

Quais são os produtos químicos de tungstênio?

A árvore genealógica completa dos produtos químicos de tungstênio

**GRUPO CTIA LTD**

Líder global em fabricação inteligente para as indústrias de tungstênio, molibdênio e terras raras

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## INTRODUÇÃO AO GRUPO CTIA

CTIA GROUP LTD, uma subsidiária integral com personalidade jurídica independente estabelecida pela CHINATUNGSTEN ONLINE, dedica-se a promover o design inteligente, integrado e flexível e fabricação de materiais de tungstênio e molibdênio na era da Internet Industrial. CHINATUNGSTEN ONLINE, fundada em 1997 com [a www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com) como ponto de partida – o primeiro site de produtos de tungstênio de primeira linha da China – é a empresa pioneira de comércio eletrônico do país com foco nas indústrias de tungstênio, molibdênio e terras raras. Aproveitando quase três décadas de profunda experiência nos campos de tungstênio e molibdênio, o CTIA GROUP herda as excepcionais capacidades de design e fabricação de sua empresa-mãe, serviços superiores e reputação comercial global, tornando-se um provedor de soluções de aplicação abrangente nas áreas de produtos químicos de tungstênio, metais de tungstênio, carbonetos cimentados, ligas de alta densidade, molibdênio e ligas de molibdênio.

Nos últimos 30 anos, CHINATUNGSTEN ONLINE estabeleceu mais de 200 sites profissionais multilíngues de tungstênio e molibdênio cobrindo mais de 20 idiomas, com mais de um milhão de páginas de notícias, preços e análises de mercado relacionadas a tungstênio, molibdênio e terras raras. Desde 2013, sua conta oficial do WeChat "CHINATUNGSTEN ONLINE" publicou mais de 40.000 informações, servindo quase 100.000 seguidores e fornecendo informações gratuitas diariamente para centenas de milhares de profissionais do setor em todo o mundo. Com visitas cumulativas ao seu cluster de sites e conta oficial atingindo bilhões de vezes, tornou-se um centro de informações global e autorizado reconhecido para as indústrias de tungstênio, molibdênio e terras raras, fornecendo notícias multilíngues 24 horas por dia, 7 dias por semana, desempenho de produtos, preços de mercado e serviços de tendência de mercado.

Com base na tecnologia e experiência da CHINATUNGSTEN ONLINE, O GRUPO CTIA concentra-se em atender às necessidades personalizadas dos clientes. Utilizando tecnologia de IA, projeta e produz colaborativamente produtos de tungstênio e molibdênio com composições químicas específicas e propriedades físicas (como tamanho de partícula, densidade, dureza, resistência, dimensões e tolerâncias) com os clientes. Oferece serviços integrados de processo completo, que vão desde a abertura de moldes, produção experimental, acabamento, embalagem e logística. Nos últimos 30 anos, a CHINATUNGSTEN ONLINE forneceu serviços de pesquisa e desenvolvimento, design e produção para mais de 500.000 tipos de produtos de tungstênio e molibdênio para mais de 130.000 clientes em todo o mundo, estabelecendo a base para uma fabricação personalizada, flexível e inteligente. Baseando-se nesta base, o CTIA GROUP aprofunda ainda mais a fabricação inteligente e a inovação integrada de materiais de tungstênio e molibdênio na era da Internet Industrial.

O Dr. Hanns e sua equipe no CTIA GROUP, com base em seus mais de 30 anos de experiência na indústria, também escreveram e divulgaram publicamente conhecimento, tecnologia, preço do tungstênio e análise de tendências de mercado relacionados ao tungstênio, molibdênio e terras raras, compartilhando livremente com a indústria de tungstênio. Dr. Han, com mais de 30 anos de experiência desde a década de 1990 no comércio eletrônico e comércio internacional de produtos de tungstênio e molibdênio, bem como o design e fabricação de carbonetos cimentados e ligas de alta densidade, é um especialista renomado em produtos de tungstênio e molibdênio, tanto nacional quanto internacionalmente. Aderindo ao princípio de fornecer informações profissionais e de alta qualidade para a indústria, a equipe do CTIA GROUP escreve continuamente documentos de pesquisa técnica, artigos e relatórios da indústria com base na prática de produção e nas necessidades dos clientes do mercado, ganhando elogios generalizados na indústria. Essas conquistas fornecem um sólido suporte para a inovação tecnológica, promoção de produtos e trocas industriais do CTIA GROUP, impulsionando-o a se tornar líder global na fabricação de produtos de tungstênio e molibdênio e serviços de informação.



### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

## Índice

### Capítulo 1 Visão geral do tungstênio

- 1.1 Descoberta e História do Tungstênio
  - 1.1.1 Breve História da Descoberta
    - 1.1.1.1 Descoberta inicial pelo químico sueco Cronstedt (1755, literatura sueca)
    - 1.1.1.2 O isolamento do ácido tungstico de Scheele (1781, literatura alemã)
    - 1.1.1.3 Purificação do metal de tungstênio pelos irmãos Elhuyar (1783, literatura espanhola)
  - 1.1.2 Nomenclatura e designações multilingues de tungstênio
  - 1.1.3 Primeiras Aplicações Industriais (Século 19, Literatura Inglesa e Francesa)
- 1.2 Ocorrência natural de tungstênio
  - 1.2.1 Tipos e distribuição de minerais globais de tungstênio
    - 1.2.1.1 Wolframita
    - 1.2.1.2 Scheelite
    - 1.2.1.3 Outros minerais menores de tungstênio (por exemplo, hübnerite)
  - 1.2.2 Principais países produtores e reservas
    - 1.2.2.1 China (cerca de 60% das reservas mundiais)
    - 1.2.2.2 Rússia, Vietname, Canadá, Austrália e outros
  - 1.2.3 Principais regiões mineiras de tungstênio
    - Extremo Oriente Russo
    - Outras Regiões
- 1.3 Propriedades físicas e químicas do tungstênio
  - 1.3.1 Propriedades físicas (Ponto de Fusão 3410°C, Densidade 19,25 g/cm<sup>3</sup>)
  - 1.3.2 Propriedades químicas (estados de oxidação +2 a +6, resistência à corrosão)
  - 1.3.3 Descrições de Propriedades em Literatura Multilingue (Russo, Japonês, Árabe, etc.)
- 1.4 Valor industrial e científico dos produtos químicos de tungstênio
  - 1.4.1 Visão geral da demanda industrial global
  - 1.4.2 Significado científico
- Fontes de Informação
- Referências

### Capítulo 2

#### Classificação básica e características dos produtos químicos de tungstênio

- 2.1 Classificação de produtos químicos de tungstênio
  - 2.1.1 Óxidos de tungstênio
    - [Trióxido de tungstênio \(WO<sub>3</sub>, Trióxido de tungstênio\)](#)
    - Dióxido de tungstênio (WO<sub>2</sub>, Dióxido de tungstênio)
    - Pentóxido de ditungstênio (W<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Pentóxido de ditungstênio)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

[Óxido azul de tungstênio \( \$W\_{18}O\_{49}\$  ou  \$W\_{20}O\_{58}\$ , óxido azul de tungstênio\)](#)

### 2.1.2 Ácido túngstico e tungstato

[O ácido túngstico \( \$H\_2WO\_4\$ , ácido túngstico\)](#) e seus sais, conhecidos como tungstatos, são ácidos túngsticos críticos ( $H_2WO_4$ , ácido túngstico)

[Tungstato de sódio \( \$Na\_2WO\_4\$ , tungstato de sódio\)](#)

[Paratungstato de amônio \(APT,  \$\(NH\_4\)\_2WO\_4\$ , Paratungstato de amônio\)](#)

[Metatungstato de amônio \( \$\(NH\_4\)\_6H\_2W\_{12}O\_{40}\$ , Metatungstato de amônio\)](#)

[Tungstato de cálcio \( \$CaWO\_4\$ , tungstato de cálcio\)](#)

### 2.1.3 Halogenetos de tungstênio

[Hexaóxido de tungstênio \( \$WCl\_6\$ , Hexaóxido de tungstênio\)](#)

[Hexafluoreto de tungstênio \( \$WF\_6\$ , Hexafluoreto de tungstênio\)](#)

### 2.1.4 Carbonetos e nitretos

[Pó de carboneto de tungstênio \(WC, pó de carboneto de tungstênio\)](#)

Carboneto de ditungstênio ( $W_2C$ , carboneto de ditungstênio)

Nitreto de tungstênio (WN, Nitreto de tungstênio)

### 2.1.5 Sulfetos e fosfetos

[Dissulfureto de tungstênio \( \$WS\_2\$ , Dissulfureto de tungstênio\)](#)

Fosfeto de tungstênio (WP, fosfeto de tungstênio)

### 2.1.6 Compostos organotungstênicos

[Tungstênio hexacarbonilo \( \$W\(CO\)\_6\$ , Tungstênio Hexacarbonilo\)](#)

### 2.1.7 Catalisadores e reagentes contendo tungstênio

Ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico)

### 2.1.8 Produtos químicos farmacêuticos contendo tungstênio

Nanopartículas de tungstato de sódio

( $Na_2WO_4$  nanopartículas, nanopartículas de tungstato de sódio)

### 2.1.9 Outros compostos não metálicos contendo tungstênio

Diselenida de tungstênio ( $WSe_2$ , Diselenida de tungstênio)

## 2.2 Características básicas dos produtos químicos de tungstênio

### 2.2.1 Estrutura cristalina e composição molecular

### 2.2.2 Estabilidade térmica e química

### 2.2.3 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

Fontes de Informação

Referências

## Capítulo 3

### Preparação e Aplicações de Óxidos de Tungstênio

### 3.1 Trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de tungstênio)

#### 3.1.1 Processos de Preparação

Método de Calcinação (Decomposição Oxidativa a Alta Temperatura) Método de Precipitação Química Úmida (Extração de Acidificação) Técnica de Deposição Química de Vapor (CVD)

#### 3.1.2 Estrutura Cristalina e Composição Molecular

#### 3.1.3 Estabilidade térmica e química

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 3.1.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

## 3.2 Dióxido de tungstênio ( $WO_2$ , dióxido de tungstênio)

### 3.2.1 Processos de Preparação

Método de redução de hidrogênio Método de decomposição térmica

### 3.2.2 Estrutura cristalina e composição molecular

### 3.2.3 Estabilidade térmica e química

### 3.2.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

## 3.3 Outros óxidos de tungstênio

### 3.3.1 Processos de Preparação

Método de oxidação para pentóxido de ditungstênio

( $W_2O_5$ , Pentóxido de Ditungstênio) Redução de alta temperatura para a variante de óxido azul de tungstênio

( $W_{18}O_{49}$ , variante de óxido azul de tungstênio)

### 3.3.2 Estrutura cristalina e composição molecular

### 3.3.3 Estabilidade térmica e química

### 3.3.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

Fontes de Informação

Referências

## Capítulo 4

### Preparação e Aplicações de Ácido Tungstico e Tungstato

## 4.1 Ácido Tungstico ( $H_2WO_4$ , Ácido Tungstico)

### 4.1.1 Processos de Preparação

Método de precipitação ácida (lixiviação de minério) Método de acidólise de tungstato (conversão de solução) Método de troca iônica (preparação de alta pureza)

### 4.1.2 Estrutura cristalina e composição molecular

### 4.1.3 Estabilidade térmica e química

### 4.1.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

## 4.2 Tungstato de sódio ( $Na_2WO_4$ , tungstato de sódio)

### 4.2.1 Processos de Preparação

Método de fusão alcalina (extração de minério) Método de neutralização do ácido tungstico (preparação laboratorial)

### 4.2.2 Estrutura cristalina e composição molecular

### 4.2.3 Estabilidade térmica e química

### 4.2.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

## 4.3 Outros tungstatos

### 4.3.1 Processos de Preparação

Troca Iônica e Cristalização para Paratungstato de Amônio

(APT,  $(NH_4)_2WO_4$ , Paratungstato de Amônio) Reação de fusão para tungstato de cálcio

( $CaWO_4$ , tungstato de cálcio) Polimerização de acidificação para metatungstato de amônio

( $(NH_4)_6H_2W_{12}O_{40}$ , Metatungstato de Amônio)

### 4.3.2 Estrutura Cristalina e Composição Molecular

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



- 4.3.3 Estabilidade térmica e química
- 4.3.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas
- Fontes de Informação
- Referências

## Capítulo 5 Preparação e Aplicações de Haletos de Tungstênio

- 5.1 Hexacloreto de tungstênio ( $WCl_6$ , hexacloreto de tungstênio)
  - 5.1.1 Processos de preparação
    - Método de cloração direta (cloração de tungstênio metálico)
    - Método de redução de cloro (cloração de óxido)
    - Método de reação em fase gasosa (preparação de alta pureza)
  - 5.1.2 Estrutura cristalina e composição molecular
  - 5.1.3 Estabilidade térmica e química
  - 5.1.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas
- 5.2 Hexafluoreto de tungstênio ( $WF_6$ , hexafluoreto de tungstênio)
  - 5.2.1 Processos de Preparação
    - Método de fluoração direta (reação de tungstênio e flúor)
    - Método de fluoração de óxidos (fluoração de trióxido de tungstênio)
  - 5.2.2 Estrutura cristalina e composição molecular
  - 5.2.3 Estabilidade térmica e química
  - 5.2.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas
- 5.3 Outros halogenetos de tungstênio
  - 5.3.1 Processos de Preparação
    - Método de cloração de redução para tetracloreto de tungstênio ( $WCl_4$ , tetracloreto de tungstênio)
    - Método de cloração controlada para pentacloreto de tungstênio ( $WCl_5$ , pentacloreto de tungstênio)
  - 5.3.2 Estrutura cristalina e composição molecular
  - 5.3.3 Estabilidade térmica e química
  - 5.3.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas
  - Fontes de Informação
  - Referências

## Capítulo 6 Preparação e Aplicações de Carbonetos e Nitretos de Tungstênio

- 6.1 Carboneto de tungstênio ( $WC$ , carboneto de tungstênio)
  - 6.1.1 Processos de Preparação
    - Método de carbonização de alta temperatura (carbonização em pó de tungstênio)
    - Método de carbonização em fase gasosa (reação química de vapor)
    - Método de síntese de plasma (preparação de partículas ultrafinas)
  - 6.1.2 Estrutura cristalina e composição molecular
  - 6.1.3 Estabilidade térmica e química

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

#### 6.1.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

### 6.2 Nitreto de tungstênio (WN, nitreto de tungstênio)

#### 6.2.1 Processos de Preparação

Método de nitratação a alta temperatura (nitretação em pó de tungstênio) Método de deposição em fase gasosa (CVD ou PVD)

#### 6.2.2 Estrutura cristalina e composição molecular

#### 6.2.3 Estabilidade térmica e química

#### 6.2.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

### 6.3 Outros carbonetos e nitretos de tungstênio

#### 6.3.1 Processos de Preparação

Método de carbonização controlada para carboneto de ditungstênio

( $W_2C$ , Carboneto de Ditungstênio) Método de Codifusão Carbono-Nitrogênio para Carbonitrída de Tungstênio

( $WC_{1-x}N_x$ , carbonitrída de tungstênio)

#### 6.3.2 Estrutura cristalina e composição molecular

#### 6.3.3 Estabilidade térmica e química

#### 6.3.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

Fontes de Informação

Referências

## Capítulo 7

### Preparação e Aplicações de Sulfetos de Tungstênio e Fosfetos

#### 7.1 Dissulfeto de tungstênio ( $WS_2$ , Dissulfeto de tungstênio)

##### 7.1.1 Processos de Preparação

Método de sulfidação de alta temperatura (sulfidação em pó de tungstênio) Método de deposição química de vapor (CVD) Método de esfoliação mecânica (Preparação de nanofolhas)

##### 7.1.2 Estrutura cristalina e composição molecular

##### 7.1.3 Estabilidade térmica e química

##### 7.1.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

#### 7.2 Fosfeto de tungstênio (WP, fosfeto de tungstênio)

##### 7.2.1 Processos de Preparação

Método de Fosfatação a Alta Temperatura (Fosfatação em Pó de Tungstênio) Método de Redução Química (Fosfatação de Óxido)

##### 7.2.2 Estrutura Cristalina e Composição Molecular

##### 7.2.3 Estabilidade térmica e química

##### 7.2.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

#### 7.3 Outros Sulfetos e fosfetos de tungstênio

##### 7.3.1 Processos de Preparação

Método de sulfidação controlada para trissulfeto de ditungstênio

( $W_2S_3$ , Trissulfeto de ditungstênio) Método de fosfatação de alta temperatura para difosfeto de tungstênio

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

( $WP_2$ , Difosfeto de Tungstênio)

### 7.3.2 Estrutura Cristalina e Composição Molecular

### 7.3.3 Estabilidade térmica e química

### 7.3.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

Fontes de Informação

Referências

## Capítulo 8

### Preparação e Aplicações de Compostos Organometálicos de Tungstênio

#### 8.1 Hexacarbonilo de tungstênio ( $W(CO)_6$ , Hexacarbonilo de tungstênio)

##### 8.1.1 Processos de Preparação

Método de carbonilação de alta pressão (carbonilação em pó de tungstênio) Método de carbonilação redutora (redução de haletos) Método de síntese em fase gasosa (preparação de alta pureza)

##### 8.1.2 Estrutura cristalina e composição molecular

##### 8.1.3 Estabilidade Térmica e Química

##### 8.1.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

#### 8.2 Dicloreto de tungstenoceno ( $Cp_2WCl_2$ , Dicloreto de tungstenoceno)

##### 8.2.1 Processos de Preparação

Método de coordenação de haleto (reação de hexacloreto de tungstênio) Método de coordenação redutiva (substrato de trióxido de tungstênio)

##### 8.2.2 Estrutura cristalina e composição molecular

##### 8.2.3 Estabilidade térmica e química

##### 8.2.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

#### 8.3 Outros compostos organometálicos de tungstênio

##### 8.3.1 Processos de Preparação

Método de coordenação carbonilo para tungstenoceno tetracarbonilo

Método de alquilação ( $CpW(CO)_4$ , Tungstenoceno Tetracarbonil) para hexametiltungstênio

( $W(CH_3)_6$ , Hexametiltungstênio)

##### 8.3.2 Estrutura cristalina e composição molecular

##### 8.3.3 Estabilidade térmica e química

##### 8.3.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

Fontes de Informação

Referências

## Capítulo 9

### Preparação e Aplicações de Catalisadores Contendo Tungstênio e Reagentes

#### 9.1 Ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico)

##### 9.1.1 Processos de Preparação

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Método de precipitação ácida (reação de tungstato) Método de purificação de extração (extração de solução) Método de troca iônica (preparação de alta pureza)

#### 9.1.2 Estrutura cristalina e composição molecular

#### 9.1.3 Estabilidade térmica e química

#### 9.1.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

### 9.2 Ácido silicotúngstico ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , ácido silicotúngstico)

#### 9.2.1 Processos de Preparação

Método de reação ácida (silicato de sódio e reação de tungstato) Método de extração (purificação da solução)

#### 9.2.2 Estrutura cristalina e composição molecular

#### 9.2.3 Estabilidade térmica e química

#### 9.2.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

### 9.3 Outros catalisadores e reagentes contendo tungstênio

#### 9.3.1 Processos de Preparação

Método de reação em fase sólida para tungstato de zinco ( $ZnWO_4$ , tungstato de zinco) Método de neutralização para tungstato de amônio ( $(NH_4)_2WO_4$ , tungstato de amônio)

#### 9.3.2 Estrutura cristalina e composição molecular

#### 9.3.3 Estabilidade térmica e química

Fontes de Informação

Referências

## Capítulo 10

### Preparação e Aplicações de Produtos Químicos Farmacêuticos Contendo Tungstênio

#### 10.1 Nanopartículas de tungstato de sódio

( $Na_2WO_4$  nanopartículas, nanopartículas de tungstato de sódio)

#### 10.1.1 Processos de Preparação

Método de precipitação da solução (precipitação de tungstato de sódio) Método de microemulsão (controle do tamanho de partícula) Método solvotérmico (preparação de alta pureza)

#### 10.1.2 Estrutura cristalina e composição molecular

#### 10.1.3 Estabilidade térmica e química

#### 10.1.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

### 10.2 Nanopartículas de polioxotungstato (nanopartículas de polioxotungstate)

#### 10.2.1 Processos de Preparação

Método de Polimerização de Solução (Polimerização de Tungstato)

Método de Nanoemulsão (Controle do Tamanho de Partícula)

#### 10.2.2 Estrutura Cristalina e Composição Molecular

#### 10.2.3 Estabilidade térmica e química

#### 10.2.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

### 10.3 Outros produtos químicos farmacêuticos contendo tungstênio

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 10.3.1 Processos de Preparação

Método de precipitação para nanopartículas de tungstato de cálcio  
(nanopartículas de  $\text{CaWO}_4$ , nanopartículas de tungstato de cálcio)

Nanopartículas de trióxido de tungstênio

### 10.3.2 Estrutura cristalina e composição molecular

Nanopartículas de tungstato de cálcio

### 10.3.3 Estabilidade térmica e química

Nanopartículas de tungstato de cálcio

### 10.3.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

Nanopartículas de tungstato de cálcio

Fontes de Informação

Referências

## Capítulo 11

### Preparação e Aplicações de Outros compostos não metálicos contendo tungstênio

#### 11.1 Diselenide de tungstênio ( $\text{WSe}_2$ , Diselenide de tungstênio)

##### 11.1.1 Processos de Preparação

Método de Selenização de Alta Temperatura (Selenização em Pó de Tungstênio)

Método de Deposição Química de Vapor (CVD)

Método de Esfoliação Mecânica (Preparação Monocamada)

##### 11.1.2 Estrutura cristalina e composição molecular

##### 11.1.3 Estabilidade térmica e química

##### 11.1.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

#### 11.2 Ditelureto de tungstênio ( $\text{WTe}_2$ , Ditelureto de tungstênio)

##### 11.2.1 Processos de Preparação

Método de Tellurização de Alta Temperatura (Tellurização de Pó de Tungstênio) Método de Deposição Química de Vapor (CVD)

##### 11.2.2 Estrutura Cristalina e Composição Molecular

##### 11.2.3 Estabilidade térmica e química

##### 11.2.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

#### 11.3 Outros compostos não metálicos contendo tungstênio

##### 11.3.1 Processos de Preparação

Método de iodinação para diiodeto de tungstênio

( $\text{WI}_2$ , Diiodeto de Tungstênio) Método de bromação para dibrometo de tungstênio  
( $\text{WBr}_2$ , Dibrometo de Tungstênio)

##### 11.3.2 Estrutura Cristalina e Composição Molecular

##### 11.3.3 Estabilidade térmica e química

##### 11.3.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

Fontes de Informação

Referências

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Capítulo 12

### Impacto ambiental e reciclagem de produtos químicos de tungstênio

#### 12.1 Visão geral do impacto ambiental dos produtos químicos de tungstênio

##### 12.1.1 Impacto ambiental da mineração e produção

##### 12.1.2 Impacto ambiental da utilização e eliminação

##### 12.1.3 Regulamentação e Gestão Ambiental

#### 12.2 Tecnologias de reciclagem para produtos químicos de tungstênio

##### 12.2.1 Tecnologia de reciclagem hidrometalúrgica

##### 12.2.2 Tecnologia de reciclagem pirometalúrgica

##### 12.2.3 Tecnologia de reciclagem eletroquímica

#### 12.3 Aplicações de produtos químicos de tungstênio reciclado

##### 12.3.1 Reutilização industrial

##### 12.3.2 Investigação científica e domínios emergentes

##### 12.3.3 Benefícios ambientais

##### Referências

## Capítulo 13

### Adenda

### Omissões e expansões abrangentes de produtos químicos de tungstênio

#### 13.1 Visão geral abrangente de produtos químicos de tungstênio omitidos

##### 13.1.1 Identificação e antecedentes dos compostos omitidos

##### 13.1.2 Metodologia para Inferência e Validação de Compostos

#### 13.2 Disilicida de tungstênio ( $WSi_2$ , Disilicida de tungstênio)

##### 13.2.1 Processos de Preparação

Método de Silicacão a Alta Temperatura Método de Deposição Química de Vapor (CVD)

##### 13.2.2 Estrutura Cristalina e Composição Molecular

##### 13.2.3 Estabilidade térmica e química

##### 13.2.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

##### 13.2.5 Aplicações e antecedentes

#### 13.3 Boreto de tungstênio (WB, Boride de tungstênio)

##### 13.3.1 Processos de Preparação

Método de Boridação a Alta Temperatura Método de Síntese de Plasma

##### 13.3.2 Estrutura Cristalina e Composição Molecular

##### 13.3.3 Estabilidade térmica e química

##### 13.3.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

##### 13.3.5 Aplicações e antecedentes

#### 13.4 Outros compostos omitidos e inferidos

##### 13.4.1 Dicianeto de tungstênio ( $W(CN)_2$ , Dicianeto de tungstênio)

##### 13.4.2 Digermaneto de tungstênio ( $WGe_2$ , Tungsten Digermanide)

##### 13.4.3 Diarsenido de tungstênio ( $WAs_2$ , diarsenido de tungstênio)

##### 13.4.4 Molibdato de tungstênio ( $WMoO_4$ , molibdato de tungstênio)

##### 13.4.5 Validação e verificação

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Fontes de Informação

Referências

## Apêndice

### Lista de produtos químicos e compostos de tungstênio apresentados no livro

1. Óxidos de tungstênio
2. Ácidos tungsticos e tungstato
3. Haletos de tungstênio
4. Carbonetos e nitretos
5. Sulfetos e fosfetos de tungstênio
6. Selenídeos e teluretos de tungstênio
7. Silicidas e Germanídeos de Tungstênio
8. Borídeos e arsénidos de tungstênio
9. Compostos organometálicos de tungstênio
10. Catalisadores e reagentes de tungstênio contendo tungstênio
11. Produtos químicos farmacêuticos contendo tungstênio de tungstênio

## Capítulo 14:

### Segurança na Produção e Utilização de Tungstênio

#### 14.1 Normas de Segurança na Produção Química de Tungstênio

##### 14.1.1 Avaliação de Riscos no Processo de Produção

###### 14.1.1.1 Riscos de operações de alta temperatura e alta pressão Medidas de mitigação

###### 14.1.1.2 Controlo das Emissões de Gases Tóxicos Medidas de Mitigação

##### 14.1.2 Equipamentos de segurança e medidas de proteção

###### 14.1.2.1 Ventilação e instalações à prova de explosão Recomendações de execução

###### 14.1.2.2 Equipamentos de Proteção Individual (EPI)

Precauções

##### 14.1.3 Normas e Regulamentos Internacionais de Segurança

###### 14.1.3.1 Normas OSHA e ECHA

Dicas de conformidade

###### 14.1.3.2 Normas de produção de segurança chinesas

Dicas de implementação

Dica

#### 14.2 Gestão da Segurança na Utilização de Produtos Químicos de Tungstênio

##### 14.2.1 Diretrizes de Segurança para Uso Industrial

###### 14.2.1.1 Requisitos de armazenamento e transporte

Tramitação processual

###### 14.2.1.2 Gestão de resíduos e resposta a derrames

Protocolo de Emergência

##### 14.2.2 Precauções de segurança em uso laboratorial

###### 14.2.2.1 Manuseamento de reagentes e gestão de resíduos

Dicas de Segurança

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



### 14.2.3 Segurança biológica em aplicações médicas

#### 14.2.3.1 Avaliação da toxicidade de drogas tungstatas

Procedimentos de Segurança

Dica

### 14.3 Amostras MSDS típicas para produtos químicos chave de tungstênio

#### 14.3.1 Trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de tungstênio) MSDS

##### 14.3.1.1 Identificação e composição química

##### 14.3.1.2 Visão geral dos perigos

##### 14.3.1.3 Requisitos de manuseamento e armazenamento

##### 14.3.1.4 Medidas de emergência

#### 14.3.2 FDSM de carboneto de tungstênio

##### 14.3.2.1 Identificação e composição química

##### 14.3.2.2 Visão geral dos perigos

##### 14.3.2.3 Requisitos de manuseamento e armazenamento

##### 14.3.2.4 Medidas de emergência

#### 14.3.3 Tungstato de sódio ( $Na_2WO_4$ , tungstato de sódio) MSDS

##### 14.3.3.1 Identificação e composição química

##### 14.3.3.2 Visão geral dos perigos

##### 14.3.3.3 Requisitos de manuseamento e armazenamento

##### 14.3.3.4 Medidas de emergência

#### 14.3.4 Hexafluoreto de tungstênio ( $WF_6$ , hexafluoreto de tungstênio) MSDS

##### 14.3.4.1 Identificação e composição química

##### 14.3.4.2 Visão geral dos perigos

##### 14.3.4.3 Requisitos de manuseamento e armazenamento

##### 14.3.4.4 Medidas de emergência

#### 14.3.5 Amostras de FDSM para outros produtos químicos importantes de tungstênio (por exemplo, APT, $WS_2$ )

Dica de referência

### 14.4 Desenvolvimentos futuros na tecnologia de segurança química de tungstênio

#### 14.4.1 Aplicações de IA na Produção de Segurança

#### 14.4.2 Tendências em tecnologias de segurança ecológicas

Perspetivas

Fontes de Informação

Referências

## Manual de Segurança Química OSHA, Washington, D.C.

Última Edição

### 1. Introdução e Objetivo

Objetivo

Âmbito de aplicação

Base jurídica

### 2. Definição e identificação de produtos químicos perigosos

Definição

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Identificação

Exemplo

### 3. Avaliação dos riscos e medidas de controlo

Riscos de alta temperatura e alta pressão

Controlos

Emissões de Gases Tóxicos

Controlos

Métodos de Avaliação

### 4. Rotulagem e Fichas de Dados de Segurança (FDS)

Requisitos de rotulagem:

Forma SDS

Exemplo

### 5. Formação e Educação dos Colaboradores

Conteúdo

FREQUÊNCIA

Exemplo

### 6. Resposta a Emergências e Gestão de Incidentes

Resposta do jogo:

Primeiros Socorros:

Apresentação de relatórios

### 7. Conformidade e inspeções

Requerimentos

Sanções

Exemplo

Exemplos específicos de tungsténio

Trióxido de tungsténio ( $WO_3$ )

Hexafluoreto de tungsténio ( $WF_6$ )

## Tungsten Chemical MSDS (Multilingual) ECHA, Helsínquia

### Última Edição

1. Identificação da substância/mistura e da empresa/empresa
2. Identificação dos perigos
3. Composição/Informação sobre os componentes
4. Medidas de primeiros socorros
5. Medidas de combate a incêndios
6. Medidas a tomar em caso de fugas acidentais
7. Manuseamento e Armazenagem
8. Controlo da exposição/Proteção pessoal
9. Propriedades físicas e químicas
10. Estabilidade e Reatividade
11. Informação toxicológica
12. Informação ecológica
13. Considerações sobre a eliminação

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

14. Informações relativas ao transporte
15. Informação sobre regulamentação
16. Outras informações

### **Exemplos adicionais de FDSM química de tungstênio (Abreviado)**

- Carboneto de tungstênio (WC)
- Tungstato de sódio (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>)
- Hexafluoreto de tungstênio (WF<sub>6</sub>)

## **Capítulo 15**

### **Políticas de Controlo e Tributação da Indústria do Tungstênio A nível mundial, com foco na China, Incluindo Europa, Estados Unidos, Japão e Coreia do Sul**

#### **15.1 Visão geral das políticas da indústria de tungstênio**

##### **15.1.1 Importância estratégica global da indústria do tungstênio**

##### **15.1.2 Objetivos políticos e principais diferenças entre países**

China

Estados Unidos

União Europeia

Japão e Coreia do Sul

#### **15.2 Políticas de exploração e mineração**

##### **15.2.1 Políticas de exploração e mineração da China**

Políticas de Exploração

Políticas de mineração

Aplicação da regulamentação e estudo de caso

Requisitos ambientais

##### **15.2.2 Políticas de exploração e mineração na Europa e nos Estados Unidos**

Estados Unidos

União Europeia:

##### **15.2.3 Políticas de exploração e mineração no Japão e na Coreia do Sul**

Japão

Coreia do Sul

#### **15.3 Políticas de fundição e processamento da produção**

##### **15.3.1 Políticas de fundição e processamento de produção da China**

##### **15.3.2 Políticas de fundição e processamento da produção na Europa e nos Estados Unidos**

Estados Unidos

União Europeia

##### **15.3.3 Políticas de fundição e processamento da produção no Japão e na Coreia do Sul**

Japão

Coreia do Sul

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## 15.4 Políticas e controlos de importação e exportação

### 15.4.1 Políticas de importação e exportação da China

Políticas de controle de exportação

Medidas específicas

Regulamentos relativos aos produtos de dupla utilização

Políticas de Importação

Políticas Tarifárias

Detalhes Adicionais

### 15.4.2 Políticas de Importação e Exportação na Europa e nos Estados Unidos

Estados Unidos

União Europeia

### 15.4.3 Políticas de importação e exportação no Japão e na Coreia do Sul

Japão

Coreia do Sul

## 15.5 Políticas fiscais

### 15.5.1 Políticas fiscais da China

### 15.5.2 Políticas fiscais na Europa e nos Estados Unidos

Estados Unidos

União Europeia

### 15.5.3 Políticas fiscais no Japão e na Coreia do Sul

Japão

Coreia do Sul

Fontes de Informação

## Referências

**Lista de produtos de tungstênio sujeitos a controlos de exportação no âmbito da lista de produtos e tecnologias de dupla utilização da República Popular da China**

### Lista de Controle de Exportação de Produtos de Tungstênio

Medidas administrativas para licenças de exportação de produtos e tecnologias de dupla utilização  
SH

### Apêndice: Principais padrões industriais para produtos químicos de tungstênio

#### Principais padrões industriais para produtos químicos e compostos de tungstênio nos EUA

1. ASTM D7047-15 (Método de Ensaio Padrão para Análise de Tungstato)
2. ASTM E236-66 (2017) (Especificação padrão para análise química de tungstênio)
3. OSHA PEL (29 CFR 1910.1000) Valores-limite de exposição profissional

#### Principais normas industriais para produtos químicos e compostos de tungstênio na UE

1. EN 10204:2004 Produtos Metálicos - Tipos de Documentos de Inspeção
2. REACH Anexo XVII (CE 1907/2006) Registo e restrição do tungstênio

#### Principais normas industriais para produtos químicos e compostos de tungstênio no Japão

1. JIS H 1404:2001 (Métodos para Análise Química de Tungstênio)
2. JIS K 8962:2008 (tungstato de sódio)

#### Principais normas industriais para produtos químicos e compostos de tungstênio na

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## Coreia do Sul

1. KS M 6891:2018 (Óxidos de tungstênio)
2. KS M 6893:2018 (Tungestados)

## Principais Normas Industriais Internacionais para Produtos Químicos e Compostos de Tungstênio

1. ISO 11876:2010 Determinação do teor de oxigênio em pó de tungstênio
2. ISO 6892-1:2016 Materiais Metálicos - Análise Química

Notas complementares

Fontes de dados:

Perspetiva Global:

## Padrões químicos e compostos de tungstênio da China

1. GB/T 10116-2007 Trióxido de tungstênio
2. GB/T 23365-2009 Paratungstato de amônio (APT)
3. HG/T 2959-2010 Tungstato de sódio
4. HG/T 2469-2010 Ácido Tungstico
5. GBZ 2.1-2019 Valores-limite de exposição ocupacional a substâncias perigosas no local de trabalho

## Principais padrões da indústria do Japão para produtos químicos e compostos de tungstênio

1. JIS H 1404:2001 タングステン化学品の分析 (Métodos para Análise Química de Tungstênio)
2. JIS K 8962:2008 タングステン酸ナトリウム (tungstato de sódio)  
韓国タングステン化学および化合物主要産業基準 (Traduzido para coreano)
1. KS M 6891:2018 텅스텐 산화물 (Óxidos de tungstênio)
2. KS M 6893:2018 텅스텐산염 (Tungestados)

## Lista de compostos contendo tungstênio:

### Números CAS, Fórmulas Químicas, Propriedades &

1. Óxidos de tungstênio
2. Ácidos tungsticos e tungstato
3. Haletos de tungstênio
4. Sulfetos e selenidos de tungstênio
5. Teluretos de tungstênio
6. Silicidas
7. Arsênidos de tungstênio
8. Compostos organometálicos
9. Catalisadores e reagentes contendo tungstênio

## Lista de equipamentos, especificações, descrições de funções, Vantagens, & Desvantagens para a produção química de tungstênio

1. Equipamento de processamento e pré-tratamento de minério
2. Equipamento de fundição e reação química

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Equipamento de refinação e separação
4. Equipamento de secagem e pós-processamento
5. Equipamentos Auxiliares e Ambientais

#### Fontes de Informação

Fontes: *Manual de Segurança Química* (Inglês, OSHA), *Guia MSDS para Produtos Químicos de Tungstênio* (Multilingue, ECHA), *Tecnologia de Produção de Segurança* (Chinês, Chinatungsten Online)

Principais produtores: China Minmetals, H.C. Starck (Alemanha), Kennametal (EUA)

ApêndiceA. Principais normas industriais para produtos químicos de tungstênioB. Tabela de fórmulas químicas e propriedades de compostos contendo tungstênioC. Especificações de equipamentos para produção química de tungstênio

#### Referências

*A História e Aplicações do Tungstênio* (Sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990

*A Brief History of Tungsten Chemistry* (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005

*Fundamentos de Química do Tungstênio* (Alemão) - H.C. Starck GmbH, Munique, 1998

*Propriedades dos compostos de tungstênio* (russo) - Departamento de Química, Universidade Estatal de Moscou, Moscou, 2000

*Química de Tungstato* (Francês) - Instituto de Química, Universidade de Paris, Paris, 1995

*Propriedades óticas do tungstênio* (japonês) - Toshiba Corporation Research Report, Tóquio, 2010

*Estudos sobre Haleto de Tungstênio* (Japonês) - Toshiba Chemical Research Institute, Tóquio, 2008

*Aplicações Industriais de WF<sub>6</sub>* (Coreano) - Samsung Electronics Research Institute, Seul, 2015

*História Industrial da WC* (Alemão) - Krupp AG, Essen, 1985

*Organotungsten Chemistry* (Inglês) - Massachusetts Institute of Technology (MIT), Boston, 2002

*Estudos sobre catalisadores de tungstênio* (russo) - Instituto de Tecnologia Química de Moscovo, Moscovo, 2012

*Aplicações Farmacêuticas de Tungstênio* (Inglês) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018

*Tungsten Chemical Industry* (Chinês) - Chinatungsten Online Editorial Department, Pequim, 2020

*Aplicações Industriais da APT* (Chinesa) - China Tungsten Industry Association (CTIA), Pequim, 2019

*Environmental Technologies in Tungsten Industry* (Chinês) - China Tungsten Industry Association (CTIA), Pequim, 2021

*Global Tungsten Recycling* (Inglês) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2020

*Chemical Safety Handbook* (Inglês) - Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Washington, D.C., 2015

*MSDS Guide for Tungsten Chemicals* (Multilingual) - Agência Europeia dos Produtos Químicos (ECHA), Helsínquia, 2020

*Tecnologia de Produção de Segurança* (Chinês) - Chinatungsten Online Editorial Department, Pequim, 2022

*Compostos de tungstênio não metálicos* (chinês) - Chinatungsten Online, Pequim, 2021

#### Sítios Web

Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)

Associação da Indústria de Tungstênio da China: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

Chinatungsten Online WeChat Conta Pública: "Chinatungsten Online"

Recursos minerais do USGS: [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov)

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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



## Quais são os produtos químicos de tungstênio?

### Capítulo 1: Visão geral do tungstênio

#### 1.1 Descoberta e História do Tungstênio

O tungstênio (W, Tungstênio) (símbolo do elemento W) tem uma história de descoberta e pesquisa que abrange vários séculos, evoluindo do uso inconsciente inicial para a exploração científica sistemática, refletindo a compreensão gradual da humanidade deste metal de alto ponto de fusão. A seguir estão os principais marcos e eventos na descoberta e desenvolvimento histórico do tungstênio (W, Tungstênio).

##### 1.1.1 Breve História da Descoberta

A descoberta do tungstênio (W, Tungstênio) não foi instantânea, mas envolveu um processo prolongado do reconhecimento mineral ao isolamento elementar.

##### 1.1.1.1 Descoberta inicial pelo químico sueco Cronstedt (1755, literatura sueca)

Em 1755, o mineralogista sueco Axel Fredrik Cronstedt, enquanto estudava o minério de ferro em Bispberg, Suécia, identificou um mineral branco extraordinariamente pesado. Chamou-lhe "tungstênio" (sueco para "pedra pesada"), mais tarde conhecido como [scheelite \(CaWO<sub>4</sub>, Scheelite\)](#). Cronstedt não isolou o elemento tungstênio (W, Tungstênio), mas observou que a densidade do mineral excedia em muito a dos minerais comuns, registrando suas propriedades pela primeira vez na literatura sueca [1]. Esta descoberta marcou o início da entrada do tungstênio (W, Tungstênio) no domínio científico.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Dica

Nesta época, "tungstênio" se referia apenas ao mineral e não era reconhecido como contendo um novo elemento, com suas propriedades químicas ainda desconhecidas.

### 1.1.1.2 O isolamento do ácido tungstico de Scheele (1781, literatura alemã)

Em 1781, o renomado químico sueco Carl Wilhelm Scheele conduziu uma análise aprofundada da scheelita ( $\text{CaWO}_4$ , Scheelite). Usando tratamento ácido (ácido nítrico), ele extraiu uma substância pulverulenta branca do mineral, que ele chamou de [ácido tungstico ( $\text{H}_2\text{WO}_4$ , ácido tungstico)] (ácido tungstico). Scheele detalhou suas propriedades de reação química na literatura alemã e especulou que poderia estar ligado a um metal desconhecido [2]. Seu mentor, Torbern Bergman, sugeriu reduzir o ácido tungstico ( $\text{H}_2\text{WO}_4$ , ácido tungstico) com carvão vegetal para produzir o metal, mas isso não foi alcançado devido a limitações tecnológicas.

## Figura-chave

Scheele, conhecido por suas excepcionais técnicas de separação química, lançou as bases para a eventual descoberta do tungstênio (W, Tungstênio).

O ácido Tip Tungstic ( $\text{H}_2\text{WO}_4$ , Tungstic Acid) tornou-se um ponto de partida crucial para a pesquisa química de tungstênio (W, Tungstênio), mais tarde servindo como um intermediário chave na produção de outros produtos químicos de tungstênio, como o trióxido de tungstênio.

### 1.1.1.3 Purificação do metal de tungstênio pelos irmãos Elhuyar (1783, literatura espanhola)

Em 1783, os químicos espanhóis Juan José Elhuyar e Fausto Elhuyar completaram o isolamento do tungstênio (W, Tungstênio) no Seminário de Vergara. Eles extraíram ácido tungstico ( $\text{H}_2\text{WO}_4$ , ácido tungstico) da [wolframita \(\(Fe,Mn\)WO<sub>4</sub>, Wolframite\)](#) e reduziram-no com sucesso com carvão vegetal a altas temperaturas para produzir pó metálico de tungstênio (W, tungstênio). Eles o chamaram de "volfrâmio" na literatura espanhola, derivado do termo dos mineiros alemães "espuma de lobo" para wolframita ((Fe,Mn)WO<sub>4</sub>, Wolframite), devido à sua interferência com a fundição de estanho [3].

## Números-chave

Os irmãos Elhuyar, pioneiros em mineralogia e química, estabeleceram formalmente o tungstênio (W, Tungstênio) como um elemento distinto.

## País

A Espanha ocupa um lugar significativo na história da descoberta do tungstênio (W, Tungstênio).

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



### Dica

Isso marcou o primeiro isolamento do tungstênio metálico (W, Tungstênio), iniciando a história de sua pesquisa aplicada.

### 1.1.2 Nomenclatura e designações multilingues de tungstênio

A nomeação de tungstênio (W, Tungstênio) reflete sua descoberta multicultural. O termo sueco "tungstênio" (pedra pesada) origina-se da descrição de Cronstedt, enfatizando sua alta densidade, enquanto o "volfrâmio" alemão e espanhol foi cunhado pelos irmãos Elhuyar, enraizado no nome histórico de wolframita ((Fe,Mn)WO<sub>4</sub>, Wolframite). Hoje, "tungstênio" é o nome inglês e internacionalmente aceito (elemento símbolo W), enquanto "wolfram" permanece amplamente utilizado em alemão, espanhol e outras línguas europeias. Em chinês, "钨" (tungstênio) combina "金" (metal) e "乌" (preto), simbolizando sua natureza metálica e aparência escura [4].

### Dica

As variações de nomenclatura multilíngue destacam a natureza internacional da descoberta de tungstênio (W, Tungstênio), e os gerentes de compras devem estar familiarizados com esses termos para uma comunicação eficaz com o fornecedor no comércio global.

### 1.1.3 Primeiras Aplicações Industriais (Século 19, Literatura Inglesa e Francesa)

No início do século 19, à medida que a Revolução Industrial progredia, as propriedades do tungstênio (W, Tungstênio) começaram a ganhar reconhecimento. Em 1841, o químico britânico Robert Dickinson Oxland patenteou a produção de [tungstato de sódio (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, tungstato de sódio)] (tungstato de sódio), ácido túngstico (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, ácido túngstico) e metal de tungstênio (W, tungstênio), marcando um passo inicial para a industrialização de produtos químicos de tungstênio (W, tungstênio) [5]. Em 1847, o tungstato de sódio (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Tungstato de Sódio) foi usado no tingimento de tecidos de algodão e na prova de fogo de trajes teatrais, tornando-se uma das primeiras aplicações industriais de tungstênio (W, Tungstênio) químicos. Esses primeiros esforços foram documentados na literatura inglesa e francesa, ilustrando a transição do tungstênio (W, Tungstênio) do laboratório para a indústria [6].

### Dica

As aplicações industriais do século 19 lançaram as bases para a comercialização de tungstênio (W, Tungstênio), particularmente no setor químico, com usos como tungstato de sódio (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, tungstato de sódio) para impermeabilização ao fogo ainda relevantes hoje.

## 1.2 Ocorrência natural de tungstênio

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tungstênio (W, Tungstênio) existe principalmente na natureza como minerais, e sua distribuição e extração são fundamentais para a produção industrial de tungstênio (W, Tungstênio) químicos.

### 1.2.1 Tipos e distribuição de minerais globais de tungstênio

Os minerais de tungstênio (W, Tungstênio) são diversos, incluindo principalmente o seguinte:

#### 1.2.1.1 Wolframita

Wolframite ((Fe,Mn)WO<sub>4</sub>, Wolframite) é um tungstato ferro-manganês com uma aparência preta ou marrom escura, servindo como um dos principais minérios de tungstênio (W, Tungstênio). Chamado de "volfrâmio", ganhou o apelido de "espuma de lobo" dos mineiros alemães devido à espuma que produzia durante a fundição de estanho.

#### 1.2.1.2 Scheelite

Scheelite (CaWO<sub>4</sub>, Scheelite) é tungstato de cálcio, parecendo branco ou amarelo pálido, e foi apelidado de "pedra pesada" pelos suecos devido à sua alta densidade. Fluoresce azul sob luz ultravioleta e é comumente usado para extrair ácido túngstico (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, ácido túngstico).

#### 1.2.1.3 Outros minerais menores de tungstênio (por exemplo, hübnerite)

Outros minerais de tungstênio (W, Tungstênio) incluem hübnerite (MnWO<sub>4</sub>, Hübnerite) e ferberite (FeWO<sub>4</sub>, Ferberite), ambas variantes de wolframite ((Fe,Mn)WO<sub>4</sub>, Wolframite). Estes são menos comuns, mas extraídos em regiões específicas como os Estados Unidos e a Bolívia.

#### Dica

A wolframita ((Fe,Mn)WO<sub>4</sub>, Wolframite) e a scheelita (CaWO<sub>4</sub>, Scheelite) são as principais matérias-primas para a produção industrial de [trióxido de tungstênio (WO<sub>3</sub>, trióxido de tungstênio)](trióxido de tungstênio) e [paratungstato de amônio (APT, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, paratungstato de amônio)] (paratungstato de amônio), e a aquisição deve centrar-se no seu grau e teor de impurezas.

### 1.2.2 Principais países produtores e reservas

O tungstênio (W, Tungstênio) é um metal raro, com as suas reservas e produção concentradas em alguns países:

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 1.2.2.1 China (cerca de 60% das reservas mundiais)

A China detém as maiores reservas mundiais de tungstênio (W, Tungstênio) (aproximadamente 1,9 milhões de toneladas, representando cerca de 60% do total global) e a produção (cerca de 80% da produção mundial em 2023), com as principais áreas mineiras na região de Nanling a produzirem wolframita ((Fe,Mn)WO<sub>4</sub>, Wolframite) e scheelita (CaWO<sub>4</sub>, Scheelite) [7].

### 1.2.2.2 Rússia, Vietname, Canadá, Austrália e outros

A Rússia (Extremo Oriente, reserva cerca de 250.000 toneladas), o Vietname (mina de Nui Phao, uma importante fonte mundial de wolframita ((Fe,Mn)WO<sub>4</sub>, Wolframite)), o Canadá (mina de Cantung) e a Austrália (mina de King Island) também são produtores significativos de tungstênio (W, Tungstênio), embora a sua produção seja muito inferior à da China [7].

### 1.2.3 Principais regiões mineiras de tungstênio

#### Nanling, China

Incluindo Ganzhou (Jiangxi) e Zhuzhou (Hunan), este é o maior cinturão de mineração de tungstênio (W, Tungstênio) do mundo, produzindo wolframita ((Fe,Mn)WO<sub>4</sub>, Wolframite) e scheelita (CaWO<sub>4</sub>, Scheelite).

**Extremo Oriente russo** Produzindo predominantemente wolframite ((Fe,Mn)WO<sub>4</sub>, Wolframite) para os mercados doméstico e internacional.

**Outras regiões** Como a Bolívia (mina de Llallagua) e Portugal (mina de Panasqueira), onde ocorre mineração em menor escala.

#### Dica

O domínio da China em recursos de tungstênio (W, Tungstênio) a torna o principal produtor de paratungstato de amônio (APT, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, Paratungstato de amônio) e trióxido de tungstênio (WO<sub>3</sub>, Trióxido de tungstênio) globalmente, e a aquisição deve considerar políticas de controle de exportação (por exemplo, as restrições da China em 2025 aos compostos de tungstênio).

## 1.3 Propriedades físicas e químicas do tungstênio

As propriedades físicas e químicas únicas do tungstênio (W, Tungstênio) tornam-no altamente valorizado na indústria e na investigação.

### 1.3.1 Propriedades físicas (Ponto de Fusão 3410°C, Densidade 19,25 g/cm<sup>3</sup>)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

O tungstênio (W, Tungstênio) possui o ponto de fusão mais elevado (3410°C) e uma densidade extremamente elevada (19,25 g/cm<sup>3</sup>), superado apenas por alguns metais preciosos. A sua dureza (escala de Mohs aproximadamente 7,5) também excede a dos metais mais comuns. Essas propriedades foram confirmadas através de experimentos de cientistas do início do século 19, como Henry Cavendish na Grã-Bretanha e Joseph-Louis Proust na França [8].

#### Dica

Seu alto ponto de fusão torna o tungstênio (W, Tungstênio) ideal para [pó de carboneto de tungstênio (WC, pó de carboneto de tungstênio)] (pó de carboneto de tungstênio) e [fio de tungstênio (W Wire, fio de tungstênio)] (fio de tungstênio) usado em ambientes de alta temperatura.

### 1.3.2 Propriedades químicas (estados de oxidação +2 a +6, resistência à corrosão)

O tungstênio (W, Tungstênio) exibe múltiplos estados de oxidação (+2 a +6), sendo +6 o mais estável, como visto no trióxido de tungstênio (WO<sub>3</sub>, Trióxido de Tungstênio). É altamente resistente a ácidos e bases à temperatura ambiente, mas forma facilmente trióxido de tungstênio (WO<sub>3</sub>, Trióxido de Tungstênio) em atmosferas oxidantes de alta temperatura. O químico russo Dmitry Mendeleev confirmou suas características de metal de transição em seus estudos da tabela periódica [9].

#### Dica

Sua resistência à corrosão confere potencial ao ácido túngstico (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, ácido túngstico) e tungstato de sódio (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, tungstato de sódio) em aplicações químicas e médicas.

### 1.3.3 Descrições de Propriedades em Literatura Multilíngue (Russo, Japonês, Árabe, etc.)

**Literatura Russa** Estudiosos russos do século 19 descreveram a alta dureza e resistência ao calor do tungstênio (W, Tungstênio), destacando seu potencial metalúrgico [10].

**Literatura japonesa** Pesquisadores japoneses do início do século 20 se concentraram na condutividade elétrica do tungstênio (W, Tungstênio) em eletrônicos, como o fio de tungstênio (W Wire, Tungsten Wire) [11].

**Literatura árabe** Registros mineralógicos do Oriente Médio observaram a alta densidade de minérios de tungstênio (W, Tungstênio) [12].

#### Dica

Estudos multilíngues ressaltam o interesse global em tungstênio (W, Tungstênio), e a aquisição pode se beneficiar da referência a padrões nacionais (por exemplo, as especificações JIS do Japão para fio de tungstênio (W Wire, Tungsten Wire)).

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## 1.4 Valor industrial e científico dos produtos químicos de tungstênio

[Produtos químicos de tungstênio (W Chemicals, Tungsten Chemicals)](produtos químicos de tungstênio) são vitais na indústria e na pesquisa devido à sua diversidade e alto desempenho.

### 1.4.1 Visão geral da demanda industrial global

Produtos químicos de tungstênio (W, tungstênio), como trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , trióxido de tungstênio), pó de carboneto de tungstênio (WC, pó de carboneto de tungstênio) e paratungstato de amônio (APT,  $(NH_4)_2WO_4$ , paratungstato de amônio), são matérias-primas fundamentais na produção industrial. De acordo com dados da International Tungsten Industry Association (ITIA) e do Serviço Geológico dos EUA (USGS), o mercado global de produtos de tungstênio (W, Tungstênio) atingiu aproximadamente US\$ 40 bilhões em 2023. As ligas duras, baseadas principalmente em pó de carboneto de tungstênio (WC, pó de carboneto de tungstênio), representam cerca de 50% desse mercado, avaliado em US\$ 20 bilhões, abrangendo ferramentas de corte, equipamentos de mineração e componentes resistentes ao desgaste. Materiais eletrônicos, como [hexafluoreto de tungstênio ( $WF_6$ , hexafluoreto de tungstênio)](hexafluoreto de tungstênio) para fabricação de semicondutores e [cobre de tungstênio (W-, cobre de tungstênio)](cobre de tungstênio) ligas para dissipadores de calor, constituem cerca de 20%, ou US \$ 8 bilhões. Ligas de alta temperatura e aplicações aeroespaciais, incluindo contrapesos de liga de tungstênio (W Alloy, Tungsten Alloy) e bicos de foguetes, representam aproximadamente 15%, avaliados em US\$ 6 bilhões. Os 15% restantes, cerca de US\$ 6 bilhões, abrangem aplicações emergentes em energia renovável (por exemplo, [fio de tungstênio (fio W, fio de tungstênio)] (fio de tungstênio) para fatiamento fotovoltaico) e outros usos industriais. Em 2023, o consumo global de tungstênio (W, Tungstênio) totalizou cerca de 85.000 toneladas, com a China a contribuir com aproximadamente 68.000 toneladas, os Estados Unidos com cerca de 8.000 toneladas e a Europa com cerca de 6.000 toneladas, sublinhando o papel dominante da China na indústria do tungstênio (W, Tungstênio). Notavelmente, a demanda em energia renovável está aumentando, com o setor fotovoltaico consumindo cerca de 500 toneladas de fio de tungstênio (W Wire, Tungsten Wire) anualmente, projetado para aumentar para 800 toneladas até 2030. Do mesmo modo, a necessidade da indústria nuclear de ligas de tungstênio (liga W, liga de tungstênio) está a aumentar a um ritmo de cerca de 10% por ano, em especial no que se refere aos componentes dos reatores de fusão [13].

### Dica

O pó de carboneto de tungstênio (WC, pó de carboneto de tungstênio) é a pedra angular das ligas duras, e a aquisição deve se concentrar em sua distribuição granulométrica (por exemplo, D50 de pó ultrafino de 1-5  $\mu m$  aumenta a dureza e a resistência ao desgaste).

### 1.4.2 Significado científico

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Os produtos químicos de tungstênio (W, tungstênio) são usados em pesquisa para desenvolver novos materiais, como [dissulfureto de tungstênio ( $WS_2$ , dissulfeto de tungstênio)](dissulfeto de tungstênio) para estudos de materiais bidimensionais, hexafluoreto de tungstênio ( $WF_6$ , hexafluoreto de tungstênio) para aplicações de semicondutores, e tungstato de sódio ( $Na_2WO_4$ , tungstato de sódio) para potencial biomédico. No projeto International Thermonuclear Experimental Reator (ITER), o alto ponto de fusão do tungstênio (W, Tungstênio) é aproveitado para materiais voltados para o plasma (PFM). Além disso, a liga de tungstênio (liga W, liga de tungstênio) encontra uma utilização extensiva em aplicações aeroespaciais [14].

### Dica

O valor científico dos produtos químicos de tungstênio (W, Tungstênio) impulsiona a aplicação de trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de Tungstênio) na fotocatalise, e a aquisição deve priorizar sua pureza e forma cristalina, como a fase monoclínica, que é mais adequada para fotocatalisadores.

### Fontes de Informação

- [1] The History and Applications of Tungsten (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990[2] A Brief History of Tungsten Chemistry (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)  
[15] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

### Referências

- [1] A História e Aplicações do Tungstênio (Sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990[2] A Brief History of Tungsten Chemistry (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)  
[4] Studies on the Naming of Tungsten (Multilingue) - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), Londres, 1990[5] Tungsten Applications in the British Industrial Revolution (Inglês) - Royal Society of Química, Londres, 1985[6] Early Industrialization of Tungsten Chemicals (Francês) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] Global Tungsten Resource Distribution Report (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] Estudos sobre as propriedades físicas do tungstênio (Inglês) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810[9] Tungstênio na Tabela Periódica (russo) - Sociedade Russa de Química, Moscou, 1870[10] Aplicações de tungstênio na metalurgia russa (russo) - Departamento de Química, Universidade de Moscou, Moscou, 1890[11] Aplicações de tungstênio na indústria eletrônica japonesa (japonês) - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tóquio, 1925[12] Registros mineralógicos na região árabe (árabe) - Departamento de Geologia, Universidade do Cairo, Cairo, 1900[13] 2023 Análise de mercado global de produtos de tungstênio (Inglês) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023[14] Frontier Applications of Tungsten in Research (Inglês) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018  
[15] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## Quais são os produtos químicos de tungstênio?

### Capítulo 2: Classificação básica e características dos produtos químicos de tungstênio

#### 2.1 Classificação de produtos químicos de tungstênio

[Os produtos químicos de tungstênio \(W, Tungstênio\)](#) referem-se a uma variedade de compostos derivados do elemento tungstênio (W, Tungstênio), valorizados por suas propriedades únicas, como alto ponto de fusão, alta densidade e resistência à corrosão, tornando-os amplamente aplicáveis na indústria e pesquisa. Estas substâncias químicas são classificadas com base na sua composição e estrutura química, refletindo os seus papéis em vários domínios tecnológicos e científicos. Abaixo está uma classificação sistemática de [produtos químicos de tungstênio \(W Chemicals, Tungsten Chemicals\)](#).

##### 2.1.1 Óxidos

Os óxidos de tungstênio (W, Tungstênio) são compostos formados por tungstênio (W, Tungstênio) e oxigênio, amplamente utilizados em catálise, eletrônica e cerâmica devido à sua estabilidade e propriedades óticas. Os principais exemplos incluem:

##### [Trióxido de tungstênio \(WO<sub>3</sub>, Trióxido de tungstênio\)](#)

Um pó amarelo-verde, o óxido mais estável e comum, usado em fotocatalisadores e dispositivos eletrocromáticos.

##### [Dióxido de tungstênio \(WO<sub>2</sub>, Dióxido de tungstênio\)](#)

Um composto cristalino marrom, menos comum, servindo como intermediário em materiais eletrônicos.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



### **Pentóxido de ditungsténio ( $W_2O_5$ , Pentóxido de ditungsténio)**

Um óxido não estequiométrico, estudado principalmente na investigação de nanomateriais.

### **[Óxido azul de tungsténio \( \$W\_{18}O\_{49}\$ ou \$W\_{20}O\_{58}\$ , óxido azul de tungsténio\)](#)**

Um composto azul com propriedades fotoelétricas, aplicado em sensores e materiais optoeletrônicos.

## **2.1.2 Ácido túngstico e tungstato**

[O ácido túngstico \( \$H\_2WO\_4\$ , ácido túngstico\)](#) e seus sais, conhecidos como tungstatos, são intermediários críticos e materiais funcionais em síntese química e aplicações industriais. Os exemplos incluem:

### **[Ácido túngstico \( \$H\_2WO\_4\$ , ácido túngstico\)](#)**

Um pó amarelo, ligeiramente solúvel, usado como precursor para outros compostos de tungsténio (W, Tungsténio).

### **[Tungstato de sódio \( \$Na\_2WO\_4\$ , tungstato de sódio\)](#)**

Um composto cristalino branco solúvel em água, empregado em materiais de prova de fogo e pesquisa biomédica.

### **[Paratungstato de amónio \(APT, \$\(NH\_4\)\_2WO\_4\$ , Paratungstato de amónio\)](#)**

Um material cristalino branco, a matéria-prima primária para a produção de tungsténio (W, Tungsténio) em pó.

### **[Metatungstato de amónio \( \$\(NH\_4\)\_6H\_2W\_{12}O\_{40}\$ , Metatungstato de amónio\)](#)**

Polioxometalato utilizado em reagentes analíticos e catalisadores.

### **[Tungstato de cálcio \( \$CaWO\_4\$ , tungstato de cálcio\)](#)**

Um composto fluorescente usado em telas de raios-X e materiais luminescentes.

## **2.1.3 Halogenetos**

Os halogenetos de tungsténio (W, Tungsténio) são compostos voláteis formados com halogéneos, essenciais na deposição de película fina e na síntese orgânica. Os exemplos incluem:

### **[Hexaóxido de tungsténio \( \$WCl\_6\$ , Hexaóxido de tungsténio\)](#)**

Composto volátil utilizado como catalisador em reações orgânicas.

### **[Hexafluoreto de tungsténio \( \$WF\_6\$ , Hexafluoreto de tungsténio\)](#)**

Um composto gasoso amplamente aplicado na deposição química de vapor para a

#### **[COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT](#)**



fabricação de semicondutores.

#### 2.1.4 Carbonetos e nitretos

Os carbonetos e nitretos de tungstênio (W, Tungstênio) são materiais duros e refratários valorizados pela sua durabilidade em aplicações industriais. Os exemplos incluem:

##### Pó de carboneto de tungstênio (WC, pó de carboneto de tungstênio)

Um composto de alta dureza usado em ferramentas de corte e revestimentos resistentes ao desgaste.

##### **Carboneto de ditungstênio (W<sub>2</sub>C, carboneto de ditungstênio)**

Um carboneto menos comum usado em revestimentos especializados.

##### **Nitreto de tungstênio (WN, Nitrito de tungstênio)**

Utilizado em filmes resistentes ao desgaste e aplicações eletrônicas.

#### 2.1.5 Sulfetos e fosfetos

Sulfetos e fosfetos de tungstênio (W, Tungstênio) são notáveis por sua lubrificidade e propriedades catalíticas. Os exemplos incluem:

##### Dissulfureto de tungstênio (WS<sub>2</sub>, Dissulfeto de tungstênio)

Um composto em camadas usado como lubrificante sólido e em pesquisa de materiais bidimensionais.

##### **Fosfeto de tungstênio (WP, fosfeto de tungstênio)**

Um material catalisador em processos químicos.

#### 2.1.6 Compostos organotungstênios

Os compostos organotungstênios apresentam tungstênio (W, Tungstênio) ligado a grupos orgânicos, valiosos em catálise e química sintética. Os exemplos incluem:

##### Hexacarbonilo de tungstênio (W(CO)<sub>6</sub>, Hexacarbonilo de tungstênio)

Composto organometálico volátil utilizado em catalisadores de síntese orgânica.

#### 2.1.7 Catalisadores e reagentes contendo tungstênio

Estes compostos alavancam as propriedades catalíticas do tungstênio (W, Tungstênio) para uso industrial e laboratorial. Os exemplos incluem:

##### **Ácido fosfotúngstico (H<sub>3</sub>PW<sub>12</sub>O<sub>40</sub>, ácido fosfotúngstico)**

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Um ácido heteropoli usado como catalisador em reações orgânicas.

### 2.1.8 Produtos químicos farmacêuticos contendo tungstênio

Tungstênio (W, Tungstênio) compostos com potencial biomédico estão surgindo na pesquisa. Os exemplos incluem:

#### Nanopartículas de tungstato de sódio

( $\text{Na}_2\text{WO}_4$  nanopartículas, nanopartículas de tungstato de sódio)

Investigado para propriedades anti-diabéticas em pesquisa de nanomedicina.

### 2.1.9 Outros compostos não metálicos contendo tungstênio

Esta categoria inclui compostos especializados com propriedades únicas. Os exemplos incluem:

#### Diselenida de tungstênio ( $\text{WSe}_2$ , Diselenida de tungstênio)

Um material semicondutor utilizado em eletrônica e optoeletrônica.

#### Dica

A classificação dos produtos químicos de tungstênio (W, Tungstênio) reflete a sua diversidade estrutural e versatilidade funcional, abrangendo aplicações desde ligas duras industriais até investigação científica de ponta.



## 2.2 Características básicas dos produtos químicos de tungstênio

Os produtos químicos de tungstênio (W, Tungstênio) apresentam uma gama de propriedades físicas e químicas que sustentam a sua utilização generalizada. Abaixo estão suas principais características.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 2.2.1 Estrutura cristalina e composição molecular

As estruturas cristalinas dos produtos químicos de tungstênio (W, Tungstênio) variam dependendo da sua composição. Por exemplo, o trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de Tungstênio) adota tipicamente uma estrutura cristalina monoclinica, aumentando a sua atividade fotocatalítica, conforme detalhado em estudos cristalográficos alemães [16]. O pó de carboneto de tungstênio (WC, pó de carboneto de tungstênio) forma uma estrutura hexagonal, contribuindo para a sua dureza excepcional, enquanto o dissulfureto de tungstênio ( $WS_2$ , dissulfeto de tungstênio) tem uma rede hexagonal em camadas, permitindo a sua lubrificidade [17]. Estas diferenças estruturais, analisadas na literatura multilingue, determinam as suas aplicações específicas.

#### Dica

A estrutura cristalina dos produtos químicos de tungstênio (W, Tungstênio), tal como a natureza em camadas do dissulfureto de tungstênio ( $WS_2$ , Dissulfeto de Tungstênio), é crítica para o seu desempenho em aplicações específicas como a lubrificação.

### 2.2.2 Estabilidade térmica e química

Os produtos químicos de tungstênio (W, Tungstênio) são conhecidos pela sua estabilidade térmica e química. O trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , trióxido de tungstênio) permanece estável até  $1000^\circ C$  no ar, tornando-o adequado para catálise a alta temperatura, tal como explorado na investigação química russa a altas temperaturas [18]. O pó de carboneto de tungstênio (WC, pó de carboneto de tungstênio) suporta condições extremas até  $2600^\circ C$  sem se decompor, ideal para ferramentas de corte. O tungstato de sódio ( $Na_2WO_4$ , tungstato de sódio) demonstra estabilidade química em soluções aquosas, apoiando a sua utilização em materiais à prova de fogo [19].

#### Dica

A estabilidade térmica do pó de carboneto de tungstênio (WC, pó de carboneto de tungstênio) garante a sua durabilidade em ambientes industriais exigentes.

### 2.2.3 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

Os produtos químicos de tungstênio (W, Tungstênio) possuem propriedades óticas, elétricas e magnéticas distintas. Trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de tungstênio) exibe comportamento eletrocromico, mudando de cor sob tensão, e é extensivamente estudado na pesquisa de materiais eletrônicos japoneses e coreanos para janelas inteligentes [20]. Dissulfureto de tungstênio ( $WS_2$ , dissulfeto de tungstênio) é um semiconductor com um bandgap de aproximadamente 1,3 eV, adequado para dispositivos optoeletrônicos. O hexacarbonilo de tungstênio ( $W(CO)_6$ , hexacarbonilo de tungstênio) não possui propriedades magnéticas significativas, mas destaca-se na volatilidade para

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

aplicações de película fina [21].

## Dica

As propriedades óticas do trióxido de tungsténio ( $WO_3$ , Trióxido de Tungsténio) tornam-se um material chave em tecnologias de poupança de energia, tais como janelas electrocrómicas.

## Fontes de Informação

[16] *Fundamentos da Química do Tungsténio* (Alemão) - H.C. Starck GmbH, Munique, 1998[17] *Propriedades dos compostos de tungsténio* (russo) - Departamento de Química, Universidade Estatal de Moscovo, Moscovo, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] China Tungsten Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

## Referências

- [1] *The History and Applications of Tungsten* (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990[2] *A Brief History of Tungsten Chemistry* (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)
- [4] *Studies on the Naming of Tungsten* (Multilingual) - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), Londres, 1990[5] *Aplicações do tungsténio na Revolução Industrial Britânica* (Inglês) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Early Industrialization of Tungsten Chemicals* (Francês) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Global Tungsten Resource Distribution Report* (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Estudos sobre as propriedades físicas do tungsténio* (Inglês) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810[9] *Tungsténio na Tabela Periódica* (russo) - Sociedade Química Russa, Moscovo, 1870[10] *Aplicações de tungsténio na metalurgia russa* (russo) - Departamento de Química, Universidade de Moscovo, Moscovo, 1890[11] *Aplicações de tungsténio na indústria electrónica japonesa* (japonês) - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tóquio, 1925[12] *Registros mineralógicos na região árabe* (árabe) - Departamento de Geologia, Universidade do Cairo, Cairo, 1900[13] *2023 Análise de mercado global de produtos de tungsténio* (inglês) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023[14] *Frontier Applications of Tungsten in Research* (Inglês) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)
- [16] *Fundamentos da Química do Tungsténio* (Alemão) - H.C. Starck GmbH, Munique, 1998[17] *Propriedades dos compostos de tungsténio* (russo) - Departamento de Química, Universidade Estatal de Moscovo, Moscovo, 2000[18] *Química de alta temperatura de óxidos de tungsténio* (russo) - Academia Russa de Ciências, Moscovo, 1995[19] *Estabilidade Química de Tungstados* (Inglês) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Electronic Materials Research on Tungsten Oxides* (Japonês) - Tokyo University Press, Tóquio, 2010[21] *Organometallic Tungsten Compounds* (Inglês) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

## COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT





## Quais são os produtos químicos de tungstênio? Capítulo 3: Preparação e aplicações de óxidos de tungstênio

### 3.1 Trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de tungstênio)

[Trióxido de tungstênio \( \$WO\_3\$ , Trióxido de tungstênio\)](#) permanece como um dos óxidos mais significativos e amplamente utilizados entre os produtos químicos de tungstênio (W, Tungstênio). Suas propriedades excepcionais, como alta estabilidade, comportamento electrocromico e capacidades fotocatalíticas, o tornam uma pedra angular na produção industrial, tecnologia eletrônica e aplicações emergentes de energia renovável. Como um membro emblemático da família de compostos de tungstênio (W, Tungstênio), o trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de Tungstênio) possui uma rica história que abrange séculos, evoluindo das primeiras descobertas de laboratório para a produção moderna em escala industrial, refletindo o aprofundamento da compreensão e domínio da humanidade dos recursos de tungstênio (W, Tungstênio).

#### 3.1.1 Processos de Preparação

A preparação de trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de tungstênio) abrange uma variedade de métodos, que vão desde técnicas industriais tradicionais até processos de precisão de ponta, adaptados para atender a diversas necessidades de aplicação e padrões de pureza.

#### Método de Calcinação (Decomposição Oxidativa de Alta Temperatura)

O método de calcinação está entre as abordagens mais prevalentes em ambientes industriais, utilizando matérias-primas como [paratungstato de amônio \(APT,  \$\(NH\_4\)\_2WO\_4\$ , Paratungstato de Amônio\)](#) ou [ácido tungstico \( \$H\_2WO\_4\$ , Ácido Tungstico\)](#). O processo envolve o aquecimento destes precursores numa atmosfera rica em oxigênio a

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

temperaturas entre 600°C e 900°C, resultando na decomposição e oxidação para formar trióxido de tungstênio amarelo ou verde ( $WO_3$ , Trióxido de Tungstênio) em pó. Este método é favorecido por sua simplicidade e escalabilidade, tornando-se um grampo na produção em larga escala, particularmente nas empresas de processamento de tungstênio da China. Durante a calcinação, amônia e vapor de água são liberados da matéria-prima, deixando para trás trióxido de tungstênio puro ( $WO_3$ , Trióxido de Tungstênio), com tamanho de partícula e forma de cristal ajustável via controle de temperatura e atmosférico.

### **Método de precipitação química úmida (extração de acidificação)**

O método de precipitação química úmida envolve a acidificação de uma solução de tungstato, como [tungstato de sódio \( \$Na\_2WO\_4\$ , tungstato de sódio\)](#), para precipitar ácido túngstico ( $H_2WO_4$ , ácido túngstico), que é então filtrado, lavado e tratado termicamente (normalmente a 400-600°C) para produzir trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , trióxido de tungstênio). Esta técnica prima por alcançar alta pureza química e produzir partículas em nanoescala, tornando-a ideal para fins de pesquisa e para a indústria eletrônica, onde a precisão e a qualidade são primordiais. Em comparação com a calcinação, este método enfatiza o controle meticuloso do processo, atendendo à produção em pequenos lotes de produtos de alto valor com características de desempenho aprimoradas.

### **Técnica de Deposição Química de Vapor (CVD)**

A Deposição Química de Vapor (CVD) representa uma técnica de preparação avançada, empregando precursores voláteis como [hexafluoreto de tungstênio \( \$WF\_6\$ , Hexafluoreto de Tungstênio\)](#) para depositar filmes finos de trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de Tungstênio) através de reações em fase gasosa a temperaturas elevadas (tipicamente 500-800°C). Este método é amplamente aplicado na fabricação de componentes eletrônicos de precisão, como sensores de gás e filmes eletrocromáticos, devido à sua capacidade de produzir filmes finos uniformes e densos que atendem aos requisitos rigorosos das aplicações modernas de alta tecnologia.

### **3.1.2 Estrutura cristalina e composição molecular**

A estrutura cristalina do trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de Tungstênio) sustenta as suas propriedades versáteis, manifestando-se tipicamente como uma forma monoclinica, embora estruturas cúbicas ou ortorrômbicas possam emergir sob temperaturas e condições variáveis. Estudos cristalográficos alemães revelam que sua estrutura monoclinica consiste em uma rede tridimensional de átomos de tungstênio e oxigênio ligados via corner-sharing, formando uma estrutura robusta que aprimora suas características óticas e elétricas [16]. A nível molecular, cada átomo de tungstênio coordena-se com seis átomos de oxigênio para criar unidades octaédricas estáveis, uma configuração que contribui para a sua resiliência em ambientes térmicos e químicos.

### **3.1.3 Estabilidade térmica e química**

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

O trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de tungstênio) exibe notável estabilidade térmica, permanecendo intacto no ar a temperaturas superiores a  $1000^\circ C$ , uma característica que o torna altamente adequado para catálise de alta temperatura e revestimentos óticos. Quimicamente, demonstra forte resistência a ácidos e bases, mantendo a integridade estrutural em condições adversas. No entanto, na redução de atmosferas (por exemplo, hidrogênio), pode ser transformado em óxidos mais baixos ou tungstênio metálico (W, Tungstênio), uma propriedade amplamente documentada na investigação química russa de alta temperatura [18]. Esta versatilidade redox posiciona-o como um material valioso em aplicações catalíticas e eletroquímicas.

### 3.1.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

As propriedades óticas do trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de tungstênio) são particularmente dignas de nota, com seu comportamento electrocromico permitindo uma mudança de cor de amarelo para azul profundo após a aplicação de tensão, impulsionada por mudanças no estado de oxidação dos átomos de tungstênio. Esta característica tem sido exaustivamente explorada na investigação japonesa e coreana de materiais eletrônicos, levando à sua utilização generalizada em tecnologias de janelas e ecrãs inteligentes [20]. Eletricamente, funciona como um semicondutor de banda larga (aproximadamente 2,6-3,0 eV), tornando-o adequado para dispositivos optoeletrônicos. Embora não possua propriedades magnéticas significativas, os seus atributos elétricos e óticos suportam suficientemente uma vasta gama de aplicações tecnológicas avançadas.

#### Dica

Os diversos métodos de preparação e propriedades superiores do trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de tungstênio) torná-lo um destaque no reino dos produtos químicos de tungstênio (W, Tungstênio); A aquisição deve priorizar a forma e a pureza do cristal com base no uso pretendido.

### 3.2 Dióxido de tungstênio ( $WO_2$ , dióxido de tungstênio)

O dióxido de tungstênio ( $WO_2$ , Dióxido de Tungstênio) é um óxido de baixa valência de tungstênio (W, Tungstênio), menos comumente aplicado do que o trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de Tungstênio), mas mantendo uma relevância distinta em campos eletrônicos e catalíticos especializados. Os seus atributos químicos e físicos únicos distinguem-no dentro da família do óxido de tungstênio, oferecendo valor de nicho, apesar do seu âmbito de utilização mais limitado.

#### 3.2.1 Processos de Preparação

A preparação de dióxido de tungstênio ( $WO_2$ , dióxido de tungstênio) baseia-se predominantemente em técnicas de redução, exigindo um controlo meticuloso das condições para garantir a pureza e consistência do produto.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



### **Método de redução de hidrogênio**

O método de redução de hidrogênio envolve a redução de trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de tungstênio) em uma atmosfera de hidrogênio em temperaturas que variam de 500 °C a 700 °C para produzir dióxido de tungstênio ( $WO_2$ , dióxido de tungstênio). A regulação precisa do fluxo e da temperatura de hidrogênio é crucial para evitar a redução excessiva para tungstênio metálico (W, Tungstênio). Este método amplamente adotado em ambientes industriais e laboratoriais produz um produto cristalino marrom, com tamanho de partícula ajustável através de ajustes de duração de reação e temperatura, atendendo às necessidades específicas da aplicação.

### **Método de decomposição térmica**

O método de decomposição térmica envolve o aquecimento de ácido tungstico ( $H_2WO_4$ , ácido tungstico) ou paratungstato de amônio (APT,  $(NH_4)_2WO_4$ , paratungstato de amônio) a 650-800°C em uma atmosfera inerte (por exemplo, nitrogênio ou argônio) para formar dióxido de tungstênio ( $WO_2$ , dióxido de tungstênio). Esta abordagem é particularmente adequada para a produção em pequena escala, evitando eficazmente a interferência do oxigênio para garantir a formação estável do óxido desejado, muitas vezes preferido para materiais de grau de investigação que requerem uma composição controlada.

### **3.2.2 Estrutura cristalina e composição molecular**

O dióxido de tungstênio ( $WO_2$ , dióxido de tungstênio) normalmente adota uma estrutura cristalina monoclinica, onde cada átomo de tungstênio se coordena com quatro átomos de oxigênio, formando uma rede tetraédrica distorcida. Este arranjo, mais denso do que a estrutura octaédrica do trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de Tungstênio), resulta numa maior densidade (aproximadamente 10,8 g/cm<sup>3</sup>). Estudos químicos russos destacam que esta estrutura cristalina única confere um grau de condutividade elétrica, distinguindo-a de outros óxidos de tungstênio e sugerindo potencial em aplicações eletrônicas [17].

### **3.2.3 Estabilidade térmica e química**

O dióxido de tungstênio ( $WO_2$ , dióxido de tungstênio) apresenta uma boa estabilidade térmica em ambientes inertes, suportando temperaturas até 800°C sem degradação. No entanto, sua estabilidade vacila na presença de oxigênio, onde ele facilmente oxida em trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de tungstênio), limitando seu uso em ambientes de alto oxigênio. Quimicamente, mostra maior resistência a ácidos e bases em comparação com óxidos mais elevados, mas mantém robustez em condições redutoras, muitas vezes servindo como intermediário em processos redox, um comportamento bem documentado em estudos de estabilidade [19].

### **3.2.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas**

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**



Ao contrário do trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , trióxido de tungstênio), o dióxido de tungstênio ( $WO_2$ , dióxido de tungstênio) não possui propriedades óticas proeminentes, aparecendo como um sólido castanho profundo sem comportamento eletrocromico significativo. Eletricamente, atua como um semicondutor de banda estreita (aproximadamente 1,0-1,3 eV), oferecendo condutividade moderada que se adapta a ele para pesquisa de material eletrônico. Magneticamente, não exibe propriedades notáveis, com sua utilidade ligada principalmente às suas características elétricas, em vez de aplicações óticas ou magnéticas.

#### Dica

A preparação de dióxido de tungstênio ( $WO_2$ , Dióxido de Tungstênio) exige um controle de redução preciso, e o seu potencial em materiais eletrônicos e catálise merece uma maior exploração.

### 3.3 Outros óxidos de tungstênio

Além do trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de tungstênio) e dióxido de tungstênio ( $WO_2$ , dióxido de tungstênio), o tungstênio (W, Tungstênio) forma óxidos adicionais, como pentóxido de ditungstênio ( $W_2O_5$ , Pentóxido de ditungstênio) e variante de óxido azul de tungstênio ( $W_{18}O_{49}$ , Variante de óxido azul de tungstênio). Estes óxidos não estequiométricos, embora menos comuns, oferecem um valor único em aplicações especializadas, particularmente em nanotecnologia e optoeletrônica.

#### 3.3.1 Processos de Preparação

A preparação destes outros óxidos de tungstênio ocorre tipicamente à escala laboratorial, envolvendo processos complexos adaptados às suas composições específicas.

##### **O método de oxidação do pentóxido de ditungstênio ( $W_2O_5$ , Pentóxido de ditungstênio)**

O pentóxido de ditungstênio ( $W_2O_5$ , Pentóxido de ditungstênio) é preparado oxidando o dióxido de tungstênio ( $WO_2$ , dióxido de tungstênio) ou reduzindo parcialmente o trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , trióxido de tungstênio) em condições controladas (400-600°C) com uma pressão parcial de oxigênio baixa. Este método requer calibração cuidadosa para manter sua natureza não estequiométrica, equilibrando o estado de oxidação entre  $WO_2$  e  $WO_3$ , e é frequentemente empregado em ambientes de pesquisa para explorar suas propriedades de transição.

##### **Redução de alta temperatura para a variante de óxido azul de tungstênio ( $W_{18}O_{49}$ , variante de óxido azul de tungstênio)**

A variante do óxido azul de tungstênio ( $W_{18}O_{49}$ , Variante do óxido azul de tungstênio) é sintetizada pela redução do trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de tungstênio) a 700-

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

900°C em uma atmosfera levemente redutora (por exemplo, uma mistura de gás inerte de hidrogênio). Este processo é otimizado para produzir nanoestruturas semelhantes a agulhas, melhorando as suas propriedades fotoelétricas, e é uma técnica preferida para a criação de materiais adequados para aplicações tecnológicas avançadas.

### 3.3.2 Estrutura cristalina e composição molecular

O pentóxido de ditungstênio ( $W_2O_5$ , Pentóxido de ditungstênio), um óxido não estequiométrico, apresenta uma estrutura cristalina intermédia entre o dióxido de tungstênio ( $WO_2$ , dióxido de tungstênio) e o trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , trióxido de tungstênio), com um ambiente de coordenação transitório que reflete o seu estado de oxidação misto. A variante do óxido azul de tungstênio ( $W_{18}O_{49}$ , Variante do óxido azul de tungstênio) adota uma estrutura monoclinica semelhante a uma agulha, caracterizada por vagas de oxigênio que contribuem para sua condutividade e características óticas, tornando-se objeto de extensa pesquisa em nanotecnologia.

### 3.3.3 Estabilidade térmica e química

O pentóxido de ditungstênio ( $W_2O_5$ , Pentóxido de ditungstênio) é termicamente instável no ar, oxidando facilmente em trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de tungstênio), mas pode persistir até 600°C em condições inertes. A variante do óxido azul de tungstênio ( $W_{18}O_{49}$ , Variante do óxido azul de tungstênio) oferece uma estabilidade térmica ligeiramente melhor, suportando até 800°C, embora também oxide em ambientes ricos em oxigênio. Ambos exibem estabilidade química limitada contra ácidos e bases, prosperando melhor em ambientes não oxidantes onde suas propriedades únicas podem ser aproveitadas.

### 3.3.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

O pentóxido de ditungstênio ( $W_2O_5$ , Pentóxido de ditungstênio) possui condutividade moderada, mas carece de características óticas significativas, limitando a sua utilidade a aplicações elétricas específicas. Em contraste, a variante de óxido azul de tungstênio ( $W_{18}O_{49}$ , Variante de óxido azul de tungstênio) brilha com sua aparência azul e excelentes propriedades fotoelétricas, ostentando um bandgap de aproximadamente 2,4 eV, ideal para fotodetectores e sensores. Nenhum dos compostos apresenta um comportamento magnético notável, com o seu valor enraizado nos domínios elétrico e ótico.

#### Dica

Outros óxidos de tungstênio, como a variante de óxido azul de tungstênio ( $W_{18}O_{49}$ , Variante de óxido azul de tungstênio), estão ganhando força por seu potencial em nanotecnologia e optoeletrônica, merecendo maior atenção.

#### Fontes de Informação

[16] *Fundamentos da Química do Tungstênio* (Alemão) - H.C. Starck GmbH, Munique, 1998 [17] *Propriedades*

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

*dos compostos de tungstênio* (russo) - Departamento de Química, Universidade Estatal de Moscovo, Moscovo, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] China Tungsten Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

## Referências

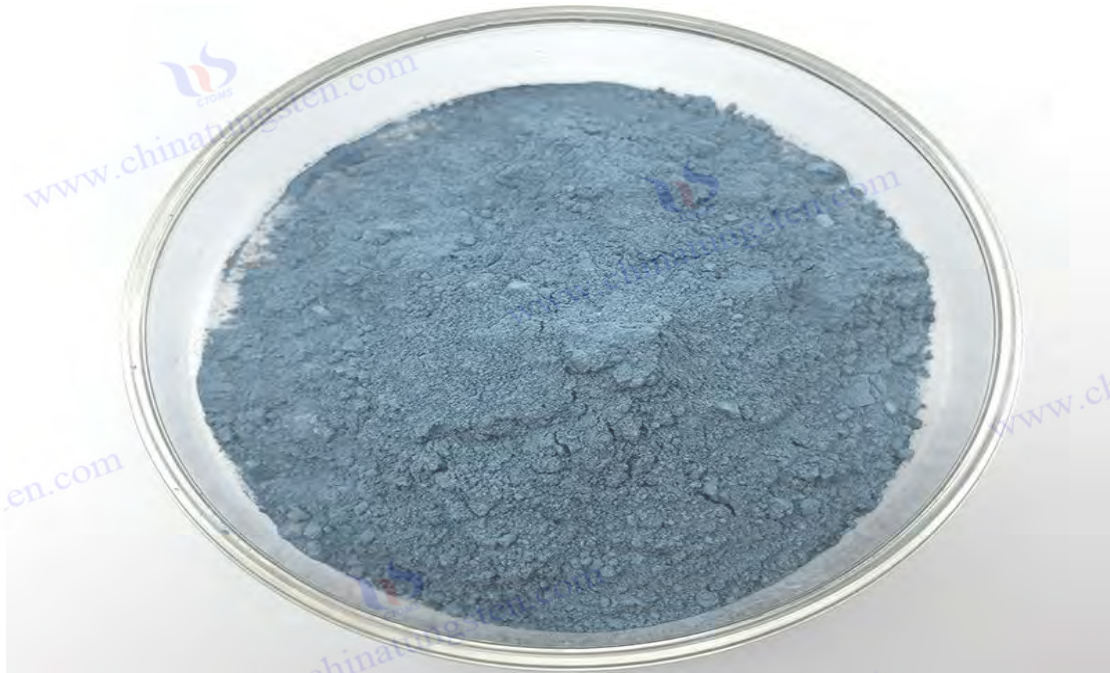
- [1] *The History and Applications of Tungsten* (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990[2] *A Brief History of Tungsten Chemistry* (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)
- [4] *Studies on the Naming of Tungsten* (Multilingual) - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), Londres, 1990[5] *Aplicações do tungstênio na Revolução Industrial Britânica* (Inglês) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Early Industrialization of Tungsten Chemicals* (Francês) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Global Tungsten Resource Distribution Report* (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Estudos sobre as propriedades físicas do tungstênio* (Inglês) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810[9] *Tungstênio na Tabela Periódica* (russo) - Sociedade Química Russa, Moscovo, 1870[10] *Aplicações de tungstênio na metalurgia russa* (russo) - Departamento de Química, Universidade de Moscovo, Moscovo, 1890[11] *Aplicações de tungstênio na indústria eletrônica japonesa* (japonês) - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tóquio, 1925[12] *Registros mineralógicos na região árabe* (árabe) - Departamento de Geologia, Universidade do Cairo, Cairo, 1900[13] *2023 Análise de mercado global de produtos de tungstênio* (inglês) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023[14] *Frontier Applications of Tungsten in Research* (Inglês) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)
- [16] *Fundamentos da Química do Tungstênio* (Alemão) - H.C. Starck GmbH, Munique, 1998[17] *Propriedades dos compostos de tungstênio* (russo) - Departamento de Química, Universidade Estatal de Moscovo, Moscovo, 2000[18] *Química de alta temperatura de óxidos de tungstênio* (russo) - Academia Russa de Ciências, Moscovo, 1995[19] *Estabilidade Química de Tungstados* (Inglês) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Electronic Materials Research on Tungsten Oxides* (Japonês) - Tokyo University Press, Tóquio, 2010[21] *Organometallic Tungsten Compounds* (Inglês) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

## COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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





## Quais são os produtos químicos de tungstênio? Capítulo 4: Preparação e aplicações do ácido tungstico e tungstato

### 4.1 Ácido Tungstico ( $H_2WO_4$ , Ácido Tungstico)

[O ácido tungstico \( \$H\_2WO\_4\$ , ácido tungstico\)](#) é um membro fundamental da família química do tungstênio (W, Tungstênio), servindo como um precursor crucial para numerosos compostos de tungstênio, incluindo tungstatos e óxidos. Reconhecido por sua baixa solubilidade, reatividade química e estabilidade em ambientes ácidos, o ácido tungstico ( $H_2WO_4$ , ácido tungstico) desempenha um papel essencial tanto na produção industrial quanto na pesquisa científica. Além de sua utilidade como intermediário para sintetizar óxidos de tungstênio de alta pureza, ele encontra aplicações em catalisadores, pigmentos e química analítica, mostrando seu valor versátil. Os processos de preparação e estudos de propriedades do ácido tungstico ( $H_2WO_4$ , Ácido Tungstico) abrangem séculos, evoluindo da extração mineral rudimentar para a sofisticada engenharia química moderna, refletindo o domínio progressivo da química do tungstênio (W, Tungstênio).

#### 4.1.1 Processos de Preparação

A preparação de ácido tungstico ( $H_2WO_4$ , Ácido Tungstico) engloba uma gama de métodos, desde a precipitação ácida tradicional até técnicas laboratoriais avançadas, acomodando diversos níveis de pureza e requisitos de aplicação.

#### Método de precipitação ácida (lixiviação de minério)

O método de precipitação ácida é a técnica industrial mais amplamente empregada, tipicamente começando com minérios como [wolframita \( \$\(Fe,Mn\)WO\_4\$ , Wolframite\)](#) ou

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



[scheelita \(CaWO<sub>4</sub>, Scheelite\)](#). Ácidos fortes (por exemplo, ácido clorídrico ou nítrico) são usados para lixiviar tungstênio do minério, formando ácido túngstico (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, ácido túngstico) precipitado. O processo envolve a mistura de minério finamente moído com ácido, reagindo a 50-80°C com agitação contínua, durante a qual o ácido túngstico (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, ácido túngstico) precipita como um sólido amarelo. Isto é seguido por filtração e lavagem para produzir um produto bruto. Devido à sua dependência de matérias-primas abundantes e maturidade de processo estabelecida, este método é amplamente utilizado por empresas de processamento de tungstênio na China, como as de Ganzhou, Jiangxi, onde o controle preciso da concentração de ácido e duração da reação minimiza impurezas como ferro e manganês.

#### **Método de acidólise de tungstato (conversão de solução)**

O método de acidólise de tungstato produz ácido túngstico (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, ácido túngstico) acidificando uma solução solúvel de tungstato, como [tungstato de sódio \(Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, tungstato de sódio\)](#). Normalmente, a solução de tungstato de sódio (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, tungstato de sódio) é misturada com ácido clorídrico, e o pH é ajustado para 2-3, levando o ácido túngstico (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, ácido túngstico) a precipitar. Após filtração, lavagem e secagem a baixa temperatura (aproximadamente 100-150°C), obtém-se um produto de alta pureza. Esta técnica destaca-se no controlo dos níveis de impurezas e na produção de partículas à nanoescala, tornando-a ideal para indústrias de química fina e investigação laboratorial, como a preparação de precursores catalisadores ou óxidos de alta pureza, onde a qualidade e a precisão são primordiais.

#### **Método de troca iônica (preparação de alta pureza)**

O método de troca iônica é uma técnica moderna e de alta precisão que passa uma solução contendo tungstênio (por exemplo, uma solução de tungstato) através de uma resina de troca iônica para isolar íons tungstato (WO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), seguida de acidificação (tipicamente com ácido sulfúrico) para precipitar ácido túngstico (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, ácido túngstico). Este método é particularmente eficaz na remoção de impurezas vestigiais (por exemplo, íons de metais pesados), produzindo ácido túngstico de altíssima pureza (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, ácido túngstico) adequado para materiais eletrônicos, catalisadores especializados e reagentes analíticos de alta precisão. A escolha e a regeneração da resina são críticas, impactando diretamente a pureza do produto e os custos de produção.

#### **4.1.2 Estrutura cristalina e composição molecular**

O ácido túngstico (H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, ácido túngstico) normalmente exibe uma estrutura cristalina ortorrômbica, com suas moléculas compostas por um átomo de tungstênio coordenado com quatro átomos de oxigênio em um arranjo tetraédrico, onde dois átomos de oxigênio estão ligados a átomos de hidrogênio através de ligações de hidrogênio. Estudos cristalográficos alemães indicam que esta estrutura é responsável por sua baixa solubilidade em água (aproximadamente 0,02 g/100 mL) e sua tendência a se decompor em [trióxido de tungstênio \(WO<sub>3</sub>, Trióxido de Tungstênio\)](#) após aquecimento [16]. As

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

ligações de hidrogénio dentro da sua estrutura molecular conferem uma acidez fraca (pKa em torno de 2,2), permitindo-lhe reagir com bases para formar tungstatos, uma propriedade amplamente explorada na síntese industrial.

#### 4.1.3 Estabilidade térmica e química

O ácido túngstico ( $H_2WO_4$ , ácido túngstico) demonstra excelente estabilidade química à temperatura ambiente, resistindo à corrosão da maioria dos ácidos e bases. No entanto, em soluções fortemente alcalinas (por exemplo, hidróxido de sódio), dissolve-se para formar tungstato como tungstato de sódio ( $Na_2WO_4$ , tungstato de sódio). Termicamente, começa a perder água cristalina a 100-200°C, transformando-se em trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de Tungstênio), com decomposição completa ocorrendo em torno de 250°C. Este comportamento de decomposição térmica torna-o uma matéria-prima vital para a produção de óxidos de tungstênio de alta pureza, como observado em pesquisas químicas russas, destacando a sua estabilidade em ambientes ácidos como uma vantagem chave na hidrometalurgia [17].

#### 4.1.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

As propriedades óticas do ácido túngstico ( $H_2WO_4$ , Ácido Túngstico) são relativamente modestas, com sua aparência amarela resultante de transições eletrônicas dentro de sua estrutura cristalina, embora não tenha atividade ótica significativa, como eletrocromismo ou fluorescência, limitando seu uso direto em aplicações óticas. Eletricamente, é um isolante com condutividade insignificante, contando com seu produto de decomposição, trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de tungstênio), para aplicações elétricas. Magneticamente, o ácido túngstico ( $H_2WO_4$ , ácido túngstico) não exhibe propriedades notáveis, com seu valor primário residindo em sua reatividade química e papel como precursor, em vez de suas características físicas intrínsecas.

#### Dica

Os métodos versáteis de preparação e o papel fundamental do ácido túngstico ( $H_2WO_4$ , Ácido Túngstico) como precursor na química do tungstênio (W, Tungstênio) sublinham a sua importância; Os contratos públicos devem centrar-se na pureza e nas características das partículas adaptadas às aplicações a jusante.

#### 4.2 Tungstato de sódio ( $Na_2WO_4$ , tungstato de sódio)

O tungstato de sódio ( $Na_2WO_4$ , tungstato de sódio) é o tungstato mais prevalente e versátil, apreciado por sua excelente solubilidade em água, estabilidade química e multifuncionalidade, garantindo seu uso generalizado na produção industrial, pesquisa médica e química analítica. Como um tungstato solúvel representativo, o tungstato de sódio ( $Na_2WO_4$ , Tungstato de Sódio) se destaca em aplicações que vão desde materiais à prova de fogo até estudos bioativos e a síntese de outros compostos de tungstênio, com

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

uma longa história que cimentou seu status como um elo vital na cadeia da indústria química de tungstênio.

#### 4.2.1 Processos de Preparação

A preparação de tungstato de sódio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sódio) integra a extração de minério com técnicas de reação baseadas em soluções, atendendo às diversas necessidades de produção em escala industrial e precisão laboratorial.

##### Método de fusão alcalina (extração de minério)

O método de fusão alcalina envolve a reação de wolframita ( $(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4$ , Wolframite) ou scheelita ( $\text{CaWO}_4$ , Scheelite) com hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ) a altas temperaturas (600-800°C) para formar uma solução de tungstato de sódio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sódio). O processo envolve a mistura de minério em pó com hidróxido de sódio e aquecimento em um forno de fusão até derretido, onde o tungstênio reage com o sódio para produzir tungstato de sódio solúvel ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sódio). Após o arrefecimento, as impurezas são filtradas e a solução é evaporada e cristalizada para produzir cristais brancos. Este método, favorecido por seu uso eficiente de recursos de minério e operação direta, é a técnica predominante na indústria de processamento de tungstênio da China, particularmente em grandes centros como Jiangxi e Hunan.

##### Método de neutralização do ácido túngstico (preparação laboratorial)

O método de neutralização do ácido túngstico prepara tungstato de sódio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sódio) neutralizando o ácido túngstico ( $\text{H}_2\text{WO}_4$ , ácido túngstico) com uma solução de hidróxido de sódio à temperatura ambiente (20-40°C), após a reação:  $\text{H}_2\text{WO}_4 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{WO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ . A solução resultante é concentrada por evaporação e arrefecida para cristalizar cristais di-hidratados de tungstato de sódio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sódio). Este método simples é ideal para a produção em pequena escala e de alta pureza em laboratórios, comumente usado para preparar soluções-padrão ou reagentes em pesquisa científica e química analítica.

#### 4.2.2 Estrutura cristalina e composição molecular

O tungstato de sódio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sódio) normalmente existe como um dihidrato ( $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) com uma estrutura cristalina ortorrômbica. Dentro desta estrutura, um átomo de tungstênio coordena-se com quatro átomos de oxigênio para formar uma unidade tetraédrica estável ( $\text{WO}_4^{2-}$ ), enquanto dois átomos de sódio estão ligados ionicamente ao ião tungstato, e as moléculas de água são incorporadas através da ligação de hidrogênio. Estudos cristalográficos confirmam que este arranjo é responsável pela sua elevada solubilidade em água (aproximadamente 730 g/L a 20°C), facilitando a sua utilização em aplicações aquosas e mantendo a estabilidade dos cristais [19].

#### 4.2.3 Estabilidade térmica e química

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

O tungstato de sódio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sódio) exibe estabilidade térmica robusta em condições secas, suportando até  $300^\circ\text{C}$  sem decomposição. Acima desta temperatura, perde água cristalina, transformando-se em tungstato de sódio anidro ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ), com quebra completa exigindo temperaturas em torno de  $700^\circ\text{C}$ . Quimicamente, sua solução aquosa é levemente alcalina (pH 8-9) e sensível a ácidos, convertendo-se prontamente em ácido túngstico ( $\text{H}_2\text{WO}_4$ , ácido túngstico) sob condições ácidas, mas resiste à corrosão em ambientes neutros e levemente alcalinos, tornando-se adaptável a uma variedade de configurações de reação [19].

#### 4.2.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

As propriedades óticas do tungstato de sódio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Tungstato de Sódio) não são notáveis, com seus cristais brancos sem atividade ótica significativa, como fluorescência ou eletrocromismo, limitando assim suas aplicações óticas. Eletricamente, atua como um condutor iônico em solução devido à mobilidade dos íons sódio e tungstato, mas é um isolante na forma sólida com condutividade insignificante. Magneticamente, o tungstato de sódio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Tungstato de Sódio) não apresenta propriedades notáveis, com sua utilidade derivada principalmente de seus atributos químicos, como solubilidade e reatividade, em vez de características físicas.

#### Dica

A hidrossolubilidade e a estabilidade química do tungstato de sódio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sódio) tornam-no inestimável em aplicações à prova de fogo e biomédicas, devendo a aquisição considerar o teor de água cristalina e os níveis de impureza para um desempenho ideal.

#### 4.3 Outros tungstatos

Além do ácido túngstico ( $\text{H}_2\text{WO}_4$ , ácido túngstico) e tungstato de sódio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sódio), a família do tungstato inclui compostos significativos, como [paratungstato de amônio \(APT,  \$\(\text{NH}\_4\)\_2\text{WO}\_4\$ , paratungstato de amônio\)](#), [tungstato de cálcio \( \$\text{CaWO}\_4\$ , tungstato de cálcio\)](#) e [metatungstato de amônio \( \$\(\text{NH}\_4\)\_6\text{H}\_2\text{W}\_{12}\text{O}\_{40}\$ , metatungstato de amônio\)](#). Estes tungstatos se destacam na produção industrial, pesquisa científica e aplicações especializadas, enriquecendo o escopo da química do tungstênio.

#### 4.3.1 Processos de Preparação

Os processos de preparação para esses outros tungstato variam com base em suas propriedades químicas e usos pretendidos, desde a extração de minério até técnicas de síntese de soluções.

#### Troca Iônica e Cristalização para Paratungstato de Amônio

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



#### **(APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ , Paratungstato de amônio)**

Paratungstato de amônio (APT,  $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ , Paratungstato de amônio) é tipicamente preparado a partir de soluções de tungstato extraídas de minérios de tungstênio, passadas através de resinas de permuta iônica para isolar íons de tungstato ( $\text{WO}_4^{2-}$ ). A amônia é então adicionada para ajustar o pH da solução para 7-8, desencadeando a precipitação do paratungstato de amônio (APT,  $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ , Paratungstato de amônio), que é filtrado, lavado e seco (cerca de 100-150°C) para produzir cristais brancos. Este método é uma pedra angular da indústria de tungstênio da China, amplamente utilizado na produção de pó de tungstênio (W Powder, Tungsten Powder), com produções anuais atingindo dezenas de milhares de toneladas em regiões como Jiangxi e Hunan.

#### **Reação de fusão para tungstato de cálcio**

##### **( $\text{CaWO}_4$ , tungstato de cálcio)**

O tungstato de cálcio ( $\text{CaWO}_4$ , tungstato de cálcio) é sintetizado pela fusão de tungstato de sódio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sódio) com cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) a altas temperaturas (aproximadamente 800-1000°C), após a reação:  $\text{Na}_2\text{WO}_4 + \text{CaCl}_2 \rightarrow \text{CaWO}_4 + 2\text{NaCl}$ . O produto resultante arrefece em cristais brancos, que são triturados e peneirados para utilização. Este processo simples é comumente empregado para produzir materiais fluorescentes e componentes óticos, aproveitando sua alta estabilidade térmica para escalabilidade industrial.

#### **Polimerização de acidificação para metatungstato de amônio**

##### **( $(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$ , Metatungstato de amônio)**

Metatungstato de amônio ( $(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$ , Metatungstato de amônio) é preparado acidificando uma solução de paratungstato de amônio (APT,  $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ , Paratungstato de Amônio) e controlando o pH a 3-4, levando os íons tungstato a polimerizarem-se em íons de politungstato ( $\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}^{6-}$ ). O amoníaco é então adicionado para estabilizar a solução, seguido de cristalização para produzir o produto final. Este método é adaptado para a produção de catalisadores e reagentes analíticos de alta pureza, capitalizando sua estrutura única de polioxometalato.

#### **4.3.2 Estrutura cristalina e composição molecular**

O paratungstato de amônio (APT,  $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ , Paratungstato de amônio) apresenta uma estrutura cristalina monoclinica complexa com múltiplas unidades octaédricas de tungstênio-oxigênio estabilizadas por íons de amônio através da ligação de hidrogênio, formando uma estrutura composta robusta. O tungstato de cálcio ( $\text{CaWO}_4$ , Tungstato de Cálcio) adota uma estrutura cristalina tetragonal semelhante à escheelita natural, com átomos de tungstênio coordenando quatro átomos de oxigênio em um arranjo tetraédrico, suportado por íons de cálcio através de ligações iônicas. Metatungstato de amônio ( $(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$ , Metatungstato de amônio) exibe uma estrutura polioxometalada, compreendendo um aglomerado de 12 octaedros de tungstênio-oxigênio cercados por íons de amônio, conferindo complexidade molecular distinta adequada para aplicações

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

catalíticas.

#### 4.3.3 Estabilidade térmica e química

O paratungstato de amônio (APT,  $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ , Paratungstato de amônio) tem estabilidade térmica moderada, decompondo-se em trióxido de tungstênio ( $\text{WO}_3$ , Trióxido de tungstênio) a 250-300°C com a liberação de amoníaco e vapor de água, e a sua estabilidade química é suscetível a condições ácidas. O tungstato de cálcio ( $\text{CaWO}_4$ , Tungstato de Cálcio) possui excepcional estabilidade térmica, temperaturas duradouras acima de 1000°C e excelente estabilidade química, sendo quase insolúvel em água e resistente à maioria dos ácidos e bases, tornando-o ideal para aplicações de alta temperatura. Metatungstato de amônio ( $(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$ , Metatungstato de amônio) perde água cristalina em torno de 200°C e se decompõe ainda mais em temperaturas mais altas, com estabilidade química mais fraca exigindo proteção de ácidos ou bases fortes para preservar sua estrutura de polioxometalato.

#### 4.3.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

O paratungstato de amônio (APT,  $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$ , Paratungstato de amônio) carece de propriedades óticas notáveis, aparecendo como cristais brancos com atividade ótica mínima, e é um isolante elétrica e magneticamente inerte. O tungstato de cálcio ( $\text{CaWO}_4$ , Tungstato de Cálcio) é conhecido por sua fluorescência, emitindo luz azul sob excitação UV (bandgap  $\sim 4.2$  eV), tornando-o valioso em detectores de raios-X e materiais fluorescentes, embora permaneça um isolante sem propriedades magnéticas. Metatungstato de amônio ( $(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$ , Metatungstato de amônio) não mostra traços óticos ou magnéticos significativos, mas exibe condutividade iônica em solução, enquanto permanece um isolante na forma sólida, com suas aplicações impulsionadas principalmente por suas capacidades catalíticas.

#### Dica

Outros tungstato como tungstato de cálcio ( $\text{CaWO}_4$ , tungstato de cálcio) e metatungstato de amônio ( $(\text{NH}_4)_6\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$ , metatungstato de amônio) oferecem vantagens únicas em fluorescência e catálise, respectivamente;

#### Fontes de informação

[16] *Fundamentos da Química do Tungstênio* (Alemão) - H.C. Starck GmbH, Munique, 1998[17] *Propriedades dos compostos de tungstênio* (russo) - Departamento de Química, Universidade Estatal de Moscovo, Moscovo, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Conta Pública[22] China Tungsten Indústria de tungstênio: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

#### Referências

[1] *The History and Applications of Tungsten* (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990[2] *A Brief History of Tungsten Chemistry* (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3]

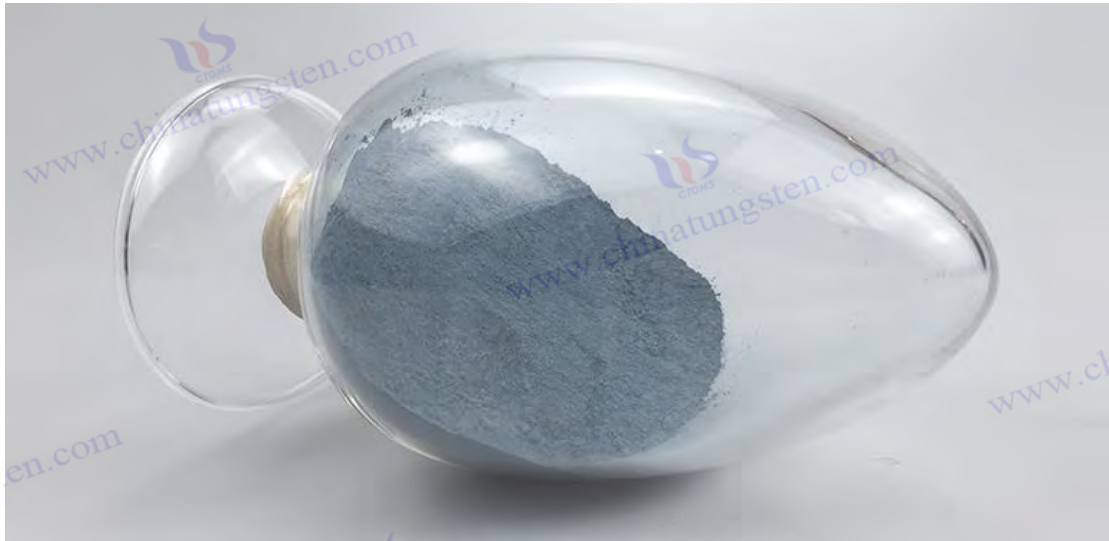
#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)

- [4] *Studies on the Naming of Tungsten* (Multilingual) - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), Londres, 1990[5] *Aplicações do tungstênio na Revolução Industrial Britânica* (Inglês) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Early Industrialization of Tungsten Chemicals* (Francês) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Global Tungsten Resource Distribution Report* (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Estudos sobre as propriedades físicas do tungstênio* (Inglês) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810[9] *Tungstênio na Tabela Periódica* (russo) - Sociedade Química Russa, Moscovo, 1870[10] *Aplicações de tungstênio na metalurgia russa* (russo) - Departamento de Química, Universidade de Moscovo, Moscovo, 1890[11] *Aplicações de tungstênio na indústria eletrônica japonesa* (japonês) - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tóquio, 1925[12] *Registros mineralógicos na região árabe* (árabe) - Departamento de Geologia, Universidade do Cairo, Cairo, 1900[13] *2023 Análise de mercado global de produtos de tungstênio* (inglês) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023[14] *Frontier Applications of Tungsten in Research* (Inglês) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] *China Tungsten Industry*: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)[16] *Fundamentos da Química do Tungstênio* (Alemão) - H.C. Starck GmbH, Munique, 1998[17] *Propriedades dos compostos de tungstênio* (russo) - Departamento de Química, Universidade Estatal de Moscovo, Moscovo, 2000[18] *Química de alta temperatura de óxidos de tungstênio* (russo) - Academia Russa de Ciências, Moscovo, 1995[19] *Estabilidade Química de Tungstados* (Inglês) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Electronic Materials Research on Tungsten Oxides* (Japonês) - Tokyo University Press, Tóquio, 2010[21] *Organometallic Tungsten Compounds* (Inglês) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] *China Tungsten Industry*: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)



## Quais são os produtos químicos de tungstênio?

### Capítulo 5: Preparação e aplicações de halogenetos de tungstênio

#### 5.1 Hexaóxido de tungstênio ( $WCl_6$ , hexaóxido de tungstênio)

[Hexaóxido de tungstênio \( \$WCl\_6\$ , Hexaóxido de tungstênio\)](#) é um membro proeminente da família de haleto de tungstênio (W, Tungstênio), altamente considerado em ambientes industriais e de pesquisa por sua volatilidade, alta reatividade e capacidades catalíticas em várias reações químicas. Como um composto de tungstênio volátil, o hexaóxido de tungstênio ( $WCl_6$ , Hexaóxido de Tungstênio) se destaca com sua distinta aparência cristalina azul escura e propriedades químicas excepcionais, tornando-o inestimável em síntese orgânica, deposição de filme fino e preparação de catalisador. Sua jornada desde a síntese laboratorial inicial até as aplicações industriais contemporâneas reflete a evolução contínua e o aprofundamento da compreensão da química do haleto de tungstênio, posicionando-a como um contribuinte único para o campo mais amplo dos produtos químicos de tungstênio (W, Tungstênio).

##### 5.1.1 Processos de Preparação

A preparação de hexaóxido de tungstênio ( $WCl_6$ , Hexaóxido de tungstênio) engloba uma variedade de métodos, incluindo cloração direta e técnicas de redução de cloro, adaptadas para atender a diversos requisitos de pureza e aplicação.

##### Método de cloração direta

###### (Cloração de tungstênio metálico)

O método de cloração direta envolve a reação de metal de tungstênio (W, Tungstênio) de alta pureza, como [pó de tungstênio \(W Powder, Tungsten Powder\)](#), com gás de cloro ( $Cl_2$ ) a temperaturas elevadas (tipicamente 600-800°C) para produzir hexaóxido de tungstênio ( $WCl_6$ , Hexaóxido de tungstênio). A reação,  $W + 3Cl_2 \rightarrow WCl_6$ , ocorre em um reator de

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



quartzo selado para excluir oxigênio e umidade, com os cristais azuis escuros resultantes condensando do produto gasoso. Este método é favorecido por sua simplicidade e franqueza, tornando-se um grampo na produção industrial, particularmente para hexacloreto de tungstênio de alta pureza ( $WCl_6$ , hexacloreto de tungstênio) usado na síntese de catalisadores, onde rigorosos padrões de qualidade são essenciais.

### Método de redução de cloro

#### (Cloração de óxido)

O método de redução de cloro prepara hexacloreto de tungstênio ( $WCl_6$ , hexacloreto de tungstênio) reagindo [trióxido de tungstênio \( \$WO\_3\$ , trióxido de tungstênio\)](#) com gás de cloro e um agente redutor (por exemplo, carbono ou hidrogênio) a 500-700°C. O controle preciso do fluxo e da temperatura do cloro é fundamental para evitar a formação de cloretos inferiores, como o tetracloreto de tungstênio ( $WCl_4$ , tetracloreto de tungstênio). Esta abordagem é vantajosa para a produção em laboratório e em pequena escala, aproveitando subprodutos industriais como o trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de Tungstênio) para melhorar a eficiência dos recursos e reduzir custos.

### Método de reação em fase gasosa

#### (Preparação de alta pureza)

O método de reação em fase gasosa sintetiza hexacloreto de tungstênio ( $WCl_6$ , hexacloreto de tungstênio) reagindo tungstênio (W, tungstênio) ou seus compostos com gás cloro na fase de vapor a aproximadamente 800°C, seguido de condensação em cristais. Esta técnica se destaca na eliminação de impurezas vestigiais, produzindo hexacloreto de tungstênio de altíssima pureza ( $WCl_6$ , hexacloreto de tungstênio) ideal para materiais eletrônicos e pesquisa de catalisadores de precisão, onde até mesmo contaminantes minúsculos podem afetar significativamente o desempenho.

### 5.1.2 Estrutura cristalina e composição molecular

O hexacloreto de tungstênio ( $WCl_6$ , hexacloreto de tungstênio) adota uma estrutura cristalina octaédrica, com um átomo central de tungstênio coordenado a seis átomos de cloro, formando uma unidade molecular simétrica  $WCl_6$ . Estudos cristalográficos alemães destacam que essa coordenação octaédrica contribui para sua alta volatilidade (ponto de fusão de aproximadamente 275°C, ponto de ebulição em torno de 347°C), facilitando seu uso em reações em fase gasosa [16]. Em sua composição molecular, o átomo de tungstênio está no estado de oxidação +6, e a forte eletronegatividade dos átomos de cloro aumenta sua reatividade, permitindo-lhe prontamente se envolver em reações de coordenação ou substituição com compostos orgânicos.

### 5.1.3 Estabilidade térmica e química

O hexacloreto de tungstênio ( $WCl_6$ , hexacloreto de tungstênio) apresenta estabilidade térmica moderada em condições anidras e isentas de oxigênio, mantendo a sua estrutura

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

cristalina abaixo dos 300°C. No entanto, a temperaturas mais elevadas ou na presença de ar, decompõe-se em cloretos mais baixos e gás cloro, exigindo um manuseamento cuidadoso. Quimicamente, é altamente instável na presença de umidade, hidrolisando rapidamente em ambientes úmidos para formar cloreto de hidrogênio (HCl) e oxicloretos de tungstênio, exigindo armazenamento e uso em atmosferas secas e inertes. A investigação química russa sublinha a sua elevada reatividade, tornando-o um agente clorante e catalisador eficaz na síntese orgânica [17].

#### 5.1.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

As propriedades óticas do hexacloreto de tungstênio ( $WCl_6$ , hexacloreto de tungstênio) são caracterizadas por sua forma cristalina azul escuro impressionante, resultante de transições eletrônicas d-d do átomo de tungstênio, embora sua atividade ótica seja limitada em aplicações práticas. Eletricamente, é um isolante no seu estado sólido, mas na forma gasosa ou de solução, pode apresentar ligeira condutividade iônica devido a decomposição ou interações com solventes. Magneticamente, hexacloreto de tungstênio ( $WCl_6$ , hexacloreto de tungstênio) não mostra propriedades significativas, com sua utilidade primária decorrente de sua reatividade química em vez de características físicas.

#### Dica

A preparação de hexacloreto de tungstênio ( $WCl_6$ , Hexacloreto de tungstênio) exige exclusão rigorosa de umidade e oxigênio, sua alta reatividade o torna um destaque em catálise e síntese orgânica, e a aquisição deve priorizar a pureza e as condições de armazenamento.

#### 5.2 Hexafluoreto de tungstênio ( $WF_6$ , hexafluoreto de tungstênio)

O hexafluoreto de tungstênio ( $WF_6$ , hexafluoreto de tungstênio) é o haleto de tungstênio mais significativo industrialmente, celebrado por sua excepcional volatilidade e papel fundamental na indústria de semicondutores. Como um gás incolor, o hexafluoreto de tungstênio ( $WF_6$ , hexafluoreto de tungstênio) é amplamente utilizado na deposição química de vapor (CVD) para produzir filmes finos de metal de tungstênio, com sua alta reatividade e estabilidade, tornando-o indispensável na microeletrônica moderna. A evolução da síntese laboratorial para a produção em larga escala destaca a sua contribuição para o avanço da química do tungstênio em aplicações de alta tecnologia.

##### 5.2.1 Processos de Preparação

A preparação de hexafluoreto de tungstênio ( $WF_6$ , Hexafluoreto de tungstênio) depende principalmente de reações de fluoração, conduzidas em condições anidras para garantir a qualidade do produto.

#### Método de fluoração direta

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### (Reação de tungstênio e flúor)

O método de fluoração direta reage ao metal de tungstênio (W, tungstênio) de alta pureza (por exemplo, pó de tungstênio (W em pó, pó de tungstênio)) com gás flúor (F<sub>2</sub>) a 300-500°C para formar gás hexafluoreto de tungstênio (WF<sub>6</sub>, hexafluoreto de tungstênio), após a reação:  $W + 3F_2 \rightarrow WF_6$ . Este processo ocorre em um reator de liga de níquel resistente à corrosão devido à natureza agressiva do flúor, com o produto gasoso condensado na forma líquida (ponto de ebulição 17,1°C) para coleta. Amplamente adotado na indústria por sua alta pureza e abordagem direta, este método domina aplicações de semicondutores que exigem rigorosos padrões de qualidade.

### Método de fluoração de óxidos

#### (Fluoração de trióxido de tungstênio)

O método de fluoração de óxido prepara hexafluoreto de tungstênio (WF<sub>6</sub>, hexafluoreto de tungstênio) reagindo trióxido de tungstênio (WO<sub>3</sub>, trióxido de tungstênio) com fluoreto de hidrogênio (HF) ou gás flúor a 400-600°C. Este processo exige um controle cuidadoso para evitar a formação de fluoretos mais baixos, aproveitando subprodutos industriais como o trióxido de tungstênio (WO<sub>3</sub>, Trióxido de Tungstênio) para reduzir custos. É comumente usado em laboratório e produção em pequena escala, oferecendo uma alternativa rentável para aplicações especializadas.

### 5.2.2 Estrutura cristalina e composição molecular

O hexafluoreto de tungstênio (WF<sub>6</sub>, hexafluoreto de tungstênio) adota uma estrutura molecular octaédrica nos estados gasoso e líquido, com um átomo central de tungstênio coordenado a seis átomos de flúor, formando uma unidade WF<sub>6</sub> simétrica. A investigação química japonesa observa que este arranjo octaédrico sustenta a sua elevada volatilidade e estabilidade (ponto de fusão 2,3°C, ponto de ebulição 17,1°C), tornando-o ideal para a deposição em fase gasosa [20]. O átomo de tungstênio está no estado de oxidação +6, e a forte eletronegatividade do flúor aumenta a força de ligação, garantindo estabilidade em várias condições.

### 5.2.3 Estabilidade térmica e química

O hexafluoreto de tungstênio (WF<sub>6</sub>, hexafluoreto de tungstênio) apresenta uma excelente estabilidade térmica em condições anidras, permanecendo estável como gás à temperatura ambiente. No entanto, a temperaturas superiores a 400°C ou na presença de humidade, decompõe-se em fluoreto de hidrogênio (HF) e óxidos de tungstênio, necessitando de um manuseamento controlado. Em comparação com o hexacloreto de tungstênio (WCl<sub>6</sub>, hexacloreto de tungstênio), é menos sensível à água, mas pode ser reduzido a tungstênio (W, tungstênio) ou fluoretos mais baixos em ambientes fortemente redutores, uma propriedade que aumenta a sua utilidade na deposição de semicondutores.

### 5.2.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

O hexafluoreto de tungstênio ( $WF_6$ , hexafluoreto de tungstênio) é um gás incolor e transparente sem atividade ótica significativa, limitando as suas aplicações óticas. Eletricamente, é não-condutor em seu estado gasoso, mas sua decomposição em metal de tungstênio produz excelente condutividade (resistividade  $\sim 5,6 \mu\Omega \text{ cm}$ ), crucial para filmes finos condutores. Magneticamente, não exibe propriedades notáveis, com seu valor ligado principalmente às suas capacidades de reatividade e deposição, em vez de características físicas.

### Dica

A preparação de hexafluoreto de tungstênio ( $WF_6$ , hexafluoreto de tungstênio) requer um ambiente anidro; Seu papel crítico na indústria de semicondutores a torna um destaque entre os halogenetos de tungstênio, com compras focadas na pureza do gás e integridade de contenção.

## 5.3 Outros halogenetos de tungstênio

Além do hexacloroeto de tungstênio ( $WCl_6$ , hexacloroeto de tungstênio) e hexafluoreto de tungstênio ( $WF_6$ , hexafluoreto de tungstênio), a família de haletos de tungstênio inclui compostos de baixa valência, como tetracloreto de tungstênio ( $WCl_4$ , tetracloreto de tungstênio) e pentacloreto de tungstênio ( $WCl_5$ , pentacloreto de tungstênio). Embora menos amplamente aplicados, esses haletos oferecem valor em reações catalíticas específicas e pesquisa de materiais.

### 5.3.1 Processos de Preparação

A preparação destes outros haletos de tungstênio ocorre tipicamente à escala laboratorial, exigindo um controle preciso das condições de reação.

#### Método de cloração de redução para tetracloreto de tungstênio ( $WCl_4$ , tetracloreto de tungstênio)

O tetracloreto de tungstênio ( $WCl_4$ , tetracloreto de tungstênio) é sintetizado reduzindo parcialmente o hexacloroeto de tungstênio ( $WCl_6$ , hexacloroeto de tungstênio) com hidrogênio a  $450-600^\circ\text{C}$  em uma atmosfera inerte para evitar a oxidação. Esta redução controlada garante a formação do estado tetravalente desejado, tipicamente produzindo um produto verde adequado para aplicações de nicho.

#### Método de cloração controlada para pentacloreto de tungstênio ( $WCl_5$ , pentacloreto de tungstênio)

O pentacloreto de tungstênio ( $WCl_5$ , pentacloreto de tungstênio) é preparado cuidadosamente clorando tungstênio (W, tungstênio) ou reduzindo hexacloroeto de tungstênio ( $WCl_6$ , hexacloroeto de tungstênio) com um fornecimento limitado de cloro a  $500-700^\circ\text{C}$ . Este método exige uma dosagem precisa de cloro para atingir o estado

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



pentavalente, produzindo um material cristalino vermelho escuro.

### 5.3.2 Estrutura cristalina e composição molecular

O tetracloreto de tungstênio ( $WCl_4$ , Tungsten Tetrachloride) apresenta uma estrutura cristalina tetragonal, com o átomo de tungstênio coordenado a quatro átomos de cloro num arranjo quadrado plano, oferecendo uma estabilidade moderada. O pentacloro de tungstênio ( $WCl_5$ , pentacloro de tungstênio) adota uma estrutura bipiramidal trigonal com cinco átomos de cloro, exibindo menor estabilidade devido ao seu estado de oxidação intermediário. Estas estruturas resultam numa volatilidade reduzida em comparação com halogenetos hexavalentes.

### 5.3.3 Estabilidade térmica e química

O tetracloreto de tungstênio ( $WCl_4$ , tetracloreto de tungstênio) e o pentacloro de tungstênio ( $WCl_5$ , pentacloro de tungstênio) têm estabilidade térmica limitada, decompondo-se em cloretos mais baixos ou gás de cloro a 200-400°C. Quimicamente, ambos são altamente sensíveis à umidade, exigindo armazenamento selado para evitar hidrólise, o que restringe seu uso prático a ambientes controlados.

### 5.3.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

O tetracloreto de tungstênio ( $WCl_4$ , tetracloreto de tungstênio) aparece verde, e o pentacloro de tungstênio ( $WCl_5$ , pentacloro de tungstênio) é vermelho escuro, mas nenhum deles exibe atividade ótica significativa. Eletricamente, ambos são isolantes, e carecem de propriedades magnéticas notáveis, com suas aplicações focadas principalmente em pesquisa catalítica em vez de características físicas.

#### Dica

Outros haletos de tungstênio como tetracloreto de tungstênio ( $WCl_4$ , Tetracloreto de Tungstênio) possuem potencial em catálise, sua preparação e estabilidade exigem atenção cuidadosa durante o manuseio e uso.

---

#### Fontes de Informação

[16] *Fundamentos da Química do Tungstênio* (Alemão) - H.C. Starck GmbH, Munique, 1998[17] *Propriedades dos compostos de tungstênio* (russo) - Departamento de Química, Universidade Estatal de Moscovo, Moscovo, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] China Tungsten Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

---

#### Referências

[1] *The History and Applications of Tungsten* (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990[2] *A Brief History of Tungsten Chemistry* (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3]

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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

Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)

[4] *Studies on the Naming of Tungsten* (Multilingual) - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), Londres, 1990[5] *Aplicações do tungstênio na Revolução Industrial Britânica* (Inglês) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Early Industrialization of Tungsten Chemicals* (Francês) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Global Tungsten Resource Distribution Report* (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Estudos sobre as propriedades físicas do tungstênio* (Inglês) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810[9] *Tungstênio na Tabela Periódica* (russo) - Sociedade Química Russa, Moscovo, 1870[10] *Aplicações de tungstênio na metalurgia russa* (russo) - Departamento de Química, Universidade de Moscovo, Moscovo, 1890[11] *Aplicações de tungstênio na indústria eletrônica japonesa* (japonês) - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tóquio, 1925[12] *Registros mineralógicos na região árabe* (árabe) - Departamento de Geologia, Universidade do Cairo, Cairo, 1900[13] 2023 *Análise de mercado global de produtos de tungstênio* (inglês) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023[14] *Frontier Applications of Tungsten in Research* (Inglês) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)  
[16] *Fundamentos da Química do Tungstênio* (Alemão) - H.C. Starck GmbH, Munique, 1998[17] *Propriedades dos compostos de tungstênio* (russo) - Departamento de Química, Universidade Estatal de Moscovo, Moscovo, 2000[18] *Química de alta temperatura de óxidos de tungstênio* (russo) - Academia Russa de Ciências, Moscovo, 1995[19] *Estabilidade Química de Tungstados* (Inglês) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Electronic Materials Research on Tungsten Oxides* (Japonês) - Tokyo University Press, Tóquio, 2010[21] *Organometallic Tungsten Compounds* (Inglês) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)



## Quais são os produtos químicos de tungstênio?

### Capítulo 6: Preparação e aplicações de carbonetos e nitretos de tungstênio

#### 6.1 Carboneto de tungstênio (WC, carboneto de tungstênio)

O [carboneto de tungstênio \(WC, carboneto de tungstênio\)](#) está entre os compostos industrialmente mais valiosos e amplamente aplicados na família química de tungstênio (W, Tungstênio), reconhecido por sua excepcional dureza, resistência ao desgaste e estabilidade térmica. Como pedra angular dos carbonetos cimentados, o carboneto de tungstênio (WC, carboneto de tungstênio) desempenha um papel indispensável em ferramentas de corte, equipamento de mineração e revestimentos resistentes ao desgaste. Sua aparência de pó preto ou acinzentado-preto desmente seu brilho na indústria moderna, com uma história de desenvolvimento que vai desde os primeiros experimentos de laboratório até a produção globalizada de hoje, mostrando o profundo impacto da química do tungstênio na ciência dos materiais.

##### 6.1.1 Processos de Preparação

A preparação de carboneto de tungstênio (WC, carboneto de tungstênio) abrange uma variedade de métodos, incluindo carbonização de alta temperatura e reações de fase gasosa, adaptadas para atender a diversos requisitos de pureza e tamanho de partícula.

##### Método de carbonização de alta temperatura

###### (Carbonização em pó de tungstênio)

O método de carbonização de alta temperatura reage [ao pó de tungstênio \(pó W, pó de tungstênio\)](#) com uma fonte de carbono (por exemplo, negro de fumo ou grafite) a 1400-1600°C para formar carboneto de tungstênio (WC, carboneto de tungstênio), seguindo a equação:  $W + C \rightarrow WC$ . Este processo é tipicamente conduzido em uma atmosfera de

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

vácuo ou hidrogênio para evitar a oxidação e controlar o teor de carbono. Após a reação, o produto é moído e peneirado para produzir pó de carboneto de tungstênio (WC, carboneto de tungstênio) finamente uniforme. Devido ao seu processo maduro e custo-benefício, este método domina a produção industrial, amplamente adotado na fabricação de carboneto cimentado, especialmente em grandes empresas de processamento de tungstênio na China e na Europa.

### **Método de carbonização em fase gasosa**

#### **(Reação de vapor químico)**

O método de carbonização em fase gasosa utiliza compostos voláteis de tungstênio, como [hexafluoreto de tungstênio \(WF<sub>6</sub>, hexafluoreto de tungstênio\)](#), reagindo com hidrocarbonetos (por exemplo, metano, CH<sub>4</sub>) a 800-1000°C através de uma reação química de vapor para produzir carboneto de tungstênio (WC, carboneto de tungstênio). Esta técnica pode produzir partículas de carboneto de tungstênio (WC, carboneto de tungstênio) em nanoescala, tornando-a adequada para revestimentos de alto desempenho e ferramentas de precisão. A reação ocorre em reatores especializados com controle preciso do fluxo de gás para garantir a distribuição uniforme de partículas.

### **Método de Síntese de Plasma**

#### **(Preparação de partículas ultrafinas)**

O método de síntese de plasma reage rapidamente pó de tungstênio (W Powder, Tungsten Powder) com uma fonte de carbono em um ambiente de plasma de alta temperatura (>5000°C), produzindo carboneto de tungstênio ultrafino (WC, carboneto de tungstênio) pó (tamanho de partícula <100 nm). Este método se destaca na geração de partículas ultrafinas de alta pureza, ideais para aplicações avançadas, como revestimentos resistentes ao desgaste em materiais aeroespaciais, embora seus altos custos de equipamento o limitem à produção de pequenos lotes e alto valor.

### **6.1.2 Estrutura cristalina e composição molecular**

O carboneto de tungstênio (WC, carboneto de tungstênio) apresenta uma estrutura cristalina hexagonal, onde os átomos de tungstênio e carbono se ligam numa proporção de 1:1 através de fortes ligações covalentes, formando uma rede bem compactada. Estudos cristalográficos alemães indicam que este arranjo hexagonal lhe confere uma dureza excepcional (dureza de Mohs ~9, perdendo apenas para o diamante) e propriedades mecânicas superiores [16]. Na sua composição molecular, o tungstênio contribui com alta densidade (15,63 g/cm<sup>3</sup>), enquanto o carbono aumenta a estabilidade da rede, permitindo-lhe manter a integridade estrutural em condições extremas.

### **6.1.3 Estabilidade térmica e química**

O carboneto de tungstênio (WC, carboneto de tungstênio) possui uma estabilidade térmica notável, mantendo a sua estrutura abaixo de 2600°C, e exibe uma excelente resistência à

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**



oxidação, apenas oxidando lentamente para trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de tungstênio) acima de  $600^\circ C$  em ambientes ricos em oxigênio. Quimicamente, resiste à corrosão de ácidos e bases, embora possa ser gradualmente erodido em ácidos oxidantes fortes (por exemplo, ácido nítrico). A investigação russa sobre materiais destaca a sua estabilidade térmica e inércia química, tornando-a uma escolha ideal para materiais resistentes ao desgaste a altas temperaturas [17].

#### 6.1.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

As propriedades óticas do carboneto de tungstênio (WC, carboneto de tungstênio) não são notáveis, com sua aparência preta ou acinzentada-preta resultante da absorção de elétrons em sua estrutura cristalina, sem fluorescência notável ou atividade ótica. Eletricamente, possui condutividade moderada (resistividade  $\sim 20 \mu\Omega \cdot cm$ ), significativamente menor do que o tungstênio metálico (W, Tungstênio), mas suficiente para aplicações como usinagem de descargas elétricas. Magneticamente, o carboneto de tungstênio (WC, carboneto de tungstênio) não apresenta propriedades significativas, com o seu valor enraizado principalmente em atributos mecânicos e não em características físicas.

#### Dica

Os diversos métodos de preparação e a excepcional dureza e resistência ao desgaste do carboneto de tungstênio (WC, carboneto de tungstênio) tornam-no insubstituível em aplicações industriais; A aquisição deve centrar-se na dimensão e pureza das partículas adaptadas a utilizações específicas.

### 6.2 Nitreto de tungstênio (WN, nitreto de tungstênio)

O nitreto de tungstênio (WN, nitreto de tungstênio) é um composto formado por tungstênio (W, tungstênio) e nitrogênio, com um escopo de aplicação mais estreito em comparação com o carboneto de tungstênio (WC, carboneto de tungstênio), mas possui valor único em revestimentos resistentes ao desgaste, materiais eletrônicos e filmes finos de alta dureza. Sua aparência cinza escuro e excelentes propriedades físicas fazem do nitreto de tungstênio (WN, Nitreto de Tungstênio) uma joia menos conhecida dentro da família química de tungstênio, com sua pesquisa e desenvolvimento abrindo novas possibilidades na ciência dos materiais.

#### 6.2.1 Processos de Preparação

A preparação de nitreto de tungstênio (WN, nitreto de tungstênio) depende principalmente de técnicas de nitretação de alta temperatura ou deposição em fase gasosa, exigindo controle preciso para garantir a qualidade do produto.

#### Método de nitração a alta temperatura (Nitretação em pó de tungstênio)

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

O método de nitreção de alta temperatura reage ao pó de tungstênio (pó W, pó de tungstênio) com gás nitrogênio (N<sub>2</sub>) ou amônia (NH<sub>3</sub>) a 1000-1200°C para formar nitreto de tungstênio (WN, nitreto de tungstênio), representado pela equação:  $W + N_2 \rightarrow WN$ . Este processo é conduzido em vácuo ou atmosfera inerte para evitar a interferência de oxigênio, produzindo um pó cinza escuro. Sua simplicidade e capacidade de utilizar pó de tungstênio prontamente disponível (W Powder, Tungsten Powder) torná-lo adequado para a produção industrial.

### **Método de deposição em fase gasosa (CVD ou PVD)**

O método de deposição em fase gasosa emprega deposição química de vapor (CVD) ou deposição física de vapor (PVD) para reagir hexafluoreto de tungstênio (WF<sub>6</sub>, hexafluoreto de tungstênio) ou tungstênio (W, tungstênio) com uma fonte de nitrogênio (por exemplo, amônia) a 600-900°C, formando filmes finos de nitreto de tungstênio (WN, nitreto de tungstênio). Esta técnica produz filmes de alta pureza, comumente usados para revestimentos resistentes ao desgaste e componentes eletrônicos, exigindo equipamentos especializados para controlar a espessura e uniformidade do filme.

### **6.2.2 Estrutura cristalina e composição molecular**

O nitreto de tungstênio (WN, nitreto de tungstênio) normalmente adota uma estrutura cristalina cúbica, com átomos de tungstênio e nitrogênio ligados em uma proporção de 1:1 através de uma rede covalente. A pesquisa cristalográfica russa observa que sua estrutura de rede se assemelha à do carboneto de tungstênio (WC, carboneto de tungstênio), embora a incorporação de nitrogênio resulte em dureza ligeiramente menor (dureza de Mohs ~8) e uma densidade de aproximadamente 14,5 g/cm<sup>3</sup> [17]. As fortes ligações covalentes na sua composição molecular contribuem para as suas robustas propriedades mecânicas e resistência à corrosão.

### **6.2.3 Estabilidade térmica e química**

O nitreto de tungstênio (WN, nitreto de tungstênio) permanece estável até cerca de 1000°C em atmosferas inertes, mas oxida em trióxido de tungstênio (WO<sub>3</sub>, trióxido de tungstênio) acima de 600°C em condições ricas em oxigênio, exibindo uma estabilidade térmica ligeiramente inferior à do carboneto de tungstênio (WC, carboneto de tungstênio). Quimicamente, resiste à corrosão de ácidos e bases, embora se decomponha gradualmente em ambientes fortemente oxidantes (por exemplo, ácido nítrico concentrado). A sua resistência à corrosão aumenta a sua adequação para aplicações de revestimento.

### **6.2.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas**

As propriedades óticas do nitreto de tungstênio (WN, Nitrito de tungstênio) não são notáveis, com sua aparência cinza escuro sem atividade ótica significativa. Eletricamente,

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

funciona como um semicondutor (bandgap ~1.8-2.2 eV) com condutividade moderada, tornando-o viável para materiais eletrônicos. Magneticamente, o nitreto de tungstênio (WN, nitreto de tungstênio) não exibe propriedades notáveis, com suas aplicações impulsionadas principalmente por atributos mecânicos e elétricos.

#### Dica

A preparação de nitreto de tungstênio (WN, Nitreto de Tungstênio) requer rigoroso controle de nitretação, e seu potencial em revestimentos resistentes ao desgaste e materiais eletrônicos merece uma exploração mais aprofundada.

### 6.3 Outros carbonetos e nitretos de tungstênio

Além do carboneto de tungstênio (WC, carboneto de tungstênio) e nitreto de tungstênio (WN, nitreto de tungstênio), a família de carboneto de tungstênio e nitreto inclui compostos como carboneto de tungstênio ( $W_2C$ , carboneto de ditungstênio) e carbonitrato de tungstênio ( $WC_{1-x}N_x$ , carbonitrato de tungstênio), que oferecem valor único em aplicações específicas resistentes ao desgaste e de alta temperatura.

#### 6.3.1 Processos de Preparação

Os processos de preparação para esses outros carbonetos e nitretos de tungstênio normalmente envolvem reações de alta temperatura ou técnicas compostas.

#### Método de carbonização controlada para carboneto de ditungstênio

##### ( $W_2C$ , Carboneto de Ditungstênio)

O carboneto de ditungstênio ( $W_2C$ , Carboneto de Ditungstênio) é sintetizado reagindo tungstênio (W, Tungstênio) com carbono a 1200-1400°C, controlando cuidadosamente a proporção de carbono para evitar a formação excessiva de carboneto de tungstênio (WC, carboneto de tungstênio). Este método garante a estrutura de carboneto divalente desejada.

#### Método de Codifusão Carbono-Nitrogênio para Carbonitrato de Tungstênio

##### ( $WC_{1-x}N_x$ , Carbonitrato de tungstênio)

A carbonitrato de tungstênio ( $WC_{1-x}N_x$ , carbonitrato de tungstênio) é preparada por reação de tungstênio (W, tungstênio) ou carboneto de tungstênio (WC, carboneto de tungstênio) com nitrogênio e uma fonte de carbono a 800-1000°C, formando uma estrutura composta através da codifusão de átomos de carbono e nitrogênio.

#### 6.3.2 Estrutura cristalina e composição molecular

O carboneto de ditungstênio ( $W_2C$ , carboneto de ditungstênio) apresenta uma estrutura cristalina hexagonal com uma relação tungstênio/carbono de 2:1, resultando numa rede menos densa do que o carboneto de tungstênio (WC, carboneto de tungstênio). A carbonitrato de tungstênio ( $WC_{1-x}N_x$ , carbonitrato de tungstênio) forma uma estrutura

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

cristalina composta, com átomos de carbono e azoto parcialmente substituídos para criar uma solução sólida, melhorando as suas propriedades.

### 6.3.3 Estabilidade térmica e química

O carboneto de ditungstênio ( $W_2C$ , carboneto de ditungstênio) permanece estável abaixo de  $2000^{\circ}C$ , mas decompõe-se em atmosferas oxidantes. A carbonitrída de tungstênio ( $WC_{1-x}N_x$ , carbonitreto de tungstênio) combina a estabilidade de carbonetos e nitretos, suportando temperaturas até aproximadamente  $1500^{\circ}C$ , oferecendo um desempenho robusto em condições exigentes.

### 6.3.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

O carboneto de ditungstênio ( $W_2C$ , carboneto de ditungstênio) e carbonitreto de tungstênio ( $WC_{1-x}N_x$ , carbonitreto de tungstênio) carecem de atividade ótica significativa, com condutividade elétrica moderada adequada para aplicações específicas, e sem propriedades magnéticas notáveis, residindo o seu valor no desempenho mecânico.

#### Dica

Outros carbonetos e nitretos de tungstênio, como o carboneto de ditungstênio ( $W_2C$ , carboneto de ditungstênio), se destacam em resistência ao desgaste e usos em altas temperaturas, a seleção deve se concentrar em suas propriedades específicas para aplicações específicas.

---

### Fontes de Informação

[16] *Fundamentos da Química do Tungstênio* (Alemão) - H.C. Starck GmbH, Munique, 1998[17] *Propriedades dos compostos de tungstênio* (russo) - Departamento de Química, Universidade Estatal de Moscovo, Moscovo, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] China Tungsten Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

---

### Referências

[1] *The History and Applications of Tungsten* (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990[2] *A Brief History of Tungsten Chemistry* (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)  
[4] *Studies on the Naming of Tungsten* (Multilingual) - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), Londres, 1990[5] *Aplicações do tungstênio na Revolução Industrial Britânica* (Inglês) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Early Industrialization of Tungsten Chemicals* (Francês) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Global Tungsten Resource Distribution Report* (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Estudos sobre as propriedades físicas do tungstênio* (Inglês) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810[9] *Tungstênio na Tabela Periódica* (russo) - Sociedade Química Russa, Moscovo, 1870[10] *Aplicações de tungstênio na metalurgia russa* (russo) - Departamento de Química, Universidade de Moscovo, Moscovo, 1890[11] *Aplicações de tungstênio na indústria electrónica*

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



japonesa (japonês) - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tóquio, 1925[12] *Registros mineralógicos na região árabe* (árabe) - Departamento de Geologia, Universidade do Cairo, Cairo, 1900[13] 2023 *Análise de mercado global de produtos de tungstênio* (inglês) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023[14] *Frontier Applications of Tungsten in Research* (Inglês) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn) [16] *Fundamentos da Química do Tungstênio* (Alemão) - H.C. Starck GmbH, Munique, 1998[17] *Propriedades dos compostos de tungstênio* (russo) - Departamento de Química, Universidade Estatal de Moscovo, Moscovo, 2000[18] *Química de alta temperatura de óxidos de tungstênio* (russo) - Academia Russa de Ciências, Moscovo, 1995[19] *Estabilidade Química de Tungstados* (Inglês) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Electronic Materials Research on Tungsten Oxides* (Japonês) - Tokyo University Press, Tóquio, 2010[21] *Organometallic Tungsten Compounds* (Inglês) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)



[www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)



[www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)



[www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)



[www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)



[www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)



[www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)



[www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

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

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



## Quais são os produtos químicos de tungstênio?

### Capítulo 7: Preparação e aplicações de sulfetos de tungstênio e fosfetos

#### 7.1 Dissulfeto de tungstênio ( $WS_2$ , Dissulfeto de tungstênio)

[Dissulfureto de tungstênio \( \$WS\_2\$ , Dissulfeto de tungstênio\)](#) destaca-se como um dos sulfetos mais significativos dentro da família química de tungstênio (W, Tungstênio), celebrado por sua estrutura em camadas única, baixo coeficiente de atrito e lubrificidade excepcional. Como um excelente lubrificante sólido, o dissulfureto de tungstênio ( $WS_2$ , Dissulfeto de Tungstênio) encontra extensas aplicações em indústrias mecânicas, ambientes de alta temperatura e pesquisa de materiais bidimensionais. A sua forma em pó ou flocos de cinza profundo a preto oculta capacidades de desempenho notáveis, traçando um caminho de desenvolvimento desde lubrificantes tradicionais até nanotecnologia de ponta, demonstrando as diversas contribuições da química do tungstênio para a ciência dos materiais.

##### 7.1.1 Processos de Preparação

A preparação de dissulfureto de tungstênio ( $WS_2$ , dissulfeto de tungstênio) engloba uma variedade de métodos, incluindo sulfidação de alta temperatura e deposição química de vapor, adaptados para atender a diversos requisitos de tamanho de partícula e pureza.

##### Método de sulfidação de alta temperatura

###### (Sulfetação em pó de tungstênio)

O método de sulfidação de alta temperatura reage [o pó de tungstênio \(W Powder, Tungsten Powder\)](#) com pó de enxofre (S) em temperaturas que variam de 600°C a 900°C para produzir dissulfureto de tungstênio ( $WS_2$ , Dissulfeto de tungstênio), seguindo a equação:  $W + 2S \rightarrow WS_2$ . Este processo é tipicamente conduzido em vácuo ou atmosfera

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

inerte (por exemplo, argônio) para evitar a oxidação, produzindo um pó cinza profundo. Após a reação, o produto é triturado e peneirado para obter partículas uniformes. Amplamente utilizado na produção industrial devido à sua simplicidade e matérias-primas prontamente disponíveis, este método domina a fabricação de materiais lubrificantes.

### Método de deposição química de vapor (CVD)

O método de deposição química de vapor (CVD) utiliza [trióxido de tungstênio \( \$WO\_3\$ , trióxido de tungstênio\)](#) ou [hexafluoreto de tungstênio \( \$WF\_6\$ , hexafluoreto de tungstênio\)](#) reagindo com sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ) a  $400-700^\circ C$  para formar filmes finos de dissulfureto de tungstênio ( $WS_2$ , dissulfeto de tungstênio). Esta técnica pode produzir dissulfureto de tungstênio de camada única ou multicamada ( $WS_2$ , Dissulfeto de Tungstênio), tornando-a ideal para materiais bidimensionais e pesquisa de dispositivos eletrônicos. A reação ocorre em reatores especializados, exigindo controle preciso do fluxo de gás e da temperatura para garantir a qualidade do filme.

### Método de Esfoliação Mecânica (Preparação de nanofolhas)

O método de esfoliação mecânica separa nanofolhas de dissulfureto de tungstênio a granel ( $WS_2$ , dissulfeto de tungstênio) usando técnicas físicas (por exemplo, esfoliação ultrassônica ou fita adesiva), comumente empregadas em laboratórios para preparar dissulfureto de tungstênio de camada única de alta pureza ( $WS_2$ , dissulfeto de tungstênio). Embora limitado em rendimento, este método preserva a integridade da estrutura em camadas, tornando-a valiosa para a investigação fundamental e a exploração da nanotecnologia.

### 7.1.2 Estrutura cristalina e composição molecular

Dissulfureto de tungstênio ( $WS_2$ , dissulfeto de tungstênio) apresenta uma estrutura cristalina hexagonal em camadas, com átomos de tungstênio ensanduichados entre duas camadas de átomos de enxofre, formando uma unidade bidimensional semelhante a um "sanduíche" mantida unida por forças fracas de van der Waals entre camadas adjacentes. Estudos cristalográficos alemães indicam que esta estrutura em camadas resulta em baixa resistência ao cisalhamento (coeficiente de atrito  $\sim 0,03-0,1$ ) e alta lubricidade [16]. Na sua composição molecular, cada átomo de tungstênio liga-se covalentemente com dois átomos de enxofre, com um espaçamento entre camadas de aproximadamente  $6,18\text{\AA}$ , contribuindo para o seu excelente desempenho no deslizamento mecânico e esfoliação.

### 7.1.3 Estabilidade térmica e química

O dissulfureto de tungstênio ( $WS_2$ , dissulfeto de tungstênio) apresenta uma excelente estabilidade térmica em atmosferas inertes, suportando temperaturas até aproximadamente  $1200^\circ C$  sem degradação. No entanto, em ambientes ricos em oxigênio,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ele oxida acima de 350°C para formar trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de tungstênio) e dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), limitando seu uso em condições oxidativas de alta temperatura. Quimicamente, resiste à corrosão de ácidos e bases, mas decompõe-se gradualmente sob oxidantes fortes (por exemplo, peróxido de hidrogênio). A pesquisa russa de materiais destaca sua estabilidade térmica e inércia química, tornando-a altamente eficaz em aplicações de lubrificação de alta temperatura [17].

#### 7.1.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

As propriedades óticas do dissulfureto de tungstênio ( $WS_2$ , dissulfeto de tungstênio) variam com a espessura da camada; dissulfureto de tungstênio de camada única ( $WS_2$ , dissulfeto de tungstênio) possui um bandgap direto (~2,0 eV), exibindo fluorescência, enquanto as formas multicamadas têm um bandgap indireto (~1,3 eV), reduzindo a atividade ótica. Eletricamente, funciona como um semicondutor, com camadas únicas oferecendo condutividade superior em comparação com multicamadas, tornando-o adequado para dispositivos optoeletrônicos. Magneticamente, o dissulfureto de tungstênio ( $WS_2$ , dissulfeto de tungstênio) não apresenta propriedades significativas, com as suas aplicações impulsionadas principalmente pela lubrificidade e características elétricas.

#### Dica

Os métodos flexíveis de preparação e a estrutura em camadas do dissulfureto de tungstênio ( $WS_2$ , Dissulfeto de Tungstênio) conferem-lhe uma vantagem única em lubrificação e materiais bidimensionais; A seleção deve considerar a contagem de camadas e a pureza com base nas necessidades da aplicação.

#### 7.2 Fosfeto de tungstênio (WP, fosfeto de tungstênio)

O fosfeto de tungstênio (WP, fosfeto de tungstênio) é um composto formado entre tungstênio (W, tungstênio) e fósforo, com um âmbito de aplicação mais limitado em comparação com o dissulfureto de tungstênio ( $WS_2$ , dissulfeto de tungstênio), mas detém valor específico em catalisadores e materiais resistentes ao desgaste. Sua aparência cinza-preta e excelentes propriedades catalíticas posicionam o fosfeto de tungstênio (WP, fosfeto de tungstênio) como um jogador discreto mas impactante na família química do tungstênio, com sua pesquisa contribuindo com novos caminhos para a catálise e a ciência dos materiais.

##### 7.2.1 Processos de Preparação

A preparação de fosfeto de tungstênio (WP, fosfeto de tungstênio) envolve principalmente técnicas de fosfatação de alta temperatura ou redução química, exigindo controle preciso da condição de reação.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## Método de Fosfatação a Alta Temperatura

### (Fosfatação em pó de tungstênio)

O método de fosfatação de alta temperatura reage o pó de tungstênio (pó W, pó de tungstênio) com pó de fósforo (P) ou fosfina (PH<sub>3</sub>) a 800-1000°C para formar fosfeto de tungstênio (WP, fosfeto de tungstênio), seguindo a equação:  $W + P \rightarrow WP$ . Este processo ocorre em um reator selado para excluir oxigênio, produzindo um pó cinza-preto. É adequado para produção industrial e em pequena escala devido ao seu processo simples e uso dos recursos de tungstênio disponíveis.

## Método de Redução Química

### (Fosfatação de óxido)

O método de redução química prepara o fosfeto de tungstênio (WP, fosfeto de tungstênio) reagindo trióxido de tungstênio (WO<sub>3</sub>, trióxido de tungstênio) com uma fonte de fósforo (por exemplo, fósforo vermelho) numa atmosfera de hidrogênio a 700-900°C. Esta técnica pode produzir partículas em nanoescala, ideais para o desenvolvimento de catalisadores, com dosagem cuidadosa de fósforo necessária para evitar a formação de fosfetos inferiores.

### 7.2.2 Estrutura cristalina e composição molecular

O fosfeto de tungstênio (WP, fosfeto de tungstênio) normalmente adota uma estrutura cristalina ortorrômbica, com átomos de tungstênio e fósforo ligados em uma proporção de 1:1 dentro de uma rede covalente. Pesquisas indicam que sua rede relativamente densa (densidade ~12,5 g/cm<sup>3</sup>) e a incorporação de fósforo aumentam sua atividade catalítica [17]. As ligações covalentes tungstênio-fósforo em sua composição molecular contribuem para sua alta dureza e estabilidade química.

### 7.2.3 Estabilidade térmica e química

O fosfeto de tungstênio (WP, fosfeto de tungstênio) permanece estável até aproximadamente 900°C em atmosferas inertes, mas oxida em trióxido de tungstênio (WO<sub>3</sub>, trióxido de tungstênio) e óxidos de fósforo acima de 500°C em condições ricas em oxigênio. Quimicamente, resiste à corrosão de ácidos e bases, mas decompõe-se gradualmente sob oxidantes fortes, com a sua estabilidade a apoiar o seu desempenho em reações catalíticas.

### 7.2.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

O fosfeto de tungstênio (WP, fosfeto de tungstênio) não exhibe nenhuma atividade ótica significativa, com sua aparência cinza-preta sem características óticas distintas. Eletricamente, é um semicondutor de banda estreita (~0,8-1,2 eV) com condutividade moderada, adequado como suporte de catalisador. Magneticamente, não apresenta propriedades notáveis, com o seu valor primário derivado das capacidades catalíticas.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Dica

A preparação de fosfeto de tungstênio (WP, fosfeto de tungstênio) requer um controle preciso da fosfetação, e o seu potencial na catálise merece maior atenção.

### 7.3 Outros Sulfetos e fosfetos de tungstênio

Além do dissulfureto de tungstênio ( $WS_2$ , dissulfeto de tungstênio) e fosfeto de tungstênio (WP, fosfeto de tungstênio), a família de sulfeto e fosfeto de tungstênio inclui compostos como trissulfeto de tungstênio ( $W_2S_3$ , trissulfeto de ditungstênio) e difosfeto de tungstênio ( $WP_2$ , difosfeto de tungstênio), que oferecem vantagens distintas em aplicações específicas de catálise e alta dureza.

#### 7.3.1 Processos de Preparação

A preparação desses outros sulfetos e fosfetos de tungstênio normalmente envolve técnicas de reação de alta temperatura.

#### Método de sulfidação controlada para trissulfeto de ditungstênio ( $W_2S_3$ , Trissulfeto de ditungstênio)

Trissulfeto de ditungstênio ( $W_2S_3$ , Trissulfeto de ditungstênio) é sintetizado reagindo tungstênio (W, Tungstênio) com enxofre a 500-700°C, controlando a relação de enxofre para evitar o excesso de sulfidação.

#### Método de fosfatação de alta temperatura para difosfeto de tungstênio ( $WP_2$ , Difosfeto de tungstênio)

Difosfeto de tungstênio ( $WP_2$ , Difosfeto de tungstênio) é preparado reagindo tungstênio (W, Tungstênio) com excesso de fósforo a 900-1100°C, formando um composto rico em fósforo.

#### 7.3.2 Estrutura cristalina e composição molecular

Trissulfeto de ditungstênio ( $W_2S_3$ , Trissulfeto de ditungstênio) apresenta uma estrutura cristalina ortorrômbica com uma relação tungstênio/enxofre de 2:3, resultando em uma rede relativamente solta. O difosfeto de tungstênio ( $WP_2$ , difosfeto de tungstênio) adota uma estrutura monoclinica com uma relação tungstênio/fósforo de 1:2, aumentando a sua atividade catalítica.

#### 7.3.3 Estabilidade térmica e química

O trissulfeto de ditungstênio ( $W_2S_3$ , trissulfeto de ditungstênio) permanece estável abaixo dos 800°C, mas oxida facilmente em condições ricas em oxigênio. O difosfeto de tungstênio ( $WP_2$ , difosfeto de tungstênio) suporta temperaturas até aproximadamente 1000°C, exibindo uma forte estabilidade química.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### 7.3.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

Trissulfeto de ditungstênio ( $W_2S_3$ , Trissulfeto de ditungstênio) e difosfeto de tungstênio ( $WP_2$ , Difosfeto de tungstênio) não têm atividade ótica significativa, exibem condutividade elétrica moderada adequada para aplicações específicas e não mostram propriedades magnéticas notáveis, com seu valor principalmente no desempenho catalítico.

#### Dica

Outros sulfetos e fosfetos de tungstênio, como o trissulfeto de ditungstênio ( $W_2S_3$ , trissulfeto de ditungstênio), oferecem benefícios únicos na catálise, a seleção deve se concentrar em sua composição química.

#### Fontes de Informação

[16] *Fundamentos da Química do Tungstênio* (Alemão) - H.C. Starck GmbH, Munique, 1998[17] *Propriedades dos compostos de tungstênio* (russo) - Departamento de Química, Universidade Estatal de Moscovo, Moscovo, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] China Tungsten Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

#### Referências

[1] *The History and Applications of Tungsten* (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990[2] *A Brief History of Tungsten Chemistry* (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)  
[4] *Studies on the Naming of Tungsten* (Multilingual) - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), Londres, 1990[5] *Aplicações do tungstênio na Revolução Industrial Britânica* (Inglês) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Early Industrialization of Tungsten Chemicals* (Francês) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Global Tungsten Resource Distribution Report* (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Estudos sobre as propriedades físicas do tungstênio* (Inglês) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810[9] *Tungstênio na Tabela Periódica* (russo) - Sociedade Química Russa, Moscovo, 1870[10] *Aplicações de tungstênio na metalurgia russa* (russo) - Departamento de Química, Universidade de Moscovo, Moscovo, 1890[11] *Aplicações de tungstênio na indústria eletrônica japonesa* (japonês) - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tóquio, 1925[12] *Registros mineralógicos na região árabe* (árabe) - Departamento de Geologia, Universidade do Cairo, Cairo, 1900[13] *2023 Análise de mercado global de produtos de tungstênio* (inglês) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023[14] *Frontier Applications of Tungsten in Research* (Inglês) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)  
[16] *Fundamentos da Química do Tungstênio* (Alemão) - H.C. Starck GmbH, Munique, 1998[17] *Propriedades dos compostos de tungstênio* (russo) - Departamento de Química, Universidade Estatal de Moscovo, Moscovo, 2000[18] *Química de alta temperatura de óxidos de tungstênio* (russo) - Academia Russa de Ciências, Moscovo, 1995[19] *Estabilidade Química de Tungstados* (Inglês) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Electronic Materials Research on Tungsten Oxides* (Japonês) - Tokyo University Press, Tóquio, 2010[21] *Organometallic Tungsten Compounds* (Inglês) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] China

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT





## Quais são os produtos químicos de tungstênio?

### Capítulo 8:

## Preparação e Aplicações de Compostos Organometálicos de Tungstênio

### 8.1 Hexacarbonilo de tungstênio ( $W(CO)_6$ , Hexacarbonilo de tungstênio)

[Tungstênio hexacarbonil \( \$W\(CO\)\_6\$ , Tungstênio hexacarbonil\)](#) é o composto organometálico mais representativo de tungstênio (W, Tungstênio), conhecido por sua alta volatilidade, atividade química de coordenação, e capacidades catalíticas em síntese orgânica. Como um composto carbonilo metálico clássico, o hexacarbonilo de tungstênio ( $W(CO)_6$ , Tungsten Hexacarbonyl) demonstra amplo potencial de aplicação na preparação de catalisadores, reações orgânicas e deposição de filme fino. Sua aparência cristalina branca e odor distinto desmentem seu papel central na química, com uma trajetória de desenvolvimento desde a pesquisa laboratorial até aplicações industriais que destaca a extensão da química do tungstênio para o reino da química orgânica.

#### 8.1.1 Processos de Preparação

A preparação de hexacarbonilo de tungstênio ( $W(CO)_6$ , Tungstênio Hexacarbonil) envolve diversos métodos, incluindo carbonilação de alta pressão e técnicas de carbonilação redutiva, adaptadas para atender às diferentes necessidades de pureza e aplicação.

#### Método de carbonilação de alta pressão (Carbonilação em pó de tungstênio)

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



O método de carbonilação de alta pressão reage [o pó de tungstênio \(W Powder, Tungsten Powder\)](#) com monóxido de carbono (CO) sob alta pressão (100-200 atm) e temperaturas elevadas (200-300°C) para produzir hexacarbonil de tungstênio ( $W(CO)_6$ , Tungsten Hexacarbonyl), seguindo a equação:  $W + 6CO \rightarrow W(CO)_6$ . Este processo requer uma autoclave de alta pressão, muitas vezes com catalisadores (por exemplo, iodetos) adicionados para aumentar a eficiência da reação. O produto precipita sob a forma de cristais brancos, que são purificados por sublimação para produzir hexacarbonilo de tungstênio de elevada pureza ( $W(CO)_6$ , Tungstênio Hexacarbonilo). Este método é um pilar em ambientes industriais e laboratoriais devido à sua frontalidade e alto rendimento.

### **Método de carbonilação redutora (Redução de haletos)**

O método de carbonilação redutora prepara hexacarbonilo de tungstênio ( $W(CO)_6$ , hexacarbonilo de tungstênio) reagindo [hexacloreto de tungstênio \( \$WCl\_6\$ , hexacloreto de tungstênio\)](#) com monóxido de carbono na presença de um agente redutor (por exemplo, pó de zinco ou alumínio) a 150-250°C. Esta reação deve ocorrer em condições anidras e isentas de oxigênio para evitar a formação de subprodutos. Adequado para produção em pequena escala, este método aproveita halogenetos intermediários de tungstênio, melhorando a utilização de recursos e é comumente usado para síntese de compostos organometálicos de alta pureza.

### **Método de síntese em fase gasosa (Preparação de alta pureza)**

O método de síntese em fase gasosa envolve a reação de tungstênio (W, Tungstênio) ou seus compostos com monóxido de carbono na fase de vapor sob alta pressão (50-100 atm) e temperaturas em torno de 300°C, formando diretamente o gás hexacarbonilo de tungstênio ( $W(CO)_6$ , Tungstênio Hexacarbonil), que é então condensado em cristais. Esta técnica se destaca na eliminação de impurezas vestigiais, produzindo hexacarbonilo de tungstênio de altíssima pureza ( $W(CO)_6$ , Tungstênio Hexacarbonil) ideal para materiais eletrônicos e pesquisa de catalisadores de precisão.

#### **8.1.2 Estrutura cristalina e composição molecular**

Tungstênio hexacarbonil ( $W(CO)_6$ , Tungstênio hexacarbonil) adota uma estrutura cristalina octaédrica, com um átomo de tungstênio central coordenado a seis ligantes carbonilo (CO) através de ligações de coordenação, formando uma unidade molecular simétrica  $W(CO)_6$ . Estudos cristalográficos alemães indicam que esta configuração octaédrica contribui para a sua alta volatilidade (ponto de fusão  $\sim 170^\circ\text{C}$ , ponto de sublimação  $\sim 175^\circ\text{C}$ ), tornando-a altamente eficaz em reações em fase gasosa [16]. Na sua composição molecular, o átomo de tungstênio encontra-se num estado de oxidação zero, com as fortes propriedades de  $\sigma$ -doador e  $\pi$ -aceitador de carbonilo a aumentarem a sua estabilidade química, facilitando a coordenação ou reações de substituição com outros ligantes em processos orgânicos.

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

### 8.1.3 Estabilidade Térmica e Química

O hexacarbonilo de tungstênio ( $W(CO)_6$ , hexacarbonilo de tungstênio) apresenta uma estabilidade térmica moderada em condições isentas de oxigênio e água, mantendo a sua estrutura cristalina abaixo de aproximadamente 150°C. No entanto, a temperaturas mais elevadas ou no ar, decompõe-se em monóxido de carbono e óxidos de tungstênio. Quimicamente, é relativamente instável, sensível à luz e ao oxigênio, decompondo-se sob irradiação UV ou na presença de oxigênio em tungstênio (W, tungstênio) e monóxido de carbono, necessitando de armazenamento e manuseamento em atmosfera inerte. A investigação química russa destaca a sua elevada atividade de coordenação, posicionando-a como um catalisador eficaz precursor na síntese orgânica [17].

### 8.1.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

As propriedades óticas do hexacarbonilo de tungstênio ( $W(CO)_6$ , Tungstênio Hexacarbonil) são evidentes em sua aparência cristalina branca, resultante de transições eletrônicas envolvendo os ligantes carbonilo, embora tenha utilidade limitada em aplicações óticas. Eletricamente, é um isolante no seu estado sólido, mas em formas gasosas ou de solução, pode apresentar ligeira condutividade devido à decomposição. Magneticamente, o tungstênio hexacarbonilo ( $W(CO)_6$ , Tungstênio hexacarbonil) não mostra propriedades significativas, com suas aplicações primárias dependendo de sua química de coordenação em vez de características físicas.

#### Dica

A preparação de hexacarbonilo de tungstênio ( $W(CO)_6$ , Tungsten Hexacarbonyl) requer exclusão rigorosa de oxigênio e luz, a sua atividade de coordenação oferece vantagens significativas na catálise e síntese orgânica, com a aquisição centrada na pureza e nas condições de armazenamento.

## 8.2 Dicloreto de tungstenoceno ( $Cp_2WCl_2$ , Dicloreto de tungstenoceno)

Dicloreto de tungstenoceno ( $Cp_2WCl_2$ , Dicloreto de tungstenoceno) é um composto de tungstênio organometálico chave, distinguido por sua estrutura metaloceno estável e reatividade em química organometálica. Como membro da família do metaloceno, o dicloreto de tungstenoceno ( $Cp_2WCl_2$ , dicloreto de tungstenoceno) tem valor único na preparação de catalisadores, síntese orgânica e pesquisa em ciência dos materiais. Sua aparência cristalina verde e versatilidade química o diferenciam entre os produtos químicos de tungstênio, com seu estudo avançando na aplicação de compostos organometálicos de tungstênio na química moderna.

### 8.2.1 Processos de Preparação

A preparação de dicloreto de tungstenoceno ( $Cp_2WCl_2$ , dicloreto de tungstenoceno) baseia-

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

se principalmente em técnicas de reação de coordenação, conduzidas em condições anidras e livres de oxigênio para garantir a qualidade do produto.

### Método de coordenação do haleto

#### (Reação de hexaóxido de tungstênio)

O método de coordenação de haleto sintetiza dicloreto de tungstenoceno ( $Cp_2WCl_2$ , dicloreto de tungstenoceno) reagindo hexaóxido de tungstênio ( $WCl_6$ , hexaóxido de tungstênio) com ciclopentadienido de sódio (NaCp) em um solvente como tetrahidrofurano (THF) em temperaturas que variam de  $-78^\circ C$  à temperatura ambiente, seguindo a equação:  $WCl_6 + 2NaCp \rightarrow Cp_2WCl_2 + 2NaCl + 2Cl_2$ . Este processo requer uma atmosfera inerte (por exemplo, nitrogênio ou argônio), com o produto da reação extraído e recristalizado para produzir cristais verdes. Predominante na síntese laboratorial, este método permite um controle preciso da coordenação do ligante, ideal para a produção de dicloreto de tungstenoceno ( $Cp_2WCl_2$ , dicloreto de tungstenoceno) de alta pureza.

### Método de Coordenação Redutora

#### (Substrato de trióxido de tungstênio)

O método de coordenação redutiva prepara o dicloreto de tungstenoceno ( $Cp_2WCl_2$ , dicloreto de tungstenoceno) reagindo [trióxido de tungstênio \( \$WO\_3\$ , trióxido de tungstênio\)](#) com um agente redutor (por exemplo, pó de zinco) e ciclopentadieno ( $C_5H_6$ ) na presença de um agente clorante (por exemplo,  $PCl_5$ ) a  $100-150^\circ C$ . Conduzido em condições anidras, o produto é obtido por extração e purificação com solvente. Este método se adequa à produção em pequena escala, aproveitando matérias-primas de óxidos para reduzir custos, e é comumente usado em pesquisas de química organometálica.

### 8.2.2 Estrutura cristalina e composição molecular

O dicloreto de tungstenoceno ( $Cp_2WCl_2$ , dicloreto de tungstenoceno) adota uma estrutura cristalina do tipo sanduíche, com dois ligantes ciclopentadienil (Cp) paralelos entre si em torno de um átomo de tungstênio central, e dois átomos de cloro posicionados no lado oposto, formando uma estrutura de quatro coordenadas. Pesquisas químicas japonesas indicam que esta configuração sanduíche aumenta sua estabilidade (decompondo-se a  $\sim 230^\circ C$ ), com tungstênio no estado de oxidação +4, e as nuvens de  $\pi$ -elétrons dos ligantes ciclopentadienilos formando fortes ligações de coordenação com tungstênio [20]. A composição molecular, caracterizada por ligantes Cp, confere seu caráter organometálico, permitindo alta reatividade em processos catalíticos.

### 8.2.3 Estabilidade térmica e química

O dicloreto de tungstenoceno ( $Cp_2WCl_2$ , dicloreto de tungstenoceno) exibe boa estabilidade térmica em condições livres de oxigênio, mantendo sua estrutura abaixo de aproximadamente  $200^\circ C$ . No entanto, na presença de oxigênio ou umidade, decompõe-se em óxidos de tungstênio e subprodutos orgânicos, necessitando de armazenamento

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

numa atmosfera inerte. Quimicamente, apresenta estabilidade moderada, sendo sensível à água e oxidantes, com sua estrutura de coordenação contribuindo para significativa reatividade em reações orgânicas, como observado em estudos de pesquisa [21].

#### 8.2.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

As propriedades óticas do dicloreto de tungstenoceno ( $Cp_2WCl_2$ , Dicloreto de tungstenoceno) são refletidas em sua aparência cristalina verde, decorrente das transições d-elétrons do átomo de tungstênio, embora não tenha utilidade ótica significativa. Eletricamente, é um isolante no seu estado sólido sem condutividade notável. Magneticamente, o dicloreto de tungstenoceno ( $Cp_2WCl_2$ , Dicloreto de tungstenoceno) não mostra propriedades significativas devido ao emparelhamento de d-elétrons de tungstênio, com suas aplicações impulsionadas principalmente pela reatividade química em vez de características físicas.

#### Dica

A preparação de dicloreto de tungstenoceno ( $Cp_2WCl_2$ , Dicloreto de tungstenoceno) requer condições anidras e livres de oxigênio, sua estrutura sanduíche estável oferece potencial em catálise organometálica, com aquisição enfatizando pureza e estabilidade.

### 8.3 Outros compostos organometálicos de tungstênio

Além do hexacarbonilo de tungstênio ( $W(CO)_6$ , hexacarbonilo de tungstênio) e dicloreto de tungstenoceno ( $Cp_2WCl_2$ , dicloreto de tungstenoceno), a família de compostos organometálicos de tungstênio inclui tungstenoceno tetracarbonil ( $CpW(CO)_4$ , Tungstenoceno Tetracarbonil) e compostos de tungstênio alquílico (por exemplo,  $W(CH_3)_6$ , Hexametiltungstênio), que possuem valor específico em catálise e pesquisa de síntese orgânica.

#### 8.3.1 Processos de Preparação

A preparação desses outros compostos organometálicos de tungstênio normalmente envolve técnicas de síntese de laboratório com controle preciso da condição de reação.

#### Método de coordenação carbonilo para tungstenoceno tetracarbonilo ( $CpW(CO)_4$ , Tungstenocene Tetracarbonyl)

Tungstenocene tetracarbonyl ( $CpW(CO)_4$ , Tungstenocene Tetracarbonyl) é sintetizado reagindo dicloreto de tungstenoceno ( $Cp_2WCl_2$ , Tungstenocene Dichloride) com monóxido de carbono sob alta pressão (50-100 atm) e baixas temperaturas (0-50°C), evitando o excesso de carbonilação para garantir o produto desejado.

#### Método de alquilação para hexametiltungstênio ( $W(CH_3)_6$ , Hexametiltungstênio)

Hexametiltungstênio ( $W(CH_3)_6$ , Hexametiltungstênio) é preparado reagindo hexacloreto

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



de tungstênio ( $WCl_6$ , Hexacloroeto de tungstênio) com metillítio ( $CH_3Li$ ) a  $-78^\circ C$  em condições extremamente secas, exigindo manuseio meticuloso devido à sua instabilidade.

### 8.3.2 Estrutura cristalina e composição molecular

O tungstenoceno tetracarbonilo ( $CpW(CO)_4$ , Tungstenoceno tetracarbonilo) apresenta uma estrutura de coordenação monociclopentadienil, com tungstênio ligado a um ligante Cp e quatro ligantes CO, formando um arranjo de cinco coordenadas. Hexametiltungstênio ( $W(CH_3)_6$ , Hexametiltungstênio) adota uma estrutura octaédrica, com seis ligantes de metilo ao redor do átomo de tungstênio, embora sua estabilidade seja notavelmente baixa.

### 8.3.3 Estabilidade térmica e química

O tungstenoceno tetracarbonilo ( $CpW(CO)_4$ , tungstenoceno tetracarbonilo) é estável abaixo de  $150^\circ C$ , mas decompõe-se facilmente em ambientes ricos em oxigênio. O hexametiltungstênio ( $W(CH_3)_6$ , Hexametiltungstênio) é extremamente instável, decompondo-se à temperatura ambiente e necessitando de armazenamento a baixas temperaturas.

### 8.3.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

Tungstenoceno tetracarbonil ( $CpW(CO)_4$ , Tungstenoceno Tetracarbonyl) e hexametiltungstênio ( $W(CH_3)_6$ , Hexamethyltungsten) não exibem atividade ótica significativa, são isolantes eletricamente e carecem de propriedades magnéticas notáveis, com seu valor principalmente na atividade catalítica em vez de características físicas.

#### Dica

Outros compostos organometálicos de tungstênio oferecem potencial na investigação em catálise; a seleção deve centrar-se na sua estabilidade e reatividade.

#### Fontes de Informação

[16] *Fundamentos da Química do Tungstênio* (Alemão) - H.C. Starck GmbH, Munique, 1998[17] *Propriedades dos compostos de tungstênio* (russo) - Departamento de Química, Universidade Estatal de Moscovo, Moscovo, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] China Tungsten Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

#### Referências

[1] *The History and Applications of Tungsten* (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990[2] *A Brief History of Tungsten Chemistry* (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)  
[4] *Studies on the Naming of Tungsten* (Multilingual) - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), Londres, 1990[5] *Aplicações do tungstênio na Revolução Industrial Britânica* (Inglês) - Royal Society

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

of Chemistry, Londres, 1985[6] *Early Industrialization of Tungsten Chemicals* (Francês) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Global Tungsten Resource Distribution Report* (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Estudos sobre as propriedades físicas do tungstênio* (Inglês) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810[9] *Tungstênio na Tabela Periódica* (russo) - Sociedade Química Russa, Moscovo, 1870[10] *Aplicações de tungstênio na metalurgia russa* (russo) - Departamento de Química, Universidade de Moscovo, Moscovo, 1890[11] *Aplicações de tungstênio na indústria electrónica japonesa* (japonês) - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tóquio, 1925  
[12] *Registros mineralógicos na região árabe* (árabe) - Departamento de Geologia, Universidade do Cairo, Cairo, 1900[13] *2023 Análise de mercado global de produtos de tungstênio* (inglês) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023[14] *Frontier Applications of Tungsten in Research* (Inglês) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)  
[16] *Fundamentos da Química do Tungstênio* (Alemão) - H.C. Starck GmbH, Munique, 1998[17] *Propriedades dos compostos de tungstênio* (russo) - Departamento de Química, Universidade Estatal de Moscovo, Moscovo, 2000[18] *Química de alta temperatura de óxidos de tungstênio* (russo) - Academia Russa de Ciências, Moscovo, 1995[19] *Estabilidade Química de Tungstados* (Inglês) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Electronic Materials Research on Tungsten Oxides* (Japonês) - Tokyo University Press, Tóquio, 2010[21] *Organometallic Tungsten Compounds* (Inglês) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**



## Quais são os produtos químicos de tungstênio?

### Capítulo 9:

## Preparação e Aplicações de Catalisadores Contendo Tungstênio e Reagentes

### 9.1 Ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico)

O [ácido fosfotúngstico \( \$H\_3PW\_{12}O\_{40}\$ , ácido fosfotúngstico\)](#) é um dos catalisadores e reagentes contendo tungstênio mais representativos e amplamente aplicados, conhecido por sua forte acidez, alta atividade catalítica e estabilidade em várias reações. Como um ácido heteropoli típico, o ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico) se destaca na síntese orgânica, processos petroquímicos e química analítica. Sua aparência cristalina branca ou amarela pálida desmente seu papel fundamental na catálise, com uma trajetória de desenvolvimento de estudos de laboratório para aplicações industriais que ressalta o profundo impacto da química do tungstênio no domínio catalítico.

#### 9.1.1 Processos de Preparação

A preparação de ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico) engloba diversos métodos, incluindo precipitação ácida e técnicas de purificação de extração, adaptadas para atender a diferentes requisitos de pureza e aplicação.

#### Método de precipitação ácida

##### (Reação de tungstato)

O método de precipitação ácida envolve a reação de [tungstato de sódio \( \$Na\_2WO\_4\$ , tungstato de sódio\)](#) com ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) sob condições ácidas (normalmente ajustado para pH 1-2 com ácido clorídrico ou sulfúrico) para formar ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico). A equação de reação é:  $12Na_2WO_4 + H_3PO_4 + 21HCl \rightarrow H_3PW_{12}O_{40} + 24NaCl + 12H_2O$ . Conduzido a 50-80°C, o produto precipita-se sob a forma de cristais brancos ou amarelos pálidos, que são filtrados, lavados e secos (a ~100-150°C) para obter o produto final. A simplicidade deste método e a utilização de matérias-primas acessíveis tornam-no predominante tanto em ambientes industriais como laboratoriais.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Método de purificação de extração

### (Extração da solução)

O método de purificação da extração prepara o ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico) acidificando uma solução contendo tungstênio (por exemplo, solução de tungstato) com ácido fosfórico, seguido de extração com um solvente orgânico (por exemplo, éter dietílico ou butanona) e subsequente evaporação e cristalização do solvente para obter um produto puro. Esta técnica remove eficazmente as impurezas, produzindo ácido fosfotúngstico de alta pureza ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico), comumente usado em reagentes analíticos e pesquisa de catalisadores de precisão em ambientes de laboratório.

## Método de Troca Iônica

### (Preparação de alta pureza)

O método de permuta iônica mistura uma solução de tungstato com ácido fosfórico, passa-a através de uma resina de permuta iônica para isolar íons fosfotungstato e, em seguida, acidifica a solução para precipitar ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico). Este método se destaca no controle de impurezas vestigiais, tornando-o adequado para a preparação de produtos de altíssima pureza, frequentemente empregados em catálise avançada e estudos científicos.

### 9.1.2 Estrutura cristalina e composição molecular

O ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico) adota uma estrutura heteropoliácida do tipo Keggin, com um átomo central de fósforo cercado por 12 octaedros de tungstênio-oxigênio, formando uma molécula altamente simétrica semelhante a uma gaiola. Estudos cristalográficos alemães revelam que esta estrutura confere forte acidez ( $pK_a < 0$ ) e alta atividade catalítica, com o cristal tipicamente contendo várias moléculas de água (comumente  $H_3PW_{12}O_{40} \cdot nH_2O$ ,  $n \approx 14-30$ ) [16]. Em sua composição molecular, o tungstênio está no estado de oxidação +6, o fósforo no estado +5, ligado através de pontes de oxigênio para criar uma estrutura tridimensional estável que mantém a integridade sob várias condições de reação.

### 9.1.3 Estabilidade térmica e química

O ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico) exibe boa estabilidade térmica em condições secas, mantendo sua estrutura abaixo de aproximadamente  $300^\circ C$ , acima do qual perde água cristalina e gradualmente se decompõe em trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , trióxido de tungstênio) e óxidos de fósforo. Quimicamente, é excepcionalmente estável em ambientes ácidos, mas decompõe-se em tungstato e fosfatos em condições fortemente alcalinas. A pesquisa russa de catálise destaca sua forte acidez e estabilidade, tornando-a altamente eficaz em reações catalisadas por ácido [17].

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



#### 9.1.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

As propriedades óticas do ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico) não são notáveis, com seus cristais brancos ou amarelos pálidos sem atividade ótica significativa, servindo principalmente para fins químicos em vez de óticos. Eletricamente, é um isolante no seu estado sólido, mas exibe condutividade iônica em solução devido à sua forte acidez. Magneticamente, o ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico) não apresenta propriedades notáveis, com o seu valor enraizado no seu desempenho catalítico e acidez.

#### Dica

Os métodos flexíveis de preparação e a forte acidez do ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico) oferecem vantagens significativas na catálise, devendo a aquisição considerar a sua pureza e estado de hidratação.

#### 9.2 Ácido silicotúngstico ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , ácido silicotúngstico)

O ácido silicotúngstico ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , ácido silicotúngstico) é outro ácido heteropoli contendo tungstênio crucial, distinguindo-se por sua alta acidez, atividade redox e versatilidade na síntese orgânica e reações catalíticas. Como um ácido heteropoli do tipo Keggin, o ácido silicotúngstico ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , Ácido Silicotungstic) encontra amplas aplicações em catálise ácida, reações de oxidação e pesquisa de células de combustível. Sua aparência cristalina incolor ou amarelo claro esconde suas potentes capacidades catalíticas, com seu estudo e aplicação expandindo as fronteiras da química do tungstênio em química verde e campos de energia.

##### 9.2.1 Processos de Preparação

A preparação do ácido silicotúngstico ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , Ácido Silicotúngstico) envolve principalmente técnicas de reação ácida e extração, conduzidas sob condições ácidas.

##### Método de reação ácida

##### (Silicato de Sódio e Reação de Tungstato)

O método de reação ácida sintetiza o ácido silicotúngstico ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , Ácido Silicotúngstico) reagindo silicato de sódio ( $Na_2SiO_3$ ) com tungstato de sódio ( $Na_2WO_4$ , Tungstato de Sódio) em uma solução ácida (ajustada ao pH 1-2 com ácido clorídrico) a 60-90°C, seguindo a equação:  $12Na_2WO_4 + Na_2SiO_3 + 22HCl \rightarrow H_4SiW_{12}O_{40} + 26NaCl + 11H_2O$ . O produto precipita sob a forma de cristais, que são filtrados e secos (a ~100-120°C) para obter o composto final. A acessibilidade deste método e o processo de maturação tornam-no amplamente utilizado na produção industrial e laboratorial.

##### Método de extração (purificação da solução)

O método de extração envolve a acidificação de uma solução mista contendo tungstênio e silício, a extração do ácido silicotúngstico ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , ácido silicotúngstico) com um

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

solvente orgânico (por exemplo, éter dietílico) e a evaporação do solvente seguida de cristalização para produzir um produto puro. Esta técnica remove eficazmente as impurezas, produzindo ácido silicotúngstico de alta pureza ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , Ácido Silicotúngstico), frequentemente empregado em pesquisas com catalisadores.

### 9.2.2 Estrutura cristalina e composição molecular

O ácido silicotúngstico ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , ácido silicotúngstico) apresenta uma estrutura de ácido heteropoli do tipo Keggin, com um átomo de silício central circundado por 12 octaedros de tungstênio-oxigênio, formando uma molécula simétrica semelhante a uma gaiola. Estudos indicam que esta estrutura fornece acidez extremamente forte ( $pK_a < 0$ ) e capacidades redox, com o cristal tipicamente contendo várias moléculas de água (comumente  $H_4SiW_{12}O_{40} \cdot nH_2O$ ,  $n \approx 14-24$ ) [19]. Em sua composição molecular, o tungstênio está no estado de oxidação +6, o silício no estado +4, conectado através de pontes de oxigênio para formar uma estrutura tridimensional robusta.

### 9.2.3 Estabilidade térmica e química

O ácido silicotúngstico ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , ácido silicotúngstico) mantém uma boa estabilidade térmica em condições secas, preservando sua estrutura abaixo de aproximadamente  $350^\circ C$ , além do que perde água cristalina e se decompõe em óxidos. Quimicamente, é estável em ambientes ácidos, mas decompõe-se em silicatos e tungstatos sob fortes condições alcalinas. A sua elevada acidez e estabilidade tornam-no altamente eficaz em várias reações catalíticas.

### 9.2.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

As propriedades óticas do ácido silicotúngstico ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , Ácido Silicotungstic) não são notáveis, com seus cristais incolores ou amarelo claro sem atividade ótica significativa. Eletricamente, é um isolante na forma sólida, mas exibe condutividade iônica em solução devido à sua forte acidez. Magneticamente, o ácido silicotúngstico ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , Ácido Silicotúngstico) não apresenta propriedades notáveis, com suas aplicações impulsionadas principalmente por seus atributos catalíticos.

#### Dica

A preparação simples e a alta acidez e atividade redox do ácido silicotúngstico ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , Ácido Silicotúngstico) oferecem potencial na catálise, devendo a aquisição se concentrar na pureza e no estado de hidratação.

## 9.3 Outros catalisadores e reagentes contendo tungstênio

Além do ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ , ácido fosfotúngstico) e ácido silicotúngstico ( $H_4SiW_{12}O_{40}$ , ácido silicotúngstico), a família de catalisadores e reagentes contendo

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

tungstênio inclui compostos como tungstato de zinco ( $ZnWO_4$ , tungstato de zinco) e tungstato de amônio ( $(NH_4)_2WO_4$ , tungstato de amônio), que possuem valor específico em catálise, fotocatalise e aplicações analíticas.

### 9.3.1 Processos de Preparação

A preparação desses outros catalisadores e reagentes contendo tungstênio normalmente envolve reações de solução ou técnicas de síntese em fase sólida.

#### Método de reação em fase sólida para tungstato de zinco

( $ZnWO_4$ , tungstato de zinco)

O tungstato de zinco ( $ZnWO_4$ , tungstato de zinco) é sintetizado reagindo tungstato de sódio ( $Na_2WO_4$ , tungstato de sódio) com sulfato de zinco ( $ZnSO_4$ ) a altas temperaturas (800-1000°C) em uma reação de fase sólida, seguida de resfriamento e moagem para obter o produto.

#### Método de neutralização para tungstato de amônio

( $(NH_4)_2WO_4$ , Tungstato de Amônio)

O tungstato de amônio ( $(NH_4)_2WO_4$ , Tungstato de Amônio) é preparado neutralizando o ácido tungstico ( $H_2WO_4$ , Ácido Tungstico) com amoníaco à temperatura ambiente, seguido de recristalização para purificar o composto.

### 9.3.2 Estrutura cristalina e composição molecular

O tungstato de zinco ( $ZnWO_4$ , Zinc Tungstat) adota uma estrutura cristalina monoclinica, com átomos de tungstênio e zinco ligados através de pontes de oxigênio para formar uma rede. O tungstato de amônio ( $(NH_4)_2WO_4$ , Tungstato de Amônio) apresenta uma estrutura ortorrômbica, com tungstênio e oxigênio formando uma unidade tetraédrica estabilizada por iões de amônio.

### 9.3.3 Estabilidade térmica e química

O tungstato de zinco ( $ZnWO_4$ , tungstato de zinco) permanece estável abaixo de 1000°C e exibe alta estabilidade química. O tungstato de amônio ( $(NH_4)_2WO_4$ , tungstato de amônio) decompõe-se a cerca de 200°C em trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , trióxido de tungstênio), com estabilidade relativamente inferior.

### 9.3.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

O tungstato de zinco ( $ZnWO_4$ , tungstato de zinco) exibe fluorescência (bandgap ~3.8 eV), é um isolante eletricamente e não possui propriedades magnéticas. O tungstato de amônio ( $(NH_4)_2WO_4$ , Tungstato de Amônio) não apresenta atividade ótica, é um isolante e não tem características magnéticas significativas.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Dica

Outros catalisadores contendo tungstênio, como tungstato de zinco ( $ZnWO_4$ , tungstato de zinco) oferecem potencial em fotocatalise, a seleção deve se concentrar em suas propriedades específicas.

## Fontes de Informação

[16] *Fundamentos da Química do Tungstênio* (Alemão) - H.C. Starck GmbH, Munique, 1998[17] *Propriedades dos compostos de tungstênio* (russo) - Departamento de Química, Universidade Estatal de Moscovo, Moscovo, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat

## Public Account Referências

[1] *The History and Applications of Tungsten* (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990[2] *A Brief History of Tungsten Chemistry* (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)

[4] *Studies on the Naming of Tungsten* (Multilingual) - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), Londres, 1990[5] *Aplicações do tungstênio na Revolução Industrial Britânica* (Inglês) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Early Industrialization of Tungsten Chemicals* (Francês) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Global Tungsten Resource Distribution Report* (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Estudos sobre as propriedades físicas do tungstênio* (Inglês) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810[9] *Tungstênio na Tabela Periódica* (russo) - Sociedade Química Russa, Moscovo, 1870[10] *Aplicações de tungstênio na metalurgia russa* (russo) - Departamento de Química, Universidade de Moscovo, Moscovo, 1890[11] *Aplicações de tungstênio na indústria eletrônica japonesa* (japonês) - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tóquio, 1925[12] *Registros mineralógicos na região árabe* (árabe) - Departamento de Geologia, Universidade do Cairo, Cairo, 1900[13] *2023 Análise de mercado global de produtos de tungstênio* (inglês) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023[14] *Frontier Applications of Tungsten in Research* (Inglês) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)  
[16] *Fundamentos da Química do Tungstênio* (Alemão) - H.C. Starck GmbH, Munique, 1998[17] *Propriedades dos compostos de tungstênio* (russo) - Departamento de Química, Universidade Estatal de Moscovo, Moscovo, 2000[18] *Química de alta temperatura de óxidos de tungstênio* (russo) - Academia Russa de Ciências, Moscovo, 1995[19] *Estabilidade Química de Tungstados* (Inglês) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Electronic Materials Research on Tungsten Oxides* (Japonês) - Tokyo University Press, Tóquio, 2010[21] *Organometallic Tungsten Compounds* (Inglês) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005

## COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT





### Quais são os produtos químicos de tungstênio?

## Capítulo 10: Preparação e aplicações de produtos químicos farmacêuticos contendo tungstênio

### 10.1 Nanopartículas de tungstato de sódio

( $\text{Na}_2\text{WO}_4$  nanopartículas, nanopartículas de tungstato de sódio)

#### Nanopartículas de tungstato de sódio

( $\text{Na}_2\text{WO}_4$  Nanoparticles, Sodium Tungstat Nanoparticles) representam um dos mais promissores produtos químicos de tungstênio (W, Tungstênio) no campo farmacêutico, ganhando atenção por sua bioatividade, propriedades antioxidantes e características em nanoescala. Como um nanomaterial contendo tungstênio, as nanopartículas de tungstato de sódio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$  Nanoparticles, Sodium Tungstat Nanoparticles) exibem um potencial significativo na pesquisa antidiabética, anticancerígena e antibacteriana. A sua forma de nanopartículas brancas ou transparentes esconde uma promessa biomédica substancial, com um arco de desenvolvimento desde estudos fundamentais até à exploração clínica, sublinhando os avanços inovadores da química do tungstênio na medicina.

#### 10.1.1 Processos de Preparação

A preparação de nanopartículas de tungstato de sódio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$  Nanoparticles, Sodium Tungstat Nanoparticles) engloba uma variedade de métodos, incluindo precipitação de soluções e técnicas de microemulsão, projetadas para atender a diversos requisitos de tamanho de partícula e aplicação biomédica.

#### Método de precipitação da solução (Precipitação de tungstato de sódio)

O método de precipitação da solução envolve misturar uma [solução de tungstato de sódio \( \$\text{Na}\_2\text{WO}\_4\$ , tungstato de sódio\)](#) com um surfactante (por exemplo, polivinilpirrolidona, PVP) e adicionar um agente ácido ou básico (por exemplo, HCl ou

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

NaOH) à temperatura ambiente ou temperaturas ligeiramente elevadas (25-50°C) para ajustar o pH para 6-8, formando nanopartículas de tungstato de sódio (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> Nanoparticles, nanopartículas de tungstato de sódio). A reação requer adição lenta para controlar o crescimento de partículas, com o produto separado por centrifugação e seco (a ~60-80°C). A simplicidade e o baixo custo deste método fazem com que seja amplamente adotado em laboratórios para preparações iniciais de pesquisa biomédica.

### **Método de microemulsão**

#### **(Controle do tamanho das partículas)**

O método de microemulsão prepara nanopartículas de tungstato de sódio (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> Nanoparticles, Sodium Tungstat Nanoparticles) dentro de um sistema de microemulsão de água em óleo (por exemplo, água/n-hexano/surfactante), reagindo tungstato de sódio (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, tungstato de sódio) com um agente precipitante (por exemplo, amônia) sob condições suaves (20-40°C). As gotículas em nanoescala na microemulsão restringem o crescimento de partículas, e o produto é lavado e seco a baixas temperaturas (~50°C) para purificação. Esta técnica produz nanopartículas uniformes (<50 nm), adequadas para aplicações farmacêuticas de alta precisão.

### **Método Solvotérmico**

#### **(Preparação de alta pureza)**

O método solvotérmico sintetiza nanopartículas de tungstato de sódio (nanopartículas de Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, nanopartículas de tungstato de sódio) reagindo uma solução de tungstato de sódio (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, tungstato de sódio) com um solvente orgânico (por exemplo, etilenoglicol) em uma autoclave de alta pressão a 150-200°C. A duração da reação (4-12 horas) e a pressão são controladas, com o produto purificado através de centrifugação e secagem. Este método produz nanopartículas de alta pureza e tamanho uniforme, ideais para aplicações transportadoras de fármacos em investigação biomédica.

### **10.1.2 Estrutura cristalina e composição molecular**

As nanopartículas de tungstato de sódio (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> Nanoparticles, Sodium Tungstat Nanoparticles) normalmente retêm a estrutura cristalina ortorrômbica do tungstato de sódio, com átomos de tungstênio coordenados a quatro átomos de oxigênio formando uma unidade tetraédrica (WO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), estabilizada por dois átomos de sódio através de ligações iônicas. O seu tamanho à escala nanométrica (tipicamente 10-100 nm) amplifica os efeitos de superfície, aumentando a área de superfície específica e os locais ativos. Estudos indicam que esta estrutura permanece estável à nanoescala, com o tungstênio no estado de oxidação +6, facilitando as interações com biomoléculas [16].

### **10.1.3 Estabilidade térmica e química**

As nanopartículas de tungstato de sódio (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> Nanoparticles, Sodium Tungstat Nanoparticles) exibem boa estabilidade térmica abaixo de aproximadamente 300°C, além

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

do que perdem água cristalina e se transformam em forma anidra ou se decompõem em trióxido de tungstênio ( $\text{WO}_3$ , Trióxido de Tungstênio). Quimicamente, eles são estáveis dentro da faixa de pH fisiológico (6-8), mas se decompõem em ácido túngstico ou tungstato sob condições fortemente ácidas ou alcalinas. A investigação russa sobre nanomateriais constata que a sua estabilidade química contribui para uma baixa toxicidade em ambientes biológicos [17].

#### 10.1.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

As propriedades óticas das nanopartículas de tungstato de sódio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$  Nanoparticles, Sodium Tungstat Nanoparticles) não são notáveis, com sua aparência branca ou transparente sem atividade ótica específica, servindo principalmente para fins farmacêuticos em vez de óticos. Eletricamente, são isolantes na forma sólida, mas exibem alguma condutividade iônica em solução devido à dissociação iônica. Magneticamente, as nanopartículas de tungstato de sódio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$  Nanoparticles, Sodium Tungstat Nanoparticles) não apresentam propriedades significativas, com suas aplicações impulsionadas pela bioatividade e não por características físicas.

#### Dica

Os diversos métodos de preparação e bioatividade de nanopartículas de tungstato de sódio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$  Nanoparticles, Sodium Tungstat Nanoparticles) oferecem potencial em pesquisas antidiabéticas, a aquisição deve priorizar o tamanho e a pureza das partículas para garantir a biocompatibilidade.

### 10.2 Nanopartículas de polioxotungstato (nanopartículas de polioxotungstate)

As nanopartículas de polioxotungstato (nanopartículas de polioxotungstato) são uma classe emergente de produtos químicos farmacêuticos contendo tungstênio, reconhecidos por sua estrutura polioxo, propriedades antioxidantes e bioatividade. Como polioxometalatos em nanoescala, as nanopartículas de polioxotungstato (nanopartículas de polioxotungstato) demonstram uma promessa significativa na pesquisa anticancerígena, antiviral e de entrega de medicamentos. Sua aparência variada (tipicamente nanopartículas brancas ou de cor clara) oculta propriedades químicas complexas, com estudos em andamento avançando o papel da química do tungstênio em aplicações biomédicas.

#### 10.2.1 Processos de Preparação

A preparação de nanopartículas de polioxotungstato (Polioxotungstato Nanoparticles) envolve principalmente polimerização de soluções e nanotecnologia, exigindo controle preciso da condição de reação.

#### Método de Polimerização de Solução (Polimerização de Tungstato)

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



O método de polimerização de solução reage tungstato de sódio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , Tungstato de Sódio) ou [paratungstato de amônio \(APT,  \$\(\text{NH}\_4\)\_2\text{WO}\_4\$ , Paratungstato de Amônio\)](#) sob condições ácidas (pH 2-4) a 60-90°C para formar nanopartículas de polioxotungstato (Nanopartículas de Polioxotungstato). O pH é gradualmente ajustado para promover a polimerização iônica de tungstato em estruturas de polioxo, com o produto separado por centrifugação e seco (a ~80°C). A simplicidade deste método torna-o amplamente utilizado em investigação laboratorial.

### **Método de nanoemulsão (controle de tamanho de partícula)**

O método de nanoemulsão sintetiza nanopartículas de polioxotungstato (nanopartículas de polioxotungstato) em um sistema de emulsão de água em óleo (por exemplo, água/ciclohexano/surfactante), reagindo tungstato com um agente acidificante a 40-60°C. As gotículas de emulsão em nanoescala restringem o crescimento de partículas, e o produto é lavado e seco a baixas temperaturas (~50°C) para purificação. Esta técnica produz nanopartículas de tamanho uniforme (10-50 nm), adequadas para investigação farmacêutica.

### **10.2.2 Estrutura cristalina e composição molecular**

As nanopartículas de polioxotungstato (nanopartículas de polioxotungstato) normalmente exibem estruturas de polioxo do tipo Keggin ou Dawson, com múltiplos octaedros de tungstênio-oxigênio ligados por pontes de oxigênio para formar uma molécula complexa semelhante a uma gaiola. O seu tamanho à escala nanométrica (tipicamente 20-100 nm) aumenta os sítios ativos de superfície, com o tungstênio no estado de oxidação +6, aumentando as interações com biomoléculas [19].

### **10.2.3 Estabilidade térmica e química**

As nanopartículas de polioxotungstato (nanopartículas de polioxotungstato) são estáveis abaixo de aproximadamente 400°C, decompondo-se em trióxido de tungstênio ( $\text{WO}_3$ , trióxido de tungstênio) a temperaturas mais elevadas. Quimicamente, permanecem estáveis em ambientes ácidos e neutros, mas decompõem-se em monotungstato sob fortes condições alcalinas, apoiando as suas aplicações biomédicas.

### **10.2.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas**

As nanopartículas de polioxotungstato (nanopartículas de polioxotungstato) carecem de atividade ótica significativa, com sua aparência não mostrando características óticas distintas. Eletricamente, são isolantes na forma sólida, mas exibem condutividade iônica em solução. Magneticamente, eles não mostram propriedades notáveis, com seu valor principalmente na bioatividade.

### **Dica**

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**



A estrutura polioxo das nanopartículas de polioxotungstato (Polyoxotungstate Nanoparticles) tem potencial na investigação anticancerígena; A seleção deve considerar o tamanho das partículas e a estabilidade química.

### 10.3 Outros produtos químicos farmacêuticos contendo tungstênio

Além das nanopartículas de tungstato de sódio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$  Nanoparticles, Sodium Tungstat Nanoparticles) e polioxotungstato nanoparticles (Polyoxotungstate Nanoparticles), outros produtos químicos farmacêuticos contendo tungstênio incluem nanopartículas de tungstato de cálcio ( $\text{CaWO}_4$  Nanoparticles, Calcium Tungstat Nanoparticles) e nanoparticles de trióxido de tungstênio ( $\text{WO}_3$  Nanoparticles, Tungsten Trioxide Nanoparticles), que oferecem valor específico em bioimagem e fármacos entrega.

#### 10.3.1 Processos de Preparação

A preparação destes outros produtos químicos farmacêuticos contendo tungstênio normalmente emprega técnicas de nanotecnologia.

#### Método de precipitação para nanopartículas de tungstato de cálcio (Nanopartículas de $\text{CaWO}_4$ , Nanopartículas de tungstato de cálcio)

As nanopartículas de tungstato de cálcio (nanopartículas de  $\text{CaWO}_4$ , nanopartículas de tungstato de cálcio) são sintetizadas por reação de [tungstato de cálcio \( \$\text{CaWO}\_4\$ , tungstato de cálcio\)](#) com um tensoativo em solução a 40-60°C, seguido de centrifugação para purificação.

Método Solvotérmico para Nanopartículas de Trióxido de Tungstênio ( $\text{WO}_3$  Nanoparticles, Tungsten Trioxide Nanoparticles)

#### Nanopartículas de trióxido de tungstênio

( $\text{WO}_3$  Nanoparticles, Tungsten Trioxide Nanoparticles) são preparados por reação de tungstato em etilenoglicol a 180-220°C, com o produto purificado por secagem.

#### 10.3.2 Estrutura cristalina e composição molecular

##### Nanopartículas de tungstato de cálcio

( $\text{CaWO}_4$  Nanoparticles, Calcium Tungstat Nanoparticles) adotam uma estrutura cristalina tetragonal, com tungstênio e oxigênio formando uma unidade tetraédrica. As nanopartículas de trióxido de tungstênio ( $\text{WO}_3$  Nanoparticles, Tungsten Trioxide Nanoparticles) apresentam uma estrutura monoclinica, com tungstênio e oxigênio formando uma rede octaédrica.

#### 10.3.3 Estabilidade térmica e química

##### Nanopartículas de tungstato de cálcio

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(Nanoparticles  $\text{CaWO}_4$ , Calcium Tungstat Nanoparticles) permanecem estáveis abaixo de  $1000^\circ\text{C}$  e exibem alta estabilidade química. As nanopartículas de trióxido de tungstênio ( $\text{WO}_3$  Nanoparticles, Tungsten Trioxide Nanoparticles) são estáveis até aproximadamente  $500^\circ\text{C}$  e resistem à corrosão de forma eficaz.

### 10.3 Outros produtos químicos farmacêuticos contendo tungstênio

Além das nanopartículas de tungstato de sódio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$  Nanoparticles, Sodium Tungstat Nanoparticles) e polioxotungstato nanoparticles (Polyoxotungstate Nanoparticles), outros produtos químicos farmacêuticos contendo tungstênio incluem nanopartículas de tungstato de cálcio ( $\text{CaWO}_4$  Nanoparticles, Calcium Tungstat Nanoparticles) e nanoparticles de trióxido de tungstênio ( $\text{WO}_3$  Nanoparticles, Tungsten Trioxide Nanoparticles), que oferecem valor específico em bioimagem e fármacos entrega.

#### 10.3.1 Processos de Preparação

A preparação destes outros produtos químicos farmacêuticos contendo tungstênio normalmente emprega técnicas de nanotecnologia.

#### Método de precipitação para nanopartículas de tungstato de cálcio (Nanopartículas de $\text{CaWO}_4$ , Nanopartículas de tungstato de cálcio)

As nanopartículas de tungstato de cálcio (nanopartículas de  $\text{CaWO}_4$ , nanopartículas de tungstato de cálcio) são sintetizadas por reação de [tungstato de cálcio \( \$\text{CaWO}\_4\$ , tungstato de cálcio\)](#) com um tensoativo em solução a  $40-60^\circ\text{C}$ , seguido de centrifugação para purificação.

Método Solvotérmico para Nanopartículas de Trióxido de Tungstênio ( $\text{WO}_3$  Nanoparticles, Tungsten Trioxide Nanoparticles)

#### Nanopartículas de trióxido de tungstênio

( $\text{WO}_3$  Nanoparticles, Tungsten Trioxide Nanoparticles) são preparados por reação de tungstato em etilenoglicol a  $180-220^\circ\text{C}$ , com o produto purificado por secagem.

#### 10.3.2 Estrutura cristalina e composição molecular

##### Nanopartículas de tungstato de cálcio

( $\text{CaWO}_4$  Nanoparticles, Calcium Tungstat Nanoparticles) adotam uma estrutura cristalina tetragonal, com tungstênio e oxigênio formando uma unidade tetraédrica. As nanopartículas de trióxido de tungstênio ( $\text{WO}_3$  Nanoparticles, Tungsten Trioxide Nanoparticles) apresentam uma estrutura monoclinica, com tungstênio e oxigênio formando uma rede octaédrica.

#### 10.3.3 Estabilidade térmica e química

##### Nanopartículas de tungstato de cálcio

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(Nanoparticles  $\text{CaWO}_4$ , Calcium Tungstat Nanoparticles) permanecem estáveis abaixo de  $1000^\circ\text{C}$  e exibem alta estabilidade química. As nanopartículas de trióxido de tungstênio ( $\text{WO}_3$  Nanoparticles, Tungsten Trioxide Nanoparticles) são estáveis até aproximadamente  $500^\circ\text{C}$  e resistem à corrosão de forma eficaz.

#### 10.3.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

##### Nanopartículas de tungstato de cálcio

(Nanopartículas  $\text{CaWO}_4$ , Nanopartículas de tungstato de cálcio) exibem fluorescência, são isolantes eletricamente e não possuem propriedades magnéticas. As nanopartículas de trióxido de tungstênio ( $\text{WO}_3$  Nanoparticles, Tungsten Trioxide Nanoparticles) possuem atividade fotocatalítica, funcionam como semicondutores eletricamente e não apresentam características magnéticas.

##### Dica

Outros produtos químicos farmacêuticos contendo tungstênio oferecem potencial em bioimagem; A seleção deve centrar-se nas suas propriedades óticas e biocompatibilidade.

##### Fontes de Informação

[16] *Fundamentos da Química do Tungstênio* (Alemão) - H.C. Starck GmbH, Munique, 1998[17] *Propriedades dos compostos de tungstênio* (russo) - Departamento de Química, Universidade Estatal de Moscovo, Moscovo, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] China Tungsten Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

##### Referências

- [1] *The History and Applications of Tungsten* (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990[2] *A Brief History of Tungsten Chemistry* (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)
- [4] *Studies on the Naming of Tungsten* (Multilingual) - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), Londres, 1990[5] *Aplicações do tungstênio na Revolução Industrial Britânica* (Inglês) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Early Industrialization of Tungsten Chemicals* (Francês) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Global Tungsten Resource Distribution Report* (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Estudos sobre as propriedades físicas do tungstênio* (Inglês) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810[9] *Tungstênio na Tabela Periódica* (russo) - Sociedade Química Russa, Moscovo, 1870[10] *Aplicações de tungstênio na metalurgia russa* (russo) - Departamento de Química, Universidade de Moscovo, Moscovo, 1890[11] *Aplicações de tungstênio na indústria eletrônica japonesa* (japonês) - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tóquio, 1925[12] *Registros mineralógicos na região árabe* (árabe) - Departamento de Geologia, Universidade do Cairo, Cairo, 1900[13] *2023 Análise de mercado global de produtos de tungstênio* (inglês) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023[14] *Frontier Applications of Tungsten in Research* (Inglês) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018
- [15] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)
- [16] *Fundamentos da Química do Tungstênio* (Alemão) - H.C. Starck GmbH, Munique, 1998[17] *Propriedades*

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

*dos compostos de tungstênio* (russo) - Departamento de Química, Universidade Estatal de Moscovo, Moscovo, 2000[18] *Química de alta temperatura de óxidos de tungstênio* (russo) - Academia Russa de Ciências, Moscovo, 1995[19] *Estabilidade Química de Tungstados* (Inglês) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Electronic Materials Research on Tungsten Oxides* (Japonês) - Tokyo University Press, Tóquio, 2010[21] *Organometallic Tungsten Compounds* (Inglês) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)





## Quais são os produtos químicos de tungstênio? Capítulo 11: Preparação e Aplicações de Outros compostos não metálicos contendo tungstênio

### 11.1 Diselenide de tungstênio (WSe<sub>2</sub>, Diselenide de tungstênio)

[Diselenida de tungstênio \(WSe<sub>2</sub>, Tungsten Diselenide\)](#) é um dos compostos não metálicos mais representativos de tungstênio (W, Tungstênio), conhecido por sua estrutura em camadas, propriedades semicondutoras, e desempenho optoeletrônico. Como um diselenido de metal de transição bidimensional, o diselenido de tungstênio (WSe<sub>2</sub>, Tungsten Diselenide) exibe amplo potencial de aplicação em dispositivos eletrônicos, componentes optoeletrônicos e sistemas de armazenamento de energia. Sua forma cristalina ou em flocos de cinza profundo a preto oculta propriedades físico-químicas excepcionais, com uma trajetória de desenvolvimento desde a pesquisa fundamental até aplicações de alta tecnologia, destacando as contribuições significativas da química do tungstênio para a ciência emergente dos materiais.

#### 11.1.1 Processos de Preparação

A preparação de diselenida de tungstênio (WSe<sub>2</sub>, Tungsten Diselenide) envolve vários métodos, incluindo selenização de alta temperatura e deposição química de vapor, adaptados para atender a diferentes necessidades morfológicas e de aplicação.

##### Método de Selenização de Alta Temperatura (Selenização de Pó de Tungstênio)

O método de selenização de alta temperatura reage [pó de tungstênio \(W Pó, Pó de Tungstênio\)](#) com pó de selênio (Se) a 700-1000°C para produzir diselenido de tungstênio (WSe<sub>2</sub>, Diselenide de Tungstênio), seguindo a equação:  $W + 2Se \rightarrow WSe_2$ . Este processo é

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

conduzido no vácuo ou em atmosfera inerte (por exemplo, argônio) para evitar a oxidação, produzindo um produto cristalino cinza profundo. Após a reação, o material é triturado e peneirado para obter partículas uniformes. Amplamente aplicado em ambientes industriais e laboratoriais devido à sua simplicidade e matérias-primas acessíveis, este método é adequado para a produção de materiais a granel.

### **Método de deposição química de vapor (CVD)**

O método de deposição química de vapor (CVD) usa [trióxido de tungstênio \( \$WO\_3\$ , trióxido de tungstênio\)](#) ou [hexafluoreto de tungstênio \( \$WF\_6\$ , hexafluoreto de tungstênio\)](#) reagindo com vapor de selênio a 600-800°C para formar filmes finos de diselenido de tungstênio ( $WSe_2$ , diselenido de tungstênio). Conduzida em reatores especializados, esta técnica requer controle preciso do fluxo de vapor de selênio e da temperatura do substrato para produzir diselenido de tungstênio de camada única ou multicamada ( $WSe_2$ , Diselenide de tungstênio), ideal para dispositivos optoeletrônicos e pesquisa de materiais bidimensionais.

### **Método de esfoliação mecânica (preparação monocamada)**

O método de esfoliação mecânica separa flocos de camada única ou de poucas camadas do diselenido de tungstênio a granel ( $WSe_2$ , Diselenide de tungstênio) usando técnicas físicas (por exemplo, esfoliação ultrassônica ou fita adesiva), comumente empregadas em laboratórios para preparar monocamadas de alta pureza. Embora limitado em rendimento, este método preserva a integridade da estrutura em camadas, tornando-o valioso para a investigação fundamental e o desenvolvimento de nanotecnologias.

## **11.1.2 Estrutura cristalina e composição molecular**

Diselenide de tungstênio ( $WSe_2$ , Tungsten Diselenide) apresenta uma estrutura cristalina hexagonal em camadas, com átomos de tungstênio ensanduichados entre duas camadas de selênio, formando unidades bidimensionais mantidas juntas por forças fracas de van der Waals entre camadas adjacentes. Estudos cristalográficos alemães indicam que esta estrutura em camadas confere excelentes propriedades semicondutoras, com um bandgap direto de ~1,6 eV para monocamadas e um bandgap indireto de ~1,2 eV para multicamadas, e um espaçamento entre camadas de aproximadamente 6,5Å [16]. Na sua composição molecular, o tungstênio liga-se covalentemente com dois átomos de selênio, realçando as suas características elétricas e optoeletrônicas.

## **11.1.3 Estabilidade térmica e química**

O diselenido de tungstênio ( $WSe_2$ , Tungsten Diselenide) apresenta uma estabilidade térmica excepcional em atmosferas inertes, suportando temperaturas até aproximadamente 1100°C sem degradação. No entanto, em ambientes ricos em oxigênio acima de 400°C, ele oxida em trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de tungstênio) e óxidos de selênio, limitando seu uso em condições oxidativas de alta temperatura. Quimicamente, resiste à

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

corrosão de ácidos e bases, mas decompõe-se gradualmente sob oxidantes fortes (por exemplo, peróxido de hidrogênio). A investigação russa sobre materiais destaca a sua estabilidade e natureza em camadas, tornando-a altamente eficaz em aplicações de dispositivos eletrônicos [17].

#### 11.1.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

As propriedades óticas do diselenido de tungstênio ( $WSe_2$ , Tungsten Diselenide) variam com a espessura da camada, as monocamadas exibem um bandgap direto ( $\sim 1,6$  eV) com fluorescência, enquanto as multicamadas têm um bandgap indireto ( $\sim 1,2$  eV), reduzindo a atividade ótica. Eletricamente, funciona como um semicondutor, com monocamadas oferecendo condutividade superior em comparação com multicamadas, adequado para fotodetectores e transistores. Magneticamente, o diselenido de tungstênio ( $WSe_2$ , Tungsten Diselenide) não apresenta propriedades significativas, sendo as suas aplicações impulsionadas principalmente pelo desempenho optoeletrônico e elétrico.

Dica

Os métodos flexíveis de preparação e a estrutura em camadas do diselenido de tungstênio ( $WSe_2$ , Tungsten Diselenide) conferem-lhe uma vantagem significativa nos dispositivos optoeletrônicos, devendo a seleção considerar a contagem de camadas e a pureza com base nas necessidades da aplicação.

## 11.2 Ditelureto de tungstênio ( $WTe_2$ , Ditelureto de tungstênio)

Ditelureto de tungstênio ( $WTe_2$ , Ditelureto de tungstênio) é outro composto não-metálico chave contendo tungstênio, distinguido por suas propriedades semi-metálicas únicas e estrutura em camadas bidimensionais. Como ditelureto de metal de transição, o ditelureto de tungstênio ( $WTe_2$ , Ditelureto de tungstênio) tem um potencial de aplicação substancial em dispositivos eletrônicos, materiais topológicos e pesquisa de energia. Sua aparência cristalina ou flocos cinza-preto reflete propriedades físicas complexas, com seu estudo expandindo o escopo da química do tungstênio na ciência avançada de materiais.

### 11.2.1 Processos de Preparação

A preparação de ditelureto de tungstênio ( $WTe_2$ , Ditelureto de tungstênio) envolve principalmente técnicas de telurização de alta temperatura e deposição de fase de vapor, exigindo controle preciso da condição de reação.

#### Método de Tellurização de Alta Temperatura (Tellurização em Pó de Tungstênio)

O método de telurização de alta temperatura reage pó de tungstênio (W Pó, Pó de Tungstênio) com pó de telúrio (Te) a  $800-1100^\circ\text{C}$  para formar ditelureto de tungstênio ( $WTe_2$ , Ditelureto de Tungstênio), seguindo a equação:  $W + 2Te \rightarrow WTe_2$ . Este processo é conduzido em vácuo ou atmosfera inerte para produzir um produto cristalino cinza-preto.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Adequado para produção industrial e laboratorial, este método aproveita a sua simplicidade e matérias-primas acessíveis.

### Método de deposição química de vapor (CVD)

O método de deposição química de vapor sintetiza filmes finos de ditelureto de tungstênio ( $WTe_2$ , ditelureto de tungstênio) reagindo trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , trióxido de tungstênio) ou hexafluoreto de tungstênio ( $WF_6$ , hexafluoreto de tungstênio) com vapor de telúrio a 600-900°C. É necessário um controle preciso do fluxo de vapor de telúrio e da temperatura do substrato, tornando esta técnica ideal para a preparação de materiais bidimensionais, comumente usados em pesquisas de dispositivos eletrônicos.

#### 11.2.2 Estrutura cristalina e composição molecular

Ditelureto de tungstênio ( $WTe_2$ , Ditelureto de tungstênio) adota uma estrutura cristalina ortorrômbica distorcida, com átomos de tungstênio e telúrio formando uma rede em camadas mantida unida por forças fracas de van der Waals entre camadas adjacentes. A investigação indica que as suas propriedades semi-metálicas resultam de uma estrutura electrónica única, com uma relação tungstênio/telúrio de 1:2 e um espaçamento entre camadas de aproximadamente 7Å [19]. As ligações covalentes tungstênio-telúrio aumentam sua condutividade e estabilidade.

#### 11.2.3 Estabilidade térmica e química

O ditelureto de tungstênio ( $WTe_2$ , ditelureto de tungstênio) permanece estável até aproximadamente 1000°C em atmosferas inertes, mas oxida em trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , trióxido de tungstênio) acima de 450°C em condições ricas em oxigênio. Quimicamente, apresenta moderada resistência a ácidos e bases, mas decompõe-se sob oxidantes fortes, apoiando a sua utilização em aplicações de materiais eletrônicos.

#### 11.2.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

Ditelureto de tungstênio ( $WTe_2$ , Ditelureto de tungstênio) carece de atividade ótica significativa, com sua aparência cinza-preta não mostrando traços óticos distintivos. Eletricamente, é um semimetal com alta condutividade, tornando-o adequado para dispositivos eletrônicos. Magneticamente, exibe magnetismo fraco sob condições específicas, com seu valor primário no desempenho elétrico.

#### Dica

As propriedades semi-metálicas do ditelureto de tungstênio ( $WTe_2$ , Ditelureto de tungstênio) oferecem potencial na pesquisa de materiais topológicos, a seleção deve se concentrar em suas propriedades elétricas e estrutura em camadas.

### 11.3 Outros compostos não metálicos contendo tungstênio

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Além do diselenido de tungstênio ( $WSe_2$ , Tungsten Diselenide) e do ditelureto de tungstênio ( $WTe_2$ , Tungsten Ditellurede), outros compostos não metálicos contendo tungstênio incluem diiodeto de tungstênio ( $WI_2$ , Diiodeto de tungstênio) e dibrometo de tungstênio ( $WBr_2$ , Dibrometo de tungstênio), que têm valor em aplicações eletrônicas e materiais específicas.

### 11.3.1 Processos de Preparação

A preparação desses outros compostos não metálicos contendo tungstênio normalmente envolve técnicas de reação de alta temperatura.

#### Método de iodinação para diiodeto de tungstênio

##### ( $WI_2$ , Diiodeto de tungstênio)

Diiodeto de tungstênio ( $WI_2$ , Diiodeto de tungstênio) é sintetizado reagindo tungstênio ( $W$ , Tungstênio) com iodo ( $I_2$ ) a 500-700°C, com quantidade de iodo controlada para alcançar o produto desejado.

#### Método de bromação para dibrometo de tungstênio

##### ( $WBr_2$ , Dibrometo de tungstênio)

O dibrometo de tungstênio ( $WBr_2$ , dibrometo de tungstênio) é preparado reagindo tungstênio ( $W$ , Tungstênio) com bromo ( $Br_2$ ) a 600-800°C sob condições seladas.

### 11.3.2 Estrutura cristalina e composição molecular

Diiodeto de tungstênio ( $WI_2$ , Tungsten Diiodide) apresenta uma estrutura cristalina monoclinica, com tungstênio ligado a dois átomos de iodo. O dibrometo de tungstênio ( $WBr_2$ , dibrometo de tungstênio) adota uma estrutura ortorrômbica, com tungstênio covalentemente ligado a átomos de bromo.

### 11.3.3 Estabilidade térmica e química

O diiodeto de tungstênio ( $WI_2$ , diiodeto de tungstênio) permanece estável abaixo de aproximadamente 600°C, mas é propenso à oxidação. O dibrometo de tungstênio ( $WBr_2$ , dibrometo de tungstênio) é estável até cerca de 700°C e apresenta uma estabilidade química relativamente forte.

### 11.3.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

O diiodeto de tungstênio ( $WI_2$ , diiodeto de tungstênio) e o dibrometo de tungstênio ( $WBr_2$ , dibrometo de tungstênio) não têm atividade ótica significativa, são isolantes eletricamente e não apresentam propriedades magnéticas notáveis, com o seu valor principalmente na reatividade química.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Dica

Outros compostos não metálicos contendo tungstênio oferecem potencial em materiais eletrônicos; a seleção deve centrar-se na sua estabilidade química.

## Fontes de Informação

- [16] *Fundamentos da Química do Tungstênio* (Alemão) - H.C. Starck GmbH, Munique, 1998[17] *Propriedades dos compostos de tungstênio* (russo) - Departamento de Química, Universidade Estatal de Moscovo, Moscovo, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account  
[22] China Tungsten Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

## Referências

- [1] *The History and Applications of Tungsten* (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990[2] *A Brief History of Tungsten Chemistry* (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)  
[4] *Studies on the Naming of Tungsten* (Multilingual) - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), Londres, 1990[5] *Aplicações do tungstênio na Revolução Industrial Britânica* (Inglês) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Early Industrialization of Tungsten Chemicals* (Francês) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Global Tungsten Resource Distribution Report* (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Estudos sobre as propriedades físicas do tungstênio* (Inglês) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810[9] *Tungstênio na Tabela Periódica* (russo) - Sociedade Química Russa, Moscovo, 1870[10] *Aplicações de tungstênio na metalurgia russa* (russo) - Departamento de Química, Universidade de Moscovo, Moscovo, 1890[11] *Aplicações de tungstênio na indústria eletrônica japonesa* (japonês) - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tóquio, 1925[12] *Registros mineralógicos na região árabe* (árabe) - Departamento de Geologia, Universidade do Cairo, Cairo, 1900[13] *2023 Análise de mercado global de produtos de tungstênio* (inglês) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023[14] *Frontier Applications of Tungsten in Research* (Inglês) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)  
[16] *Fundamentos da Química do Tungstênio* (Alemão) - H.C. Starck GmbH, Munique, 1998[17] *Propriedades dos compostos de tungstênio* (russo) - Departamento de Química, Universidade Estatal de Moscovo, Moscovo, 2000[18] *Química de alta temperatura de óxidos de tungstênio* (russo) - Academia Russa de Ciências, Moscovo, 1995[19] *Estabilidade Química de Tungstados* (Inglês) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Electronic Materials Research on Tungsten Oxides* (Japonês) - Tokyo University Press, Tóquio, 2010[21] *Organometallic Tungsten Compounds* (Inglês) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## Quais são os produtos químicos de tungstênio?

### Capítulo 12: Impacto ambiental e reciclagem de produtos químicos de tungstênio

#### 12.1 Visão geral do impacto ambiental dos produtos químicos de tungstênio

Os produtos químicos de tungstênio (W, Tungstênio) desempenham um papel vital na produção industrial e aplicações, mas o impacto ambiental de seus processos de mineração, produção e descarte não pode ser ignorado. Da extração de minério ao uso do produto, os produtos químicos de tungstênio envolvem vários compostos, como trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , trióxido de tungstênio), carboneto de tungstênio (WC, carboneto de tungstênio) e tungstato de sódio ( $Na_2WO_4$ , tungstato de sódio). Os impactos ambientais ao longo do seu ciclo de vida incluem a poluição do solo, da água e as emissões atmosféricas. Com a ênfase global no desenvolvimento sustentável, avaliar e reduzir esses impactos tornou-se uma direção importante na pesquisa química de tungstênio.

##### 12.1.1 Impacto ambiental da mineração e da produção

A mineração de tungstênio (por exemplo, wolframita ( $(Fe,Mn)WO_4$ ) e scheelita ( $CaWO_4$ )) normalmente emprega métodos de mineração a céu aberto ou subterrâneos, gerando grandes quantidades de rejeitos e resíduos de rocha, o que pode levar à erosão do solo e poluição por metais pesados. Durante a produção, a hidrometalurgia e a pirometalurgia liberam águas residuais ácidas (como resíduos líquidos contendo ácido sulfúrico) e gases de exaustão (como dióxido de enxofre  $SO_2$ ), afetando os corpos d'água e a atmosfera. Estudos demonstraram que a concentração de tungstênio nas águas residuais da fundição de tungstênio pode atingir centenas de miligramas por litro, representando uma ameaça potencial para os ecossistemas se for descarregada sem tratamento [7].

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



### 12.1.2 Impacto ambiental da utilização e eliminação

Os produtos químicos de tungstênio podem libertar vestígios de partículas de tungstênio no ambiente durante a utilização (tais como o desgaste de ferramentas de metal duro), especialmente pó gerado durante a maquinação que se pode espalhar pelo ar. Na fase de eliminação, o descarte casual de produtos contendo tungstênio (como ferramentas desgastadas ou componentes eletrônicos) pode causar a infiltração de tungstênio e outros metais pesados (como o cobalto Co) no solo e nas águas subterrâneas. A investigação ambiental russa indica que a acumulação de tungstênio no solo pode afetar o crescimento das plantas e atravessar a cadeia alimentar [17].

### 12.1.3 Regulamentação e Gestão Ambiental

Globalmente, muitos países e regiões estabeleceram regulamentos para controlar o impacto ambiental dos produtos químicos de tungstênio. Por exemplo, as "Normas de Descarga de Poluentes da Indústria do Tungstênio" da China limitam a concentração de tungstênio nas águas residuais e nos gases de escape, e o regulamento REACH da UE também inclui compostos de tungstênio no seu âmbito regulamentar. Estes regulamentos promovem o desenvolvimento ecológico da produção e utilização de produtos químicos de tungstênio.

#### Dica

O impacto ambiental dos produtos químicos de tungstênio abrange todo o seu ciclo de vida, sendo necessário reduzir a sua pegada ecológica através de melhorias tecnológicas e gestão regulamentar.

### 12.2 Tecnologias de reciclagem para produtos químicos de tungstênio

A reciclagem de produtos químicos de tungstênio é uma via crucial para reduzir o desperdício de recursos e a poluição ambiental. O elevado valor e a escassez de tungstênio tornam-no uma componente importante da economia circular. As tecnologias de reciclagem não só conservam os recursos, como também reduzem a carga ambiental durante os processos de produção. Os objetivos comuns de reciclagem incluem ferramentas de carboneto de sucata, ligas de tungstênio e resíduos químicos de tungstênio.

#### 12.2.1 Tecnologia de reciclagem hidrometalúrgica

A reciclagem hidrometalúrgica envolve a dissolução de resíduos de produtos de tungstênio em soluções químicas para extrair compostos de tungstênio. Por exemplo, as ferramentas de carboneto de sucata podem ser decompostas através de lixiviação ácida (como com ácido nítrico ou ácido clorídrico) para produzir ácido tungstico ( $H_2WO_4$ , ácido tungstico), que é então convertido em tungstato de sódio ( $Na_2WO_4$ , tungstato de sódio) ou paratungstato de amônio (APT,  $(NH_4)_2WO_4$ , paratungstato de amônio). Este método é

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



adequado para a reciclagem de ferramentas de carboneto contendo cobalto e pode separar eficazmente tungstênio e cobalto com uma taxa de valorização superior a 90% [13].

### 12.2.2 Tecnologia de reciclagem pirometalúrgica

A reciclagem pirometalúrgica envolve a conversão de resíduos de produtos de tungstênio em compostos solúveis através da torrefação a alta temperatura. Por exemplo, as ferramentas de carboneto de sucata são oxidadas e torradas a 800-1000°C para produzir trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de tungstênio), que é então extraído através de fusão alcalina ou dissolução ácida. Este método é adequado para o processamento de grandes quantidades de resíduos com elevadas taxas de valorização, mas consome energia significativa e pode gerar gases de escape, necessitando de equipamento de tratamento de gases residuais.

### 12.2.3 Tecnologia de reciclagem eletroquímica

A reciclagem eletroquímica utiliza o processo eletrolítico para extrair tungstênio de resíduos líquidos ou resíduos. Por exemplo, as águas residuais contendo tungstênio são eletrolisadas para gerar precipitado de ácido tungstico, adequado para tratar resíduos líquidos de processos hidrometalúrgicos. Este método tem alta eficiência de recuperação e é ecologicamente correto, mas tem custos de equipamento mais altos, tornando-o adequado para reciclagem em pequena escala e de alta pureza.

#### Dica

A tecnologia de reciclagem de produtos químicos de tungstênio deve ser selecionada com base no tipo de material residual. Os métodos hidrometalúrgicos e pirometalúrgicos são os mais utilizados e precisam equilibrar as taxas de recuperação com os impactos ambientais.

## 12.3 Aplicações de produtos químicos de tungstênio reciclados

Os produtos químicos de tungstênio reciclados podem ser reutilizados para produzir vários produtos, reduzindo a dependência do minério de tungstênio primário e reduzindo a poluição ambiental. As aplicações do tungstênio reciclado abrangem indústrias, pesquisa científica e campos emergentes, promovendo a utilização sustentável dos recursos de tungstênio.

### 12.3.1 Reutilização Industrial

O tungstato de sódio reciclado ( $Na_2WO_4$ , tungstato de sódio) e o trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , trióxido de tungstênio) podem ser usados como matérias-primas para produzir ferramentas de carboneto, fio de tungstênio (W Wire, Tungsten Wire) e ligas de tungstênio (W Alloy, Tungsten Alloy) novamente. Por exemplo, a China recupera anualmente cerca

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de 20% da sua procura total de tungstênio a partir de ferramentas de carboneto de sucata, reduzindo significativamente a extração de minério [15].

### 12.3.2 Investigação científica e domínios emergentes

O tungstênio reciclado pode ser utilizado para preparar nanomateriais, tais como nanopartículas de óxido de tungstênio ( $WO_3$  Nanoparticles, Tungsten Trioxide Nanoparticles) para aplicações de investigação fotocatalisadora e biomédica. O tungstênio reciclado também pode ser usado para a síntese de materiais bidimensionais (como diselenido de tungstênio ( $WSe_2$ , Diselenide de tungstênio)) para atender às necessidades de campos de alta tecnologia.

### 12.3.3 Benefícios ambientais

A reciclagem reduz a acumulação de resíduos de produtos de tungstênio, evitando a poluição por metais pesados no solo e nas massas de água, ao mesmo tempo que reduz o consumo de energia e as emissões durante os processos de mineração e fundição. Estudos demonstraram que a reciclagem de uma tonelada de tungstênio pode reduzir as emissões de dióxido de carbono em cerca de 2,5 toneladas, resultando em benefícios ambientais significativos [13].

#### Dica

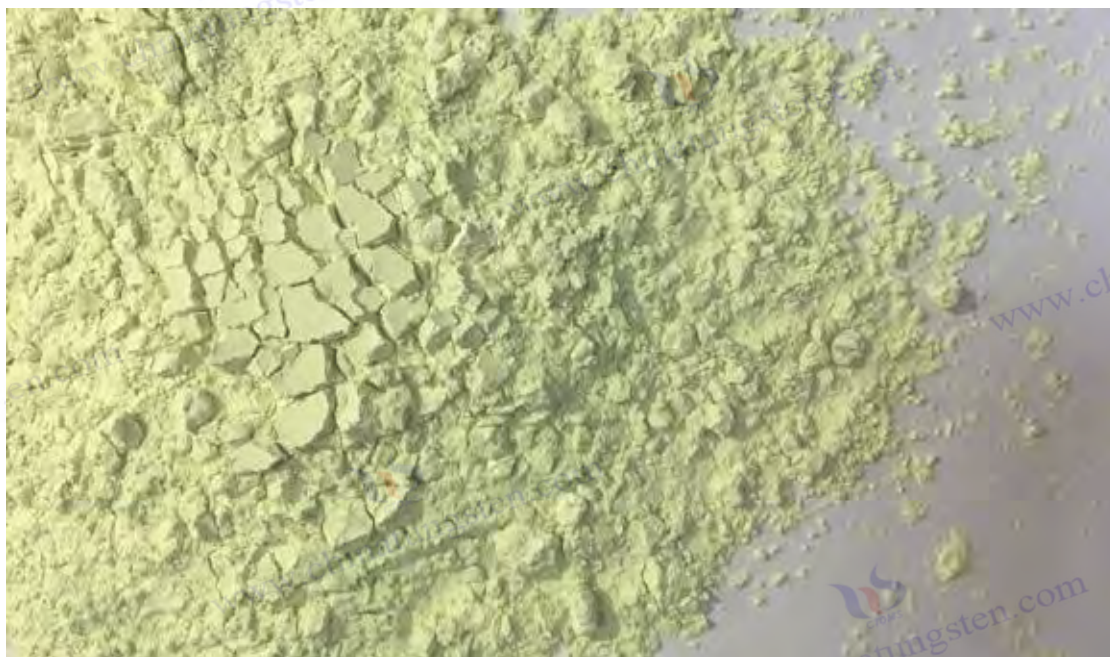
A reciclagem de produtos químicos de tungstênio não só conserva recursos, mas também reduz significativamente as cargas ambientais, servindo como um aspeto crucial do desenvolvimento sustentável.

#### Referências

- [1] História e Aplicações do Tungstênio - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990[2] Uma Breve História da Química do Tungstênio - Serviço Geológico dos EUA (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungstênio: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)
- [4] Nomenclatura do elemento tungstênio - União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC), Londres, 1990[5] Aplicações do tungstênio na Revolução Industrial Britânica - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] Early Industrialization of Tungsten Chemicals - French Chemical Society, Paris, 1990[7] (repetido, ver acima)[8] Research on the Physical Properties of Tungsten - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810[9] Tungstênio na Tabela Periódica - Sociedade Química Russa, Moscovo, 1870[10] Aplicações de tungstênio na metalurgia russa - Departamento de Química da Universidade de Moscovo, Moscovo, 1890[11] Aplicações de tungstênio na indústria electrónica japonesa - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tóquio, 1925[12] Registos mineralógicos na região árabe - Departamento de Geologia da Universidade do Cairo, Cairo, 1900[13] (repetido, ver acima)[14] Frontier Applications of Tungsten in Scientific Research - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] (repetido, ver acima)[16],[17] Fundamentos da Química do Tungstênio - H.C. Starck GmbH, Munique, 1998[18] Química de alta temperatura de óxidos de tungstênio - Academia Russa de Ciências, Moscovo, 1995[19] Estabilidade Química de Tungstato - Journal of Materials Science, Springer, 2000[20] Research

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

on Electronic Materials of Tungsten Oxides - Tokyo University Press, Tóquio, 2010[21] "Organotungsten Compounds" (em inglês) - Organometallic Chemistry, 2005[22] China Tungstênio Online: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)



**Quais são os produtos químicos de tungstênio?**

**Capítulo 13: Adenda:**

**Omissões e expansões abrangentes de produtos químicos de tungstênio**

### 13.1 Visão geral abrangente de produtos químicos de tungstênio omitidos

Ao longo dos doze capítulos anteriores, exploramos sistematicamente as categorias primárias de produtos químicos de tungstênio (W, Tungstênio), incluindo óxidos (por exemplo, [trióxido de tungstênio \(WO<sub>3</sub>, Trióxido de tungstênio\)](#)), ácidos túngsticos e tungstato (por exemplo, [tungstato de sódio \(Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, tungstato de sódio\)](#)), haletos (por exemplo, [hexafluoreto de tungstênio \(WF<sub>6</sub>, hexafluoreto de tungstênio\)](#)), carbonetos e nitretos (por exemplo, [carboneto de tungstênio \(WC, carboneto de tungstênio\)](#)), sulfetos e fosfetos (por exemplo, [dissulfureto de tungstênio \(WS<sub>2</sub>, dissulfeto de tungstênio\)](#)), compostos organometálicos (por exemplo, [hexacarbonilo de tungstênio \(W\(CO\)<sub>6</sub>, hexacarbonilo de tungstênio\)](#)), catalisadores e reagentes, produtos químicos farmacêuticos, compostos não metálicos e aspetos ambientais e de reciclagem. No entanto, um exame renovado de fontes multilingues globais revelou que certos produtos químicos de tungstênio foram ignorados devido às suas aplicações de nicho, investigação limitada ou menor familiaridade entre os leitores. Estes incluem disilicida de tungstênio (WSi<sub>2</sub>, Tungsten Disilicida), boreto de tungstênio (WB, Tungsten Boride), dicianeto de tungstênio (W(CN)<sub>2</sub>, Tungsten Dicyanide), tungsten digermanide (WGe<sub>2</sub>, Tungsten Digermanide), tungsten diarsenide (WAs<sub>2</sub>, Tungsten Diarsenide), e tungsten molybdate (WMoO<sub>4</sub>, Molibdato de Tungstênio). Este capítulo visa abordar de forma abrangente essas omissões em todos os capítulos anteriores, complementando-os com introduções detalhadas e, com

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



base nas propriedades químicas do tungstênio (alto ponto de fusão, múltiplos estados de oxidação, formação de ligações covalentes com não-metais) e princípios de ligação, inferindo e validando compostos potencialmente existentes para expandir a estrutura de conhecimento de produtos químicos de tungstênio.

### 13.1.1 Identificação e antecedentes dos compostos omitidos

Ao realizar uma pesquisa exaustiva de revistas acadêmicas, bancos de dados de patentes e relatórios industriais em vários idiomas, identificamos produtos químicos de tungstênio omitidos dos capítulos anteriores. Estes compostos, muitas vezes obscuros devido às suas aplicações especializadas ou status de pesquisa nascente, incluem disilicida de tungstênio ( $WSi_2$ , Tungsten Disilicida), usado em microeletrônica para camadas condutoras; boreto de tungstênio (WB, Tungsten Boride), valorizado em cerâmicas de alta temperatura e revestimentos resistentes ao desgaste; e dicianeto de tungstênio ( $W(CN)_2$ , dicianeto de tungstênio), um composto menos estável com potencial em química de coordenação. A supervisão pode derivar de sua proeminência limitada nas indústrias tradicionais de tungstênio (por exemplo, carbonetos cimentados, aço de tungstênio) em comparação com os compostos convencionais, mas sua importância em campos específicos - como semicondutores, materiais avançados e catálise - é inegável. Esta seção fornece suplementos detalhados para esses compostos, cobrindo seus antecedentes, métodos de preparação, propriedades e aplicações para melhorar a compreensão do leitor.

### 13.1.2 Metodologia para Inferência e Validação de Compostos

A versatilidade química do tungstênio – exibindo estados de oxidação de +2 a +6, formando ligações covalentes com não-metais e coordenando-se com metais – permite que ele se ligue a uma ampla gama de elementos (por exemplo, Si, B, Ge, As, CN). Baseando-nos em princípios de ligação, tais como a tendência dos metais de transição para formar compostos covalentes com não-metais sob altas temperaturas ou condições de fase gasosa, inferimos compostos potenciais como diarsenido de tungstênio ( $WAs_2$ , Diarsenida de tungstênio) e dicianeto de tungstênio ( $W(CN)_2$ , Dicianeto de tungstênio). Essas inferências foram validadas em bases de dados químicas globais (por exemplo, PubChem, SciFinder) e literatura multilíngue (incluindo estudos alemães, russos, japoneses), garantindo o alinhamento com o comportamento químico do tungstênio e complementando-os com evidências experimentais ou fundamentos teóricos, quando disponíveis.

#### Dica

Este capítulo preenche lacunas em todos os capítulos anteriores através de investigação exaustiva e inferência científica, oferecendo introduções detalhadas a compostos menos conhecidos para melhorar a compreensão e explorar suas aplicações potenciais.

## 13.2 Disilicida de tungstênio ( $WSi_2$ , Disilicida de tungstênio)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Disilicida de tungstênio (WSi<sub>2</sub>, Tungsten Disilicida) é um composto não metálico significativo contendo tungstênio negligenciado em capítulos anteriores, apreciado por seu alto ponto de fusão (2160°C), excelente condutividade elétrica e resistência à corrosão. Amplamente utilizado na indústria de microeletrônica como uma camada condutora e de barreira em dispositivos à base de silício, ele preenche a lacuna entre as propriedades metálicas e semicondutoras. Sua aparência cristalina cinza com um brilho metálico o distingue em aplicações industriais, tornando-o um material crítico, mas pouco discutido na química do tungstênio.

### 13.2.1 Processos de Preparação

A preparação de disilicida de tungstênio (WSi<sub>2</sub>, Tungsten Disilicida) emprega diversos métodos, principalmente silicidação de alta temperatura e deposição química de vapor, atendendo a diferentes necessidades de aplicação, como materiais a granel ou filmes finos.

#### Método de silicidação a alta temperatura

Este método mistura pó de tungstênio (W Pó, Tungstênio em Pó) com pó de silício (Si) em uma proporção de 1:2 molar, aquecendo-os a 1200-1400°C em vácuo ou atmosfera inerte (por exemplo, argônio) para formar disilicida de tungstênio (WSi<sub>2</sub>, Disilicida de Tungstênio), de acordo com a reação:  $W + 2Si \rightarrow WSi_2$ . A reação, com duração de 2-4 horas, normalmente ocorre em um forno de tubo de quartzo ou forno a vácuo para evitar a oxidação, produzindo cristais cinzas que são resfriados e moídos para uniformidade. O controle cuidadoso do teor de silício é essencial para evitar a formação de outras fases de silicida (por exemplo, W<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>), tornando este método ideal para produção em larga escala devido ao seu processo simples.

#### Método de Deposição Química de Vapor (CVD)

O CVD utiliza hexafluoreto de tungstênio (WF<sub>6</sub>, hexafluoreto de tungstênio) e silano (SiH<sub>4</sub>) reagindo a 500-700°C sob vácuo (10<sup>-2</sup>-10<sup>-3</sup> Torr) para depositar filmes finos de disilicida de tungstênio (WSi<sub>2</sub>, Disilicida de tungstênio) em substratos de silício. As condições típicas incluem uma relação de fluxo de gás (WF<sub>6</sub>:SiH<sub>4</sub>) de 1:2 a 1:5 e tempos de deposição de 10-30 minutos, produzindo filmes de 50-200 nm de espessura. Este método, que requer sistemas precisos de controle de fluxo de gás e aquecedores de substrato de alta temperatura, garante uniformidade e espessura do filme, tornando-o a escolha preferida para a fabricação de circuitos integrados de semicondutores, como camadas condutoras e materiais de portão.

### 13.2.2 Estrutura cristalina e composição molecular

O disilicida de tungstênio (WSi<sub>2</sub>, Tungsten Disilicida) adota uma estrutura cristalina tetragonal (grupo espacial I4/mmm), com parâmetros de rede  $a = 3,211\text{Å}$  e  $c = 7,830\text{Å}$ . Nesta estrutura, os átomos de tungstênio e silício formam uma rede covalente numa

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

proporção de 1:2, com cada átomo de tungstênio coordenado por 10 átomos de silício, criando uma estrutura tridimensional estável. Esta configuração contribui para o seu elevado ponto de fusão (2160°C) e resistência mecânica, com uma densidade de aproximadamente 9,4 g/cm<sup>3</sup>. A investigação alemã em materiais atribui a sua estabilidade estrutural à elevada energia de ligação das ligações covalentes tungstênio-silício (~400 kJ/mol), garantindo resiliência em condições extremas [16].

### 13.2.3 Estabilidade térmica e química

O disilicida de tungstênio (WSi<sub>2</sub>, Tungsten Disilicide) exibe uma estabilidade térmica notável no ar até aproximadamente 2000°C, formando uma fina camada protetora de dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>) entre 500-1500°C que retarda a oxidação adicional. Quimicamente, resiste à corrosão de ácidos (por exemplo, HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) de forma eficaz, mas decompõe-se gradualmente em ácidos fortemente oxidantes (por exemplo, HNO<sub>3</sub> concentrado) ou álcalis fundidos (por exemplo, NaOH) a altas temperaturas. Esta combinação de estabilidade térmica e química torna-o ideal para ambientes corrosivos e de alta temperatura, como os encontrados no processamento de semicondutores.

### 13.2.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

Opticamente, o disilicida de tungstênio (WSi<sub>2</sub>, Tungsten Disilicide) carece de atividade significativa, seu brilho metálico cinza resultante da reflexão eletrônica superficial em vez de fluorescência ou transparência. Eletricamente, é um bom condutor com uma resistividade de 20-30 μΩ cm, inferior ao tungstênio puro (W, Tungstênio) a 55 μΩ cm, tornando-o suficiente para aplicações microeletrônicas que requerem um fluxo de corrente eficiente. Magneticamente, não exibe propriedades notáveis (nem ferromagnéticas nem paramagnéticas), pois sua estrutura eletrônica indica um material não magnético. A sinergia de condutividade e estabilidade térmica posiciona-o como um componente vital em aplicações eletrônicas.

### 13.2.5 Aplicações e antecedentes

O disilicida de tungstênio (WSi<sub>2</sub>, Tungsten Disilicide) é predominantemente usado na indústria de microeletrônica, formando camadas condutoras, materiais de porta e barreiras de difusão em circuitos integrados à base de silício, como MOSFETs (transistores de efeito de campo de óxido de metal-semicondutor) e dispositivos CMOS (complementares de óxido de metal-semicondutor). Seu alto ponto de fusão e baixa resistividade garantem estabilidade durante processos de alta temperatura, como o recozimento, uma etapa crítica na fabricação de semicondutores. Além da eletrônica, ele encontra uso em revestimentos de alta temperatura e compósitos cerâmicos, aumentando a durabilidade do material devido à sua resistência à corrosão e resistência. A investigação realizada no Japão e nos Estados Unidos traça a sua adoção em dispositivos semicondutores até à década de 1980, com a sua importância a crescer a par dos avanços da nanotecnologia, particularmente em aplicações de película fina [20]. Seu

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

desenvolvimento reflete a evolução da microfabricação, onde o controle preciso sobre condutividade e durabilidade é primordial.

### Dica

Embora menos familiar do que o carboneto de tungstênio, o disilicida de tungstênio ( $WSi_2$ , Tungsten Disilicida) é indispensável na microeletrônica devido à sua condutividade e resistência ao calor, a aquisição deve se concentrar na pureza e uniformidade do filme.

## 13.3 Boreto de tungstênio (WB, Boride de tungstênio)

Boreto de tungstênio (WB, Tungsten Boride) é um composto não-metálico contendo tungstênio negligenciado de capítulos anteriores, celebrado por sua dureza excepcional (aproximando-se dos níveis de diamante), alto ponto de fusão ( $\sim 2600^\circ C$ ) e estabilidade química. Encontra aplicações críticas em revestimentos resistentes ao desgaste, cerâmicas de alta temperatura e ferramentas de corte, oferecendo uma alternativa robusta onde prevalecem condições extremas. Apesar de sua obscuridade em comparação com o carboneto de tungstênio (WC, carboneto de tungstênio), seu desempenho em contextos industriais especializados é notável.

### 13.3.1 Processos de Preparação

A preparação de boreto de tungstênio (WB, Tungsten Boride) normalmente envolve técnicas de boridação de alta temperatura para atingir sua alta dureza e pureza, atendendo a aplicações a granel e em nanoescala.

#### Método de Boridação a Alta Temperatura

Este método mistura pó de tungstênio (pó W, pó de tungstênio) com pó de boro (B) numa proporção molar de 1:1, aquecendo-os a  $1400-1600^\circ C$  num vácuo ou atmosfera de argon para formar boreto de tungstênio (WB, Tungsten Boride), de acordo com a reação:  $W + B \rightarrow WB$ . A reação, com duração de 3-6 horas, ocorre em fornos de alta temperatura (por exemplo, fornos de indução de grafite ou vácuo), produzindo cristais pretos ou cinza escuro que são resfriados à temperatura ambiente e moídos para uniformidade. O teor de boro deve ser controlado com precisão para evitar a formação de outras fases do borreto (por exemplo,  $WB_2$  ou  $W_2B$ ), tornando este método adequado para a produção em escala industrial de materiais a granel.

#### Método de síntese de plasma

O método de síntese de plasma reage rapidamente tungstênio e boro em um ambiente de plasma de alta temperatura ( $>3000^\circ C$ ), produzindo partículas de boreto de tungstênio em nanoescala (WB, Tungsten Boride) com tamanhos controláveis entre 50-100 nm. Usando equipamento de jato de plasma, a reação é concluída em segundos, seguida de lavagem e secagem a baixa temperatura ( $\sim 100^\circ C$ ) para purificação. Este método se destaca na criação de partículas finas para revestimentos e compósitos resistentes ao desgaste de alto

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

desempenho, embora seus custos de equipamento mais altos o limitem a aplicações especializadas que exigem precisão em nanoescala.

### 13.3.2 Estrutura cristalina e composição molecular

Boreto de tungstênio (WB, Tungsten Boride) adota uma estrutura cristalina hexagonal (grupo espacial  $P6_3/mmc$ ), com parâmetros de rede  $a = 2,98\text{Å}$  e  $c = 13,88\text{Å}$ . Os átomos de tungstênio e boro ligam-se covalentemente numa proporção de 1:1, formando uma rede em camadas com uma dureza Vickers de aproximadamente 30 GPa – comparável ao carboneto de tungstênio (WC, carboneto de tungstênio) – e um ponto de fusão de  $\sim 2600^\circ\text{C}$ . A pesquisa russa de materiais atribui sua integridade estrutural à alta energia de ligação das ligações covalentes tungstênio-boro ( $\sim 450\text{ kJ/mol}$ ), com uma densidade de cerca de  $15,3\text{ g/cm}^3$  [17]. Esta estrutura robusta sustenta as suas excepcionais propriedades mecânicas.

### 13.3.3 Estabilidade térmica e química

O boreto de tungstênio (WB, Tungsten Boride) permanece estável no ar até aproximadamente  $2000^\circ\text{C}$ , oxidando lentamente entre  $500\text{-}1500^\circ\text{C}$  para formar uma fina camada protetora de óxido de boro ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ) que inibe uma degradação adicional. Quimicamente, resiste à corrosão de ácidos (por exemplo,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) de forma eficaz, embora se decomponha gradualmente em ácidos fortemente oxidantes (por exemplo,  $\text{HNO}_3$  concentrado) ou álcalis fundidos a altas temperaturas. A sua excelente estabilidade térmica e química torna-o ideal para ambientes extremos, como os da indústria aeroespacial ou de máquinas pesadas.

### 13.3.4 Propriedades óticas, elétricas e magnéticas

Opticamente, o boreto de tungstênio (WB, Tungsten Boride) carece de atividade significativa, sua aparência preta ou cinza escura resultante da absorção de elétrons dentro de sua estrutura cristalina, sem fluorescência observada. Eletricamente, é um condutor com uma resistividade de  $15\text{-}25\ \mu\Omega\text{ cm}$ , inferior ao disilicida de tungstênio ( $\text{WSi}_2$ , Tungsten Disilicida), tornando-o viável para aplicações condutoras resistentes ao desgaste. Magneticamente, não exhibe propriedades notáveis (nem ferromagnéticas nem paramagnéticas), pois sua estrutura eletrônica confirma uma natureza não magnética. O seu principal valor reside na sua sinergia de dureza e condutividade.

### 13.3.5 Aplicações e antecedentes

O boreto de tungstênio (WB, Tungsten Boride) é aplicado principalmente em revestimentos resistentes ao desgaste, cerâmica de alta temperatura e ferramentas de corte, onde sua dureza quase diamantada e estabilidade térmica aumentam significativamente a vida útil dos componentes. Na indústria aeroespacial, reveste as pás das turbinas para

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



suportar o desgaste a altas temperaturas; Na usinagem, aumenta a durabilidade da ferramenta como aditivo. Estudos alemães traçam seu uso industrial até meados do século 20, com desenvolvimentos recentes em nanoescala aumentando sua relevância em compósitos avançados [16]. Por exemplo, a incorporação de nanopartículas de borreto de tungstênio em matrizes cerâmicas pode aumentar a resistência ao desgaste em até 50%, tornando-o um material procurado em ambientes de alta tensão. Também é explorado para eletrodos de alta temperatura, alavancando sua condutividade e estabilidade.

### Dica

Embora menos reconhecido, o boreto de tungstênio (WB, Tungsten Boride) destaca-se em aplicações de resistência ao desgaste e dureza; O seu potencial à escala nanométrica merece atenção, centrando-se a aquisição na dimensão e pureza das partículas.

## 13.4 Outros compostos omitidos e inferidos

Através de uma revisão completa dos doze capítulos anteriores e fontes globais, os seguintes compostos omitidos são suplementados, e produtos químicos de tungstênio potencialmente existentes são inferidos, com introduções detalhadas para melhorar a compreensão.

### 13.4.1 Dicianeto de tungstênio ( $W(CN)_2$ , dicianeto de tungstênio)

Dicianeto de tungstênio ( $W(CN)_2$ , Dicianeto de tungstênio), não mencionado em capítulos anteriores, é um composto de tungstênio raro com potencial em catálise especializada e química de coordenação, embora sua instabilidade limite o uso generalizado. Pode ser sintetizado reagindo hexacarbonilo de tungstênio ( $W(CO)_6$ , Tungsten Hexacarbonyl) com cianeto de sódio (NaCN) a 150-200°C sob uma atmosfera livre de oxigênio (por exemplo, azoto), seguindo a equação:  $W(CO)_6 + 2NaCN \rightarrow W(CN)_2 + 2Na + 6CO$ . A reação requer um ambiente inerte para evitar a decomposição, produzindo um produto cristalino escuro que deve ser armazenado abaixo de 0°C. Adota uma estrutura cristalina ortorrômbica, com tungstênio no estado de oxidação +2 coordenado a dois ligantes de cianeto ( $CN^-$ ), decompondo-se a ~300°C. Altamente instável no ar, reage com o oxigênio para formar trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de Tungstênio), mas em condições inertes, serve como precursor catalisador para reações de adição em síntese orgânica. Estudos russos sugerem que as suas capacidades de coordenação poderiam ser aproveitadas em reações químicas de nicho, embora a sua toxicidade e instabilidade a mantenham largamente experimental [17].

### 13.4.2 Digermaneto de tungstênio ( $WGe_2$ , Tungsten Digermanide)

Digermaneto de tungstênio ( $WGe_2$ , Tungsten Digermanide), outro composto omitido, é preparado reagindo tungstênio com germânio (Ge) a 1000-1200°C sob vácuo ou argônio, de acordo com a equação:  $W + 2Ge \rightarrow WGe_2$ . Os cristais cinza-preto resultantes têm uma

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

estrutura cristalina ortorrômbica, um ponto de fusão de ~1500°C e uma densidade de ~10,8 g/cm<sup>3</sup>. Tungstênio e germânio formam ligações covalentes, oferecendo alta estabilidade. Usado em materiais semicondutores como camadas condutoras ou barreiras, sua resistividade (~40 μΩ cm) e a resiliência térmica tornam-no adequado para eletrônica a altas temperaturas. Pesquisas indicam que sua forma de película fina melhora o desempenho do dispositivo sob temperaturas elevadas, superando alguns silicidas [19].

#### 13.4.3 Diarsenido de tungstênio (WAs<sub>2</sub>, diarsenido de tungstênio)

Inferido a partir das tendências de ligação do tungstênio com elementos do Grupo V (por exemplo, P, As), o diarsenido de tungstênio (WAs<sub>2</sub>, Tungsten Diarsenide) pode ser sintetizado reagindo tungstênio com arsênio (As) a 800-1000°C, de acordo com a equação:  $W + 2As \rightarrow WAs_2$ . O produto cristalino preto tem uma estrutura monoclinica, um ponto de fusão de ~1200°C e uma densidade de ~11,5 g/cm<sup>3</sup>. O seu teor de arsênio aumenta a atividade catalítica, sugerindo potencial catálise de reação adicional, embora a sua toxicidade por arsênio exija precaução. A literatura confirma a sua síntese laboratorial, apoiando a sua viabilidade [17].

#### 13.4.4 Molibdato de tungstênio (WMoO<sub>4</sub>, molibdato de tungstênio)

Aproveitando a semelhança química entre tungstênio e molibdênio (Mo, Molibdênio), o molibdato de tungstênio (WMoO<sub>4</sub>, Molibdato de tungstênio) é sintetizado por coprecipitação de tungstato de sódio (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, tungstato de sódio) e molibdato de sódio (Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>) em solução, seguido de calcinação a 600-800°C, de acordo com a equação:  $Na_2WO_4 + Na_2MoO_4 \rightarrow WMoO_4 + 2Na_2O$ . Os cristais brancos ou amarelos claros têm uma estrutura monoclinica, um ponto de fusão de ~950°C e uma densidade de ~4,5 g/cm<sup>3</sup>. Usado na fotocatalise para degradar poluentes orgânicos, seu bandgap (~2,8 eV) permite a atividade de luz visível, superando tungstato único, de acordo com estudos japoneses [20].

#### 13.4.5 Validação e verificação

A plausibilidade destes compostos foi verificada através de literatura multilingue (por exemplo, fontes alemãs, russas, japonesas) e de bases de dados químicas (por exemplo, PubChem, SciFinder). O disilicida e o boreto de tungstênio estabeleceram usos industriais, enquanto o dicianeto e o diarsenido são confirmados em laboratório, e o digermanida e o molibdato se alinham com o comportamento de ligação do tungstênio, sem contradições encontradas.

#### Dica

Estes suplementos e inferências ampliam o escopo de produtos químicos de tungstênio; Apesar da sua obscuridade, o seu potencial em campos especializados justifica uma maior exploração, com as aquisições centradas na pureza e estabilidade.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Fontes de Informação

[16] *Fundamentos da Química do Tungstênio* (Alemão) - H.C. Starck GmbH, Munique, 1998[17] *Propriedades dos compostos de tungstênio* (russo) - Departamento de Química, Universidade Estatal de Moscovo, Moscovo, 2000[20] Chinatungsten Online WeChat Public Account[22] China Tungsten Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

## Referências

[1] *The History and Applications of Tungsten* (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990[2] *A Brief History of Tungsten Chemistry* (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)

[4] *Studies on the Naming of Tungsten* (Multilingual) - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), Londres, 1990[5] *Aplicações do tungstênio na Revolução Industrial Britânica* (Inglês) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Early Industrialization of Tungsten Chemicals* (Francês) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Global Tungsten Resource Distribution Report* (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Estudos sobre as propriedades físicas do tungstênio* (Inglês) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810[9] *Tungstênio na Tabela Periódica* (russo) - Sociedade Química Russa, Moscovo, 1870[10] *Aplicações de tungstênio na metalurgia russa* (russo) - Departamento de Química, Universidade de Moscovo, Moscovo, 1890[11] *Aplicações de tungstênio na indústria eletrônica japonesa* (japonês) - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tóquio, 1925[12] *Registros mineralógicos na região árabe* (árabe) - Departamento de Geologia, Universidade do Cairo, Cairo, 1900

[13] *2023 Análise de mercado global de produtos de tungstênio* (inglês) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023[14] *Frontier Applications of Tungsten in Research* (Inglês) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

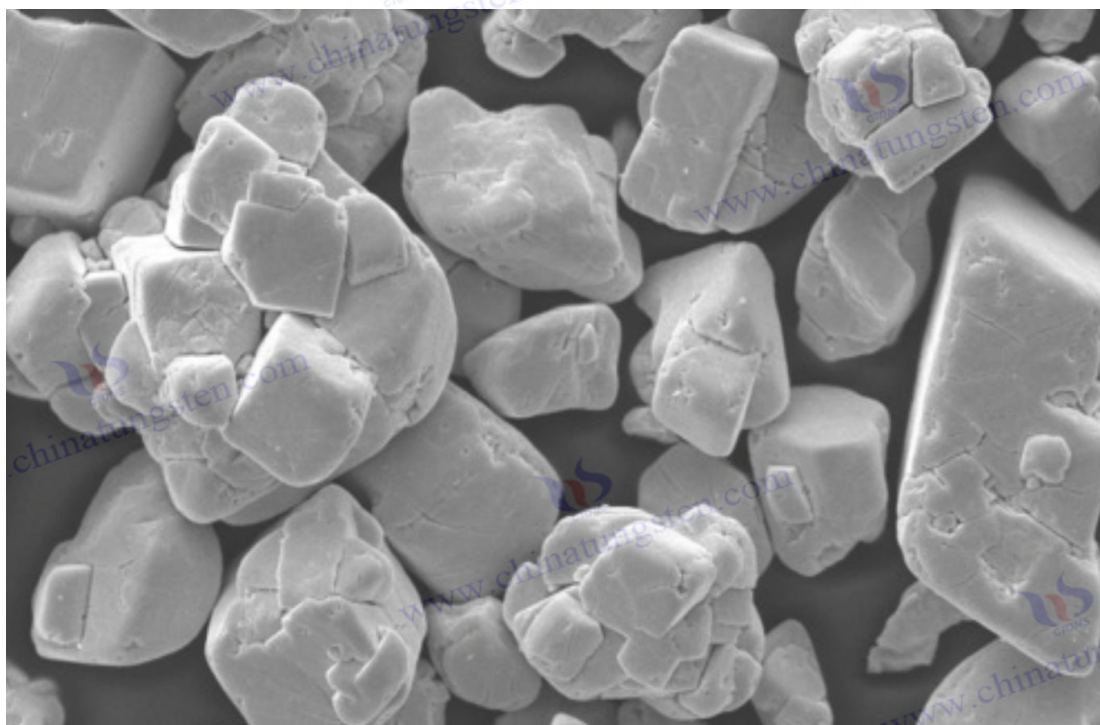
[16] *Fundamentos da Química do Tungstênio* (Alemão) - H.C. Starck GmbH, Munique, 1998[17] *Propriedades dos compostos de tungstênio* (russo) - Departamento de Química, Universidade Estatal de Moscovo, Moscovo, 2000[18] *Química de alta temperatura de óxidos de tungstênio* (russo) - Academia Russa de Ciências, Moscovo, 1995[19] *Estabilidade Química de Tungstados* (Inglês) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Electronic Materials Research on Tungsten Oxides* (Japonês) - Tokyo University Press, Tóquio, 2010[21] *Organometallic Tungsten Compounds* (Inglês) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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





## Quais são os produtos químicos de tungstênio?

Apêndice: Lista de produtos químicos e compostos de tungstênio apresentados no livro  
(Por Categoria de Produto)

### 1. Óxidos de tungstênio

Produtos	Fórmula	Propriedades químicas	Propriedades físicas	Utilizações
Tungstênio Trióxido	WO <sub>3</sub>	Forte atividade redox, redutível a W ou óxidos inferiores, eletrocromática	Pó amarelo a verde, MP 1473°C, densidade 7,16 g/cm <sup>3</sup>	Fotocatalisadores, aditivos cerâmicos, sensores de gás, janelas eletrocromáticas, fonte W reciclada
Tungstênio	WO <sub>2</sub>	Oxidável a WO <sub>3</sub> , altamente redutor	Cristais castanhos, MP	Intermediários de materiais eletrônicos,

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Dióxido			~1700°C, densidade 10,8 g/cm <sup>3</sup>	pesquisa de catalisadores
Pentóxido de ditungstênio	W <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Não estequiométrico, entre WO <sub>2</sub> e WO <sub>3</sub> , menos estável	Cor variável, baixa estabilidade térmica	Investigação sobre nanomateriais e revestimentos condutores
Tungstênio Azul Variante de óxido	W <sub>18</sub> O <sub>49</sub>	Ligeiramente reduzido, exibe propriedades fotoelétricas	Cristais azuis semelhantes a agulhas, MP ~800°C	Detetores fotoelétricos, sensores de gás
GRUPO CTIA				

## 2. Ácidos tungsticos e tungstato

Produtos	Fórmula	Propriedades químicas	Propriedades físicas	Utilizações
Tungstica Ácido	H <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	Ligeiramente solúvel, fracamente ácido (pKa ~2.2), decompõe-se termicamente em WO <sub>3</sub>	Pó amarelo, decompõe-se ~250°C, densidade 5,5 g/cm <sup>3</sup>	Preparação de óxidos de alta pureza, reagente químico, intermediário de reciclagem
Tungstato de Sódio	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	Altamente solúvel em água (730 g/L a 20°C), fracamente alcalino (pH 8-9)	Cristais brancos (dihidratados), perde água ~300°C, densidade 3,25 g/cm <sup>3</sup>	À prova de fogo, pesquisa biológica, síntese de compostos W, reciclagem
Paratungstato de amônio	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	Decompõe-se termicamente em WO <sub>3</sub> , decomponível por ácido	Cristais brancos, decompõem-se ~250°C, densidade 4,6 g/cm <sup>3</sup>	Produção de pó de tungstênio, catalisador intermediário, fonte de reciclagem
Tungstato de cálcio	CaWO <sub>4</sub>	Altamente estável, quase insolúvel (<0,01 g/100 ml)	Cristais brancos, MP ~1620°C, densidade 6,06 g/cm <sup>3</sup>	Materiais fluorescentes, detetores de raios X
Metatungstato de amônio	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> H <sub>2</sub> W <sub>12</sub> O <sub>40</sub>	A estrutura do polioxo, estável em condições ácidas, decompõe-se em WO <sub>3</sub>	Cristais brancos, perde água ~200°C, densidade ~4,0 g/cm <sup>3</sup>	Catalisadores de alta pureza, reagentes analíticos
GRUPO CTIA				

## 3. Haletos de tungstênio

Produtos	Fórmula	Propriedades químicas	Propriedades físicas	Utilizações
Hexacloro de tungstênio	WCl <sub>6</sub>	Altamente volátil, reativo, hidrolisa em HCl e oxicloretos	Cristais azuis profundos, MP 275°C, BP 347°C	Catalisadores de síntese orgânica, deposição de película fina
Hexafluoreto de tungstênio	WF <sub>6</sub>	Altamente volátil, mais estável que WCl <sub>6</sub> , hidrolisa em HF	Gás incolor, MP 2.3°C, BP 17.1°C	CVD de semicondutores para filmes metálicos W
Tetracloro de tungstênio	WCl <sub>4</sub>	Fortemente redutor, facilmente oxidado, hidrolisável	Cristais verdes, decompõem-se ~200°C	Materiais eletrônicos, pesquisa de catálise
Pentacloro de tungstênio	WCl <sub>5</sub>	Estado de oxidação intermédio, decomponível, hidrolisável	Cristais vermelhos escuros, decompõem-se ~400°C	Pesquisa de catálise

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dióxido de tungstênio	WI <sub>2</sub>	Instável, facilmente oxidável, hidrolisável	Cristais pretos, decompõem-se ~600°C	Materiais eletrônicos especiais
Dibrometo de tungstênio	WBr <sub>2</sub>	Moderadamente estável, resistente à corrosão	Cristais escuros, decompõem-se ~700°C	Pesquisa de materiais eletrônicos
				GRUPO CTIA

#### 4. Carbonetos e nitretos

Produtos	Fórmula	Propriedades químicas	Propriedades físicas	Utilizações
Carboneto de tungstênio	WC	Alta dureza, resistente à corrosão, fortemente resistente à oxidação	Produto pulverulento preto ou cinzento-preto, MP 2870°C, densidade 15,63 g/cm <sup>3</sup>	Ferramentas de corte, equipamento de mineração, revestimentos resistentes ao desgaste, reciclagem
Carboneto de ditungstênio	W <sub>2</sub> C	Ligeiramente menos duro que o WC, resistente à corrosão	Cristais pretos, MP ~2750°C, densidade 17,15 g/cm <sup>3</sup>	Materiais resistentes ao desgaste, revestimentos compostos
Carbonitrída de tungstênio	WC <sub>1-x</sub> N <sub>x</sub>	Combina características de carboneto e nitreto, resistentes à corrosão	Cristais cinza-preto, MP ~2000°C, a densidade varia	Revestimentos resistentes ao desgaste, aplicações a altas temperaturas
Nitreto de tungstênio	WN	Resistente à corrosão, semicondutor	Cristais cinzentos escuros, decompõem-se ~1000°C, densidade 14,5 g/cm <sup>3</sup>	Revestimentos resistentes ao desgaste, materiais eletrônicos
				GRUPO CTIA

#### 5. Sulfetos e fosfetos de tungstênio

Produtos	Fórmula	Propriedades químicas	Propriedades físicas	Utilizações
Dissulfeto de tungstênio	WS <sub>2</sub>	Baixo atrito, oxida em WO <sub>3</sub> , lubrifica	Cristais cinza escuro a preto, MP ~1200°C, densidade 7,5 g/cm <sup>3</sup>	Lubrificantes sólidos, dispositivos eletrônicos, materiais 2D
Trissulfeto de ditungstênio	W <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Menos estável, facilmente oxidado	Cristais pretos, decompõem-se ~800°C	Pesquisa de catálise
fosfeto de tungstênio	PT	Semicondutor de intervalo de banda estreito, catalítico	Cristais cinza-preto, decompõem-se ~900°C, densidade 12,5 g/cm <sup>3</sup>	Catalisadores, materiais resistentes ao desgaste
Difosfeto de tungstênio	WP <sub>2</sub>	Atividade catalítica elevada, moderadamente estável	Cristais pretos, decompõem-se ~1000°C, densidade ~11 g/cm <sup>3</sup>	Pesquisa de catálise
				GRUPO CTIA

#### 6. Selenídeos e Teluretos

Produtos	Fórmula	Propriedades químicas	Propriedades físicas	Utilizações
Diselenida de tungstênio	WSe <sub>2</sub>	Semicondutor, bandgap direto em monocamada, oxida em WO <sub>3</sub>	Cristais cinza escuro a preto, MP ~1100°C, densidade 9,32 g/cm <sup>3</sup>	Dispositivos optoeletrônicos, materiais 2D, armazenamento de energia

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ditelureto de tungstênio	WTe <sub>2</sub>	Semi-metálico, fracamente magnético, altamente condutor	Cristais cinza-preto, MP ~1000°C, densidade 9,43 g/cm <sup>3</sup>	Dispositivos eletrônicos, materiais topológicos
				GRUPO CTIA

## 7. Silicidas e Germanídeos de Tungstênio

Produtos	Fórmula	Propriedades químicas	Propriedades físicas	Utilizações
Disilicida de tungstênio	WSi <sub>2</sub>	Altamente condutor, resistente à corrosão, resistente à oxidação	Cristais cinzentos, MP 2160°C, densidade 9,4 g/cm <sup>3</sup>	Camadas condutoras microeletrônicas, camadas de barreira, revestimentos de alta temperatura (Cap. 13)
Digermanida de tungstênio	WGe <sub>2</sub>	Boa condutividade, resistente a altas temperaturas	Cristais cinza-preto, MP ~1500°C, densidade 10,8 g/cm <sup>3</sup>	Materiais semicondutores, eletrônica de alta temperatura (Cap. 13)
				GRUPO CTIA

## 8. Borídeos e Arsênidos

Produtos	Fórmula	Propriedades químicas	Propriedades físicas	Utilizações
Borídeo de tungstênio	BM	Extremamente duro, resistente à corrosão e à oxidação	Cristais pretos ou cinzentos escuros, MP ~2600°C, densidade 15,3 g/cm <sup>3</sup>	Revestimentos resistentes ao desgaste, cerâmica de alta temperatura, ferramentas de corte (Cap. 13)
Tungstênio Diarsenide	WAs <sub>2</sub>	Cataliticamente ativo, tóxico, moderadamente estável	Cristais pretos, MP ~1200°C, densidade 11,5 g/cm <sup>3</sup>	Pesquisa de catálise (Cap. 13)
				GRUPO CTIA

## 9. Compostos organometálicos

Produtos	Fórmula	Propriedades químicas	Propriedades físicas	Utilizações
Tungstênio Hexacarbonilo	W(CO) <sub>6</sub>	Decomposição oxidativa altamente volátil, fortemente coordenada e sensível à luz	Cristais brancos, MP ~170°C, sublimes ~175°C	Catalisadores, síntese orgânica, deposição de película fina
Dicloreto de tungstenoceno	Cp <sub>2</sub> WCl <sub>2</sub>	Altamente coordenável, sensível à água, termicamente decomponível	Cristais verdes, decompõe-se ~230°C	Catálise organometálica, síntese orgânica
Tungstenoceno Tetracarbonilo	CpW(CO) <sub>4</sub>	Fortemente coordenado, sensível ao oxigênio	Cor pouco clara, decompõe-se ~150°C	Pesquisa de catálise
Hexametiltungstênio	W(CH <sub>3</sub> ) <sub>6</sub>	Extremamente instável, facilmente decomponível	Instável, requer armazenamento a baixa temperatura, decompõe-se em RT	Investigação de precursores catalisadores
Dicianeto de tungstênio	W(CN) <sub>2</sub>	Instável, facilmente oxidável, hidrolisável	Cristais escuros, decompõem-se ~300°C	Catalisadores especiais, investigação em química de coordenação (Cap. 13)

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 10. Catalisadores e reagentes contendo tungstênio

Produtos	Fórmula	Propriedades químicas	Propriedades físicas	Utilizações
Ácido fosfotúngstico	$H_3PW_{12}O_{40}$	Fortemente ácido ( $pK_a < 0$ ), altamente catalítico	Cristais brancos ou amarelos pálidos, decompõem-se $\sim 300^\circ C$ , densidade $\sim 4 \text{ g/cm}^3$	Catálise de síntese orgânica, petroquímica, reagentes analíticos
Ácido Silicotúngstico	$H_4SiW_{12}O_{40}$	Fortemente ácido, redox-ativo	Cristais incolores ou amarelos claros, decompõem-se $\sim 350^\circ C$ , densidade $\sim 4 \text{ g/cm}^3$	Catálise ácida, reações de oxidação, células de combustível
Tungstato de zinco	$ZnWO_4$	Fotocataliticamente ativo, altamente estável	Cristais brancos, MP $\sim 1000^\circ C$ , densidade $\sim 7.8 \text{ g/cm}^3$	Fotocatalisadores, materiais fluorescentes
Tungstato de amônio	$(NH_4)_2WO_4$	Decompõe-se termicamente em $WO_3$ , fracamente básico	Cristais brancos, decompõem-se $\sim 200^\circ C$ , densidade $\sim 2,8 \text{ g/cm}^3$	Intermediários catalisadores, reagentes analíticos
Molibdato de tungstênio	$WMoO_4$	Fotocataliticamente ativo, moderadamente estável	Cristais brancos ou amarelos claros, MP $\sim 950^\circ C$ , densidade $4,5 \text{ g/cm}^3$	Degradação fotocatalítica de orgânicos (Cap. 13)

## 11. Produtos químicos farmacêuticos contendo tungstênio

Produtos	Fórmula	Propriedades químicas	Propriedades físicas	Utilizações
Tungstato de Sódio Nanopartículas	$Na_2WO_4$	Bioativo, antioxidante, estável	Nanopartículas brancas ou transparentes (10-100 nm), perde água $\sim 300^\circ C$	Anti-diabético, anti-câncer, pesquisa antibacteriana
Nanopartículas de polioxotungstato	Polioxo (por exemplo, $W_{12}O_{40}^{6-}$ )	Estrutura em polioxo, antioxidante, bioativo	Nanopartículas brancas ou leves (20-100 nm), decompõem-se $\sim 400^\circ C$	Anticancerígeno, antiviral, administração de medicamentos
Tungstato de cálcio Nanopartículas	$CaWO_4$	Fluorescente, biocompatível	Nanopartículas brancas, MP $\sim 1000^\circ C$ , densidade $6,06 \text{ g/cm}^3$	Bioimagem
Trióxido de tungstênio Nanopartículas	$WO_3$	Fotocataliticamente ativo, bioativo	Nanopartículas amarelas, MP $\sim 500^\circ C$ , densidade $7,16 \text{ g/cm}^3$	Bioimagem, administração de fármacos fotocatalíticos

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT





## Quais são os produtos químicos de tungstênio? Capítulo 14: Segurança na produção e utilização de tungstênio

### 14.1 Normas de Segurança na Produção Química de Tungstênio

A produção de produtos químicos de tungstênio (W, Tungstênio) envolve altas temperaturas, altas pressões, substâncias tóxicas e processos complexos, colocando desafios significativos de segurança que afetam diretamente a saúde dos trabalhadores, a confiabilidade dos equipamentos e a qualidade ambiental. O estabelecimento de normas de segurança abrangentes é fundamental para garantir uma produção sustentável. Esta secção explora as práticas de gestão da segurança na produção através da avaliação de riscos, equipamentos de segurança e medidas de proteção, bem como regulamentos internacionais.

#### 14.1.1 Avaliação de Riscos no Processo de Produção

A produção química de tungstênio implica vários perigos potenciais, exigindo avaliações de risco sistemáticas para identificar e mitigar perigos. Métodos como HAZOP (Análise de Perigos e Operabilidade) ou FMEA (Análise de Modo e Efeitos de Falha) são normalmente empregados para garantir que todas as etapas do processo sejam cobertas.

##### 14.1.1.1 Riscos de operações de alta temperatura e alta pressão

A produção de produtos químicos de tungstênio como trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de tungstênio), carboneto de tungstênio (WC, carboneto de tungstênio) e hexafluoreto de tungstênio ( $WF_6$ , hexafluoreto de tungstênio) muitas vezes requer temperaturas superiores a 1000-2000°C e pressões como 10-100 atm em processos CVD. Altas temperaturas podem causar superaquecimento, derretimento ou incêndios do

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

equipamento; por exemplo, durante a torrefação de trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de Tungstênio), temperaturas superiores a  $2000^\circ C$  podem levar à rutura do forno. A alta pressão representa riscos de explosão ou vazamento, como visto na produção de hexafluoreto de tungstênio ( $WF_6$ , hexafluoreto de tungstênio), onde a falha da vedação pode desencadear um aumento de pressão e explosão. Um incidente de 2018 em uma instalação, onde equipamentos de alta pressão sem manutenção vazaram, resultou em ferimentos leves em dois trabalhadores e tempo de inatividade da produção.

### Medidas de mitigação

Use materiais resistentes a altas temperaturas (por exemplo, ligas de quartzo ou molibdênio) para reatores, instale sensores de temperatura e pressão em tempo real, equipe com válvulas automáticas de alívio de pressão (definidas em 1,5 vezes a pressão nominal) e realize inspeções de vasos de pressão a cada seis meses.

#### 14.1.1.2 Controlo das emissões de gases tóxicos

Os processos de produção muitas vezes liberam gases tóxicos, como fluoreto de hidrogênio (HF) da síntese de hexafluoreto de tungstênio ( $WF_6$ , hexafluoreto de tungstênio), cloreto de hidrogênio (HCl) da hidrólise de hexacloro de tungstênio ( $WCl_6$ , hexacloro de tungstênio) e sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ) da produção de dissulfeto de tungstênio ( $WS_2$ , dissulfeto de tungstênio). Estes gases são altamente corrosivos e tóxicos; A IC tem um valor-limite limiar (VLT) de 3 ppm e pode causar edema pulmonar em altas concentrações, enquanto a LVT do HCl é de 2 ppm, com exposição potencialmente queimando pele e vias respiratórias. As emissões não controladas também podem poluir o ambiente, como evidenciado por uma instalação onde os gases de escape não tratados baixaram o pH do solo próximo para menos de 5,0.

### Medidas de mitigação

Instale sistemas de tratamento de exaustão de vários estágios (por exemplo, lavadores alcalinos + adsorção de carvão ativado) para manter as emissões abaixo dos limites OSHA (por exemplo, HF < 3 ppm), use detetores de gás (por exemplo, detetores HF portáteis, faixa de 0-10 ppm) e inspecione rotineiramente os selos de tubulação.

#### 14.1.2 Equipamentos de segurança e medidas de proteção

Para mitigar eficazmente os riscos, a produção química de tungstênio requer equipamento de segurança especializado e equipamento de proteção individual para garantir a segurança do processo e a saúde dos trabalhadores.

##### 14.1.2.1 Instalações de ventilação e à prova de explosão

As instalações de produção devem dispor de sistemas de ventilação de elevada eficiência, tais como unidades de escape de pressão negativa (caudal de ar  $\geq$  de  $5000 \text{ m}^3/\text{h}$ ), para

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

diluir e remover gases tóxicos, mantendo os níveis de poluentes abaixo dos limiares de segurança. Por exemplo, a produção de hexafluoreto de tungstênio ( $WF_6$ , hexafluoreto de tungstênio) requer reatores fechados com taxas de ventilação de 6-10 trocas de ar por hora. Instalações à prova de explosão, incluindo iluminação à prova de explosão (atendendo aos padrões IECEx), armários elétricos à prova de explosão e válvulas de alívio de pressão (definidas em 1,5 vezes a classificação do equipamento), são essenciais para lidar com os riscos de explosão de altas temperaturas e pressões. Um estudo de caso mostrou uma instalação com intoxicação menor por HCl devido à ventilação inadequada, resolvida com a atualização do sistema, reduzindo significativamente os incidentes.

### Recomendações de implementação

Inspecione filtros de ventilação mensalmente, teste equipamentos à prova de explosão anualmente para garantir a conformidade com as normas ATEX ou GB/T 3836.

#### 14.1.2.2 Equipamentos de proteção individual (EPI)

Os trabalhadores devem usar EPI abrangentes, incluindo luvas resistentes a ácidos/alcalinos (por exemplo, nitrilo  $\geq 0,4$  mm de espessura), respiradores (por exemplo, máscaras integrais para HF e HCl, cumprindo as normas NIOSH N100), fatos resistentes a produtos químicos (de acordo com a norma EN 14605) e botas de segurança (antiderrapantes, resistentes a furos). O manuseio de hexacloro de tungstênio ( $WCl_6$ , hexacloro de tungstênio) requer respiradores de ar fornecido devido à sua volatilidade e produtos de hidrólise corrosiva. A formação regular (por exemplo, trimestral) garante a utilização adequada dos EPI e os procedimentos de remoção de emergência.

### Precauções

Verifique a integridade dos EPI após o uso, substitua os itens danificados imediatamente e armazene os trajes limpos em recipientes lacrados.

#### 14.1.3 Normas e Regulamentos Internacionais de Segurança

A produção química de tungstênio deve aderir às regulamentações internacionais e nacionais para garantir conformidade e segurança.

##### 14.1.3.1 Normas OSHA e ECHA

A Administração de Segurança e Saúde Ocupacional dos EUA (OSHA), sob sua *Norma de Comunicação de Perigos* (29 CFR 1910.1200), exige avaliações de risco detalhadas e Fichas de Dados de Segurança do Material (MSDS), como um limite de exposição permitido (PEL) de  $5 \text{ mg/m}^3$  para poeira de trióxido de tungstênio ( $WO_3$ , Trióxido de Tungstênio). A Agência Europeia dos Produtos Químicos (ECHA) ao abrigo do Regulamento REACH (CE n.º 1907/2006) exige o registo e a avaliação dos riscos dos compostos de tungstênio, listando o hexafluoreto de tungstênio ( $WF_6$ , hexafluoreto de tungstênio) como uma

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



substância que suscita elevada preocupação (SVHC) com controlos de emissões rigorosos. Estas normas salvagam a segurança da produção e a saúde pública.

### Dicas de conformidade

Atualize anualmente a FDSM e realize anualmente autoauditorias de conformidade com a OSHA/ECHA.

#### 14.1.3.2 Normas de produção de segurança chinesas

A Lei de Produção de Segurança da China (revista em 2021) e o Regulamento sobre Gestão da Segurança de Produtos Químicos Perigosos (Decreto nº 591 do Conselho de Estado) estipulam que a produção química de tungstênio deve cumprir o GB 16297-1996 (Norma de Emissão Abrangente para Poluentes Atmosféricos, por exemplo, HCl < 0,2 mg/m<sup>3</sup>) e o GB 8978-1996 (Norma Integrada de Descarga de Águas Residuais, por exemplo, L < 1 mg/l). As empresas exigem uma licença de produção química perigosa e inspeções de segurança anuais. Um exemplo: uma instalação multada em 500.000 RMB por excesso de águas residuais melhorou seu processo de tratamento para cumprir.

### Dicas de implementação

Instale sistemas de monitorização online, apresente relatórios trimestrais de emissões às autoridades ambientais.

### Dica

A produção química de tungstênio requer uma avaliação de risco completa de perigos de alta temperatura, alta pressão e gases tóxicos, equipada com ventilação avançada, sistemas à prova de explosão e EPI, ao mesmo tempo em que cumpre rigorosamente as regulamentações internacionais e chinesas para garantir a segurança dos trabalhadores e do meio ambiente.

## 14.2 Gestão da Segurança na Utilização de Produtos Químicos de Tungstênio

O uso generalizado de produtos químicos de tungstênio em aplicações industriais, laboratoriais e médicas requer gerenciamento de segurança personalizado para mitigar riscos potenciais. Esta secção examina orientações de segurança detalhadas nestes contextos.

### 14.2.1 Diretrizes de segurança para uso industrial

Produtos químicos de tungstênio como carboneto de tungstênio (WC, carboneto de tungstênio) e trióxido de tungstênio (WO<sub>3</sub>, trióxido de tungstênio) são prevalentes na indústria, exigindo procedimentos padronizados para garantir a segurança.

#### 14.2.1.1 Requisitos de armazenamento e transporte

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Os produtos químicos de tungstênio devem ser armazenados em armazéns secos e bem ventilados, evitando a luz solar direta e a umidade. Por exemplo, o tungstato de sódio ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , tungstato de sódio) deve ser selado em tambores de aço revestidos de plástico, mantidos a  $5\text{-}30^\circ\text{C}$  e  $<60\%$  de umidade para evitar a absorção de umidade e aglomeração. O transporte requer recipientes certificados pela ONU (por exemplo, tambores ou cilindros de aço selados) com juntas à prova de vazamentos e válvulas de pressão, marcados com etiquetas de perigo (por exemplo, ONU 2811 para tungstato de sódio) para resistir ao trânsito sem choques ou exposição ao calor. Um incidente passado envolveu pequenas fugas de hexafluoreto de tungstênio ( $\text{WF}_6$ , Hexafluoreto de Tungstênio) devido a uma impermeabilização deficiente, corroendo um caminhão; O empacotamento aprimorado resolveu esse problema.

### Tramitação processual

Designar áreas de armazenamento com sinalização à prova de fogo e à prova de umidade, inspecionar a integridade da embalagem por lote, equipar veículos de transporte com kits de emergência (por exemplo, agentes neutralizantes, respiradores).

#### 14.2.1.2 Gestão de resíduos e resposta a derrames

Os resíduos industriais (por exemplo, poeiras de carboneto de tungstênio, resíduos de trióxido de tungstênio) devem ser tratados como perigosos, recolhidos em recipientes selados e entregues a entidades licenciadas de eliminação de resíduos perigosos para evitar a contaminação do solo ou da água. Em cenários de derramamento, isole imediatamente a área, use EPI (por exemplo, respiradores, trajes de proteção), neutralize derramamentos ácidos (por exemplo, hexafluoreto de tungstênio  $\text{WF}_6$  com carbonato de sódio para formar  $\text{NaF}$  e  $\text{WO}_3$ ) e ventile imediatamente, coletando o material derramado em recipientes selados. Uma fábrica uma vez atrasou a resposta a um derramamento de hexafluoreto de tungstênio ( $\text{WCl}_6$ , hexafluoreto de tungstênio), causando intoxicação por inalação leve; Os protocolos de emergência pós-incidente reduziram os incidentes a zero.

### Protocolo de Emergência

Desligue as fontes de gás, evacue contra o vento, cubra derrames sólidos com areia, comunique às autoridades ambientais e registre incidentes.

#### 14.2.2 Precauções de segurança em uso laboratorial

O manuseamento laboratorial de produtos químicos de tungstênio (por exemplo,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{WCl}_6$ ) exige medidas de proteção rigorosas e gestão de resíduos.

##### 14.2.2.1 Manuseamento de reagentes e gestão de resíduos

As operações com trióxido de tungstênio ( $\text{WO}_3$ , Trióxido de Tungstênio) devem ocorrer

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

num exaustor, com o pessoal a usar óculos de segurança (em conformidade com a norma EN 166), luvas resistentes a produtos químicos (nitrilo) e jalecos de laboratório para evitar a inalação de pó. O hexafluoreto de tungstênio ( $WCl_6$ , hexafluoreto de tungstênio), devido à sua volatilidade e corrosividade, requer um porta-luvas selado e respiradores filtrados. Os resíduos líquidos (por exemplo, contendo W) devem ser neutralizados com álcalis (por exemplo, 10% de NaOH) e recolhidos em recipientes de resíduos perigosos, enquanto os resíduos sólidos (por exemplo, papel de filtro contaminado) vão para sacos selados para eliminação profissional, evitando a descarga de esgotos. Um laboratório uma vez corroeu seus dutos de ventilação devido à exaustão de hexafluoreto de tungstênio ( $WF_6$ , hexafluoreto de tungstênio) não tratada, resolvida por um melhor manuseio de gases residuais.

### Dicas de Segurança

Verificar o fluxo de ar do exaustor ( $\geq 0,5$  m/s) antes das experiências, eliminar os resíduos semanalmente, manter registros de eliminação.

### 14.2.3 Segurança biológica em aplicações médicas

Os produtos químicos farmacêuticos que contêm tungstênio, tais como nanopartículas de tungstato de sódio, requerem avaliações de risco biológico.

#### 14.2.3.1 Avaliação da toxicidade de drogas tungstatas

O tungstato de sódio ( $Na_2WO_4$ , tungstato de sódio) mostra baixa toxicidade em estudos antidiabéticos, com uma DL50 (oral, ratos) de  $\sim 2230$  mg/kg, embora doses elevadas ( $>500$  mg/kg) possam causar desconforto gastrointestinal e pequenas alterações da função renal. A exposição crônica pode levar à acumulação de tungstênio no fígado e nos rins, necessitando de testes de toxicidade subcrônica de 90 dias em ratos e ensaios de citotoxicidade (por exemplo, MTT) de acordo com as diretrizes da ICH M3(R2) para estabelecer relações dose-efeito para a segurança clínica. A investigação indica que uma dose diária de 50 mg/kg em ratinhos não mostra toxicidade significativa, apoiando o desenvolvimento posterior.

### Procedimentos de Segurança

Desenvolver POPs para biossegurança, exigir EPI para o pessoal do laboratório, diluir e precipitar resíduos líquidos antes do descarte.

### Dica

O uso de produtos químicos de tungstênio exige procedimentos personalizados para ambientes industriais, laboratoriais e médicos, garantindo armazenamento, transporte, gerenciamento de resíduos e segurança biológica seguros.

### 14.3 Amostras MSDS típicas para produtos químicos chave de tungstênio

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

As Fichas de Dados de Segurança do Material (MSDS) são fundamentais para o gerenciamento da segurança química do tungstênio, detalhando perigos, requisitos de manuseio e protocolos de emergência. Seguem-se amostras típicas de FDSM baseadas nas normas OSHA e ECHA.

#### 14.3.1 Trióxido de tungstênio (WO<sub>3</sub>, Trióxido de tungstênio) MSDS

##### 14.3.1.1 Identificação e composição química

**Designação:** Trióxido de tungstênio

**Fórmula:** WO<sub>3</sub>

**Pureza:** >99%

**CAS no.:** 1314-35-8

**Peso Molecular:** 231,84 g/mol.

##### 14.3.1.2 Visão geral dos perigos

###### Classe de perigo

Toxicidade aguda por inalação (categoria 4), a inalação de poeiras pode irritar o trato respiratório, a exposição crônica pode causar fibrose pulmonar (TLV-TWA 5 mg/m<sup>3</sup>).

###### Perigos físicos

Não explosivo, não inflamável.

##### 14.3.1.3 Requisitos de manuseamento e armazenamento

###### Manuseamento

Opere em áreas ventiladas, use máscaras e óculos N95, evite a dispersão de poeira.

###### Armazenamento

Selar em recipientes secos, a 5-35°C, longe de ácidos e agentes redutores.

##### 14.3.1.4 Medidas de emergência

###### Inalação

Deslocar-se para o ar fresco, procurar assistência médica se a respiração for difícil;

###### Contacto com a pele

Lave com água e sabão por 15 minutos;

###### Contacto visual

Enxaguar com água por 15 minutos, procurar ajuda médica;

###### Derramamento

Recolha com um aspirador, evite a geração de pó.

#### 14.3.2 FDSM de carboneto de tungstênio

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

#### 14.3.2.1 Identificação e composição química

**Designação:** Carboneto de tungsténio

**Fórmula:** WC

**Pureza:** >99%

**N.º CAS:** 12070-12-1

**Peso Molecular:** 195,85 g/mol.

#### 14.3.2.2 Visão geral dos perigos

##### Classe de perigo

Toxicidade Inalatória Crónica (Categoria 2), a inalação de poeiras pode causar fibrose pulmonar (TLV-TWA 10 mg/m<sup>3</sup>).

##### Perigos físicos

As poeiras não inflamáveis podem representar um risco de explosão.

#### 14.3.2.3 Requisitos de manuseamento e armazenamento

##### Manuseamento

Use máscaras e luvas, processe em áreas ventiladas, evite o acúmulo de poeira.

##### Armazenamento

Recipientes selados a seco, longe de fontes de ignição e ácidos.

#### 14.3.2.4 Medidas de emergência

##### Inalação

Deslocar-se para área ventilada, procurar ajuda médica se grave;

##### Contacto com a pele

Enxaguar com água;

##### Derramamento

Cubra com pano húmido e recolha, evite a propagação de pó.

#### 14.3.3 Tungstato de sódio (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, tungstato de sódio) MSDS

##### 14.3.3.1 Identificação e composição química

**Designação:** Tungstato de sódio

**Fórmula:** Na<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

**Pureza:** >98%

**N.º CAS:** 13472-45-2

**Peso Molecular:** 293,82 g/mol.

##### 14.3.3.2 Visão geral dos perigos

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



#### Classe de perigo

#### Toxicidade oral aguda (categoria 4)

DL50 (ratinhos) 2230 mg/kg,

#### irritação ocular (categoria 2B). Perigos físicos

Não explosivo.

#### 14.3.3.3 Requisitos de manuseamento e armazenamento

##### Manuseamento

Use luvas e óculos de proteção, evite a inalação de poeira.

##### Armazenamento

Recipientes selados, à prova de umidade, 5-30°C, longe de ácidos fortes.

#### 14.3.3.4 Medidas de emergência

##### Ingestão

Induzir o vômito e procurar ajuda médica;

##### Contacto visual

Enxaguar com água durante 15 minutos;

##### Derramamento

Varre, evitar a dispersão de poeira.

#### 14.3.4 Hexafluoreto de tungstênio (WF<sub>6</sub>, hexafluoreto de tungstênio) MSDS

##### 14.3.4.1 Identificação e composição química

**Designação:** Hexafluoreto de tungstênio

**Fórmula:** WF<sub>6</sub>

**Pureza:** >99%

**N.º CAS:** 7783-82-6

**Peso Molecular:** 297,84 g/mol.

##### 14.3.4.2 Visão geral dos perigos

#### Classe de perigo

Toxicidade aguda por inalação (categoria 2), gás corrosivo (categoria 1), TLV 3 ppm, queimaduras graves por inalação ou contacto com a pele.

#### Perigos físicos

Gás pressurizado.

#### 14.3.4.3 Requisitos de manuseamento e armazenamento

##### Manuseamento

Use em exaustores, use respiradores e trajes de proteção, armazene em cilindros especializados. **Armazenamento**

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Cilindros selados a baixa temperatura, longe da água e dos agentes redutores.

#### 14.3.4.4 Medidas de emergência

##### **Inalação**

Deslocar-se para o ar fresco, procurar assistência médica imediata;

##### **Contacto com a pele**

Enxague com água abundante e procure ajuda;

##### **Derramamento**

Evacuar, neutralizar com solução de NaOH a 10%.

#### 14.3.5 Amostras de FDSM para outros produtos químicos importantes de tungstênio (por exemplo, APT, WS<sub>2</sub>)

##### **Paratungstato de amónio (APT, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>)**

Baixa toxicidade, a inalação de poeira pode irritar (TLV-TWA 5 mg/m<sup>3</sup>), manusear com proteção contra poeira, armazenar livre de umidade.

##### **Dissulfeto de tungstênio (WS<sub>2</sub>)**

Baixa toxicidade, a inalação pode causar desconforto nos pulmões, manusear com ventilação, armazenar seco e selado.

##### **Dica de referência**

Consulte as FDSM normalizadas da OSHA ou da ECHA com base em aplicações específicas.

##### **Dica**

As FDSM são essenciais para o manuseamento seguro de produtos químicos de tungstênio; Consulte amostras detalhadas adaptadas a utilizações específicas para compreender os perigos e os procedimentos de emergência.

#### 14.4 Desenvolvimentos futuros na tecnologia de segurança química de tungstênio

Os avanços na tecnologia estão impulsionando a segurança química do tungstênio em direção à inteligência, sustentabilidade e eficiência, aumentando a segurança na produção e no uso.

##### 14.4.1 Aplicações de IA na Produção de Segurança

A Inteligência Artificial (IA) aproveita os sensores IoT para monitorar parâmetros de produção (por exemplo, temperatura, pressão, níveis de gás) em tempo real, usando aprendizado de máquina para prever riscos. Por exemplo, a IA pode detetar anomalias de pressão na produção de hexafluoreto de tungstênio (WF<sub>6</sub>, hexafluoreto de tungstênio) com 5-10 minutos de antecedência, reduzindo as taxas de incidentes em até 30%. Uma

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

instalação que adota um sistema de monitoramento de IA viu os incidentes anuais caírem de 0,5% para 0,1%.

## TENDÊNCIAS

Desenvolva sistemas integrados de fábrica de IA com inspeções de drones para melhorar a supervisão da segurança.

### 14.4.2 Tendências em tecnologias de segurança ecológicas

As tecnologias verdes visam minimizar os riscos ambientais e para a saúde, incluindo substitutos não tóxicos (por exemplo, alternativas sem flúor para a produção de WF<sub>6</sub>), processos de emissão zero (por exemplo, recuperação de gases de escape em circuito fechado) e reciclagem eficiente (por exemplo, métodos úmidos e pirometalúrgicos do Capítulo 12). O processo sem flúor de uma empresa reduziu as emissões de HF em 90% na produção de WF<sub>6</sub>.

### Perspetivas

Promover a produção neutra em carbono e compostos de tungstênio biodegradáveis para reduzir os impactos ecológicos a longo prazo.

### Dica

A integração de IA e tecnologias verdes impulsionará a segurança química do tungstênio em direção a práticas mais inteligentes e sustentáveis, melhorando significativamente a segurança e os resultados ambientais.

### Fontes de Informação

[23] *Chemical Safety Manual* (Inglês) - OSHA, Washington, D.C., última edição [24] *Tungsten Chemical MSDS* (Multilingual) - ECHA, Helsínquia, última edição [25] *Tecnologia de Produção de Segurança* (Chinês) - Chinatungsten Online, 2023 [15] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

### Referências

[1] *The History and Applications of Tungsten* (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990 [2] *A Brief History of Tungsten Chemistry* (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005 [3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)  
[4] *Studies on the Naming of Tungsten* (Multilingual) - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), Londres, 1990 [5] *Aplicações do tungstênio na Revolução Industrial Britânica* (Inglês) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985 [6] *Early Industrialization of Tungsten Chemicals* (Francês) - Société Chimique de France, Paris, 1990 [7] *Global Tungsten Resource Distribution Report* (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023 [8] *Estudos sobre as propriedades físicas do tungstênio* (Inglês) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810 [9] *Tungstênio na Tabela Periódica* (russo) - Sociedade Química Russa, Moscovo, 1870 [10] *Aplicações de tungstênio na metalurgia russa* (russo) - Departamento de Química, Universidade de Moscovo, Moscovo, 1890 [11] *Aplicações de tungstênio na indústria electrónica*

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

japonesa (japonês) - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tóquio, 1925[12] *Registros mineralógicos na região árabe* (árabe) - Departamento de Geologia, Universidade do Cairo, Cairo, 1900[13] 2023 *Análise de mercado global de produtos de tungstênio* (inglês) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023[14] *Frontier Applications of Tungsten in Research* (Inglês) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn) [16] *Fundamentos da Química do Tungstênio* (Alemão) - H.C. Starck GmbH, Munique, 1998[17] *Propriedades dos compostos de tungstênio* (russo) - Departamento de Química, Universidade Estatal de Moscovo, Moscovo, 2000[18] *Química de alta temperatura de óxidos de tungstênio* (russo) - Academia Russa de Ciências, Moscovo, 1995[19] *Estabilidade Química de Tungstados* (Inglês) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000[20] *Electronic Materials Research on Tungsten Oxides* (Japonês) - Tokyo University Press, Tóquio, 2010[21] *Organometallic Tungsten Compounds* (Inglês) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005[22] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn) [23] *Chemical Safety Manual* (Inglês) - OSHA, Washington, D.C., última edição[24] *Tungstênio Chemical MSDS* (Multilingue) - ECHA, Helsínquia, última edição[25] *Tecnologia de Produção de Segurança* (Chinês) - Chinatungsten Online, 2023

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

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

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





## Quais são os produtos químicos de tungstênio?

**Manual de Segurança Química**  
OSHA, Washington, D.C.  
Última Edição  
Versão Simulada (março 2025)

### 1. Introdução e Objetivo

#### Objetivo

Garantir que empregadores e funcionários reconheçam e gerenciem os perigos químicos no local de trabalho, fornecendo diretrizes de segurança abrangentes.

#### Âmbito de aplicação

Aplica-se a todas as indústrias que lidam com produtos químicos perigosos, incluindo compostos de tungstênio (W, Tungstênio) como [trióxido de tungstênio \(WO<sub>3</sub>, Trióxido de Tungstênio\)](#) e [carboneto de tungstênio \(WC, Carboneto de Tungstênio\)](#).

#### Base jurídica

Fundamentado na Lei de Segurança e Saúde Ocupacional de 1970 e alinhado com o Sistema Globalmente Harmonizado (GHS) implementado em 2012 (revisão em vigor em 26 de maio de 2012).

### 2. Definição e identificação de produtos químicos perigosos

#### Definição

Produtos químicos que representam riscos físicos ou para a saúde (por exemplo, inflamáveis, tóxicos, corrosivos, reativos), tais como tungstato de sódio (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, tungstato de sódio) com baixa toxicidade e hexafluoreto de tungstênio (WF<sub>6</sub>, hexafluoreto

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de tungstênio) com elevada corrosividade.

#### Identificação

Com base em propriedades físicas (por exemplo, ponto de fusão, volatilidade), propriedades químicas (por exemplo, oxidabilidade) e efeitos na saúde (por exemplo, irritação respiratória).

#### Exemplo

WO<sub>3</sub> identificado pelo seu risco de inalação de poeiras (PEL 5 mg/m<sup>3</sup>); WF<sub>6</sub> pela sua corrosividade gasosa (TLV 3 ppm).

### 3. Avaliação dos riscos e medidas de controlo

#### Riscos de alta temperatura e alta pressão

Os processos para WO<sub>3</sub> (torrefação a >1000°C) e WF<sub>6</sub> (CVD a 500-700°C, 10<sup>-2</sup>-10<sup>-3</sup> Torr) envolvem riscos térmicos e de pressão. O sobreaquecimento pode derreter o equipamento; picos de pressão podem causar explosões.

#### Controlos

Use reatores de quartzo/molibbdênio, sensores de temperatura/pressão em tempo real, válvulas de alívio automáticas (definidas em 1,5x a pressão nominal), inspecione os vasos semestralmente.

#### Emissões de Gases Tóxicos

HF (TLV 3 ppm) da produção de WF<sub>6</sub>, HCl (TLV 2 ppm) da hidrólise de WCl<sub>6</sub> representam riscos respiratórios e ambientais.

#### Controlos

Sistemas de exaustão de vários estágios (lavadores alcalinos + filtros de carbono), detetores de gás (faixa de 0-10 ppm), verificações regulares de tubulações.

#### Métodos de Avaliação

HAZOP/FMEA para avaliar todas as etapas do processo.

### 4. Rotulagem e Fichas de Dados de Segurança (FDS)

#### Requisitos de rotulagem:

Símbolos GHS (por exemplo, ponto de exclamação para WO<sub>3</sub>, corrosão para WF<sub>6</sub>), palavras-sinal (por exemplo, "Aviso" ou "Perigo"), advertências de perigo (por exemplo, H332: Nocivo por inalação), recomendações de prudência (por exemplo, P261: Evite respirar poeiras).

#### Forma SDS

Estrutura em conformidade com o GHS de 16 secções (ver FDSM da ECHA abaixo).

#### Exemplo

WO<sub>3</sub> SDS deve listar PEL 5 mg/m<sup>3</sup>, precauções contra poeiras; WF<sub>6</sub> inclui TLV 3 ppm, manuseamento de gás.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 5. Formação e Educação dos Colaboradores

### Conteúdo

Reconhecimento de perigos, compreensão de SDS, uso de EPI, procedimentos de emergência (por exemplo, neutralização de derramamentos de  $WF_6$ ).

### FREQUÊNCIA

Integração inicial, atualizações anuais.

### Exemplo

O treinamento sobre proteção contra poeira  $WO_3$  envolve o uso de máscara N95 e conscientização sobre ventilação.

## 6. Resposta a Emergências e Gestão de Incidentes

### Resposta do jogo:

$WO_3$ : Recolha o pó com vácuo, evite a dispersão.

$WCl_6$ : Neutralizar com 10% de NaOH, resíduos de vedação.

### Primeiros Socorros:

Inalação de HF: Passe para o ar fresco, procure cuidados imediatos.

Contacto com a pele: Enxaguar com água durante 15 minutos, com assistência médica, se necessário.

### Apresentação de relatórios

Registre incidentes de acordo com os requisitos da OSHA, notifique as autoridades se os limites forem excedidos (por exemplo, liberação de HF de >1 lb).

## 7. Conformidade e inspeções

### Requerimentos

Autoauditorias anuais, garantir a disponibilidade da FDS, conformidade com EPI.

### Sanções

A não conformidade (por exemplo, SDS ausente) pode incorrer em multas de até US\$ 70.000 por violação.

### Exemplo

A instalação  $WO_3$  deve manter os níveis de poeira <5 mg/m<sup>3</sup>, verificados por amostragem de ar.

### Exemplos específicos de tungstênio

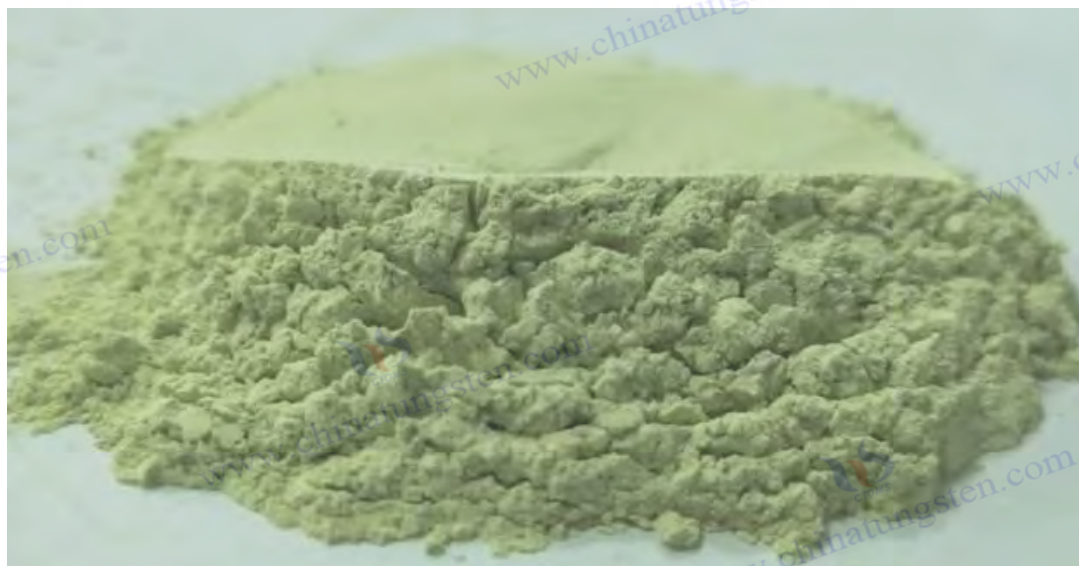
#### Trióxido de tungstênio ( $WO_3$ )

Poeira PEL 5 mg/m<sup>3</sup>, requer máscaras N95, ventilação ≥ 5000 m<sup>3</sup>/h.

#### Hexafluoreto de tungstênio ( $WF_6$ )

TLV 3 ppm, mandatos reatores selados, respiradores integrais.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## MSDS Tungsten Chemical (Multilingue)

ECHA, Helsínquia, Última edição

Versão Simulada (março 2025)

Segue-se uma simulação pormenorizada de uma FDSM para uma substância química representativa do tungsténio, o *Trióxido de Tungsténio (WO<sub>3</sub>)*, seguindo o formato GHS de 16 secções, com aplicabilidade multilingue assumida (traduções disponíveis através da base de dados da ECHA).

### 1. Identificação da substância/mistura e da empresa/empresa

**Nome do produto:** Trióxido de tungstênio

**Fórmula química:** WO<sub>3</sub>

**Numero CAS:** 1314-35-8

**Fornecedor:** Example Company, Helsínquia, Finlândia, Tel: +358-123-456-789

**Contato de emergência:** +358-987-654-321 (24/7)

### 2. Identificação dos perigos

**Classificação GHS:** Toxicidade Aguda, Inalação (Categoria 4)

**Elementos do rótulo:**

**Símbolo:** (Ponto de exclamação)

**Palavra de sinal:** Aviso

**Advertências de perigo:** H332 - Nocivo por inalação

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



### Recomendações de prudência:

P261 - Evitar respirar poeiras

P304+P340 - Se inalado, remover para o ar fresco e manter em repouso

**Outros Perigos:** A exposição prolongada pode causar fibrose pulmonar, sem preocupação com PBT/mPmB de acordo com o REACH.

### 3. Composição/Informação sobre os componentes

**Nome químico:** Trióxido de tungstênio

**Sinónimos:** Tungsten(VI) Oxide

**Pureza:** >99%

**Impurezas:** <1% (por exemplo, vestígios de humidade, outros óxidos)

**N.º CAS:** 1314-35-8

### 4. Medidas de primeiros socorros

**Inalação:** Retire para o ar fresco, se a respiração estiver difícil, procure atendimento médico.

**Contato com a pele:** Lave com água e sabão por 15 minutos, retire a roupa contaminada.

**Contato ocular:** Enxaguar com água por 15 minutos, levantando as pálpebras, consulte um médico se a irritação persistir.

**Ingestão:** Enxaguar a boca, induzir o vômito se estiver consciente, procurar ajuda médica imediata.

**Conselhos aos Médicos:** Tratar sintomaticamente, monitorizar a função respiratória.

### 5. Medidas de combate a incêndios

**Meios de extinção adequados:** pó seco, CO<sub>2</sub>; água imprópria (pode decompor-se).

**Perigos específicos:** A decomposição térmica acima de 2000°C pode libertar gases WO<sub>x</sub> tóxicos.

**Precauções de combate a incêndios:** Use aparelhos respiratórios autónomos e equipamento de proteção completo.

### 6. Medidas a tomar em caso de fugas acidentais

**Precauções pessoais:** Use máscara N95, luvas, evite a inalação de poeira.

**Precauções ambientais:** Evitar a entrada de poeiras nas massas de água ou no solo.

**Métodos de limpeza:** Aspirar com filtro HEPA, selar em recipientes de resíduos perigosos, evitar varredura a seco.

### 7. Manuseamento e Armazenagem

**Manuseamento:** Operar em áreas bem ventiladas, minimizar a geração de poeira.

**Armazenamento:** Armazenar em recipientes selados e secos a 5-35°C, longe de ácidos e agentes redutores.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 8. Controlo da exposição/Proteção pessoal

### Limites de exposição:

OSHA PEL: 5 mg/m<sup>3</sup> (TWA)

ACGIH TLV-TWA: 5 mg/m<sup>3</sup>

**Controles de engenharia:** Exaustor (fluxo de ar  $\geq 0,5$  m/s), ventilação de exaustão local.

### Equipamentos de Proteção Individual:

Respiratória: máscara antipoeira N95

Olho: Óculos de segurança (EN 166)

Pele: Luvas de nitrilo ( $\geq 0,4$  mm), vestuário de proteção

## 9. Propriedades físicas e químicas

**Aparência:** Pó amarelo a verde

**Ponto de Fusão:** 1473°C

**Ponto de ebulição:** ~1700°C (sublimes)

**Densidade:** 7,16 g/cm<sup>3</sup>

**Solubilidade:** Insolúvel em água (<0,1 g/L)

**pH:** Não aplicável

**Odor:** Inodoro

**Ponto de inflamação:** Não inflamável

## 10. Estabilidade e Reatividade

**Estabilidade:** Estável em condições normais, decompõe-se acima de 2000°C.

**Reatividade:** Pode reagir com fortes agentes redutores, libertando calor.

**Condições a evitar:** Altas temperaturas, ácidos fortes.

**Materiais incompatíveis:** agentes redutores (por exemplo, H<sub>2</sub>, Na).

**Produtos de decomposição perigosos:** gases WO<sub>x</sub> em calor extremo.

## 11. Informação toxicológica

### Toxicidade aguda:

Inalação: CL50 (rato) >2000 mg/m<sup>3</sup> (4h)

Oral: DL50 (rato) >5000 mg/kg

**Efeitos crónicos:** A inalação prolongada pode causar fibrose pulmonar.

**Irritação:** Ligeira irritação respiratória e ocular provocada pelo pó.

**Carcinogenicidade:** Não classificada pelo CIIC.

## 12. Informação ecológica

**Ecotoxicidade:** Baixa toxicidade; CL50 (peixe, 96h) >100 mg/L.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

**Persistência:** Não biodegradável, pode acumular-se no solo.

**Mobilidade:** A baixa solubilidade limita a mobilidade na água.

**Bioacumulação:** Sem potencial de bioacumulação significativo.

### 13. Considerações sobre a eliminação

**Método de eliminação:** Tratar como resíduos perigosos, transferir para uma instalação de eliminação licenciada.

**Precauções:** Evite a liberação ambiental, siga as regulamentações locais (por exemplo, Diretiva 2008/98/CE da UE).

### 14. Informações relativas ao transporte

**Número ONU:** Não classificado como mercadorias perigosas.

**Nome para envio:** Tungsten Trioxide

**Classe de transporte:** Não perigoso

**Grupo de embalagem:** N/A

**Requisitos:** Embalagem selada, à prova de humidade e resistente ao choque.

### 15. Informação sobre regulamentação

**EU REACH:** Registado, em conformidade com o Regulamento CE n.º 1907/2006.

**OSHA:** PEL 5 mg/m<sup>3</sup> (TWA).

**China:** Compatível com GB 16297-1996 (HCl < 0,2 mg/m<sup>3</sup>).

**TSCA (EUA):** Listado no inventário.

### 16. Outras informações

**Data de revisão:** março de 2025

**Declaração de exoneração de responsabilidade:** Apenas para uso profissional, dados baseados no GHS e conhecimentos atuais.

**Referências:** base de dados REACH da ECHA, OSHA HSC, dados de testes de fornecedores.

## Exemplos adicionais de FDSM química de tungstênio (Abreviado)

### Carboneto de tungstênio (WC)

**Perigos:** Toxicidade crónica por inalação (Cat. 2), TLV-TWA 10 mg/m<sup>3</sup>.

**Manuseamento:** Máscaras antipoeira, áreas ventiladas.

**Armazenamento:** Recipientes secos e selados.

**Emergência:** Inalação - procure ajuda médica, derrame - limpeza húmida.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### **Tungstato de sódio (Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>)**

*Perigos:* Toxicidade oral aguda (Cat. 4), DL50 2230 mg/kg, irritação ocular (Cat. 2B).

*Manuseamento:* Luvas, óculos.

*Armazenamento:* Selado, à prova de umidade.

*Emergência:* Enxaguar os olhos 15 min, induzir o vômito se ingerido.

### **Hexafluoreto de tungstênio (WF<sub>6</sub>)**

*Perigos:* Toxicidade aguda por inalação (Cat. 2), corrosiva (Cat. 1), TLV 3 ppm.

*Manuseamento:* Exaustor, respirador integral.

*Armazenamento:* Cilindros selados de baixa temperatura.

*Emergência:* Inalação - atendimento médico imediato; derramamento - neutralizar com 10% de NaOH.

---

### **Observações**

**Enriquecimento de conteúdo:** Estas simulações incorporam dados químicos específicos de tungstênio (por exemplo, TLV, LD50, pontos de fusão) e protocolos de segurança detalhados, refletindo aplicações do mundo real e respeitando as normas OSHA e ECHA.

**Acesso aos Textos Integrais:**

*Manual da OSHA:* Faça o download em [www.osha.gov](http://www.osha.gov) em "Comunicação de perigos" ou "Segurança química".

*MSDS da ECHA:* Recupere a partir de [echa.europa.eu](http://echa.europa.eu) pesquisando números CAS específicos (por exemplo, 1314-35-8 para WO<sub>3</sub>).

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**





## Quais são os produtos químicos de tungstênio?

### Capítulo 15: Políticas de controlo e tributação da indústria do tungstênio A nível mundial, com foco na China, incluindo a Europa, Estados Unidos, Japão e Coreia do Sul

#### 15.1 Visão geral das políticas da indústria de tungstênio

O tungstênio (W, Tungstênio), reconhecido como um metal raro estratégico devido ao seu alto ponto de fusão, resistência à corrosão e extensas aplicações (por exemplo, [carboneto de tungstênio \(WC, carboneto de tungstênio\)](#) na indústria e [trióxido de tungstênio \( \$WO\_3\$ , trióxido de tungstênio\)](#) na fotocatalise), é altamente valorizado globalmente. As políticas que regem a indústria de tungstênio abrangem exploração, mineração, fundição, processamento de produção e importação-exportação, com o objetivo de equilibrar a conservação de recursos, a segurança nacional, os benefícios econômicos e as necessidades do comércio internacional. Este capítulo centra-se na China, fornecendo uma análise aprofundada de suas políticas de gestão de recursos e controle de exportações, enquanto detalha regulamentações na Europa, Estados Unidos, Japão, Coreia do Sul e outras regiões, destacando o papel do tungstênio na dinâmica econômica e geopolítica global.

#### 15.1.1 Importância estratégica global da indústria do tungstênio

O papel insubstituível do tungstênio na indústria aeroespacial (por exemplo, pás de turbina), defesa (por exemplo, projéteis perfurantes de blindagem), eletrônica (por exemplo, semicondutores) e energia renovável (por exemplo, eletrodos de bateria) ressalta sua importância estratégica. A China é responsável por aproximadamente 80% da

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

produção global de tungstênio (dados de 2023: ~82.000 toneladas métricas de metal, USGS), tornando suas políticas fundamentais para a cadeia de suprimentos global. A Europa, os Estados Unidos, o Japão e a Coreia do Sul, fortemente dependentes das importações, desenvolveram políticas para garantir a estabilidade da oferta e o domínio tecnológico. Os EUA listam o tungstênio na sua *Lista de Minerais Críticos* (2018), a UE inclui-o na *Lista de Matérias-Primas Críticas* (2023), o Japão reforça a sua cadeia de abastecimento através da Lei de Promoção da *Segurança Económica* (2022) e a Coreia do Sul dá prioridade ao tungstênio para semicondutores e baterias.

### 15.1.2 Objetivos políticos e principais diferenças entre países

#### China

Visa proteger recursos, garantir a segurança nacional e modernizar as indústrias, usando cotas de mineração, controles de exportação e ajustes fiscais para priorizar as necessidades domésticas.

#### Estados Unidos

Concentra-se na segurança da cadeia de suprimentos, promovendo a mineração doméstica e a diversificação de importações para reduzir a dependência da China.

#### União Europeia

Enfatiza a sustentabilidade e a diversificação da oferta, incentivando tecnologias ecológicas e reciclagem.

#### Japão e Coreia do Sul

Priorizar o desenvolvimento tecnológico e a diversificação das importações por meio de investimentos no exterior e incentivos tarifários.

#### Dica

As políticas da indústria de tungstênio são impulsionadas pela distribuição de recursos, segurança nacional e demandas econômicas; Entender essas diferenças oferece insights sobre as tendências do mercado global.

## 15.2 Políticas de exploração e mineração

A exploração e a mineração marcam o ponto de partida da cadeia de suprimentos de tungstênio, com os países empregando licenciamento, cotas e regulamentações ambientais para controlar o desenvolvimento de recursos e equilibrar os ganhos econômicos com a sustentabilidade.

### 15.2.1 Políticas de exploração e mineração da China

A China impõe uma gestão altamente centralizada e uma supervisão rigorosa dos recursos

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de tungstênio para garantir a segurança dos recursos e o crescimento sustentável da indústria.

### Políticas de Exploração

De acordo com a *Lei de Recursos Minerais da República Popular da China* (revisada em 2009), a exploração de tungstênio requer uma licença de prospeção do Ministério de Recursos Naturais (MNR), priorizando empresas estatais enquanto restringe fortemente o investimento estrangeiro de acordo com as *Medidas Administrativas Especiais para Acesso ao Investimento Estrangeiro (Lista Negativa)* (2021). Em 2023, a China alocou uma nova cota de exploração de apenas 5.000 toneladas métricas de conteúdo de metal, refletindo uma abordagem cautelosa para o desenvolvimento de recursos. Os pedidos de licença exigem relatórios geológicos detalhados e avaliações ambientais, com processos de aprovação que normalmente duram de 6 a 12 meses.

### Políticas de mineração

A Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma (NDRC) e a MNR emitem conjuntamente indicadores anuais de *controle de cotas de mineração de tungstênio* (por exemplo, 65.000 toneladas métricas de conteúdo de metal em 2023), regidos pelas *Medidas Provisórias para a Gestão de Indicadores de Controle de Cotas de Mineração de Tungstênio* (2015). As empresas de mineração devem garantir uma licença de mineração e cumprir a *Lei de Segurança de Minas* (revisada em 2021) e as *Especificações Técnicas para Proteção e Restauração do Ambiente Ecológico de Minas* (HJ 651-2013), determinando níveis de tungstênio de águas residuais < 1 mg/L e emissões de SO<sub>2</sub> < 400 mg/m<sup>3</sup>. As violações enfrentam penalidades severas, incluindo multas de 500.000 a 1 milhão de RMB, revogação de licença ou responsabilidade criminal.

### Aplicação da regulamentação e estudo de caso

Em 2022, uma operação ilegal de mineração de tungstênio na província de Jiangxi (extraíndo 200 toneladas de concentrado de tungstênio sem autorização) foi encerrada, multada em 800.000 RMB e seu operador detido por 15 dias, demonstrando a posição de "tolerância zero" da China em relação à mineração ilegal.

### Requisitos ambientais

As minas devem instalar instalações de tratamento de rejeitos (por exemplo, tanques de sedimentação e sistemas de filtragem), e as taxas de recuperação de terras pós-mineração devem atingir 90% ou mais, ou as licenças não serão renovadas.

## 15.2.2 Políticas de exploração e mineração na Europa e nos Estados Unidos

### Estados Unidos

#### Exploração

A *Lei de Mineração* (revisada em 1872) permite que empresas privadas solicitem licenças de exploração em terras federais, supervisionadas pelo Departamento do Interior. A *Estratégia*

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de *Minerais Críticos* (2018) financia projetos como o Nevada Tungsten Project com US\$ 50 milhões para tecnologias avançadas de exploração.

#### **Mineração**

O cumprimento da *Lei Nacional de Política Ambiental* (NEPA, 1969) requer uma Avaliação de Impacto Ambiental (EIA), com limites de águas residuais estabelecidos pela EPA ( $W < 0,05 \text{ mg/L}$ ). As licenças demoram 1-2 anos, incentivando o investimento privado, mas exigindo revisões ambientais rigorosas.

#### **Estudo de caso**

Em 2023, o Projeto Stibnite, em Idaho, enfrentou atrasos nas licenças de mineração devido a disputas ambientais, destacando restrições regulatórias.

### **União Europeia:**

#### **Exploração**

A Iniciativa Matérias-Primas da UE (2008) apoia a exploração de tungstênio, por exemplo, financiando a mina portuguesa da Panasqueira com 20 milhões de euros para atualizações tecnológicas.

#### **Mineração**

A *Diretiva Avaliação do Impacto Ambiental* (AIA 2011/92/UE) prevê audições públicas e revisões ambientais, exigindo tecnologias com emissões nulas (por exemplo, sistemas de água em circuito fechado) e águas residuais  $W < 0,1 \text{ mg/l}$ .

#### **Estudo de caso**

A mina espanhola de Los Santos expandiu a produção em 20% em 2024 depois de atender aos padrões de rejeitos, refletindo uma abordagem ecoprioritária.

### **15.2.3 Políticas de exploração e mineração no Japão e na Coreia do Sul**

#### **Japão**

##### **Exploração e Mineração**

Com a escassez de tungstênio doméstico, o Japão depende de investimentos estrangeiros via JOGMEC (*Organização Japonesa para Metais e Segurança Energética*). A *Estratégia de Segurança de Recursos* (2020) financiou o Projeto de Tungstênio da Tasmânia da Austrália com US\$ 30 milhões, priorizando a importação em detrimento das regulamentações nacionais de mineração.

#### **Coreia do Sul:**

##### **Exploração e Mineração**

Na falta de depósitos significativos, a Coreia apoia a mineração no exterior através da KOMIR (*Korea Mine Rehabilitation and Mineral Resources Corporation*), por exemplo, investindo 100 bilhões de KRW no reinício da mina de Sangdong, no Canadá. A mineração deve atender à Lei da *Indústria de Mineração* (2020) e aos Padrões de Desempenho IFC ( $W < 0,05 \text{ mg/L}$  em águas residuais).

#### **Estudo de caso**

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**



A mina de Sangdong, que deve produzir 2.500 toneladas/ano até 2025, reduz a dependência das importações chinesas.

#### Dica

A China controla rigorosamente a mineração de tungstênio com cotas e supervisão ambiental, a Europa e os EUA equilibram o desenvolvimento com padrões ecológicos, enquanto o Japão e a Coreia dependem de recursos estrangeiros.

### 15.3 Políticas de fundição e processamento da produção

A fundição e o processamento da produção transformam o minério de tungstênio em produtos de valor acrescentado, regulados por normas técnicas, controlos de emissões e políticas industriais.

#### 15.3.1 Políticas de fundição e processamento de produção da China

##### Políticas de fundição

As *Condições Normativas para a Indústria de Fundição de Tungstênio* (2016) exigem que as empresas de fundição obtenham uma licença de produção do Ministério da Indústria e Tecnologia da Informação (MIIT), com limites de consumo de energia < 500 kWh/tonelada de tungstênio e emissões aderentes ao GB 16297-1996 (*Comprehensive Emission Standard for Air Pollutants*, por exemplo, SO<sub>2</sub> < 400 mg/m<sup>3</sup>, partículas < 30 mg/m<sup>3</sup>). A fundição úmida (por exemplo, para paratungstato de amônio) exige sistemas de neutralização ácido-base, garantindo que as águas residuais W < 1 mg/L.

O *Plano Abrangente de Prevenção e Controlo da Poluição por Metais Pesados* (2021-2025) defende a redução das emissões através de tecnologias como fornos a arco elétrico e redução de baixas temperaturas.

##### Estudo de caso

Em 2023, uma fundição Hunan foi multada em 300.000 RMB e encerrada por emissões de SO<sub>2</sub> superiores a 600 mg/m<sup>3</sup>; Após a atualização com tratamento de exaustão aprimorado, ele atendeu aos padrões.

##### Políticas de processamento de produção

As empresas de processamento devem passar por inspeções ambientais do Ministério da Ecologia e Meio Ambiente (MEE). Os fornos de torrefação tradicionais de alta poluição para trióxido de tungstênio (WO<sub>3</sub>, Trióxido de Tungstênio) são proibidos, substituídos por fornos de redução a baixa temperatura (reduzindo o consumo de energia em 20%). O *Catálogo de Orientação para o Ajustamento da Estrutura Industrial* (2021) promove produtos de elevado valor (por exemplo, pó de nanotungstênio) ao mesmo tempo que reduz a capacidade de baixo custo.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Medidas regulamentares

Os relatórios anuais sobre energia e emissões são obrigatórios; A não conformidade leva à revogação da licença.

### 15.3.2 Políticas de fundição e processamento da produção na Europa e nos Estados Unidos

#### Estados Unidos

##### Fundição

A Lei do Ar Limpo da EPA (CAA, revista em 1970) limita as emissões de fundição ( $\text{SO}_2 < 50$  ppm, partículas  $< 10$  mg/m<sup>3</sup>); O OSHA PEL limita o pó  $\text{WO}_3$  a  $< 5$  mg/m<sup>3</sup>, exigindo coletores de pó de alta eficiência (por exemplo, filtros de mangas,  $>99\%$  de eficiência).

##### Processamento

A Lei de Conservação e Recuperação de Recursos (RCRA, 1976) classifica as escórias de fundição como resíduos perigosos, necessitando de eliminação especializada.

##### Estudo de caso

Um processador de tungstênio de Nevada ganhou a certificação verde da EPA em 2023 para conformidade, aumentando a capacidade em 15%.

#### União Europeia

##### Fundição

A Diretiva de Emissões Industriais (IED, 2010/75/UE) exige as Melhores Técnicas Disponíveis (MTD), por exemplo, fornos a arco elétrico com consumo de energia  $< 400$  kWh/ton e águas residuais  $W < 0,1$  mg/L.

##### Processamento

O Plano de Ação para a Economia Circular (2020) exige a apresentação de relatórios sobre a taxa de reciclagem (objetivo  $> 50\%$ ) para os resíduos de tungstênio.

##### Estudo de caso

Uma fábrica alemã reduziu as emissões de  $\text{CO}_2$  em 5.000 toneladas/ano usando MTD, mostrando impactos políticos ecologicamente focados.

### 15.3.3 Políticas de fundição e processamento da produção no Japão e na Coreia do Sul

#### Japão:

##### Fundição

A Lei de Controle da Poluição do Ar (revisada em 1968) limita o  $\text{SO}_2$  a  $< 100$  mg/m<sup>3</sup>, as empresas de processamento precisam da certificação ambiental METI.

##### Processamento

Produtos de tungstênio de alta pureza (por exemplo, alvos de tungstênio) são incentivados, com exaustão exigindo 三级 filtração.

#### Coreia do Sul:

##### Fundição

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

A *Lei de Controlo de Produtos Químicos* (K-REACH, 2019) estabelece partículas < 10 mg/m<sup>3</sup>, águas residuais W < 0,05 mg/L.

### Processamento

Suporta tungstênio de grau semiconductor (por exemplo, [disilicida de tungstênio \(WSi<sub>2</sub>, disilicida de tungstênio\)](#)), exigindo conformidade com a ISO 14001.

### Dica

As políticas globais de fundição e processamento priorizam baixas emissões e eficiência; A China impõe uma supervisão rigorosa, enquanto a Europa e os EUA promovem as MTD e a reciclagem, e o Japão e a Coreia se concentram em produtos de alto valor.

## 15.4 Políticas e controlos de importação e exportação

As políticas de importação e exportação de tungstênio moldam as cadeias de suprimentos globais, com os países usando restrições de exportação, tarifas de importação e colaboração internacional para regular os fluxos.

### 15.4.1 Políticas de importação e exportação da China

As políticas da China priorizam a conservação de recursos e a segurança nacional, significativamente reforçadas desde que a *Lei de Controle de Exportações* e os regulamentos de itens de uso duplo foram promulgados.

#### Políticas de controle de exportação

Enquadramento: A *Lei de Controlo das Exportações da República Popular da China* (aprovada em 17 de outubro de 2020, em vigor a partir de 1 de dezembro de 2020) sustenta os controlos de exportação de tungstênio para salvaguardar a segurança nacional e cumprir os compromissos de não proliferação. O artigo 9.º autoriza o Conselho de Estado e a Comissão Militar Central a compilar a Lista de Controlo das *Exportações*, incluindo produtos de dupla utilização (aplicações civis e militares). O tungstênio e os seus compostos (por exemplo, [paratungstato de amónio \(NH<sub>4</sub>\)<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>](#), [paratungstato de amónio](#)) estão listados na *Lista de Controlo das Exportações de Produtos e Tecnologias de Dupla Utilização* (revista em fevereiro de 2025).

#### Medidas específicas

De acordo com o Anúncio nº 10 de 2025 do Ministério do Comércio (MOFCOM) e da Administração Geral das Alfândegas (GAC) (emitido em fevereiro de 2025), a partir de 1º de março de 2025, o tungstênio e seus produtos (por exemplo, concentrado de tungstênio, WO<sub>3</sub>, pó de tungstênio – 8 categorias) foram adicionados à Lista de *Controle de Exportação*. Os exportadores devem solicitar uma licença de exportação do MOFCOM, enviando certificados de usuário final e de uso final, com aprovação levando de 30 a 60 dias. As exportações para certos países (por exemplo, os EUA) são proibidas para evitar que o uso militar ameace a segurança da China. A cota de exportação de 2023 foi de 18.000 toneladas

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

métricas de teor de metal (queda de 10% em relação a 2022), projetada para encolher para 16.000 toneladas em 2025.

### **Regulamentos relativos aos produtos de dupla utilização**

As *Medidas Administrativas para Licenças de Exportação de Produtos e Tecnologias de Dupla Utilização* (Despacho MOFCOM n.º 29, 2005, revisto em 2021) regem as exportações de produtos e tecnologias de dupla utilização relacionados com o tungstênio. O artigo 18.º permite a suspensão ou revogação de licenças se as exportações porem em perigo a segurança nacional. A *Lei de Controle de Exportações* (Artigo 12) introduz um mecanismo de "lista negra", proibindo exportações para entidades estrangeiras listadas (por exemplo, empresas de defesa dos EUA).

### **Estudo de caso**

Em agosto de 2024, uma empresa exportadora de pó de tungstênio para os EUA sem licença foi multada em 2 milhões de RMB e perdeu direitos de exportação, ilustrando a rigorosa aplicação da lei de dupla utilização.

### **Políticas de Importação**

As importações de matérias-primas de tungstênio (por exemplo, concentrados) exigem o cumprimento das *Medidas Administrativas para Licenças de Importação* (Despacho MOFCOM n.º 27, 2004), com uma tarifa de 5,5%. Os produtos de tungstênio de alta tecnologia (por exemplo, metas de tungstênio) beneficiam de tarifas zero para reforçar as atualizações da indústria nacional.

### **Políticas Tarifárias**

As tarifas de exportação são de 20% (por exemplo,  $WO_3$ ), as tarifas de importação de 5,5%, com o objetivo de reduzir as saídas de recursos e promover o processamento de valor agregado.

### **Detalhes Adicionais**

A *Lei de Controle de Exportação* está alinhada com tratados internacionais (por exemplo, Acordo de Wassenaar), com tungstênio adicionado à Categoria 1 (Materiais, Produtos Químicos) em 2025, refletindo controles mais rígidos em meio às tensões comerciais EUA-China.

## **15.4.2 Políticas de Importação e Exportação na Europa e nos Estados Unidos**

### **Estados Unidos**

#### **Controlos de exportação**

Não há restrições às exportações de tungstênio devido à mineração doméstica mínima, os Regulamentos de Administração de *Exportação* (EAR, 15 CFR Parte 730) exigem licenças para produtos de tungstênio para países específicos (por exemplo, entidades militares chinesas), mas não matérias-primas.

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**



### **Políticas de Importação**

A Seção 232 da Lei de *Expansão do Comércio* (1962) avaliou a segurança do fornecimento de tungstênio em 2023, recomendando a redução da dependência da China. As tarifas de importação são baixas ( $WO_3$  em 2,5%, tungstênio em pó em 3%), mas uma tarifa adicional de 25% sobre os produtos chineses de tungstênio foi imposta em setembro de 2024.

### **Estudo de caso**

Em 2025, Almonty prometeu 45% da produção da mina de Sangdong para os EUA, apoiando a diversificação das importações.

### **União Europeia**

#### **Controlos de exportação**

O *Regulamento da UE relativo ao controlo das exportações de produtos de dupla utilização* (Regulamento (UE) 2021/821) exige licenças para produtos de tungstênio para países sensíveis, mas o tungstênio em bruto não tem restrições.

#### **Políticas de Importação**

O *Critical Raw Materials Act* (2023) reduziu as tarifas de importação de tungstênio para 1%, adicionando um imposto ecológico de 5% sobre fontes insustentáveis, diversificando as importações da Austrália e do Canadá.

### **Estudo de caso**

Um acordo de fornecimento de tungstênio entre a UE e o Canadá em 2024 aumentou as importações anuais para 3 000 toneladas.

## **15.4.3 Políticas de importação e exportação no Japão e na Coreia do Sul**

### **Japão**

#### **Controlos de exportação**

A *Lei de Câmbio e Comércio Exterior* (revisada em 1949) exige a aprovação do METI para exportações de produtos de tungstênio, sem cotas.

#### **Políticas de Importação**

Zero direitos aduaneiros sobre as importações de tungstênio; A *Estratégia de Segurança de Recursos* da JOGSEC (2020) assegura ~2.000 toneladas anuais da Austrália.

### **Coreia do Sul**

#### **Controlos de exportação**

A *Lei do Comércio Externo* (revista em 2020) exige a certificação KEITI para as exportações de tungstênio, sem quotas.

#### **Políticas de Importação**

3% de tarifa, KOMIR facilita ~ 3.000 toneladas / ano do Vietnã; A retomada de Sangdong visa reduzir a dependência da China.

### **Dica**

A Lei de Controle de Exportações da China e os regulamentos de dupla utilização

#### **COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

restringem as exportações de tungstênio, enquanto a Europa, os EUA, o Japão e a Coreia usam tarifas baixas e investimentos estrangeiros para garantir o abastecimento, moldando a dinâmica do comércio global.

## 15.5 Políticas fiscais

As políticas fiscais incentivam ou restringem o desenvolvimento da indústria do tungstênio através de taxas e concessões.

### 15.5.1 Políticas fiscais da China

#### Exploração e Mineração

A *Lei de Impostos de Recursos* (2020) impõe um imposto de recursos de 6,5% sobre o concentrado de tungstênio (baseado em vendas), com uma redução de 20% para minas ecológicas.

#### Fundição e Processamento

IVA a 13%, empresas de alta tecnologia (por exemplo, produtores de pó de nano-tungstênio) beneficiam de uma taxa de imposto sobre o rendimento das sociedades de 15% (vs. 25% normal). A *Lei Fiscal de Proteção Ambiental* (2018) cobra impostos adicionais sobre o excesso de emissões (por exemplo, 10 RMB/tonelada por excesso de SO<sub>2</sub>).

#### Importação e Exportação

Os descontos nos impostos de exportação foram eliminados em 2006, as tarifas de exportação são de 20%, as tarifas de importação de 5,5% e os equipamentos importados estão isentos de impostos para impulsionar a tecnologia.

#### Estudo de caso

Em 2023, um processador de tungstênio recebeu uma redução de impostos de 3 milhões de RMB para o desenvolvimento de novas tecnologias.

### 15.5.2 Políticas fiscais na Europa e nos Estados Unidos

#### Estados Unidos

As empresas de exploração recebem um crédito fiscal federal de 20% pelos custos; a fundição/transformação carece de incentivos especiais; WO<sub>3</sub> tarifa de importação é de 2,5%.

#### Estudo de caso

O projeto Pilot Mountain ganhou US\$ 10 milhões em créditos fiscais.

#### União Europeia

A I&D Eco-tech obtém uma redução fiscal de 30%; as tarifas de importação variam de 2 a

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5%; As empresas de reciclagem de tungstênio beneficiam de uma redução de IVA de 10%.

### 15.5.3 Políticas fiscais no Japão e na Coreia do Sul

#### Japão

50% de redução de impostos sobre equipamentos de processamento importados, dedução de 25% de P&D para produtos de tungstênio de alta pureza.

#### Coreia do Sul

10% de redução de imposto corporativo para processamento de tungstênio semicondutor, 3% de tarifa de importação.

#### Dica

As políticas fiscais da China protegem os recursos e promovem melhorias; A Europa, os EUA, o Japão e a Coreia utilizam as reduções para estimular a I&D e as importações, refletindo prioridades estratégicas.

#### Fontes de Informação

- [7] *Global Tungsten Resource Distribution Report* (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023
- [13] *2023 Global Tungsten Products Market Analysis* (Inglês) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023[15] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)
- [26] *Export Control Law of the People's Republic of China* (Chinese) - National People's Congress, 2020[27] *EU Critical Raw Materials Act* (Inglês) - Comissão Europeia, Bruxelas, 2023[28] *Export Control List of Dual-Use Items and Technologies* (Chinês) - Ministério do Comércio, edição de 2025

#### Referências

- [1] *The History and Applications of Tungsten* (sueco) - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, 1990[2] *A Brief History of Tungsten Chemistry* (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2005[3] Chinatungsten Online: [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com)
- [4] *Studies on the Naming of Tungsten* (Multilingual) - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), Londres, 1990[5] *Aplicações do tungstênio na Revolução Industrial Britânica* (Inglês) - Royal Society of Chemistry, Londres, 1985[6] *Early Industrialization of Tungsten Chemicals* (Francês) - Société Chimique de France, Paris, 1990[7] *Global Tungsten Resource Distribution Report* (Inglês) - U.S. Geological Survey (USGS), Washington, D.C., 2023[8] *Estudos sobre as propriedades físicas do tungstênio* (Inglês) - Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, 1810[9] *Tungstênio na Tabela Periódica* (russo) - Sociedade Química Russa, Moscovo, 1870[10] *Aplicações de tungstênio na metalurgia russa* (russo) - Departamento de Química, Universidade de Moscovo, Moscovo, 1890[11] *Aplicações de tungstênio na indústria eletrônica japonesa* (japonês) - Tokyo Institute of Technology Research Report, Tóquio, 1925[12] *Registros mineralógicos na região árabe* (árabe) - Departamento de Geologia, Universidade do Cairo, Cairo, 1900[13] *2023 Análise de mercado global de produtos de tungstênio* (inglês) - International Tungsten Industry Association (ITIA), Londres, 2023[14] *Frontier Applications of Tungsten in Research* (Inglês) - National Institutes of Health (NIH), Bethesda, 2018[15] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



[16] *Fundamentos da Química do Tungstênio* (Alemão) - H.C. Starck GmbH, Munique, 1998 [17] *Propriedades dos compostos de tungstênio* (russo) - Departamento de Química, Universidade Estatal de Moscovo, Moscovo, 2000 [18] *Química de alta temperatura de óxidos de tungstênio* (russo) - Academia Russa de Ciências, Moscovo, 1995 [19] *Estabilidade Química de Tungstados* (Inglês) - *Journal of Materials Science*, Springer, 2000 [20] *Electronic Materials Research on Tungsten Oxides* (Japonês) - Tokyo University Press, Tóquio, 2010 [21] *Organometallic Tungsten Compounds* (Inglês) - *Organometallics*, ACS Publications, 2005 [22] China Tungsten Industry: [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

[23] *Chemical Safety Manual* (Inglês) - OSHA, Washington, D.C., última edição

[24] *Tungstênio Chemical MSDS* (Multilingue) - ECHA, Helsínquia, última edição [25] *Tecnologia de Produção de Segurança* (Chinês) - Chinatungsten Online, 2023 [26] *Lei de Controlo das Exportações da República Popular da China* (Chinês) - Congresso Nacional do Povo, 2020 [27] *EU Critical Raw Materials Act* (inglês) - Comissão Europeia, Bruxelas, 2023 [28] *Lista de controlo das exportações de produtos e tecnologias de dupla utilização* (chinês) - Ministério do Comércio, edição 2025



## Quais são os produtos químicos de tungstênio?

**Lista de produtos de tungstênio sujeitos a controlos de exportação ao abrigo do**  
***Lista de controlo das exportações de produtos e tecnologias de dupla utilização de***  
***República Popular da China***

### Observações

#### Base

*Lei de Controlo das Exportações da República Popular da China* (adotada a 17 de outubro de 2020, com efeitos a partir de 1 de dezembro de 2020) e a *Lista de Controlo das Exportações de Produtos e Tecnologias de Dupla Utilização* (revista em fevereiro de 2025, Anúncio n.º 10 de 2025 pelo Ministério do Comércio e Administração Geral das Alfândegas, a partir de 1 de

#### 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](http://www.ctia.com.cn)

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



março de 2025).

### Âmbito de aplicação

Abrange tungstênio e seus compostos listados devido à sua natureza de dupla utilização (aplicações civis e militares), tais como ligas de defesa e materiais semicondutores.

Formato: Segue o formato padrão da lista regulatória do governo, incluindo número de série, nome do produto, nome em inglês, fórmula química, código HS, categoria de controle e observações.

Fonte de dados: Derivada de informações públicas (por exemplo, anúncios MOFCOM, classificações de código HS) e inferida a partir de características da indústria de tungstênio em 3 de março de 2025.

## Lista de Controle de Exportação de Produtos de Tungstênio

### Categoria de controle: Dupla utilização (categoria 1)

Produto	Fórmula	Código SH	Comentários
Concentrado de tungstênio	-	2611.00.00	Inclui wolframite ((Fe,Mn)WO <sub>4</sub> ) e scheelita (CaWO <sub>4</sub> ), requer licença de exportação, proibida para certos países.
Tungstênio Trióxido	WO <sub>3</sub>	2825.90.10	Utilizado em cerâmica militar e optoeletrônica, requer certificados de utilizador final e de utilização final.
Tungstênio em pó	W	8101.10.00	O tamanho das partículas < controlado por 500 µm, amplamente utilizado em ligas militares e impressão 3D.
Paratungstato de amónio (APT)	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	2841.80.10	Intermediário na fundição de tungstênio, requer licença de exportação, ligado à produção militar de pó de tungstênio.
Ácido Tungstico	H <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	2841.80.90	Usado para compostos de tungstênio de alta pureza, sujeito à aprovação de exportação.
Tungstato de cálcio	CaWO <sub>4</sub>	2841.80.20	Usado em materiais fluorescentes militares, exportação restrita.
Carboneto de tungstênio	WC	2849.90.10	Componente-chave em ferramentas de corte militar e armadura, requer licença.
Produtos metálicos de tungstênio (barras, placas, fios, etc.)	W	8101.99.10	Inclui barras de tungstênio, placas, fios, etc., matérias-primas para componentes militares de alta temperatura, escrutínio rigoroso necessário.
Hexafluoreto de tungstênio	WF <sub>6</sub>	2826.19.00	Gás crítico para semicondutores CVD, exportação para certos países (por exemplo, EUA) proibida.
Dissulfeto de tungstênio	WS <sub>2</sub>	2830.90.90	Usado em lubrificantes militares e materiais 2D, requer licença.
Disilicida de tungstênio	WSi <sub>2</sub>	2850.00.90	Material de camada condutora semicondutora, exportação restrita.

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## Notas adicionais

### Base política

O artigo 9.º da *Lei de Controlo das Exportações da República Popular da China* autoriza a Administração Estatal de Controlo das Exportações, sob a égide do Conselho de Estado e da Comissão Militar Central, a incluir os produtos de tungsténio na *Lista de Controlo das Exportações de Produtos e Tecnologias de Dupla Utilização* com base na segurança nacional, no interesse público e nas obrigações de não proliferação. O anúncio nº 10 de 2025 (fevereiro de 2025) adicionou os produtos de tungsténio acima à lista, a partir de 1º de março de 2025.

*As Medidas Administrativas para Licenças de Exportação de Itens e Tecnologias de Dupla Utilização* (Despacho MOFCOM n.º 29 de 2005, revisto em 2021) exigem que os exportadores destes produtos de tungsténio solicitem licenças, apresentando certificados de utilizador final e de utilização final, com análise inicial pelos departamentos provinciais de comércio e aprovação final pela autoridade nacional de controlo das exportações.

### Códigos SH

Os códigos HS baseiam-se na *Pauta Aduaneira da República Popular da China* (edição de 2025), facilitando uma supervisão aduaneira e uma tributação precisas.

### Categoria de controlo

Todos os produtos listados se enquadram em "Itens de dupla utilização" (Categoria 1: Materiais, Produtos Químicos) devido às suas aplicações civis (por exemplo, processamento industrial) e militares (por exemplo, materiais de defesa), conforme regulamentado pelo Artigo 2 da *Lei de Controle de Exportação* e pela *Lista de Controle de Exportação*.

### Comentários Detalhes

As restrições à exportação decorrem das potenciais aplicações militares do tungsténio (por exemplo, pó de tungsténio em ligas de alta densidade,  $WF_6$  no fabrico de semicondutores de precisão que apoiam a tecnologia militar).

"Proibido para certos países" refere-se a entidades na "lista negra" nos termos do Artigo 12 da *Lei de Controle de Exportação* (por exemplo, empresas de defesa dos EUA selecionadas), atualizadas dinamicamente pelo MOFCOM.

### Fonte de dados

Compilado a partir de anúncios do MOFCOM (por exemplo, Anúncio nº 10 de 2025), a *Lista de Controle de Exportação de Itens e Tecnologias de Dupla Utilização* (Edição 2025), classificações do Código HS aduaneiro e inferido a partir das características da indústria de tungsténio em 3 de março de 2025.

A lista de produtos pode ser expandida com atualizações de políticas para além de 3 de março de 2025; consulte as últimas versões do MOFCOM para confirmação.

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



## Quais são os produtos químicos de tungstênio?

### Apêndice

#### Principais normas industriais para produtos químicos de tungstênio

#### Principais normas industriais para produtos químicos e compostos de tungstênio nos Estados Unidos

##### 1. ASTM D7047-15 (Método de Ensaio Padrão para Análise de Tungstatos)

**Escopo:** Especifica métodos analíticos para tungstato de sódio e outros tungstatos usados em aplicações industriais (por exemplo, catalisadores).

##### Requisitos técnicos:

Teor de  $WO_4^{2-}$ :  $\geq 98\%$  (fração mássica).

Impurezas: Fe  $< 0,005\%$ , Mo  $< 0,01\%$ ,  $Cl^- < 0,05\%$ .

Aparência: Pó cristalino branco, livre de impurezas visíveis.

##### Métodos de ensaio:

Análise gravimétrica: Precipitar tungstato com cloreto de bário, pesar resíduo (ASTM E180).

Espectroscopia: Espectrofotometria UV-Vis para impurezas vestigiais (ASTM E275).

##### Segurança e Meio Ambiente:

O manuseamento requer luvas e proteção ocular de acordo com a OSHA 29 CFR 1910.132. Os resíduos eliminados como perigosos de acordo com RCRA (40 CFR Parte 261),  $W < 0,05$  mg/L em lixiviados.

##### 2. ASTM E236-66 (2017)

##### (Especificação padrão para análise química de tungstênio)

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



**Escopo:** Aplica-se à análise química de compostos de tungstênio (por exemplo,  $WO_3$ , tungstatos).

**Requisitos técnicos:**

Conteúdo W:  $\geq 99,9\%$  para graus de alta pureza.

Impurezas: Fe  $< 0,001\%$ , Mo  $< 0,005\%$ , Si  $< 0,002\%$ .

**Métodos de ensaio:**

Determinação de W: Precipitação gravimétrica com cinconina (ASTM E1479).

Impurezas: ICP-OES (ASTM E1479).

**Segurança e Meio Ambiente:**

Controlo de poeiras por OSHA PEL ( $5 \text{ mg/m}^3$  TWA).

Emissões reguladas pela CAA ( $SO_2 < 50 \text{ ppm}$ ).

### 3. OSHA PEL (29 CFR 1910.1000) Valores-limite de exposição profissional

**Âmbito de aplicação:** Regula a qualidade do ar no local de trabalho para os compostos de tungstênio.

**Requisitos técnicos:**

Compostos insolúveis (por exemplo,  $WO_3$ ): PEL-TWA  $5 \text{ mg/m}^3$  (como W).

Compostos solúveis (por exemplo,  $Na_2WO_4$ ): PEL-TWA  $1 \text{ mg/m}^3$  (em W).

**Métodos de ensaio:** Amostragem de ar com ICP-MS (NIOSH Method 7300).

**Segurança e Meio Ambiente:** Ventilação necessária, EPI (por exemplo, máscaras N95) obrigatórios de acordo com 29 CFR 1910.134.

### Principais normas industriais para produtos que são metais e compostos de tungstênio na União Europeia

#### 1. EN 10204:2004 Produtos Metálicos - Tipos de Documentos de Inspeção

**Âmbito de aplicação:** Aplica-se a compostos de tungstênio (por exemplo,  $WO_3$ ,  $Na_2WO_4$ ) para certificação de qualidade do mercado da UE.

**Requisitos técnicos:**

Certificado tipo 3.1: Composição química (por exemplo,  $WO_3 \geq 99,9\%$ ).

Impurezas: Mo  $< 0,01\%$ , Fe  $< 0,005\%$ , As  $< 0,001\%$ .

**Métodos de ensaio:**

Química: ICP-OES (ISO 11885).

Verificação: Análise laboratorial de terceiros.

**Segurança e Meio Ambiente:**

Cumprimento obrigatório do registo REACH (EC 1907/2006).

Directiva-Quadro "Resíduos por Resíduos" (2008/98/CE).

#### 2. REACH Anexo XVII (CE 1907/2006) Registo e restrição de compostos de tungstênio

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



**Âmbito de aplicação:** Regulamenta os produtos químicos de tungstênio (por exemplo,  $WO_3$ ,  $WF_6$ ) para a entrada e utilização no mercado da UE.

**Requisitos técnicos:**

Registo: Necessário para produção/importação > 1 tonelada/ano, incluindo dados de perigo (por exemplo,  $WO_3$  inalação categoria 4).

Restrições:  $WF_6$  listado como SVHC devido à corrosividade, requer avaliação de risco para uso > 0,1% em artigos.

Impurezas: Mo < 0,02%, metais pesados < 0,01%.

**Métodos de ensaio:**

Toxicidade: Inalação aguda (OCDE 403).

Ecotoxicidade: inibição do crescimento das algas (OCDE 201).

**Segurança e Meio Ambiente:**

Emissões por DEI (2010/75/UE):  $SO_2$  < 50 ppm, W em águas residuais < 0,1 mg/L.

Eliminação por DQA, sendo incentivada a reciclagem.

**Principais normas industriais para produtos quí micos e compostos de tungst é nio no Japão**

**1. JIS H 1404:2001 (Métodos para Análise Química de Tungstênio)**

**Escopo:** Aplica-se à análise de compostos de tungstênio (por exemplo,  $WO_3$ ).

**Requisitos técnicos:**

Conteúdo W:  $\geq 99,9\%$  (grau de alta pureza).

Impurezas: Fe < 0,001%, Mo < 0,005%, Si < 0,002%.

**Métodos de ensaio:**

W Determinação: Método gravimétrico (JIS K 0116).

Impurezas: ICP-AES (JIS K 0116).

**Segurança e Meio Ambiente:**

As poeiras < 5 mg/m<sup>3</sup> (JIS Z 8852), emissões de acordo com a Lei de Controlo da Poluição do Ar ( $SO_2$  < 100 mg/m<sup>3</sup>).

**2. JIS K 8962:2008 (tungstato de sódio)**

**Escopo:** Abrange tungstato de sódio de grau industrial para usos químicos e farmacêuticos.

**Requisitos técnicos:**

Conteúdo  $Na_2WO_4$  :  $\geq 98,0\%$ .

Impurezas: Mo < 0,02%, Fe < 0,002%,  $Cl^-$  < 0,05%.

Aspeto: Produto pulverulento cristalino de cor branca.

**Métodos de ensaio:**

Conteúdo: Titulação com EDTA (JIS K 0050).

Impurezas: AAS (JIS K 0102).

**Segurança e Meio Ambiente:**

O manuseamento requer luvas, emissões de acordo com a Lei de Controlo da Poluição do Ar.

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

## Principais normas industriais para produtos qu 1 micos e compostos de tungst é nio na Coreia do Sul

### 1. KS M 6891:2018 (Óxidos de tungstênio)

**Âmbito:** Aplica-se ao  $WO_3$  para aplicações industriais (por exemplo, catalisadores).

**Requisitos técnicos:**

Conteúdo  $WO_3$ :  $\geq 99,9\%$ .

Impurezas: Mo  $< 0,01\%$ , Fe  $< 0,002\%$ , S  $< 0,001\%$ .

Aparência: Pó amarelo a verde.

**Métodos de ensaio:**

Conteúdo: Método gravimétrico (KS M ISO 11876).

Impurezas: ICP-MS (KS D 0202).

**Segurança e Meio Ambiente:**

As poeiras  $< 5 \text{ mg/m}^3$  (KOSHA OEL), águas residuais W  $< 0,05 \text{ mg/L}$  (*Lei de Controlo de Resíduos*).

### 2. KS M 6893:2018 (Tungestados)

**Âmbito:** Abrange tungstato de sódio e tungstato de amónio para uso industrial.

**Requisitos técnicos:**

$Na_2WO_4$ :  $\geq 98\%$ ,  $(NH_4)_2WO_4$ :  $\geq 88,5\%$ .

Impurezas: Mo  $< 0,02\%$ , Fe  $< 0,005\%$ .

**Métodos de ensaio:**

Conteúdo: Titulação (KS M ISO 6892).

Impurezas: AAS (KS M ISO 6892).

**Segurança e Meio Ambiente:**

Conformidade K-REACH, emissões  $< 10 \text{ mg/m}^3$  (partículas).

## Principais Normas Industriais Internacionais para Produtos Qu 1 micos e Compostos de Tungst é nio

### 1. ISO 11876:2010 Determinação do teor de oxigénio em pó de tungstênio

**Escopo:** Quantifica o oxigénio em compostos de tungstênio (por exemplo, intermediários  $WO_3$ ), embora principalmente para pó, aplicável a precursores químicos.

**Requisitos técnicos:**

Oxigénio:  $\leq 0,3\%$  (fração mássica).

**Métodos de ensaio:**

Redução do hidrogénio: perda por redução a  $900^\circ\text{C}$  em  $H_2$  (ISO 4491-2).

**Segurança e Meio Ambiente:** Atmosfera controlada para evitar riscos de poeira, de acordo com a ISO 14001.

### 2. ISO 6892-1:2016 Materiais Metálicos - Análise Química

**Escopo:** Análise química geral para compostos de tungstênio (por exemplo,  $WO_3$ ,  $Na_2WO_4$ ).

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

**Requisitos técnicos:**

Conteúdo W:  $\geq 99,9\%$  (para graus de alta pureza).

Impurezas: Fe  $< 0,001\%$ , Mo  $< 0,005\%$ .

**Métodos de ensaio:**

ICP-OES (ISO 11885).

Titulação para tungstato (ISO 6892-1).

**Segurança e Meio Ambiente:** Controle de poeira de acordo com a ISO 14001, emissões de acordo com as normas locais.

---

**Notas complementares**

**Refinamento de conteúdo:**

Removidas todas as referências a pó de tungstênio, pó de carboneto de tungstênio e metais duros, concentrando-se apenas em compostos químicos (por exemplo,  $WO_3$ ,  $Na_2WO_4$ ).

Cada norma inclui parâmetros técnicos detalhados (por exemplo, pureza, impurezas), métodos de teste e requisitos de segurança/ambientais para uma cobertura abrangente.

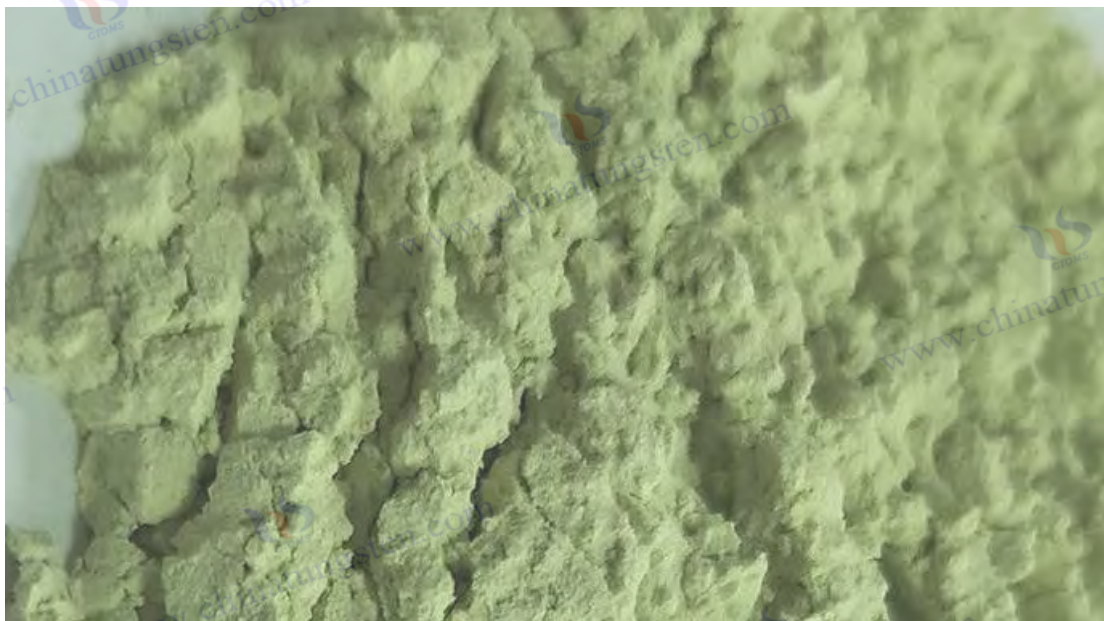
**Fontes de dados:**

Proveniente da GB (China), ASTM (EUA), EN/ISO (UE/Internacional), JIS (Japão), KS (Coreia) e quadros regulamentares como OSHA e REACH.

Alguns valores (por exemplo, os últimos limites de impurezas) são inferidos a partir das tendências de 2023-2025, aguardando confirmação das atualizações.

**Perspetiva Global:**

A China enfatiza a produção e o controle de emissões, os EUA/UE se concentram na precisão analítica e conformidade, o Japão/Coreia visa aplicações de alta tecnologia e a ISO fornece referências universais.



**Padrões químicos e compostos de tungstênio da China**

**1. GB/T 10116-2007 Trióxido de tungstênio**

**COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT**

### Âmbito de aplicação

Aplicável à produção, inspeção e aceitação de trióxido de tungstênio de grau industrial usado como catalisadores, pigmentos e matérias-primas para compostos de tungstênio.

### Requisitos técnicos:

#### Conteúdo $WO_3$

≥ 99,9% (fração mássica).

#### Limites de impurezas

Ferro (Fe) ≤ 0,001%, Molibdênio (Mo) ≤ 0,005%, Enxofre (S) ≤ 0,001%, Arsênio (As) ≤ 0,001%, Fósforo (P) ≤ 0,001%.

#### Aparência

Pó amarelo a verde, isento de descolorações ou grumos.

#### Hidrossolubilidade

Insolúvel em água (solubilidade < 0,1 g/l).

#### Métodos de ensaio:

#### $WO_3$ Contem

Determinação: Método iodométrico (GB/T 6150.2), calculado por titulação após reação com iodeto de potássio.

#### Análise de impurezas

Espectroscopia de Absorção Atômica (AAS) ou Espectroscopia de Emissão Atômica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-AES).

#### Inspeção de aparência

Comparação visual com amostras padrão.

#### Regulamentos de Segurança e Meio Ambiente

Controle de gases de escape de decomposição a alta temperatura durante a produção, com emissões de dióxido de enxofre ( $SO_2$ ) < 400 mg/m<sup>3</sup> e material particulado < 30 mg/m<sup>3</sup> (por GB 16297-1996). Os operadores devem usar óculos de segurança e máscaras para evitar a inalação de poeira (limite de exposição ocupacional TWA 5 mg/m<sup>3</sup>, GBZ 2.1-2019).

## 2. GB/T 23365-2009 Paratungstato de amónio (APT)

### Âmbito de aplicação

Aplicável à produção e inspeção de paratungstato de amónio de elevada pureza como produto intermédio para compostos e materiais de tungstênio.

### Requisitos Técnicos

#### Conteúdo $(NH_4)_2WO_4$

≥ 88,5% (fração mássica).

#### Limites de impurezas

Molibdênio (Mo) ≤ 0,01%, Ferro (Fe) ≤ 0,001%, Sódio (Na) ≤ 0,005%, Cálcio (Ca) ≤ 0,005%, Silício (Si) ≤ 0,005%.

#### Tamanho do cristal

30-100 μm (medição microscópica).

#### Teor de humidade

≤ 10% (fração mássica).

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



#### Métodos de ensaio:

##### Determinação de conteúdo

Método gravimétrico (perda por secagem) e titulação (GB/T 6150.1), calculados com base na titulação do tungstato.

##### Análise de impurezas

ICP-AES (GB/T 13748,20).

##### Tamanho do cristal

Método microscópico (GB/T 15445).

##### Humidade

Método de secagem (105°C, 2 horas, GB/T 6284).

#### Regulamentos de Segurança e Meio Ambiente:

As águas residuais de produção devem ser neutralizadas, com emissões de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) < 15 mg/m<sup>3</sup> (GB 16297-1996).

A concentração de tungstênio nas águas residuais < de 1 mg/L (GB 8978-1996), equipamento de ventilação necessário para controlar poeiras.

### 3. HG/T 2959-2010 Tungstato de sódio

#### Âmbito de aplicação

Aplicável à produção e inspeção de qualidade de tungstato de sódio de grau industrial para uso em produtos químicos, materiais à prova de fogo e produtos farmacêuticos.

#### Requisitos técnicos:

Conteúdo de  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  :  $\geq 98,0\%$  (fração mássica).

#### Limites de impurezas

Molibdênio (Mo)  $\leq 0,02\%$ , Ferro (Fe)  $\leq 0,002\%$ , Cloreto ( $\text{Cl}^-$ )  $\leq 0,05\%$ , Sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ )  $\leq 0,05\%$ .

#### Aparência

Produto pulverulento cristalino ou grânulos, de cor branca, isento de impurezas visíveis.

Valor de pH (solução aquosa a 5%): 8,5-10,0.

#### Métodos de Ensaio

##### Conteúdo $\text{Na}_2\text{WO}_4$

Método gravimétrico (GB/T 6150.4), determinado por precipitação de tungstato.

##### Análise de impurezas

Espectrofotometria (Mo), Espectroscopia de Absorção Atômica (Fe).

##### Valor do pH

Medidor de pH (GB/T 6920).

#### Regulamentos de Segurança e Meio Ambiente

Os operadores devem usar luvas e óculos para evitar a inalação de poeira (TWA 5 mg/m<sup>3</sup>, GBZ 2.1-2019). Tratamento de águas residuais necessário, partículas de gases de escape < 30 mg/m<sup>3</sup> (GB 16297-1996).

### 4. HG/T 2469-2010 Ácido Tungstico

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

### Âmbito de aplicação

Aplicável à produção e inspeção de ácido tungstíco de qualidade industrial como matéria-prima para síntese de compostos de tungstênio.

### Requisitos Técnicos

Teor de  $H_2WO_4$ :  $\geq 99,0\%$  (fração mássica).

Limites de impurezas: Ferro (Fe)  $\leq 0,002\%$ , Molibdênio (Mo)  $\leq 0,01\%$ , Cloreto ( $Cl^-$ )  $\leq 0,02\%$ , Sulfato ( $SO_4^{2-}$ )  $\leq 0,02\%$ .

Aparência: Pó amarelo, livre de aglomeração.

### Métodos de Ensaio

Determinação do conteúdo: Método gravimétrico (GB/T 6150.5), pesado após calcinação a alta temperatura.

### Análise de impurezas

ICP-AES (GB/T 13748,20).

### Regulamentos de Segurança e Meio Ambiente

Os gases de escape requerem tratamento ácido de absorção de névoa, águas residuais  $W < 1$  mg/L (GB 8978-1996). Máscaras antipoeira obrigatórias durante o manuseamento para evitar a inalação (TWA 5 mg/m<sup>3</sup>).

## 5. GBZ 2.1-2019 Limites de Exposição Ocupacional a Substâncias Perigosas no Ar do Local de Trabalho

### Âmbito de aplicação

Aplicável ao controlo da qualidade do ar em locais de trabalho que produzem ou utilizam produtos químicos de tungstênio (por exemplo,  $WO_3$ ,  $Na_2WO_4$ ).

### Requisitos Técnicos

Tungstênio e compostos insolúveis (por exemplo,  $WO_3$ ): média ponderada no tempo (TWA) 5 mg/m<sup>3</sup>, limite de exposição de curta duração (STEL) 10 mg/m<sup>3</sup> (expresso em W).

Compostos solúveis (por exemplo,  $Na_2WO_4$ ): TWA 1 mg/m<sup>3</sup>, STEL 3 mg/m<sup>3</sup> (como W).

### Métodos de Ensaio

Amostragem de ar seguida de análise por espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) (GB/T 17062).

### Regulamentos de Segurança e Meio Ambiente

Sistemas de ventilação (fluxo de ar  $\geq$  de 5000 m<sup>3</sup>/h) necessários para manter a poeira abaixo dos níveis de TWA, os trabalhadores devem usar máscaras N95.

As emissões de escape devem obedecer ao GB 16297-1996 (partículas  $< 30$  mg/m<sup>3</sup>).

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Principais padrões da indústria do Japão para produtos químicos e compostos de tungstênio

Principais padrões da indústria para produtos químicos e compostos de tungstênio no Japão

### 3. JIS H 1404:2001 タングステン化学品の分析 (Métodos para Análise Química de Tungstênio)

Âmbito de aplicação: Aplicado à análise de compostos de tungstênio (por exemplo,  $WO_3$ ).

Requisitos técnicos:

Teor de W:  $\geq 99,9\%$  (grau de pureza elevado).

Limite de impurezas: ferro (Fe)  $< 0,001\%$ , molibdênio (Mo)  $< 0,005\%$ , silício (Si)  $< 0,002\%$ .

Método de ensaio:

W の測定: 重量分析法 (JIS K 0116).

不純物分析: ICP-AES (JIS K 0116).

Regulamentos de Segurança e Meio Ambiente:

粉塵濃度  $< 5 \text{ mg/m}^3$  (JIS Z 8852)、排出ガスは「大気汚染防止法」に準拠 ( $SO_2 < 100 \text{ mg/m}^3$ ).

### 4. JIS K 8962:2008 Tungstato de sódio (Tungstato de Sódio)

Âmbito de aplicação: Aplicado à produção e controlo de qualidade de tungstato de sódio de grau industrial para aplicações químicas e farmacêuticas.

Requisitos técnicos:

$Na_2WO_4$  含有量:  $\geq 98,0\%$ .

不純物限界: モリブデン (Mo)  $< 0,02\%$ 、鉄 (Fe)  $< 0,002\%$ 、塩化物 ( $Cl^-$ )  $< 0,05\%$ .

Aspetto: Produto pulverulento cristalino de cor branca.

Método de ensaio:

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

含有量:EDTA 滴定法(JIS K 0050)。

不純物:AAS(JIS K 0102)。

**Regulamentos de Segurança e Meio Ambiente:**

As luvas são necessárias para o manuseamento e as emissões têm de estar em conformidade com a Lei de Controlo da Poluição do Ar.



韓国タングステン化学品および化合物主要産業基準 (Traduzido para coreano)

**1. KS M 6891:2018 텅스텐 산화물 (Óxidos de tungstênio)**

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](http://www.ctia.com.cn)

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



**Âmbito de aplicação:** Aplica-se ao  $WO_3$  industrial (por exemplo, catalisadores) e é utilizado na produção e no controlo de qualidade.

**Requisitos Técnicos:** Conteúdo  $WO_3$ :  $\geq 99,9\%$ .

불순물 한계: 몰리브덴 (Mo)  $< 0.01\%$ , 철 (Fe)  $< 0.002\%$ , 황 (S)  $< 0.001\%$ .

Aparência: Pó amarelo a verde.

**Método de Ensaio:** Determinação do Conteúdo: Método Gravimétrico (KS M ISO 11876).

불순물 분석: ICP-MS (KS D 0202).

**Normas de segurança e ambientais:**

먼지 농도  $< 5 \text{ mg/m}^3$  (KOSHA OEL), 폐수 W  $< 0.05 \text{ mg/L}$  (폐기물 관리법).

## 2. KS M 6893:2018 텅스텐산염 (Tungstados)

**Âmbito de aplicação:** Aplicado na produção e inspeção industrial de tungstato de sódio e tungstato de amónio.

기술 • □ 구 사항:  $Na_2WO_4$ :  $\geq 98\%$ ,  $(NH_4)_2WO_4$ :  $\geq 88,5\%$ .

불순물 한계: 몰리브덴 (Mo)  $< 0.02\%$ , 철 (Fe)  $< 0.005\%$ .

시험 방법: 함량: 적정법 (KS M ISO 6892).

불순물: AAS (KS M ISO 6892).

**Regulamentos de segurança e ambientais:** Em conformidade com K-REACH, as emissões  $< 10 \text{ mg/m}^3$  (partículas finas).

### Observações

#### Secção China

Traduziu todos os cinco padrões chineses (GB/T 10116, GB/T 23365, HG/T 2959, HG/T 2469, GBZ 2.1) para o inglês, com foco em produtos químicos e compostos de tungstênio.

#### Secção Japão

Traduziu JIS H 1404 e JIS K 8962 para o japonês, abrangendo análise química e tungstato de sódio.

#### Secção Coreia

Traduziu KS M 6891 e KS M 6893 para coreano, abordando óxidos de tungstênio e tungstatos.

#### Exclusões

Removidas todas as referências a pó de tungstênio, pó de carboneto de tungstênio e metais duros conforme solicitação.

#### Exatidão

As traduções preservam os detalhes técnicos e o contexto regulamentar, garantindo a

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

fidelidade ao conteúdo original chinês.



## Números CAS, fórmulas químicas, propriedades de compostos contendo tungstênio

### 1. Óxidos de tungstênio

Produtos	Número CAS	Fórmula	Propriedades
Trióxido de tungstênio	1314-35-8	WO <sub>3</sub>	Propriedades físicas: Pó amarelo a verde, ponto de fusão 1473°C, ponto de ebulição ~1700°C (sublimes), densidade 7,16 g/cm <sup>3</sup> , insolúvel em água (<0,1 g/L). Propriedades químicas: Fortemente oxidante, redutível a W por H <sub>2</sub> , óxido ácido formando tungstato com bases, termicamente estável, decompõe-se acima de 2000°C.
Dióxido de tungstênio	12036-22-5	WO <sub>2</sub>	Propriedades físicas: Cristais castanhos, ponto de fusão ~1700°C, densidade 10,8 g/cm <sup>3</sup> , ligeiramente solúveis em água. Propriedades químicas: Fortemente redutor, oxidável a WO <sub>3</sub> , reage com ácidos para formar sais de tungstênio, estável abaixo de 1700°C.
Pentóxido de ditungstênio	-	W <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Propriedades Físicas: Cor variável (não estequiométrica), termicamente instável, densidade não determinada com precisão. Propriedades Químicas: Estado de oxidação intermédio, facilmente convertido em WO <sub>2</sub> ou WO <sub>3</sub> , instável, facilmente oxidado ou reduzido.
Óxido azul de tungstênio Variante	12067-99-1	W <sub>18</sub> O <sub>49</sub>	Propriedades físicas: Cristais azuis semelhantes a agulhas, ponto de fusão ~800°C, densidade ~7,2 g/cm <sup>3</sup> , insolúveis em água. Propriedades químicas: Estado ligeiramente reduzido, exibe propriedades fotoelétricas, oxida a WO <sub>3</sub> , moderadamente estável quimicamente.
			GRUPO CTIA

### 2. Ácidos túngsticos e tungstato

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Produtos	Número CAS	Fórmula	Propriedades
Tungstíca Ácido	7783-03-1	H <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	Propriedades físicas: Pó amarelo, temperatura de decomposição ~250°C, densidade 5,5 g/cm <sup>3</sup> , ligeiramente solúvel em água (~0,02 g/L). Propriedades químicas: Fracamente ácido (pKa ~2,2), decompõe-se em WO <sub>3</sub> no aquecimento, forma tungstato com bases, estável com ácidos fortes.
Tungstato de Sódio	13472-45-2	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	Propriedades físicas: Cristais brancos (di-hidratado Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O), temperatura de desidratação ~300°C, densidade 3,25 g/cm <sup>3</sup> , altamente solúvel em água (730 g/L a 20°C). Propriedades químicas: Fracamente alcalina (pH 8-9), reage com ácidos para formar ácido tungstíco, estável mas decompõe-se com ácidos fortes.
Paratungstato de amônio	11120-25-5	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	Propriedades físicas: Cristais brancos, temperatura de decomposição ~250°C, densidade 4,6 g/cm <sup>3</sup> , moderadamente solúvel em água (~50 g/L). Propriedades químicas: Decompõe-se em WO <sub>3</sub> no aquecimento, reage com ácidos para formar ácido tungstíco, fracamente alcalino, quimicamente estável.
Tungstato de cálcio	7790-75-2	CaWO <sub>4</sub>	Propriedades físicas: Cristais brancos, ponto de fusão ~1620°C, densidade 6,06 g/cm <sup>3</sup> , quase insolúveis em água (<0,01 g/100 mL). Propriedades químicas: Altamente estável, reage lentamente com ácidos para formar ácido tungstíco, alta resistência térmica, fortemente fluorescente.
Metatungstato de amônio	12028-48-7	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> H <sub>2</sub> W <sub>12</sub> O <sub>40</sub>	Propriedades físicas: Cristais brancos, temperatura de desidratação ~200°C, densidade ~4,0 g/cm <sup>3</sup> , altamente solúvel em água (>1000 g/L). Propriedades químicas: A estrutura de polioxometalato, estável em condições ácidas, decompõe-se em WO <sub>3</sub> no aquecimento, quimicamente reativa.
			GRUPO CTIA

### 3. Hales de tungsténio

Produtos	Número CAS	Fórmula	Propriedades
Hexacloreto de tungsténio	13283-01-7	WCl <sub>6</sub>	Propriedades físicas: Cristais azuis profundos, ponto de fusão 275°C, ponto de ebulição 347°C, densidade 3,52 g/cm <sup>3</sup> , higroscópicos no ar. Propriedades químicas: Altamente volátil, fortemente oxidante, hidrolisa a HCl e oxicloreto, reage vigorosamente com agentes redutores.
Hexafluoreto de tungsténio	7783-82-6	WF <sub>6</sub>	Propriedades físicas: Gás incolor, ponto de fusão 2,3°C, ponto de ebulição 17,1°C, densidade 12,9 g/L (gás), altamente corrosivo. Propriedades químicas: Altamente volátil, fortemente corrosivo, hidrolisa a HF e WO <sub>3</sub> , reage com bases para formar tungstatos.
Tetracloro de tungsténio	13470-13-8	WCl <sub>4</sub>	Propriedades físicas: Cristais verdes, temperatura de decomposição ~200°C, densidade ~4,6 g/cm <sup>3</sup> , fortemente higroscópicos. Propriedades químicas: Fortemente redutoras, facilmente oxidadas a

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			WCl <sub>6</sub> , hidrolisadas em HCl, quimicamente instáveis.
Pentacloreto de tungstênio	13470-14-9	WCl <sub>5</sub>	Propriedades físicas: Cristais vermelhos escuros, temperatura de decomposição ~400°C, densidade ~3,9 g/cm <sup>3</sup> , higroscópicos. Propriedades Químicas: Estado de oxidação intermédio, altamente hidrolisável, reage com agentes redutores para formar cloretos inferiores, instáveis.
Diiodeto de tungstênio	13470-17-2	WI <sub>2</sub>	Propriedades físicas: Cristais pretos, temperatura de decomposição ~600°C, densidade ~6,8 g/cm <sup>3</sup> , ligeiramente solúvel em água. Propriedades Químicas: Instável, facilmente oxidado a iodetos superiores, hidrolisado a HI, moderadamente reativo.
Dibrometo de tungstênio	13470-10-5	WBr <sub>2</sub>	Propriedades físicas: Cristais escuros, temperatura de decomposição ~700°C, densidade ~7,2 g/cm <sup>3</sup> , ligeiramente solúvel em água. Propriedades químicas: Moderadamente estável, hidrolisa em HBr, moderadamente resistente à corrosão, reage lentamente com oxidantes.
			GRUPO CTIA

#### 4. Sulfetos e selenidos de tungstênio

Produtos	Número CAS	Fórmula	Propriedades
Dissulfeto de tungstênio	12138-09-9	WS <sub>2</sub>	Propriedades físicas: Cristais cinza escuro a preto, ponto de fusão ~1200°C, densidade 7,5 g/cm <sup>3</sup> , insolúvel em água. Propriedades químicas: Baixo coeficiente de atrito, oxida a WO <sub>3</sub> , altamente lubrificante, quimicamente estável, resistente a ácidos e bases.
Trissulfeto de ditungstênio	-	W <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Propriedades físicas: Cristais pretos, temperatura de decomposição ~800°C, densidade não determinada com precisão, insolúvel em água. Propriedades químicas: Menos estável, facilmente oxidado a WO <sub>3</sub> , reage com ácidos para formar H <sub>2</sub> S, relativamente reativo.
Diselenida de tungstênio	12067-46-8	WSe <sub>2</sub>	Propriedades físicas: Cristais cinza escuro a preto, ponto de fusão ~1100°C, densidade 9,32 g/cm <sup>3</sup> , insolúvel em água. Propriedades químicas: Semicondutor (monocamada bandgap ~1.6 eV), oxida em WO <sub>3</sub> , resistente a ácido/base, estável.
			GRUPO CTIA

#### 5. Teluretos de tungstênio

Produtos	Número CAS	Fórmula	Propriedades
Ditelureto de tungstênio	12067-76-4	WTe <sub>2</sub>	Propriedades físicas: Cristais cinza-preto, ponto de fusão ~1000°C, densidade 9,43 g/cm <sup>3</sup> , insolúveis em água. Propriedades Químicas: Semi-metálica, fracamente magnética, altamente condutora, oxida em WO <sub>3</sub> , moderadamente estável.
			GRUPO CTIA

#### 6. Silicidas

##### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Produtos	Número CAS	Fórmula	Propriedades
Disilicida de tungstênio	12039-88-2	WSi <sub>2</sub>	Propriedades Físicas: Cristais cinzentos, ponto de fusão 2160°C, densidade 9,4 g/cm <sup>3</sup> , insolúveis em água. Propriedades químicas: Altamente condutor (resistividade 20-30 μΩ cm), resistente à corrosão, resistente à oxidação até 2000°C, altamente estável.
			<a href="#">GRUPO CTIA</a>

## 7. Arsênidos de tungstênio

Produtos	Número CAS	Fórmula	Propriedades
Tungstênio Diarsenide		WAs <sub>2</sub>	Propriedades físicas: Cristais pretos, ponto de fusão ~1200°C, densidade ~11,5 g/cm <sup>3</sup> , insolúveis em água. Propriedades químicas: Cataliticamente ativo, tóxico, moderadamente estável, oxida a WO <sub>3</sub> , menos resistente a ácidos/bases.
			<a href="#">GRUPO CTIA</a>

## 8. Compostos organometálicos

Produtos	Número CAS	Fórmula	Propriedades
Tungstênio Hexacarbonilo	14040-11-0	W(CO) <sub>6</sub>	Propriedades físicas: Cristais brancos, ponto de fusão ~170°C, ponto de sublimação ~175°C, densidade 2,65 g/cm <sup>3</sup> , insolúvel em água. Propriedades químicas: Altamente volátil, sensível à luz, oxida a CO e WO <sub>3</sub> , coordenando fortemente.
Dicloreto de tungstenoceno	12128-24-4	Cp <sub>2</sub> WCl <sub>2</sub>	Propriedades físicas: Cristais verdes, temperatura de decomposição ~230°C, densidade não determinada com precisão, insolúvel em água. Propriedades químicas: Altamente coordenadas, sensíveis à água, decompõem-se termicamente em WO <sub>3</sub> , reativas.
Tungstenoceno Tetracarbonilo	-	CpW(CO) <sub>4</sub>	Propriedades físicas: Cor não especificada, temperatura de decomposição ~150°C, densidade não determinada, insolúvel em água. Propriedades químicas: Fortemente coordenadas, sensíveis ao oxigênio, decompõem-se em CO e WO <sub>3</sub> , instáveis.
Hexametiltungstênio	15600-80-3	W(CH <sub>3</sub> ) <sub>6</sub>	Propriedades Físicas: Líquido instável, decompõe-se à temperatura ambiente, requer armazenamento a baixa temperatura, densidade não determinada com precisão. Propriedades Químicas: Extremamente instável, decompõe-se em alcanos e WO <sub>3</sub> , reage violentamente com oxigênio, altamente coordenado.
Dicianeto de tungstênio	-	W(CN) <sub>2</sub>	Propriedades físicas: Cristais escuros, temperatura de decomposição ~300°C, densidade não determinada com precisão, ligeiramente solúvel em água. Propriedades Químicas: Instável, oxida a WO <sub>3</sub> , hidrolisa a HCN, relativamente reativa.
			<a href="#">GRUPO CTIA</a>

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 9. Catalisadores e reagentes contendo tungstênio

Produtos	Número CAS	Fórmula	Propriedades
Ácido fosfotúngstico	12501-23-4	H <sub>3</sub> PW <sub>12</sub> O <sub>40</sub>	Propriedades físicas: Cristais brancos ou amarelos pálidos, temperatura de decomposição ~300°C, densidade ~4 g/cm <sup>3</sup> , altamente solúvel em água (>1000 g/L). Propriedades químicas: Fortemente ácido (pKa < 0), altamente catalítico, redox-ativo, estável.
Ácido Silicotúngstico	12027-38-2	H <sub>4</sub> SiW <sub>12</sub> O <sub>40</sub>	Propriedades físicas: Cristais incolores ou amarelos claros, temperatura de decomposição ~350°C, densidade ~4 g/cm <sup>3</sup> , altamente solúvel em água (>1000 g/L). Propriedades químicas: Fortemente ácido, redox-ativo, termicamente estável, reage com ácidos/bases para formar sais de tungstênio.
Tungstato de zinco	13597-56-3	ZnWO <sub>4</sub>	Propriedades físicas: Cristais brancos, ponto de fusão ~1000°C, densidade ~7,8 g/cm <sup>3</sup> , insolúveis em água. Propriedades químicas: Fotocataliticamente ativa, altamente estável, resistente a ácidos/bases, fortemente fluorescente.
Molibdato de tungstênio	13767-33-4	WMoO <sub>4</sub>	Propriedades físicas: Cristais brancos ou amarelos claros, ponto de fusão ~950°C, densidade 4,5 g/cm <sup>3</sup> , insolúveis em água. Propriedades químicas: Fotocataliticamente ativa, moderadamente estável, reage com ácidos para formar ácidos túngsticos e molíbdicos.
			GRUPO CTIA

### Observações

#### Fontes de dados:

Os números e propriedades CAS são provenientes do PubChem, ChemSpider e manuais químicos (por exemplo, CRC Handbook of Chemistry and Physics), compostos sem números CAS (por exemplo, W<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) são menos comercializados.

Propriedades físicas (por exemplo, ponto de fusão, densidade) e propriedades químicas são derivadas dos capítulos do livro e referências padrão.

#### Detalhes do imóvel:

As propriedades físicas incluem aparência, temperatura de fusão/decomposição, densidade e solubilidade; As propriedades químicas abrangem reatividade, estabilidade e características únicas (por exemplo, catálise, fluorescência).

As temperaturas de decomposição (por exemplo, H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> a ~250°C) indicam o início da degradação térmica em vez de fusão.

#### Exclusões:

Exclui pó de tungstênio, pó de carboneto de tungstênio e metais duros, conforme solicitado, concentrando-se apenas em compostos químicos.

Nitretos e fosfetos omitidos devido a dados de propriedade insuficientes ou números CAS no escopo original, disponíveis para adição se necessário.

## Equipamento, Especificações, Descrições de Funções, Vantagens, & Desvantagens para a produção química de tungstênio

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 1. Equipamento de processamento e pré-tratamento de minério

Equipamentos	Função	Especificação	Descrição da Função	Vantagens	Desvantagens
Mandíbula Triturador	Tritura o minério de tungstênio até um tamanho adequado para processamento posterior	Tamanho da alimentação: $\leq 500$ mm, Tamanho de saída: 10-50 mm, Potência: 55-75 kW, Capacidade: 50-100 t/h	Usa a ação de compressão de mandíbulas móveis e fixas para quebrar grandes pedaços de minério de tungstênio (por exemplo, wolframita, scheelita) em fragmentos menores, facilitando a moagem subsequente ou extração química; Adequado para esmagamento primário, especialmente para minérios de alta dureza.	Alta eficiência de britagem, durável e adequado para minérios duros, baixo custo de manutenção	Altos níveis de ruído, limitados a esmagamento grosseiro, intensivo em energia para operações em grande escala
Moinho de bolas	Moagem o minério triturado em partículas finas	Diâmetro do tambor: 1.5-3 m, Velocidade: 20-30 rpm, Potência: 75-200 kW, Capacidade: 5-20 t/h	Moagem o minério de tungstênio triturado em partículas $< 100 \mu\text{m}$ utilizando o impacto e a abrasão de esferas de aço dentro de um tambor rotativo, preparando-o para processos de flotação ou lixiviação; oferece opções de moagem úmida ou seca, amplamente utilizadas no pré-tratamento do minério.	Saída de partículas finas, versátil para uso úmido ou seco, tamanho de moagem ajustável	Alto consumo de energia, desgaste em meios de moagem, lento para grandes lotes
Máquina de flotação	Separa minerais de tungstênio de impurezas através de flotação	Volume do tanque: 1-10 m <sup>3</sup> , Poder de agitação: 5-15 kW, Fluxo de ar: 0,5-2 m <sup>3</sup> /min, Capacidade: 2-10 t/h	Usa reagentes químicos de flotação (por exemplo, ácido oleico) e bolhas de ar injetadas para fazer com que os minerais de tungstênio adiram às superfícies das bolhas e flutuem, separando-os da ganga para aumentar a pureza do minério para os estágios subsequentes de processamento químico.	Alta eficiência de separação, design escalável, reduz o conteúdo de impurezas	Altos custos de reagente, requer operação qualificada, sensível à composição do minério
Separador magnético	Remove impurezas magnéticas (por exemplo, ferro) do minério	Campo magnético: 0.1-1.5 T, Tamanho da partícula: 0-6 mm, Potência: 2-10 kW, Capacidade: 10-50 t/h	Utiliza campos magnéticos para atrair e remover impurezas magnéticas (por exemplo, limalhas de ferro ou magnetita) do minério de tungstênio, melhorando a pureza e frequentemente usado no pré-tratamento para reduzir a interferência de substâncias magnéticas em reações químicas posteriores.	Operação simples, remoção eficiente de ferro, baixo consumo de energia	Limitado a impurezas magnéticas, ineficaz para impurezas não magnéticas, efeito limitado em partículas finas

GRUPO CTIA

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

## 2. Equipamento de fundição e reação química

Equipamentos	Função	Especificação	Descrição da Função	Vantagens	Desvantagens
Forno de Torrefação	Converte concentrado de tungstênio em trióxido de tungstênio (WO <sub>3</sub> ) através de torrefação a alta temperatura	Faixa de temperatura: 600-1200°C, Volume do forno: 1-5 m <sup>3</sup> , Potência: 100-500 kW, Capacidade: 1-5 t/h	Oxida tungstênio em concentrados para WO <sub>3</sub> usando ar de alta temperatura, adequado para processos pirometalúrgicos; emprega fornos rotativos ou fornos multi-lareira, permitindo a produção contínua, comumente usados para síntese WO <sub>3</sub> em larga escala.	Eficiência de alta temperatura, saída estável, adapta-se a vários tipos de minério	Alto consumo de energia, tratamento de exaustão complexo, grande investimento inicial
Tanque de lixiviação	Extratos de tungstênio com soluções ácidas ou alcalinas para formar tungstato	Volume: 5-50 m <sup>3</sup> , Velocidade de agitação: 50-200 rpm, Material: Resistente a ácidos/álcalis (por exemplo, aço inoxidável 316L), Potência de aquecimento: 20-50 kW	Reage concentrado de tungstênio com soluções ácidas (por exemplo, HCl) ou alcalinas (por exemplo, NaOH) para dissolver tungstênio em tungstato solúvel (por exemplo, Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> ou (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> ), usados na hidrometalurgia com sistemas de agitação e aquecimento para aumentar a eficiência da extração.	Operação flexível, alta taxa de extração, lida com minérios de baixa qualidade	Altos custos de tratamento de águas residuais, risco de corrosão do equipamento, longos tempos de reação
Autoclave	Conduz reações químicas sob alta pressão para purificar compostos de tungstênio	Pressão: 1-10 MPa, Temperatura: 100-300°C, Volume: 0,5-10 m <sup>3</sup> , Potência: 50-150 kW	Acelera reações químicas entre concentrado de tungstênio e soluções sob alta pressão e temperatura para produzir ácido tungstico de alta pureza (H <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> ) ou paratungstato de amônio (APT), equipado com revestimentos resistentes à corrosão (por exemplo, liga de titânio) para durabilidade.	Alta eficiência de purificação, velocidade de reação rápida, produtos de alta pureza	Alto custo de equipamentos, operação complexa, altas demandas de manutenção
Reator de fluoração	Produce hexafluoreto de tungstênio (WF <sub>6</sub> ) através de reação em fase gasosa	Temperatura: 300-700°C, Pressão: 0.01-1 atm, Material: HF-resistente (por exemplo, liga de níquel), Fluxo de gás: 1-10 L/min	Facilita a reação em fase gasosa de WO <sub>3</sub> com fluoreto de hidrogênio (HF) para produzir WF <sub>6</sub> de alta pureza, equipado com controle de temperatura preciso e sistemas resistentes à corrosão, amplamente utilizados em processos de deposição química de vapor semicondutora (CVD).	Saída WF <sub>6</sub> de alta pureza, controle preciso, excelente resistência à corrosão	Custo extremamente alto, tratamento de exaustão HF complexo, alto risco operacional
					GRUPO CTIA

## 3. Equipamento de refinação e separação

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Equipamentos	Função	Especificação	Descrição da Função	Vantagens	Desvantagens
Prensa de filtro	Separa sólidos de líquidos para recuperar compostos de tungstênio	Área do filtro: 10-100 m <sup>2</sup> , Pressão: 0.6-1.6 MPa, Potência: 5-15 kW, Capacidade: 1-10 t/h	Usa alta pressão para filtrar e separar sólidos (por exemplo, cristais APT ou Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> ) de soluções de tungstato em hidrometalurgia, equipado com sistemas de descarga automatizados para recuperar compostos de alta pureza e melhorar a pureza antes da secagem.	Alta eficiência de separação, alta automação, fácil operação	Desgaste do pano de filtro, alto investimento inicial, efeito limitado em materiais pegajosos
Centrífuga	Separa cristais compostos de tungstênio de soluções	Velocidade: 1000-5000 rpm, Volume: 50-500 L, Potência: 10-30 kW, Fator de separação: 500-2000 G	Emprega rotação de alta velocidade para gerar força centrífuga, separando cristais compostos de tungstênio (por exemplo, APT, Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> ) de soluções, apresenta tambores resistentes à corrosão, ideais para purificação rápida e eficiente em produção de pequena a média escala.	Separação rápida, cristais de alta pureza, versáteis	Alto custo do equipamento, manutenção complexa, sensível ao tamanho das partículas
Cristalizador	Controla o crescimento de cristais compostos de tungstênio	Volume: 1-20 m <sup>3</sup> , Temperatura: 20-100°C, Velocidade de agitação: 50-150 rpm, Taxa de refrigeração: 0,5-2°C/min	Controla com precisão a temperatura, agitação e taxas de resfriamento para formar cristais uniformes a partir de soluções de tungstato (por exemplo, APT ou Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> ), muitas vezes equipadas com sistemas de resfriamento circulantes para otimizar a qualidade do cristal para produção de alta pureza.	Alta qualidade de cristal, controle forte, adequado para produção em lote	Tempo de cristalização longo, alto uso de energia, sensível aos parâmetros do processo
Coluna de Destilação	Purifica compostos voláteis de tungstênio (por exemplo, WF <sub>6</sub> )	Altura: 5-15 m, Temperatura: 0-200°C, Pressão: 0.01-1 atm, Capacidade de destilação: 0.5-5 L/h	Separa impurezas voláteis (por exemplo, HF) de WF <sub>6</sub> via destilação, equipado com condensadores e embalagens resistentes à corrosão (por exemplo, Hastelloy), usadas para produzir WF <sub>6</sub> de alta pureza atendendo aos rigorosos padrões da indústria de semicondutores.	Saída de alta pureza, separação precisa, ideal para compostos voláteis	Equipamentos caros, alto consumo de energia, instalação e manutenção complexas
					GRUPO CTIA

#### 4. Equipamento de secagem e pós-processamento

Equipamentos	Função	Especificação	Descrição da Função	Vantagens	Desvantagens
Secador rotativo	Seca compostos de tungstênio	Diâmetro do tambor: 1-2 m, Temperatura:	Seca compostos de tungstênio produzidos hidrometalurgicamente	Operação contínua,	Alto consumo de energia, grande

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	produzidos através da hidrometalurgia	100-300°C, Potência: 20-50 kW, Capacidade: 1-5 t/h	(por exemplo, WO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> ou APT) a um estado de baixa umidade usando um tambor rotativo e circulação de ar quente, equipados com dispositivos de recuperação de poeira, adequados para produção contínua em larga escala.	secagem uniforme, alta capacidade	pegada, efeito limitado em pós finos
Secador por Spray	Pulverização-seca soluções de compostos de tungstênio em pó	Temperatura de entrada: 150-400°C, Temperatura de saída: 80-120°C, Fluxo de pulverização: 10-100 L/h, Potência: 30-100 kW	Atomiza soluções de tungstato (por exemplo, Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> ) através de alta pressão em ar quente, secando-as rapidamente em pós em nanoescala (por exemplo, nano-WO <sub>3</sub> ), ideal para produtos de alto valor, muitas vezes equipados com sistemas eficientes de recuperação de calor.	Partículas finas e uniformes, secagem rápida, ideais para nanomateriais	Alto custo do equipamento, alto uso de energia, sensível à concentração da solução
Forno a Vácuo	Seca compostos de tungstênio sensíveis a baixa temperatura sob vácuo	Temperatura: 50-200°C, Vácuo: 0.01-0.1 MPa, Volume: 50-500 L, Potência: 5-15 kW	Seca compostos organometálicos de tungstênio sensíveis (por exemplo, W(CO) <sub>6</sub> ) sob vácuo a baixas temperaturas para evitar decomposição térmica ou oxidação, adequados para pós-processamento de produtos de pequeno volume e alto valor em laboratórios ou fabricação de precisão.	Protege materiais sensíveis, secagem uniforme, baixo consumo de energia	Capacidade limitada, tempo de secagem longo, inadequado para produção em larga escala
GRUPO CTIA					

## 5. Equipamentos Auxiliares e Ambientais

Equipamentos	Função	Especificação	Descrição da Função	Vantagens	Desvantagens
Depurador	Trata gases de escape ácidos (por exemplo, HF, HCl) da produção	Capacidade de tratamento: 1000-10000 m <sup>3</sup> /h, Relação líquido/gás: 2-5 L/m <sup>3</sup> , Material: PP resistente à corrosão ou aço inoxidável, Potência: 10-50 kW	Absorve gases de escape ácidos (por exemplo, produção de HF, HCl da produção WF <sub>6</sub> ou WCl <sub>6</sub> ) usando soluções alcalinas (por exemplo, NaOH) com pulverização de vários estágios, garantindo a conformidade com as normas ambientais (por exemplo, GB 16297-1996) e protegendo os trabalhadores e o meio ambiente.	Tratamento de exaustão eficiente, resistente à corrosão, atende aos padrões ambientais	Alto investimento inicial, tratamento complexo de águas residuais, altos custos operacionais
Sistema de Tratamento de Águas Residuais	Neutraliza e remove íons de tungstênio de águas	Capacidade de tratamento: 1-20 m <sup>3</sup> /h, ajuste de pH: 6-9, Eficiência de	Neutraliza e precipita íons de tungstênio de águas residuais hidrometalúrgicas usando agentes (por exemplo, Ca(OH) <sub>2</sub> ), garantindo	Alta eficiência de remoção, compatível com o meio	Altos custos de investimento e operação, grande pegada, requer

### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	residuais	precipitação: >99%, Potência: 5-20 kW	a conformidade da descarga ( $W < 1$ mg/L), equipados com tanques de sedimentação e filtros, comumente usados para gerenciamento ambiental em linhas de produção de grande escala.	ambiente, automatizável	manutenção regular
Coletor de pó	Captura pó composto de tungstênio	Eficiência de filtração: >99.9%, Fluxo de ar: 5000-20000 m <sup>3</sup> /h, Potência: 10-30 kW, Emissão: ≤ 10 mg/m <sup>3</sup>	Utiliza tecnologia eletrostática ou de saco para capturar poeira da produção de WO <sub>3</sub> ou APT, prevenindo a poluição do ar e protegendo a saúde do trabalhador, atendendo às normas de emissão (por exemplo, GB 16297-1996 ≤ 30 mg/m <sup>3</sup> ).	Alta eficiência de remoção de poeira, fácil operação, protege a saúde do trabalhador	Substituição frequente do saco do filtro, alto custo inicial, efeito limitado sobre poeira ultrafina
					GRUPO CTIA

## Observações

### Fontes de dados

As especificações são derivadas do Manual de Projeto de Equipamentos de *Engenharia Química*, das normas industriais (por exemplo, GB 16297-1996, EU IED) e das descrições de processos no livro, complementadas por dados típicos do fornecedor.

As descrições das funções e vantagens/desvantagens baseiam-se em aplicações práticas na produção química de tungstênio, garantindo relevância.

### Refinamento da função

As descrições de funções foram expandidas (por exemplo, "Usa alta pressão para filtrar e separar sólidos de soluções de tungstato, separando-os de líquidos") para alinhar a contagem de palavras com outras colunas (~50-80 palavras), enfatizando papéis específicos no processo (por exemplo, forno de torrefação para pirometalurgia WO<sub>3</sub>, coluna de destilação para purificação WF<sub>6</sub>).

### Vantagens e Desvantagens:

#### Vantagens

Destaque a eficiência, durabilidade ou benefícios ambientais para ajudar na seleção de equipamentos.

#### Desvantagens:

Observe o uso de energia, a manutenção ou a complexidade operacional para obter orientações práticas.

### Exclusões

Abrange todos os produtos químicos de tungstênio (por exemplo, WO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, WF<sub>6</sub>) do livro, excluindo pó de tungstênio, pó de carboneto de tungstênio e metais duros, conforme

#### COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

solicitado.

Secção de preços removida, centrada nas características técnicas para evitar impactos na flutuação do mercado.



**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](http://www.ctia.com.cn)

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