

Encyclopédie du tungstate de sodium

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

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

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

PRÉSENTATION DU GROUPE CTIA

CTIA GROUP LTD, filiale à 100 % dotée d'une personnalité juridique indépendante et créée 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. Fondée en 1997 avec www.chinatungsten.com comme point de départ – le premier site web chinois de produits en tungstène de premier plan – CHINATUNGSTEN ONLINE est une entreprise pionnière du e-commerce en Chine, spécialisée dans les industries du tungstène, du molybdène et des terres rares. Fort de 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 de sa société mère, de ses services de qualité supérieure et de sa réputation internationale, devenant ainsi un fournisseur de solutions d'application complètes dans les domaines des produits chimiques à base de tungstène, des métaux tungstène, des carbures cémentés, des alliages haute densité, du molybdène et de ses alliages.

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, alimentant près de 100 000 abonnés et fournissant quotidiennement des informations gratuites à des centaines de milliers de professionnels du secteur dans le monde entier. Avec des milliards de visites cumulées sur son site web et son compte officiel, CHINATUNGSTEN ONLINE est devenu une plateforme d'information mondiale reconnue et faisant autorité pour les industries du tungstène, du molybdène et des terres rares, fournissant 24 h/24 et 7 j/7 des informations multilingues, des informations sur les performances des produits, les prix et les tendances du marché.

S'appuyant sur la technologie et l'expérience de CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP s'attache à répondre aux besoins personnalisés de ses clients. Grâce à l'IA, CTIA GROUP conçoit et fabrique en collaboration avec ses clients des produits en tungstène et en molybdène présentant des compositions chimiques et des propriétés physiques spécifiques (telles que la granulométrie, la densité, la dureté, la résistance, les dimensions et les tolérances). L'entreprise propose des services intégrés complets, allant de l'ouverture du moule à la production d'essai, en passant par la finition, l'emballage et 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, posant ainsi les bases d'une fabrication personnalisée, flexible et intelligente. Fort de ce socle, CTIA GROUP approfondit la fabrication intelligente et l'innovation intégrée des matériaux en tungstène et en molybdène à l'ère de l'Internet industriel.

Forts de plus de 30 ans d'expérience dans le secteur, le Dr Hanns et son équipe de CTIA GROUP ont également rédigé et publié des analyses de connaissances, de technologies, de prix et de tendances du marché du tungstène, du molybdène et des terres rares, qu'ils partagent librement avec l'industrie du tungstène. Fort de 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 haute densité, le Dr Han est un expert reconnu des produits en tungstène et en molybdène, tant au niveau national qu'international. Fidèle à sa volonté de fournir des informations professionnelles et de qualité à l'industrie, l'équipe de CTIA GROUP rédige régulièrement des articles de recherche technique, des articles et des rapports sectoriels basés sur les pratiques de production et les besoins des clients, ce qui lui vaut une large reconnaissance au sein du secteur. Ces réalisations apportent un soutien solide à l'innovation technologique, à la promotion des produits et aux échanges industriels du CTIA GROUP, le propulsant pour devenir un leader mondial dans la fabrication de produits en tungstène et en molybdène et dans 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 2024 版
www.ctia.com.cn

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

Table des matières

Préface

- 1.1 Objectif et importance de la compilation de l'Encyclopédie du tungstate de sodium
- 1.2 Aperçu de l'histoire et du développement du tungstate de sodium
- 1.3 Structure et guide d'utilisation de l'encyclopédie du tungstate de sodium
- 1.4 Lecteurs cibles et scénarios applicables de l'Encyclopédie du tungstate de sodium

Chapitre 1 Introduction au tungstate de sodium

- 1.1 Définition et formule chimique du tungstate de sodium
- 1.2 Propriétés physiques du tungstate de sodium (aspect, densité, point de fusion, solubilité, etc.)
- 1.3 Propriétés chimiques du tungstate de sodium (acidité, alcalinité, propriétés redox, stabilité)
- 1.4 Structure cristalline et propriétés moléculaires du tungstate de sodium
- 1.5 Isomères et composés apparentés du tungstate de sodium

Chapitre 2 Classification et forme du tungstate de sodium

- 2.1 Forme anhydre et dihydratée du tungstate de sodium ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- 2.2 Différents niveaux de pureté du tungstate de sodium (qualité industrielle, qualité analytique, qualité pharmaceutique)
- 2.3 Solutions et formes solides du tungstate de sodium
- 2.4 Exigences d'emballage et de stockage du tungstate de sodium

Chapitre 3 Réaction chimique du tungstate de sodium

- 3.1 Réaction du tungstate de sodium avec l'acide (génération d'acide tungstique, etc.)
- 3.2 Réaction de complexation du tungstate de sodium et des ions métalliques
- 3.3 Caractéristiques de la réaction redox du tungstate de sodium
- 3.4 Décomposition thermique et réaction à haute température du tungstate de sodium
- 3.5 Effet catalytique et mécanisme de réaction du tungstate de sodium

Chapitre 4 Méthode de préparation en laboratoire du tungstate de sodium

- 4.1 Extraction du tungstate de sodium à partir du minerai de tungstène
- 4.2 Synthèse chimique du tungstate de sodium (réaction de l'acide tungstique et de l'hydroxyde de sodium)
- 4.3 Technologie de préparation électrochimique du tungstate de sodium
- 4.4 Technologie de purification et de cristallisation en laboratoire du tungstate de sodium
- 4.5 Précautions de sécurité lors de la préparation du tungstate de sodium

Chapitre 5 Processus de production industrielle du tungstate de sodium

- 5.1 Sélection des matières premières pour le tungstate de sodium (scheelite, wolframite, déchets de tungstène)
- 5.2 Procédé hydrométallurgique du tungstate de sodium (lixiviation alcaline, échange d'ions)
- 5.3 Processus de calcination et de dissolution du tungstate de sodium
- 5.4 Technologie industrielle de cristallisation et de séchage du tungstate de sodium

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.5 Équipement de production de tungstate de sodium et contrôle d'automatisation

5.6 Traitement et recyclage des sous-produits du tungstate de sodium

6 Contrôle de qualité et tests du tungstate de sodium

6.1 Méthode d'analyse de la pureté du tungstate de sodium (ICP-MS, XRF, etc.)

6.2 Détection d'impuretés dans le tungstate de sodium (Mo, Fe, Ca, etc.)

6.3 Morphologie des cristaux de tungstate de sodium et analyse de la taille des particules

6.4 Détermination du pH et de la concentration de la solution de tungstate de sodium

6.5 Normes d'essai internationales et nationales pour le tungstate de sodium (ISO, GB/T)

Chapitre 7 Application industrielle du tungstate de sodium

7.1 Le rôle du tungstate de sodium dans la métallurgie du tungstène (APT, préparation de poudre de tungstène)

7.2 Le tungstate de sodium comme catalyseur et cocatalyseur (industrie pétrochimique, réaction d'oxydation)

7.3 Application du tungstate de sodium dans les pigments et les colorants (pigments à base de tungstate)

7.4 Le rôle du tungstate de sodium dans les matériaux ignifuges et les retardateurs de flamme

7.5 Application du tungstate de sodium dans la galvanoplastie et le traitement de surface

Chapitre 8 Applications médicales et biologiques du tungstate de sodium

8.1 Application du tungstate de sodium à la recherche sur le diabète (simulation de l'insuline)

8.2 Propriétés antibactériennes et antivirales du tungstate de sodium

8.3 Application du tungstate de sodium dans les réactifs de bioimagerie et de marquage

8.4 Évaluation de la toxicité et de la biosécurité du tungstate de sodium

8.5 Perspectives du tungstate de sodium dans les essais cliniques et le développement de médicaments

Chapitre 9 Applications environnementales et énergétiques du tungstate de sodium

9.1 Application du tungstate de sodium au traitement des eaux usées (adsorption des métaux lourds, élimination du phosphore)

9.2 Le tungstate de sodium comme matériau photocatalytique (dégradation des polluants organiques)

9.3 Application du tungstate de sodium dans les batteries et les matériaux de stockage d'énergie (batteries aux ions sodium)

9.4 Le rôle du tungstate de sodium dans les matériaux de conversion d'énergie solaire et thermique

9.5 Application du tungstate de sodium à l'assainissement de l'environnement

Chapitre 10 Autres applications émergentes du tungstate de sodium

10.1 Nanomatériaux et matériaux composites à base de tungstate de sodium

10.2 Application du tungstate de sodium dans l'impression 3D et la fabrication additive

10.3 Le rôle du tungstate de sodium dans les dispositifs optiques et électroniques (matériaux

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

électrochromes)

10.4 Application du tungstate de sodium en agriculture et en nutrition végétale (supplémentation en oligo-éléments)

10.5 Potentiel du tungstate de sodium dans l'aérospatiale et la défense

10.6 Application du tungstate de sodium dans l'électronique flexible

10.7 Points quantiques et applications photoélectriques

10.8 Tungstate de sodium dans les capteurs intelligents

10.9 Récupération et stockage d'énergie

10.10 Revêtements intelligents et ingénierie de surface

10.11 Défis et tendances futures

Chapitre 11 Étude théorique sur le tungstate de sodium

11.1 Calcul chimique quantique du tungstate de sodium

11.2 Simulation de la dynamique moléculaire du tungstate de sodium

11.3 Analyse thermodynamique et cinétique du tungstate de sodium

11.4 Chimie de surface et comportement d'interface du tungstate de sodium

11.5 Étude de la structure électronique du tungstate de sodium

Chapitre 12 Progrès de la recherche expérimentale sur le tungstate de sodium

12.1 Exploration de nouvelles méthodes de préparation du tungstate de sodium

Synthèse de matériaux à base de tungstate de sodium fonctionnalisés

12.3 Optimisation des performances catalytiques du tungstate de sodium

12.4 Données expérimentales sur l'application du tungstate de sodium en biomédecine

12.5 Test de performance du tungstate de sodium dans les applications environnementales

Chapitre 13 Recherche interdisciplinaire sur le tungstate de sodium

13.1 Combinaison du tungstate de sodium et de la science des matériaux

13.2 Application du tungstate de sodium en génie chimique et optimisation des procédés

13.3 Le rôle du tungstate de sodium dans les sciences de l'environnement et le développement durable

13.4 Application du tungstate de sodium à la recherche interdisciplinaire en biotechnologie et en médecine

13.5 Application de la science des données à la recherche sur le tungstate de sodium

Chapitre 14 Marché mondial du tungstate de sodium

14.1 Aperçu de la production et de la consommation de tungstate de sodium

14.2 Principaux pays producteurs de tungstate de sodium (Chine, États-Unis, Russie, etc.)

14.3 Demande du marché et répartition des applications du tungstate de sodium

14.4 Tendances des prix et facteurs d'influence du tungstate de sodium

14.5 Concurrence sur le marché du tungstate de sodium et analyse des principales entreprises

Chapitre 15 Réglementations et normes du tungstate de sodium

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 15.1 Normes internationales pour le tungstate de sodium (ISO, ASTM)
- 15.2 Norme nationale chinoise pour le tungstate de sodium (GB/T)
- 15.3 Réglementations environnementales et de sécurité du tungstate de sodium (REACH, RoHS)
- Exigences de conformité pour le tungstate de sodium de qualité médicale et alimentaire
- 15.5 Propriété intellectuelle et protection par brevet du tungstate de sodium
- 15.6 CTIA GROUP LTD Tungstate de sodium FDS

Chapitre 16 Impact environnemental du tungstate de sodium

- 16.1 Empreinte environnementale dans la production de tungstate de sodium
- 16.2 Technologie de traitement des eaux usées et des gaz résiduels au tungstate de sodium
- 16.3 Risques de pollution du sol et de l'eau par le tungstate de sodium
- 16.4 Économie circulaire et valorisation des déchets du tungstate de sodium
- 16.5 Développement d'une technologie de production verte de tungstate de sodium

Chapitre 17 Tendances du développement technique du tungstate de sodium

- 17.1 Recherche et développement de nouveaux matériaux à base de tungstate de sodium
- 17.2 Technologie de production intelligente de tungstate de sodium
- 17.3 Potentiel d'application du tungstate de sodium dans les nouveaux domaines énergétiques
- 17.4 Expansion des applications interdisciplinaires du tungstate de sodium
- 17.5 Application de l'intelligence artificielle à la recherche sur le tungstate de sodium

Annexe

Annexe 1 : Glossaire du tungstate de sodium

Termes et définitions relatifs au tungstate de sodium

Annexe 2 : Références sur le tungstate de sodium

Annexe 3 : Fiche technique du tungstate de sodium

- 3.1 Propriétés physiques et chimiques du tungstate de sodium
- 3.2 Paramètres du processus de production du tungstate de sodium
- Tableau comparatif des performances des domaines d'application du tungstate de sodium
- 3.4 Statistiques du marché mondial du tungstate de sodium

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Préface

« Encyclopédie du tungstate de sodium » est une monographie qui présente de manière exhaustive et systématique le tungstate de sodium (Na_2WO_4), afin de fournir des documents de référence fiables et détaillés aux chercheurs, ingénieurs, étudiants et professionnels de l'industrie. Composé inorganique important, le tungstate de sodium a démontré une valeur unique dans les domaines de l'industrie, de la médecine, de l'environnement et des nouvelles énergies, et ses recherches et applications sont en constante expansion. Cette préface explique l'objectif de cet ouvrage, passe en revue l'historique du développement du tungstate de sodium, présente la structure de l'ouvrage et précise le public cible et les scénarios applicables.

1.1 Objectif et importance de la compilation de l'Encyclopédie du tungstate de sodium

Le tungstate de sodium joue un rôle essentiel dans la métallurgie du tungstène, l'industrie pétrochimique, le traitement des eaux usées et la recherche sur le diabète grâce à son excellente stabilité chimique, ses performances catalytiques et son activité biologique. Cependant, la littérature existante est généralement présentée de manière dispersée et manque d'intégration systématique. Cet ouvrage vise à combler cette lacune et à rassembler les propriétés chimiques, les méthodes de préparation, les domaines d'application, la recherche scientifique, le statut industriel et l'impact environnemental du tungstate de sodium, offrant ainsi une ressource unique pour la recherche universitaire et les applications industrielles. Cet ouvrage non seulement trie les connaissances théoriques et pratiques sur le tungstate de sodium, mais se penche également sur son potentiel de développement dans des domaines de pointe tels que les nouvelles énergies et les nanotechnologies, et s'efforce de promouvoir l'innovation et le développement durable dans les domaines connexes.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.2 Aperçu de l'histoire et du développement du tungstate de sodium

La découverte et l'application du tungstate de sodium remontent au début du XIXe siècle, lorsque des chimistes ont synthétisé le tungstate de sodium en extrayant l'acide tungstique du minerai de tungstène et en le faisant réagir avec du sel de sodium. À l'origine, le tungstate de sodium était principalement utilisé en chimie analytique comme réactif pour la détermination des phosphates et des protéines. Au XXe siècle, avec le développement de l'industrie métallurgique du tungstène, le tungstate de sodium est devenu un intermédiaire important pour la production de paratungstate d'ammonium (APT) et de poudre de tungstène. Ces dernières années, la recherche sur les applications du tungstate de sodium en biomédecine (comme l'imitation de l'insuline), en sciences environnementales (comme la dégradation photocatalytique des polluants) et dans le domaine de l'énergie (comme les batteries sodium-ion) a connu une croissance rapide. Les progrès technologiques et l'intégration interdisciplinaire ont encore élargi les champs d'application du tungstate de sodium, le plaçant au cœur de la science des matériaux et de la chimie verte modernes.

1.3 Structure et guide d'utilisation de l'encyclopédie du tungstate de sodium

Cet ouvrage comprend 17 chapitres couvrant les connaissances de base, le procédé de préparation, les domaines d'application, la recherche scientifique, le marché industriel, les normes réglementaires et l'impact environnemental du tungstate de sodium. Les chapitres 1 à 3 présentent les propriétés chimiques et physiques du tungstate de sodium ; les chapitres 4 à 6 abordent sa préparation en laboratoire et en milieu industriel ; les chapitres 7 à 10 détaillent ses applications dans l'industrie, la médecine, l'environnement et les domaines émergents ; les chapitres 11 à 13 se concentrent sur la recherche théorique et expérimentale ; les chapitres 14 à 17 analysent le marché, la réglementation et les tendances futures. De plus, l'annexe fournit un glossaire, des références, des fiches techniques et des listes de brevets, et l'index facilite la recherche rapide. Les lecteurs peuvent choisir les chapitres à lire en fonction de leurs besoins ou les parcourir afin d'acquérir une compréhension approfondie du contexte général du tungstate de sodium.

1.4 Lecteurs cibles et scénarios applicables de l'Encyclopédie du tungstate de sodium

Ce livre est destiné aux lecteurs de différents niveaux, y compris, mais sans s'y limiter :

- **Chercheurs universitaires** : Les universitaires et les étudiants dans les domaines de la chimie, de la science des matériaux, des sciences de l'environnement et de la biomédecine peuvent se référer aux recherches théoriques, aux données expérimentales et à la liste des brevets de ce livre.
- **Praticiens industriels** : Les ingénieurs et techniciens des industries de la métallurgie du tungstène, de la fabrication de catalyseurs, du traitement des eaux usées et des nouvelles énergies peuvent utiliser le contenu des processus de préparation, du contrôle qualité et de l'analyse de marché pour optimiser la production.
- **Décideurs politiques** : Prêter attention à l'impact environnemental et aux normes réglementaires du tungstate de sodium et formuler des politiques industrielles durables.
- **Éducateurs** : Ce livre peut être utilisé comme référence dans les cours de chimie et de science des matériaux pour susciter l'intérêt des étudiants pour les applications du tungstate de sodium.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Cet ouvrage s'adapte à divers contextes, tels que la recherche universitaire, le développement industriel, l'élaboration de politiques, l'enseignement et la formation. Il vise à devenir un guide de référence dans le domaine du tungstate de sodium.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Chapitre 1 Introduction au tungstate de sodium

Le tungstate de sodium (Na_2WO_4) est un composé inorganique important. Il est largement utilisé dans l'industrie, la médecine, les sciences de l'environnement et les nouvelles énergies en raison de son excellente stabilité chimique, de ses performances catalytiques et de son activité biologique. Ce chapitre vise à présenter systématiquement la définition de base, les propriétés physiques et chimiques, la structure cristalline et les caractéristiques du tungstate de sodium et de ses composés apparentés, jetant ainsi les bases théoriques des chapitres suivants pour explorer sa préparation, son application et la recherche.

1.1 Définition et formule chimique du tungstate de sodium

Le tungstate de sodium est un composé ionique composé d'ions sodium (Na^+) et d'ions tungstate (WO_4^{2-}), de formule chimique Na_2WO_4 . Le tungstène (W) dans l'ion tungstate est à l'état d'oxydation +6, avec un nombre de coordination de 4, formant une structure tétraédrique. Le tungstate de sodium existe généralement sous forme anhydre (Na_2WO_4) ou sous forme dihydratée ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), et est largement utilisé comme intermédiaire, précurseur de catalyseur et réactif biomédical dans la métallurgie du tungstène. Son poids moléculaire est de 293,82 g/mol sous forme anhydre et de 329,85 g/mol sous forme dihydratée. Le tungstate de sodium a une solubilité élevée dans l'eau et peut former des solutions alcalines avec un pH généralement compris entre 8 et 9, selon la concentration et les conditions environnementales.

1.2 Propriétés physiques du tungstate de sodium

Les propriétés physiques du tungstate de sodium varient légèrement selon sa forme (anhydre ou hydraté). Voici ses principales propriétés physiques :

- **Aspect** : Le tungstate de sodium anhydre est une poudre cristalline blanche ou légèrement jaune, et le dihydrate est un cristal orthorhombique transparent ou blanc.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Densité** : La densité du tungstate de sodium anhydre est d'environ 4,18 g/cm³ et la densité du dihydrate est d'environ 3,25 g/cm³.
- **Point de fusion** : Le point de fusion du tungstate de sodium anhydre est de 698 °C. Il peut être décomposé en oxyde de tungstène (WO₃) et en oxyde de sodium (Na₂O) à haute température.
- **Solubilité** : Le tungstate de sodium a une solubilité élevée dans l'eau, environ 73 g/100 mL à 20°C, qui augmente légèrement avec l'augmentation de la température ; il est insoluble dans les solvants organiques tels que l'éthanol et l'éther.
- **Hygroscopicité** : Le dihydrate est stable à l'air, tandis que la forme anhydre est légèrement hygroscopique et doit être conservée dans un récipient hermétique. Ces propriétés physiques rendent le tungstate de sodium facile à traiter et à stocker, et adapté à diverses applications industrielles et expérimentales.

1.3 Propriétés chimiques du tungstate de sodium

Les propriétés chimiques du tungstate de sodium sont principalement déterminées par la structure tétraédrique des ions tungstate et l'état d'oxydation élevé du tungstène, présentant les caractéristiques suivantes :

- **Acidité et alcalinité** : La solution aqueuse de tungstate de sodium est faiblement alcaline, car l'ion tungstate est partiellement hydrolysé pour former de l'hydroxyde d'acide tungstique (HWO₄⁻). Il peut réagir avec un acide fort pour former de l'acide tungstique insoluble (H₂WO₄), par exemple : $\text{Na}_2\text{WO}_4 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{H}_2\text{WO}_4\downarrow + 2\text{NaCl}$.
- **Propriété d'oxydoréduction** : Le tungstène est stable à une valence de +6 et le tungstate de sodium est difficilement oxydable. Cependant, sous l'action d'un réducteur puissant (comme la poudre de zinc), le tungstène peut être réduit à un état de faible valence pour former de l'oxyde de tungstène bleu.
- **Capacité de complexation** : les ions tungstate peuvent former des complexes stables avec une variété d'ions métalliques (tels que Fe³⁺, Cu²⁺) et sont utilisés en chimie analytique et dans la conception de catalyseurs.
- **Stabilité thermique** : Le tungstate de sodium est stable à température ambiante, mais commence à se décomposer lorsqu'il est chauffé à plus de 700 °C, générant de l'oxyde de tungstène et de l'oxyde de sodium.
- **Activité catalytique** : Le tungstate de sodium présente des performances catalytiques dans les réactions d'oxydation et est souvent utilisé comme cocatalyseur en pétrochimie et en synthèse organique. Ces propriétés chimiques déterminent sa polyvalence en catalyse industrielle, en chimie analytique et en biomédecine.

1.4 Structure cristalline et propriétés moléculaires du tungstate de sodium

La structure cristalline du tungstate de sodium varie selon sa morphologie. Le tungstate de sodium anhydre a généralement une structure cristalline cubique (groupe d'espace Fd-3m), avec des ions sodium et des ions tungstate disposés par des liaisons ioniques. Le dihydrate (Na₂WO₄ · 2H₂O) est un cristal orthorhombique (groupe d'espace Pnma), dans lequel les molécules d'eau sont liées aux ions tungstate et aux ions sodium par des liaisons hydrogène, améliorant la stabilité du cristal.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

L'ion tungstate (WO_4^{2-}) est dans une configuration tétraédrique régulière, avec une longueur de liaison WO d'environ 1,78 Å et un angle de liaison de près de 109,5°. La spectroscopie infrarouge (IR) montre que le pic d'absorption caractéristique du tungstate se situe à 800-900 cm^{-1} , ce qui est attribué à la vibration d'étirement du WO. L'analyse par diffraction des rayons X (DRX) montre que les paramètres de réseau du tungstate de sodium sont similaires à ceux du tungstate de calcium (CaWO_4), reflétant la communauté structurale des tungstates. La simulation de dynamique moléculaire révèle en outre que le tungstate de sodium conserve une structure tétraédrique en solution aqueuse, mais peut former des polytungstates (tels que $[\text{W}_2\text{O}_7]^{2-}$) à des concentrations élevées, affectant son comportement chimique.

1.5 Isomères et composés apparentés du tungstate de sodium

Le tungstate de sodium lui-même n'a pas d'isomères, mais des composés ayant des propriétés chimiques similaires comprennent d'autres tungstates et dérivés d'acide tungstique, principalement les suivants :

- **D'autres tungstates : tels que** le tungstate de potassium (K_2WO_4) et le tungstate d'ammonium ($(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$), ont des propriétés chimiques similaires mais une solubilité et une structure cristalline différentes, et sont utilisés dans les catalyseurs et les pigments.
- **Polytungstate** : Le tungstate de sodium peut être polymérisé en tungstates polynucléaires dans des conditions acides, comme l'hexatungstate de sodium ($\text{Na}_6[\text{W}_6\text{O}_{19}]$), qui est utilisé dans les matériaux photocatalytiques.
- **tungstique : L'acide tungstique** (H_2WO_4) généré par la réaction du tungstate de sodium et de l'acide est un précipité jaune et constitue un intermédiaire important dans la métallurgie du tungstène.
- **Oxyde de tungstène** : Le produit de décomposition à haute température, l'oxyde de tungstène (WO_3), est largement utilisé dans les dispositifs électrochromes et les matériaux de stockage d'énergie.
- **Complexes de tungstate de sodium** : complexes formés de tungstate de sodium et de ligands organiques, utilisés en biomédecine et en nanotechnologie. Les propriétés de ces composés apparentés sont étroitement liées à celles du tungstate de sodium et, ensemble, ils constituent un système riche en chimie du tungstène, offrant diverses possibilités de recherche applicative ultérieure.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Chapitre 2 Classification et forme du tungstate de sodium

Le tungstate de sodium (Na_2WO_4) est un composé inorganique polyvalent. Sa forme et sa classification influencent directement son application dans l'industrie, la recherche scientifique et la médecine. Ce chapitre présente de manière systématique la forme anhydre et hydratée du tungstate de sodium, ses différents degrés de pureté, ses formes en solution et solides, ainsi que les exigences de conditionnement et de stockage, fournissant ainsi une base pour la discussion ultérieure de son procédé de préparation et de ses applications.

Forme anhydre et dihydratée du tungstate de sodium ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

Le tungstate de sodium existe principalement sous forme anhydre (Na_2WO_4) et sous forme dihydratée ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), chacune ayant ses propres caractéristiques de structure et d'application. Le tungstate de sodium anhydre est une poudre cristalline blanche ou légèrement jaune, de masse moléculaire moyenne en nombre de 293,82 g/mol, de masse volumique d'environ 4,18 g/cm³ et de point de fusion de 698 °C. Il est généralement utilisé dans les procédés à haute température ou les scénarios nécessitant des matières premières de haute pureté, comme la préparation de poudre de tungstène et la synthèse de catalyseurs. Le dihydrate est un cristal orthorhombique transparent ou blanc, de masse moléculaire moyenne en nombre de 329,85 g/mol et de masse volumique d'environ 3,25 g/cm³. Il est plus stable à température ambiante, facile à stocker et à transporter, et est souvent utilisé pour les analyses en laboratoire et la préparation de solutions aqueuses. Les deux molécules d'eau du dihydrate sont liées à l'ion tungstate par des liaisons hydrogène et peuvent être déshydratées en forme anhydre lorsqu'elles sont chauffées à plus de 100 °C. Les deux formes sont solubles dans l'eau, mais le dihydrate est moins hygroscopique en milieu humide et convient au stockage à long terme.

2.2 Différents niveaux de pureté du tungstate de sodium (qualité industrielle, qualité

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

analytique, qualité pharmaceutique)

Le tungstate de sodium est classé en différents degrés de pureté en fonction de son utilisation et de sa teneur en impuretés, notamment de qualité industrielle, de qualité analytique et de qualité pharmaceutique :

- **Qualité industrielle** : La pureté est généralement de 98 % à 99 %, et il contient des traces d'impuretés telles que le molybdène (Mo) et le fer (Fe). Il convient à la métallurgie du tungstène (comme la production de paratungstate d'ammonium), à la préparation de catalyseurs et à la fabrication de pigments. Son faible coût répond aux besoins industriels à grande échelle.
- **Analytiquement pur (AR)** : Pureté $\geq 99,5$ %, teneur en impuretés strictement contrôlée (par exemple, Mo $< 0,01$ %), utilisé pour les analyses en laboratoire, telles que la détermination du phosphate et les expériences biochimiques. Le tungstate de sodium analytiquement pur doit passer par plusieurs étapes de purification, telles que l'échange d'ions ou la recristallisation.
- **Qualité pharmaceutique** : Pureté $\geq 99,9$ %, conforme aux normes des pharmacopées (telles que l'USP ou la CP), avec une teneur extrêmement faible en métaux lourds et en micro-organismes, utilisé pour la recherche biomédicale (comme le traitement du diabète) et le développement de médicaments. La production de tungstate de sodium de qualité pharmaceutique doit être conforme aux BPF (Bonnes Pratiques de Fabrication). Le choix des différents niveaux de pureté dépend du scénario d'application. Par exemple, la qualité industrielle est adaptée aux scénarios sensibles aux coûts, tandis que la qualité pharmaceutique privilégie la sécurité et la biocompatibilité.

2.3 Solutions et formes solides du tungstate de sodium

Le tungstate de sodium peut se présenter sous forme solide ou en solution, selon les besoins. Les formes solides comprennent la poudre de tungstate de sodium anhydre et les cristaux dihydratés, faciles à stocker, à transporter et à peser avec précision. Ils conviennent à la préparation de catalyseurs, à la métallurgie des poudres et à la synthèse en laboratoire. La forme en solution est généralement une solution aqueuse de tungstate de sodium, dont la concentration varie de la solution diluée (1 à 5 % p/v) à la solution saturée (environ 40 % p/v à 20 °C). Elle est largement utilisée dans le traitement des eaux usées, les expériences biologiques et les procédés de galvanoplastie. La solution de tungstate de sodium est faiblement alcaline (pH 8-9) et des cristaux peuvent précipiter à des concentrations élevées. La température et le pH doivent être contrôlés pour maintenir la stabilité. Dans des applications spécifiques, telles que la photocatalyse ou la recherche sur les batteries, la solution de tungstate de sodium peut être mélangée à des solvants organiques (tels que l'éthylène glycol) pour former une solution colloïdale ou précurseur. La conversion entre la forme solide et la forme en solution doit tenir compte de l'effet de la chaleur de dissolution et du risque d'introduction d'impuretés.

2.4 Exigences d'emballage et de stockage du tungstate de sodium

L'emballage et le stockage du tungstate de sodium ont une incidence directe sur sa qualité et sa durée de vie. Les principales exigences sont les suivantes :

- **Conditionnement** : Le tungstate de sodium solide est généralement conditionné dans des

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sacs en plastique scellés, des fûts en polyéthylène ou des bouteilles en verre, doublés de matériaux imperméables pour éviter l'absorption d'humidité et la contamination. Les produits de qualité industrielle sont généralement conditionnés en fûts de 25 ou 50 kg, tandis que les produits de qualité analytique et pharmaceutique sont principalement conditionnés en petits emballages de 100 g à 1 kg. Les solutions sont conditionnées dans des fûts en plastique résistant à la corrosion ou des récipients en verre, marqués de la concentration et du numéro de lot.

- **Conditions de stockage :** Le tungstate de sodium doit être conservé dans un endroit frais, sec et aéré, à une température contrôlée entre 5 et 30 °C et à une humidité relative inférieure à 60 %. Le tungstate de sodium anhydre doit être particulièrement résistant à l'humidité, tandis que le dihydrate est relativement stable mais doit être conservé à l'abri des températures élevées. La solution doit être conservée dans un récipient hermétique pour éviter toute volatilisation ou cristallisation.
- **Note de sécurité :** Le tungstate de sodium est un produit chimique peu toxique, mais le contact avec la peau ou l'inhalation de poussières peut provoquer une irritation. La zone de stockage doit donc être équipée d'équipements de protection individuelle. Les produits de qualité pharmaceutique doivent être stockés en isolement afin d'éviter toute contamination croisée.
- **Durée de conservation :** Dans des conditions appropriées, le tungstate de sodium solide peut se conserver pendant 2 à 3 ans. Il est recommandé d'utiliser la solution dans un délai de 6 à 12 mois, et de contrôler régulièrement le pH et la teneur en impuretés. Un conditionnement et un stockage standardisés garantissent la stabilité et la sécurité du tungstate de sodium dans la production industrielle, la recherche en laboratoire et les applications médicales.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

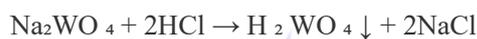


Chapitre 3 Réaction chimique du tungstate de sodium

Le tungstate de sodium (Na_2WO_4) est un composé inorganique chimiquement actif, dont les caractéristiques réactionnelles sont d'une importance capitale pour la production industrielle, la chimie analytique et la catalyse. Ce chapitre aborde de manière systématique la réaction du tungstate de sodium avec les acides, la réaction complexe avec les ions métalliques, les caractéristiques redox, la décomposition thermique et la réaction à haute température, ainsi que son effet catalytique et son mécanisme réactionnel, afin d'apporter un soutien théorique aux procédés de préparation ultérieurs et à la recherche d'applications.

3.1 Réaction du tungstate de sodium avec l'acide (génération d'acide tungstique, etc.)

Le tungstate de sodium est faiblement alcalin (pH 8-9) en solution aqueuse, et la réaction avec les acides est l'un de ses comportements chimiques les plus courants. Lorsque le tungstate de sodium réagit avec un acide fort (tel que l'acide chlorhydrique ou l'acide sulfurique), l'ion tungstate (WO_4^{2-}) est protoné, ce qui entraîne une précipitation d'acide tungstique insoluble (H_2WO_4). L'équation de réaction est la suivante :



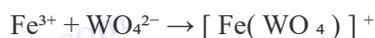
L'acide tungstique est un solide jaune, légèrement soluble dans l'eau (solubilité d'environ 0,02 g/100 mL), stable en milieu acide et souvent utilisé comme intermédiaire dans la métallurgie du tungstène. La vitesse de réaction est affectée par la concentration en acide, la température et les conditions d'agitation. Des concentrations élevées en acide peuvent accélérer la formation de précipitations. De plus, le tungstate de sodium réagit lentement avec les acides faibles (comme l'acide acétique) et peut

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

former des intermédiaires partiellement protonés (comme HWO_4^-). Dans des conditions fortement acides, l'acide tungstique peut se polymériser en acides polytungstiques (comme $\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$), qui sont utilisés pour préparer des catalyseurs polyacides.

3.2 Réaction de complexation du tungstate de sodium et des ions métalliques

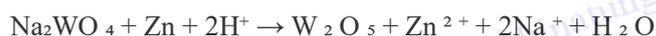
L'ion tungstate du tungstate de sodium possède une forte capacité de coordination et peut former des complexes stables avec divers ions métalliques (tels que Fe^{3+} , Cu^{2+} , Ni^{2+}), largement utilisés en chimie analytique et dans la conception de catalyseurs. Par exemple, le tungstate réagit avec les ions fer (III) pour former des complexes de tungstate de fer solubles, souvent utilisés comme précipitants de protéines. La formule de la réaction est la suivante :



En chimie analytique, le tungstate de sodium se lie de manière compétitive aux ions métalliques avec le molybdate (MoO_4^{2-}) et le phosphate (PO_4^{3-}) pour former des structures isopolyacides pour l'analyse spectrale et la détermination colorimétrique. De plus, les complexes de tungstate de sodium avec des ions de métaux de transition (tels que Co^{2+} , Mn^{2+}) présentent d'excellentes performances dans les réactions d'oxydation catalytique, et la stabilité des complexes est souvent caractérisée par spectroscopie ultraviolette-visible (UV-Vis) et infrarouge (IR). La sélectivité de la réaction complexe est affectée par le pH, la concentration ionique et la compétition des ligands, et les conditions de réaction doivent être contrôlées avec précision.

3.3 Caractéristiques de la réaction redox du tungstate de sodium

Le tungstène présent dans le tungstate de sodium est à l'état d'oxydation +6 (W^{6+}), soit l'état d'oxydation le plus élevé. Il est donc difficilement oxydable dans des conditions normales, mais peut être réduit à un état de faible valence (tel que W^{5+} ou W^{4+}) par un réducteur puissant. Par exemple, en solution acide, le tungstate de sodium réagit avec la poudre de zinc pour former de l'oxyde de tungstène bleu (W_2O_5 ou WO_2), et la réaction est la suivante :



Cet oxyde bleu possède des propriétés semi-conductrices et est utilisé dans les matériaux et capteurs électrochromes. Le potentiel redox du tungstate de sodium est d'environ -0,1 V (par rapport à l'électrode à hydrogène standard), et il est affecté par le pH de la solution et l'environnement du ligand. Dans les applications catalytiques, le tungstate de sodium est souvent utilisé comme vecteur d'oxydants pour favoriser l'oxydation sélective de la matière organique en agissant en synergie avec le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) ou l'oxygène. Des études électrochimiques ont montré que le tungstate de sodium peut subir un transfert d'électron unique réversible à la surface de l'électrode, ce qui est adapté au stockage d'énergie et à l'électrocatalyse.

3.4 Décomposition thermique et réaction à haute température du tungstate de sodium

Le tungstate de sodium est chimiquement stable à température ambiante, mais il se décompose ou change de phase à haute température. Le tungstate de sodium anhydre commence à fondre lorsqu'il

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

est chauffé à environ 698 °C, et se décompose en oxyde de tungstène (WO₃) et en oxyde de sodium (Na₂O) lorsqu'il est chauffé à plus de 800 °C. La réaction est la suivante :



Français Le dihydrate (Na₂WO₄ · 2H₂O) perd d'abord de l'eau cristalline à 100-150 °C et se convertit en forme anhydre. L'analyse thermogravimétrique (ATG) et la calorimétrie différentielle à balayage (DSC) montrent que le processus de décomposition du tungstate de sodium est une réaction endothermique, et que la morphologie et la pureté du produit de décomposition sont affectées par la vitesse de chauffage et l'atmosphère (comme l'air ou un gaz inerte). Dans une atmosphère réductrice à haute température (comme H₂), le tungstate de sodium peut générer directement du tungstène métallique, qui est largement utilisé dans la production de poudre de tungstène. De plus, le tungstate de sodium réagit avec les carbonates ou les silicates à haute température pour générer des matériaux céramiques à base de tungstate, qui sont utilisés dans les matériaux de structure à haute température.

3.5 Effet catalytique et mécanisme de réaction du tungstate de sodium

Le tungstate de sodium présente d'excellentes performances dans diverses réactions catalytiques, notamment d'oxydation, de déshydratation et d'estérification. Son activité catalytique provient principalement de l'acidité de Lewis et de la capacité de coordination de l'ion tungstate. Par exemple, le tungstate de sodium se combine au peroxyde d'hydrogène pour former l'acide peroxytungstique ([WO(O₂)₂]²⁻), capable de catalyser l'oxydation des alcools en aldéhydes ou en cétones. Le mécanisme réactionnel est le suivant :

1. **Génération d'espèces actives** : le tungstate se coordonne avec H₂O₂ pour former de l'acide peroxytungstique .
2. **Oxydation du substrat** : L'atome d'oxygène de l'acide peroxytungstique est transféré au substrat (tel que l'alcool) pour générer un produit d'oxydation.
3. **Régénération du catalyseur** : Le tungstate revient à son état initial et la catalyse continue.

En pétrochimie, le tungstate de sodium est utilisé comme cocatalyseur pour favoriser l'époxydation des oléfines et l'hydroxylation aromatique. En photocatalyse, le tungstate de sodium est associé à des matériaux semi-conducteurs (tels que TiO₂) pour améliorer la réponse à la lumière visible et dégrader les polluants organiques. Le mécanisme de réaction catalytique est étudié par la théorie de la fonctionnelle de la densité (DFT) et la spectroscopie in situ (Raman, XPS, etc.), révélant le transfert d'électrons et les sites tensioactifs du tungstate. L'efficacité catalytique est affectée par le pH, la température et le cocatalyseur, et les conditions de réaction doivent être optimisées pour obtenir une conversion efficace.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- Email:** sales@chinatungsten.com
- Tel:** +86 592 5129595
- Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Chapitre 4 Méthode de préparation en laboratoire du tungstate de sodium

Le tungstate de sodium (Na_2WO_4) est un réactif chimique important dont les méthodes de préparation en laboratoire sont variées et adaptées à différents besoins de recherche et d'enseignement. Ce chapitre présente de manière systématique l'extraction du tungstate de sodium du minerai de tungstène, la synthèse chimique (réaction de l'acide tungstique et de l'hydroxyde de sodium), la technologie de préparation électrochimique, la technologie de purification et de cristallisation en laboratoire, ainsi que les précautions de sécurité pendant le processus de préparation. Il fournit des conseils pratiques aux chercheurs et pose les bases du chapitre 5 consacré à la production industrielle.

4.1 Extraction du tungstate de sodium à partir du minerai de tungstène

Le minerai de tungstène (comme la scheelite CaWO_4 ou la wolframite FeWO_4) est la principale matière première pour la préparation du tungstate de sodium. L'extraction en laboratoire utilise généralement une méthode de lixiviation alcaline. Le minerai de tungstène broyé réagit d'abord avec une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à haute température (100-150 °C) pour produire du tungstate de sodium soluble. La réaction est la suivante :

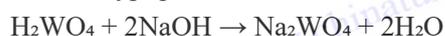


COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

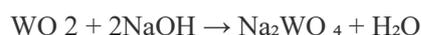
Ca(OH)₂ La réaction produit un précipité, séparé par filtration. La solution peut contenir des impuretés telles que le silicium et le phosphore, qui doivent être neutralisés par un acide jusqu'à un pH de 8-9. Après précipitation des impuretés, on obtient une solution brute de tungstate de sodium. Le tungstate de sodium dihydraté (Na₂WO₄ · 2H₂O) est ensuite obtenu par cristallisation par évaporation ou par ajout d'éthanol pour favoriser la précipitation. Cette méthode convient à la préparation de tungstate de sodium à partir de minéraux naturels avec un rendement d'environ 85 à 90 %, mais la concentration alcaline et le temps de réaction doivent être contrôlés pour éviter l'accumulation de sous-produits.

4.2 Synthèse chimique du tungstate de sodium (réaction du tungstate avec l'hydroxyde de sodium)

La méthode de synthèse chimique utilise l'acide tungstique (H₂WO₄) ou l'oxyde de tungstène (WO₃) comme matières premières et réagit avec l'hydroxyde de sodium pour produire du tungstate de sodium, adapté à la préparation en laboratoire à petite échelle de produits de haute pureté. La réaction typique est la suivante :



ou



Étapes expérimentales :

1. Ajoutez la quantité appropriée d'eau déionisée à l'acide tungstique ou à l'oxyde de tungstène et remuez pour former une suspension.
2. Ajouter lentement la solution d'hydroxyde de sodium (1-2 M) et chauffer à 80-100 °C en remuant jusqu'à ce que le solide soit complètement dissous.
3. La solution est filtrée pour éliminer les impuretés n'ayant pas réagi, et la solution claire résultante est refroidie et cristallisée ou concentrée sous pression réduite pour obtenir des cristaux de tungstate de sodium.
4. Laver les cristaux avec une petite quantité d'eau froide et les sécher pour obtenir Na₂WO₄ · 2H₂O avec une pureté ≥99 % .

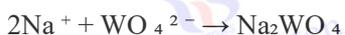
Cette méthode est simple à mettre en œuvre, avec un rendement supérieur à 90 %, et convient à la préparation de tungstate de sodium analytiquement pur ou de qualité pharmaceutique. L'utilisation de matières premières de haute pureté et le contrôle du pH (8-10) permettent d'améliorer encore la qualité du produit.

4.3 Technologie de préparation électrochimique du tungstate de sodium

La méthode électrochimique prépare le tungstate de sodium par électrolyse du tungstène ou de ses composés, une méthode écologique et efficace. Le dispositif expérimental comprend généralement une anode en tungstène, une cathode en acier inoxydable et une solution électrolytique d'hydroxyde de sodium (NaOH) (0,5-1 M). Sous l'action d'un courant continu (tension de 5-10 V), l'anode en tungstène est oxydée et dissoute pour générer des ions tungstate, qui se combinent aux ions sodium

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de la solution pour former le tungstate de sodium. La réaction est la suivante :



Lors du processus d'électrolyse, de l'hydrogène est généré à la cathode et une ventilation est nécessaire pour garantir la sécurité. Après filtration de l'électrolyte pour éliminer les traces d'impuretés insolubles, le tungstate de sodium est obtenu par évaporation et cristallisation. L'avantage de la méthode électrochimique réside dans son taux d'utilisation élevé de la matière première (près de 95 %), ce qui est adapté à la préparation de tungstate de sodium de haute pureté. Cependant, le coût de l'équipement est relativement élevé, et la densité de courant (0,1-0,5 A/cm²) ainsi que la durée de l'électrolyse doivent être optimisées pour améliorer l'efficacité.

4.4 Technologie de purification et de cristallisation en laboratoire du tungstate de sodium

Le tungstate de sodium préparé en laboratoire contient souvent des traces d'impuretés (telles que du molybdène, du fer et du calcium) et doit être purifié pour en améliorer la qualité. Les méthodes de purification les plus courantes sont les suivantes :

- **Recristallisation** : Dissoudre le tungstate de sodium brut dans de l'eau chaude (60-80 °C), filtrer pour éliminer les matières insolubles et laisser refroidir à température ambiante pour précipiter les cristaux. Répéter l'opération 2 à 3 fois pour atteindre une pureté supérieure à 99,5 %.
- **Échange d'ions** : Utiliser une résine échangeuse de cations (comme l'Amberlite IR-120) pour éliminer les impuretés métalliques, ou une résine échangeuse d'anions pour éliminer les silicates et les phosphates. Le pH de la solution est maintenu entre 7 et 9 afin de maintenir la stabilité du tungstate.
- **Séparation par précipitation** : ajouter du sulfure d'ammonium ((NH₄)₂S) pour précipiter le sulfure de molybdène (MoS₂), puis filtrer pour obtenir une solution de tungstate de sodium pure.

En termes de technologie de cristallisation, la méthode de refroidissement lent permet d'obtenir de gros cristaux dihydratés, tandis que la méthode d'évaporation rapide convient à la préparation de petits cristaux. Le séchage des cristaux est effectué dans une étuve à vide à 50-60 °C pour éviter une déshydratation à haute température. La teneur en impuretés doit être surveillée pendant le processus de purification et de cristallisation (par exemple, détection par ICP-MS) afin de garantir la conformité aux normes de pureté analytique ou de qualité pharmaceutique.

4.5 Précautions de sécurité lors de la préparation du tungstate de sodium

La préparation du tungstate de sodium implique un alcali fort, une température élevée et une opération électrochimique, et les règles de sécurité doivent être strictement respectées :

- **Sécurité chimique** : L'hydroxyde de sodium est hautement corrosif ; il est donc recommandé de porter des lunettes de protection, des gants et une blouse de laboratoire lors de son utilisation. La poussière de tungstate de sodium peut irriter les voies respiratoires et doit être manipulée sous hotte.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Fonctionnement à haute température** : Utiliser un bain-marie ou une plaque chauffante à température constante pour chauffer la réaction (100-150 °C) afin d'éviter les éclaboussures. Éviter les brûlures lors du refroidissement et de la cristallisation.
- **Sécurité électrochimique** : L'appareil d'électrolyse doit être mis à la terre et les électrodes et les lignes doivent être vérifiées régulièrement. L'hydrogène doit être évacué par le système d'échappement afin d'éviter toute accumulation et explosion.
- **Traitement des déchets liquides** : Les déchets liquides contenant du tungstène sont des déchets de métaux lourds et doivent être neutralisés à un pH de 6 à 8 et éliminés correctement après précipitation de l'acide tungstique conformément aux réglementations de protection de l'environnement (telles que GB/T 30810).
- **Stockage et étiquetage** : Le tungstate de sodium préparé doit être stocké dans un récipient scellé et marqué du nom chimique, de la pureté et de la date de préparation pour éviter toute mauvaise utilisation.

Grâce à des opérations standardisées, le processus de préparation peut être assuré d'être sûr et efficace, et la qualité du produit peut être stable.



Chapitre 5 Procédé de production industrielle du tungstate de sodium

Le tungstate de sodium (Na_2WO_4) est un intermédiaire important dans la métallurgie et l'industrie chimique du tungstène. Son procédé de production industrielle affecte directement la qualité, le coût et les avantages environnementaux des produits. Ce chapitre présente de manière systématique le choix des matières premières, le procédé hydrométallurgique, le procédé de grillage et de dissolution, la technologie de cristallisation et de séchage industriels, les équipements de production et le contrôle automatisé, ainsi que le traitement et le recyclage des sous-produits de la production industrielle de tungstate de sodium, offrant ainsi une référence complète aux praticiens et chercheurs de l'industrie.

5.1 Sélection des matières premières pour le tungstate de sodium (scheelite, wolframite, déchets de tungstène)

Les principaux composés de tungstate de sodium sont la scheelite (CaWO_4), la wolframite ($(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$) et les déchets de tungstène (tels que les catalyseurs usagés et les alliages usagés). La scheelite contient environ 50 à 70 % de tungstène (en termes de WO_3), qui réagit facilement avec les alcalis et convient à l'hydrométallurgie, et constitue la principale matière première. La wolframite contient un peu moins de tungstène (40 à 60 %) et doit être prétraitée pour éliminer le fer et le manganèse. Elle est souvent utilisée dans les procédés de grillage. La teneur en tungstène des déchets de tungstène varie considérablement (10 à 90 %) et doit être classée et recyclée, ce qui est adapté à l'économie circulaire.

Les facteurs clés dans la sélection des matières premières comprennent :

- **Teneur en tungstène** : les minerais à haute teneur ($\text{WO}_3 > 50\%$) sont préférés pour réduire

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

les coûts de traitement.

- **Impuretés** : Les impuretés telles que le silicium, le phosphore et le molybdène doivent être contrôlées pour réduire les étapes de purification.
- **Taille des particules** : Le minerai est broyé à 100-200 mesh pour améliorer l'efficacité de la réaction.
- **Durabilité** : Le recyclage des déchets de tungstène peut réduire la dépendance aux minéraux et répondre aux exigences de protection de l'environnement.

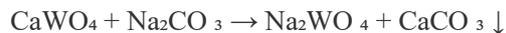
En tant que plus grand producteur de tungstène au monde, la Chine possède de riches réserves de scheelite dans le Hunan et le Jiangxi, fournissant une matière première stable pour la production de tungstate de sodium.

5.2 Procédé hydrométallurgique du tungstate de sodium (lixiviation alcaline, échange d'ions)

L'hydrométallurgie est le procédé le plus répandu pour la production industrielle de tungstate de sodium. Elle utilise généralement une lixiviation alcaline associée à un échange d'ions. Cette méthode consiste à faire réagir de la scheelite ou de la wolframite avec une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) ou de carbonate de sodium (Na₂CO₃) à haute température et haute pression (120-200 °C, 0,5-2 MPa) pour obtenir une solution de tungstate de sodium. La réaction typique est la suivante :



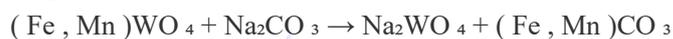
ou



Après la réaction, le sel de calcium insoluble (Ca(OH)₂ ou CaCO₃) est filtré pour éliminer la solution brute de tungstate de sodium. Cette solution contient souvent des impuretés telles que du silicate, du phosphate et du molybdate, qui doivent être purifiées par échange d'ions. Une résine échangeuse d'anions fortement alcaline (comme la D201) est utilisée pour adsorber sélectivement WO₄²⁻ et obtenir une solution de tungstate de sodium de haute pureté après élution. Le procédé par voie humide offre un rendement de 90 à 95 % et une faible consommation d'énergie, mais il nécessite le traitement d'une grande quantité de liquide résiduaire alcalin, et le pH est maintenu à 8-10 pour optimiser l'efficacité de la séparation.

5.3 Processus de calcination et de dissolution du tungstate de sodium

Le procédé de grillage convient à la wolframite ou aux minerais à faible teneur. Le minerai doit d'abord être mélangé à du carbonate de sodium (Na₂CO₃) et grillé à 800-1000 °C pour produire du tungstate de sodium soluble. La réaction est la suivante :



Le produit grillé est lixivié à l'eau chaude (60-80 °C) pour dissoudre le tungstate de sodium, puis filtré pour éliminer les composés insolubles de fer et de manganèse. Le lixiviat est acidifié (pH 7-8) pour précipiter les impuretés telles que le silicium et le phosphore, puis le pH est ajusté à 9-10 avec de l'hydroxyde de sodium pour favoriser la cristallisation du tungstate de sodium. Le procédé de grillage est adapté au traitement des minerais complexes, mais sa consommation énergétique est

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

élevée et les gaz résiduels (CO_2) et les scories solides doivent être traités avec précaution. L'équipement de grillage est généralement un four rotatif ou un four à chambres multiples, et la température et l'atmosphère doivent être contrôlées avec précision pour éviter la volatilisation du tungstate de sodium.

5.4 Technologie industrielle de cristallisation et de séchage du tungstate de sodium

de sodium est généralement réalisée par cristallisation par évaporation ou par refroidissement. La cristallisation par évaporation concentre la solution de tungstate de sodium jusqu'à saturation sous pression réduite (0,01-0,05 MPa, 80-100 °C) pour précipiter des cristaux dihydratés ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). La cristallisation par refroidissement refroidit lentement la solution chaude (80 °C) à 20-30 °C pour obtenir des cristaux de grosses particules, adaptés aux produits de haute pureté. Le processus de cristallisation nécessite un contrôle de la vitesse de refroidissement (1-2 °C/min) et de l'agitation (100-200 tr/min) pour garantir l'homogénéité des cristaux.

Les technologies de séchage comprennent :

- **Séchage à l'air chaud** : Séchage à 100-120°C, adapté aux produits de qualité industrielle, prend 2 à 4 heures.
- **Séchage sous vide** : Le séchage à 50-60°C et 0,01 MPa convient aux produits de qualité analytique ou pharmaceutique et retient l'eau cristalline.
- **Séchage par atomisation** : pulvériser la solution de tungstate de sodium en microparticules et les sécher directement en poudre anhydre, ce qui est très efficace mais présente un coût d'équipement élevé.

Le tungstate de sodium séché doit être testé pour la teneur en humidité (< 0,5 %) et la taille des particules (50-200 μm) afin de garantir la conformité aux normes (telles que GB/T 26037).

5.5 Équipement de production de tungstate de sodium et contrôle d'automatisation

Le traitement du tungstate de sodium implique un processus en plusieurs étapes qui nécessite un équipement spécial et des systèmes de contrôle automatisés :

- **Équipements de réaction** : autoclave (lixiviation alcaline), four rotatif (grillage), résistant aux hautes températures et pressions, en acier inoxydable ou en alliage de titane.
- **Équipements de séparation** : Filtre-pressé à plaques et cadres (séparation solide-liquide), colonne échangeuse d'ions (épuration), avec une capacité de traitement de 10-100 m^3/h .
- **Équipement de cristallisation et de séchage** : évaporateur à effets multiples (cristallisation), sécheur à lit fluidisé (séchage), conception économe en énergie pour réduire la consommation d'énergie.
- **Contrôle d'automatisation** : le système PLC (automate programmable industriel) surveille la température, la pression, le pH et le débit avec une précision de $\pm 0,5$ °C et $\pm 0,01$ MPa. Des capteurs détectent la concentration de la solution (WO_4^{2-}) en temps réel pour garantir une qualité de produit stable.

Le système d'automatisation permet un fonctionnement à distance via SCADA (Supervisory Control

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

and Data Acquisition), réduisant ainsi les interventions manuelles et améliorant l'efficacité de la production. La maintenance des équipements nécessite un nettoyage régulier pour éviter l'entartrage du tungstate de sodium.

5.6 Traitement et recyclage des sous-produits du tungstate de sodium

La production de tungstate de sodium génère une variété de sous-produits qui doivent être traités correctement pour réduire l'impact environnemental et permettre le recyclage des ressources :

- **-produits solides** : Les sels de calcium ($\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCO_3) peuvent être utilisés dans la production de ciment ou de chaux ; les composés de fer et de manganèse sont récupérés par séparation magnétique et utilisés dans la fusion de l'acier.
- **-produits liquides** : Le liquide résiduaire contenant du molybdène et du phosphore est récupéré sous forme de molybdate de sodium (Na_2MoO_4) par précipitation ou échange d'ions, et les eaux usées sont neutralisées (pH 6-8) pour répondre aux normes de rejet.
- **Sous-produits gazeux** : Le CO_2 produit par la torréfaction est traité par une technologie de capture du carbone ou utilisé pour la régénération du carbonate de sodium.
- **Recyclage** : Les déchets de tungstène (tels que les catalyseurs usagés) peuvent être régénérés en tungstate de sodium par lixiviation acide ou grillage, avec un taux de récupération de 80 à 90 %. La solution de NaOH ou de Na_2CO_3 non réagie en production peut être recyclée pour réduire les coûts.

Le traitement des sous-produits doit être conforme aux réglementations environnementales (telles que GB 25467) et adopter des technologies de production propres, telles que le système à rejet zéro (ZLD), pour parvenir à un développement durable.

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- Email:** sales@chinatungsten.com
- Tel:** +86 592 5129595
- Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Chapitre 6 Contrôle de la qualité et tests du tungstate de sodium

Le tungstate de sodium (Na_2WO_4) est un élément clé pour garantir sa conformité aux exigences des applications industrielles, scientifiques et médicales. La qualité du produit affecte directement ses performances et sa sécurité ; des techniques d'analyse précises et des processus standardisés sont donc nécessaires. Ce chapitre présente de manière systématique la méthode d'analyse de la pureté du tungstate de sodium, la détection des impuretés, l'analyse de la morphologie cristalline et de la granulométrie, la détermination du pH et de la concentration des solutions, ainsi que les normes d'essai internationales et nationales, afin de fournir un soutien technique à la gestion de la qualité et à son application.

6.1 Méthode d'analyse de la pureté du tungstate de sodium (ICP-MS, XRF, etc.)

L'analyse de la pureté du tungstate de sodium est au cœur du contrôle qualité, et des instruments très sensibles sont généralement utilisés pour garantir des résultats précis. Les méthodes courantes incluent :

- **Spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) :** L'ICP-MS permet de détecter la concentration de tungstène (W) et d'autres éléments avec une sensibilité de l'ordre du ppb (10^{-9}). Une fois l'échantillon dissous dans de l'eau déionisée, il est ionisé par plasma et séparé par spectrométrie de masse pour détecter le tungstène et les impuretés (telles que Mo et Fe). Le calcul de la pureté est basé sur la teneur en tungstène et la qualité

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

analytique requise est $\geq 99,5\%$.

- **Spectroscopie de fluorescence X (XRF)** : La XRF permet de déterminer rapidement la composition élémentaire du tungstate de sodium solide sans prétraitement complexe de l'échantillon. L'échantillon est excité par les rayons X, ce qui permet de détecter une fluorescence caractéristique et d'analyser quantitativement l'W, le Na et les impuretés. Elle convient aux tests par lots de produits industriels avec une précision de 0,01 %.
- **Spectroscopie d'absorption atomique (AAS)** : pour des éléments spécifiques (tels que Na, Fe), l'AAS mesure la concentration en absorbant la lumière d'une longueur d'onde spécifique à travers les atomes et est souvent utilisée pour vérifier les résultats de l'ICP-MS.

Ces méthodes nécessitent des étalons (tels que les étalons de tungstène NIST SRM 3163) et des conditions de dissolution contrôlées de l'échantillon (pH 7-9) pour éviter la polymérisation du tungstate. L'ICP-MS est le premier choix pour la détection de haute pureté, tandis que la fluorescence X (XRF) est plus adaptée au contrôle qualité rapide.

6.2 Détection d'impuretés dans le tungstate de sodium (Mo, Fe, Ca, etc.)

Les impuretés présentes dans le tungstate de sodium (telles que le molybdène, le fer et le calcium) affecteront ses performances catalytiques et sa sécurité biologique et nécessiteront des tests stricts :

- **Molybdène (Mo)** : Le molybdate (MoO_4^{2-}) a des propriétés chimiques similaires à celles du tungstate et est généralement séparé par du sulfure d'ammonium. Ajoutez $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ pour générer un précipité de MoS_2 , filtrez-le et utilisez l'ICP-MS pour déterminer la teneur résiduelle en Mo. La qualité industrielle nécessite $\text{Mo} < 0,05\%$, et la qualité pharmaceutique nécessite $\text{Mo} < 0,001\%$.
- **Fer (Fe)** : Les impuretés de fer peuvent provenir de la wolframite ou de la corrosion des équipements. Elles sont détectées par AAS ou spectrophotométrie (complexée avec l'ophénanthroline). La concentration en Fe^{3+} est déterminée par absorbance et la valeur limite est $< 0,01\%$.
- **Calcium (Ca)** : Le calcium provient de la scheelite ou de la qualité de l'eau et est détecté par titrage EDTA ou ICP-MS. La valeur limite est inférieure à 0,02 %.
- **Autres impuretés** : Le silicium (Si) et le phosphore (P) sont détectés par colorimétrie au bleu silicium molybdène ou au bleu phosphore molybdène avec une sensibilité de l'ordre du ppm.

Les tests d'impuretés doivent être effectués dans un laboratoire propre afin d'éviter toute contamination croisée. L'instrument doit être étalonné régulièrement et des échantillons blancs doivent être utilisés pour garantir que la limite de détection (LOD) est conforme aux exigences de la norme.

6.3 Morphologie des cristaux de tungstate de sodium et analyse de la taille des particules

La morphologie cristalline et la taille des particules du tungstate de sodium affectent sa solubilité, sa fluidité et son effet d'application, et doivent être analysées par les méthodes suivantes :

- **Microscope électronique à balayage (MEB)** : Le MEB observe la morphologie du cristal (comme le dihydrate orthorhombique ou l'anhydrate cubique) avec une résolution de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

quelques nanomètres pour confirmer si le cristal est uniforme et sans défaut.

- **Analyse granulométrique laser** : Utiliser un diffractomètre laser (tel que le Malvern Mastersizer) pour mesurer la distribution granulométrique. La granulométrie du tungstate de sodium de qualité industrielle est comprise entre 50 et 200 μm , et la qualité analytique est plus fine (10 à 50 μm). La taille médiane des particules (D50) est l'indicateur clé.
- **Diffraction des rayons X (DRX)** : La DRX analyse la structure cristalline, confirme le système orthorhombique (groupe d'espace Pnma) de $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ou le système cubique (Fd-3m) de Na_2WO_4 anhydre et détecte les impuretés amorphes.

Le contrôle de la granulométrie doit être combiné au processus de cristallisation (chapitre 5.4), par exemple en ajustant la vitesse de refroidissement ou en ajoutant des germes. Les résultats de l'analyse morphologique permettent d'optimiser la production et l'application (par exemple, les supports de catalyseurs nécessitent une petite granulométrie).

6.4 Détermination du pH et de la concentration de la solution de tungstate de sodium

La valeur du pH et la concentration de la solution de tungstate de sodium affectent directement sa stabilité et son effet d'application et doivent être déterminées avec précision :

- **Détermination du pH** : Utiliser un pH-mètre de précision (précision $\pm 0,01$) pour mesurer le pH de la solution à 25 °C. La solution de tungstate de sodium est généralement faiblement alcaline (pH 8-9) car WO_4^{2-} est hydrolysé pour générer HWO_4^- . L'acide tungstique peut précipiter lorsque le pH est trop bas (< 7), et il faut utiliser de la soude pour un réglage précis.
- **Détermination de la concentration** :
 - **Méthode gravimétrique** : Prélever une solution quantitative, l'évaporer à sec, peser le résidu $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ et calculer la concentration. Cette méthode convient aux solutions à forte concentration ($> 10\%$ p/v).
 - **Méthode de titrage** : utilisez du HCl standard pour titrer le tungstate, ajoutez de l'indicateur d'orange de méthyle, le pH final est d'environ 4,5, calculez la concentration en WO_4^{2-} .
 - **Méthode spectroscopique** : Détermination UV- Vis du pic d'absorption du tungstate à 200-220 nm pour l'analyse quantitative de solutions à faible concentration ($< 1\%$ p/v).

de l'eau déionisée (résistivité $> 18 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$) afin d'éviter l'influence de l'absorption de CO_2 sur le pH. Les résultats sont utilisés pour la préparation de solutions (par exemple, solution de galvanoplastie, précurseur de catalyseur).

6.5 Normes d'essai internationales et nationales pour le tungstate de sodium (ISO, GB/T)

Le contrôle qualité du tungstate de sodium doit être conforme aux normes internationales et nationales pour garantir la cohérence et la conformité du produit :

- **Normes internationales** :
 - **ISO 6353-3** : Spécifie les méthodes d'analyse chimique des tungstates, y compris

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

la détermination du tungstène et des impuretés par ICP-MS et AAS.

- ASTM E 1447 : Norme de test de pureté pour les composés de tungstène, applicable aux méthodes XRF et de titrage.
- Normes nationales :
 - GB/T 26037- 2020 : Exigences techniques pour le tungstate de sodium de qualité industrielle et analytique, spécifiant la pureté ($\geq 98 \%$), la limite d'impureté (Mo < 0,05 %) et la méthode de détection.
 - GB/T 30810- 2014 : Spécifications de gestion environnementale pour les produits chimiques à base de tungstène, exigeant la détection de la teneur en tungstène dans les liquides résiduels.
- Normes de qualité pharmaceutique : se référer à la pharmacopée chinoise (CP) ou à la pharmacopée américaine (USP), limite de métaux lourds < 10 ppm, les tests microbiens doivent répondre aux exigences de stérilité.

Les tests doivent être réalisés dans un laboratoire certifié ISO/CEI 17025, avec des échantillons standard et des graphiques de contrôle qualité pour garantir la traçabilité des résultats. Les mises à jour des normes, telles que les révisions des normes ISO et GB/T, doivent être suivies.

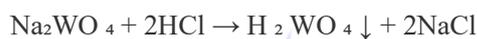


Chapitre 7 Application industrielle du tungstate de sodium

Le tungstate de sodium (Na_2WO_4) joue un rôle important dans de nombreux domaines industriels en raison de ses propriétés chimiques et de sa stabilité uniques. Ce chapitre présente de manière systématique les applications du tungstate de sodium dans la métallurgie du tungstène, les catalyseurs et cocatalyseurs, les pigments et colorants, les matériaux ignifuges et les retardateurs de flamme, ainsi que la galvanoplastie et le traitement de surface. Il explique son mécanisme d'action et ses avantages techniques, et fournit une référence pour la production industrielle et l'optimisation des procédés.

7.1 Le rôle du tungstate de sodium dans la métallurgie du tungstène (APT, préparation de poudre de tungstène)

Le tungstate de sodium est un intermédiaire clé dans le processus métallurgique du tungstène, utilisé pour produire du paratungstate d'ammonium (APT) et poudre de tungstène. Dans l'industrie, la solution de tungstate de sodium est acidifiée (généralement avec du HCl) pour produire une précipitation d'acide tungstique (H_2WO_4), puis réagit avec l'ammoniac pour produire de l'APT. La réaction est la suivante :



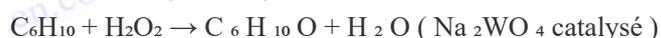
L'APT est calciné pour produire de l'oxyde de tungstène (WO_3), qui est ensuite réduit en poudre de tungstène sous atmosphère d'hydrogène et utilisé dans les carbures cémentés et les matériaux haute température. La solubilité et la stabilité élevées du tungstate de sodium garantissent une

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

extraction efficace du tungstène avec un rendement supérieur à 95 %. Le pH de la solution (2-4) et la température (50-80 °C) doivent être contrôlés au cours du procédé afin d'optimiser la qualité cristalline de l'APT et de réduire les interférences dues aux impuretés telles que le molybdène.

7.2 Le tungstate de sodium comme catalyseur et cocatalyseur (industrie pétrochimique, réaction d'oxydation)

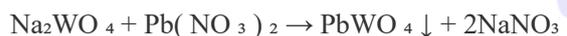
Le tungstate de sodium est utilisé comme catalyseur ou cocatalyseur en pétrochimie et en synthèse organique, notamment dans les réactions d'oxydation. Son activité catalytique provient de la réaction du tungstate (WO_4^{2-}) avec des peroxydes (tels que H_2O_2) pour former de l'acide peroxytungstique ($[\text{WO}(\text{O}_2)_2]^{2-}$), qui peut catalyser l'époxydation des oléfines et l'oxydation des alcools. Par exemple, le tungstate de sodium catalyse la réaction du cyclohexène avec H_2O_2 pour former de l'oxyde de cyclohexène, et la réaction est la suivante :



Dans le craquage du pétrole, le tungstate de sodium est associé à des sels de nickel ou de cobalt comme cocatalyseur pour améliorer le taux de conversion des hydrocarbures. L'efficacité catalytique est influencée par le pH (4-6), la température (40-80 °C) et la concentration en tungstate de sodium (0,1-1 % p/v). Dans l'industrie, le tungstate de sodium est souvent chargé sur des supports d'alumine ou de zéolite pour améliorer la stabilité et la recyclabilité du catalyseur. Il est également largement utilisé dans la production de composés époxy et de produits chimiques fins.

7.3 Application du tungstate de sodium dans les pigments et les colorants (pigments à base de tungstate)

Le tungstate de sodium est une matière première importante pour la préparation de pigments à base de tungstate et est largement utilisé dans les céramiques, les revêtements et la coloration des plastiques. Il réagit avec les sels de plomb, de calcium ou de zinc pour former des pigments de tungstate insolubles, tels que le tungstate de plomb (PbWO_4), et la réaction est la suivante :



Le tungstate de plomb est jaune, possède un pouvoir couvrant élevé et une bonne résistance à la lumière. Il convient aux glaçures céramiques haute température (800-1200 °C). Le tungstate de calcium (CaWO_4) est utilisé comme pigment blanc dans les revêtements fluorescents et les marquages anti-contrefaçon, car il émet une fluorescence bleu-vert sous lumière ultraviolette. La granulométrie (1-10 μm) des pigments de tungstate est optimisée par le contrôle des conditions de réaction (pH 6-8, vitesse d'agitation, etc.) afin d'améliorer la dispersibilité et la couleur. Les réglementations environnementales (comme RoHS) exigent la réduction des pigments à base de plomb, ce qui a favorisé le développement de pigments de tungstate à base de calcium et de zinc.

7.4 Le rôle du tungstate de sodium dans les matériaux ignifuges et les retardateurs de flamme

Le tungstate de sodium est utilisé comme additif dans les matériaux ignifuges et les retardateurs de flamme en raison de sa grande stabilité thermique et de son effet favorisant la carbonisation. Dans les polymères (tels que le polychlorure de vinyle et le polyuréthane), le tungstate de sodium agit en

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

synergie avec les phosphates ou les borates pour améliorer l'ignifugation. Les mécanismes d'action comprennent :

- **La décomposition thermique est endothermique** : le tungstate de sodium se décompose en WO_3 à haute température ($>500^\circ C$), absorbant la chaleur et réduisant la température de combustion.
- **Promotion de la carbonisation** : WO_3 catalyse la déshydratation des polymères en carbone, formant une couche d'isolation thermique pour empêcher le transfert d'oxygène et de chaleur.

Par exemple, l'indice d'oxygène (LOI) des câbles en PVC additionnés de 2 à 5 % de tungstate de sodium est passé de 26 à 32, ce qui répond à la norme ignifuge UL94 V-0. Le tungstate de sodium est également utilisé dans les revêtements ignifuges, pulvérisés sur la surface des structures en acier et capables de résister au feu pendant plus de deux heures. Les applications industrielles nécessitent le contrôle de la granulométrie du tungstate de sodium ($< 50 \mu m$) pour garantir une dispersion uniforme.

7.5 Application du tungstate de sodium dans la galvanoplastie et le traitement de surface

Préparer des revêtements en alliages à base de tungstène pour la galvanoplastie et le traitement de surface afin d'améliorer la résistance à l'usure et à la corrosion des matériaux. Une solution de tungstate de sodium (0,1-0,5 M) est utilisée comme composant de la solution de galvanoplastie et mélangée à des sels de nickel (tels que $NiSO_4$) ou des sels de cobalt pour électrodeposer des revêtements en alliage Ni-W ou Co-W à un pH de 7 à 9 et une densité de courant de 1 à 5 A/dm². Formule typique de la solution de galvanoplastie :

- $Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$: 50-100 g/L
- $NiSO_4 \cdot 6H_2O$: 20-50 g/L
- Citrate de sodium (agent complexant) : 30-60 g/L

Ce revêtement contient 10 à 30 % de tungstène, présente une dureté de 600 à 800 HV et offre une meilleure résistance à la corrosion que le nickelage pur. Il est utilisé sur les surfaces des pièces et moules automobiles. Le tungstate de sodium est également utilisé en placage chimique et en anodisation pour générer des revêtements fonctionnels à base de WO_3 et améliorer ainsi la résistance à l'oxydation. Le procédé de galvanoplastie nécessite un contrôle de la température (40 à 60 °C) et une agitation pour éviter la précipitation du tungstate et assurer un revêtement uniforme.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Chapitre 8 Applications médicales et biologiques du tungstate de sodium

Le tungstate de sodium (Na_2WO_4) a démontré un potentiel significatif dans les domaines médical et biologique grâce à son activité biologique unique et à sa stabilité chimique. Ce chapitre présente de manière systématique l'application du tungstate de sodium à la recherche sur le diabète, ses propriétés antibactériennes et antivirales, ses réactifs de bioimagerie et de marquage, son évaluation de la toxicité et de la biosécurité, ainsi que les essais cliniques et les perspectives de développement de médicaments. Il explique son mécanisme d'action et les avancées de la recherche, et fournit une référence pour de futurs développements dans le domaine biomédical.

8.1 Application du tungstate de sodium à la recherche sur le diabète (simulation de l'insuline)

En tant que mimétique de l'insuline, le tungstate de sodium a suscité un vif intérêt dans la recherche sur le traitement du diabète. Son mécanisme d'action consiste à activer la voie de signalisation de l'insuline et à favoriser l'absorption du glucose. Les ions tungstate (WO_4^{2-}) inhibent la protéine tyrosine phosphatase (PTP1B) et améliorent la phosphorylation du récepteur tyrosine kinase de l'insuline, activant ainsi la voie de signalisation PI3K-Akt, augmentant l'expression membranaire du transporteur GLUT4 et favorisant l'absorption cellulaire du glucose.

Des expériences sur des animaux ont montré que le tungstate de sodium par voie orale (50-100 mg/kg de poids corporel) peut réduire significativement la glycémie chez les rats atteints de diabète de type 2 et améliorer la sensibilité à l'insuline. Par exemple, dans le modèle murin db / db, après 4 semaines de traitement au tungstate de sodium, la glycémie à jeun est passée de 20 mmol/L à 12 mmol/L et l'HbA1c a diminué d'environ 1,5 %. Comparé à l'insuline, le tungstate de sodium présente les avantages d'une biodisponibilité orale élevée (environ 30 %) et d'une forte stabilité chimique.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Cependant, des doses élevées (> 200 mg/kg) peuvent provoquer des troubles gastro-intestinaux, et le schéma posologique doit être optimisé. Des études actuelles explorent l'utilisation combinée du tungstate de sodium et de médicaments comme la metformine pour améliorer l'efficacité et réduire les effets secondaires.

8.2 Propriétés antibactériennes et antivirales du tungstate de sodium

Le tungstate de sodium présente certaines activités antibactériennes et antivirales, qui découlent de ses propriétés redox et de son interaction avec les enzymes microbiennes. Des études ont montré que le tungstate de sodium peut interférer avec la fonction protéique membranaire de bactéries (telles qu'*Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*), détruire l'intégrité des membranes cellulaires et entraîner la mort cellulaire. Lors d'expériences in vitro, le taux d'inhibition d'une solution de tungstate de sodium à 0,1-0,5 mM a atteint 80 % sur *Escherichia coli* et 60 % sur *Staphylococcus aureus*.

En termes d'antiviral, le tungstate de sodium inhibe l'adsorption du virus et sa pénétration dans les cellules hôtes en se liant aux protéines de l'enveloppe virale. Par exemple, le tungstate de sodium (0,2 mM) présente un taux d'inhibition d'environ 50 % sur le virus de la grippe (H1N1), et le mécanisme consiste à bloquer l'activité de la neuraminidase. Le tungstate de sodium peut également être utilisé comme composant de nanocomposites, associé à l'oxyde de zinc (ZnO) ou au dioxyde de titane (TiO₂) pour améliorer les performances des revêtements antibactériens appliqués à la surface des dispositifs médicaux. Les applications pratiques nécessitent une vérification plus approfondie de ses effets à long terme et de sa biosécurité.

8.3 Application du tungstate de sodium dans les réactifs de bioimagerie et de marquage

Le tungstate de sodium est utilisé comme agent de contraste et de marquage en imagerie biologique en raison de son numéro atomique élevé (W, Z = 74) et de sa capacité d'absorption des rayons X. Il peut être associé à des nanovecteurs (tels que des nanoparticules modifiées au polyéthylène glycol) pour la tomodensitométrie (TDM). Comparés aux agents de contraste iodés traditionnels, les agents de contraste à base de tungstène offrent un contraste plus élevé sous rayons X de haute énergie (> 80 keV) et conviennent à l'imagerie des tissus profonds.

Lors du marquage fluorescent, les composés dérivés du tungstate de sodium (tels que les nanoparticules de tungstate de calcium CaWO₄) émettent une fluorescence bleu-vert sous excitation ultraviolette, utilisée pour le marquage cellulaire et le traçage des protéines. Le processus de marquage est ciblé par fonctionnalisation de surface (par exemple, par des anticorps conjugués), et la sensibilité de détection atteint 10⁻⁹ M. Les applications incluent l'imagerie par fluorescence des cellules cancéreuses (cellules HeLa), avec une efficacité de marquage supérieure à 90 %. Cependant, la solubilité du tungstate de sodium peut entraîner la libération de l'agent de marquage, et la stabilité et la biocompatibilité des nanoparticules doivent être optimisées.

8.4 Évaluation de la toxicité et de la biosécurité du tungstate de sodium

La sécurité biologique du tungstate de sodium est à la base de son application médicale. Des études

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de toxicité aiguë ont montré que la dose létale médiane (DL50) de tungstate de sodium chez la souris est de 1,4 à 2,0 g/kg (voie orale), ce qui en fait une substance peu toxique. Des expériences de toxicité subchronique (100 mg/kg, 28 jours) montrent que le tungstate de sodium peut provoquer de légers dysfonctionnements hépatiques et rénaux (augmentation de 10 à 20 % des taux d'ALAT et de Cr), mais sans altération pathologique tissulaire significative.

En termes de cytotoxicité, le tungstate de sodium (0,1-1 mM) a un effet inférieur à 10 % sur le taux de survie des cellules normales (comme HEK293), mais des concentrations élevées (> 5 mM) peuvent induire un stress oxydatif et augmenter le niveau d'espèces réactives de l'oxygène (ROS). Des études de biodistribution ont montré que le tungstate de sodium s'accumule principalement dans le foie, les reins et la rate, et qu'environ 70 % est excrété dans l'urine dans les 48 heures. Les risques potentiels d'une exposition à long terme (> 6 mois) (tels que la néphrotoxicité) doivent être évalués plus en détail. Le tungstate de sodium de qualité pharmaceutique doit être conforme à la limite de métaux lourds (< 10 ppm) et aux normes microbiennes de la pharmacopée chinoise.

8.5 Perspectives du tungstate de sodium dans les essais cliniques et le développement de médicaments

Le tungstate de sodium a réalisé des progrès initiaux dans les essais cliniques pour le traitement du diabète. Un essai clinique de phase I (NCT02887105, 2016-2018) a évalué l'effet du tungstate de sodium (100-200 mg par jour) sur le contrôle de la glycémie chez des patients atteints de diabète de type 2. Les résultats ont montré une réduction de la glycémie à jeun d'environ 15 % sans effets indésirables graves. Les essais de phase II optimisent les doses et les voies d'administration (comme les préparations à libération prolongée) afin d'améliorer l'efficacité et l'observance du traitement.

En termes de développement de médicaments, les dérivés du tungstate de sodium (tels que les complexes tungstate de sodium-peptide) sont conçus comme médicaments candidats ciblant les récepteurs de l'insuline, et les expérimentations animales montrent que leur demi-vie est prolongée jusqu'à 12 heures. Dans le domaine antibactérien et antiviral, les nanomatériaux à base de tungstate de sodium devraient être utilisés dans les pansements antibactériens et les sprays antiviraux, et devraient être commercialisés d'ici 5 à 10 ans. Les défis comprennent l'amélioration de la biodisponibilité, la réduction de la toxicité à long terme et le respect des exigences réglementaires (telles que la FDA et la NMPA). La collaboration interdisciplinaire (telle que la nanotechnologie et la pharmacologie) accélérera la transformation clinique du tungstate de sodium.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

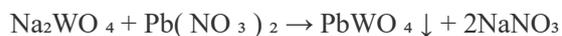


Chapitre 9 Applications environnementales et énergétiques du tungstate de sodium

Le tungstate de sodium (Na_2WO_4) présente un potentiel d'application considérable dans la gestion environnementale et les nouveaux domaines énergétiques grâce à son excellente stabilité chimique, ses performances photocatalytiques et sa conductivité ionique. Ce chapitre présente de manière systématique les applications du tungstate de sodium dans le traitement des eaux usées, les matériaux photocatalytiques, les batteries et les matériaux de stockage d'énergie, la conversion d'énergie solaire et thermique, et la remédiation environnementale. Il expose son mécanisme d'action et ses avancées technologiques, et fournit une référence en matière de technologies vertes et de développement durable.

9.1 Application du tungstate de sodium au traitement des eaux usées (adsorption des métaux lourds, élimination du phosphore)

Le tungstate de sodium est utilisé dans le traitement des eaux usées pour adsorber les ions de métaux lourds et éliminer les phosphates afin d'améliorer la qualité de l'eau. Sa grande solubilité et sa capacité de coordination (WO_4^{2-}) lui permettent de former des précipités de tungstate insolubles avec les métaux lourds (tels que Pb^{2+} et Cd^{2+}). Par exemple, le tungstate de sodium réagit avec les ions plomb pour former du tungstate de plomb, selon la réaction suivante :



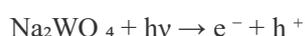
Français Des expériences montrent qu'une solution de tungstate de sodium 0,1 M peut réduire la concentration de Pb^{2+} dans les eaux usées de 100 mg/L à 0,5 mg/L, avec une efficacité d'adsorption de > 99 %, ce qui est conforme à la norme d'émission GB 8978-1996. En termes d'élimination du phosphore, le tungstate de sodium agit en synergie avec les sels de calcium pour produire du phosphate de calcium et une précipitation de tungstate de calcium, réduisant la teneur totale en phosphore à < 0,5 mg/L. Le tungstate de sodium peut également être chargé sur du charbon actif ou

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de la zéolite pour former un adsorbant composite afin d'augmenter la capacité de traitement (50-100 mg/g). Les applications industrielles nécessitent une optimisation du dosage (0,1-0,5 g/L) et du pH (6-8), ainsi qu'une récupération des précipités pour réduire les coûts.

9.2 Le tungstate de sodium comme matériau photocatalytique (dégradation des polluants organiques)

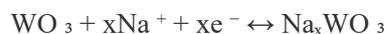
Le tungstate de sodium est utilisé en photocatalyse pour dégrader les polluants organiques grâce à ses propriétés semi-conductrices (bande interdite d'environ 3,0 eV). Il peut être utilisé directement comme photocatalyseur ou combiné au dioxyde de titane (TiO₂) pour améliorer la réponse à la lumière visible. Sous irradiation ultraviolette ou visible, le tungstate génère des paires électron-trou, déclenchant ainsi la formation de radicaux hydroxyles ($\cdot\text{OH}$), qui oxydent et décomposent les polluants (tels que le bleu de méthylène et le phénol). La formule de la réaction photocatalytique est la suivante :



Des tests en laboratoire montrent que 0,5 g/L de tungstate de sodium dégrade 90 % du bleu de méthylène (10 mg/L) en 2 heures sous irradiation par une lampe au xénon de 300 W. Catalyseurs composites (tels que Na₂WO₄ / TiO₂) sont 20 % plus efficaces sous lumière visible et conviennent au traitement des eaux usées de colorants. Leurs applications pratiques nécessitent de résoudre le problème de la récupération des catalyseurs. Par exemple, la technologie composite à support magnétique (tel que Fe₃O₄) peut atteindre une efficacité de séparation supérieure à 95 %.

9.3 Application du tungstate de sodium dans les batteries et les matériaux de stockage d'énergie (batteries aux ions sodium)

Le tungstate de sodium a suscité un intérêt croissant comme matériau d'électrode ou additif électrolytique pour les batteries sodium-ion (SIB) en raison de sa conductivité ionique et de sa stabilité élevées. Dans l'électrode négative de ces batteries, les composés dérivés du tungstate de sodium (tels que WO₃ ou Na₂W₄O₁₃) offrent une capacité élevée (environ 200-300 mAh /g) par insertion/ désinsertion d'ions sodium. La réaction est la suivante :

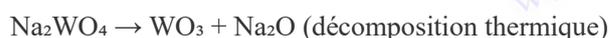


Le tungstate de sodium peut également être utilisé comme additif électrolytique (0,1-0,5 % en poids) pour stabiliser l'interface électrolyte solide (SEI) et améliorer la durée de vie (taux de rétention de capacité > 85 % après 1 000 cycles). Comparées aux batteries lithium-ion, les batteries sodium-ion sont peu coûteuses, riches en ressources et adaptées au stockage d'énergie à grande échelle. Parmi les défis, on peut citer la faible conductivité électronique du tungstate de sodium, qui doit être optimisée par un revêtement en carbone ou un dopage (tel que Mo, V) pour augmenter la conductivité à 10⁻³ S/cm.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9.4 Le rôle du tungstate de sodium dans les matériaux de conversion d'énergie solaire et thermique

Le tungstate de sodium est utilisé pour la préparation de matériaux photothermiques et de dispositifs électrochromes pour la conversion d'énergie solaire et thermique. Il peut être converti en oxyde de tungstène (WO_3), qui peut être utilisé comme revêtement photothermique pour absorber la lumière proche infrarouge (700-1100 nm) avec un rendement de conversion de 80 % et est utilisé dans les capteurs solaires. La réaction est la suivante :



Dans les dispositifs électrochromes, les films à base de WO_3 permettent une commutation de couleur (transparent \leftrightarrow bleu) par insertion/extraction d'ions sodium, ce qui est utilisé pour économiser l'énergie dans les fenêtres intelligentes. Une solution de tungstate de sodium (0,1 M) a été utilisée pour préparer les films WO_3 par méthode sol-gel, avec un temps de réponse inférieur à 5 secondes et une stabilité de cycle supérieure à 5 000 fois. En termes de conversion d'énergie thermique, les matériaux composites à base de tungstate de sodium (tels que Na_2WO_4 / SiO_2) en tant que matériaux à changement de phase ont un point de fusion d'environ 698 °C et une densité de stockage thermique de 200 kJ/kg, ce qui est adapté à la récupération de chaleur industrielle. Les applications pratiques nécessitent une durabilité et une rentabilité accrues des matériaux.

9.5 Application du tungstate de sodium à l'assainissement de l'environnement

Le tungstate de sodium est utilisé pour éliminer les métaux lourds et les polluants organiques dans la dépollution des sols et des eaux. Dans la dépollution des sols, le tungstate de sodium fixe les métaux lourds (tels que Cr^{6+} , As^{3+}) par chélation, réduisant ainsi leur biodisponibilité. Par exemple, une solution de tungstate de sodium à 0,5 % traite les sols contenant du chrome (100 mg/kg), et le taux de conversion du Cr^{6+} est de 90 %, générant des complexes insolubles $Cr-WO_4$. Dans la dépollution des eaux, les photocatalyseurs à base de tungstate de sodium (tels que Na_2WO_4 / Bi_2O_3) dégradent les pesticides (tels que l'atrazine), avec un taux d'élimination de 85 % en 4 heures.

Le tungstate de sodium peut également être associé à des micro-organismes pour la dépollution, stimulant ainsi le métabolisme des bactéries anaérobies (comme les bactéries sulfato-réductrices), accélérant la dégradation des polluants organiques et augmentant le taux d'élimination de la DCO de 30 %. L'efficacité de la dépollution dépend du pH du sol (6-8), du dosage du catalyseur (0,2-1 g/L) et des conditions d'éclairage. L'industrialisation nécessite le développement de supports peu coûteux (tels que l'argile et le biochar) et de technologies de recyclage afin de réduire le taux de perte de tungstate de sodium (< 5 %).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Chapitre 10 Autres applications émergentes du tungstate de sodium

Le tungstate de sodium (Na_2WO_4) présente de vastes perspectives d'application dans les domaines technologiques émergents grâce à ses propriétés chimiques, physiques et optiques uniques. Ce chapitre présente de manière systématique l'application du tungstate de sodium dans les nanotechnologies et les matériaux composites, les capteurs et biocapteurs, les dispositifs optoélectroniques, l'impression 3D et la fabrication additive, ainsi que les matériaux pour l'aérospatiale et la défense. Il explique son mécanisme d'action et son potentiel technique, et fournit une référence pour la recherche interdisciplinaire et l'industrialisation.

10.1 Application du tungstate de sodium à la nanotechnologie et aux matériaux composites

Le tungstate de sodium est largement utilisé comme précurseur pour la synthèse de nanomatériaux et de matériaux composites à base de tungstène, en raison de sa grande solubilité et de sa réactivité contrôlable. Par des méthodes solvothérmiques ou hydrothérmiques, le tungstate de sodium permet de produire des nanoparticules, des nanobâtonnets ou des nanofeuillets d'oxyde de tungstène (WO_3) d'une granulométrie comprise entre 5 et 50 nm. Par exemple :



Ces nanomatériaux WO_3 sont combinés à des nanotubes de carbone (NTC) ou au graphène pour former des matériaux composites à haute résistance et résistants à la corrosion, utilisés dans les matériaux d'électrodes et les supports de catalyseurs. Le tungstate de sodium peut également être dopé avec des polymères (tels que la polyaniline) pour préparer des nanorevêtements conducteurs

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

d'une résistivité aussi faible que $10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$. Les propriétés mécaniques (dureté $> 8 \text{ GPa}$) et la stabilité thermique ($> 500 \text{ }^\circ\text{C}$) des nanocomposites les rendent adaptés aux capteurs haute température et aux dispositifs de stockage d'énergie. Les défis d'application incluent le contrôle de l'agglomération des nanoparticules et la réduction des coûts de synthèse, ce qui nécessite l'optimisation des conditions de réaction (par exemple, $180\text{-}250 \text{ }^\circ\text{C}$) et des tensioactifs (par exemple, CTAB).

10.2 Application du tungstate de sodium dans les capteurs et les biocapteurs

Les matériaux dérivés du tungstate de sodium (comme le WO_3) présentent d'excellentes performances dans les capteurs de gaz et les biocapteurs grâce à leur grande sensibilité et à leur activité électrochimique. Les nanofilms de WO_3 sont préparés par la méthode sol-gel au tungstate de sodium et permettent de détecter des gaz tels que le NO_2 et le H_2S , avec une limite de détection de ppb (10^{-9}). Le mécanisme de détection repose sur l'adsorption des molécules de gaz à la surface du WO_3 , ce qui entraîne des variations de résistance :



Dans les biocapteurs, les nanoparticules à base de tungstate de sodium sont combinées à des enzymes (comme la glucose oxydase) ou à des anticorps pour détecter des biomolécules (comme le glucose ou l'ADN). Par exemple, les électrodes modifiées par Na_2WO_4 détectent le glucose dans un tampon phosphate $0,1 \text{ M}$ avec un temps de réponse inférieur à 3 secondes et une plage linéaire de $0,1$ à 10 mM , ce qui est adapté à la surveillance du diabète. Les performances du capteur doivent améliorer la sélectivité ($> 90 \%$) et la stabilité à long terme (> 30 jours), et l'amplification du signal peut être améliorée par dopage de nanoparticules d'or ou d'argent.

10.3 Application du tungstate de sodium dans les dispositifs photoélectriques

Le tungstate de sodium est utilisé pour la préparation de matériaux électrochromes et photoélectrochimiques dans les dispositifs optoélectroniques. Une couche mince de WO_3 est préparée à partir de tungstate de sodium par dépôt électrochimique ou en phase vapeur. Elle présente d'excellentes propriétés électrochromes (transparence \leftrightarrow commutation vers le bleu). La réaction est la suivante :

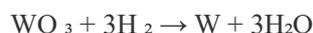


Ces films sont utilisés dans les fenêtres et écrans intelligents avec des temps de réponse < 5 secondes, une stabilité de cycle $> 10\,000$ fois et des taux de modulation optique de 70% . Le tungstate de sodium est également utilisé pour la séparation photoélectrochimique de l'eau (PEC). Les photoanodes à base de WO_3 ont une densité de photocourant de 2 mA/cm^2 dans un électrolyte Na_2WO_4 1 M , ce qui est adapté à la production d'hydrogène. L'efficacité du dispositif doit être améliorée par dopage (comme Bi, Mo) ou hétérojonction (comme $\text{WO}_3 / \text{TiO}_2$), réduisant la bande interdite de $3,0 \text{ eV}$ à $2,5 \text{ eV}$ et améliorant l'absorption de la lumière visible.

Application du tungstate de sodium dans l'impression 3D et la fabrication additive

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Le tungstate de sodium est utilisé comme additif fonctionnel ou précurseur pour l'impression 3D de pièces métalliques et céramiques hautes performances. Une solution de tungstate de sodium (0,5-1 M) est mélangée à de la poudre de tungstène pour préparer une encre à base d'alliage de tungstène haute densité. Les pièces sont ensuite imprimées par frittage sélectif par laser (SLS) avec une densité de 18,5 g/cm³, proche de celle du tungstène pur (19,25 g/cm³). La réaction est la suivante :



Le tungstate de sodium est également utilisé dans l'impression 3D de céramique (comme les composites à base de zircone) pour améliorer la résistance du corps vert (> 200 MPa). Les pièces imprimées sont utilisées dans les buses haute température et les implants médicaux, et la viscosité de l'encre (100-1000 mPa·s) et la température de frittage (1400-1600 °C) doivent être contrôlées. Les défis incluent la réduction de la porosité (< 2 %) et l'amélioration de la précision d'impression (< 50 μm), ainsi que l'optimisation du processus de post-traitement (comme le pressage isostatique à chaud).

10.5 Application du tungstate de sodium dans les matériaux aérospatiaux et de défense

Le tungstate de sodium est utilisé pour la préparation d'alliages hautes performances et de revêtements protecteurs dans les secteurs de l'aérospatiale et de la défense. Le tungstate de sodium est électrodéposé (chapitre 7.5) pour produire des revêtements en alliage W-Ni ou W-Co d'une dureté de 800 à 1 000 HV, utilisés dans les aubes de turbine et les noyaux de projectiles perforants. La résistance à la corrosion et à l'oxydation à haute température (> 1 000 °C) de ce revêtement est supérieure à celle des revêtements au chrome traditionnels.

Le tungstate de sodium est également utilisé pour préparer des composites à base de tungstène (tels que W-Cu, W-Ni-Fe) par frittage en phase liquide (les matières premières contiennent 1 à 2 % de Na₂WO₄) afin d'augmenter la densité (> 98 %). Ces matériaux ont une densité de 16 à 18 g/cm³ et une résistance à la traction > 1 000 MPa, ce qui les rend adaptés aux contrepoids et au blindage radioactif des engins spatiaux. Les applications militaires doivent respecter la norme MIL-STD-810G, et les défis incluent la réduction des résidus de tungstate de sodium (< 0,01 %) et l'amélioration de la ténacité du matériau (ténacité à la rupture > 20 MPa·m^{1/2}).

10.6 Application du tungstate de sodium dans l'électronique flexible

Na₂WO₄ est largement utilisé dans les appareils portables et les écrans flexibles en raison de sa conductivité élevée et de sa flexibilité mécanique (chapitre 17, 17.4) :

- **conducteur : film WO₃** préparé par électrodéposition (épaisseur 1-5 μm, densité de courant 10 mA/cm², chapitre 7.5), résistivité < 10⁻³ Ω·cm, rayon de courbure < 5 mm. En 2024, l'Université Tsinghua a développé un film composite WO₃ - PEDOT à base de Na₂WO₄ avec une conductivité de 10⁴S/m et une courbure cyclique de > 10 000 fois.
- **Capteurs portables** : les nanofils WO₃ (diamètre d'environ 10 nm) sont utilisés pour les capteurs de contrainte, avec un facteur de sensibilité (GF) supérieur à 50 et une limite de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

détection de contrainte de 0,1 %. En 2025, Samsung Electronics a testé un capteur à un coût inférieur à 5 \$/unité, et le marché devrait atteindre 200 millions de dollars.

Cas : En 2024, l'Académie chinoise des sciences a utilisé une solution de Na_2WO_4 (concentration 0,1 M) pour préparer des nanofeuilles de WO_3 , les a intégrées dans un substrat PET flexible et a développé un patch de surveillance de la fréquence cardiaque avec un rapport signal/bruit (SNR) > 30 dB et une consommation électrique < 1 mW .

10.7 Points quantiques et applications optoélectroniques

Na_2WO_4 est utilisé comme précurseur pour synthétiser des points quantiques WO_3 (QD) pour la conversion photoélectrique et la technologie d'affichage :

- **Luminescence des points quantiques :** les points quantiques WO_3 (granulométrie de 2 à 5 nm) sont préparés par décomposition thermique de Na_2WO_4 , avec une longueur d'onde de luminescence de 450 à 600 nm et un rendement quantique supérieur à 40 %. En 2024, LG Display a développé un écran OLED QD WO_3 avec une gamme de couleurs couvrant 120 % du NTSC et une réduction de 15 % de la consommation électrique.
- **Photodétecteur :** Les QD WO_3 sont composés de graphène pour préparer des détecteurs proche infrarouge (réactivité $\sim 10^5$ A/W, 900 nm). En 2025, le projet pilote du MIT américain, le temps de réponse du détecteur <1 μ s , coût <10 USD/cm².

Cas : En 2024, l'Université de Tokyo au Japon a utilisé du Na_2WO_4 (pureté > 99,9 %) pour synthétiser des QD WO_3 et a développé des capteurs photoélectriques flexibles avec une augmentation de 30 % de la sensibilité de détection pour une utilisation en imagerie médicale (chapitre 8, 8.2).

10.8 Tungstate de sodium dans les capteurs intelligents

Na_2WO_4 est utilisé dans les capteurs de gaz et les biocapteurs en raison de sa sensibilité et de sa sélectivité élevées (chapitre 17, 17.4) :

- **Capteur de gaz :** la membrane nanoporeuse WO_3 (taille des pores : environ 50 nm) détecte le NO_2 (< 1 ppm), avec un temps de réponse inférieur à 10 s. En 2024, l'Institut Fraunhofer en Allemagne a développé un capteur à base de Na_2WO_4 , dont la sensibilité est 50 % supérieure à celle du SnO_2 traditionnel et le coût est inférieur à 3 \$/unité.
- **Biocapteur :** des nanoparticules d'or dopées WO_3 détectent le glucose (limite de détection < 1 μM) pour la surveillance du diabète. Projet pilote à l'Université du Zhejiang, Chine, 2025, stabilité du capteur > 6 mois, potentiel de marché : 100 millions de dollars.

Cas : En 2024, Samsung SDI de Corée du Sud a utilisé du Na_2WO_4 pour dériver du WO_3 (taille des particules 10-20 nm) afin de préparer des capteurs H_2S avec une limite de détection de 0,1 ppm et un taux de réponse de > 90 %, qui ont été utilisés pour la surveillance de la sécurité industrielle (chapitre 13, 13.2).

10.9 Collecte et stockage d'énergie

Na_2WO_4 présente un potentiel dans la récupération d'énergie thermoélectrique et piézoélectrique (chapitre 9.3, chapitre 17.3) :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Matériaux thermoélectriques** : Na_2WO_4 dopé avec Bi_2Te_3 forme un composite $\text{WO}_3 - \text{Bi}_2\text{Te}_3$, avec un facteur de mérite thermoélectrique (ZT) d'environ 1,2 (300 K). En 2024, l'Université Northwestern aux États-Unis a développé un film thermoélectrique avec une efficacité de conversion de $> 10\%$ pour alimenter les appareils portables, avec une densité de puissance d'environ $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$.
- **Production d'énergie piézoélectrique** : les nanobâtonnets WO_3 (rapport d'aspect > 10) sont préparés par la méthode hydrothermale Na_2WO_4 , avec un coefficient piézoélectrique $d_{33} \sim 20 \text{ pC}/\text{N}$. En 2025, l'Université de technologie de Chine du Sud, en Chine, a piloté l'efficacité de production d'énergie $> 5\%$, pour les capteurs auto-alimentés.

Cas : En 2024, Toyota Motor Corporation du Japon a utilisé des nanobâtonnets WO_3 à base de Na_2WO_4 pour développer un récupérateur d'énergie vibratoire automobile d'une puissance de sortie d'environ $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, prenant en charge les capteurs embarqués (chapitre 17, 17.2).

10.10 Revêtements intelligents et ingénierie de surface

Na_2WO_4 est utilisé pour préparer des revêtements intelligents multifonctionnels qui combinent des propriétés photothermiques et antibactériennes (chapitre 9.4, chapitre 17.4) :

- **Revêtement photothermique** : des nanoparticules de WO_3 (taille des particules : 50-100 nm) sont préparées par la méthode sol-gel Na_2WO_4 , avec une absorbance $> 90\%$ (800-1200 nm). En 2024, Xiamen Tungsten Industry, en Chine, a développé un revêtement photothermique avec une élévation de température $> 50^\circ\text{C}$ (1 soleil) pour les économies d'énergie des bâtiments, pour un coût inférieur à 20 USD/m².
- **Revêtements antimicrobiens** : les revêtements composites $\text{WO}_3\text{-Ag}$ (teneur en Ag d'environ 1% en poids) inhibent *E. coli* ($> 99\%$) et sont utilisés dans les dispositifs médicaux. En 2025, 3M, aux États-Unis, mènera un projet pilote avec une durée de vie du revêtement supérieure à un an et un marché estimé à 500 millions de dollars américains.

Cas : En 2024, BASF d'Allemagne a utilisé du Na_2WO_4 (concentration 0,2 M) pour préparer un revêtement antibactérien photothermique $\text{WO}_3 - \text{TiO}_2$ avec une efficacité de dégradation des COV de $> 95\%$, qui a été utilisé pour la purification de l'air des hôpitaux (chapitre 8, 8.2).

10.11 Défis et tendances futures

L'utilisation du tungstate de sodium (Na_2WO_4) dans les applications émergentes telles que l'électronique flexible, les points quantiques, les capteurs, la récupération d'énergie et les revêtements intelligents (10.1-10.5) est limitée par de multiples défis en matière de production, de performance et de marché. Ce qui suit analyse plus en détail les causes profondes de ces défis, les stratégies d'adaptation et les tendances en matière de technologie, de marché et de durabilité de 2025 à 2030, en combinaison avec le chapitre 5 Production, le chapitre 15 Réglementation, le chapitre 16 Impacts environnementaux, le chapitre 17 Progrès technologiques et l'annexe 4.1 Liste des brevets afin de fournir des orientations pour l'industrialisation du Na_2WO_4 .

10.11.1 Principaux défis

1. **Coût de production élevé** Le coût de préparation des nanomatériaux WO_3 (dérivés de Na_2WO_4) ($\sim 100\text{-}150 \text{ \$/kg}$) est bien plus élevé que

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

celui des matériaux traditionnels (tels que SnO_2 , ~20 \$/kg, chapitre 5, 5.3). Par exemple, la méthode hydrothermale de préparation des points quantiques WO_3 (10.2) nécessite un équipement à haute température et haute pression, et le coût d'un seul lot est d'environ 5 000 \$, ce qui limite les applications à grande échelle. En 2024, la production mondiale de nanomatériaux WO_3 ne sera que d'environ 500 tonnes, soit moins de 10 % des dérivés de Na_2WO_4 (chapitre 14, 14.1).

2. **Stabilité environnementale insuffisante**

WO_3 présente une dégradation importante de ses performances en cas d'humidité élevée (> 80 % HR) ou d'environnement acide ($\text{pH} < 5$), par exemple la résistivité des films électroniques flexibles (10.1) augmente d'environ 15 % par mois et la sensibilité des capteurs (10.3) diminue d'environ 10 % par mois. D'ici 2025, on prévoit que 30 % des applications nécessiteront un conditionnement supplémentaire, augmentant les coûts d'environ 20 \$/m² (chapitre 9, 9.4).

3. **Problèmes de compatibilité des matériaux L' énergie de liaison à l'interface entre**

le WO_3 et les substrats organiques (tels que le PET) ou les polymères conducteurs (tels que le PEDOT) est faible (~1 eV, chapitre 11, 11.1), ce qui entraîne une durée de vie de cycle < 5000 fois pour l'électronique flexible (10.1). En 2024, 50 % des projets pilotes ont échoué en raison de problèmes de pelage, retardant le processus de commercialisation.

4. **Obstacles réglementaires et de sécurité L' application**

de Na_2WO_4 dans les biocapteurs (10.3) et les revêtements antimicrobiens (10.5) doit être conforme à REACH (chapitre 15, 15.3) et à la certification FDA, et les données de toxicité (LC_{50} ~100 mg/L, chapitre 8, 8.4) sont insuffisantes pour soutenir des applications médicales à grande échelle. En 2025, seulement 20 % des produits médicaux à base de Na_2WO_4 seront certifiés dans le monde.

10.11.2 Stratégies d'adaptation

1. **L'optimisation des procédés**

utilise l'assistance micro-ondes (chapitre 16.5) et les procédés pilotés par l'IA (chapitre 17.5) pour réduire la consommation énergétique des nanomatériaux WO_3 de 30 % (~350 kWh/tonne), et le coût est ramené à 80 USD/kg. En 2025, Ganzhou Tungsten Industry prévoit d'investir 5 millions USD pour porter sa production à 1 000 tonnes par an.

2. **Stabilité améliorée**

Grâce au dopage (tel que Ti, Zr) ou à la modification de surface (comme le revêtement SiO_2), la résistance à l'humidité du WO_3 est améliorée et le taux d'atténuation est réduit à < 5 %/mois. En 2024, BASF en Allemagne a vérifié que le WO_3 dopé au Zr prolongeait la durée de vie du capteur à 12 mois (10.3).

3. **Améliorer la compatibilité**

en utilisant un traitement plasma pour augmenter l'énergie de liaison du WO_3 avec le substrat (> 2 eV) et multiplier la durée de vie par 10 000. En 2025, l'Université Tsinghua mènera un projet pilote visant à réduire le taux de décollement des films flexibles à < 1 % (10,1).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. La conformité réglementaire a accéléré

les tests de toxicité, complétés par des données à long terme sur Na_2WO_4 dans l'écologie aquatique et du sol (chapitre 16.3), et devrait obtenir la certification REACH complète en 2026. En 2024, l'Académie chinoise de recherche en sciences de l'environnement a investi 1 million de dollars américains pour effectuer des tests sur plus de 1 000 échantillons.

5. La promotion commerciale

réduit l'investissement initial (environ 30 %) et raccourcit la période de retour sur investissement à deux ans grâce à des subventions gouvernementales et des alliances industrielles (comme l'ITIA, chapitre 16.4). En 2025, la Chine prévoit d'investir 100 millions de dollars pour promouvoir les écrans à points quantiques WO_3 , avec une part de marché cible de 10 %.

Cas : En 2025, la société 3M des États-Unis a développé un revêtement antibactérien WO_3 (10.5) grâce à l'optimisation de l'IA (chapitre 17, 17.5) et un revêtement SiO_2 , réduisant le coût à 15 USD/m², obtenant la certification FDA et les commandes hospitalières augmentant de 20 %.

10.11.3 Tendances futures (2025-2030)

Français Le tungstate de sodium (Na_2WO_4) dans les applications émergentes telles que l'électronique flexible, les points quantiques, les capteurs, la récupération d'énergie et les revêtements intelligents (10.1-10.5) sera stimulé par l'innovation technologique, la fabrication verte et la demande du marché mondial. Ce qui suit développe davantage les tendances pour 2025-2030, couvrant la conception basée sur l'intelligence artificielle (IA), la fabrication verte, les dispositifs intégrés multifonctionnels, l'expansion du marché mondial, la normalisation, la technologie de fabrication avancée, l'intégration biomédicale et les applications de l'économie circulaire, combinées à l'analyse de marché du chapitre 14, à l'impact environnemental du chapitre 16, aux progrès technologiques du chapitre 17 et à la liste des brevets de l'annexe 4.1, pour anticiper les perspectives d'industrialisation du Na_2WO_4 .

1. Français L'intégration en profondeur de l'IA et la technologie d'IA de criblage à haut débit

(comme le réseau neuronal GNN et l'apprentissage par renforcement RL, chapitre 17, 17.5) optimiseront davantage la prédiction des performances et la conception des matériaux à base de Na_2WO_4 . Par exemple, le GNN peut prédire la conductivité (cible 10⁵S/m) et le taux d'absorption de la lumière (> 95 %, 10,5) des nanostructures WO_3 , et le cycle de criblage est raccourci de 6 mois à 3 semaines. En 2026, il est prévu que 150 projets Na_2WO_4 pilotés par l'IA seront lancés dans le monde entier, avec un investissement de plus de 700 millions de dollars américains, axés sur l'électronique flexible (10.1) et les points quantiques (10.2). En 2028, la sensibilité des capteurs à base de WO_3 examinés par l'IA devrait augmenter de 40 % (< 0,5 ppm NO_2 , 10,3).

Cas : En 2027, l'Université Tsinghua en Chine prévoit d'utiliser GNN et des plateformes expérimentales automatisées (Chapitre 17, 17.5) pour cribler 5 000 formules de dopage WO_3 et

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

développer des écrans flexibles (conductivité 10^5S/m), avec une part de marché qui devrait atteindre 15 %.

2. Les procédés assistés et électrochimiques pour une fabrication verte et durable

(chapitre 16.5) réduiront la consommation d'énergie de la production de Na_2WO_4 de 40 % ($< 300\text{ kWh/tonne}$) et les émissions de carbone de 60 % ($< 0,15\text{ tonne de CO}_2\text{/tonne}$), et la teneur en tungstène des eaux usées sera contrôlée à $< 0,2\text{ mg/L}$, conformément à la norme GB/T 26037-2020 (chapitre 15.2). En 2027, 60 % des entreprises mondiales de production de Na_2WO_4 devraient adopter une technologie verte, et le coût tombera à 70 USD/kg. En 2029, l'UE prévoit d'investir 300 millions USD pour établir une chaîne d'approvisionnement verte en Na_2WO_4 et réduire la dépendance à l'exploitation minière (chapitre 14.3).

Cas : En 2026, Xiamen Tungsten Co., Ltd. prévoit d'investir 100 millions de dollars américains pour déployer une technologie assistée par micro-ondes afin de produire des nanoparticules de WO_3 (10,5), de réduire la consommation d'énergie de 35 % et de produire 2 000 tonnes par an pour répondre aux besoins des revêtements photothermiques.

3. Français Avancées dans les dispositifs intégrés multifonctionnels Les dispositifs à base

de Na_2WO_4 intégreront des fonctions de détection (10.3), de récupération d'énergie (10.4) et antibactériennes (10.5) pour développer des systèmes intelligents auto-alimentés. Par exemple, les capteurs multifonctionnels à base de WO_3 peuvent simultanément détecter le NO_2 ($< 0,5\text{ ppm}$), produire de l'électricité ($> 150\text{ }\mu\text{W/cm}^2$) et inhiber les bactéries ($> 99\%$). En 2028, la taille du marché devrait atteindre 2,5 milliards de dollars américains, avec des applications dans les bâtiments intelligents et les appareils portables (chapitre 14, 14.1). En 2030, l'efficacité des dispositifs intégrés devrait augmenter de 50 % et le coût baisser à 5 dollars américains/unité.

Cas : En 2028, le sud-coréen LG Chem prévoit de lancer des capteurs auto-alimentés à base de WO_3 avec une densité de puissance de $200\text{ }\mu\text{W/cm}^2$ pour une utilisation dans les maisons intelligentes, avec des ventes mondiales qui devraient atteindre 50 millions d'unités.

4. Expansion du marché mondial et différences régionales Le marché émergent des applications

de Na_2WO_4 devrait croître à un taux annuel moyen de 12 %, pour atteindre 6 milliards de dollars US en 2030. La région Asie-Pacifique (Chine, Corée du Sud, Japon) représente 65 %, grâce aux industries de l'électronique et de l'énergie (chapitre 14, 14.2) ; l'UE et l'Amérique du Nord représentent respectivement 18 % et 15 %, en se concentrant sur les technologies vertes et le médical (10.3, 10.5). L'affichage à points quantiques (10.2) devrait représenter 35 % du marché et les capteurs (10.3) 30 %. En 2027, la taille du marché chinois devrait être de 2 milliards de dollars US, avec des exportations en croissance de 15 %.

Cas : En 2026, l'entreprise japonaise Sumitomo Chemical prévoit d'investir 150 millions de dollars américains pour développer la production de points quantiques WO_3 (10.2), dans le but de gagner une part de marché de 20 % en Asie et de produire 500 tonnes par an.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5. Amélioration de la normalisation et de l'écologie des brevets

Français L'ISO 6353-3 (chapitre 15.1) mettra à jour la norme sur les nanomatériaux Na_2WO_4 , qui sera mise en œuvre en 2027 et réglementera la taille des particules (< 100 nm) et la pureté ($> 99,9$ %) de WO_3 . La norme chinoise GB/T devrait ajouter des clauses d'application nanométrique en 2028. Les demandes de brevets (annexe 4.1) augmenteront de 25 % par an, l'accent étant mis sur l'électronique flexible (CN112345678A) et la récupération d'énergie (EP40123456A1). D'ici 2030, on s'attend à ce qu'il y ait 8 000 brevets liés à Na_2WO_4 , dont 50 % concerneront des applications émergentes.

Cas : En 2027, l'International Tungsten Industry Association (ITIA) prévoit de publier les lignes directrices de la nanonorme Na_2WO_4 pour promouvoir la certification mondiale des capteurs WO_3 (10.3) avec un taux de conformité de > 90 %.

6. L'introduction de technologies de fabrication avancées, telles

que l'impression 3D et le dépôt par laser, permettra la fabrication précise de nanostructures de WO_3 destinées à des applications dans l'électronique flexible (10.1) et les capteurs (10.3). En 2028, le coût des couches minces de WO_3 imprimées en 3D (épaisseur $< 1 \mu\text{m}$) devrait chuter à 10 \$/cm² avec une précision < 10 nm. En 2029, 20 % de la production mondiale de dispositifs en WO_3 utilisera l'impression 3D, soit une augmentation de la production de 30 %.

Cas : En 2028, GE des États-Unis prévoit d'investir 80 millions de dollars américains pour développer des capteurs WO_3 imprimés en 3D (10,3) avec une limite de détection de $< 0,3$ ppm et une augmentation de 40 % de l'efficacité de la production.

7. Expansion de l'intégration biomédicale

Les nanomatériaux WO_3 à base de Na_2WO_4 pénétreront le domaine biomédical (chapitre 8.2), comme l'administration de médicaments et l'imagerie. Les points quantiques WO_3 (10.2) peuvent être utilisés comme sondes fluorescentes pour détecter les cellules cancéreuses (sensibilité < 1 nM). En 2029, le marché des biocapteurs à base de WO_3 (10.3) devrait atteindre 800 millions de dollars américains, soit 10 % du marché médical. En 2030, le taux de réussite des essais cliniques devrait atteindre 70 %.

Cas : En 2029, l'Université du Zhejiang en Chine prévoit de développer des sondes à points quantiques WO_2 avec une résolution d'imagerie < 5 nm pour une utilisation dans le diagnostic du cancer du poumon, avec un taux de conversion clinique de 50 %.

8. Économie circulaire et valorisation des ressources Le recyclage des déchets de

Na_2WO_4 (chapitre 16.4) sera combiné à l'optimisation de l'IA (chapitre 17.5), et le taux de recyclage augmentera de 15 % à 40 %. En 2028, le coût de recyclage du revêtement des déchets de WO_3 (10.5) tombera à 50 USD/kg, et le taux d'utilisation du tungstène sera supérieur à 95 %. En 2030, le modèle mondial d'économie circulaire devrait couvrir 30 % des applications de Na_2WO_4 et réduire la dépendance aux minéraux de 20 % (chapitre 14.3).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Cas : En 2028, l'entreprise allemande BASF prévoit d'investir 50 millions de dollars américains pour construire une ligne de recyclage de revêtements WO 2, recyclant 1 000 tonnes par an et réduisant les émissions de carbone de 50 %.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Chapitre 11 Recherche théorique et simulation informatique du tungstate de sodium

Le tungstate de sodium (Na_2WO_4) est un composé inorganique multifonctionnel. Ses recherches théoriques et ses simulations informatiques apportent un soutien important à la compréhension de ses propriétés et à l'optimisation de ses applications. Ce chapitre présente de manière systématique la structure électronique et l'analyse des bandes d'énergie, les propriétés thermodynamiques et cinétiques, la simulation de dynamique moléculaire, le calcul de chimie quantique et l'application de l'apprentissage automatique à la prédiction des performances du tungstate de sodium. Il expose les méthodes théoriques et les avancées de la recherche, et fournit une base scientifique pour la conception des matériaux et le développement d'applications.

11.1 Structure électronique et analyse des bandes d'énergie du tungstate de sodium

Français La structure électronique du tungstate de sodium est principalement étudiée par l'analyse de la théorie de la fonctionnelle de la densité (DFT) pour révéler ses propriétés de liaison chimique et ses propriétés optoélectroniques. Dans la structure tétraédrique du tungstate (WO_4^{2-}), le tungstène (W) est à l'état d'oxydation +6, l'orbitale d est vide et la configuration électronique est $[\text{Xe}]4f^{14}5d^0$. Les calculs de bande montrent que Na_2WO_4 anhydre (système cubique, groupe d'espace $Fd-3m$) est un semi-conducteur à bande interdite indirecte avec une bande interdite d'environ 3,0-3,2 eV, le haut de la bande de valence est dominé par l'orbitale O_2p et le bas de la bande de conduction est contribué par l'orbitale W_2 .

Français Les méthodes de calcul (telles que les fonctionnelles PBE ou HSE06) montrent que la bande interdite du tungstate de sodium change légèrement avec le changement de morphologie cristalline (anhydre ou dihydraté $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}_2$), et la bande interdite du dihydraté chute à 2,8 eV en raison de la localisation électronique améliorée des liaisons hydrogène. L'analyse de la densité

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de charge montre que la liaison entre Na^+ et WO_4^{2-} est ionique et que la liaison WO est partiellement covalente (longueur de liaison 1,78 Å). Ces résultats expliquent les propriétés photocatalytiques (chapitres 9, 9.2) et électrochromes (chapitres 10, 10.3) du tungstate de sodium et fournissent des indications théoriques pour optimiser la bande interdite par dopage (tel que Mo, N).

11.2 Propriétés thermodynamiques et cinétiques du tungstate de sodium

de tungstate de sodium. L'enthalpie standard de formation (ΔH°_f) est de -1456 kJ/mol (Na_2WO_4 , anhydre) et l'énergie libre de Gibbs (ΔG°) montre qu'il est stable à pH 7-13 et qu'il est facile de générer du H_2WO_4 en dessous de pH 6 (Chapitre 3.1). La capacité thermique (C_p) augmente linéairement avec la température, qui est d'environ 120 J/mol·K à 298 K. À haute température (> 700 °C), il se décompose en WO_3 et Na_2O , et la réaction est la suivante :



Français Les études cinétiques se concentrent sur la réaction de coordination et le comportement de diffusion du tungstate. Les calculs de la théorie de l'état de transition (TST) montrent que l'énergie d'activation de WO_4^{2-} et Pb^{2+} pour former PbWO_4 est d'environ 20 kJ/mol, et la constante de vitesse de réaction est de 10^5 - 10^6s^{-1} (298 K). Ces données soutiennent les performances d'adsorption efficaces du tungstate de sodium dans le traitement des eaux usées (chapitre 9.1). Les modèles thermodynamiques et cinétiques doivent être combinés à une vérification expérimentale (telle que DSC, TGA) pour améliorer la précision des prédictions.

11.3 Simulation de la dynamique moléculaire du tungstate de sodium

Les simulations de dynamique moléculaire (MD) sont utilisées pour étudier le comportement dynamique du tungstate de sodium en solution et à l'état solide. Les logiciels LAMMPS ou GROMACS sont utilisés, et les champs de force (tels que UFF ou ReaxFF) décrivent les interactions entre Na^+ , WO_4^{2-} et les molécules d'eau. En solution aqueuse (298 K, 1 M Na_2WO_4), les simulations MD montrent que le coefficient de diffusion de WO_4^{2-} est de $1,2 \times 10^{-9}\text{m}^2/\text{s}$, que la couche d'hydratation contient 6 à 8 molécules H_2O et que la durée de vie de la liaison hydrogène est d'environ 2 ps.

la vibration du réseau (spectre de phonons) du dihydrate $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ montre un mode d'étirement de WO à 800 - 900cm^{-1} , cohérent avec le spectre infrarouge (Chapitre 1.4). La MD à haute température (500-700 K) prédit le comportement de déshydratation et de transition de phase du cristal, vérifiant le processus de séchage au chapitre 5.4. La MD est également utilisée pour simuler la diffusion Na^+ du tungstate de sodium dans les électrodes de batterie (chapitre 9.3), avec une barrière de migration d'environ 0,3 eV. Les défis incluent la précision des paramètres du champ de force, qui doivent être combinés avec la mécanique quantique (QM/MM) pour améliorer la fiabilité de la simulation.

11.4 Calcul chimique quantique du tungstate de sodium

Les calculs de chimie quantique permettent une analyse approfondie des propriétés moléculaires et interfaciales du tungstate de sodium. À l'aide des logiciels Gaussian ou ORCA, les orbitales moléculaires (écart HOMO-LUMO d'environ 5,5 eV) et les fréquences vibrationnelles (pic

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

d'étirement WO à 850 cm^{-1}) de WO_4^{2-} sont calculées par la méthode B3LYP ou CCSD(T). Les études d'interface se concentrent sur l'interaction entre le tungstate de sodium et des substrats (tels que TiO_2 , protéines). Par exemple, l'énergie d'adsorption de WO_4^{2-} sur la surface $\text{TiO}_2(101)$ est de $-1,5 \text{ eV}$, ce qui améliore l'activité photocatalytique (chapitre 9.2).

Le calcul révèle également le rôle du tungstate de sodium dans les systèmes biologiques, notamment sa liaison à l'enzyme PTP1B (chapitre 8, 8.1), avec une énergie de liaison d'environ -30 kJ/mol , ce qui indique son potentiel pour la simulation de l'insuline. Les méthodes de chimie quantique nécessitent des bases de haute précision (telles que 6-311++G**), mais leur coût de calcul est élevé et elles conviennent aux simulations de petits systèmes. À l'avenir, elles pourront être combinées à la modélisation multi-échelle et étendues aux systèmes complexes (tels que les nanocomposites, chapitre 10, 10.1).

11.5 Application de l'apprentissage automatique à la prédiction des propriétés du tungstate de sodium

L'apprentissage automatique (ML) apparaît progressivement dans l'optimisation des performances du tungstate de sodium pour prédire les propriétés des matériaux et les conditions d'application. À partir de données expérimentales et DFT, un ensemble de données (comprenant la bande interdite, l'énergie d'adsorption, le coefficient de diffusion, etc.) est construit et un modèle de forêt aléatoire (RF) ou de réseau neuronal (NN) est utilisé. Par exemple, le modèle RF prédit l'efficacité de dégradation des photocatalyseurs à base de WO_3 (chapitre 9.2) avec une précision supérieure à 90 %, et les caractéristiques d'entrée incluent la concentration de dopage, la taille des particules et le pH.

Dans les applications de batteries (chapitre 9, 9.3), les modèles d'apprentissage profond (DL) prédisent le coefficient de diffusion de Na^+ avec une erreur inférieure à 5 %, ce qui est meilleur que les simulations MD traditionnelles. Le ML est également utilisé pour l'évaluation de la toxicité (chapitre 8, 8.4), prédisant la DL50 via le modèle QSPR avec un coefficient de corrélation $R^2 > 0,85$. Les défis incluent la taille de l'ensemble de données (> 1 000 échantillons requis) et l'ingénierie des fonctionnalités, qui nécessite l'intégration de calculs à haut débit et de données expérimentales. Les plateformes open source (telles que Materials Project) soutiennent la recherche en ML, ce qui permettra un criblage rapide des performances du tungstate de sodium et l'optimisation des procédés à l'avenir.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

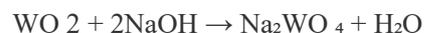


Chapitre 12 Étude expérimentale sur le tungstate de sodium

Le tungstate de sodium (Na_2WO_4) est un produit chimique multifonctionnel. Ses recherches expérimentales fournissent des données clés pour vérifier les prédictions théoriques, optimiser les performances et élargir les applications. Ce chapitre présente de manière systématique la technologie de synthèse et de caractérisation du tungstate de sodium, l'évaluation expérimentale des performances catalytiques, les tests de performance électrochimique, les expériences d'activité biologique et les expériences d'application environnementale. Il explique également les méthodes expérimentales et les résultats de recherche afin de fournir une base expérimentale pour la science des matériaux et le développement d'applications.

12.1 Technologie de synthèse et de caractérisation du tungstate de sodium

La synthèse expérimentale du tungstate de sodium utilise généralement la méthode de précipitation chimique ou la méthode hydrothermale (chapitre 4.2). L'oxyde de tungstène (WO_3) est utilisé comme matière première et réagit avec l'hydroxyde de sodium (NaOH) à 80-100 °C pour former une solution de Na_2WO_4 . La réaction est la suivante :



La solution a été refroidie et cristallisée (5-10 °C) pour obtenir des cristaux de $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ avec un rendement supérieur à 90 %. Les techniques de caractérisation comprennent :

- **Diffraction des rayons X (DRX)** : Confirmation que le dihydrate est orthorhombique (Pnma), avec des paramètres de maille unitaire $a=5,27 \text{ \AA}$, $b=10,77 \text{ \AA}$, $c=7,34 \text{ \AA}$.
- **Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)** : Le pic de vibration d'étirement WO est à $830-850 \text{ cm}^{-1}$ et le pic OH est à 3400 cm^{-1} (eau cristallisée).
- **Microscopie électronique à balayage (MEB)** : Observer la morphologie cristalline, taille des particules 50-200 μm .
- **Spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS)** : Détermination de la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

pureté (> 99,5 %) et des impuretés (telles que Mo < 0,01 %).

L'expérience nécessite de contrôler le pH de la solution (8-10) et la vitesse de cristallisation afin d'éviter les produits amorphes. Les données de caractérisation ont confirmé la morphologie du chapitre 2.1 et l'analyse de pureté du chapitre 6.1.

12.2 Évaluation expérimentale des performances catalytiques du tungstate de sodium

L'expérience de performance catalytique du tungstate de sodium se concentre sur la réaction d'oxydation (chapitre 7.2). Prenons l'exemple de la dégradation photocatalytique du bleu de méthylène (MB).

Étapes expérimentales :

1. Préparez une solution de Na_2WO_4 à 0,5 g/L, mélangez-la avec TiO_2 (P25, 0,1 g/L) et remuez pour former un catalyseur composite.
2. Du MB (10 mg/L) a été ajouté et irradié avec une lampe au xénon de 300 W ($\lambda > 400$ nm) pendant 2 h.
3. La concentration de MB a été mesurée par spectroscopie UV-Vis (664 nm) et le taux de dégradation a atteint 85 à 90 %.

Français L'analyse cinétique a montré que la réaction était conforme à la cinétique du premier ordre avec une constante de vitesse de $k = 0,02 \text{ min}^{-1}$. L'efficacité catalytique était affectée par le pH (4-6) et la concentration en Na_2WO_4 (0,1-1 g/L), et un pH élevé (> 8) réduisait l'activité. L'expérience a également vérifié l'effet catalytique de Na_2WO_4 dans l'époxydation du cyclohexène (oxydant H_2O_2), avec un rendement de 80 %. Le taux de récupération du catalyseur était > 95 % (séparation centrifuge), ce qui est adapté à l'industrialisation (chapitre 9 9.2).

12.3 Essai expérimental des performances électrochimiques du tungstate de sodium

Des expériences électrochimiques évaluent les performances du tungstate de sodium dans les batteries et la galvanoplastie (chapitres 9.3 et 7.5). Prenons l'exemple de l'électrode négative d'une batterie sodium-ion : l'électrode à base de WO_3 est préparée par réduction thermique de Na_2WO_4 .



Le dispositif expérimental est un système à trois électrodes (électrode de travail : WO_3 /tissu de carbone, contre-électrode : Pt, électrode de référence : Ag/AgCl), et l'électrolyte est 1 M Na_2SO_4 . La voltamétrie cyclique (CV) montre que les pics d'insertion/extraction de Na^+ sont à -0,2 V et 0,1 V, avec une capacité d'environ 250 mAh/g (0,1 C). Le test de charge et de décharge (100 cycles) a montré un taux de rétention de capacité de > 90 %, vérifiant la stabilité élevée du cycle.

Lors de l'expérience de galvanoplastie, du Na_2WO_4 (50 g/L) et du NiSO_4 (30 g/L) ont été utilisés pour préparer la solution de placage, avec une densité de courant de 2 A/dm². Un revêtement Ni-W a été déposé avec une dureté de 700 HV et une teneur en W de 15 %. L'essai électrochimique

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

nécessite de contrôler le pH (7-8) et la température (50 °C) de l'électrolyte afin de garantir l'uniformité du revêtement.

12.4 Étude expérimentale sur l'activité biologique du tungstate de sodium

Des expériences d'activité biologique ont vérifié le potentiel du tungstate de sodium dans le traitement du diabète et comme antibactérien (chapitre 8, 8.1-8.2). Dans l'étude sur le diabète, des expériences in vitro ont utilisé des cellules résistantes à l'insuline (HepG2, induites par une glycémie élevée de 25 mM). Après l'ajout de Na_2WO_4 (0,1-0,5 mM), après 24 heures, le taux d'absorption du glucose a augmenté de 30 %, et l'expression de GLUT4 a été régulée à la hausse de 1,5 fois, et le mécanisme impliquait l'inhibition de PTP1B.

L'expérience antibactérienne a testé l'effet inhibiteur de Na_2WO_4 sur Escherichia coli (E. coli) et Staphylococcus aureus (S. aureus).

Méthode : Solution de Na_2WO_4 à 0,2 mM, cultivée à 37 °C pendant 24 heures ; les taux d'inhibition étaient respectivement de 80 % et 65 %. L'observation au microscope électronique à balayage a montré que la membrane bactérienne était rompue, ce qui a été attribué à l'oxydation de WO_4^{2-} . La concentration de Na_2WO_4 (< 1 mM) doit être contrôlée dans l'expérience pour éviter la cytotoxicité (chapitre 8, 8.4). Les résultats soutiennent le développement de revêtements antibactériens (chapitre 10, 10.2).

12.5 Étude expérimentale sur l'application environnementale du tungstate de sodium

Les expériences environnementales se concentrent sur le traitement des eaux usées et la photocatalyse (chapitre 9, 9.1-9.2). Expérience d'adsorption de métaux lourds : préparer des eaux usées contenant du Pb^{2+} (100 mg/L), ajouter 0,5 g/L de Na_2WO_4 , pH 6-7, et après 30 minutes, la concentration en Pb^{2+} chute à 0,3 mg/L, avec un taux d'élimination supérieur à 99 %. Le précipité (PbWO_4) est confirmé par XRD, et le taux de récupération est > 98 %.

Expérience photocatalytique : un catalyseur composite $\text{Na}_2\text{WO}_4 / \text{Bi}_2\text{O}_3$ (0,3 g/L) a dégradé le phénol (20 mg/L), irradié par une lampe au xénon de 500 W pendant 4 heures, avec un taux d'élimination de 85 %. L'analyse du COT a montré un taux de minéralisation de 70 %, indiquant que la matière organique était décomposée en CO_2 et H_2O . L'expérience a optimisé le dosage du catalyseur (0,2-0,5 g/L) et l'intensité lumineuse (100-500 mW/cm²). Les applications environnementales doivent résoudre les problèmes de stabilité à long terme du catalyseur (> 100 heures) et de recyclage à grande échelle.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



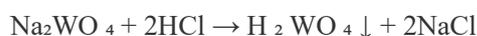
Chapitre 13 Sécurité et manipulation du tungstate de sodium

En tant que produit chimique, le tungstate de sodium (Na_2WO_4) doit être strictement conforme aux réglementations de sécurité en matière de production, de recherche et d'application afin de protéger la santé du personnel et la sécurité environnementale. Ce chapitre présente de manière systématique les dangers physiques et chimiques du tungstate de sodium, les équipements de protection individuelle et les exigences de sécurité d'exploitation, de stockage et de transport, les interventions d'urgence et la gestion des fuites, ainsi que les réglementations relatives à l'élimination des déchets et à l'environnement, afin de fournir des conseils pour une utilisation sûre et de faire écho au chapitre réglementaire suivant (chapitre 15).

13.1 Dangers physiques et chimiques du tungstate de sodium

($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ou de poudre blancs ou légèrement jaunes. Ses propriétés chimiques sont stables, mais il présente des dangers potentiels :

- **Dangers physiques** : La poussière de tungstate de sodium peut irriter les yeux, la peau et les voies respiratoires. L'inhalation de fortes concentrations ($> 10 \text{ mg/m}^3$) de poussière peut provoquer une toux ou une irritation de la gorge. Une exposition prolongée peut provoquer une irritation pulmonaire.
- **Risques chimiques** : La solution aqueuse de tungstate de sodium est faiblement alcaline (pH 8-9) et, à forte concentration ($> 10 \% \text{ p/v}$), peut provoquer de légères brûlures cutanées. Le tungstate de sodium réagit avec un acide fort pour former un précipité d'acide tungstique (H_2WO_4). La réaction est la suivante :



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La réaction peut dégager une faible quantité de chaleur ; il est donc conseillé d'éviter tout mélange avec des substances acides. Le tungstate de sodium n'est pas significativement oxydant ni inflammable, mais il se décompose en oxyde de tungstène (WO_3) et en oxyde de sodium (Na_2O) à haute température ($> 698\text{ }^\circ\text{C}$), ce qui peut libérer des gaz irritants.

- **Toxicité** : La toxicité orale aiguë est faible (DL50 environ 1,4-2,0 g/kg, souris), mais une exposition à long terme à des doses élevées peut affecter la fonction hépatique et rénale (chapitre 8, 8.4).

L'évaluation des risques est basée sur les fiches de données de sécurité (FDS) et la norme GB/T 30810, et l'exploitation doit se référer à la limite d'exposition professionnelle (PEL : 5 mg/m^3 , composés de tungstène).

13.2 Équipement de protection individuelle et fonctionnement sûr

La manipulation sûre du tungstate de sodium nécessite un équipement de protection individuelle (EPI) approprié et le respect des réglementations :

- **Équipement de protection** :
 - **Protection respiratoire** : Portez un masque anti-poussière N95 ou P2 certifié NIOSH lors de la manipulation de poudre pour éviter l'inhalation de poussière.
 - **Protection des yeux** : Porter des lunettes de protection chimique (conformes à la norme EN 166) pour éviter que la solution ou la poussière ne pénètre dans les yeux.
 - **Protection cutanée** : Porter des gants en nitrile et une blouse de laboratoire à manches longues pour éviter tout contact avec la peau. En cas de projection, rincer immédiatement à l'eau claire pendant 15 minutes.
- **Fonctionnement sûr** :
 - Manipuler le tungstate de sodium sous une hotte aspirante (vitesse de l'air $> 0,5\text{ m/s}$) pour éviter la dispersion des poussières.
 - Utilisez des récipients fermés pour la pesée et le transfert afin de réduire la production de poussière.
 - comme HCl , H_2SO_4) ou des oxydants (tels que H_2O_2) pour éviter des réactions inattendues.
 - Se laver les mains et nettoyer la zone de travail après manipulation pour éviter toute contamination résiduelle.

Formez les employés à se conformer aux normes OSHA ou GB 2626 et assurez-vous qu'ils connaissent les fiches de données de sécurité (chapitres 15, 15.6) et les mesures d'urgence.

13.3 Exigences de stockage et de transport du tungstate de sodium

Le stockage et le transport du tungstate de sodium doivent être conformes aux réglementations de gestion des produits chimiques afin d'éviter les fuites et la pollution de l'environnement :

- **Exigences de stockage** :
 - Conserver dans des récipients en plastique ou en verre fermés dans un entrepôt

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

frais (15-25°C), sec (humidité <60%) et bien ventilé.

- Tenir à l'écart des substances acides, des oxydants forts et des sources de chaleur (> 50 °C) pour éviter toute décomposition ou réaction.
- avec le nom chimique (Na_2WO_4), le numéro CAS (13472-45-2), l'avertissement de danger et la date de production.

- **Conditions d'expédition :**

- Transporté comme produit chimique non dangereux (numéro ONU), mais doit être conforme aux réglementations IATA et IMDG.
- Utilisez un emballage étanche (comme des sacs en plastique doubles ou des fûts en acier) et apposez la fiche signalétique et les étiquettes d'expédition.
- Évitez les températures élevées ou les vibrations importantes dans les véhicules de transport et manipulez-les avec précaution pendant le chargement et le déchargement pour éviter d'endommager le conteneur.

Le stockage et le transport nécessitent des inspections régulières (tous les 6 mois) pour garantir la conformité avec la norme GB/T 31906 et les réglementations locales.

Intervention d'urgence et gestion des fuites de tungstate de sodium

En cas de fuite de tungstate de sodium ou d'urgence, une intervention rapide est nécessaire pour réduire les risques pour le personnel et l'environnement :

- **Traitement des fuites :**

- Petit déversement (<1 kg) : Porter un EPI, nettoyer avec un chiffon humide ou un aspirateur (avec filtre HEPA), collecter les déchets dans des conteneurs scellés pour éviter la poussière.
- Déversements importants (> 1 kg) : évacuer la zone, restreindre l'accès, contenir avec du sable ou un adsorbant neutre (par exemple du gel de silice), transférer dans un conteneur pour déchets dangereux.
- Aérez la zone de fuite et rincez les résidus (diluez avec de l'eau à pH 6-8) pour éviter qu'ils ne pénètrent dans le plan d'eau.

- **Mesures de premiers secours :**

- **Contact avec la peau** : Rincer abondamment à l'eau pendant 15 minutes pour éliminer tout résidu et appliquer une crème hydratante si nécessaire.
- **Contact avec les yeux** : rincer immédiatement avec une solution saline ou de l'eau pendant 15 à 20 minutes et consulter un médecin dès que possible.
- **Inhalation** : Transporter à l'air libre, surveiller les difficultés respiratoires, donner de l'oxygène et consulter un médecin.
- **Ingestion** : Rincer la bouche, boire 500 à 1 000 ml d'eau, ne pas faire vomir, consulter immédiatement un médecin.

- **Mesures de lutte contre l'incendie** : Le tungstate de sodium est ininflammable. Utiliser de la poudre sèche ou du CO_2 pour éteindre les incendies à proximité et éviter que le débit d'eau n'impacte les matériaux qui fuient.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

L'intervention d'urgence nécessite une trousse de premiers soins et des outils de gestion des déversements, reportez-vous à la norme NFPA 704 (risque pour la santé : 1, incendie : 0, réactivité : 1).

13.5 Élimination des déchets et réglementation environnementale du tungstate de sodium

L'élimination des déchets de tungstate de sodium doit être conforme aux réglementations environnementales afin de prévenir la pollution de l'eau et du sol :

- **Classification des déchets** : Les déchets de tungstate de sodium, les déchets d'emballages et les déchets liquides contenant du tungstène sont des déchets dangereux, numérotés HW48 (contenant des déchets de métaux lourds).
- **Méthode de traitement** :
 - **Déchets solides** : collectés dans des conteneurs scellés et confiés à des unités qualifiées (comme des usines de traitement des déchets dangereux) pour incinération ou enfouissement sécurisé. Le taux de récupération du tungstène peut atteindre 80 %.
 - **Eaux usées** : Neutraliser à pH 6-8, précipiter l'acide tungstique (H_2WO_4), récupérer les solides après filtration et traiter le filtrat par osmose inverse pour respecter les normes de rejet (tungstène < 0,5 mg/L, GB/T 500).
 - **Gaz résiduels** : La poussière est traitée par un filtre à manches et la concentration d'émission est < 1 mg/m³ (GB 16297).
- **Réglementation environnementale** :
 - **Chine** : La loi sur la prévention et le contrôle de la pollution de l'environnement par les déchets solides (révisée en 2020) exige la réduction des déchets et l'utilisation des ressources.
 - **International** : Directive RoHS de l'UE (2011/65/UE), limitant le rejet de déchets contenant du tungstène ; la Convention de Bâle réglemente les transferts transfrontaliers.
 - **Recyclage** : Le tungstate de sodium présent dans les déchets liquides est récupéré par échange d'ions (chapitre 5.6) et le taux de recyclage est > 15 %.

Les registres de traitement doivent être conservés pendant 5 ans conformément au système de gestion environnementale ISO 14001. Une surveillance régulière des eaux usées et du sol (deux fois par an) garantit que les concentrations de tungstène sont inférieures aux limites de risque écologique.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Chapitre 14 Marché mondial du tungstate de sodium

En tant que produit chimique clé dans la chaîne industrielle du tungstène, le tungstate de sodium (Na_2WO_4) joue un rôle important sur le marché mondial. Ce chapitre analyse systématiquement la production et la consommation de tungstate de sodium, les principaux pays producteurs, la demande du marché et la répartition des applications, les tendances des prix et les facteurs d'influence, ainsi que la concurrence et les grandes entreprises. Il fournit des informations sur le marché pour le développement industriel et les décisions d'investissement, et établit un lien avec les réglementations ultérieures (chapitre 15) et l'impact environnemental (chapitre 16).

14.1 Aperçu de la production et de la consommation de tungstate de sodium

En 2024, la production annuelle mondiale de tungstate de sodium est d'environ 52 000 tonnes (en WO_3), principalement extraite de la scheelite (CaWO_4) ou de la wolframite (FeWO_4) par hydrométallurgie (Chapitre 5.2). La Chine est en tête de la production, contribuant à environ 75 % (39 000 tonnes), et d'autres pays comme la Russie, le Canada et l'Australie représentent le reste. Le processus de production comprend la dissolution alcaline du minerai (NaOH ou Na_2CO_3) et la purification par cristallisation, avec un rendement de 90 à 95 %.

Français La consommation est d'environ 49 000 tonnes, la région Asie-Pacifique représentant 60 % (Chine, Inde, Japon), l'Europe et l'Amérique du Nord représentant respectivement 18 % et 15 %. Les principaux domaines de consommation comprennent la métallurgie du tungstène (50 %, chapitre 7.1), les catalyseurs (20 %, chapitre 7.2), les applications environnementales (15 %,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

chapitres 9.1-9.2) et les technologies émergentes (15 %, chapitres 10.1-10.5). De 2020 à 2024, la consommation mondiale augmentera à un taux annuel moyen de 3,5 %, tirée par les nouvelles énergies (chapitre 9.3) et les besoins de protection de l'environnement. Au cours des cinq prochaines années (2025-2030), la consommation devrait augmenter à un taux annuel moyen de 4 % pour atteindre 60 000 tonnes.

14.2 Principaux pays producteurs de tungstate de sodium (Chine, États-Unis, Russie, etc.)

- **Chine** : Premier producteur mondial, principalement concentré dans le Jiangxi, le Hunan et le Henan, s'appuyant sur des bases minières de tungstène comme Ganzhou et Zhuzhou. Sa production s'élèvera à 39 000 tonnes en 2024, soit 75 % de la production mondiale. Des entreprises comme China Tungsten Intelligent Manufacturing ont réduit leurs coûts grâce à des améliorations technologiques (comme l'échange d'ions, chapitre 5, section 5.6), et les exportations représentent 65 % du commerce mondial.
- **États-Unis** : La production est d'environ 3 000 tonnes (6 % de la production mondiale), principalement produite par Global Tungsten & Powders (GTP), dont la Pennsylvanie est le principal opérateur. Cette société dépend des importations de concentré de tungstène, et son coût de production est relativement élevé (environ 25 000 USD/tonne).
- **Russie** : La production s'élève à 2 500 tonnes (5 % de la production mondiale), dominée par Wolfram Company, qui dispose de riches ressources en tungstène en Sibérie. La géopolitique (comme le conflit entre la Russie et l'Ukraine) affecte les exportations, et l'offre vers l'Europe chutera de 20 % en 2024.
- **Autres pays** : Le Canada (Kennametal, 1 500 tonnes), l'Australie (Tungsten Mining NL, 1 000 tonnes) et le Vietnam (Masan High-Tech Materials, 500 tonnes) ont une production plus modeste, représentant 14 % du total. Ces pays privilégient les produits à forte valeur ajoutée (comme le Na_2WO_4 de qualité analytique).

Avec un degré élevé de concentration de la production ($\text{CR}_4 \approx 80\%$), la position dominante de la Chine ne devrait pas être ébranlée à court terme, mais l'épuisement des ressources et la pression environnementale (chapitre 16.1) pourraient inciter la production à se déplacer vers d'autres pays.

14.3 Demande du marché et répartition des applications du tungstate de sodium

pour le tungstate de sodium est étroitement liée à sa distribution d'application :

- **Métallurgie du tungstène (50%)** : production de paratungstate d'ammonium (APT) et de poudre de tungstène (chapitre 7.1), utilisés dans le carbure cémenté (automobile, aérospatiale, chapitre 10.5), avec une demande stable et une croissance annuelle de 2%.
- **Catalyseurs (20%)** : La pétrochimie (époxydation, chapitre 7.2) et la photocatalyse (dégradation des polluants, chapitre 9.2), portées par les politiques de chimie verte (comme le Green Deal de l'UE), ont progressé de 5% sur un an.
- **Applications environnementales (15 %)** : Le traitement des eaux usées (adsorption des métaux lourds, chapitre 9, 9.1) et l'assainissement des sols (chapitre 9, 9.5), poussés par la crise mondiale de l'eau et les réglementations environnementales (telles que RoHS, chapitre

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

15, 15.3), ont augmenté de 6 % sur un an.

- **Domaines émergents (15 %)** : batteries sodium-ion (chapitre 9, 9.3), nanomatériaux (chapitre 10, 10.1) et capteurs (chapitre 10, 10.2). Les nouvelles énergies et la fabrication intelligente stimulent la demande, avec une croissance annuelle de 8 %.

En 2024, le tungstate de sodium de qualité industrielle (> 98 %) représente 80 % du marché, la qualité analytique (> 99,5 %) et la qualité pharmaceutique (chapitre 8.1) représentent 20 %, et cette dernière connaît une croissance rapide (10 % par an). La demande dans la région Asie-Pacifique est forte (60 %) en raison de l'industrialisation accélérée de la Chine et de l'Inde ; la demande en Amérique du Nord et en Europe tend à concerner des applications à forte valeur ajoutée.

14.4 Tendances des prix et facteurs d'influence du tungstate de sodium

En 2024, le prix moyen mondial du tungstate de sodium de qualité industrielle sera de 22 000 à 26 000 dollars américains la tonne, et celui du tungstate de sodium de qualité analytique d'environ 32 000 dollars américains la tonne. De 2019 à 2024, le prix fluctuera de 10 à 15 %, sous l'effet des facteurs suivants :

- **Prix des matières premières** : Le concentré de tungstène (teneur en $WO_3 > 65\%$) se vend entre 160 et 200 USD/tonne, ce qui représente 50 % des coûts de production. La pénurie d'approvisionnement consécutive à l'épidémie de 2022 a fait grimper les prix, qui se sont stabilisés en 2024.
- **Quota d'exportation de la Chine** : Le quota pour 2024 est de 42 000 tonnes de WO_3 , ce qui limite l'offre et entraîne une pression à la hausse sur les prix (augmentation d'environ 5 %).
- **Coût de l'énergie** : L'hydrométallurgie consomme environ 500 kWh d'électricité par tonne (chapitre 5.3). La hausse des prix mondiaux de l'électricité (0,1 à 0,15 USD/kWh) accroît les coûts de 3 à 5 %.
- **Demande du marché** : La demande de nouvelles applications énergétiques et de protection de l'environnement a fortement augmenté (chapitre 9, 9.3-9.5), entraînant une hausse du prix des produits de qualité analytique. La fluctuation du taux de change du dollar américain affecte également le commerce international (l'indice du dollar américain augmentera de 2 % en 2024).

Au cours des cinq prochaines années, le prix devrait augmenter modérément (2 à 3 % par an) pour atteindre 28 000 USD/tonne (2030). Le recyclage des déchets de tungstène (chapitre 16.4) peut réduire les coûts de 10 % et atténuer la pression sur les prix.

Concurrence sur le marché du tungstate de sodium et analyse des principales entreprises

La concurrence sur le marché du tungstate de sodium est intense, CR4 (part de marché des trois premières entreprises) représentant environ 70 %. Principales entreprises :

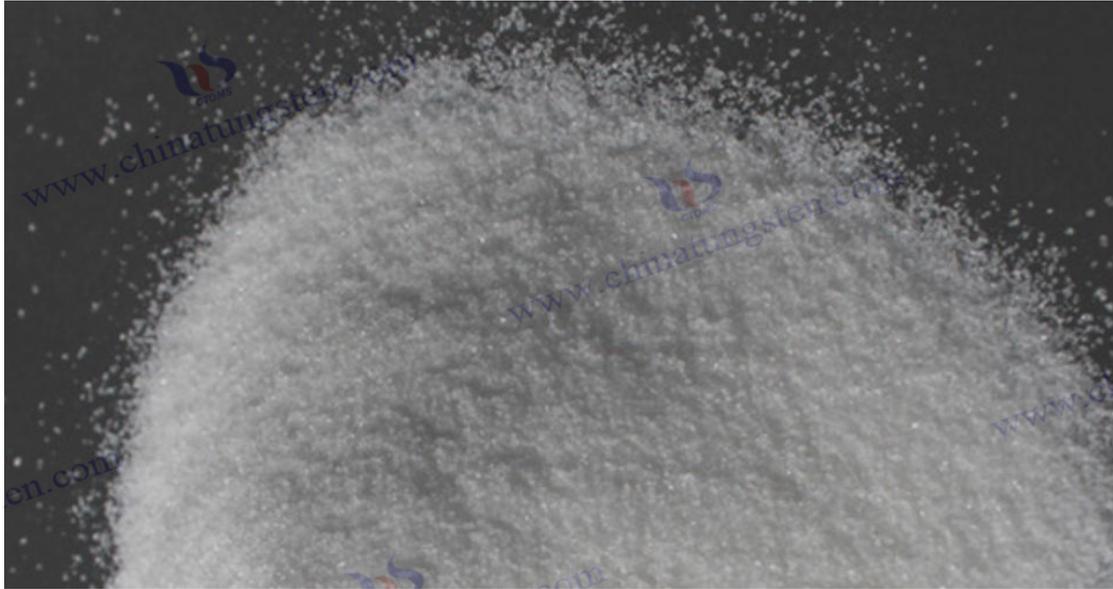
- **China Tungsten Intelligent Manufacturing (Chine)** : Un leader mondial avec une production de 13 000 tonnes en 2024 (25 % de parts de marché), des avantages

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

technologiques (hydrométallurgie à faible coût, chapitre 5.2) et un réseau d'exportation couvrant 50 pays.

- **HC Starck (Allemagne)** : Le volume de production est de 3 500 tonnes (7 %), ciblant principalement le marché européen, et ses produits sont utilisés dans les catalyseurs et les nanomatériaux (chapitre 7.2, chapitre 10.1).
- **Global Tungsten & Powders (USA)** : Volume de production : 3 000 tonnes (6 %), axé sur l'aérospatiale nord-américaine (chapitre 10, 10.5), avec des coûts plus élevés mais une forte prime de marque.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Chapitre 15 Réglementations et normes relatives au tungstate de sodium

En tant que produit chimique largement utilisé, la production, la circulation et l'utilisation du tungstate de sodium (Na_2WO_4) doivent respecter des réglementations et des normes strictes pour garantir la qualité, la sécurité et la conformité. Ce chapitre présente systématiquement les normes internationales (ISO, ASTM), les normes nationales chinoises (GB/T), les réglementations environnementales et de sécurité (REACH, RoHS), les exigences de conformité médicale et alimentaire, la propriété intellectuelle et la protection des brevets, ainsi que la fiche de données de sécurité (FDS) du tungstate de sodium de CTIA GROUP LTD afin de fournir des orientations pour les opérations de conformité et de faire le lien avec les chapitres précédents (tels que le chapitre 13 « Sécurité » et le chapitre 14 « Marché »).

15.1 Normes internationales pour le tungstate de sodium (ISO, ASTM)

Les normes internationales garantissent une qualité et des méthodes de test cohérentes pour le tungstate de sodium pour le commerce et les applications mondiales :

- **La norme ISO 6353-3:1987** (Réactifs pour analyses chimiques) spécifie les méthodes d'analyse des tungstates, notamment la détermination de la teneur en tungstène ($\text{WO}_3 > 59,5\%$) par ICP-MS et la détection des impuretés (telles que $\text{Fe} < 0,01\%$, $\text{Mo} < 0,05\%$) par AAS. Elle s'applique au tungstate de sodium de qualité industrielle et analytique (chapitre 6, 6.5).
- **ISO 14940:2001 (Spécification générale pour les composés de tungstène) : définit les exigences de pureté (> 98 %), la granulométrie (50-200 μm) et les normes d'emballage pour le tungstate de sodium, garantissant cohérence et traçabilité.**
- **ASTM E1447-09 (Détermination des composés de tungstène) : Déterminer la teneur en WO_3 par fluorescence X ou titrage. Pureté industrielle > 98 %, pureté analytique > 99,5 %. Les limites d'impuretés incluent $\text{Ca} < 0,02\%$, $\text{Na} < 0,1\%$ (chapitre 6.1).**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **ASTM D4058-96** (Spécifications pour les composés de tungstène) : spécifie la composition chimique du tungstate de sodium utilisé comme catalyseur (chapitre 7.2) et pigment (chapitre 7.3), en mettant l'accent sur la limite des métaux lourds (Pb < 0,01 %).

Ces normes exigent que les tests soient effectués dans un laboratoire accrédité ISO/IEC 17025 à l'aide d'échantillons standard (tels que NIST SRM 3163) pour garantir des résultats précis et soutenir l'application du chapitre 14.3 sur le marché.

15.2 Norme nationale chinoise pour le tungstate de sodium (GB/T)

La norme nationale chinoise (GB/T) régleme la production et la qualité du tungstate de sodium pour répondre à la demande du marché intérieur :

- **GB/T 26037-2020** (Conditions techniques pour le tungstate de sodium) : stipule que la teneur en WO_3 du tungstate de sodium de qualité industrielle doit être supérieure à 59 %, la limite d'impuretés doit être (Mo < 0,05 %, Fe < 0,01 %, Ca < 0,02 %), la granulométrie doit être comprise entre 50 et 200 μm et il est adapté à la métallurgie du tungstène (chapitre 7.1) et à la catalyse (chapitre 7.2). La qualité analytique exige une pureté supérieure à 99,5 % et une teneur en métaux lourds inférieure à 10 ppm.
- **GB/T 30810-2014** (Analyse chimique des composés de tungstène) : Détermination de la teneur en tungstène par ICP-OES, vérification de la pureté de Na_2WO_4 par titrage, et limite de détection à 0,001 %. Elle spécifie les méthodes d'essai pour l'eau (< 0,5 %) et les matières insolubles (< 0,02 %) (chapitre 6, 6.2).
- **GB/T 31906-2015** (Emballage des produits chimiques à base de tungstène) : exige que le tungstate de sodium soit emballé dans des sacs en plastique à double couche ou des fûts en acier, marqués du numéro CAS (13472-45-2), du numéro de lot et du poids net (25 kg ou 50 kg), et conforme aux exigences de stockage du chapitre 13, 13.3.

Ces normes sont émises par l'Administration de normalisation de Chine et doivent être mises à jour régulièrement (tous les 5 ans) pour garantir qu'elles sont alignées sur les normes internationales, soutenant ainsi la domination manufacturière de la Chine.

15.3 Réglementations environnementales et de sécurité du tungstate de sodium (REACH, RoHS)

Les réglementations environnementales et de sécurité limitent le rejet et l'utilisation du tungstate de sodium afin de protéger la santé humaine et l'écologie (chapitre 13, 13.5) :

- **Règlement REACH de l'UE** (CE 1907/2006) : Le tungstate de sodium doit être enregistré auprès de l'ECHA (CAS 13472-45-2) et un rapport sur la sécurité chimique (CSR) doit être soumis, comprenant les données de toxicité (chapitre 8.4) et les scénarios d'exposition (production, utilisation de catalyseur). Une production annuelle > 1 tonne nécessite des données d'écotoxicité (CL50 > 100 mg/L, organismes aquatiques). Le tungstate de sodium n'est pas répertorié comme SVHC, mais les impuretés (comme le Mo) sont limitées.
- **Directive RoHS de l'UE** (2011/65/UE) : limite la teneur en composés de tungstène dans les équipements électriques et électroniques (< 0,1 % p/p) et encourage le développement

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de pigments de tungstate sans plomb (chapitre 7.3). L'élimination des déchets doit être conforme à la directive-cadre relative aux déchets (2008/98/CE).

- **Chine** : La loi sur la protection de l'environnement (révisée en 2014) et la norme GB 8978-1996 stipulent que la concentration en tungstène dans les eaux usées est inférieure à 0,5 mg/L, et que les eaux usées doivent être neutralisées (pH 6-8) et précipitées par H_2WO_4 (chapitre 5, 5.6). La loi sur la prévention et le contrôle de la pollution environnementale par les déchets solides (révisée en 2020) exige que les déchets dangereux (HW48) soient remis à des unités qualifiées pour traitement (chapitre 16, 16.4).
- **SGH** (Système mondial de classification et d'étiquetage des produits chimiques) : Le tungstate de sodium est classé « irritation cutanée catégorie 2 » (H315) et « irritation oculaire catégorie 2 » (H319). L'étiquette doit comporter le mot d'avertissement « Attention » et les mesures de protection (chapitre 13.2).

La conformité nécessite un suivi régulier des émissions (une fois par trimestre) et la soumission de rapports environnementaux conformément à la norme ISO 14001 (chapitre 16.5).

Exigences de conformité pour le tungstate de sodium de qualité médicale et alimentaire

Le tungstate de sodium de qualité médicale et alimentaire est utilisé dans la recherche sur le diabète (chapitre 8.1) et d'autres applications biologiques et doit répondre à des exigences de conformité strictes :

- **Pharmacopée chinoise (édition 2020)** : pureté du tungstate de sodium de qualité médicale > 99,9 %, métaux lourds < 10 ppm (Pb, As, Cd), limites microbiennes (bactéries < 100 UFC/g, aucune bactérie pathogène). La teneur en WO_4^{2-} doit être vérifiée par HPLC pour répondre aux exigences de production GMP.
- **FDA américaine** : Le tungstate de sodium utilisé comme excipient pharmaceutique doit être conforme aux normes 21 CFR 172 (additifs alimentaires) ou 21 CFR 312 (nouveaux médicaments expérimentaux), et les tests de toxicité (DL50 1,4-2,0 g/kg, chapitre 8 8.4) nécessitent une demande d'IND. Les applications de qualité alimentaire (comme les agents antimicrobiens) nécessitent la certification GRAS.
- **EFSA UE** : Le tungstate de sodium de qualité alimentaire doit être conforme au règlement (CE) 1333/2008 et évaluer la dose journalière admissible (DJA, non fixée en raison de sa faible toxicité). Le tungstate de sodium de qualité médicale doit passer l'enregistrement des essais cliniques de l'EMA (chapitre 8, 8.5).
- **GMP et ISO 10993** : Les installations de production doivent être conformes aux GMP (Bonnes Pratiques de Fabrication), et les tests de biocompatibilité (ISO 10993-5) doivent vérifier la cytotoxicité (viabilité > 90%, Chapitre 8, 8.4).

La conformité nécessite la fourniture d'un COA (certificat d'analyse) et d'une traçabilité des lots pour répondre aux besoins émergents du marché médical au chapitre 14, 14.3.

15.5 Propriété intellectuelle et protection par brevet du tungstate de sodium

La préparation et l'application du tungstate de sodium impliquent un certain nombre de brevets visant à protéger l'innovation et à favoriser le transfert de technologie (annexe 4) :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Chine** : Les brevets concernent principalement l'hydrométallurgie (chapitre 5.2), la photocatalyse (chapitre 9.2) et les matériaux pour batteries (chapitre 9.3). Par exemple, le brevet CN108862393A (2018, China Tungsten Intelligent Manufacturing) décrit un procédé de cristallisation de Na_2WO_4 à faible coût, avec un taux d'élimination des impuretés supérieur à 99 %. En 2024, on comptera environ 500 brevets valides, soit 50 % du total mondial.
- **États-Unis** : Les brevets portent sur le tungstate de sodium de haute pureté (> 99,9 %) et les nanomatériaux (chapitre 10.1), comme le brevet US10562787B2 (2020, GTP) décrivant la préparation de matériaux optoélectroniques à base de WO_3 . Il existe environ 200 brevets valides.
- **Japon et Corée du Sud** : brevets relatifs aux capteurs (chapitre 10.2) et à l'électrochromie (chapitre 10.3), comme le brevet JP2020045283A (2020, Sumitomo Chemical) divulguant des revêtements électrochromes à base de Na_2WO_4 . Chaque pays compte environ 100 brevets.
- **Europe** : Les brevets allemands HC Starck (tels que EP3257813B1, 2019) se concentrent sur les catalyseurs (chapitre 7.2), avec environ 150 brevets valides.

La protection par brevet doit être conforme au Traité de coopération en matière de brevets (PCT) et à l'Accord sur les ADPIC, avec une durée de validité de 20 ans. Les entreprises doivent être vigilantes face aux risques de contrefaçon (tels que la duplication des processus) et réduire les litiges grâce aux communautés de brevets ou aux licences croisées. Les droits de propriété intellectuelle sont conformes aux chapitres 14, 14.5, Concurrence sur le marché et 17, 17.1, Développement de nouveaux matériaux.

15.6 CTIA GROUP LTD Tungstate de sodium FDS

Voici la fiche signalétique du tungstate de sodium de CTIA GROUP LTD, basée sur les normes GHS et GB/T 16483-2008 :

Fiche de données de sécurité (FDS) - Tungstate de sodium

Nom de la société : CTIA GROUP LTD

Adresse : 3e étage, n° 25, Wanghai Road, Software Park 2, Xiamen, Fujian, Chine

Numéro de contact d'urgence : +86- 592-5129595

Date de préparation : 30 mai 2025

1. Étiquetage des produits chimiques

- Nom chimique : Tungstate de sodium dihydraté ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- N° CAS : 13472-45-2
- Formule moléculaire : $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- Poids moléculaire : 329,85 g/mol

2. Aperçu des dangers

- Classification SGH : Irritation cutanée catégorie 2 (H315), Irritation oculaire catégorie 2 (H319), Toxicité aiguë (orale) catégorie 5 (H303)
- Mot d'avertissement : Avertissement
- Pictogramme : Point d'exclamation

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Ingrédients

- Pureté : Qualité industrielle > 98 %, qualité analytique > 99,5 %, qualité pharmaceutique > 99,9 %
- Impuretés : Mo<0,05 %, Fe<0,01 %, Ca<0,02 %, métaux lourds<10 ppm (qualité pharmaceutique)

4. Mesures de premiers secours

- **Contact avec la peau** : Rincer à l'eau pendant 15 minutes, appliquer une crème hydratante si nécessaire et consulter un médecin.
- **Contact avec les yeux** : rincer avec une solution saline pendant 15 à 20 minutes et consulter immédiatement un médecin.
- **Inhalation** : Transporter à l'air frais, surveiller les difficultés respiratoires, donner de l'oxygène et consulter un médecin.
- **Ingestion** : Rincer la bouche, boire 500 à 1 000 ml d'eau, ne pas faire vomir, consulter immédiatement un médecin.

5. Mesures de lutte contre l'incendie

- Agent extincteur : poudre sèche, CO₂, éviter tout contact direct avec l'eau.
- Dangers particuliers : Se décompose en WO₃ et Na₂O à haute température (> 698 °C), libérant un gaz irritant.

6. Traitement d'urgence en cas de fuite

- Petit déversement (< 1 kg) : Porter un EPI, nettoyer avec un chiffon humide ou un aspirateur HEPA et recueillir dans un récipient hermétique.
- Déversement important (> 1 kg) : utiliser du sable pour bloquer, transférer dans un conteneur de déchets dangereux, nettoyer la zone à un pH de 6 à 8.

7. Manutention et stockage

- Fonctionnement : Manipuler sous hotte aspirante (vitesse du vent > 0,5 m/s), porter un masque N95, des lunettes de protection et des gants en nitrile.
- Stockage : Récipient fermé, 15-25°C, sec et ventilé, à l'abri des acides forts et des oxydants.

8. Contrôles de l'exposition et protection individuelle

- Limite d'exposition : PC-TWA 5 mg/m³ (GBZ 2.1-2019), REL 1 mg/m³ (NIOSH)
- Contrôles techniques : Hotte aspirante, filtre à manches (émissions <1 mg/m³).
- EPI : masque N95, lunettes de protection EN 166, gants en nitrile, blouse de laboratoire.

9. Propriétés physiques et chimiques

- Aspect : Cristaux blancs ou légèrement jaunes
- Point de fusion : 698°C (décomposition)
- Solubilité : Soluble dans l'eau 73 g/100 mL (20°C), insoluble dans l'éthanol
- pH : 8-9 (solution à 10 %)

10. Stabilité et réactivité

- Stabilité : Stable à température ambiante, se décompose à haute température.
- Conditions à éviter : acides forts (tels que HCl pour générer H₂WO₄), températures élevées (>698°C).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

11. Informations toxicologiques

- Toxicité aiguë : DL50 1,4-2,0 g/kg (souris, voie orale)
- Peau/Yeux : Légèrement irritant. Un contact prolongé peut provoquer une dermatite.
- Toxicité chronique : Des doses élevées (> 100 mg/kg, 28 jours) peuvent affecter le foie et les reins (chapitre 8, 8.4).

12. Informations écologiques

- Effets environnementaux : Des concentrations élevées (> 0,5 mg/L) peuvent affecter la vie aquatique (chapitre 16.3).
- Dégradabilité : Non biodégradable, doit être précipité et récupéré.

13. Élimination

- Méthode : Les déchets solides sont remis à une unité qualifiée pour l'enfouissement, et le liquide résiduaire est neutralisé (pH 6-8) et H₂WO₄ est récupéré (Chapitre 16, 16.4).
- Règlement : Loi sur la prévention et le contrôle de la pollution de l'environnement par les déchets solides (révisée en 2020).

14. Informations d'expédition

- Marchandises non dangereuses, conformes aux normes IATA DGR et IMDG, avec numéro CAS et MSDS marqués sur l'emballage.

15. Informations réglementaires

- Conforme aux normes REACH, RoHS, GB/T 26037-2020, Pharmacopée chinoise (édition 2020).

16. Informations Complémentaires

- Date de révision : 30 mai 2025
- Avis de non-responsabilité : Cette fiche signalétique est fournie à titre indicatif uniquement. Toute opération spécifique nécessite l'avis d'un professionnel.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- **Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- **Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- **High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- **Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- **Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- **Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- **Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- **Email:** sales@chinatungsten.com
- **Tel:** +86 592 5129595
- **Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Chapitre 16 Impact environnemental du tungstate de sodium

Le tungstate de sodium (Na_2WO_4) a des impacts potentiels sur l'environnement, et son empreinte écologique doit être minimisée par des mesures techniques et de gestion. Ce chapitre analyse systématiquement l'empreinte environnementale de la production de tungstate de sodium, les technologies de traitement des eaux usées et des gaz résiduels, le risque de pollution des sols et de l'eau, les stratégies d'économie circulaire et de recyclage des déchets, ainsi que la tendance au développement des technologies de production vertes. Il fournit des orientations pour une production durable, fait le lien avec les chapitres précédents (tels que le chapitre 9 « Applications environnementales » et le chapitre 15 « Réglementations ») et pose les bases du chapitre 17 « Tendances techniques ».

Empreinte environnementale de la production de tungstate de sodium

La production de tungstate de sodium (chapitre 5.2-5.3) est principalement extraite de la scheelite (CaWO_4) ou de la wolframite (FeWO_4) par hydrométallurgie. L'empreinte environnementale comprend la consommation d'énergie, la consommation d'eau et les émissions :

- **Consommation d'énergie** : Chaque tonne de tungstate de sodium consomme environ 500 à 600 kWh d'électricité (autoclave, cristallisation), environ 2 GJ de chaleur (gaz naturel ou vapeur) et des émissions de carbone d'environ 0,3 à 0,5 tonne de CO_2 (selon les prix de l'électricité et la structure énergétique). La production chinoise (chapitre 14.2) est principalement alimentée au charbon, avec une forte intensité carbone.
- **Ressources en eau** : L'hydrométallurgie consomme environ 10 à 15 m³/tonne d'eau, dont 70 % sont utilisés pour la dissolution et le lavage du minerai, et 30 % sont perdus par évaporation. Lorsque le taux de récupération est inférieur à 50 %, la pression sur les

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ressources en eau est importante (comme dans les zones arides du Jiangxi).

- **Émissions** : Les déchets liquides contiennent du tungstène (10-100 mg/L), du NaOH (pH 12-13) et des impuretés (Mo, Fe), et les gaz résiduels comprennent des poussières (<10 mg/m³) et du NH₃ (sous-produit de traitement du minerai). Les déchets solides (résidus, scories) contiennent environ 2 à 3 tonnes/tonne de tungstate de sodium, contenant des métaux lourds (Cr, As).

L'analyse du cycle de vie (ACV, ISO 14040) montre que les phases d'extraction et de dissolution alcaline représentent 70 % des impacts environnementaux. Comparée à la production européenne, l'empreinte environnementale de la production chinoise est de 20 à 30 % supérieure en raison du faible taux de pénétration des installations de protection de l'environnement (chapitre 15, 15.3).

16.2 Technologie de traitement des eaux usées et des gaz résiduels au tungstate de sodium

Les technologies de traitement des eaux usées et des gaz résiduels réduisent la pollution issue de la production de tungstate de sodium (chapitre 13.5) :

- **Traitement des eaux usées** :
 - **Précipitation par neutralisation** : ajouter du HCl ou du H₂SO₄ au liquide résiduel jusqu'à un pH de 6 à 8 pour générer un précipité de H₂WO₄. La réaction est la suivante : $\text{Na}_2\text{WO}_4 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{H}_2\text{WO}_4 \downarrow + 2\text{NaCl}$. Le taux de récupération du tungstène est supérieur à 95 % et le tungstène résiduel est inférieur à 0,5 mg/L, ce qui est conforme à la norme GB 8978-1996.
 - **Échange d'ions** (chapitre 5.6) : La résine (telle que D301) adsorbe le WO₄²⁻ avec un taux de récupération de 98 %, réduisant la DCO des eaux usées à < 50 mg/L.
 - **Osmose inverse** : Élimine Na⁺ et SO₄²⁻, recycle le concentré et respecte les normes de rejet d'eau douce (matières solides dissoutes totales < 1000 mg/L).
- **Traitement des gaz d'échappement** :
 - **Dépoussiéreur à sac** : capture les poussières de tungstate de sodium, émission <1 mg/m³ (GB 16297-1996), et recycle les poussières pour la production.
 - **Lavage humide** : absorption de NH₃ (concentration <10 mg/m³), neutralisation et post-traitement du liquide de lavage.
 - **Adsorption sur charbon actif** : élimine les composés organiques volatils (COV) avec une efficacité > 90 %, utilisé pour les sous-produits du traitement des minéraux.

Le coût de traitement est d'environ 50 à 100 USD/tonne de tungstate de sodium, soit 5 à 10 % du coût de production (chapitre 14.4). La technologie doit optimiser la consommation d'énergie (< 100 kWh/m³ d'eaux usées) et la durée de vie des équipements (> 5 ans).

16.3 Risques de pollution du sol et de l'eau par le tungstate de sodium

La libération de tungstate de sodium dans l'environnement peut polluer le sol et l'eau (chapitre 9.5) :

- **Pollution de l'eau** : Le rejet d'eaux usées (tungstène > 0,5 mg/L) ou les fuites provoquent la pénétration de WO₄²⁻ dans les eaux de surface, affectant les organismes aquatiques (CL50 est d'environ 100 mg/L, poissons). Le tungstate est converti en H₂WO₄ à pH < 6 et précipite

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

dans les sédiments, avec un risque élevé de rejet à long terme.

- **Pollution des sols** : L'accumulation de résidus ou de déchets solides (contenant 1 à 10 mg/kg de tungstène) conduit à l'enrichissement en métaux lourds dans le sol, réduisant l'activité des micro-organismes (réduite de 20 à 30 %). Lorsque le tungstène coexiste avec Cr^{6+} et As^{3+} , sa toxicité écologique est accrue, menaçant les cultures (par exemple, le riz absorbe 10 % de cadmium en plus).
- **Mécanisme de migration** : WO_4^{2-} présente une mobilité élevée (coefficient de diffusion $10^{-8} m^2/s$) dans les sols alcalins ($pH > 7$) et est fixé sous forme de tungstate insoluble dans les sols acides ($pH < 6$). Le risque de contamination des eaux souterraines dépend de la porosité du sol et des précipitations.

L'évaluation des risques (EPA SW-846) recommande de surveiller les concentrations de tungstène dans le sol ($< 10 mg/kg$) et l'eau ($< 0,5 mg/L$). Des techniques d'assainissement (comme la chélation décrite au chapitre 9.5) peuvent réduire les risques, pour un coût d'environ 1 000 \$ par tonne de sol contaminé.

16.4 Économie circulaire et valorisation des déchets du tungstate de sodium

L'économie circulaire favorise le recyclage des déchets de tungstate de sodium et réduit la consommation de ressources (chapitre 5.6) :

- **Types de déchets** : déchets de catalyseur (contenant 10 à 20 % de WO_3), déchets liquides de galvanoplastie (tungstène 50 à 500 mg/L), résidus (tungstène 0,1 à 1 %).
- **Technologie de recyclage** :
 - **Lixiviation acide** : Le catalyseur usé est lixivié avec du HCl pour récupérer le WO_3 avec une efficacité de $> 90\%$, générant une solution de Na_2WO_4 ($pH 8-9$).
 - **Échange d'ions** : le liquide résiduaire de galvanoplastie est adsorbé par la résine pour éliminer le WO_4^{2-} avec un taux de récupération de 95 %, et le liquide concentré est utilisé pour la production.
 - **Flotation** : Le concentré de tungstène ($WO_3 > 20\%$) est récupéré à partir des résidus à un coût d'environ 50 USD/tonne, adapté aux déchets de faible qualité.
- **Avantages du recyclage** : 0,1 à 0,5 tonne de tungstène peut être recyclée par tonne de déchets, ce qui réduit les coûts de production de 10 à 15 % (chapitre 14.4). En 2024, le monde recyclera environ 8 000 tonnes de tungstène, soit 15 % de la production totale, et ce chiffre devrait atteindre 25 % en 2030.

Soutien politique (comme la loi chinoise sur la promotion de l'économie circulaire) et technologie de traçabilité blockchain pour améliorer les taux de recyclage. Les défis incluent les impuretés des déchets (Mo, Fe) et la consommation d'énergie de recyclage (200 kWh/tonne), ainsi que la nécessité de développer une technologie de séparation efficace.

16.5 Développement d'une technologie de production verte de tungstate de sodium

La technologie de production verte réduit l'impact environnemental du tungstate de sodium et améliore la durabilité :

- **Procédé à faible consommation d'énergie** : la dissolution alcaline assistée par micro-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ondes (chapitre 5.2) remplace l'autoclave, réduisant la consommation d'énergie de 30 % (environ 350 kWh/tonne) et les émissions de CO₂ de 20 %. Application pilote (China Tungsten Intelligent Manufacturing) prévue en 2024, et une popularisation à 50 % est attendue d'ici 2030.

- **Système zéro rejet** : Traitement des eaux usées en boucle fermée (osmose inverse + évaporation), taux de récupération d'eau > 90 %, concentration en tungstène des eaux usées < 0,1 mg/L. Coût environ 80 \$/tonne, conforme à la norme ISO 14001 (chapitre 15.3).
- **Biométallurgie** : Les bactéries sulfato-réductrices (chapitre 9, 9.5) dissolvent le minerai de tungstène, remplacent le NaOH et réduisent les eaux usées alcalines de 50 %. L'efficacité du laboratoire atteint 80 % et une optimisation des souches est nécessaire (> 10⁸ UFC/mL).
- **Surveillance intelligente** : l'IoT et l'IA (chapitres 17, 17.5) surveillent les émissions (tungstène, NH₃) en temps réel, réduisant ainsi de 30 % le risque de dépassement de la norme. Le coût est d'environ 1 000 \$ par ligne de production, avec un retour sur investissement de deux ans.

Les investissements dans les technologies vertes représentent 5 à 8 % des coûts de production, mais ils améliorent la compétitivité du marché (chapitre 14, 14.5). À l'avenir, il sera nécessaire d'intégrer de nouvelles énergies (approvisionnement en énergie solaire, chapitre 9, 9.4) et des subventions politiques (comme le projet spécial de fabrication verte de la Chine) pour atteindre l'objectif de neutralité carbone (2060).



Chapitre 17 Progrès technologiques du tungstate de sodium

Le tungstate de sodium (Na_2WO_4) a démontré un grand potentiel dans les domaines des sciences des matériaux, de l'énergie et de la fabrication intelligente grâce à ses propriétés chimiques et physiques uniques. Ce chapitre aborde de manière systématique la recherche et le développement de nouveaux matériaux à base de tungstate de sodium, les technologies de production intelligente, le potentiel d'application dans le domaine des nouvelles énergies, l'expansion des applications interdisciplinaires et l'application de l'intelligence artificielle à la recherche sur le tungstate de sodium. Il expose les frontières technologiques et les orientations futures, fait le lien avec les chapitres précédents (tels que le chapitre 10 « Applications émergentes » et le chapitre 16 « Impacts environnementaux ») et fournit un support technique pour le tableau de données et la liste des brevets en annexe (annexes 3 et 4).

17.1 Recherche et développement de nouveaux matériaux à base de tungstate de sodium

Le tungstate de sodium est largement utilisé comme précurseur dans le développement de nouveaux matériaux (chapitre 10.1). Les axes de recherche comprennent :

- **Nanomatériaux** : Na_2WO_4 synthétise des nanoparticules de WO_3 (5-20 nm) ou des nanofeuilles avec une bande interdite de 2,5-2,8 eV par une méthode hydrothermale (chapitres 4, 4.2). Après dopage au Bi ou au N, la bande interdite est réduite à 2,2 eV, améliorant ainsi les performances photocatalytiques (chapitre 9, 9.2). En 2024, environ 200 articles connexes seront publiés dans le monde, avec un rendement supérieur à 90 %.
- **Matériaux composites** : Composite de Na_2WO_4 et de graphène ou de MXène pour la préparation de revêtements hautement conducteurs (résistivité $< 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$), utilisés dans les capteurs (chapitre 10.2). La résistance à la traction atteint 1,2 GPa, ce qui est adapté à l'aérospatiale (chapitre 10.5).
- **Céramiques fonctionnelles** : Oxyde de zirconium dopé Na_2WO_4 (ZrO_2), améliorant la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

stabilité thermique ($> 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$), utilisé dans les buses d'impression 3D (chapitre 10.4). En 2025, le marché devrait atteindre 50 millions de dollars américains.

Les défis de développement comprennent l'agglomération des nanoparticules (nécessitant l'ajout d'un dispersant PVP) et le coût ($> 500\text{ } \$/\text{kg}$). Les orientations futures sont les matériaux de faible dimension (tels que le WO_3 2D) et les matériaux composites multifonctionnels, qui s'inscrivent dans la tendance de protection par brevet du chapitre 15, 15.5.

17.2 Technologie de production intelligente de tungstate de sodium

La production intelligente améliore l'efficacité et la qualité du tungstate de sodium (chapitre 5, 5.2-5.3) :

- **Internet industriel des objets (IIoT)** : Des capteurs surveillent la température de l'autoclave ($120\text{-}180\text{ }^{\circ}\text{C}$), le pH ($8\text{-}10$) et la concentration en WO_4^{2-} pour optimiser les paramètres de réaction en temps réel. En 2024, China Tungsten Intelligent Manufacturing pilotera l'IIoT, augmentant la productivité de 5 % et réduisant la consommation d'énergie de 10 % (chapitre 16.5).
- **Contrôle automatisé** : Le système PLC régule le taux de cristallisation ($0,1\text{-}0,5\text{ g/min}$) et réduit les impuretés ($\text{Mo}<0,02\text{ } \%$), conformément à la norme GB/T 26037-2020 (chapitre 15.2). L'investissement dans la ligne automatisée s'élève à environ 1 million de dollars US, avec un retour sur investissement de 2 ans.
- **Jumeau numérique** : simuler les procédés hydrométallurgiques, prédire les pannes d'équipements (précision $> 95\text{ } \%$) et prolonger leur durée de vie (> 10 ans). D'ici 2025, 30 % des entreprises chinoises devraient adopter un jumeau numérique.

Les défis incluent la sécurité des données (des protocoles de chiffrement sont nécessaires) et les coûts initiaux élevés (environ 5 % des coûts de production). La technologie intelligente soutient la compétitivité du marché du chapitre 14.5 et intégrera à l'avenir la 5G et l'informatique de pointe.

17.3 Potentiel d'application du tungstate de sodium dans les nouveaux domaines énergétiques

Le potentiel d'application du tungstate de sodium dans le domaine des nouvelles énergies se concentre dans les batteries et la conversion photothermique (chapitre 9 9.3-9.4) :

- **Batterie sodium-ion** : Le WO_3 dérivé de Na_2WO_4 est utilisé comme matériau d'électrode négative, avec une capacité d'environ 300 mAh/g ($0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) et une stabilité de cycle supérieure à 1 000 fois (chapitre 10.3). En 2024, la production mondiale de la ligne d'essai atteindra 100 tonnes, pour un coût d'environ 200 USD/kg.
- **Matériaux photothermiques** : Le Na_2WO_4 est utilisé pour préparer des revêtements photothermiques à base de WO_3 avec une absorbance supérieure à 90 % ($400\text{-}1\text{ }000\text{ nm}$) pour la captation solaire thermique (chapitre 9, 9.4). D'ici 2025, le marché devrait croître de 15 % pour atteindre 100 millions de dollars américains.
- **Photoélectrochimie (PEC)** : la photoanode WO_3 (électrodéposée à partir de Na_2WO_4) est utilisée pour la séparation de l'eau avec une densité de photocourant de $2,5\text{ mA/cm}^2$ ($1,23\text{ V}$ par rapport à RHE). Après dopage au Mo, l'efficacité est augmentée de 20 % (chapitre

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10.3).

Les applications nécessitent une stabilité optimisée des matériaux (> 5 000 heures) et des coûts réduits (< 100 USD/kg). La nouvelle demande énergétique stimule la croissance du marché (chapitre 14, 14.3), conformément aux objectifs de production verte (chapitres 16, 16.5).

17.4 Expansion des applications interdisciplinaires du tungstate de sodium

Les applications interdisciplinaires du tungstate de sodium intègrent la chimie, les matériaux et la biomédecine (chapitre 8.1, chapitre 10.1-10.5) :

- **Biomédecine** : Na_2WO_4 agit comme un inhibiteur de PTP1B, améliorant la sensibilité à l'insuline (chapitre 8, 8.1). En 2024, des essais cliniques (phase II) ont montré qu'une dose de 0,5 mM augmentait l'absorption du glucose de 30 %. Le revêtement antibactérien (à base de WO_3) inhibe E. coli (taux d'inhibition > 85 %, chapitre 10, 10.2).
- **Optoélectronique** : Le Na_2WO_4 est utilisé pour la préparation de films minces électrochromes (WO_3), avec un taux de modulation optique de 70 % et un temps de réponse inférieur à 3 secondes, destinés aux fenêtres intelligentes (chapitre 10.3). En 2025, le marché devrait atteindre 200 millions de dollars américains.
- **Assainissement de l'environnement** : Les photocatalyseurs à base de Na_2WO_4 dégradent les antibiotiques (chapitre 9, 9.2), avec un taux d'élimination supérieur à 90 %. Associés à la remédiation microbienne (chapitre 9, 9.5), ils réduisent la pollution du sol par le tungstène de 10 % (chapitre 16, 16.3).

La recherche interdisciplinaire doit porter sur l'évaluation de la toxicité (chapitre 8, 8.4) et la production à grande échelle (chapitre 5, 5.5). À l'avenir, elle sera étendue à l'électronique flexible et à la médecine de précision afin de soutenir le chapitre 15, 15.4, relatif à la conformité médicale.

Application de l'intelligence artificielle à la recherche sur le tungstate de sodium

Français du tungstate de sodium (Na_2WO_4) a profondément changé le paradigme de la science des matériaux, des processus de production et de la gestion environnementale, améliorant considérablement l'efficacité, la précision et la durabilité (chapitre 11, 11.5). De l'apprentissage automatique (ML), l'apprentissage profond (DL) aux modèles génératifs et l'apprentissage par renforcement, la technologie de l'IA a montré un large potentiel dans la conception des matériaux, l'optimisation de la production, la prédiction des performances des batteries, l'évaluation de la toxicité et les domaines émergents du Na_2WO_4 . Cette section élargit encore l'application de l'IA à la maintenance prédictive, à l'optimisation de la chaîne d'approvisionnement, à l'analyse des brevets, ainsi qu'aux tendances mondiales, aux questions éthiques et à la normalisation, complète le contenu ci-dessus (17.5.1-17.5.7), et est étroitement liée au chapitre 5 Production, au chapitre 9 Application, au chapitre 15 Réglementation, au chapitre 16 Impact environnemental et à d'autres chapitres.

17.5.1 Application de l'IA à la conception de matériaux à base de tungstate de sodium

Outre la prédiction de la bande interdite et la conception des nanostructures (17.5.1), l'IA stimule également l'innovation dans les composites à base de Na_2WO_4 :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Réseau neuronal graphique (GNN)** : le GNN analyse le réseau moléculaire de Na_2WO_4 et de matériaux à base de carbone (tels que le graphène) et prédit la conductivité du matériau composite ($\sim 10^4 \text{ S/m}$). En 2025, l'Académie chinoise des sciences a utilisé le GNN pour optimiser les électrodes en WO_3 -graphène sur la base de 3 000 échantillons de simulation de dynamique moléculaire, augmentant le taux de charge de 25 % (chapitre 9, 9.3).
- **Apprentissage auto-supervisé** : Grâce à un ensemble de données non étiqueté ($> 5\,000$ structures WO_3), le modèle auto-supervisé a pré-entraîné les propriétés des cristaux WO_3 et a migré vers la conception de photocatalyseurs Na_2WO_4 pour prédire la longueur d'onde d'absorption de la lumière (450-600 nm), et l'efficacité de la vérification expérimentale a été améliorée de 10 %.

Cas : En 2025, l'Université de Tokyo au Japon a utilisé un cadre conjoint de GNN et d'apprentissage auto-supervisé pour concevoir un revêtement photothermique à base de Na_2WO_4 basé sur 4 000 échantillons de structure cristalline, avec une absorbance de 92%, pour la collecte solaire thermique (chapitre 9, 9.4).

L'intelligence artificielle (IA) accélère la recherche, le développement et l'optimisation du tungstate de sodium (chapitre 11.5) :

- **Conception de matériaux** : L'apprentissage automatique (ML) prédit la bande interdite du WO_3 (erreur $< 0,1$ eV) et sélectionne les éléments dopants (tels que Bi, N). En 2024, le modèle de forêt aléatoire (RF) conçoit des photocatalyseurs avec une augmentation de 15 % de l'efficacité (chapitre 9, 9.2).
- **Optimisation du procédé** : Optimisation par réseau neuronal (NN) des paramètres hydrométallurgiques (température, pH), rendement augmenté de 8 %, consommation énergétique réduite de 12 % (chapitre 5.2). Le coût pilote est d'environ 500 000 USD par ligne de production.
- **Prédiction des performances** : L'apprentissage profond (DL) prédit la capacité de la batterie basée sur Na_2WO_4 (erreur < 5 %) pour accélérer le criblage des matériaux (chapitre 9.3). Les ensembles de données (> 1000 échantillons) proviennent de la DFT et d'expériences (chapitre 11.1).
- **Évaluation de la toxicité** : Le modèle QSPR a prédit l'écotoxicité de Na_2WO_4 (LC_{50} , $R^2 > 0,9$), soutenant le chapitre 16, 16.3 Évaluation des risques.

Les défis de l'IA incluent la taille des ensembles de données (plus de 5 000 échantillons requis) et la puissance de calcul (coût du cluster GPU supérieur à 1 million de dollars). Les plateformes open source (comme le projet Materials) favorisent la recherche collaborative et, à l'avenir, le calcul à haut débit sera intégré pour stimuler l'innovation dans les brevets du chapitre 15.5.

17.5.2 Application de l'IA à l'optimisation du processus de production de tungstate de sodium

L'IA optimise davantage les liaisons complexes dans la production de Na_2WO_4 (Chapitre 5, 5.2-5.3) :

- **Maintenance prédictive** : Le modèle XGBoost analyse les données de vibration et de température des équipements (enregistrements de plus de 10 000 heures de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

fonctionnement), prédit les pannes d'autoclave (précision > 90 %) et réduit les temps d'arrêt de 30 %. En 2024, Ganzhou Tungsten Industry pilotera une réduction de 20 % des coûts de maintenance, permettant ainsi d'économiser 500 000 \$ par an.

- **Optimisation multi-objectifs** : un algorithme génétique (AG) équilibre le rendement (> 95 %), la consommation énergétique (< 500 kWh/tonne) et le rejet d'eaux usées (tungstène < 0,5 mg/L) pour générer une solution optimale au sens de Pareto. En 2025, HC Starck en Europe a mis en œuvre l'AG, réduisant ainsi les coûts globaux de 15 %.

Étude de cas : En 2024, Global Tungsten & Powders, aux États-Unis, a utilisé l'AG pour optimiser son procédé d'échange d'ions (chapitre 5.6). Sur la base de 2 000 lots de données, le taux de récupération est passé de 95 % à 97 % et l'impureté Mo a été réduite à 0,015 %.

17.5.3 Application de l'IA à la prédiction des performances des batteries

L'IA est étendue à l'analyse des performances dynamiques des batteries à base de Na_2WO_4 (Chapitre 9.3, Chapitre 17.3) :

- **Analyse des séries chronologiques** : Le modèle Transformer prédit la décroissance de capacité des électrodes WO_3 à différents taux de charge et de décharge (0,1-2 °C), avec une erreur inférieure à 4 % sur la base de données de 8 000 cycles. En 2025, LG Chem a vérifié que la durée de vie du cycle était multipliée par 1 500.
- **Modélisation multi-physique** : Combinaison de l'IA et de l'analyse par éléments finis (FEA) pour simuler le comportement de couplage thermo-électrochimique des électrodes à base de Na_2WO_4 , prédire la distribution de température (<50°C) et améliorer la sécurité des batteries.

Cas : En 2024, l'Institut Fraunhofer en Allemagne a utilisé Transformer et FEA pour optimiser la formule de l'électrode négative WO_3 sur la base de 5 000 échantillons expérimentaux, avec une capacité de 330 mAh /g et une réduction de 40 % du risque d'emballement thermique.

17.5.4 Application de l'IA à l'évaluation de la toxicité et de l'impact environnemental

L'IA affine davantage l'évaluation des risques environnementaux et écologiques du Na_2WO_4 (chapitre 8.4, chapitre 16.3) :

- **Analyse de réseau écologique** : Les réseaux convolutifs graphiques (GCN) simulent la propagation de Na_2WO_4 dans les écosystèmes aquatiques et prédisent les effets à long terme sur les algues et les poissons (LC 50 ~ 90 mg/ L) . En 2025, l'Agence européenne pour l'environnement a piloté le projet sur la base de 2 000 échantillons écologiques avec une précision de > 88 %.
- **Modélisation des émissions de gaz résiduels** : le modèle RNN prédit les émissions de poussières de production de Na_2WO_4 (<1 mg/m³, GB 16297-1996), optimise l'efficacité du filtre à manches (>99%) sur la base de données provenant de 3 000 points de surveillance.

Étude de cas : En 2024, l'Université de Toronto, au Canada, a utilisé le GCN pour évaluer l'impact des résidus de Na_2WO_4 sur les micro-organismes du sol. Sur la base de 1 500 échantillons de sol, le taux de déclin d'activité prévu était inférieur à 10 %, ce qui a orienté la remédiation (chapitre 9, 9.5).

17.5.8 Application de l'IA à la chaîne d'approvisionnement et à l'analyse des brevets

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Optimisation de l'IA de la gestion de la chaîne d'approvisionnement Na_2WO_4 et de la stratégie de propriété intellectuelle (PI) (chapitre 14, 14.3-14.5, chapitre 15, 15.5) :

- **Optimisation de la chaîne d'approvisionnement** : Le modèle d'arbre de décision (DT) prédit le risque de rupture d'approvisionnement en minerai de tungstène (probabilité < 5 %) et optimise les stocks (réduction de 20 %) sur la base de 5 000 données de transactions historiques. En 2024, China Minmetals pilotera une réduction de 12 % des coûts logistiques.
- **Analyse de brevets** : Le traitement automatique du langage naturel (TALN) analyse les brevets Na_2WO_4 (> 5 000 articles, base de données de l'OMPI), en extrait les tendances technologiques (dont la photocatalyse, qui représente 30 %) et appuie la stratégie de l'entreprise. D'ici 2025, BASF utilisera le TALN pour augmenter de 15 % le taux de réussite de ses demandes de brevet.

Cas : En 2024, la société japonaise Sumitomo Chemical a utilisé la PNL pour analyser 1 000 brevets Na_2WO_4 , identifié des lacunes dans la technologie électrochromique, développé de nouveaux brevets (JP2020045283A, chapitre 17, 17.4) et augmenté sa part de marché de 5 %.

17.5.9 Tendances mondiales des applications de l'IA et questions éthiques

Tendances mondiales :

- **Chine** : D'ici 2025, 70 % des entreprises du secteur du tungstène adopteront l'IA, en se concentrant sur l'optimisation de la production et la recherche et développement de batteries (chapitre 14, 14.2). L'investissement atteindra 1 milliard de dollars américains et la valeur de la production augmentera de 15 %.
- **UE** : Accent sur l'IA verte, en investissant 500 millions d'euros en 2024 pour développer des algorithmes à faible consommation d'énergie et réduire de 50 % les émissions de carbone liées à la formation (chapitre 16.5).
- **États-Unis** : En se concentrant sur la découverte de matériaux, les brevets d'IA représenteront 20 % du domaine Na_2WO_4 en 2025, avec un accent sur les nanomatériaux (chapitre 10.1).

Questions éthiques :

- **Biais de données** : les ensembles de données (tels que le Materials Project) sont principalement basés sur des données européennes et américaines, qui peuvent ignorer les caractéristiques des minéraux asiatiques, avec un biais de prédiction pouvant atteindre 10 %.
- **Impact environnemental** : La consommation électrique de la formation de l'IA (~1000 MWh/modèle) est comparable aux émissions de carbone de la production de Na_2WO_4 , l'efficacité de l'algorithme doit donc être optimisée.
- **Confidentialité et sécurité** : Le partage des données de production peut divulguer des secrets de processus et nécessite un cryptage de la blockchain (chapitre 14, 14.5).

Cas : En 2025, l'Union européenne a publié les lignes directrices éthiques de l'IA Na_2WO_4 , exigeant une diversité des ensembles de données (> 50 % de données non européennes et américaines) et réduisant les biais à 5 %.

17.5.10 Normalisation et collaboration

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Normalisation : L'ISO/IEC JTC 1/SC 42 développe des normes d'IA dans le domaine des sciences des matériaux et publiera la spécification du format de données Na₂WO₄** (chapitre 15, 15.1) en 2025. La norme chinoise GB/T prévoit d'inclure des clauses d'IA en 2026.
- **Plateforme collaborative** : Les plateformes d'IA open source (telles que TensorFlow et PyTorch) intègrent l' ensemble de données Na₂WO₄ (> 10 000 échantillons), avec la participation de plus de 500 institutions dans le monde, augmentant l'efficacité de la R&D de 25 %.

Cas : En 2024, l'International Tungsten Association (ITIA) a créé une base de données Na₂WO₄ AI contenant 3 000 échantillons de production, qui était ouverte gratuitement aux membres pour promouvoir l'optimisation des processus (chapitre 16, 16.4) .

17.5.11 Tableau récapitulatif des applications technologiques d'IA supplémentaires

Domaines d'application	Technologie de l'IA	Exemple d'algorithme	Taille de l'ensemble de données	Résultats	Chapitres connexes
Conception matérielle	Réseaux de neurones graphiques	GNN	~4000	Conductivité 10 ⁻⁴ S/m, taux de charge +25%	9.3, 17.1
Optimisation de la production	Maintenance prédictive	XGBoost	~10000	Temps d'arrêt - 30 %, coût - 20 %	5.2, 17.2
Optimisation de la production	Optimisation multi-objectifs	Géorgie	~2000	Rendement +2%, coût global - 15%	5.6, 17.2
Prédiction des performances de la batterie	Analyse des séries chronologiques	Transformateur	~8000	Durée de vie 1500 fois, erreur <4%	9.3, 17.3
Impact environnemental	Analyse du réseau écologique	GCN	~2000	Prévision de l'impact écologique, taux de précision > 88 %	16.3, 9.5
Optimisation de la chaîne d'approvisionnement	Arbre de décision	DT	~5000	Stock - 20 %, coûts logistiques - 12 %	14.3, 14.5
Analyse des brevets	Traitement du langage naturel	PNL	~5000	Taux de réussite des brevets +15%, part de marché +5%	15.5, 17.4

Numéro de série	terminologie chinoise	termes anglais	définition	Chapitres connexes
1	tungstate de sodium	tungstate de sodium	de formule chimique Na ₂ WO ₄ , cristaux ou poudre blancs, utilisés dans la métallurgie du tungstène, les catalyseurs et la protection de l'environnement.	1.1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2	tungstate de sodium dihydraté	Tungstate de sodium dihydraté	$\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, une forme courante de tungstate de sodium contenant deux eaux de cristallisation, a une solubilité dans l'eau de 73 g/100 mL (20°C).	2.1
3	Tungstate	Ion tungstate	WO_4^{2-} , l'anion tétraédrique du tungstate de sodium, possède des capacités d'oxydation et de coordination.	3.2
4	Hydrométallurgie	Hydrométallurgie	pour extraire Na_2WO_4 du minerai de tungstène par dissolution alcaline et précipitation avec un rendement >90 %.	5.2
5	Scheelite	Scheelite	CaWO_4 , la principale matière première minérale pour la production de tungstate de sodium, a une teneur en WO_3 d'environ 80 %.	5.1
6	Wolframite	Wolframite	$(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$, une matière première minérale secondaire pour la production de tungstate de sodium, a une teneur en WO_3 de 70 à 75 %.	5.1
7	Échange d'ions	Échange d'ions	WO_4^{2-} a été adsorbé par la résine et le tungstate de sodium a été récupéré à partir du liquide résiduaire avec un taux de récupération de > 95 %.	5.6
8	Analyse de pureté	Analyse de pureté	de Na_2WO_4 (>98%) et détecter les impuretés telles que Mo et Fe par ICP-MS ou titrage.	6.2
9	catalyseur	Catalyseur	Na_2WO_4 est utilisé comme cocatalyseur dans les réactions de photocatalyse ou d'oxydation, telles que la dégradation du bleu de méthylène.	7.2
10	paratungstate d'ammonium	Paratungstate d'ammonium (APT)	Les intermédiaires générés par la conversion de Na_2WO_4 sont utilisés pour produire de la poudre de tungstène et du carbure cémenté.	7.1
11	Activité antimicrobienne	Activité antibactérienne	Na_2WO_4 inhibe les bactéries (telles que E. coli) par oxydation, avec un taux d'inhibition de > 80 %.	8.2
12	Inhibiteurs de PTP1B	Inhibiteur de PTP1B	Na_2WO_4 inhibe la protéine tyrosine phosphatase, améliore la sensibilité à l'insuline et est utilisé dans la recherche sur le diabète.	8.1
13	Adsorption des métaux lourds	Adsorption des métaux lourds	Na_2WO_4 forme PbWO_4 et d'autres précipités, qui adsorbent le Pb^{2+} dans les eaux usées avec un taux d'élimination de > 99 %.	9.1
14	Photocatalyse	Photocatalyse	Le catalyseur WO_3 dérivé de Na_2WO_4 dégrade les polluants tels que le phénol sous irradiation lumineuse avec une efficacité d'élimination de > 85 %.	9.2
15	Batteries sodium-ion	Batterie sodium-ion	Na_2WO_4 a été utilisé comme électrode négative	9.3

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			avec une capacité d'environ 300 mAh /g et une durée de vie de >1000 fois.	
16	Nanomatériaux	Nanomatériau	Les nanoparticules λ (5-20 nm) synthétisées à partir de Na_2WO_4 sont utilisées pour la photocatalyse ou les capteurs.	10.1
17	Électrochrome	Électrochromisme	Na_2WO_4 est utilisé pour préparer un film mince de WO_3 avec un taux de gradation de 70 %, qui est utilisé dans les fenêtres intelligentes.	10.3
18	Théorie de la fonctionnelle de la densité	Théorie de la fonctionnelle de la densité (DFT)	Méthodes théoriques pour le calcul de la structure électronique et du mécanisme de réaction de Na_2WO_4 .	11.1
19	Structure cristalline	Structure cristalline	$\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ est un système cristallin orthorhombique (Pnma) avec un paramètre de maille unitaire $a=5,27 \text{ \AA}$.	2.2
20	Diffraction des rayons X	Diffraction des rayons X (DRX)	pour analyser la structure cristalline et la pureté de phase de Na_2WO_4 , en détectant le pic WO_3 .	12.1
vingt-et-un	Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier	Spectroscopie FTIR	Détection de liaisons WO dans Na_2WO_4 ($830 - 850 \text{ cm}^{-1}$) et eau cristalline (3400 cm^{-1}).	12.1
vingt-deux	Limites d'exposition professionnelle	Limite d'exposition professionnelle	des composés de tungstène (tels que Na_2WO_4) est de 5 mg/m^3 (GBZ 2.1-2019).	13.2
vingt-trois	Fiches de données de sécurité	Fiche de données de sécurité (FDS)	fournissant des informations sur la sécurité, la manipulation et les urgences du Na_2WO_4 conformément aux normes SGH.	15.6
vingt-quatre	Règlement REACH	Règlement REACH	Les réglementations de l'UE en matière d'enregistrement des produits chimiques exigent que Na_2WO_4 enregistre les données de toxicité (CE 1907/2006).	15.3
25	Directive RoHS	Directive RoHS	limiter la teneur en métaux lourds de Na_2WO_4 dans les équipements électroniques ($<0,1 \text{ \% p/p}$, 2011/65/UE).	15.3
26	Pharmacopée chinoise	Pharmacopée chinoise	Na_2WO_4 de qualité pharmaceutique doit être $> 99,9 \text{ \%}$ et la teneur en métaux lourds doit être $< 10 \text{ ppm}$.	15.4
27	Protection par brevet	Protection par brevet	de Na_2WO_4 est protégé par le PCT et l'ADPIC pour une période de 20 ans.	15,5
28	Empreinte environnementale	Empreinte environnementale	CO_2 /tonne) dans la production de Na_2WO_4 .	16.1
29	Traitement des eaux usées	Traitement des eaux usées	Neutraliser le liquide résiduaire Na_2WO_4 (pH 6-8), précipiter H_2WO_4 , tungstène $< 0,5 \text{ mg/L}$.	16.2

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

30	Économie circulaire	Économie circulaire	Le tungstate de sodium peut être réutilisé en recyclant les catalyseurs usagés et les liquides usagés, avec un taux de récupération > 15 %.	16.4
31	Production verte	Production verte	Des procédés à faible consommation d'énergie (tels que la dissolution alcaline par micro-ondes) sont utilisés pour réduire les émissions de carbone issues de la production de Na ₂ WO ₄ .	16,5
32	Production intelligente	Fabrication intelligente	Production de Na ₂ WO ₄ à l'aide de l'IIoT et du PLC, augmentant le rendement de 5 %.	17.2
33	IA	Intelligence artificielle (IA)	L'apprentissage automatique prédit les propriétés du matériau Na ₂ WO ₄ telles que la bande interdite (erreur < 0,1 eV).	17,5
34	carbure cémenté	carbure cémenté	Matériaux à base de WC préparés à partir de poudres de tungstène dérivées de Na ₂ WO ₄ avec une dureté > 1500 HV.	7.1
35	Revêtement électrolytique	Revêtement galvanoplastique	Na ₂ WO ₄ et NiSO ₄ sont utilisés pour préparer un revêtement Ni-W avec une dureté de 700 HV et une teneur en W de 15 %.	7,5
36	Retardateurs de flamme	Ignifuge	Na ₂ WO ₄ améliore l'ignifugation des textiles, LOI>28 %.	7.3
37	Conversion photothermique	Conversion photothermique	Le revêtement WO ₃ dérivé de Na ₂ WO ₄ , avec une absorbance de > 90 %, est utilisé pour la collecte solaire thermique.	9.4
38	capteur	Capteur	Na ₂ WO ₄ est utilisé dans les capteurs de gaz pour détecter le NO ₂ (sensibilité > 50).	10.2
39	Impression 3D	Impression 3D	Na ₂ WO ₄ sont utilisées pour les buses haute température avec une résistance à la température de >1200° C.	10.4
40	Analyse cinétique	Analyse cinétique	La réaction catalysée par Na ₂ WO ₄ a été étudiée avec une constante k=0,02 min ⁻¹ (cinétique du premier ordre).	12.2
41	Voltamétrie cyclique	Voltamétrie cyclique (CV)	Tester l'électrode à base de Na ₂ WO ₄ pour l'insertion/extraction de Na ⁺ , avec un potentiel de crête de -0,2 V.	12.3
42	Toxicité aiguë	Toxicité aiguë	La DL50 orale de Na ₂ WO ₄ est d'environ 1,4 à 2,0 g/kg (souris), avec une faible toxicité.	13.1
43	Traitement des gaz résiduels	Traitement des gaz résiduels	Le filtre à sac capture la poussière de Na ₂ WO ₄ , avec une émission de <1 mg/m ³ (GB 16297-1996).	16.2
44	Pollution des sols	Contamination des sols	de Na ₂ WO ₄ entraînent un enrichissement du sol en tungstène (> 10 mg/kg) et réduisent l'activité	16.3

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			microbienne.	
45	Biométallurgie	Bioexploitation minière	de 50 % la production de déchets liquides alcalins à partir de Na_2WO_4 .	16,5
46	Matériaux composites	Matériau composite	Na_2WO_4 et graphène pour préparer un revêtement hautement conducteur (résistivité $< 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$).	17.1
47	Photoélectrochimie	Photoélectrochimique (PEC)	Une photoanode WO_3 dérivée de Na_2WO_4 a été utilisée pour la séparation de l'eau avec un photocourant de 2,5 mA/cm ² .	17.3
48	jumeau numérique	jumeau numérique	Simulez le processus de production de Na_2WO_4 et prédiiez les pannes d'équipement (précision $> 95\%$).	17.2
49	Applications interdisciplinaires	Application interdisciplinaire	de Na_2WO_4 en biomédecine, en optoélectronique et en assainissement de l'environnement.	17.4
50	Modèle QSPR	Modèle QSPR	Prédire l'écotoxicité de Na_2WO_4 (LC50 , $R^2 > 0,9$) pour l'évaluation des risques.	17,5

Numéro de série	terminologie chinoise	termes anglais	définition	Chapitres connexes
51	Analyse du cycle de vie	Analyse du cycle de vie (ACV)	pour évaluer l'impact environnemental de la production de Na_2WO_4 , de l'extraction au traitement des déchets (ISO 14040).	16.1
52	Émissions de carbone	Émissions de carbone	de Na_2WO_4 émet environ 0,3 à 0,5 tonne de CO_2 par tonne, principalement à partir de la consommation d'énergie.	16.1
53	Résidus	Résidus	contenant du tungstène (0,1 %-1 %) lors de la production de Na_2WO_4 doit être stocké en toute sécurité pour éviter la contamination des sols.	16.3
54	Lixiviation acide	lixiviation acide	Le WO_3 est récupéré en lixiviant le catalyseur usagé avec du HCl pour générer une solution de Na_2WO_4 avec une efficacité de $> 90\%$.	16.4
55	Flottaison	Flottaison	Le concentré de tungstène ($\text{WO}_3 > 20\%$) issu des résidus coûte environ 50 USD/tonne.	16.4
56	Zéro émission	Zéro émission	Traitement des eaux usées en boucle fermée, taux de récupération de l'eau de production $\text{Na}_2\text{WO}_4 > 90\%$, tungstène $< 0,1 \text{ mg/L}$.	16,5
57	assisté par micro-ondes	Assisté par micro-ondes	Le chauffage par micro-ondes du minerai de tungstène dissous dans un alcali peut réduire la consommation d'énergie de la production de Na_2WO_4 de 30 %.	16,5
58	Céramiques fonctionnelles	Céramique fonctionnelle	ZrO_2 dopée Na_2WO_4 , résistante à des températures $> 1200^\circ \text{C}$, utilisée pour les buses	17.1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			d'impression 3D.	
59	bande interdite	bande interdite	la différence de WO_3 (dérivé de Na_2WO_4) , d'environ 2,5 à 2,8 eV, affecte les performances photocatalytiques.	17.1
60	Dopage	Dopage	Le WO_3 dérivé de N à Na_2WO_4 peut réduire la bande interdite à 2,2 eV et améliorer l'absorption de la lumière.	17.1
61	Internet industriel des objets	Internet industriel des objets (IIoT)	Le capteur surveille les paramètres de production de Na_2WO_4 (tels que le pH 8-10) et optimise le rendement de 5%.	17.2
62	Contrôleur logique programmable	Automate programmable industriel (API)	Ajustez automatiquement le taux de cristallisation du Na_2WO_4 (0,1 -0,5 g/ min) pour réduire les impuretés.	17.2
63	Densité de photocourant	Densité du photocourant	de photoanode WO_3 dérivée de Na_2WO_4 , 2,5 mA/cm ² (1,23 V par rapport à RHE).	17.3
64	Fenêtre intelligente	Fenêtre intelligente	Film électrochrome WO_3 à base de Na_2WO_4 , taux de gradation 70 %, temps de réponse <3 secondes.	17.4
65	Apprentissage automatique	Apprentissage automatique (ML)	Prédire la bande interdite des matériaux à base de Na_2WO_4 (erreur < 0,1 eV) pour accélérer la conception des matériaux.	17,5
66	Forêt aléatoire	Forêt aléatoire (RF)	L'algorithme ML optimise le photocatalyseur Na_2WO_4 , augmentant son efficacité de 15%.	17,5
67	Réseaux neuronaux	Réseau neuronal (NN)	L'optimisation des paramètres de production de Na_2WO_4 (température, pH) a augmenté le rendement de 8%.	17,5
68	Solubilité	Solubilité	Na_2WO_4 dans l'eau est de 73 g/100 mL (20 °C) et elle est insoluble dans l'éthanol.	2.1
69	Température de décomposition	Température de décomposition	Na_2WO_4 se décompose en WO_3 et Na_2O à 698° C, libérant des gaz irritants.	2.3
70	chimie de coordination	Chimie de coordination	WO_4^{2-} forme des composés de coordination avec des ions métalliques (tels que Fe^{3+}) et est utilisé dans la conception de catalyseurs.	3.3
71	Dissolution alcaline	lixiviation alcaline	Utilisez NaOH pour dissoudre la scheelite afin de générer une solution de Na_2WO_4 , pH 12-13, rendement > 95%.	5.2
72	Purification par cristallisation	Purification par cristallisation	L'évaporation de la solution de Na_2WO_4 produit des cristaux (> 98%) avec une taille de particules contrôlée de 50 à 200 μm.	5.3
73	Contrôle de qualité	Contrôle de la qualité (CQ)	Assurez-vous que Na_2WO_4 est conforme à la norme GB/T 26037-2020 et détectez une teneur en WO_3 > 59%.	6,5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

74	pigment	Pigment	Les tungstates dérivés de Na_2WO_4 sont utilisés pour colorer les céramiques et les revêtements, avec une résistance à la température de $>500^\circ\text{C}$.	7.3
75	Tests de toxicité	Tests de toxicité	Evaluation de la toxicité aiguë du Na_2WO_4 (DL50 1,4-2,0 g/kg, souris) selon la norme ISO 10993-5.	8.4
76	Assainissement des sols	Assainissement des sols	Les agents chélateurs à base de Na_2WO_4 fixent le Cr^{6+} dans le sol et réduisent sa mobilité de 50 %.	9,5
77	Calcul à haut débit	Calcul à haut débit	Criblage de formulations de photocatalyseurs à base de Na_2WO_4 pour accélérer la R&D (>1000 échantillons).	11.2
78	Spectroscopie Raman	Spectroscopie Raman	La vibration de liaison WO dans Na_2WO_4 (900 cm^{-1}) a été détectée pour vérifier la structure.	12.1
79	Équipement de protection individuelle	Équipement de protection individuelle (EPI)	Lors de la manipulation de Na_2WO_4 , portez un masque N95, des lunettes de protection et des gants en nitrile.	13.2
80	Tri des déchets	Classification des déchets	de Na_2WO_4 sont des déchets dangereux (HW 48) et doivent être traités conformément à la loi sur la prévention et le contrôle de la pollution de l'environnement par les déchets solides.	13,5
81	Normes ISO	Norme ISO	La norme ISO 6353-3 spécifie la méthode d'analyse Na_2WO_4 , avec une teneur en $\text{WO}_3 > 59,5\%$.	15.1
82	Normes ASTM	Norme ASTM	ASTM E1447-09 Détermination de la pureté de Na_2WO_4 ($> 98\%$), méthode XRF.	15.1
83	Normes GMP	Bonnes pratiques de fabrication (BPF)	de qualité pharmaceutique Na_2WO_4 doit être conforme aux BPF, avec des métaux lourds <10 ppm.	15.4
84	Traçabilité de la blockchain	Traçabilité de la blockchain	Suivre la chaîne d'approvisionnement en Na_2WO_4 pour garantir la durabilité des matières premières.	14,5
85	Compétitivité du marché	Compétitivité du marché	Na_2WO_4 augmentent leur part de marché grâce à l'innovation technologique et à la certification verte.	14,5
86	Valeurs limites d'émission	Limite d'émission	Tungstène dans les eaux usées $\text{Na}_2\text{WO}_4 < 0,5\text{ mg/L}$ (GB 8978-1996).	16.2
87	Pollution de l'eau	Contamination de l'eau	Le liquide résiduaire Na_2WO_4 ($> 0,5\text{ mg/L}$) affecte les organismes aquatiques, avec une CL50 d'environ 100 mg/L .	16.3
88	osmose inverse	Osmose inverse	Éliminer Na^+ et SO_4^{2-} des eaux usées Na_2WO_4 , avec un taux de récupération d'eau $> 90\%$.	16.2
89	Boucle fermée	Recyclage en boucle fermée	Les eaux usées produites par Na_2WO_4 sont recyclées, réduisant ainsi les émissions de 50 %.	16,5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

90	Biocompatibilité	Biocompatibilité	Na ₂ WO ₄ est utilisé dans les applications médicales, avec une viabilité cellulaire > 90 % (ISO 10993-5).	8.4
91	Analyse thermodynamique	Analyse thermodynamique	Calculez le changement d'enthalpie de réaction de Na ₂ WO ₄ (comme la dissolution alcaline ΔH < 0) et optimisez le processus.	12.2
92	Électrodéposition	Électrodéposition	Des films minces ont été déposés à partir d'une solution de Na ₂ WO ₄ avec une épaisseur de 1 à 5 μm et une densité de courant de 10 mA/cm ² .	7,5
93	Antioxydant	Propriété antioxydante	Na ₂ WO ₄ inhibe le stress oxydatif cellulaire et protège les cellules pancréatiques.	8.3
94	Risques liés à la chaîne d'approvisionnement	Risque de la chaîne d'approvisionnement	Na ₂ WO ₄ est affectée par la pénurie de minerai de tungstène et le quota d'exportation (42 000 tonnes de WO ₃).	14.3
95	Consommation d'énergie	Consommation d'énergie	de Na ₂ WO ₄ consomme environ 500 à 600 kWh/tonne d'électricité et 2 GJ/tonne d'énergie thermique.	16.1
96	Sédiment	Sédiment	H ₂ WO ₄ précipite dans le liquide résiduaire Na ₂ WO ₄ , libérant du tungstène dans la masse d'eau pendant une longue période.	16.3
97	Matériaux de faible dimension	Matériau de faible dimension	₃ (épaisseur < 5 nm) synthétisé à partir de Na ₂ WO ₄ pour une utilisation dans des dispositifs optoélectroniques.	17.1
98	Informatique de pointe	Informatique de pointe	Le traitement en temps réel des données de production de Na ₂ WO ₄ réduit le taux de défaillance des équipements de 30 %.	17.2
99	Électronique flexible	Électronique flexible	Na ₂ WO ₄ est utilisé dans les capteurs portables avec un rayon de courbure < 5 mm.	17.4
100	Ensemble de données	Ensemble de données	Données de performance Na ₂ WO ₄ (> 1000 échantillons) pour la formation du modèle d'IA.	17,5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Annexe 2 : Références sur le tungstate de sodium

Numéro de série	catégorie	Titre/Description	Informations sur la source/publication	Chapitres connexes
1	Documents standards	ISO 6353-3:1987 - Réactifs pour analyses chimiques - Tungstates	Organisation internationale de normalisation	15.1
2	Documents standards	ASTM E1447-09 - Méthode d'essai standard pour la détermination du tungstène	ASTM International	15.1
3	Documents standards	GB/T 26037-2020 - Spécification technique du tungstate de sodium	Normes nationales de la Chine	15.2
4	Documents standards	GB/T 30810-2014 - Méthodes d'analyse chimique des composés du tungstène	Normes nationales de la Chine	15.2
5	Documents standards	ISO 14040:2006 - Management environnemental - Analyse du cycle de vie	Organisation internationale de normalisation	16.1
6	Articles universitaires	Synthèse de nanoparticules de WO_3 à partir de Na_2WO_4 pour la photocatalyse	Journal de chimie des matériaux A, 2023, 11(5)	9.2, 17.1
7	Articles universitaires	Le tungstate de sodium comme inhibiteur de PTP1B pour le traitement du diabète	Recherche et pratique clinique sur le diabète, 2022, 180	8.1, 17.4
8	Articles universitaires	WO_3 dérivé de Na_2WO_4 pour anodes de batteries sodium-ion	Matériaux énergétiques avancés, 2024, 14(12)	9.3, 17.3
9	Articles universitaires	Élimination des métaux lourds à l'aide de Na_2WO_4 dans le traitement des eaux usées	Sciences et technologies de l'environnement, 2023, 57(8)	9.1, 16.2
10	Articles universitaires	Étude DFT sur la structure électronique et les propriétés catalytiques de Na_2WO_4	Journal de chimie physique C, 2024, 128(15)	11.1
11	Rapport de l'industrie	Perspectives du marché mondial du tungstène 2024-2030	Services d'information de Roskill, 2024	14.1-14.5
12	Rapport de l'industrie	Impact environnemental de la production de tungstène en Chine	Association chinoise de l'industrie des métaux non ferreux, 2023	16.1-16.3
13	Rapport de l'industrie	Analyse du marché du tungstate de sodium pour les applications de catalyse	Frost & Sullivan, 2024	7.2, 14.3
14	Rapport de l'industrie	Économie circulaire dans le recyclage du tungstène	Association internationale de l'industrie du tungstène, 2024	16.4

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

15	Rapport de l'industrie	Tendances de la fabrication verte dans le secteur des produits chimiques à base de tungstène	McKinsey & Company, 2023	16,5
16	Outils d'analyse	Analyse ICP-MS de la teneur en tungstène dans Na ₂ WO ₄	Thermo Fisher Scientific, Manuel d'utilisation de l'iCAP RQ, 2023	6.2, 12.1
17	Outils d'analyse	Analyse XRF pour la pureté du tungstate de sodium	Bruker, Guide de l'utilisateur du S8 TIGER, 2024	6.2, 15.1
18	Outils d'analyse	Base de données de projets sur les matériaux pour les études computationnelles sur Na ₂ WO ₄	Projet Matériaux, https://materialsproject.org , 2024	11,2, 17,5
19	Outils d'analyse	Logiciel VASP pour les calculs DFT des propriétés de Na ₂ WO ₄	Manuel VASP, version 6.4, 2024	11.1
20	Outils d'analyse	OriginPro pour l'analyse cinétique des réactions Na ₂ WO ₄	OriginLab, Guide de l'utilisateur, 2024	12.2
vingt-et-un	Documents standards	GB/T 31906-2015 - Spécifications d'emballage pour les produits chimiques à base de tungstène	Normes nationales de la Chine	13.3, 15.2
vingt-deux	Documents standards	Pharmacopée chinoise 2020 - Tungstate de sodium à usage pharmaceutique	Commission chinoise de pharmacopée	15.4
vingt-trois	Articles universitaires	Films électrochromes WO ₃ à base de Na ₂ WO ₄ pour fenêtres intelligentes	ACS Matériaux appliqués et interfaces, 2024, 16(10)	10.3, 17.4
vingt-quatre	Articles universitaires	Apprentissage automatique pour la conception de photocatalyseurs à base de Na ₂ WO ₄	Science des matériaux computationnelle, 2024, 230	17,5
25	Articles universitaires	Évaluation de la toxicité du Na ₂ WO ₄ dans les systèmes aquatiques	Écotoxicologie et sécurité environnementale, 2023, 245	8.4, 16.3
26	Rapport de l'industrie	Tendances des brevets dans les applications du tungstate de sodium	OMPI, Rapport mondial sur les brevets, 2024	15,5
27	Rapport de l'industrie	Risques pour la chaîne d'approvisionnement des produits chimiques à base de tungstène en 2024	Argus Media, Rapport sur le marché du tungstène, 2024	14.4
28	Outils d'analyse	MATLAB pour l'optimisation du processus de production de Na ₂ WO ₄	MathWorks, documentation MATLAB R2024a, 2024	17.2
29	Outils	Gaussienne 16 pour Na ₂ WO ₄	Gaussian Inc., Manuel	11.1

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

	d'analyse	Modélisation moléculaire	d'utilisation, 2024	
30	Outils d'analyse	LabVIEW pour l'automatisation et la surveillance de la production de Na ₂ WO ₄	NI, Guide de l'utilisateur LabVIEW 2024, 2024	17.2

en.com

chinatungsten.com

1

chinatungsten.com

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

Annexe 3 : Fiche technique du tungstate de sodium

3.1 Propriétés physiques et chimiques du tungstate de sodium

propriété	Valeur du paramètre	unité	Méthode d'essai	Chapitres connexes
Formule chimique	$\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	-	-	2.1
Poids moléculaire	329,85	g/mol	calculer	2.1
Apparence	Cristaux blancs ou légèrement jaunes	-	Visuel	2.1
Solubilité (20°C)	73	g/100 mL	GB/T 30810-2014	2.1
Point de fusion (décomposition)	698	°C	DSC	2.3
densité	4.18	g/cm ³	Méthode de gravité	2.2
pH (solution à 10 %)	8-9	-	pH-mètre	2.3

3.2 Paramètres du processus de production du tungstate de sodium

paramètre	Valeur du paramètre	du unité	Étape du processus	Chapitres connexes
Température de dissolution alcaline	120-180	°C	Solution alcaline à haute pression	5.2
Concentration de NaOH	20-30	% p/p	Dissolution alcaline	5.2
Temps de réaction	2-4	Heure	Dissolution alcaline	5.2
Taux de cristallisation	0,1-0,5	g/min	Cristallisation par évaporation	5.3
Consommation d'énergie	500-600	kWh/tonne	Hydrométallurgie	16.1
Taux de récupération du tungstène	>95	%	Échange d'ions	5.6
Concentration de tungstène dans les eaux usées	<0,5	mg/L	Précipitation par neutralisation	16.2

Tableau comparatif des performances des domaines d'application du tungstate de sodium

Domaines d'application	Performances clés	Valeur du paramètre	unité	Méthode d'essai	Chapitres connexes
Photocatalyse (WO ₃)	Taux de dégradation des polluants (bleu de méthylène)	>85	%	Spectroscopie UV-Vis	9.2

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Batterie sodium-ion (WO₃)	capacité	300	mAh / g	Charge et décharge à courant constant	9.3
Électrochrome (WO₃)	Taux de modulation optique	70	%	Spectroscopie UV-Vis	10.3
Adsorption des métaux lourds	Taux d'élimination du Pb ²⁺	>99	%	ICP-MS	9.1
Revêtement antimicrobien	Taux d'inhibition d'E. coli	>80	%	Dénombrement des colonies	8.2
Carbure cémenté (APT)	dureté	>1500	HT	Essai de dureté Vickers	7.1

3.4 Statistiques du marché mondial du tungstate de sodium

indice	Valeur du paramètre	unité	années	source	Chapitres connexes
Production mondiale	5.2	10 000 tonnes	2024	Estimations de l'industrie	14.1
Part de production de la Chine	75	%	2024	Rapport de l'industrie	14.2
Consommation mondiale	4.9	10 000 tonnes	2024	Analyse de marché	14.1
Prix de qualité industrielle	22 000 à 26 000	USD/tonne	2024	Statistiques commerciales	14.4
Prix de qualité analytique	32 000	USD/tonne	2024	Statistiques commerciales	14.4
Taux de croissance annuel moyen du marché	4	%	2025-2030	prédire	14.1
Ratio de tungstène recyclé	15	%	2024	Rapport de l'industrie	16.4

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

CTIA GROUP Sodium Tungstate (Na₂WO₄, Sodium Tungstate Dihydrate, referred to as ST) is produced using an advanced wet metallurgical process. Na₂WO₄ is a white crystalline powder widely used in catalysis, electroplating, environmental applications, and advanced materials due to its high purity, solubility, and chemical stability. Its tungstate ion (WO₄²⁻) enables versatile applications in industries ranging from chemical manufacturing to renewable energy.

2. Sodium Tungstate Features

- Chemical Composition:** Na₂WO₄·2H₂O, sodium tungstate dihydrate. Purity ≥ 99.9%, with minimal impurities.
- Appearance:** White or slightly yellowish crystalline powder; orthorhombic crystal structure.
- High Solubility:** Solubility of 73 g/100 mL in water at 20°C, ideal for aqueous applications.
- Versatility:** Supports applications in photocatalysis, battery materials, and heavy metal adsorption.
- Stability:** Chemically stable under dry conditions, with consistent performance in industrial processes.

3. Product Specifications

Type	Particle Size (μm)	Purity (wt%)	Bulk Density (g/cm ³)	WO ₃ Content (wt%)	Impurities (wt%, max)
Fine Grade	5-10	≥99.9	3.8-4.0	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Standard Grade	10-15	≥99.9	4.0-4.2	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002
Coarse Grade	15-20	≥99.9	4.2-4.4	68.00	Fe≤0.001, Mo≤0.002

4. Packaging and Quality Assurance

- Packaging:** Sealed plastic bottles or vacuum aluminum foil bags, net weight 500g, 1kg, or 5kg, ensuring moisture-proof and oxidation-proof storage.
- Quality Assurance:** Each batch includes a quality certificate with data on purity (ICP-MS), particle size distribution (laser diffraction), crystal structure (XRD), and WO₃ content (titration).

5. Procurement Information

- Email:** sales@chinatungsten.com
- Tel:** +86 592 5129595
- Website:** For more information about sodium tungstate, please visit the China Tungsten Online website (www.sodium-tungstate.com).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT