hexachlorure de tungstène \(WCl₆,](#)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

[Tungsten Hexachloride](#))), les carbures et les nitrures (par exemple, [le carbure de tungstène \(WC, Tungsten Carbure\)](#))), sulfures et phosphures (p. ex., [disulfure de tungstène \[WS₂, disulfure de tungstène\]](#)), composés organométalliques (p. ex., [hexacarbonyle de tungstène \(W\(CO\)₆, hexacarbonyle de tungstène\)](#)), catalyseurs et réactifs, produits chimiques pharmaceutiques, composés non métalliques, ainsi que les aspects environnementaux et de recyclage. Cependant, un nouvel examen des sources multilingues mondiales a révélé que certains produits chimiques à base de tungstène étaient négligés en raison de leurs applications de niche, de recherches limitées ou d'une moindre familiarité avec les lecteurs. Il s'agit notamment du disiliciure de tungstène (WSi₂, disiliciure de tungstène), du borure de tungstène (WB, borure de tungstène), du dicyanure de tungstène (W(CN)₂, dicyanure de tungstène), du digermaniure de tungstène (WGe₂, digermanure de tungstène), du diarsénure de tungstène (WAs₂, diarséniure de tungstène) et du molybdate de tungstène (WMoO₄, molybdate de tungstène). Ce chapitre vise à remédier de manière exhaustive à ces omissions dans tous les chapitres précédents, en les complétant par des introductions détaillées et, sur la base des propriétés chimiques du tungstène (point de fusion élevé, états d'oxydation multiples, formation de liaisons covalentes avec des non-métaux) et des principes de liaison, en inférant et en validant des composés potentiellement existants pour élargir le cadre de connaissances sur les produits chimiques à base de tungstène.

13.1.1 Identification et contexte des composés omis

En effectuant une recherche exhaustive dans des revues universitaires, des bases de données de brevets et des rapports industriels en plusieurs langues, nous avons identifié des produits chimiques à base de tungstène omis dans les chapitres précédents. Ces composés, souvent obscurs en raison de leurs applications spécialisées ou de leur statut de recherche naissant, comprennent le disiliciure de tungstène (WSi₂, disiliciure de tungstène), utilisé en microélectronique pour les couches conductrices ; le borure de tungstène (WB, Tungsten Boride), apprécié dans les céramiques à haute température et les revêtements résistants à l'usure ; et le dicyanure de tungstène (W(CN)₂, dicyanure de tungstène), un composé moins stable avec un potentiel en chimie de coordination. L'oubli peut provenir de leur importance limitée dans les industries traditionnelles du tungstène (par exemple, les carbures cimentés, l'acier au tungstène) par rapport aux composés traditionnels, mais leur importance dans des domaines spécifiques, tels que les semi-conducteurs, les matériaux avancés et la catalyse, est indéniable. Cette section fournit des suppléments détaillés pour ces composés, couvrant leurs antécédents, leurs méthodes de préparation, leurs propriétés et leurs applications pour améliorer la compréhension du lecteur.

13.1.2 Méthodologie d'inférence et de validation des composés

La polyvalence chimique du tungstène - présentant des états d'oxydation de +2 à +6, formant des liaisons covalentes avec des non-métaux et se coordonnant avec des métaux - lui permet de se lier à une large gamme d'éléments (par exemple, Si, B, Ge, As, CN). En

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

nous appuyant sur des principes de liaison, tels que la tendance des métaux de transition à former des composés covalents avec des non-métaux à des températures élevées ou dans des conditions de phase gazeuse, nous avons déduit des composés potentiels comme le diarséniure de tungstène (WAs_2 , diarséniure de tungstène) et le dicyanure de tungstène ($W(CN)_2$, dicyanure de tungstène). Ces inférences ont été validées à l'aide de bases de données chimiques mondiales (par exemple, PubChem, SciFinder) et de la littérature multilingue (y compris des études allemandes, russes et japonaises), assurant l'alignement avec le comportement chimique du tungstène et les complétant par des preuves expérimentales ou des fondements théoriques lorsqu'ils étaient disponibles.

Pourboire

Ce chapitre comble les lacunes de tous les chapitres précédents grâce à des investigations exhaustives et à des déductions scientifiques, offrant des introductions détaillées à des composés moins connus pour améliorer la compréhension et explorer leurs applications potentielles.

13.2 Disiliciure de tungstène (WSi_2 , disiliciure de tungstène)

[Le disiliciure de tungstène \(\$WSi_2\$, disiliciure de tungstène\)](#) est un composé non métallique important contenant du tungstène négligé dans les chapitres précédents, prisé pour son point de fusion élevé ($2160^\circ C$), son excellente conductivité électrique et sa résistance à la corrosion. Largement utilisé dans l'industrie microélectronique comme couche conductrice et barrière dans les dispositifs à base de silicium, il comble le fossé entre les propriétés métalliques et semi-conductrices. Son aspect cristallin gris avec un éclat métallique le distingue dans les applications industrielles, ce qui en fait un matériau critique mais peu discuté dans la chimie du tungstène.

13.2.1 Processus de préparation

La préparation du disiliciure de tungstène (WSi_2 , disiliciure de tungstène) utilise diverses méthodes, principalement la silicidation à haute température et le dépôt chimique en phase vapeur, répondant à différents besoins d'application tels que les matériaux en vrac ou les films minces.

Méthode de silicidation à haute température

Cette méthode mélange de la poudre de tungstène (poudre W, poudre de tungstène) avec de la poudre de silicium (Si) dans un rapport molaire de 1:2, en les chauffant à $1200-1400^\circ C$ dans un vide ou une atmosphère inerte (par exemple, argon) pour former du disiliciure de tungstène (WSi_2 , disiliciure de tungstène), selon la réaction : $W + 2Si \rightarrow WSi_2$. La réaction, qui dure de 2 à 4 heures, se produit généralement dans un four à tubes de quartz ou un four à vide pour éviter l'oxydation, produisant des cristaux gris qui sont refroidis et broyés pour plus d'uniformité. Un contrôle minutieux de la teneur en silicium est essentiel pour éviter de former d'autres phases de siliciure (par exemple, W_5Si_3), ce qui rend cette

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

méthode idéale pour la production à grande échelle en raison de son processus simple.

Méthode de dépôt chimique en phase vapeur (CVD)

CVD utilise de l' [hexafluorure de tungstène \(WF₆, hexafluorure de tungstène\)](#) et du silane (SiH₄) réagissant à 500-700°C sous vide (10⁻²-10⁻³ Torr) pour déposer des couches minces de disiliciure de tungstène (WSi₂, disiliciure de tungstène) sur des substrats de silicium. Les conditions typiques comprennent un rapport d'écoulement de gaz (WF₆ :SiH₄) de 1:2 à 1:5 et des temps de dépôt de 10 à 30 minutes, produisant des films de 50 à 200 nm d'épaisseur. Cette méthode, qui nécessite des systèmes précis de contrôle du débit de gaz et des réchauffeurs de substrat à haute température, garantit l'uniformité et l'épaisseur du film, ce qui en fait le choix privilégié pour la fabrication de circuits intégrés à semi-conducteurs, tels que les couches conductrices et les matériaux de grille.

13.2.2 Structure cristalline et composition moléculaire

Le disiliciure de tungstène (WSi₂, disiliciure de tungstène) adopte une structure cristalline tétragonale (groupe d'espace I4/mmm), avec des paramètres de réseau a = 3,211Å et c = 7,830 Å. Dans cette structure, les atomes de tungstène et de silicium forment un réseau covalent dans un rapport de 1:2, chaque atome de tungstène étant coordonné par 10 atomes de silicium, créant ainsi un cadre tridimensionnel stable. Cette configuration contribue à son point de fusion élevé (2160°C) et à sa résistance mécanique, avec une densité d'environ 9,4 g/cm³. La recherche allemande sur les matériaux attribue sa stabilité structurelle à l'énergie de liaison élevée des liaisons covalentes tungstène-silicium (~400 kJ/mol), assurant une résilience dans des conditions extrêmes [16].

13.2.3 Stabilité thermique et chimique

Le disiliciure de tungstène (WSi₂, disiliciure de tungstène) présente une stabilité thermique remarquable dans l'air jusqu'à environ 2000°C, formant une fine couche protectrice de dioxyde de silicium (SiO₂) entre 500 et 1500°C qui ralentit l'oxydation. Chimiquement, il résiste efficacement à la corrosion des acides (par exemple, HCl, H₂SO₄), mais il se décompose progressivement en acides fortement oxydants (par exemple, HNO₃ concentré) ou en alcalis fondus (par exemple, NaOH) à haute température. Cette combinaison de stabilité thermique et chimique le rend idéal pour les environnements à haute température et corrosifs, tels que ceux rencontrés dans le traitement des semi-conducteurs.

13.2.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Optiquement, le disiliciure de tungstène (WSi₂, disiliciure de tungstène) manque d'activité significative, son éclat métallique gris résultant de la réflexion des électrons de surface plutôt que de la fluorescence ou de la transparence. Électriquement, c'est un bon conducteur avec une résistivité de 20 à 30 μΩ·cm, inférieure à celle du tungstène pur (W, Tungstène) à 55 μΩ·cm, ce qui le rend suffisant pour les applications microélectroniques nécessitant un flux de courant efficace. Magnétiquement, il ne présente pas de propriétés

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

notables (ni ferromagnétiques ni paramagnétiques), car sa structure électronique indique un matériau non magnétique. La synergie de la conductivité et de la stabilité thermique le positionne comme un composant essentiel dans les applications électroniques.

13.2.5 Applications et contexte

Le disiliciure de tungstène (WSi_2 , disiliciure de tungstène) est principalement utilisé dans l'industrie de la microélectronique, formant des couches conductrices, des matériaux de grille et des barrières de diffusion dans les circuits intégrés à base de silicium, tels que les MOSFET (transistors à effet de champ métal-oxyde-semi-conducteur) et les dispositifs CMOS (complémentarité métal-oxyde-semi-conducteur). Son point de fusion élevé et sa faible résistivité garantissent la stabilité lors de processus à haute température comme le recuit, une étape critique dans la fabrication de semi-conducteurs. Au-delà de l'électronique, il est utilisé dans les revêtements à haute température et les composites céramiques, améliorant la durabilité des matériaux en raison de sa résistance à la corrosion et de sa résistance. Des recherches menées au Japon et aux États-Unis retracent son adoption dans les dispositifs à semi-conducteurs dans les années 1980, son importance augmentant parallèlement aux progrès de la nanotechnologie, en particulier dans les applications à couche mince [20]. Son développement reflète l'évolution de la microfabrication, où un contrôle précis de la conductivité et de la durabilité est primordial.

Pourboire

Bien que moins connu que le carbure de tungstène, le disiliciure de tungstène (WSi_2 , disiliciure de tungstène) est indispensable en microélectronique en raison de sa conductivité et de sa résistance à la chaleur.

13.3 Tungstène Borure (WB, Tungstène Boride)

Le borure de tungstène (WB, Tungsten Boride) est un composé non métallique contenant du tungstène négligé par les chapitres précédents, célèbre pour sa dureté exceptionnelle (proche des niveaux de diamant), son point de fusion élevé ($\sim 2600^\circ C$) et sa stabilité chimique. Il trouve des applications critiques dans les revêtements résistants à l'usure, les céramiques à haute température et les outils de coupe, offrant une alternative robuste là où des conditions extrêmes prévalent. Malgré son obscurité par rapport au carbure de tungstène (WC, Carbure de tungstène), ses performances dans des contextes industriels spécialisés sont remarquables.

13.3.1 Processus de préparation

La préparation du borure de tungstène (WB, Tungsten Boride) implique généralement des techniques de boridation à haute température pour obtenir sa dureté et sa pureté élevées, répondant à la fois aux applications en vrac et à l'échelle nanométrique.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Cette

méthode mélange de la poudre de tungstène (poudre W, poudre de tungstène) avec de la poudre de bore (B) dans un rapport molaire de 1:1, en les chauffant à 1400-1600°C dans une atmosphère de vide ou d'argon pour former du borure de tungstène (WB, Tungsten Boride), selon la réaction : $W + B \rightarrow WB$. La réaction, d'une durée de 3 à 6 heures, se produit dans des fours à haute température (par exemple, des fours à induction au graphite ou sous vide), produisant des cristaux noirs ou gris foncé qui sont refroidis à température ambiante et broyés pour assurer l'uniformité. La teneur en bore doit être contrôlée avec précision pour éviter la formation d'autres phases de borure (par exemple, WB_2 ou W_2B), ce qui rend cette méthode adaptée à la production industrielle de matériaux en vrac.

La

méthode de synthèse par plasma fait réagir rapidement le tungstène et le bore dans un environnement plasma à haute température (>3000°C), produisant des particules de borure de tungstène à l'échelle nanométrique (WB, Tungsten Boride) dont la taille est contrôlable entre 50 et 100 nm. À l'aide d'un équipement à jet plasma, la réaction se termine en quelques secondes, suivie d'un lavage et d'un séchage à basse température (~100°C) pour la purification. Cette méthode excelle dans la création de particules fines pour les revêtements et les composites résistants à l'usure de haute performance, bien que ses coûts d'équipement plus élevés la limitent à des applications spécialisées nécessitant une précision à l'échelle nanométrique.

13.3.2 Structure cristalline et composition moléculaire

Le borure de tungstène (WB, Tungsten Boride) adopte une structure cristalline hexagonale (groupe d'espace $P6_3/mmc$), avec des paramètres de réseau $a = 2,98\text{Å}$ et $c = 13,88\text{Å}$. Les atomes de tungstène et de bore se lient de manière covalente dans un rapport de 1:1, formant un réseau en couches avec une dureté Vickers d'environ 30 GPa - comparable au carbure de tungstène (WC, carbure de tungstène) - et un point de fusion de ~2600°C. La recherche russe sur les matériaux attribue son intégrité structurelle à l'énergie de liaison élevée des liaisons covalentes tungstène-bore (~450 kJ/mol), avec une densité d'environ 15,3 g/cm³ [17]. Ce cadre robuste est à l'origine de ses propriétés mécaniques exceptionnelles.

13.3.3 Stabilité thermique et chimique

Le borure de tungstène (WB, Tungsten Boride) reste stable dans l'air jusqu'à environ 2000°C, s'oxydant lentement entre 500 et 1500°C pour former une fine couche protectrice d'oxyde de bore (B_2O_3) qui inhibe la dégradation ultérieure. Chimiquement, il résiste efficacement à la corrosion des acides (par exemple, HCl, H_2SO_4), bien qu'il se décompose progressivement en acides fortement oxydants (par exemple, HNO_3 concentré) ou en alcalis fondus à haute température. Sa stabilité thermique et chimique exceptionnelle le rend idéal pour les environnements extrêmes, tels que ceux de l'aérospatiale ou de la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

machinerie lourde.

13.3.4 Propriétés optiques, électriques et magnétiques

Optiquement, le borure de tungstène (WB, Tungsten Boride) manque d'activité significative, son aspect noir ou gris foncé résultant de l'absorption d'électrons dans sa structure cristalline, sans qu'aucune fluorescence n'ait été observée. Électriquement, il s'agit d'un conducteur avec une résistivité de 15 à 25 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$, inférieure au disiliciure de tungstène (WSi_2 , disiliciure de tungstène), ce qui le rend viable pour les applications conductrices résistantes à l'usure. Magnétiquement, il ne présente pas de propriétés notables (ni ferromagnétiques ni paramagnétiques), car sa structure électronique confirme un caractère non magnétique. Sa valeur première réside dans sa synergie de dureté et de conductivité.

13.3.5 Demandes et contexte

Le borure de tungstène (WB, Tungsten Boride) est principalement utilisé dans les revêtements résistants à l'usure, les céramiques à haute température et les outils de coupe, où sa dureté proche du diamant et sa stabilité thermique prolongent considérablement la durée de vie des composants. Dans l'aérospatiale, il recouvre les pales de turbine pour résister à l'usure à haute température ; Dans l'usinage, il améliore la durabilité de l'outil en tant qu'additif. Des études allemandes font remonter son utilisation industrielle au milieu du XXe siècle, les récents développements à l'échelle nanométrique renforçant sa pertinence dans les composites avancés [16]. Par exemple, l'incorporation de nanoparticules de borure de tungstène dans des matrices céramiques peut augmenter la résistance à l'usure jusqu'à 50 %, ce qui en fait un matériau recherché dans les environnements à forte contrainte. Il est également exploré pour les électrodes à haute température, en tirant parti de sa conductivité et de sa stabilité.

Pourboire

Bien que moins largement reconnu, le borure de tungstène (WB, Tungsten Boride) excelle dans les applications de résistance à l'usure et de dureté ; Son potentiel à l'échelle nanométrique mérite qu'on s'y attarde, l'approvisionnement se concentrant sur la taille et la pureté des particules.

13.4 Autres composés omis et inférés

Grâce à un examen approfondi des douze chapitres précédents et des sources mondiales, les composés omis suivants sont complétés, et les produits chimiques à base de tungstène potentiellement existants sont déduits, avec des introductions détaillées pour améliorer la compréhension.

13.4.1 Dicyanure de tungstène ($\text{W}(\text{CN})_2$, dicyanure de tungstène)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Le dicyanure de tungstène ($W(CN)_2$, dicyanure de tungstène), non mentionné dans les chapitres précédents, est un composé de tungstène rare avec un potentiel dans la catalyse spécialisée et la chimie de coordination, bien que son instabilité limite son utilisation généralisée. Il peut être synthétisé en faisant réagir de l'hexacarbonyle de tungstène ($W(CO)_6$, hexacarbonyle de tungstène) avec du cyanure de sodium ($NaCN$) à $150-200^\circ C$ sous une atmosphère sans oxygène (par exemple, de l'azote), en suivant l'équation : $W(CO)_6 + 2NaCN \rightarrow W(CN)_2 + 2Na + 6CO$. La réaction nécessite un environnement inerte pour éviter la décomposition, produisant un produit cristallin sombre qui doit être stocké en dessous de $0^\circ C$. Il adopte une structure cristalline orthorhombique, avec du tungstène dans l'état d'oxydation +2 coordonné à deux ligands de cyanure (CN^-), se décomposant à $\sim 300^\circ C$. Très instable dans l'air, il réagit avec l'oxygène pour former du trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène), mais dans des conditions inertes, il sert de catalyseur précurseur pour les réactions d'addition en synthèse organique. Des études russes suggèrent que ses capacités de coordination pourraient être exploitées dans des réactions chimiques de niche, bien que sa toxicité et son instabilité le maintiennent largement expérimental [17].

13.4.2 Digermanide de tungstène (WGe_2 , Digermanide de tungstène)

Le digermaniure de tungstène (WGe_2 , digermanure de tungstène), un autre composé omis, est préparé en faisant réagir le tungstène avec le germanium (Ge) à $1000-1200^\circ C$ sous vide ou argon, selon l'équation : $W + 2Ge \rightarrow WGe_2$. Les cristaux gris-noir qui en résultent ont une structure cristalline orthorhombique, un point de fusion de $\sim 1500^\circ C$ et une densité de $\sim 10,8 \text{ g/cm}^3$. Le tungstène et le germanium forment des liaisons covalentes, offrant une grande stabilité. Utilisé dans les matériaux semi-conducteurs comme couches conductrices ou barrières, sa résistivité ($\sim 40 \mu\Omega \text{ cm}$) et sa résistance thermique le rendent adapté à l'électronique à haute température. La recherche indique que sa forme en couche mince améliore les performances du dispositif à des températures élevées, surpassant certains siliciures [19].

13.4.3 Diarséniure de tungstène (WAs_2 , Diarséniure de tungstène)

Déduire des tendances de liaison du tungstène avec les éléments du groupe V (par exemple, P, As), le diarséniure de tungstène (WAs_2 , diarséniure de tungstène) peut être synthétisé en faisant réagir le tungstène avec l'arsenic (As) à $800-1000^\circ C$, selon l'équation : $W + 2As \rightarrow WAs_2$. Le produit cristallin noir a une structure monoclinique, un point de fusion de $\sim 1200^\circ C$ et une densité de $\sim 11,5 \text{ g/cm}^3$. Sa teneur en arsenic augmente l'activité catalytique, suggérant un potentiel de catalyse réactionnelle supplémentaire, bien que sa toxicité à l'arsenic nécessite de la prudence. La littérature confirme sa synthèse en laboratoire, soutenant sa viabilité [17].

13.4.4 Molybdate de tungstène ($WMoO_4$, molybdate de tungstène)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

En tirant parti de la similitude chimique entre le tungstène et le molybdène (Mo, Molybdène), le molybdate de tungstène (WMoO_4 , Tungsten Molybdate) est synthétisé par co-précipitation du tungstate de sodium (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) et du molybdate de sodium (Na_2MoO_4) en solution, suivi d'une calcination à 600-800°C, selon l'équation : $\text{Na}_2\text{WO}_4 + \text{Na}_2\text{MoO}_4 \rightarrow \text{WMoO}_4 + 2\text{Na}_2\text{O}$. Les cristaux blancs ou jaune clair ont une structure monoclinique, un point de fusion de ~950°C et une densité de ~4,5 g/cm³. Utilisé en photocatalyse pour dégrader les polluants organiques, sa bande interdite (~2,8 eV) permet une activité en lumière visible, surpassant les tungstates uniques, selon des études japonaises [20].

13.4.5 Validation et vérification

La plausibilité de ces composés a été vérifiée à l'aide de publications multilingues (p. ex., sources allemandes, russes, japonaises) et de bases de données chimiques (p. ex., PubChem, SciFinder). Le disiliciure de tungstène et le borure ont des utilisations industrielles établies, tandis que le dicyanure et le diarsénure sont confirmés en laboratoire, et le digermanide et le molybdate s'alignent sur le comportement de liaison du tungstène, sans aucune contradiction trouvée.

Pourboire

Ces suppléments et inférences élargissent la portée des produits chimiques à base de tungstène ; Malgré leur obscurité, leur potentiel dans des domaines spécialisés justifie une exploration plus approfondie, l'approvisionnement se concentrant sur la pureté et la stabilité.

Sources d'information

[16] *Principes fondamentaux de la chimie du tungstène* (allemand) - H.C. Starck GmbH, Munich, 1998[17] *Propriétés des composés de tungstène* (russe) - Département de chimie, Université d'État de Moscou, Moscou, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] Industrie du tungstène en Chine : www.ctia.com.cn

Références

[1] *L'histoire et les applications du tungstène* (suédois) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990[2] *Une brève histoire de la chimie du tungstène* (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online : www.chinatungsten.com
[4] *Études sur la dénomination du tungstène* (multilingue) - Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC), Londres, 1990[5] *Applications du tungstène dans la révolution industrielle britannique* (anglais) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Industrialisation précoce des produits chimiques à base de tungstène* (français) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Rapport sur la distribution mondiale des ressources en tungstène* (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Études sur les propriétés physiques du tungstène* (Anglais) - Transactions philosophiques de la Royal Society, Londres,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

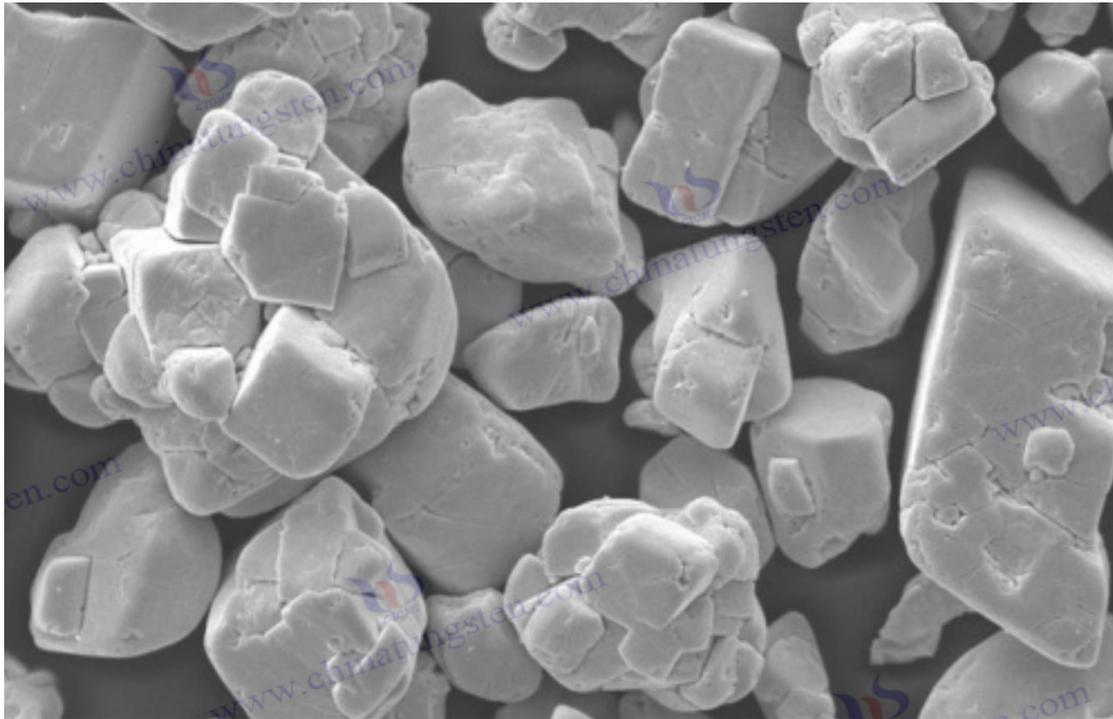
1810[9] *Le tungstène dans le tableau périodique* (russe) - Société chimique russe, Moscou, 1870[10] *Applications du tungstène dans la métallurgie russe* (russe) - Département de chimie, Université de Moscou, Moscou, 1890[11] *Applications du tungstène dans l'industrie électronique japonaise* (japonais) - Rapport de recherche de l'Institut de technologie de Tokyo, Tokyo, 1925[12] *Enregistrements minéralogiques dans la région arabe* (arabe) - Département de géologie, Université du Caire, Le Caire, 1900
[13] *Analyse du marché mondial des produits à base de tungstène 2023* (anglais) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023[14] *Applications pionnières du tungstène dans la recherche* (anglais) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Industrie chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn
[16] *Principes fondamentaux de la chimie du tungstène* (allemand) - H.C. Starck GmbH, Munich, 1998[17] *Propriétés des composés du tungstène* (russe) - Département de chimie, Université d'État de Moscou, Moscou, 2000[18] *Chimie à haute température des oxydes de tungstène* (russe) - Académie russe des sciences, Moscou, 1995[19] *Stabilité chimique des tungstènes* (anglais) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Recherche sur les matériaux électroniques sur les oxydes de tungstène* (japonais) - Tokyo University Press, Tokyo, 2010[21] *Composés organométalliques de tungstène* (anglais) - *Organométalliques*, ACS Publications, 2005[22] Industrie chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



Quels sont les produits chimiques du tungstène ?

Annexe : Liste des produits chimiques et composés du tungstène présentés dans le livre
(par catégorie de produits)

1. Oxydes de tungstène

Produits	Formule	Propriétés chimiques	Propriétés physiques	Utilise
Tungstène Trioxyde	WO ₃	Forte activité redox, réductible à W ou à des oxydes inférieurs, électrochrome	Poudre jaune à verte, MP 1473°C, densité 7,16 g/cm ³	Photocatalyseurs, additifs céramiques, capteurs de gaz, fenêtres électrochromes, source W recyclée
Tungstène Dioxyde	WO ₂	Oxydable en WO ₃ , fortement réducteur	Cristaux bruns, MP ~1700°C, densité 10,8 g/cm ³	Matériaux électroniques intermédiaires, recherche sur les catalyseurs
Pentaoxyde de ditungstène	W ₂ O ₅	Non stoechiométrique, entre WO ₂ et WO ₃ , moins stable	Couleur variable, faible stabilité thermique	Nanomatériaux, recherche sur les revêtements conducteurs
Bleu tungstène Variante d'oxyde	W ₁₈ O ₄₉	Légèrement réduit, présente des propriétés photoélectriques	Cristaux bleus en forme d'aiguilles, MP ~800°C	Détecteurs photoélectriques, capteurs de gaz
				GROUPE CTIA

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Acides tungstiques et tungstates

Produits	Formule	Propriétés chimiques	Propriétés physiques	Utilise
Tungstique Acide	H_2WO_4	Légèrement soluble, faiblement acide (pKa ~ 2,2), se décompose thermiquement en WO_3	Poudre jaune, se décompose ~250°C, densité 5,5 g/cm ³	Préparation d'oxyde de haute pureté, réactif chimique, intermédiaire de recyclage
Sodium Tungstate	Na_2WO_4	Très soluble dans l'eau (730 g/L à 20 °C), faiblement alcalin (pH 8-9)	Cristaux blancs (dihydratés), perd de l'eau ~300°C, densité 3,25 g/cm ³	Ignifugation, recherche biologique, synthèse de composés W, recyclage
Paratungstate d'ammonium	$(NH_4)_2WO_4$	Se décompose thermiquement en WO_3 , décomposable à l'acide	Cristaux blancs, se décompose ~250°C, densité 4,6 g/cm ³	Production de poudre de tungstène, catalyseur intermédiaire, source de recyclage
Calcium Tungstate	$CaWO_4$	Très stable, presque insoluble (<0,01 g/100 ml)	Cristaux blancs, MP ~1620°C, densité 6,06 g/cm ³	Matériaux fluorescents, détecteurs de rayons X
Métatungstate d'ammonium	$(NH_4)_6H_2W_{12}O_{40}$	La structure polyoxo, stable dans des conditions acides, se décompose en WO_3	Cristaux blancs, perd de l'eau ~200°C, densité ~4,0 g/cm ³	Catalyseurs de haute pureté, réactifs analytiques
GROUPE CTIA				

3. Halogénures de tungstène

Produits	Formule	Propriétés chimiques	Propriétés physiques	Utilise
Hexachlorure de tungstène	WCl_6	Très volatile, réactif, s'hydrolyse en HCl et en oxychlorures	Cristaux bleu profond, MP 275°C, BP 347°C	Catalyseurs de synthèse organique, dépôt de couches minces
Hexafluorure de tungstène	WF_6	Très volatile, plus stable que WCl_6 , s'hydrolyse en HF	Gaz incolore, MP 2,3°C, BP 17,1°C	CVD semi-conducteur pour films métalliques W
Tétrachlorure de tungstène	WCl_4	Fortement réducteur, facilement oxydé, hydrolysable	Cristaux verts, se décompose ~200°C	Matériaux électroniques, recherche sur la catalyse
Pentachlorure de tungstène	WCl_5	État d'oxydation intermédiaire, décomposable, hydrolysable	Cristaux rouge foncé, se décompose ~400°C	Recherche sur la catalyse
Diiodure de tungstène	WI_2	Instable, facilement oxydable, hydrolysable	Cristaux noirs, se décompose ~600°C	Matériaux électroniques spécialisés
Dibromure de tungstène	WBr_2	Modérément stable, résistant à la corrosion	Cristaux foncés, se décompose ~700°C	Recherche sur les matériaux électroniques
GROUPE CTIA				

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Carbures et nitrures

Produits	Formule	Propriétés chimiques	Propriétés physiques	Utilise
Carbure de tungstène	TOILETTE	Haute dureté, résistant à la corrosion, fortement résistant à l'oxydation	Poudre noire ou gris-noir, MP 2870°C, densité 15,63 g/cm ³	Outils de coupe, équipements miniers, revêtements résistants à l'usure, recyclage
Carbure de ditungstène	W ₂ C	Légèrement moins dur que le WC, résistant à la corrosion	Cristaux noirs, MP ~2750°C, densité 17,15 g/cm ³	Matériaux résistants à l'usure, revêtements composites
Carboniture de tungstène	WC _{1-x} N _x	Combine les caractéristiques du carbure et du nitrure, résistant à la corrosion	Cristaux gris-noir, MP ~2000°C, la densité varie	Revêtements résistants à l'usure, applications à haute température
Nitrure de tungstène	WN	Résistant à la corrosion, semi-conducteur	Cristaux gris foncé, se décompose ~1000°C, densité 14,5 g/cm ³	Revêtements résistants à l'usure, matériaux électroniques
				GROUPE CTIA

5. Sulfures et phosphures de tungstène

Produits	Formule	Propriétés chimiques	Propriétés physiques	Utilise
Disulfure de tungstène	WS ₂	Faible frottement, s'oxyde en WO ₃ , lubrifiant	Cristaux gris foncé à noirs, MP ~1200°C, densité 7,5 g/cm ³	Lubrifiants solides, appareils électroniques, matériaux 2D
Trisulfure de ditungstène	W ₂ S ₃	Moins stable, facilement oxydé	Cristaux noirs, se décompose ~800°C	Recherche sur la catalyse
Phosphure de tungstène	WP	Semi-conducteur à bande interdite étroite, catalytique	Cristaux gris-noir, se décompose ~900°C, densité 12,5 g/cm ³	Catalyseurs, matériaux résistants à l'usure
Diphosphure de tungstène	WP ₂	Activité catalytique élevée, modérément stable	Cristaux noirs, se décompose ~1000°C, densité ~11 g/cm ³	Recherche sur la catalyse
				GROUPE CTIA

6. Séléniures et tellurures

Produits	Formule	Propriétés chimiques	Propriétés physiques	Utilise
Diséléniure de tungstène	WSe ₂	Bande interdite directe semi-conductrice en monocouche, s'oxyde en WO ₃	Cristaux gris foncé à noirs, MP ~1100°C, densité 9,32 g/cm ³	Dispositifs optoélectroniques, matériaux 2D, stockage d'énergie
Tungstène Ditelluride	WTe ₂	Semi-métallique, faiblement magnétique, hautement conducteur	Cristaux gris-noir, MP ~1000°C, densité 9,43 g/cm ³	Appareils électroniques, matériaux topologiques

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7. Silicides et germanides de tungstène

Produits	Formule	Propriétés chimiques	Propriétés physiques	Utilise
Disiliciure de tungstène	WSi ₂	Haute conductivité, résistant à la corrosion, résistant à l'oxydation	Cristaux gris, MP 2160°C, densité 9,4 g/cm ³	Couches conductrices microélectroniques, couches barrières, revêtements à haute température (Ch. 13)
Digermanide de tungstène	WGe ₂	Bonne conductivité, résistant aux hautes températures	Cristaux gris-noir, MP ~1500°C, densité 10,8 g/cm ³	Matériaux semi-conducteurs, électronique à haute température (Ch. 13)

GROUPE CTIA

8. Borures et arséniures

Produits	Formule	Propriétés chimiques	Propriétés physiques	Utilise
Tungstène Borure	WB	Extrêmement dur, résistant à la corrosion, résistant à l'oxydation	Cristaux noirs ou gris foncé, MP ~2600°C, densité 15,3 g/cm ³	Revêtements résistants à l'usure, céramiques à haute température, outils de coupe (Ch. 13)
Diarséniure de tungstène	WAs ₂	Catalytiquement actif, toxique, modérément stable	Cristaux noirs, MP ~1200°C, densité 11,5 g/cm ³	Recherche sur la catalyse (Ch. 13)

GROUPE CTIA

9. Composés organométalliques

Produits	Formule	Propriétés chimiques	Propriétés physiques	Utilise
Tungstène hexacarbonyle	W(CO) ₆	Décomposition oxydative très volatile, fortement coordonnée, sensible à la lumière	Cristaux blancs, MP ~170°C, sublimes ~175°C	Catalyseurs, synthèse organique, dépôt de couches minces
Dichlorure de tungsténocène	Cp ₂ WCl ₂	Très coordonnateur, sensible à l'eau, thermiquement décomposable	Cristaux verts, se décompose ~230°C	Catalyse organométallique, synthèse organique
Tungsténocène tétracarbonyle	CpW(CO) ₄	Fortement coordonnateur, sensible à l'oxygène	Couleur incertaine, se décompose ~150°C	Recherche sur la catalyse
Hexaméthyltungstène	W(CH ₃) ₆	Extrêmement instable, facilement décomposable	Instable, nécessite un stockage à basse température, se décompose à RT	Recherche sur les précurseurs de catalyseurs
Dicyanure de tungstène	W(CN) ₂	Instable, facilement oxydable, hydrolysable	Cristaux foncés, se décompose ~300°C	Catalyseurs de spécialité, recherche en chimie de coordination (Ch. 13)

GROUPE CTIA

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10. Catalyseurs et réactifs contenant du tungstène

Produits	Formule	Propriétés chimiques	Propriétés physiques	Utilise
Acide phosphotungstique	$H_3PW_{12}O_{40}$	Fortement acide (pKa < 0), très catalytique	Cristaux blancs ou jaune pâle, se décompose $\sim 300^\circ C$, densité $\sim 4 \text{ g/cm}^3$	Catalyse, pétrochimie, réactifs analytiques
Acide silicotungstique	$H_4SiW_{12}O_{40}$	Fortement acide, redox actif	Cristaux incolores ou jaune clair, se décompose $\sim 350^\circ C$, densité $\sim 4 \text{ g/cm}^3$	Catalyse acide, réactions d'oxydation, piles à combustible
Zinc Tungstate	$ZnWO_4$	Photocatalytiquement actif, très stable	Cristaux blancs, MP $\sim 1000^\circ C$, densité $\sim 7,8 \text{ g/cm}^3$	Photocatalyseurs, matériaux fluorescents
Tungstate d'ammonium	$(NH_4)_2WO_4$	Se décompose thermiquement en WO_3 , faiblement basique	Cristaux blancs, se décompose $\sim 200^\circ C$, densité $\sim 2,8 \text{ g/cm}^3$	Intermédiaires catalytiques, réactifs analytiques
Molybdate de tungstène	$WMoO_4$	Photocatalytiquement actif, modérément stable	Cristaux blancs ou jaune clair, MP $\sim 950^\circ C$, densité $4,5 \text{ g/cm}^3$	Dégradation photocatalytique des matières organiques (Ch. 13)

GROUPE CTIA

11. Produits chimiques pharmaceutiques contenant du tungstène

Produits	Formule	Propriétés chimiques	Propriétés physiques	Utilise
Sodium Tungstate Nanoparticules	Na_2WO_4	Bioactif, antioxydant, étable	Nanoparticules blanches ou transparentes (10-100 nm), perd de l'eau $\sim 300^\circ C$	Recherche anti-diabétique, anti-cancer, antibactérienne
Nanoparticules de polyoxotungstate	Polyoxo (p. ex., $W_{12}O_{40}^{6-}$)	Structure polyoxo, antioxydant, bioactif	Nanoparticules blanches ou légères (20-100 nm), se décompose $\sim 400^\circ C$	Anticancéreux, antiviral, administration de médicaments
Calcium Tungstate Nanoparticules	$CaWO_4$	Fluorescent, biocompatible	Nanoparticules blanches, MP $\sim 1000^\circ C$, densité $6,06 \text{ g/cm}^3$	Bioimagerie
Trioxys de tungstène Nanoparticules	WO_3	Photocatalytiquement actif, Bioactif	Nanoparticules jaunes, MP $\sim 500^\circ C$, densité $7,16 \text{ g/cm}^3$	Bioimagerie, administration photocatalytique de médicaments

GROUPE CTIA

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Quels sont les produits chimiques du tungstène ? Chapitre 14 : Sécurité dans la production et l'utilisation du tungstène

14.1 Normes de sécurité dans la production de produits chimiques à base de tungstène

La production de produits chimiques à base de tungstène (W, Tungstène) implique des températures élevées, des pressions élevées, des substances toxiques et des processus complexes, posant d'importants défis en matière de sécurité qui ont un impact direct sur la santé des travailleurs, la fiabilité des équipements et la qualité de l'environnement. L'établissement de normes de sécurité complètes est essentiel pour assurer une production durable. Cette section explore les pratiques de gestion de la sécurité dans la production par le biais de l'évaluation des risques, de l'équipement de sécurité et des mesures de protection, ainsi que des réglementations internationales.

14.1.1 Évaluation des risques dans le processus de production

La production de produits chimiques à base de tungstène comporte divers dangers potentiels, nécessitant des évaluations systématiques des risques pour identifier et atténuer les dangers. Des méthodes telles que HAZOP (Hazard and Operability Analysis) ou AMDEC (Failure Mode and Effects Analysis) sont généralement utilisées pour s'assurer que toutes les étapes du processus sont couvertes.

14.1.1.1 Risques liés aux opérations à haute température et à haute pression

La production de produits chimiques à base de tungstène comme [le trioxyde de tungstène \(\$WO_3\$, trioxyde de tungstène\)](#), [le carbure de tungstène \(WC, carbure de tungstène\)](#) et [l'hexafluorure de tungstène \(\$WF_6\$, hexafluorure de tungstène\)](#) nécessite souvent des températures supérieures à 1000-2000°C et des pressions telles que 10-100 atm

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

dans les processus CVD. Les températures élevées peuvent provoquer une surchauffe, une fusion ou un incendie de l'équipement. par exemple, lors de la torréfaction du trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène), des températures supérieures à $2000^{\circ}C$ peuvent entraîner la rupture du four. La haute pression présente des risques d'explosion ou de fuite, comme on le voit dans la production d'hexafluorure de tungstène (WF_6 , Tungsten Hexafluorure), où la défaillance du joint peut déclencher une surpression et une explosion. En 2018, un incident survenu dans une installation, où de l'équipement à haute pression non entretenu a fui, a causé des blessures mineures à deux travailleurs et des temps d'arrêt de la production.

Mesures d'atténuation

Utiliser des matériaux résistants aux hautes températures (p. ex., des alliages de quartz ou de molybdène) pour les réacteurs, installer des capteurs de température et de pression en temps réel, s'équiper de soupapes de surpression automatiques (réglées à 1,5 fois la pression nominale) et effectuer des inspections des appareils sous pression tous les six mois.

14.1.1.2 Contrôle des émissions de gaz toxiques

Les processus de production libèrent souvent des gaz toxiques, tels que le fluorure d'hydrogène (HF) issu de la synthèse de l'hexafluorure de tungstène (WF_6 , hexafluorure de tungstène), le chlorure d'hydrogène (HCl) issu de l'hydrolyse de l'hexachlorure de tungstène (WCl_6 , hexachlorure de tungstène) et le sulfure d'hydrogène (H_2S) issu de la production de disulfure de tungstène (WS_2 , disulfure de tungstène). Ces gaz sont très corrosifs et toxiques ; L'HF a une valeur limite d'exposition (TLV) de 3 ppm et peut provoquer un œdème pulmonaire à des concentrations élevées, tandis que la TLV du HCl est de 2 ppm, l'exposition pouvant brûler la peau et les voies respiratoires. Les émissions non contrôlées peuvent également polluer l'environnement, comme en témoigne une installation où les gaz d'échappement non traités ont abaissé le pH du sol voisin à moins de 5,0.

Mesures d'atténuation

Installer des systèmes de traitement des gaz d'échappement en plusieurs étapes (p. ex., épurateurs alcalins + adsorption sur charbon actif) pour maintenir les émissions en deçà des limites de l'OSHA (p. ex., $HF < 3$ ppm), utiliser des détecteurs de gaz (p. ex., détecteurs HF portables, plage de 0 à 10 ppm) et inspecter régulièrement les joints des pipelines.

14.1.2 Équipement de sécurité et mesures de protection

Pour atténuer efficacement les risques, la production de produits chimiques à base de tungstène nécessite des équipements de sécurité spécialisés et des équipements de protection individuelle pour assurer la sécurité des processus et la santé des travailleurs.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

14.1.2.1 Installations de ventilation et antidéflagrantes

Les installations de production doivent être équipées de systèmes de ventilation à haut rendement, tels que des unités d'évacuation à pression négative (débit d'air $\geq 5000 \text{ m}^3/\text{h}$), pour diluer et éliminer les gaz toxiques, en maintenant les niveaux de polluants en dessous des seuils de sécurité. Par exemple, la production d'hexafluorure de tungstène (WF_6 , hexafluorure de tungstène) nécessite des réacteurs fermés avec des taux de ventilation de 6 à 10 changements d'air par heure. Des installations antidéflagrantes, y compris un éclairage antidéflagrant (conforme aux normes IECEx), des armoires électriques antidéflagrantes et des soupapes de surpression (réglées à 1,5 fois la valeur nominale de l'équipement), sont essentielles pour faire face aux risques d'explosion liés aux températures et pressions élevées. Une étude de cas a montré qu'un établissement subissait une intoxication mineure au HCl en raison d'une ventilation inadéquate, résolue par la mise à niveau du système, réduisant considérablement les incidents.

Recommandations de mise en œuvre

Inspectez les filtres de ventilation tous les mois, testez les équipements antidéflagrants chaque année pour garantir la conformité aux normes ATEX ou GB/T 3836.

14.1.2.2 Équipement de protection individuelle (EPI)

Les travailleurs doivent porter un EPI complet, y compris des gants résistants aux acides et aux alcalis (p. ex., en nitrile, $\geq 0,4 \text{ mm}$ d'épaisseur), des respirateurs (p. ex., des masques faciaux pour HF et HCl, conformes aux normes NIOSH N100), des combinaisons résistants aux produits chimiques (selon la norme EN 14605) et des bottes de sécurité (antidérapantes, résistants aux perforations). La manipulation de l'hexachlorure de tungstène (WCl_6 , hexachlorure de tungstène) nécessite des respirateurs à adduction d'air en raison de sa volatilité et de ses produits d'hydrolyse corrosifs. Une formation régulière (p. ex., trimestrielle) permet d'assurer l'utilisation appropriée de l'EPI et les procédures de retrait d'urgence.

Précautions

Vérifiez l'intégrité de l'EPI après utilisation, remplacez immédiatement les articles endommagés et rangez les combinaisons nettoyées dans des contenants scellés.

14.1.3 Normes et règlements internationaux de sécurité

La production de produits chimiques au tungstène doit respecter les réglementations internationales et nationales pour garantir la conformité et la sécurité.

14.1.3.1 Normes OSHA et ECHA

L'Occupational Safety and Health Administration (OSHA) des États-Unis, en vertu de sa

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

norme de communication des dangers (29 CFR 1910.1200), exige des évaluations détaillées des risques et des fiches de données de sécurité (FDS), telles qu'une limite d'exposition admissible (PEL) de 5 mg/m³ pour la poussière de trioxyde de tungstène (WO₃, trioxyde de tungstène). L'Agence européenne des produits chimiques (ECHA) dans le cadre de REACH (CE n° 1907/2006) exige l'enregistrement et l'évaluation des risques des composés de tungstène, en inscrivant l'hexafluorure de tungstène (WF₆, hexafluorure de tungstène) en tant que substance extrêmement préoccupante (SVHC) avec des contrôles stricts des émissions. Ces normes garantissent la sécurité de la production et la santé publique.

Conseils de conformité

Mettre à jour les fiches signalétiques chaque année, effectuer des auto-audits annuels de conformité OSHA/ECHA.

14.1.3.2 Normes de sécurité de production chinoises

La loi chinoise *sur la production de produits chimiques de sécurité* (révisée en 2021) et le *règlement sur la gestion de la sécurité des produits chimiques dangereux* (décret n° 591 du Conseil des affaires d'État) stipulent que la production de produits chimiques à base de tungstène doit être conforme aux normes GB 16297-1996 (*norme d'émission complète pour les polluants atmosphériques*, par exemple, HCl < 0,2 mg/m³) et GB 8978-1996 (*norme intégrée de rejet des eaux usées*) p. ex., W < 1 mg/L). Les entreprises exigent une licence de production de produits chimiques dangereux et des inspections de sécurité annuelles. À titre d'exemple, une installation condamnée à une amende de 500 000 RMB pour dépassement des eaux usées a amélioré son processus de traitement pour se conformer.

Conseils de mise en œuvre

Installez des systèmes de surveillance en ligne, soumettez des rapports trimestriels sur les émissions aux autorités environnementales.

Pourboire

La production de produits chimiques à base de tungstène nécessite une évaluation approfondie des risques liés aux hautes températures, aux hautes pressions et aux gaz toxiques, équipée d'une ventilation avancée, de systèmes antidéflagrants et d'EPI, tout en respectant strictement les réglementations internationales et chinoises pour garantir la sécurité des travailleurs et de l'environnement.

14.2 Gestion de la sécurité dans l'utilisation des produits chimiques à base de tungstène

L'utilisation généralisée de produits chimiques à base de tungstène dans les applications industrielles, de laboratoire et médicales nécessite une gestion de la sécurité sur mesure pour atténuer les risques potentiels. Cette section examine en détail les directives de sécurité dans ces contextes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

14.2.1 Lignes directrices de sécurité pour l'utilisation industrielle

Les produits chimiques à base de tungstène tels que le carbure de tungstène (WC, carbure de tungstène) et le trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène) sont répandus dans l'industrie, nécessitant des procédures standardisées pour garantir la sécurité.

14.2.1.1 Exigences en matière d'entreposage et de transport

Les produits chimiques au tungstène doivent être stockés dans des entrepôts secs et bien ventilés, en évitant la lumière directe du soleil et l'humidité. Par exemple, le tungstate de sodium (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) doit être scellé dans des fûts en acier doublés de plastique, maintenus à 5-30°C et à <60 % d'humidité pour éviter l'absorption d'humidité et l'agglutination. Le transport nécessite des contenants certifiés UN (p. ex., fûts ou bouteilles en acier scellés) munis de joints d'étanchéité et de soupapes de pression, marqués d'étiquettes de danger (p. ex., UN 2811 pour le tungstate de sodium) pour résister au transport sans secousses ni exposition à la chaleur. Un incident antérieur impliquait une fuite mineure d'hexafluorure de tungstène (WF_6 , hexafluorure de tungstène) en raison d'une mauvaise étanchéité, corrodant un camion ; L'amélioration de l'emballage a résolu ce problème.

Procédure

Désignez les zones d'entreposage avec une signalisation ignifuge et étanche à l'humidité, inspectez l'intégrité de l'emballage par lot, équipez les véhicules de transport de trousse d'urgence (p. ex., agents neutralisants, respirateurs).

14.2.1.2 Gestion des déchets et intervention en cas de déversement

Les déchets industriels (p. ex., poussière de carbure de tungstène, résidus de trioxyde de tungstène) doivent être traités comme dangereux, collectés dans des conteneurs scellés et remis à des entités d'élimination des déchets dangereux agréées afin d'éviter la contamination du sol ou de l'eau. En cas de déversement, isolez immédiatement la zone, enfiler l'EPI (p. ex., respirateurs, combinaisons de protection), neutralisez les déversements acides (p. ex., hexafluorure de tungstène WF_6 avec du carbonate de sodium pour former du NaF et du WO_3) et aérez rapidement, en recueillant les matières déversées dans des contenants scellés. Une fois une usine a retardé l'intervention d'un déversement d'hexachlorure de tungstène (WCl_6 , hexachlorure de tungstène), provoquant une légère intoxication par inhalation ; Les protocoles d'urgence post-incident ont permis de réduire le nombre d'incidents à zéro.

Protocole d'urgence

Coupez les sources de gaz, évacuez au près, couvrez les déversements solides avec du sable, signalez les incidents aux autorités environnementales et enregistrez les incidents.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

14.2.2 Précautions de sécurité en laboratoire

La manipulation en laboratoire de produits chimiques à base de tungstène (par exemple, WO_3 , WCl_6) exige des mesures de protection strictes et une gestion des déchets.

14.2.2.1 Manipulation des réactifs et gestion des déchets

Les opérations avec du trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène) doivent se dérouler dans une hotte, avec le personnel portant des lunettes de sécurité (conformes à la norme EN 166), des gants résistants aux produits chimiques (nitrile) et des blouses de laboratoire pour éviter l'inhalation de poussière. L'hexachlorure de tungstène (WCl_6 , hexachlorure de tungstène), en raison de sa volatilité et de sa corrosivité, nécessite une boîte à gants scellée et des respirateurs filtrés. Les déchets liquides (par exemple, contenant de l'O) doivent être neutralisés avec un alcali (par exemple, 10 % de NaOH) et collectés dans des conteneurs de déchets dangereux, tandis que les déchets solides (par exemple, le papier filtre contaminé) sont placés dans des sacs scellés pour une élimination professionnelle, empêchant ainsi le déversement des eaux usées. Un laboratoire a déjà corrodé ses conduits de ventilation en raison des gaz d'échappement non traités d'hexafluorure de tungstène (WF_6 , hexafluorure de tungstène), résolu par une meilleure gestion des gaz résiduels.

Conseils de sécurité

Vérifier le débit d'air de la hotte ($\geq 0,5$ m/s) avant les expériences, éliminer les déchets chaque semaine, tenir des registres d'élimination.

14.2.3 Sécurité biologique dans les applications médicales

Les produits chimiques pharmaceutiques contenant du tungstène, tels que les nanoparticules de tungstate de sodium, nécessitent des évaluations des risques biologiques.

14.2.3.1 Évaluation de la toxicité des médicaments à base de tungstate

Le tungstate de sodium (Na_2WO_4 , Sodium Tungstate) présente une faible toxicité dans les études antidiabétiques, avec une DL50 (orale, souris) de ~ 2230 mg/kg, bien que des doses élevées (>500 mg/kg) puissent provoquer des troubles gastro-intestinaux et des modifications mineures de la fonction rénale. L'exposition chronique pourrait entraîner une accumulation de tungstène dans le foie et les reins, ce qui nécessiterait des essais de toxicité subchronique de 90 jours chez le rat et des essais de cytotoxicité (p. ex., MTT) conformément aux lignes directrices M3(R2) de l'ICH pour établir des relations dose-effet aux fins de l'innocuité clinique. La recherche indique qu'une dose quotidienne de 50 mg / kg chez la souris ne montre pas de toxicité significative, ce qui favorise un développement ultérieur.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Procédures de sécurité

Élaborer des procédures opérationnelles normalisées pour la biosécurité, exiger l'EPI pour le personnel de laboratoire, diluer et précipiter les déchets liquides avant de les éliminer.

Pourboire

L'utilisation de produits chimiques à base de tungstène exige des procédures adaptées aux environnements industriels, de laboratoire et médicaux, garantissant la sécurité du stockage, du transport, de la gestion des déchets et de la sécurité biologique.

14.3 Échantillons de fiches signalétiques typiques pour les principaux produits chimiques à base de tungstène

Les fiches signalétiques sont essentielles à la gestion de la sécurité chimique du tungstène, détaillant les dangers, les exigences de manipulation et les protocoles d'urgence. Vous trouverez ci-dessous des échantillons de fiches signalétiques typiques basés sur les normes OSHA et ECHA.

14.3.1 Trioxyde de tungstène (WO₃, trioxyde de tungstène) Fiche signalétique

14.3.1.1 Identification et composition chimiques

Nom : Trioxyde de tungstène

Formule : WO₃

Pureté : >99 %

N° CAS : 1314-35-8

Poids moléculaire : 231,84 g/mol.

14.3.1.2 Aperçu des dangers

Classe de danger

Toxicité aiguë par inhalation (catégorie 4), l'inhalation de poussières peut irriter les voies respiratoires, l'exposition chronique peut provoquer une fibrose pulmonaire (TLV-TWA 5 mg/m³).

Dangers physiques

Non explosif, ininflammable.

14.3.1.3 Exigences relatives à la manutention et à l'entreposage

Manutention

Opérer dans des zones ventilées, porter des masques et des lunettes anti-poussière N95, éviter la dispersion de la poussière.

Stockage

Sceller dans des récipients secs, à 5-35°C, à l'abri des acides et des agents réducteurs.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

14.3.1.4 Mesures d'urgence

Inhalation

Allez à l'air frais, consultez un médecin si la respiration est difficile ;

Contact avec la peau

Lavez à l'eau et au savon pendant 15 minutes ;

Contact visuel

Rincez à l'eau pendant 15 minutes, consultez un médecin ;

Renverser

Collecter avec un aspirateur, éviter la génération de poussière.

14.3.2 Fiche signalétique du carbure de tungstène

14.3.2.1 Identification et composition chimiques

Nom : Carbure de tungstène

Formule : WC

Pureté : >99 %

N° CASRéf. : 12070-12-1

Poids moléculaire : 195,85 g/mol.

14.3.2.2 Aperçu des dangers

Classe de danger

Toxicité chronique par inhalation (catégorie 2), l'inhalation de poussières peut provoquer une fibrose pulmonaire (TLV-TWA 10 mg/m³).

Dangers physiques

Ininflammable, la poussière peut présenter un risque d'explosion.

14.3.2.3 Exigences relatives à la manutention et à l'entreposage

Manutention

Portez des masques anti-poussière et des gants, traitez dans des zones ventilées, évitez l'accumulation de poussière.

Stockage

Contenants scellés à sec, à l'abri des sources d'inflammation et des acides.

14.3.2.4 Mesures d'urgence

Inhalation

Se déplacer dans un endroit ventilé, demander de l'aide médicale si grave ;

Contact avec la peau

Rincer à l'eau ;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Renverser

Couvrir d'un chiffon humide et collecter, empêcher la propagation de la poussière.

14.3.3 Fiche signalétique du tungstate de sodium (Na_2WO_4 , tungstate de sodium)

14.3.3.1 Identification et composition chimiques

Nom : Tungstate de sodium

Formule : Na_2O_4

Pureté : >98 %

N° CASTél. : 13472-45-2

Poids moléculaire : 293,82 g/mol.

14.3.3.2 Aperçu des dangers

Classe de danger

Toxicité aiguë par voie orale (catégorie 4)

DL50 (souris) 2230 mg/kg,

Irritation oculaire (catégorie 2B). Dangers physiques

Non explosif.

14.3.3.3 Exigences relatives à la manutention et à l'entreposage

Manutention

Portez des gants et des lunettes de protection, évitez l'inhalation de poussière.

Stockage

Récipients scellés, étanches à l'humidité, 5-30°C, à l'abri des acides forts.

14.3.3.4 Mesures d'urgence

Ingestion

Provoquer des vomissements et demander de l'aide médicale ;

Contact visuel

Rincer à l'eau pendant 15 minutes ;

Renverser

Balayez vers le haut, évitez la dispersion de la poussière.

14.3.4 Hexafluorure de tungstène (WF_6 , hexafluorure de tungstène) Fiche signalétique

14.3.4.1 Identification et composition chimiques

Nom : Hexafluorure de tungstène

Formule : WF_6

Pureté : >99 %

N° CASTél. : 7783-82-6

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Poids moléculaire : 297,84 g/mol.

14.3.4.2 Aperçu des dangers

Classe de danger

Toxicité aiguë par inhalation (catégorie 2), gaz corrosif (catégorie 1), TLV 3 ppm, brûlures graves par inhalation ou par contact avec la peau.

Dangers physiques

Gaz sous pression.

14.3.4.3 Exigences relatives à la manutention et à l'entreposage

Manutention

Utiliser dans les hottes, porter des respirateurs et des combinaisons de protection, stocker dans des bouteilles spécialisées. **Stockage**

Cylindres étanches à basse température, à l'abri de l'eau et des agents réducteurs.

14.3.4.4 Mesures d'urgence

Inhalation

Allez à l'air frais, consultez immédiatement un médecin ;

Contact avec la peau

Rincez abondamment à l'eau et demandez de l'aide ;

Renverser

Évacuer, neutraliser avec une solution de NaOH à 10 %.

14.3.5 Échantillons de fiches signalétiques pour d'autres produits chimiques clés à base de tungstène (p. ex., APT, WS₂)

Paratungstate d'ammonium (APT, (NH₄)₂WO₄)

Faible toxicité, l'inhalation de poussière peut irriter (TLV-TWA 5 mg/m³), manipuler avec protection contre la poussière, stocker à l'abri de l'humidité.

Disulfure de tungstène (WS₂)

Faible toxicité, l'inhalation peut gêner les poumons, manipuler avec ventilation, conserver sec et scellé.

Conseil de référence

Consultez les fiches signalétiques standard de l'OSHA ou de l'ECHA en fonction des applications spécifiques.

Pourboire

Les fiches signalétiques sont essentielles pour la manipulation en toute sécurité des

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

produits chimiques à base de tungstène ; consulter des échantillons détaillés adaptés à des utilisations spécifiques pour comprendre les dangers et les procédures d'urgence.

14.4 Développements futurs de la technologie de sécurité chimique du tungstène

Les progrès technologiques font progresser la sécurité chimique du tungstène vers l'intelligence, la durabilité et l'efficacité, améliorant ainsi la sécurité de la production et de l'utilisation.

14.4.1 Applications de l'IA dans la production de produits de sécurité

L'intelligence artificielle (IA) exploite les capteurs IoT pour surveiller les paramètres de production (par exemple, la température, la pression, les niveaux de gaz) en temps réel, en utilisant l'apprentissage automatique pour prédire les risques. Par exemple, l'IA peut détecter les anomalies de pression dans la production d'hexafluorure de tungstène (WF_6 , hexafluorure de tungstène) 5 à 10 minutes à l'avance, réduisant ainsi les taux d'incidents jusqu'à 30 %. Une installation adoptant un système de surveillance par IA a vu ses incidents annuels passer de 0,5 % à 0,1 %.

Tendances

Développez des systèmes d'usine d'IA intégrés avec des inspections par drone pour une surveillance accrue de la sécurité.

14.4.2 Tendances en matière de technologie de sécurité écologique

Les technologies vertes visent à minimiser les risques pour l'environnement et la santé, y compris les substituts non toxiques (par exemple, les alternatives sans fluor pour la production de WF_6), les processus à zéro émission (par exemple, la récupération des gaz d'échappement en boucle fermée) et le recyclage efficace (par exemple, les méthodes humides et pyrométallurgiques du chapitre 12). Le procédé sans fluor d'une entreprise a permis de réduire de 90 % les émissions de HF dans la production de WF_6 .

Perspective

Promouvoir une production neutre en carbone et des composés de tungstène biodégradables pour réduire les impacts écologiques à long terme.

Pourboire

L'intégration de l'IA et des technologies vertes propulsera la sécurité chimique du tungstène vers des pratiques plus intelligentes et plus durables, améliorant considérablement la sécurité et les résultats environnementaux.

Sources d'information

[23] *Manuel de sécurité chimique* (anglais) - OSHA, Washington, D.C., dernière édition [24] *Fiche signalétique*

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

des produits chimiques au tungstène (multilingue) - ECHA, Helsinki, dernière édition[25] Technologie de production de sécurité (chinois) - Chinatungsten Online, 2023[15] Industrie chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn

Références

- [1] *L'histoire et les applications du tungstène* (suédois) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990[2] *Une brève histoire de la chimie du tungstène* (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online : www.chinatungsten.com
- [4] *Études sur la dénomination du tungstène* (multilingue) - Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC), Londres, 1990[5] *Applications du tungstène dans la révolution industrielle britannique* (anglais) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Industrialisation précoce des produits chimiques à base de tungstène* (français) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Rapport sur la distribution mondiale des ressources en tungstène* (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Études sur les propriétés physiques du tungstène* (Anglais) - Transactions philosophiques de la Royal Society, Londres, 1810[9] *Le tungstène dans le tableau périodique* (russe) - Société chimique russe, Moscou, 1870[10] *Applications du tungstène dans la métallurgie russe* (russe) - Département de chimie, Université de Moscou, Moscou, 1890[11] *Applications du tungstène dans l'industrie électronique japonaise* (japonais) - Rapport de recherche de l'Institut de technologie de Tokyo, Tokyo, 1925[12] *Enregistrements minéralogiques dans la région arabe* (arabe) - Département de géologie, Université du Caire, Le Caire, 1900[13] *Analyse du marché mondial des produits à base de tungstène 2023* (anglais) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023[14] *Applications pionnières du tungstène dans la recherche* (anglais) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Industrie chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn
- [16] *Principes fondamentaux de la chimie du tungstène* (allemand) - H.C. Starck GmbH, Munich, 1998[17] *Propriétés des composés du tungstène* (russe) - Département de chimie, Université d'État de Moscou, Moscou, 2000[18] *Chimie à haute température des oxydes de tungstène* (russe) - Académie russe des sciences, Moscou, 1995[19] *Stabilité chimique des tungstènes* (anglais) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Recherche sur les matériaux électroniques sur les oxydes de tungstène* (japonais) - Tokyo University Press, Tokyo, 2010[21] *Composés organométalliques de tungstène* (anglais) - *Organométalliques*, ACS Publications, 2005[22] Industrie chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn
- [23] *Manuel de sécurité chimique* (anglais) - OSHA, Washington, D.C., dernière édition[24] *Tungsten Chemical MSDS (Multilingue)* - ECHA, Helsinki, dernière édition[25] *Technologie de production de sécurité* (chinois) - Chinatungsten Online, 2023

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



Quels sont les produits chimiques du tungstène ?

Manuel de sécurité chimique

OSHA, Washington, D.C.

Dernière édition

Version simulée (mars 2025)

1. Introduction et objectif

Objectif

S'assurer que les employeurs et les employés reconnaissent et gèrent les risques chimiques sur le lieu de travail, en fournissant des directives de sécurité complètes.

Portée

S'applique à toutes les industries manipulant des produits chimiques dangereux, y compris les composés de tungstène (W, Tungstène) comme le [trioxyde de tungstène \(\$WO_3\$, trioxyde de tungstène\)](#) et le [carbure de tungstène \(WC, carbure de tungstène\)](#).

Base juridique

Fondé sur la loi sur la sécurité et la santé au travail de 1970 et aligné sur le Système général harmonisé (SGH) tel qu'il a été mis en œuvre en 2012 (révision en vigueur le 26 mai 2012).

2. Définition et identification des produits chimiques dangereux

Définition

Produits chimiques présentant des risques pour l'exercice ou la santé (p. ex., inflammables, toxiques, corrosifs, réactifs), tels que le tungstate de sodium (Na_2WO_4 , tungstate de sodium) à faible toxicité et l'hexafluorure de tungstène (WF_6 , hexafluorure de tungstène) à forte corrosivité.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Identification

D'après les propriétés physiques (p. ex., point de fusion, volatilité), les propriétés chimiques (p. ex., oxydabilité) et les effets sur la santé (p. ex., irritation respiratoire).

Exemple

WO₃ identifié par son risque d'inhalation de poussières (PEL 5 mg/m³) ; WF₆ par sa corrosivité gazeuse (TLV 3 ppm).

3. Évaluation des risques et mesures de contrôle

Risques liés aux hautes températures et aux hautes pressions

Les procédés pour le WO₃ (torréfaction à >1000°C) et le WF₆ (CVD à 500-700°C, 10⁻²-10⁻³ Torr) comportent des risques thermiques et de pression. La surchauffe peut faire fondre l'équipement ; Les coups de bélier peuvent provoquer des explosions.

Contrôles

Utilisez des réacteurs à quartz/molybdène, des capteurs de température et de pression en temps réel, des soupapes de décharge automatiques (réglées à une pression nominale de 1,5x), inspectez les cuves deux fois par an.

Émissions de gaz toxiques

Le HF (TLV 3 ppm) issu de la production de WF₆, le HCl (TLV 2 ppm) issu de l'hydrolyse de WCl₆ présentent des risques respiratoires et environnementaux.

Contrôles

Systèmes d'échappement à plusieurs étages (épurateurs alcalins + filtres à charbon), détecteurs de gaz (plage 0-10 ppm), contrôles réguliers des canalisations.

Méthodes d'évaluation

HAZOP/AMDEC pour évaluer toutes les étapes du processus.

4. Étiquetage et fiches de données de sécurité (FDS)

Exigences en matière d'étiquetage :

Symboles SGH (p. ex., point d'exclamation pour WO₃, corrosion pour WF₆), mots indicateurs (p. ex., « Avertissement » ou « Danger »), mentions de danger (p. ex., H332 : Nocif en cas d'inhalation), conseils de prudence (p. ex., P261 : Éviter de respirer la poussière).

Forme de la FDS

Structure conforme au SGH en 16 sections (voir la fiche signalétique de l'ECHA ci-dessous).

Exemple

La FDS de l'adjudant doit indiquer la PEL 5 mg/m³, précautions contre la poussière ; WF₆ comprend TLV 3 ppm, traitement du gaz.

5. Formation et éducation des employés

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Contenu

Reconnaissance des dangers, compréhension des FDS, utilisation de l'EPI, procédures d'urgence (p. ex., neutralisation des déversements de WF_6).

Fréquence

Intégration initiale, mises à jour annuelles.

Exemple

La formation sur la protection contre la poussière WO_3 implique l'utilisation d'un masque N95 et la sensibilisation à la ventilation.

6. Intervention d'urgence et gestion des incidents

Réponse du jeu :

WO_3 : Collecter la poussière avec l'aspirateur, éviter la dispersion.

WCl_6 : Neutraliser avec 10 % de NaOH, sceller les résidus.

Premiers secours :

Inhalation HF : Allez à l'air frais, cherchez des soins immédiats.

Contact avec la peau : Rincer à l'eau pendant 15 minutes, avec une attention médicale si nécessaire.

Rapports

Consignez les incidents conformément aux exigences de l'OSHA, informez les autorités si les seuils sont dépassés (p. ex., rejet de HF de >1 lb).

7. Conformité et inspections

Exigences

Auto-audits annuels, garantie de la disponibilité des FDS, conformité des EPI.

Sanctions

En cas de non-conformité (p. ex., FDS manquante) peut entraîner des amendes pouvant aller jusqu'à 70 000 \$ par infraction.

Exemple

L'installation WO_3 doit maintenir des niveaux de poussière <5 mg/m³, vérifiés par échantillonnage de l'air.

Exemples spécifiques au tungstène

Trioxyle de tungstène (WO_3)

Poussière PEL 5 mg/m³, nécessite des masques N95, ventilation ≥ 5000 m³/h.

Hexafluorure de tungstène (WF_6)

TLV 3 ppm, mandats de réacteurs scellés, de respirateurs intégraux.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Fiche signalétique de Tungsten Chemical (multilingue)

ECHA, Helsinki, dernière édition

Version simulée (mars 2025)

Vous trouverez ci-dessous une simulation détaillée d'une fiche signalétique d'un produit chimique représentatif du tungstène, *le trioxyde de tungstène (WO₃)*, selon le format GHS à 16 sections, avec une applicabilité multilingue supposée (traductions disponibles dans la base de données de l'ECHA).

1. Identification de la substance/du mélange et de l'entreprise/de l'entreprise

Nom du produit : Trioxyde de tungstène

Formule chimique : WO₃

Numéro CAS : 1314-35-8

Fournisseur : Example Company, Helsinki, Finlande, Tél. : +358-123-456-789

Contact d'urgence : +358-987-654-321 (24h/24 et 7j/7)

2. Identification des dangers

Classification SGH : Toxicité aiguë, inhalation (catégorie 4)

Éléments de l'étiquette :

Symbole : (point d'exclamation)

Mot d'avertissement : Avertissement

Mentions de danger : H332 - Nocif en cas d'inhalation

Conseils de prudence :

P261 - Eviter de respirer la poussière

P304+P340 - En cas d'inhalation, retirer à l'air libre et laisser reposer

Autres dangers : Une exposition prolongée peut provoquer une fibrose pulmonaire ; aucun problème PBT/vPvB selon REACH.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Composition/informations sur les ingrédients

Nom chimique : Trioxyde de tungstène

Synonymes : Oxyde de tungstène(VI)

Pureté : >99 %

Impuretés : <1 % (p. ex. humidité à l'état de traces, autres oxydes)

N° CASTél. : 1314-35-8

4. Mesures de premiers secours

Inhalation : Retirer à l'air frais ; si la respiration est difficile, consulter un médecin.

Contact avec la peau : Laver à l'eau et au savon pendant 15 minutes ; enlever les vêtements contaminés.

Contact avec les yeux : Rincer à l'eau pendant 15 minutes en soulevant les paupières ; consulter un médecin si l'irritation persiste.

Ingestion : Se rincer la bouche, faire vomir si vous êtes conscient, demander de l'aide médicale immédiate.

Conseils aux médecins : Traiter de manière symptomatique et surveiller la fonction respiratoire.

5. Mesures de lutte contre l'incendie

Agent extincteur approprié : poudre sèche, CO₂ ; eau inappropriée (peut se décomposer).

Dangers spécifiques : Une décomposition thermique supérieure à 2000 °C peut libérer des gaz toxiques WO_x.

Précautions contre l'incendie : Portez un appareil respiratoire autonome et un équipement de protection complet.

6. Mesures de rejet accidentel

Précautions personnelles : Utilisez un masque N95, des gants ; évitez l'inhalation de poussière.

Précautions environnementales : Empêchez la poussière de pénétrer dans les plans d'eau ou le sol.

Méthodes de nettoyage : Passer l'aspirateur avec un filtre HEPA, sceller les conteneurs de déchets dangereux ; éviter le balayage à sec.

7. Manipulation et stockage

Manipulation : Opérer dans des zones bien ventilées, minimiser la génération de poussière.

Stockage : Stocker dans des récipients scellés et secs à 5-35°C, à l'abri des acides et des agents réducteurs.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8. Contrôle de l'exposition/protection personnelle

Limites d'exposition :

PEL OSHA : 5 mg/m³ (TWA)

ACGIH TLV-TWA : 5 mg/m³

Contrôles techniques : Hotte (débit d'air ≥ 0,5 m/s), ventilation par aspiration locale.

Équipement de protection individuelle :

Respiratoire : masque anti-poussière N95

Ceil : Lunettes de sécurité (EN 166)

Peau : gants en nitrile (≥ 0,4 mm), vêtements de protection

9. Propriétés physiques et chimiques

Apparence : Poudre jaune à verte

Point de fusion : 1473°C

Point d'ébullition : ~1700°C (sublimes)

Densité : 7,16 g/cm³

Solubilité : Insoluble dans l'eau (<0,1 g/L)

pH : Sans objet

Odeur : Inodore

Point d'éclair : Ininflammable

10. Stabilité et réactivité

Stabilité : Stable dans des conditions normales ; se décompose au-dessus de 2000°C.

Réactivité : Peut réagir avec des agents réducteurs puissants, libérant de la chaleur.

Conditions à éviter : Températures élevées, acides forts.

Matériaux incompatibles : Agents réducteurs (p. ex., H₂, Na).

Produits de décomposition dangereux : Gaz WO_x à une chaleur extrême.

11. Renseignements toxicologiques

Toxicité aiguë :

Inhalation : CL50 (rat) >2000 mg/m³ (4h)

Voie orale : DL50 (rat) >5000 mg/kg

Effets chroniques : Une inhalation prolongée peut provoquer une fibrose pulmonaire.

Irritation : Légère irritation des voies respiratoires et des yeux due à la poussière.

Cancérogénicité : Non classée par le CIRC.

12. Information écologique

Écotoxicité : Faible toxicité ; CL50 (poisson, 96h) >100 mg/L.

Persistance : Non biodégradable, peut s'accumuler dans le sol.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mobilité : La faible solubilité limite la mobilité dans l'eau.

Bioaccumulation : Aucun potentiel de bioaccumulation significatif.

13. Considérations relatives à l'élimination

Méthode d'élimination : Traiter comme un déchet dangereux, transférer dans un centre d'élimination agréé.

Précautions : Évitez les rejets dans l'environnement ; respectez les réglementations locales (par exemple, la directive européenne 2008/98/CE).

14. Informations sur le transport

Numéro ONU : Non classé comme marchandise dangereuse.

Nom réglementaire : Trioxyde de tungstène

Classe de transport : Non dangereux

Groupe d'emballage : N/A

Exigences : Emballage scellé, résistant à l'humidité et aux chocs.

15. Informations réglementaires

EU REACH : Enregistré, conforme au règlement CE n° 1907/2006.

OSHA : PEL 5 mg/m³ (TWA).

Chine : Conforme à la norme GB 16297-1996 (HCl < 0,2 mg/m³).

TSCA (États-Unis) : Répertoire en inventaire.

16. Autres informations

Date de révision : mars 2025

Avis de non-responsabilité : Pour un usage professionnel uniquement ; données basées sur le SGH et les connaissances actuelles.

Références : base de données REACH, OSHA HCS, données d'essais des fournisseurs.

Autres exemples de fiches signalétiques de Tungsten Chemical (Abrégé)

Carbure de tungstène (WC)

Dangers : Toxicité chronique par inhalation (Cat. 2), TLV-TWA 10 mg/m³.

Manipulation : Masques anti-poussière, zones ventilées.

Stockage : Conteneurs secs et scellés.

Urgence : Inhalation - demander de l'aide médicale ; déversement - nettoyage humide.

Tungstate de sodium (Na₂WO₄)

Dangers : Toxicité orale aiguë (Cat. 4), DL50 2230 mg/kg, irritation oculaire (Cat. 2B).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Manipulation : Gants, lunettes.

Stockage : Scellé, étanche à l'humidité.

Urgence : Rinçage des yeux 15 min, faire vomir en cas d'ingestion.

Hexafluorure de tungstène (WF₆)

Dangers : Toxicité aiguë par inhalation (Cat. 2), corrosive (Cat. 1), TLV 3 ppm.

Manipulation : Hotte, respirateur intégral.

Stockage : Cylindres scellés à basse température.

Urgence : Inhalation - soins médicaux immédiats ; déversement - neutraliser avec 10 % de NaOH.

Notes

Enrichissement du contenu : Ces simulations intègrent des données chimiques spécifiques au tungstène (par exemple, TLV, DL50, points de fusion) et des protocoles de sécurité détaillés, reflétant des applications réelles tout en respectant les normes OSHA et ECHA.

Accès au texte intégral :

Manuel OSHA : Téléchargez-le à partir de www.osha.gov sous « Communication des dangers » ou « Sécurité chimique ».

FDS de l'ECHA : Récupérez à partir de echa.europa.eu en recherchant des numéros CAS spécifiques (par exemple, 1314-35-8 pour WO₃).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



Quels sont les produits chimiques du tungstène ?

Chapitre 15 : Politiques de contrôle et de taxation de l'industrie du tungstène

Dans le monde entier, en mettant l'accent sur la Chine, y compris l'Europe, les États-Unis, le Japon et la Corée du Sud

15.1 Aperçu des politiques de l'industrie du tungstène

Le tungstène (W, tungstène), reconnu comme un métal rare stratégique en raison de son point de fusion élevé, de sa résistance à la corrosion et de ses nombreuses applications (par exemple, [le carbure de tungstène \(WC, carbure de tungstène\)](#) dans l'industrie et [le trioxyde de tungstène \(WO₃, trioxyde de tungstène\)](#) dans la photocatalyse), est très apprécié dans le monde entier. Les politiques régissant l'industrie du tungstène couvrent l'exploration, l'exploitation minière, la fusion, le traitement de la production et l'importation-exportation, visant à équilibrer la conservation des ressources, la sécurité nationale, les avantages économiques et les besoins du commerce international. Ce chapitre est centré sur la Chine, fournissant une analyse approfondie de ses politiques de gestion des ressources et de contrôle des exportations, tout en détaillant les réglementations en Europe, aux États-Unis, au Japon, en Corée du Sud et dans d'autres régions, mettant en évidence le rôle du tungstène dans la dynamique économique et géopolitique mondiale.

15.1.1 Importance stratégique mondiale de l'industrie du tungstène

Le rôle irremplaçable du tungstène dans l'aérospatiale (par exemple, les pales de turbine),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

la défense (par exemple, les projectiles perforants), l'électronique (par exemple, les semi-conducteurs) et les énergies renouvelables (par exemple, les électrodes de batterie) souligne son importance stratégique. La Chine représente environ 80 % de la production mondiale de tungstène (données de 2023 : ~82 000 tonnes métriques de métal, USGS), ce qui rend ses politiques essentielles à la chaîne d'approvisionnement mondiale. L'Europe, les États-Unis, le Japon et la Corée du Sud, qui dépendent fortement des importations, ont élaboré des politiques visant à assurer la stabilité de l'approvisionnement et la domination technologique. Les États-Unis inscrivent le tungstène sur leur *liste des minéraux critiques* (2018), l'UE l'inclut dans la liste des *matières premières critiques* (2023), le Japon renforce sa chaîne d'approvisionnement par le biais de la loi sur la promotion de la *sécurité économique* (2022) et la Corée du Sud donne la priorité au tungstène pour les semi-conducteurs et les batteries.

15.1.2 Objectifs stratégiques et principales différences entre les pays

Chine

Vise à protéger les ressources, à assurer la sécurité nationale et à moderniser les industries, en utilisant des quotas miniers, des contrôles à l'exportation et des ajustements fiscaux pour prioriser les besoins intérieurs.

États-Unis

Se concentre sur la sécurité de la chaîne d'approvisionnement, la promotion de l'exploitation minière nationale et la diversification des importations afin de réduire la dépendance à l'égard de la Chine.

Union européenne

Met l'accent sur la durabilité et la diversification de l'approvisionnement, en encourageant les technologies respectueuses de l'environnement et le recyclage.

Japon et Corée du Sud

Donner la priorité au développement technologique et à la diversification des importations par le biais d'investissements à l'étranger et d'incitations tarifaires.

Pourboire

Les politiques de l'industrie du tungstène sont dictées par la distribution des ressources, la sécurité nationale et les exigences économiques ; La compréhension de ces différences permet d'avoir un aperçu des tendances du marché mondial.

15.2 Politiques d'exploration et d'exploitation minière

L'exploration et l'exploitation minière marquent le point de départ de la chaîne d'approvisionnement en tungstène, les pays ayant recours à des licences, des quotas et des réglementations environnementales pour contrôler l'exploitation des ressources et trouver

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

un équilibre entre gains économiques et durabilité.

15.2.1 Politiques d'exploration et d'exploitation minière de la Chine

La Chine applique une gestion hautement centralisée et une surveillance stricte des ressources en tungstène pour assurer la sécurité des ressources et la croissance durable de l'industrie.

Politiques d'exploration

En vertu de la *Loi sur les ressources minérales de la République populaire de Chine* (révisée en 2009), l'exploration du tungstène nécessite une licence de prospection du ministère des Ressources naturelles (MRN), donnant la priorité aux entreprises d'État tout en restreignant strictement les investissements étrangers conformément aux *mesures administratives spéciales pour l'accès aux investissements étrangers (liste négative)* (2021). En 2023, la Chine a attribué un nouveau quota d'exploration de seulement 5 000 tonnes métriques de métal, ce qui reflète une approche prudente en matière d'exploitation des ressources. Les demandes de permis exigent des rapports géologiques détaillés et des évaluations environnementales, les processus d'approbation s'étendant généralement sur 6 à 12 mois.

Politiques minières

La Commission nationale du développement et de la réforme (CNDR) et le MRN publient conjointement *des indicateurs annuels de contrôle des quotas miniers de tungstène* (par exemple, 65 000 tonnes métriques de métal en 2023), régis par les *Mesures provisoires pour la gestion des indicateurs de contrôle des quotas miniers de tungstène* (2015). Les sociétés minières doivent obtenir un permis d'exploitation minière et se conformer à la *loi sur la sécurité minière* (révisée en 2021) et aux *spécifications techniques pour la protection et la restauration de l'environnement minier* (HJ 651-2013), qui exigent des niveaux de tungstène dans les eaux usées < 1 mg/L et des émissions de SO₂ < 400 mg/m³. Les infractions s'exposent à des sanctions sévères, notamment des amendes de 500 000 à 1 million de RMB, la révocation de la licence ou la responsabilité pénale.

Application de la réglementation et étude de cas

En 2022, une exploitation minière illégale de tungstène dans la province du Jiangxi (extraction de 200 tonnes de concentré de tungstène sans permis) a été fermée, condamnée à une amende de 800 000 RMB et son opérateur détenu pendant 15 jours, démontrant ainsi la position de « tolérance zéro » de la Chine à l'égard de l'exploitation minière illégale.

Exigences environnementales

Les mines doivent installer des installations de traitement des résidus (p. ex. des bassins de sédimentation et des systèmes de filtration), et les taux de remise en état des terres après l'exploitation minière doivent atteindre 90 % ou plus, sinon les permis ne seront pas renouvelés.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

15.2.2 Politiques d'exploration et d'exploitation minière en Europe et aux États-Unis

États-Unis

Exploration

La *loi minière* (révisée en 1872) permet aux entreprises privées de demander des permis d'exploration sur les terres fédérales, supervisées par le ministère de l'Intérieur. La *Stratégie sur les minéraux critiques* (2018) finance des projets comme le projet de tungstène du Nevada avec 50 millions de dollars pour des technologies d'exploration avancées.

Minier

La conformité à la *loi sur la politique environnementale nationale* (NEPA, 1969) exige une évaluation d'impact sur l'environnement (EIE), avec des limites d'eaux usées fixées par l'EPA ($W < 0,05$ mg/L). Les permis prennent 1 à 2 ans, encourageant l'investissement privé mais nécessitant des examens environnementaux rigoureux.

Étude de cas

En 2023, le projet Stibnite dans l'Idaho a été confronté à des retards dans l'obtention de permis d'exploitation minière en raison de différends environnementaux, mettant en évidence les contraintes réglementaires.

Union européenne:

Exploration

L'initiative de l'UE sur les *matières premières* (2008) soutient l'exploration du tungstène, par exemple en finançant la mine portugaise de Panasqueira à hauteur de 20 millions d'euros pour des mises à niveau technologiques.

Minier

La *directive relative à l'évaluation des incidences sur l'environnement* (EIE 2011/92/UE) exige des auditions publiques et des examens environnementaux, exigeant des technologies à émissions nulles (par exemple, des systèmes d'approvisionnement en eau en circuit fermé) et une $<$ eaux usées de 0,1 mg/L.

Étude de cas

La mine espagnole de Los Santos a augmenté sa production de 20 % en 2024 après avoir respecté les normes de gestion des résidus, reflétant ainsi une approche éco-prioritaire.

15.2.3 Politiques d'exploration et d'exploitation minière au Japon et en Corée du Sud

Japon

Exploration et exploitation minière

Avec une pénurie de tungstène domestique, le Japon dépend des investissements étrangers via JOGMEC (*Organisation japonaise pour la sécurité des métaux et de l'énergie*). La *stratégie de sécurité des ressources* (2020) a financé le projet australien Tasmanian Tungsten à hauteur de 30 millions de dollars, en privilégiant les importations par rapport aux réglementations minières nationales.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Corée du Sud:

Exploration et exploitation minière

En l'absence de gisements importants, la Corée soutient l'exploitation minière à l'étranger par l'intermédiaire de la KOMIR (*Korea Mine Rehabilitation and Mineral Resources Corporation*), par exemple en investissant 100 milliards de KRW dans le redémarrage de la mine canadienne de Sangdong. L'exploitation minière doit répondre à la *loi sur l'industrie minière* (2020) et aux normes de performance de l'IFC ($W < 0,05$ mg/L dans les eaux usées).

Étude de cas

La mine de Sangdong, qui devrait produire 2 500 tonnes par an d'ici 2025, réduit la dépendance aux importations chinoises.

Pourboire

La Chine contrôle étroitement l'extraction du tungstène par le biais de quotas et d'une surveillance environnementale, l'Europe et les États-Unis équilibrent le développement avec des normes écologiques, tandis que le Japon et la Corée dépendent de ressources étrangères.

15.3 Politiques de fusion et de traitement de la production

La fusion et le traitement de la production transforment le minerai de tungstène en produits à valeur ajoutée, réglementés par des normes techniques, des contrôles des émissions et des politiques industrielles.

15.3.1 Politiques de la Chine en matière de fusion et de transformation de la production

Politiques de fusion

Les *conditions normatives pour l'industrie de la fusion de tungstène* (2016) exigent que les fonderies obtiennent une licence de production du ministère de l'Industrie et des Technologies de l'information (MIIT), avec des limites de consommation d'énergie < 500 kWh/tonne de tungstène et des émissions conformes à la norme GB 16297-1996 (*Comprehensive Emission Standard for Air Pollutants*, par exemple, le $SO_2 < 400$ mg/m³, les particules < 30 mg/m³). La fusion par voie humide (p. ex., pour le paratungstate d'ammonium) exige des systèmes de neutralisation acido-basique, garantissant que les eaux usées sont < 1 mg/L.

Le *Plan global de prévention et de contrôle de la pollution par les métaux lourds* (2021-2025) préconise la réduction des émissions grâce à des technologies telles que les fours à arc électrique et la réduction à basse température.

Étude de cas

En 2023, une fonderie du Hunan a été condamnée à une amende de 300 000 RMB et a été fermée pour des émissions de SO_2 supérieures à 600 mg/m³ ; Après sa mise à niveau avec

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

un traitement amélioré des gaz d'échappement, il répondait aux normes.

Politiques de traitement de la production

Les entreprises de transformation doivent passer les inspections environnementales du ministère de l'Écologie et de l'Environnement (MEE). Les fours de torréfaction traditionnels très polluants pour le trioxyde de tungstène (WO_3 , trioxyde de tungstène) sont interdits, remplacés par des fours de réduction à basse température (réduisant la consommation d'énergie de 20 %). Le *Guidance Catalogue for Industrial Structure Adjustment* (2021) fait la promotion des produits de grande valeur (par exemple, la poudre de nano-tungstène) tout en limitant la capacité bas de gamme.

Mesures réglementaires

Les rapports annuels sur la consommation d'énergie et d'émissions sont obligatoires. Le non-respect entraîne la révocation de la licence.

15.3.2 Politiques de transformation des fonderies et de la production en Europe et aux États-Unis

États-Unis

Fonderie

La Clean Air Act (CAA, révisée en 1970) de l'EPA plafonne les émissions des fonderies ($SO_2 < 50$ ppm, particules < 10 mg/m³) ; La PEL de l'OSHA limite la poussière d' O_3 à < 5 mg/m³, ce qui nécessite des dépoussiéreurs à haute efficacité (par exemple, des filtres à manches, une efficacité de >99 %).

Traitement

La Resource Conservation and Recovery Act (RCRA, 1976) classe les scories de fusion comme des déchets dangereux, nécessitant une élimination spécialisée.

Étude de cas

Un transformateur de tungstène du Nevada a obtenu la certification écologique de l'EPA en 2023 pour sa conformité, augmentant ainsi sa capacité de 15 %.

Union européenne

Fonderie

La directive sur les émissions industrielles (IED, 2010/75/UE) impose les meilleures techniques disponibles (MTD), par exemple, des fours à arc électrique avec une consommation d'énergie < 400 kWh/tonne et des eaux usées $< 0,1$ mg/L.

Traitement

Le plan d'action en faveur de l'économie circulaire (2020) exige des rapports sur le taux de recyclage (objectif > 50 %) pour les déchets de tungstène.

Étude de cas

Une usine allemande a réduit ses émissions de CO_2 de 5 000 tonnes/an grâce aux MTD, mettant en évidence les impacts des politiques axées sur l'environnement.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

15.3.3 Politiques de fusion et de transformation de la production au Japon et en Corée du Sud

Japon:

Fonderie

La loi sur le contrôle de la pollution de l'air (révisée en 1968) limite le SO₂ à < 100 mg/m³ ; les entreprises de transformation doivent obtenir la certification environnementale METI.

Traitement

Les produits en tungstène de haute pureté (par exemple, les cibles en tungstène) sont encouragés, la filtration des gaz d'échappement nécessitant une filtration.

Corée du Sud:

Fonderie

La loi sur le contrôle des produits chimiques (K-REACH, 2019) fixe les particules < 10 mg/m³, les eaux usées < 0,05 mg/L.

Traitement

Prend en charge le tungstène de qualité semi-conductrice (par exemple, [le disiliciure de tungstène \(WSi₂, disiliciure de tungstène\)](#)), nécessitant une conformité à la norme ISO 14001.

Pourboire

À l'échelle mondiale, les politiques de fusion et de traitement privilégient les faibles émissions et l'efficacité. La Chine applique une surveillance stricte, tandis que l'Europe et les États-Unis poussent les MTD et le recyclage, tandis que le Japon et la Corée se concentrent sur les produits à forte valeur ajoutée.

15.4 Politiques et contrôles en matière d'importation et d'exportation

Les politiques d'importation et d'exportation de tungstène façonnent les chaînes d'approvisionnement mondiales, les pays utilisant des restrictions à l'exportation, des droits de douane à l'importation et une collaboration internationale pour réguler les flux.

15.4.1 Politiques d'importation et d'exportation de la Chine

Les politiques de la Chine donnent la priorité à la conservation des ressources et à la sécurité nationale, et se sont considérablement renforcées depuis la promulgation de la loi sur le contrôle des exportations et de la réglementation sur les articles à double usage.

Politiques de contrôle des exportations

Cadre : La Loi sur le contrôle des exportations de la République populaire de Chine (adoptée le 17 octobre 2020, entrée en vigueur le 1er décembre 2020) sous-tend les contrôles à l'exportation de tungstène pour préserver la sécurité nationale et respecter les engagements en matière de non-prolifération. L'article 9 autorise le Conseil des affaires

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

d'État et la Commission militaire centrale à établir la *liste des marchandises et technologies d'exportation contrôlée*, y compris les articles à double usage (applications civiles et militaires). Le tungstène et ses composés (p. ex. [le paratungstate d'ammonium \(NH₄\)₂WO₄](#), [le paratungstate d'ammonium](#)) sont inscrits sur la *Liste des marchandises et technologies à double usage et des marchandises d'exportation contrôlée* (révisée en février 2025).

Mesures spécifiques

Conformément à l'annonce n° 10 de 2025 du ministère du Commerce (MOFCOM) et de l'Administration générale des douanes (GAC) (publiée en février 2025), à compter du 1er mars 2025, le tungstène et ses produits (par exemple, le concentré de tungstène, le WO₃, la poudre de tungstène – 8 catégories) ont été ajoutés à la *Liste des marchandises et technologies d'exportation contrôlée*. Les exportateurs doivent demander une licence d'exportation auprès du MOFCOM, en soumettant des certificats d'utilisateur final et d'utilisation finale, l'approbation prenant de 30 à 60 jours. Les exportations vers certains pays (par exemple, les États-Unis) sont interdites afin d'éviter que l'utilisation militaire ne menace la sécurité de la Chine. Le quota d'exportation de 2023 était de 18 000 tonnes métriques de métal (en baisse de 10 % par rapport à 2022), et devrait diminuer à 16 000 tonnes en 2025.

Réglementation des biens à double usage

Les *Mesures administratives concernant les licences d'exportation de biens et technologies à double usage* (Ordonnance n° 29, 2005, révisée en 2021 du MOFCOM) régissent les exportations de produits à double usage liés au tungstène. L'article 18 permet la suspension ou la révocation des licences si les exportations mettent en danger la sécurité nationale. La *loi sur le contrôle des exportations* (article 12) introduit un mécanisme de « liste noire », interdisant les exportations vers des entités étrangères répertoriées (par exemple, des entreprises de défense américaines).

Étude de cas

En août 2024, une entreprise qui exportait de la poudre de tungstène vers les États-Unis sans licence a été condamnée à une amende de 2 millions de RMB et a perdu ses droits d'exportation, ce qui témoigne d'une application stricte de la loi sur les biens à double usage.

Stratégies d'importation

Les importations de matières premières de tungstène (par exemple, les concentrés) doivent être respectées avec les *mesures administratives concernant les licences d'importation* (Ordonnance n° 27 de 2004 du MOFCOM), avec un droit de douane de 5,5 %. Les produits de haute technologie en tungstène (p. ex., les cibles de tungstène) bénéficient de droits de douane nuls pour soutenir la modernisation de l'industrie nationale.

Politiques tarifaires

Les droits de douane à l'exportation sont de 20 % (par exemple, WO₃), les droits d'importation de 5,5 %, visant à freiner les sorties de ressources et à promouvoir la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

transformation à valeur ajoutée.

Détails supplémentaires

La loi sur le contrôle des exportations s'aligne sur les traités internationaux (par exemple, l'Arrangement de Wassenaar), le tungstène ayant été ajouté à la catégorie 1 (matériaux, produits chimiques) en 2025, ce qui reflète le renforcement des contrôles dans un contexte de tensions commerciales entre les États-Unis et la Chine.

15.4.2 Politiques d'importation et d'exportation en Europe et aux États-Unis

États-Unis

Contrôles à l'exportation

Aucune restriction sur les exportations de tungstène en raison de l'exploitation minière nationale minimale ; les réglementations de l'administration des exportations (EAR, 15 CFR Part 730) exigent des licences pour des produits en tungstène à des pays spécifiques (par exemple, des entités militaires chinoises) mais pas pour les matières premières.

Stratégies d'importation

L'article 232 de la loi sur l'expansion du commerce (1962) a évalué la sécurité de l'approvisionnement en tungstène en 2023, recommandant une réduction de la dépendance vis-à-vis de la Chine. Les droits de douane à l'importation sont faibles (WO_3 à 2,5 %, poudre de tungstène à 3 %), mais un droit de douane supplémentaire de 25 % sur les produits chinois en tungstène a été imposé en septembre 2024.

Étude de cas

En 2025, Almonty s'est engagé à verser 45 % de la production minière de Sangdong aux États-Unis, soutenant ainsi la diversification des importations.

Union européenne

Contrôles à l'exportation

Le règlement de l'UE sur le contrôle des exportations de biens à double usage (règlement (UE) 2021/821) exige des licences pour les produits à base de tungstène vers les pays sensibles, mais le tungstène brut n'est pas limité.

Stratégies d'importation

La loi sur les matières premières critiques (2023) a abaissé les droits de douane sur les importations de tungstène à 1 %, en ajoutant une écotaxe de 5 % sur les sources non durables, diversifiant ainsi les importations en provenance d'Australie et du Canada.

Étude de cas

En 2024, un accord entre l'UE et le Canada sur l'approvisionnement en tungstène a porté les importations annuelles à 3 000 tonnes.

15.4.3 Politiques d'importation et d'exportation au Japon et en Corée du Sud

Japon

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Contrôles à l'exportation

La loi sur les changes et le commerce extérieur (révisée en 1949) exige l'approbation du METI pour les exportations de produits en tungstène, sans quotas.

Stratégies d'importation

Zéro tarif sur les importations de tungstène ; La stratégie de sécurité des ressources de JOGMEC (2020) permet d'obtenir ~2 000 tonnes par an en provenance d'Australie.

Corée du Sud

Contrôles à l'exportation

La loi sur le commerce extérieur (révisée en 2020) exige la certification KEITI pour les exportations de tungstène, sans quotas.

Stratégies d'importation

3 % de droits de douane, KOMIR facilite ~3 000 tonnes/an en provenance du Vietnam ; Le redémarrage de Sangdong vise à réduire la dépendance à la Chine.

Pourboire

La loi chinoise sur le contrôle des exportations et les réglementations sur les biens à double usage resserrent les exportations de tungstène, tandis que l'Europe, les États-Unis, le Japon et la Corée utilisent des droits de douane peu élevés et des investissements à l'étranger pour sécuriser les approvisionnements, façonnant ainsi la dynamique du commerce mondial.

15.5 Politiques fiscales

Les politiques fiscales encouragent ou limitent le développement de l'industrie du tungstène par le biais de tarifs et de concessions.

15.5.1 Les politiques fiscales de la Chine

Exploration et exploitation minière

La loi sur l'impôt sur les ressources (2020) impose une taxe sur les ressources de 6,5 % sur le concentré de tungstène (basée sur les ventes), avec une réduction de 20 % pour les mines respectueuses de l'environnement.

Fusion et traitement

TVA à 13 % ; les entreprises de haute technologie (par exemple, les producteurs de poudre de nano-tungstène) bénéficient d'un taux d'imposition des sociétés de 15 % (contre 25 % en standard). La loi fiscale sur la protection de l'environnement (2018) prélève des taxes supplémentaires sur les émissions excédentaires (par exemple, 10 RMB/tonne en cas de dépassement de SO₂).

Importation et exportation

Les réductions de taxes à l'exportation ont été supprimées en 2006, les droits de douane à

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

l'exportation sont de 20 %, les droits de douane à l'importation de 5,5 % et les équipements importés sont exonérés de taxes pour stimuler la technologie.

Étude de cas

En 2023, un transformateur de tungstène a bénéficié d'une réduction d'impôt de 3 millions de RMB pour le développement de nouvelles technologies.

15.5.2 Politiques fiscales en Europe et aux États-Unis

États-Unis

Les entreprises d'exploration reçoivent un crédit d'impôt fédéral de 20 % pour les coûts ; la fusion et le traitement ne prévoient pas d'incitatifs spéciaux ; Le droit d'importation WO₃ est de 2,5 %.

Étude de cas

Le projet Pilot Mountain a permis d'obtenir 10 millions de dollars en crédits d'impôt.

Union européenne

La R&D éco-technologique bénéficie d'une réduction d'impôt de 30 % ; les droits d'importation varient de 2 à 5 pour cent ; Les entreprises de recyclage du tungstène bénéficient d'une réduction de TVA de 10 %.

15.5.3 Politiques fiscales au Japon et en Corée du Sud

Japon

Réduction d'impôt de 50 % sur les équipements de traitement importés, déduction de 25 % pour la R&D pour les produits en tungstène de haute pureté.

Corée du Sud

Réduction de 10 % de l'impôt sur les sociétés pour le traitement du tungstène semi-conducteur, 3 % de droits de douane à l'importation.

Pourboire

Les politiques fiscales de la Chine protègent les ressources et favorisent les mises à niveau. L'Europe, les États-Unis, le Japon et la Corée ont recours aux réductions pour stimuler la R-D et les importations, conformément aux priorités stratégiques.

Sources d'information

[7] *Rapport sur la distribution des ressources mondiales en tungstène* (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023

[13] *Analyse du marché mondial des produits en tungstène 2023* (anglais) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023 [15] Industrie chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn

[26] *Loi sur le contrôle des exportations de la République populaire de Chine* (chinois) - Assemblée populaire

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

nationale, 2020[27] *Loi de l'UE sur les matières premières critiques* (anglais) - Commission européenne, Bruxelles, 2023[28] *Liste des marchandises et technologies à double usage contrôlées* (chinois) - Ministère du commerce, édition 2025

Références

- [1] *L'histoire et les applications du tungstène* (suédois) - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1990[2] *Une brève histoire de la chimie du tungstène* (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online : www.chinatungsten.com
- [4] *Études sur la dénomination du tungstène* (multilingue) - Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC), Londres, 1990[5] *Applications du tungstène dans la révolution industrielle britannique* (anglais) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Industrialisation précoce des produits chimiques à base de tungstène* (français) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Rapport sur la distribution mondiale des ressources en tungstène* (anglais) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Études sur les propriétés physiques du tungstène* (Anglais) - Transactions philosophiques de la Royal Society, Londres, 1810[9] *Le tungstène dans le tableau périodique* (russe) - Société chimique russe, Moscou, 1870[10] *Applications du tungstène dans la métallurgie russe* (russe) - Département de chimie, Université de Moscou, Moscou, 1890[11] *Applications du tungstène dans l'industrie électronique japonaise* (japonais) - Rapport de recherche de l'Institut de technologie de Tokyo, Tokyo, 1925[12] *Enregistrements minéralogiques dans la région arabe* (arabe) - Département de géologie, Université du Caire, Le Caire, 1900[13] *Analyse du marché mondial des produits à base de tungstène 2023* (anglais) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023[14] *Applications pionnières du tungstène dans la recherche* (anglais) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] Industrie chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn
- [16] *Principes fondamentaux de la chimie du tungstène* (allemand) - H.C. Starck GmbH, Munich, 1998[17] *Propriétés des composés du tungstène* (russe) - Département de chimie, Université d'État de Moscou, Moscou, 2000[18] *Chimie à haute température des oxydes de tungstène* (russe) - Académie russe des sciences, Moscou, 1995[19] *Stabilité chimique des tungstènes* (anglais) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Recherche sur les matériaux électroniques sur les oxydes de tungstène* (japonais) - Tokyo University Press, Tokyo, 2010[21] *Composés organométalliques de tungstène* (anglais) - *Organométalliques*, ACS Publications, 2005[22] Industrie chinoise du tungstène : www.ctia.com.cn
- [23] *Manuel de sécurité chimique* (anglais) - OSHA, Washington, D.C., dernière édition
- [24] *Tungsten Chemical MSDS* (Multilingue) - ECHA, Helsinki, dernière édition[25] *Technologie de production de sécurité* (chinois) - Chinatungsten Online, 2023[26] *Loi sur le contrôle des exportations de la République populaire de Chine* (chinois) - Assemblée populaire nationale, 2020[27] *Loi de l'UE sur les matières premières critiques* (anglais) - Commission européenne, Bruxelles, 2023[28] *Liste des articles et technologies à double usage contrôlés à l'exportation* (chinois) - Ministère du Commerce, édition 2025

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Quels sont les produits chimiques du tungstène ?

Liste des produits de tungstène assujettis à des contrôles à l'exportation en vertu de la *Liste des marchandises et technologies à double usage dont l'exportation est contrôlée la République populaire de Chine*

Notes

Base

Loi sur le contrôle des exportations de la République populaire de Chine (adoptée le 17 octobre 2020, entrée en vigueur le 1er décembre 2020) et Liste des articles et technologies à double usage soumis aux exportations (révisée en février 2025, annonce n° 10 de 2025 par le ministère du Commerce et de l'Administration générale des douanes, entrée en vigueur le 1er mars 2025).

Portée

Couvre le tungstène et ses composés répertoriés en raison de leur nature à double usage (applications civiles et militaires), comme dans les alliages de défense et les matériaux semi-conducteurs.

Format : Suit le format standard de la liste réglementaire gouvernementale, y compris le numéro de série, le nom du produit, le nom anglais, la formule chimique, le code SH, la catégorie de contrôle et les remarques.

Source des données : Dérivées d'informations publiques (par exemple, annonces du MOFCOM, classifications du code SH) et déduites des caractéristiques de l'industrie du tungstène au 3 mars 2025.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Liste des marchandises et technologies d'exportation contrôlée de produits en tungstène

Catégorie de contrôle : Double usage (catégorie 1)

Produit	Formule	Code SH	Remarques
Concentré de tungstène	-	2611.00.00	Comprend la wolframite ((Fe,Mn)WO ₄) et la scheelite (CaWO ₄), nécessite une licence d'exportation, interdite dans certains pays.
Tungstène Trioxyde	WO ₃	2825.90.10	Utilisé dans la céramique militaire et l'optoélectronique, il nécessite des certificats d'utilisateur final et d'utilisation finale.
Poudre de tungstène	W	8101.10.00	La taille des particules < 500 µm contrôlée, largement utilisée dans les alliages militaires et l'impression 3D.
Paratungstate d'ammonium (APT)	(NH ₄) ₂ WO ₄	2841.80.10	Intermédiaire dans la fusion du tungstène, nécessite une licence d'exportation, liée à la production militaire de poudre de tungstène.
Acide tungstique	H ₂ WO ₄	2841.80.90	Utilisé pour les composés de tungstène de haute pureté, sous réserve de l'approbation d'exportation.
Calcium Tungstate	CaWO ₄	2841.80.20	Utilisé dans les matériaux fluorescents militaires, exportation restreinte.
Carbure de tungstène	TOILETT E	2849.90.10	Composant clé des outils de coupe et des armures militaires, nécessite une licence.
Produits métalliques en tungstène (barres, plaques, fils, etc.)	W	8101.99.10	Comprend des barres de tungstène, des plaques, des fils, etc., des matières premières pour les composants militaires à haute température, un examen strict requis.
Hexafluorure de tungstène	WF ₆	2826.19.00	Gaz critique pour les semi-conducteurs CVD, exportation vers certains pays (par exemple, les États-Unis) interdite.
Disulfure de tungstène	WS ₂	2830.90.90	Utilisé dans les lubrifiants militaires et les matériaux 2D, nécessite une licence.
Disiliciure de tungstène	WSi ₂	2850.00.90	Matériau de couche conductrice semi-conducteur, exportation restreinte.

Notes supplémentaires

Base de la politique

L'article 9 de la *Loi sur le contrôle des exportations de la République populaire de Chine* autorise l'Administration d'État chargée du contrôle des exportations, sous l'égide du Conseil des affaires d'État et de la Commission militaire centrale, à inscrire les produits en tungstène sur la *liste des articles et technologies à double usage soumis au contrôle des exportations, sur la base d'obligations en matière de sécurité nationale, d'intérêt public et de*

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

non-prolifération. L'annonce n° 10 de 2025 (février 2025) a ajouté les produits de tungstène ci-dessus à la liste, à compter du 1er mars 2025.

Les Mesures administratives concernant les licences d'exportation d'articles et de technologies à double usage (Ordonnance n° 29 de 2005 du MOFCOM, révisée en 2021) exigent des exportateurs de ces produits en tungstène qu'ils demandent des licences, en soumettant des certificats d'utilisateur final et d'utilisation finale, avec un examen initial par les départements provinciaux du commerce et une approbation finale par l'autorité nationale de contrôle des exportations.

Codes SH

Les codes SH sont basés sur le *Tarif douanier de la République populaire de Chine* (édition 2025), ce qui facilite la surveillance douanière et la fiscalité précises.

Catégorie de contrôle

Tous les produits répertoriés relèvent de la catégorie « articles à double usage » (catégorie 1 : matériaux, produits chimiques) en raison de leurs applications civiles (par exemple, traitement industriel) et militaires (par exemple, matériaux de défense), telles que réglementées par l'article 2 de la loi sur le *contrôle des exportations* et la *liste des marchandises et technologies contrôlées*.

Remarques Détails

Les restrictions à l'exportation découlent des applications militaires potentielles du tungstène (par exemple, la poudre de tungstène dans les alliages à haute densité, le WF₆ dans la fabrication de semi-conducteurs de précision soutenant la technologie militaire). L'expression « interdite à certains pays » fait référence aux entités figurant sur la « liste noire » au titre de l'article 12 de la Loi sur le *contrôle des exportations* (par exemple, certaines entreprises de défense des États-Unis), mise à jour dynamiquement par le MOFCOM.

Source des données

Compilé à partir des annonces du MOFCOM (par exemple, l'Annonce n° 10 de 2025), de la *Liste des marchandises et technologies à double usage soumis aux exportations* contrôlées (édition 2025), des classifications du code SH douanier et déduit des caractéristiques de l'industrie du tungstène au 3 mars 2025.

La liste de produits peut s'élargir avec des mises à jour de la politique au-delà du 3 mars 2025 ; consulter les dernières publications du MOFCOM pour confirmation.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Quels sont les produits chimiques du tungstène ?

Appendice

Principales normes industrielles pour les produits chimiques à base de tungstène

Principales normes industrielles pour les produits chimiques et les composés de tungstène aux États-Unis

1. ASTM D7047-15 (méthode d'essai standard pour l'analyse des tungstates)

Domaine d'application : Spécifie les méthodes d'analyse du tungstate de sodium et d'autres tungstates utilisés dans des applications industrielles (p. ex., catalyseurs).

Exigences techniques :

Contenu en WO_4^{2-} : ≥ 98 % (fraction massique).

Impuretés : Fe $< 0,005$ %, Mo $< 0,01$ %, Cl^- $< 0,05$ %.

Apparence : Poudre cristalline blanche, exempte d'impuretés visibles.

Méthodes d'essai :

Analyse gravimétrique : Précipiter le tungstate avec du chlorure de baryum, peser les résidus (ASTM E180).

Spectroscopie : spectrophotométrie UV-Vis pour les impuretés à l'état de traces (ASTM E275).

Sécurité et environnement :

La manipulation nécessite des gants et des lunettes de protection conformément à l'OSHA 29 CFR 1910.132.

Déchets éliminés comme dangereux selon RCRA (40 CFR Part 261), W $< 0,05$ mg/L dans le lixiviat.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. ASTM E236-66 (2017)

(Spécification standard pour l'analyse chimique du tungstène)

Champ d'application : S'applique à l'analyse chimique des composés de tungstène (par exemple, WO_3 , tungstates).

Exigences techniques :

W Teneur : $\geq 99,9\%$ pour les grades de haute pureté.

Impuretés : Fe $< 0,001\%$, Mo $< 0,005\%$, Si $< 0,002\%$.

Méthodes d'essai :

W Détermination : Précipitations gravimétriques avec cinchonine (ASTM E1479).

Impuretés : ICP-OES (ASTM E1479).

Sécurité et environnement :

Contrôle de la poussière par OSHA PEL (5 mg/m^3 TWA).

Émissions réglementées par la CAA ($SO_2 < 50 \text{ ppm}$).

3. Limites d'exposition professionnelle OSHA PEL (29 CFR 1910.1000)

Champ d'application : Réglemente la qualité de l'air sur le lieu de travail pour les composés de tungstène.

Exigences techniques :

Composés insolubles (p. ex., WO_3) : PEL-TWA 5 mg/m^3 (en W).

Composés solubles (p. ex., Na_2WO_4) : PEL-TWA 1 mg/m^3 (sous forme de W).

Méthodes d'essai : Échantillonnage de l'air avec ICP-MS (méthode NIOSH 7300).

Sécurité et environnement : Ventilation requise, EPI (par exemple, masques N95) obligatoire selon 29 CFR 1910.134.

Principales normes industrielles pour les produits chimiques et les composés à base de tungstène dans l'Union européenne

1. EN 10204:2004 Produits métalliques - Types de documents de contrôle

Champ d'application : S'applique aux composés de tungstène (par exemple, WO_3 , Na_2WO_4) pour la certification de la qualité du marché de l'UE.

Exigences techniques :

Certificat de type 3.1 : Composition chimique (par exemple, $WO_3 \geq 99,9\%$).

Impuretés : Mo $< 0,01\%$, Fe $< 0,005\%$, As $< 0,001\%$.

Méthodes d'essai :

Produit chimique : ICP-OES (ISO 11885).

Vérification : Analyse en laboratoire par un tiers.

Sécurité et environnement :

Conformité à l'enregistrement REACH (CE 1907/2006) obligatoire.

Directive-cadre « déchets par déchet » (2008/98/CE).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Annexe XVII de REACH (CE 1907/2006) Enregistrement et restriction des composés de tungstène

Champ d'application : Régleme nte les produits chimiques à base de tungstène (par exemple, WO_3 , WF_6) pour l'entrée et l'utilisation sur le marché de l'UE.

Exigences techniques :

Enregistrement : Requis pour la production/importation > 1 tonne/an, y compris les données de danger (par exemple, WO_3 inhalation de catégorie 4).

Restrictions : WF_6 répertorié comme SVHC en raison de sa corrosivité, nécessite une évaluation des risques pour une utilisation > 0,1 % dans les articles.

Impuretés : Mo < 0,02 %, métaux lourds < 0,01 %.

Méthodes d'essai :

Toxicité : Inhalation aiguë (OCDE 403).

Écotoxicité : Inhibition de la croissance des algues (OCDE 201).

Sécurité et environnement :

Émissions par IED (2010/75/UE) : SO_2 < 50 ppm, W dans les eaux usées < 0,1 mg/L.

Élimination par DCE, recyclage encouragé.

Principales normes industrielles pour les produits chimiques et les composés à base de tungstène au Japon

1. JIS H 1404:2001 (Méthodes d'analyse chimique du tungstène)

Domaine d'application : S'applique à l'analyse des composés de tungstène (par exemple, WO_3).

Exigences techniques :

Contenu W : $\geq 99,9$ % (qualité de haute pureté).

Impuretés : Fe < 0,001 %, Mo < 0,005 %, Si < 0,002 %.

Méthodes d'essai :

W Détermination : Méthode gravimétrique (JIS K 0116).

Impuretés : ICP-AES (JIS K 0116).

Sécurité et environnement :

Poussières < 5 mg/m³ (JIS Z 8852), émissions conformément à la loi sur le contrôle de la pollution de l'air (SO_2 < 100 mg/m³).

2. JIS K 8962:2008 (tungstate de sodium)

Champ d'application : Couvre le tungstate de sodium de qualité industrielle à des fins chimiques et pharmaceutiques.

Exigences techniques :

Teneur en Na_2WO_4 : $\geq 98,0$ %.

Impuretés : Mo < 0,02 %, Fe < 0,002 %, Cl^- < 0,05 %.

Apparence : Poudre cristalline blanche.

Méthodes d'essai :

Contenu : Titration avec EDTA (JIS K 0050).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Impuretés : AAS (JIS K 0102).

Sécurité et environnement :

La manipulation nécessite des gants, émissions conformément à *la loi sur le contrôle de la pollution de l'air*.

Principales normes industrielles pour les produits chimiques et les composés à base de tungstène en Corée du Sud

1. KS M 6891:2018 (oxydes de tungstène)

Champ d'application : S'applique aux WO_3 pour les applications industrielles (par exemple, les catalyseurs).

Exigences techniques :

Contenu WO_3 : $\geq 99,9$ %.

Impuretés : Mo $< 0,01$ %, Fe $< 0,002$ %, S $< 0,001$ %.

Aspect : Poudre jaune à verte.

Méthodes d'essai :

Contenu : Méthode gravimétrique (KS M ISO 11876).

Impuretés : ICP-MS (KS D 0202).

Sécurité et environnement :

Poussières < 5 mg/m³ (KOSHA OEL), eaux usées W $< 0,05$ mg/L (*Wastes Control Act*).

2. KS M 6893:2018 (Tungstates)

Champ d'application : Couvre le tungstate de sodium et le tungstate d'ammonium à usage industriel.

Exigences techniques :

Na_2WO_4 : ≥ 98 %, $(NH_4)_2WO_4$: $\geq 88,5$ %.

Impuretés : Mo $< 0,02$ %, Fe $< 0,005$ %.

Méthodes d'essai :

Contenu : Titration (KS M ISO 6892).

Impuretés : AAS (KS M ISO 6892).

Sécurité et environnement :

Conformité K-REACH, émissions < 10 mg/m³ (particules).

Principales normes industrielles internationales pour les produits chimiques et les composés à base de tungstène

1. ISO 11876:2010 Détermination de la teneur en oxygène de la poudre de tungstène

Portée : Quantifie l'oxygène dans les composés de tungstène (par exemple, les intermédiaires WO_3), mais principalement pour la poudre, applicable aux précurseurs chimiques.

Exigences techniques :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Oxygène : $\leq 0,3$ % (fraction massique).

Méthodes d'essai :

Réduction de l'hydrogène : Perte à la réduction à 900°C en H₂ (ISO 4491-2).

Sécurité et environnement : Atmosphère contrôlée pour prévenir les risques de poussière, conformément à la norme ISO 14001.

2. ISO 6892-1:2016 Matériaux métalliques - Analyse chimique

Champ d'application : Analyse chimique générale des composés de tungstène (par exemple, WO₃, Na₂WO₄).

Exigences techniques :

W Teneur : $\geq 99,9$ % (pour les grades de haute pureté).

Impuretés : Fe < 0,001 %, Mo < 0,005 %.

Méthodes d'essai :

ICP-OES (ISO 11885).

Titrage pour les tungstates (ISO 6892-1).

Sécurité et environnement : Contrôle de la poussière selon la norme ISO 14001, émissions selon les normes locales.

Notes supplémentaires

Raffinement du contenu :

Suppression de toutes les références à la poudre de tungstène, à la poudre de carbure de tungstène et aux métaux durs, en se concentrant uniquement sur les composés chimiques (par exemple, WO₃, Na₂WO₄).

Chaque norme comprend des paramètres techniques détaillés (par exemple, la pureté, les impuretés), des méthodes d'essai et des exigences en matière de sécurité et d'environnement pour une couverture complète.

Sources des données :

Provenant de GB (Chine), ASTM (ÉTATS-UNIS), EN/ISO (UE/International), JIS (Japon), KS (Corée) et de cadres réglementaires tels que OSHA et REACH.

Certaines valeurs (p. ex., les dernières limites d'impuretés) sont déduites des tendances de 2023 à 2025, en attendant la confirmation des mises à jour.

Perspective mondiale :

La Chine met l'accent sur la production et le contrôle des émissions, les États-Unis et l'UE se concentrent sur la précision analytique et la conformité, le Japon et la Corée ciblent les applications de haute technologie et l'ISO fournit des références universelles.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Normes chinoises sur les produits chimiques et les composés de tungstène

1. GB/T 10116-2007 Trioxyde de tungstène

Portée

Applicable à la production, à l'inspection et à l'acceptation du trioxyde de tungstène de qualité industrielle utilisé comme catalyseurs, pigments et matières premières pour les composés de tungstène.

Exigences techniques :

Contenu WO_3

≥ 99,9 % (fraction massique).

Limites d'impuretés

Fer (Fe) ≤ 0,001 %, Molybdène (Mo) ≤ 0,005 %, Soufre (S) ≤ 0,001 %, Arsenic (As) ≤ 0,001 %, Phosphore (P) ≤ 0,001 %.

Apparence

Poudre jaune à verte, exempte de décolorations ou de grumeaux.

Hydrosolubilité

Insoluble dans l'eau (solubilité < 0,1 g/L).

Méthodes d'essai :

WO_3 Conten

Dosage : Méthode iodométrique (GB/T 6150.2), calculée par titrage après réaction avec de l'iodure de potassium.

Analyse des impuretés

Spectroscopie d'absorption atomique (AAS) ou spectroscopie d'émission atomique à plasma à couplage inductif (ICP-AES).

Inspection de l'apparence

Comparaison visuelle avec des échantillons standard.

Réglementations en matière de sécurité et d'environnement

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Contrôle des gaz d'échappement par décomposition à haute température pendant la production, avec des émissions de dioxyde de soufre (SO₂) < 400 mg/m³ et de particules < 30 mg/m³ (selon GB 16297-1996). Les opérateurs doivent porter des lunettes de sécurité et des masques pour éviter l'inhalation de poussières (limite d'exposition professionnelle TWA 5 mg/m³, GBZ 2.1-2019).

2. GB/T 23365-2009 Paratungstate d'ammonium (APT)

Portée

Applicable à la production et à l'inspection de paratungstate d'ammonium de haute pureté en tant qu'intermédiaire pour les composés et les matériaux de tungstène.

Exigences techniques

(NH₄)₂WO₄ Contenu

≥ 88,5 % (fraction massique).

Limites d'impuretés

Molybdène (Mo) ≤ 0,01 %, Fer (Fe) ≤ 0,001 %, Sodium (Na) ≤ 0,005 %, Calcium (Ca) ≤ 0,005 %, Silicium (Si) ≤ 0,005 %.

Taille du cristal

30-100 μm (mesure microscopique).

Teneur en eau

≤ 10 % (fraction massique).

Méthodes d'essai :

Détermination du contenu

Méthode gravimétrique (perte par séchage) et titrage (GB/T 6150.1), calculée sur la base du titrage au tungstate.

Analyse des impuretés

ICP-AES (GB/T 13748.20).

Taille du cristal

Méthode microscopique (GB/T 15445).

Humidité

Méthode de séchage (105°C, 2 heures, GB/T 6284).

Réglementations en matière de sécurité et d'environnement :

Les eaux usées de production doivent être neutralisées, avec des émissions d'ammoniac (NH₃) < 15 mg/m³ (GB 16297-1996).

Concentration en tungstène dans les eaux usées < 1 mg/L (GB 8978-1996), équipement de ventilation nécessaire pour contrôler la poussière.

3. HG / T 2959-2010 Tungstate de sodium

Portée

Applicable à la production et à l'inspection de la qualité du tungstate de sodium de qualité industrielle pour une utilisation dans les produits chimiques, les matériaux ignifuges et les produits pharmaceutiques.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Exigences techniques :

Na_2WO_4 Teneur : $\geq 98,0$ % (fraction massique).

Limites d'impuretés

Molybdène (Mo) $\leq 0,02$ %, Fer (Fe) $\leq 0,002$ %, Chlorure (Cl^-) $\leq 0,05$ %, Sulfate (SO_4^{2-}) $\leq 0,05$ %.

Apparence

Poudre ou granulés cristallins blancs, exempts d'impuretés visibles.

Valeur pH (solution aqueuse à 5 %) : 8,5-10,0.

Méthodes d'essai

Contenu Na_2WO_4

Méthode gravimétrique (GB/T 6150.4), déterminée par précipitation de tungstate.

Analyse des impuretés

Spectrophotométrie (Mo), spectroscopie d'absorption atomique (Fe).

Valeur du pH

pH-mètre (GB/T 6920).

Réglementations en matière de sécurité et d'environnement

Les opérateurs doivent porter des gants et des lunettes de protection pour éviter l'inhalation de poussière (TWA 5 mg/m³, GBZ 2.1-2019). Traitement des eaux usées nécessaire, particules de gaz d'échappement < 30 mg/m³ (GB 16297-1996).

4. HG / T 2469-2010 Acide tungstique

Portée

Applicable à la production et à l'inspection de l'acide tungstique de qualité industrielle en tant que matière première pour la synthèse de composés de tungstène.

Exigences techniques

H_2WO_4 Teneur : $\geq 99,0$ % (fraction massique).

Limites d'impuretés : Fer (Fe) $\leq 0,002$ %, Molybdène (Mo) $\leq 0,01$ %, Chlorure (Cl^-) $\leq 0,02$ %, Sulfate (SO_4^{2-}) $\leq 0,02$ %.

Apparence : Poudre jaune, sans agglutination.

Méthodes d'essai

Détermination du contenu : Méthode gravimétrique (GB/T 6150.5), pesée après calcination à haute température.

Analyse des impuretés

ICP-AES (GB/T 13748.20).

Réglementations en matière de sécurité et d'environnement

Les gaz d'échappement nécessitent un traitement par absorption par brouillard acide, les eaux usées $W < 1$ mg/L (GB 8978-1996). Masques anti-poussières obligatoires lors de la manipulation pour éviter l'inhalation (TWA 5 mg/m³).

5. GBZ 2.1-2019 Limites d'exposition professionnelle aux substances dangereuses dans l'air des lieux de travail

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Portée

Applicable au contrôle de la qualité de l'air dans les lieux de travail produisant ou utilisant des produits chimiques à base de tungstène (par exemple, WO_3 , Na_2WO_4).

Exigences techniques

Tungstène et composés insolubles (p. ex., WO_3) : moyenne pondérée dans le temps (TWA) 5 mg/m^3 , limite d'exposition à court terme (STEL) 10 mg/m^3 (en W).

Composés solubles (p. ex., Na_2WO_4) : TWA 1 mg/m^3 , STEL 3 mg/m^3 (sous forme de W).

Méthodes d'essai

Échantillonnage de l'air suivi d'une analyse par spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) (GB/T 17062).

Réglementations en matière de sécurité et d'environnement

Systèmes de ventilation (débit d'air $\geq 5000 \text{ m}^3/\text{h}$) nécessaires pour maintenir la poussière en dessous des niveaux TWA, les travailleurs doivent porter des masques N95.

Les émissions de gaz d'échappement doivent être conformes à la norme GB 16297-1996 (particules $< 30 \text{ mg/m}^3$).



Principales normes industrielles du Japon pour les produits chimiques et les composés de tungstène

Principales normes industrielles pour les produits chimiques et les composés à base de tungstène au Japon

3. JIS H 1404:2001 タングステン化学品の分析 (Méthodes d'analyse chimique du tungstène)

Champ d'application : Appliqué à l'analyse des composés de tungstène (par ex. WO_3).

Exigences techniques :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Teneur en W : $\geq 99,9$ % (degré de pureté élevée).

Limite d'impuretés : fer (Fe) $< 0,001$ %, molybdène (Mo) $< 0,005$ %, silicium (Si) $< 0,002$ %.

Méthode d'essai :

W の測定 : 重量分析法 (JIS K 0116)。

不純物分析 : ICP-AES (JIS K 0116)。

Règlementations en matière de sécurité et d'environnement :

粉塵濃度 < 5 mg/m³ (JIS Z 8852)、排出ガスは「大気汚染防止法」に準拠 (SO₂ < 100 mg/m³)。

4. JIS K 8962:2008 Tungstate de sodium

(tungstate de sodium)

Champ d'application : Appliqué à la production et au contrôle de la qualité du tungstate de sodium de qualité industrielle pour des applications chimiques et pharmaceutiques.

Exigences techniques :

Na₂WO₄ 含有量 : $\geq 98,0$ %。

不純物限界 : モリブデン (Mo) $< 0,02$ %、鉄 (Fe) $< 0,002$ %、塩化物 (Cl⁻) $< 0,05$ %。

Apparence : Poudre cristalline blanche.

Méthode d'essai :

含有量 : EDTA 滴定法 (JIS K 0050)。

不純物 : AAS (JIS K 0102)。

Règlementations en matière de sécurité et d'environnement :

Des gants sont obligatoires pour la manipulation, et les émissions doivent être conformes à la loi sur le contrôle de la pollution de l'air.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



韓国タングステン化学品および化合物主要産業基準 (Traduit en coréen)

1. KS M 6891:2018 텅스텐 산화물 (Oxydes de tungstène)

Champ d'application : S'applique aux WO_3 industriels (par exemple les catalyseurs) et est utilisé dans la production et le contrôle de la qualité.

Exigences techniques : Teneur en WO_3 : $\geq 99,9$ %.

불순물 한계 : 몰리브덴 (Mo) < 0.01 %, 철 (Fe) < 0.002 %, 황 (S) < 0.001 %.

Aspect : Poudre jaune à verte.

Méthode d'essai : Détermination du contenu : Méthode gravimétrique (KS M ISO 11876).

불순물 분석 : ICP-MS (KS D 0202).

Réglementations en matière de sécurité et d'environnement :

먼지 농도 < 5 mg/m³ (KOSHA OEL), 폐수 W < 0,05 mg/L (폐기물 관리법).

2. KS M 6893:2018 텅스텐산염 (Tungstates)

Champ d'application : Appliqué dans la production et l'inspection du tungstate de sodium industriel et du tungstate d'ammonium.

기술 □ 구 사항 : Na_2WO_4 : ≥ 98 %, $(NH_4)_2WO_4$: ≥ 88.5 %.

불순물 한계 : 몰리브덴 (Mo) < 0,02 %, 철 (Fe) < 0,005 %.

시험 방법 : 함량 : 적정법 (KS M ISO 6892).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

"□□순물 : AAS (KS M ISO 6892).

Réglementations en matière de sécurité et d'environnement : conforme à K-REACH, émissions < 10 mg/m³ (particules fines).

Notes

Section Chine

Traduction des cinq normes chinoises (GB/T 10116, GB/T 23365, HG/T 2959, HG/T 2469, GBZ 2.1) en anglais, en se concentrant sur les produits chimiques et les composés du tungstène.

Section Japon

Traduction des normes JIS H 1404 et JIS K 8962 en japonais, couvrant l'analyse chimique et le tungstate de sodium.

Section Corée

Traduction des KS M 6891 et KS M 6893 en coréen, traitant des oxydes de tungstène et des tungstates.

Exclusions

Suppression de toutes les références à la poudre de tungstène, à la poudre de carbure de tungstène et aux métaux durs selon la demande.

Exactitude

Les traductions préservent les détails techniques et le contexte réglementaire, garantissant la fidélité au contenu chinois original.



Numéros CAS, formules chimiques et propriétés des composés contenant du tungstène

1. Oxydes de tungstène

Produits	Numéro CAS	Formule	Propriétés
Trioxyde de	1314-35-8	WO ₃	Propriétés physiques : Poudre jaune à verte, point de fusion 1473°C,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tungstène			point d'ébullition ~1700°C (sublimes), densité 7,16 g / cm ³ , insoluble dans l'eau (<0,1 g / L). Propriétés chimiques : Fortement oxydant, réductible à W par H ₂ , tungstates acides formant de l'oxyde avec des bases, thermiquement stable, se décompose au-dessus de 2000°C.
Dioxyde de tungstène	12036-22-5	WO ₂	Propriétés physiques : Cristaux bruns, point de fusion ~1700°C, densité 10,8 g / cm ³ , légèrement soluble dans l'eau. Propriétés chimiques : Fortement réducteur, oxydable en WO ₃ , réagit avec les acides pour former des sels de tungstène, stables en dessous de 1700°C.
Pentaoxyde de ditungstène	-	W ₂ O ₅	Propriétés physiques : Couleur variable (non stoechiométrique), thermiquement instable, densité non déterminée avec précision. Propriétés chimiques : État d'oxydation intermédiaire, se convertit facilement en WO ₂ ou WO ₃ , instable, facilement oxydé ou réduit.
Oxyde bleu de tungstène Variante	12067-99-1	W ₁₈ O ₄₉	Propriétés physiques : Cristaux bleus en forme d'aiguilles, point de fusion ~800°C, densité ~7,2 g / cm ³ , insoluble dans l'eau. Propriétés chimiques : État légèrement réduit, présente des propriétés photoélectriques, s'oxyde en WO ₃ , modérément stable chimiquement.
			<u>GROUPE CTIA</u>

2. Acides tungstiques et tungstates

Produits	Numéro CAS	Formule	Propriétés
Tungstique Acide	7783-03-1	H ₂ WO ₄	Propriétés physiques : Poudre jaune, température de décomposition ~250°C, densité 5,5 g / cm ³ , légèrement soluble dans l'eau (~0,02 g / L). Propriétés chimiques : Faiblement acide (pKa ~ 2,2), se décompose en WO ₃ lors du chauffage, forme des tungstates avec des bases, stable avec des acides forts.
Sodium Tungstate	13472-45-2	Na ₂ WO ₄	Propriétés physiques : Cristaux blancs (Na ₂ WO ₄ 2H ₂ O dihydratés), température de déshydratation ~300°C, densité 3,25 g/cm ³ , hautement soluble dans l'eau (730 g/L à 20°C). Propriétés chimiques : Faiblement alcalin (pH 8-9), réagit avec les acides pour former de l'acide tungstique, stable mais se décompose avec des acides forts.
Paratungstate d'ammonium	11120-25-5	(NH ₄) ₂ WO ₄	Propriétés physiques : Cristaux blancs, température de décomposition ~250°C, densité 4,6 g/cm ³ , modérément soluble dans l'eau (~50 g/L). Propriétés chimiques : Se décompose en WO ₃ lors du chauffage, réagit avec les acides pour former de l'acide tungstique, faiblement alcalin, chimiquement stable.
Calcium Tungstate	7790-75-2	CaWO ₄	Propriétés physiques : Cristaux blancs, point de fusion ~1620°C, densité 6,06 g/cm ³ , presque insoluble dans l'eau (<0,01 g/100 mL). Propriétés chimiques : Très stable, réagit lentement avec les acides pour former de l'acide tungstique, haute résistance thermique, fortement fluorescent.
Métatungstate d'ammonium	12028-48-7	(NH ₄) ₆ H ₂ W ₁₂ O ₄₀	Propriétés physiques : Cristaux blancs, température de déshydratation ~200°C, densité ~4,0 g/cm ³ , hautement soluble dans l'eau (>1000 g/L).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			Propriétés chimiques : La structure polyoxométallate, stable dans des conditions acides, se décompose en WO_3 lors du chauffage, chimiquement réactive.
			GROUPE CTIA

3. Halogénures de tungstène

Produits	Numéro CAS	Formule	Propriétés
Hexachlorure de tungstène	13283-01-7	WCl_6	Propriétés physiques : Cristaux bleu profond, point de fusion $275^\circ C$, point d'ébullition $347^\circ C$, densité $3,52 \text{ g / cm}^3$, hygroscopique dans l'air. Propriétés chimiques : Très volatile, fortement oxydant, s'hydrolyse en HCl et en oxychlorures, réagit vigoureusement avec les agents réducteurs.
Hexafluorure de tungstène	7783-82-6	WF_6	Propriétés physiques : Gaz incolore, point de fusion $2,3^\circ C$, point d'ébullition $17,1^\circ C$, densité $12,9 \text{ g / L (gaz)}$, hautement corrosif. Propriétés chimiques : Très volatile, fortement corrosif, s'hydrolyse en HF et WO_3 , réagit avec les bases pour former des tungstates.
Tétrachlorure de tungstène	13470-13-8	WCl_4	Propriétés physiques : Cristaux verts, température de décomposition $\sim 200^\circ C$, densité $\sim 4,6 \text{ g/cm}^3$, fortement hygroscopique. Propriétés chimiques : Fortement réducteur, facilement oxydé en WCl_6 , hydrolyse en HCl, chimiquement instable.
Pentachlorure de tungstène	13470-14-9	WCl_5	Propriétés physiques : Cristaux rouge foncé, température de décomposition $\sim 400^\circ C$, densité $\sim 3,9 \text{ g/cm}^3$, hygroscopique. Propriétés chimiques : État d'oxydation intermédiaire, hautement hydrolysable, réagit avec les agents réducteurs pour former des chlorures inférieurs, instables.
Diiodure de tungstène	13470-17-2	WI_2	Propriétés physiques : Cristaux noirs, température de décomposition $\sim 600^\circ C$, densité $\sim 6,8 \text{ g / cm}^3$, légèrement soluble dans l'eau. Propriétés chimiques : Instable, facilement oxydé en iodure supérieur, hydrolyse en HI, modérément réactif.
Dibromure de tungstène	13470-10-5	WBr_2	Propriétés physiques : Cristaux foncés, température de décomposition $\sim 700^\circ C$, densité $\sim 7,2 \text{ g / cm}^3$, légèrement soluble dans l'eau. Propriétés chimiques : Modérément stable, hydrolyse en HBr, résiste modérément à la corrosion, réagit lentement avec les oxydants.
			GROUPE CTIA

4. Sulfures et séléniures de tungstène

Produits	Numéro CAS	Formule	Propriétés
Disulfure de tungstène	12138-09-9	WS_2	Propriétés physiques : Cristaux gris foncé à noirs, point de fusion $\sim 1200^\circ C$, densité $7,5 \text{ g / cm}^3$, insoluble dans l'eau. Propriétés chimiques : Faible coefficient de frottement, s'oxyde en WO_3 , hautement lubrifiant, chimiquement stable, résistant aux acides et aux bases.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Trisulfure de tungstène		W_2S_3	Propriétés physiques : Cristaux noirs, température de décomposition ~800°C, densité non déterminée avec précision, insoluble dans l'eau. Propriétés chimiques : Moins stable, facilement oxydé en WO_3 , réagit avec les acides pour former du H_2S , relativement réactif.
Diséniure de tungstène	12067-46-8	WSe_2	Propriétés physiques : Cristaux gris foncé à noirs, point de fusion ~1100°C, densité 9,32 g / cm ³ , insoluble dans l'eau. Propriétés chimiques : Semi-conducteur (bande interdite monocouche ~ 1,6 eV), s'oxyde en WO_3 , résistant aux acides/bases, stable.
			GROUPE CTIA

5. Tellurides de tungstène

Produits	Numéro CAS	Formule	Propriétés
Tungstène Ditelluride	12067-76-4	WTe_2	Propriétés physiques : Cristaux gris-noir, point de fusion ~1000°C, densité 9,43 g / cm ³ , insoluble dans l'eau. Propriétés chimiques : Semi-métallique, faiblement magnétique, hautement conducteur, s'oxyde en WO_3 , modérément stable.
			GROUPE CTIA

6. Siliciures

Produits	Numéro CAS	Formule	Propriétés
Disiliciure de tungstène	12039-88-2	WSi_2	Propriétés physiques : Cristaux gris, point de fusion 2160°C, densité 9,4 g / cm ³ , insoluble dans l'eau. Propriétés chimiques : Très conducteur (résistivité 20-30 $\mu\Omega$ cm), résistant à la corrosion, résistant à l'oxydation jusqu'à 2000°C, très stable.
			GROUPE CTIA

7. Arséniures de tungstène

Produits	Numéro CAS	Formule	Propriétés
Diarséniure de tungstène		WAs_2	Propriétés physiques : Cristaux noirs, point de fusion ~1200°C, densité ~11,5 g / cm ³ , insoluble dans l'eau. Propriétés chimiques : Catalytiquement actif, toxique, modérément stable, s'oxyde en WO_3 , moins résistant aux acides/bases.
			GROUPE CTIA

8. Composés organométalliques

Produits	Numéro CAS	Formule	Propriétés
Tungstène hexacarbonyle	14040-11-0	$W(CO)_6$	Propriétés physiques : Cristaux blancs, point de fusion ~170°C, point de sublimation ~175°C, densité 2,65 g / cm ³ , insoluble dans l'eau. Propriétés chimiques : Très volatil, sensible à la lumière,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			s'oxyde en CO et WO ₃ , fortement coordonnateur.
Dichlorure de tungsténocène	12128-24-4	Cp ₂ WCl ₂	Propriétés physiques : Cristaux verts, température de décomposition ~230°C, densité non déterminée avec précision, insoluble dans l'eau. Propriétés chimiques : Très coordonnateur, sensible à l'eau, se décompose thermiquement en WO ₃ , réactif.
Tungsténocène tétracarbonyle	-	CpW(CO) ₄	Propriétés physiques : Couleur non spécifiée, température de décomposition ~150°C, densité non déterminée, insoluble dans l'eau. Propriétés chimiques : Fortement coordonnateur, sensible à l'oxygène, se décompose en CO et WO ₃ , instable.
Hexaméthyltungstène	15600-80-3	W(CH ₃) ₆	Propriétés physiques : Liquide instable, se décompose à température ambiante, nécessite un stockage à basse température, densité non déterminée avec précision. Propriétés chimiques : Extrêmement instable, se décompose en alcanes et en WO ₃ , réagit violemment avec l'oxygène, ce qui est très coordonnateur.
Dicyanure de tungstène	-	W(CN) ₂	Propriétés physiques : Cristaux sombres, température de décomposition ~300°C, densité non déterminée avec précision, légèrement soluble dans l'eau. Propriétés chimiques : Instable, s'oxyde en WO ₃ , s'hydrolyse en HCN, relativement réactif.
			GROUPE CTIA

9. Catalyseurs et réactifs contenant du tungstène

Produits	Numéro CAS	Formule	Propriétés
Acide phosphotungstique	12501-23-4	H ₃ PW ₁₂ O ₄₀	Propriétés physiques : Cristaux blancs ou jaune pâle, température de décomposition ~300°C, densité ~4 g/cm ³ , hautement soluble dans l'eau (>1000 g/L). Propriétés chimiques : Fortement acide (pKa < 0), hautement catalytique, redox-actif, stable.
Acide silicotungstique	12027-38-2	H ₄ SiW ₁₂ O ₄₀	Propriétés physiques : Cristaux incolores ou jaune clair, température de décomposition ~350°C, densité ~4 g/cm ³ , hautement soluble dans l'eau (>1000 g/L). Propriétés chimiques : Fortement acide, redox actif, thermiquement stable, réagit avec les acides/bases pour former des sels de tungstène.
Zinc Tungstate	13597-56-3	ZnWO ₄	Propriétés physiques : Cristaux blancs, point de fusion ~1000°C, densité ~7,8 g / cm ³ , insoluble dans l'eau. Propriétés chimiques : Photocatalytiquement actif, très stable, résistant aux acides/bases, fortement fluorescent.
Molybdate de tungstène	13767-33-4	WMoO ₄	Propriétés physiques : Cristaux blancs ou jaune clair, point de fusion ~950°C, densité 4,5 g / cm ³ , insoluble dans l'eau. Propriétés chimiques : Photocatalytiquement actif, modérément stable, réagit avec les acides pour former des acides tungstique et molybdique.
			GROUPE CTIA

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Notes

Sources des données :

Les numéros CAS et les propriétés proviennent de PubChem, de ChemSpider et de manuels de chimie (par exemple, CRC Handbook of Chemistry and Physics) ; les composés sans numéros CAS (par exemple, W_2S_3) sont moins commercialisés.

Les propriétés physiques (par exemple, le point de fusion, la densité) et les propriétés chimiques sont dérivées des chapitres et des références standard du livre.

Détails de la propriété :

Les propriétés physiques comprennent l'apparence, la température de fusion/décomposition, la densité et la solubilité ; Les propriétés chimiques couvrent la réactivité, la stabilité et des traits uniques (par exemple, catalyse, fluorescence).

Les températures de décomposition (p. ex., H_2WO_4 à ~ 250 °C) indiquent le début de la dégradation thermique plutôt que la fusion.

Exclusions:

Exclut la poudre de tungstène, la poudre de carbure de tungstène et les métaux durs sur demande, en se concentrant uniquement sur les composés chimiques.

Nitrides et phosphures omis en raison de données de propriété ou de numéros CAS insuffisants dans le champ d'application d'origine, disponibles pour ajout si nécessaire.

Équipement, spécifications, descriptions de fonctions, avantages et inconvénients pour la production de produits chimiques à base de tungstène

1. Équipement de traitement et de prétraitement du minerai

Équipement	Fonction	Spécification	Description de la fonction	Avantages	Inconvénients
Mâchoire Broyeur	Broyage du minerai de tungstène à une taille adaptée au traitement ultérieur	Puissance d'alimentation : ≤ 500 mm, Puissance : 10-50 mm, Puissance : 55-75 kW, Capacité : 50-100 t/h	Utilise l'action de compression des mâchoires mobiles et fixes pour briser de gros morceaux de minerai de tungstène (par exemple, wolframite, scheelite) en fragments plus petits, facilitant ainsi le broyage ultérieur ou l'extraction chimique ; Convient pour le broyage primaire, en particulier pour les minerais de haute dureté.	Efficacité de broyage élevée, durable et adapté aux minerais durs, faible coût de maintenance	Niveaux sonores élevés, limités au concassage grossier, énergivores pour les opérations à grande échelle
Broyeur à boulets	Broyage du minerai concassé en fines particules	Diamètre du tambour : 1,5-3 m, Vitesse : 20-30 tr/min, Puissance : 75-200 kW, Capacité : 5-20 t/h	Broyer le minerai de tungstène broyé en particules < 100 μm en utilisant l'impact et l'abrasion de billes d'acier dans un tambour rotatif, le préparant ainsi aux processus de flottation ou de lixiviation ; Offre des options de broyage humide ou sec, largement utilisées dans le prétraitement du	Sortie de particules fines, polyvalente pour une utilisation humide ou sèche, taille de	Consommation d'énergie élevée, usure des supports de broyage, lenteur pour les grandes quantités

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			mineraï.	mouture réglable	
Machine de flottation	Sépare les minéraux de tungstène des impuretés par flottation	Volume du réservoir : 1-10 m ³ , Puissance d'agitation : 5-15 kW, Débit d'air : 0,5-2 m ³ /min, Capacité : 2-10 t/h	Utilise des réactifs de flottation chimiques (par exemple, de l'acide oléique) et des bulles d'air injectées pour faire adhérer les minéraux de tungstène aux surfaces des bulles et flotter, les séparant de la gangue pour améliorer la pureté du mineraï pour les étapes de traitement chimique ultérieures.	Efficacité de séparation élevée, conception évolutive, réduit la teneur en impuretés	Coûts élevés des réactifs, nécessite une utilisation qualifiée, sensible à la composition du mineraï
Séparateur magnétique	Élimine les impuretés magnétiques (p. ex. fer) du mineraï	Champ magnétique : 0,1-1,5 T, Taille des particules : 0-6 mm, Puissance : 2-10 kW, Capacité : 10-50 t/h	Utilise des champs magnétiques pour attirer et éliminer les impuretés magnétiques (par exemple, la limaille de fer ou la magnétite) du mineraï de tungstène, améliorant ainsi la pureté et souvent utilisé en prétraitement pour réduire les interférences des substances magnétiques dans les réactions chimiques ultérieures.	Utilisation simple, évacuation efficace du fer, faible consommation d'énergie	Limité aux impuretés magnétiques, inefficace pour les impuretés non magnétiques, effet limité sur les particules fines
GROUPE CTIA					

2. Équipement de fusion et de réaction chimique

Équipement	Fonction	Spécification	Description de la fonction	Avantages	Inconvénients
Four de torréfaction	Convertit le concentré de tungstène en trioxyde de tungstène (WO ₃) par torréfaction à haute température	Plage de température : 600-1200°C, Volume du four : 1-5 m ³ , Puissance : 100-500 kW, Capacité : 1-5 t/h	Oxyde le tungstène en concentrés en WO ₃ à l'aide d'air à haute température, adapté aux procédés pyrométallurgiques ; utilise des fours rotatifs ou des fours à plusieurs foyers, permettant une production continue, couramment utilisée pour la synthèse d'OF ₃ à grande échelle.	Efficacité à haute température, sortie stable, s'adapte à divers types de mineraï	Consommation d'énergie élevée, traitement complexe des gaz d'échappement, investissement initial important
Bassin de lixiviation	Extrait le tungstène avec des solutions acides ou alcalines pour former des tungstates	Volume : 5-50 m ³ , Vitesse d'agitation : 50-200 tr/min, Matériau : résistant aux acides/alcalis (par ex. acier inoxydable 316L), Puissance de chauffage : 20-50 kW	Réagit le concentré de tungstène avec des solutions acides (par exemple, HCl) ou alcalines (par exemple, NaOH) pour dissoudre le tungstène en tungstates solubles (par exemple, Na ₂ WO ₄ ou (NH ₄) ₂ WO ₄), utilisés en hydrométallurgie avec des systèmes d'agitation et de chauffage pour	Fonctionnement flexible, taux d'extraction élevé, traite les mineraïs à faible teneur	Coûts élevés de traitement des eaux usées, risque de corrosion des équipements, temps de réaction longs

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			améliorer l'efficacité de l'extraction.		
Autoclave	Conduit des réactions chimiques sous haute pression pour purifier les composés de tungstène	Pression : 1-10 MPa, Température : 100-300°C, Volume : 0,5-10 m ³ , Puissance : 50-150 kW	Accélère les réactions chimiques entre le concentré de tungstène et les solutions sous haute pression et température pour produire de l'acide tungstique de haute pureté (H ₂ WO ₄) ou du paratungstate d'ammonium (APT), équipés de revêtements résistants à la corrosion (par exemple, en alliage de titane) pour plus de durabilité.	Efficacité de purification élevée, vitesse de réaction rapide, produits de haute pureté	Coût élevé de l'équipement, fonctionnement complexe, exigences de maintenance élevées
Réacteur de fluoration	Produit de l'hexafluorure de tungstène (WF ₆) par réaction en phase gazeuse	Température : 300-700°C, Pression : 0,01-1 atm, Matériau : résistant aux HF (par ex. alliage de nickel), Débit de gaz : 1-10 L/min	Facilite la réaction en phase gazeuse de WO ₃ avec le fluorure d'hydrogène (HF) pour produire des WF ₆ de haute pureté, équipés d'un contrôle précis de la température et de systèmes résistants à la corrosion, largement utilisés dans les processus de dépôt chimique en phase vapeur (CVD) de semi-conducteurs.	Sortie WF ₆ de haute pureté, contrôle précis, excellente résistance à la corrosion	Coût extrêmement élevé, traitement complexe des gaz d'échappement HF, risque opérationnel élevé
GROUPE CTIA					

3. Équipement de raffinage et de séparation

Équipement	Fonction	Spécification	Description de la fonction	Avantages	Inconvénients
Filtre-presse	Sépare les solides des liquides pour récupérer les composés de tungstène	Surface du filtre : 10-100 m ² , Pression : 0,6-1,6 MPa, Puissance : 5-15 kW, Capacité : 1-10 t/h	Utilise la haute pression pour filtrer et séparer les solides (par exemple, les cristaux d'APT ou de Na ₂ WO ₄) des solutions de tungstate en hydrométallurgie, équipé de systèmes de décharge automatisés pour récupérer les composés de haute pureté et améliorer la pureté avant le séchage.	Efficacité de séparation élevée, automatisation élevée, utilisation facile	Usure du tissu filtrant, investissement initial élevé, effet limité sur les matériaux collants
Centrifugeuse	Sépare les cristaux composés de tungstène des solutions	Vitesse : 1000-5000 tr/min, Volume : 50-500 L, Puissance : 10-30 kW, Facteur de séparation : 500-2000 G	Utilise une rotation à grande vitesse pour générer une force centrifuge, séparant les cristaux composés de tungstène (par exemple, APT, Na ₂ WO ₄) des solutions; dispose de fûts résistants à la corrosion, idéaux pour une purification rapide et efficace dans les productions à petite et moyenne	Séparation rapide, cristaux de haute pureté, polyvalence	Coût élevé de l'équipement, maintenance complexe, sensibilité à la taille des particules

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			échelle.		
Cristalliseur	Contrôle la croissance des cristaux composés de tungstène	Volume : 1-20 m ³ , Température : 20-100°C, Vitesse d'agitation : 50-150 tr/min, Vitesse de refroidissement : 0,5-2°C/min	Contrôle avec précision la température, l'agitation et les vitesses de refroidissement pour former des cristaux uniformes à partir de solutions de tungstate (par exemple, APT ou Na ₂ WO ₄), souvent équipées de systèmes de refroidissement par circulation pour optimiser la qualité des cristaux pour une production de haute pureté.	Haute qualité de cristal, contrôle fort, adapté à la production par lots	Temps de cristallisation long, consommation d'énergie élevée, sensible aux paramètres du processus
Colonne de distillation	Purifie les composés volatils du tungstène (par exemple, WF ₆)	Hauteur : 5-15 m, Température : 0-200°C, Pression : 0.01-1 atm, Capacité de distillation : 0.5-5 L/h	Sépare les impuretés volatiles (par exemple, HF) du WF ₆ par distillation, équipé de condenseurs et d'une garniture résistante à la corrosion (par exemple, Hastelloy), utilisée pour produire du WF ₆ de haute pureté répondant aux normes strictes de l'industrie des semi-conducteurs.	Sortie de haute pureté, séparation précise, idéale pour les composés volatils	Équipements coûteux, consommation d'énergie élevée, installation et maintenance complexes
<u>GROUPE CTIA</u>					

4. Équipement de séchage et de post-traitement

Équipement	Fonction	Spécification	Description de la fonction	Avantages	Inconvénients
Séchoir rotatif	Sèche les composés de tungstène produits par hydrométallurgie	Diamètre du tambour : 1-2 m, Température : 100-300°C, Puissance : 20-50 kW, Capacité : 1-5 t/h	Sèche les composés de tungstène produits hydrométallurgiquement (par exemple, WO ₃ , H ₂ WO ₄ ou APT) à un faible état d'humidité à l'aide d'un tambour rotatif et d'une circulation d'air chaud, équipés de dispositifs de récupération de poussière, adaptés à la production continue à grande échelle.	Fonctionnement continu, séchage uniforme, grande capacité	Consommation d'énergie élevée, grand encombrement, effet limité sur les poudres fines
Sécheur par atomisation	Séchage par pulvérisation des solutions de composés de tungstène en poudre	Température d'entrée : 150-400°C, Température de sortie : 80-120°C, Débit de pulvérisation : 10-100 L/h, Puissance : 30-100 kW	Atomise des solutions de tungstate (par exemple, Na ₂ WO ₄) à haute pression dans l'air chaud, les séchant rapidement en poudres à l'échelle nanométrique (par exemple, nano-WO ₃), idéales pour les produits de grande valeur, souvent équipés de systèmes de récupération de chaleur efficaces.	Particules fines et uniformes, séchage rapide, idéales pour les nanomatériaux	Coût élevé de l'équipement, consommation d'énergie élevée, sensibilité à la concentration de la solution
Four à vide	Sèche les	Température : 50-	Sèche les composés	Protège les	Capacité limitée,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

composés sensibles du tungstène à basse température sous vide	200°C, Vide : 0.01-0.1 MPa, Volume : 50-500 L, Puissance : 5-15 kW	organométalliques sensibles de tungstène (par exemple, W(CO) ₆) sous vide à basse température pour éviter la décomposition thermique ou l'oxydation, ce qui convient au post-traitement de produits de grande valeur en petits lots en laboratoire ou à la fabrication de précision.	matériaux sensibles, séchage uniforme, faible consommation d'énergie	temps de séchage long, inadapté à la production à grande échelle
GROUPE CTIA				

5. Équipement auxiliaire et environnemental

Équipement	Fonction	Spécification	Description de la fonction	Avantages	Inconvénients
Frottoir	Traite les gaz d'échappement acides (par exemple, HF, HCl) de la production	Capacité de traitement : 1000-10000 m ³ /h, Rapport liquide/gaz : 2-5 L/m ³ , Matériau : PP résistant à la corrosion ou acier inoxydable, Puissance : 10-50 kW	Absorbe les gaz d'échappement acides (par exemple, HF, HCl provenant de la production de WF ₆ ou WCl ₆) à l'aide de solutions alcalines (par exemple, NaOH) avec une pulvérisation en plusieurs étapes, garantissant ainsi le respect des normes environnementales (par exemple, GB 16297-1996) et protégeant les travailleurs et l'environnement.	Traitement efficace des gaz d'échappement, résistant à la corrosion, conforme aux normes environnementales	Investissement initial élevé, traitement complexe des eaux usées, coûts d'exploitation élevés
Système de traitement des eaux usées	Neutralise et élimine les ions tungstène des eaux usées	Capacité de traitement : 1-20 m ³ /h, réglage du pH : 6-9, Efficacité des précipitations : >99 %, Puissance : 5-20 kW	Neutralise et précipite les ions tungstène des eaux usées hydrométallurgiques à l'aide d'agents (par exemple, Ca(OH) ₂), assurant la conformité des rejets (W < 1 mg/L), équipé de bassins de sédimentation et de filtres, couramment utilisés pour la gestion environnementale dans les lignes de production à grande échelle.	Haute efficacité d'enlèvement, conforme à l'environnement, automatisable	Coûts d'investissement et d'exploitation élevés, grande emprise au sol, nécessite un entretien régulier
Dépoussiéreur	Capture la poussière de composé de tungstène	Efficacité de filtration : >99.9 %, Débit d'air : 5000-20000 m ³ /h, Puissance : 10-30 kW, Émission : ≤ 10 mg/m ³	Utilise la technologie des sacs ou de l'électrostatique pour capturer la poussière de la production d'OOF ou d'APT, ce qui permet de prévenir la pollution de l'air et de préserver la santé des travailleurs, tout en respectant les normes d'émission (par exemple, GB	Efficacité élevée de dépoussiérage, utilisation facile, protège la santé des travailleurs	Remplacement fréquent des sacs filtrants, coût initial élevé, effet limité sur les poussières ultrafines

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

		16297-1996 ≤ 30 mg/m ³ .	
			GROUPE CTIA

Notes

Sources des données

Les spécifications sont dérivées du manuel de conception des équipements de *génie chimique*, des normes industrielles (par exemple, GB 16297-1996, EU IED) et des descriptions de processus du livre, complétées par des données typiques des fournisseurs. Les descriptions de fonctions et les avantages/inconvénients sont basés sur des applications pratiques dans la production de produits chimiques à base de tungstène, ce qui garantit la pertinence.

Raffinement des fonctions

Les descriptions de fonctions ont été élargies (p. ex., « Utilise une pression élevée pour filtrer et séparer les solides des solutions de tungstate, en les séparant des liquides ») afin d'aligner le nombre de mots avec celui des autres colonnes (~50 à 80 mots), en mettant l'accent sur les rôles spécifiques dans le processus (p. ex., four de torréfaction pour la pyrométallurgie WO₃, colonne de distillation pour la purification WF₆).

Avantages et inconvénients :

Avantages

Mettez en avant l'efficacité, la durabilité ou les avantages environnementaux pour faciliter la sélection de l'équipement.

Inconvénients:

Notez la consommation d'énergie, l'entretien ou la complexité opérationnelle pour des conseils pratiques.

Exclusions

Couvre tous les produits chimiques à base de tungstène (par exemple, WO₃, Na₂WO₄, WF₆) du livre, à l'exception de la poudre de tungstène, de la poudre de carbure de tungstène et des métaux durs sur demande.

La section sur les prix a été supprimée, mettant l'accent sur les caractéristiques techniques afin d'éviter les effets des fluctuations du marché.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatun

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com