

Enciclopedia del tungstato de sodio

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

Líder mundial en fabricación inteligente para las industrias de tungsteno, molibdeno y tierras raras

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

INTRODUCCIÓN A CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, una subsidiaria de propiedad absoluta con personalidad jurídica independiente establecida por CHINATUNGSTEN ONLINE, se dedica a promover el diseño y la fabricación inteligentes, integrados y flexibles de materiales de tungsteno y molibdeno en la era de Internet industrial. CHINATUNGSTEN ONLINE, fundada en 1997 con www.chinatungsten.com como punto de partida (el primer sitio web de productos de tungsteno de primer nivel de China), es la empresa de comercio electrónico pionera del país centrada en las industrias del tungsteno, el molibdeno y las tierras raras. Aprovechando casi tres décadas de profunda experiencia en los campos del tungsteno y el molibdeno, CTIA GROUP hereda las excepcionales capacidades de diseño y fabricación, los servicios superiores y la reputación comercial global de su empresa matriz, convirtiéndose en un proveedor integral de soluciones de aplicación en los campos de productos químicos de tungsteno, metales de tungsteno, carburos cementados, aleaciones de alta densidad, molibdeno y aleaciones de molibdeno.

En los últimos 30 años, CHINATUNGSTEN ONLINE ha creado más de 200 sitios web profesionales multilingües sobre tungsteno y molibdeno, disponibles en más de 20 idiomas, con más de un millón de páginas de noticias, precios y análisis de mercado relacionados con el tungsteno, el molibdeno y las tierras raras. Desde 2013, su cuenta oficial de WeChat, "CHINATUNGSTEN ONLINE", ha publicado más de 40.000 artículos, atendiendo a casi 100.000 seguidores y proporcionando información gratuita a diario a cientos de miles de profesionales del sector en todo el mundo. Con miles de millones de visitas acumuladas a su sitio web y cuenta oficial, se ha convertido en un centro de información global y de referencia para las industrias del tungsteno, el molibdeno y las tierras raras, ofreciendo noticias multilingües, rendimiento de productos, precios de mercado y servicios de tendencias del mercado 24/7.

Basándose en la tecnología y la experiencia de CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP se centra en satisfacer las necesidades personalizadas de los clientes. Utilizando tecnología de IA, diseña y produce en colaboración con los clientes productos de tungsteno y molibdeno con composiciones químicas y propiedades físicas específicas (como tamaño de partícula, densidad, dureza, resistencia, dimensiones y tolerancias). Ofrece servicios integrales de proceso completo que abarcan desde la apertura del molde y la producción de prueba hasta el acabado, el embalaje y la logística. Durante los últimos 30 años, CHINATUNGSTEN ONLINE ha proporcionado servicios de I+D, diseño y producción para más de 500.000 tipos de productos de tungsteno y molibdeno a más de 130.000 clientes en todo el mundo, sentando las bases para una fabricación personalizada, flexible e inteligente. Con esta base, CTIA GROUP profundiza aún más en la fabricación inteligente y la innovación integrada de materiales de tungsteno y molibdeno en la era del Internet Industrial.

El Dr. Hanns y su equipo en CTIA GROUP, con más de 30 años de experiencia en la industria, han escrito y publicado análisis de conocimiento, tecnología, precios del tungsteno y tendencias del mercado relacionados con el tungsteno, el molibdeno y las tierras raras, compartiéndolos libremente con la industria del tungsteno. El Dr. Han, con más de 30 años de experiencia desde la década de 1990 en el comercio electrónico y el comercio internacional de productos de tungsteno y molibdeno, así como en el diseño y la fabricación de carburos cementados y aleaciones de alta densidad, es un reconocido experto en productos de tungsteno y molibdeno tanto a nivel nacional como internacional. Fiel al principio de proporcionar información profesional y de alta calidad a la industria, el equipo de CTIA GROUP escribe continuamente documentos de investigación técnica, artículos e informes de la industria basados en las prácticas de producción y las necesidades de los clientes del mercado, obteniendo amplios elogios en la industria. Estos logros brindan un sólido respaldo a la innovación tecnológica, la promoción de productos y los intercambios industriales de CTIA GROUP, impulsándolo a convertirse en un líder en la fabricación de productos de tungsteno y molibdeno y en servicios de información a nivel mundial.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Tabla de contenido

Prefacio

- 1.1 Propósito y significado de la compilación de la Enciclopedia del Tungstato de Sodio
- 1.2 Descripción general de la historia y el desarrollo del tungstato de sodio
- 1.3 Estructura y guía de uso del tungstato de sodio Enciclopedia
- 1.4 Lectores objetivo y escenarios aplicables de la Enciclopedia del Tungstato de Sodio

Capítulo 1 Tungstato de sodio Introducción

- 1.1 Definición y fórmula química del tungstato de sodio
- 1.2 Propiedades físicas del tungstato de sodio (apariencia, densidad, punto de fusión, solubilidad, etc.)
- 1.3 Propiedades químicas del tungstato de sodio (acidez, alcalinidad, propiedades redox, estabilidad)
- 1.4 Estructura cristalina y propiedades moleculares del tungstato de sodio
- 1.5 Isómeros y compuestos relacionados del tungstato de sodio

Capítulo 2 Clasificación y forma del tungstato de sodio

- 2.1 Forma anhidra y dihidrato de tungstato de sodio ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- 2.2 Diferentes niveles de pureza del tungstato de sodio (grado industrial, grado analítico, grado farmacéutico)
- 2.3 Formas sólidas y en solución de tungstato de sodio
- 2.4 Requisitos de envasado y almacenamiento del tungstato de sodio

Capítulo 3 Reacción química del tungstato de sodio

- 3.1 Reacción del tungstato de sodio con ácido (generando ácido tungstico, etc.)
- 3.2 Reacción de complejación del tungstato de sodio y los iones metálicos
- 3.3 Características de la reacción redox del tungstato de sodio
- 3.4 Descomposición térmica y reacción a alta temperatura del tungstato de sodio
- 3.5 Efecto catalítico y mecanismo de reacción del tungstato de sodio

Capítulo 4 Método de preparación de laboratorio de tungstato de sodio

- 4.1 Extracción de tungstato de sodio a partir de mineral de tungsteno
- 4.2 Síntesis química del tungstato de sodio (reacción del ácido tungstico y el hidróxido de sodio)
- 4.3 Tecnología de preparación electroquímica de tungstato de sodio
- 4.4 Tecnología de purificación y cristalización de tungstato de sodio en laboratorio
- 4.5 Precauciones de seguridad en la preparación de tungstato de sodio

Capítulo 5 Proceso de producción industrial de tungstato de sodio

- 5.1 Selección de materias primas para el tungstato de sodio (scheelita, wolframita, material de tungsteno de desecho)
- 5.2 Proceso hidrometalúrgico del tungstato de sodio (lixiviación alcalina, intercambio iónico)
- 5.3 Proceso de calcinación y disolución del tungstato de sodio

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- 5.4 Tecnología de cristalización y secado industrial del tungstato de sodio
- 5.5 Equipos de producción de tungstato de sodio y control de automatización
- 5.6 Tratamiento y reciclaje de subproductos de tungstato de sodio

Capítulo 6 Control de calidad y pruebas del tungstato de sodio

- 6.1 Método de análisis de la pureza del tungstato de sodio (ICP-MS, XRF, etc.)
- 6.2 Detección de impurezas en tungstato de sodio (Mo, Fe, Ca, etc.)
- 6.3 Morfología de los cristales de tungstato de sodio y análisis del tamaño de partículas
- 6.4 Determinación del pH y la concentración de la solución de tungstato de sodio
- 6.5 Normas de prueba nacionales e internacionales para el tungstato de sodio (ISO, GB/T)

Capítulo 7 Aplicación industrial del tungstato de sodio

- 7.1 El papel del tungstato de sodio en la metalurgia del tungsteno (APT, preparación de polvo de tungsteno)
- 7.2 Tungstato de sodio como catalizador y cocatalizador (industria petroquímica, reacción de oxidación)
- 7.3 Aplicación de tungstato de sodio en pigmentos y colorantes (pigmentos a base de tungstato)
- 7.4 El papel del tungstato de sodio en materiales ignífugos y retardantes de llama
- 7.5 Aplicación del tungstato de sodio en galvanoplastia y tratamiento de superficies

Capítulo 8 Aplicaciones médicas y biológicas del tungstato de sodio

- 8.1 Aplicación del tungstato de sodio en la investigación de la diabetes (simulación de insulina)
- 8.2 Propiedades antibacterianas y antivirales del tungstato de sodio
- 8.3 Aplicación de tungstato de sodio en reactivos de bioimagen y etiquetado
- 8.4 Evaluación de la toxicidad y bioseguridad del tungstato de sodio
- 8.5 Perspectivas del tungstato de sodio en ensayos clínicos y desarrollo de fármacos

Capítulo 9 Aplicaciones ambientales y energéticas del tungstato de sodio

- 9.1 Aplicación del tungstato de sodio en el tratamiento de aguas residuales (adsorción de metales pesados, eliminación de fósforo)
- 9.2 Tungstato de sodio como material fotocatalítico (degradación de contaminantes orgánicos)
- 9.3 Aplicación del tungstato de sodio en baterías y materiales de almacenamiento de energía (baterías de iones de sodio)
- 9.4 El papel del tungstato de sodio en los materiales de conversión de energía solar y térmica
- 9.5 Aplicación del tungstato de sodio en la remediación ambiental

Capítulo 10 Otras aplicaciones emergentes del tungstato de sodio

- 10.1 Nanomateriales y materiales compuestos basados en tungstato de sodio
- 10.2 Aplicación del tungstato de sodio en la impresión 3D y la fabricación aditiva
- 10.3 El papel del tungstato de sodio en dispositivos ópticos y electrónicos (materiales electrocrómicos)
- 10.4 Aplicación del tungstato de sodio en la agricultura y la nutrición vegetal (suplementación con

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

oligoelementos)

- 10.5 Potencial del tungstato de sodio en la industria aeroespacial y de defensa
- 10.6 Aplicación del tungstato de sodio en electrónica flexible
- 10.7 Puntos cuánticos y aplicaciones fotoeléctricas
- 10.8 Tungstato de sodio en sensores inteligentes
- 10.9 Recolección y almacenamiento de energía
- 10.10 Recubrimientos inteligentes e ingeniería de superficies
- 10.11 Desafíos y tendencias futuras

Capítulo 11 Estudio teórico sobre el tungstato de sodio

- 11.1 Cálculo químico cuántico del tungstato de sodio
- 11.2 Simulación de dinámica molecular del tungstato de sodio
- 11.3 Análisis termodinámico y cinético del tungstato de sodio
- 11.4 Química de la superficie y comportamiento de la interfaz del tungstato de sodio
- 11.5 Estudio de la estructura electrónica del tungstato de sodio

Capítulo 12 Avances en la investigación experimental sobre el tungstato de sodio

- 12.1 Exploración de nuevos métodos de preparación de tungstato de sodio
- Síntesis de materiales de tungstato de sodio funcionalizados
- 12.3 Optimización del rendimiento catalítico del tungstato de sodio
- 12.4 Datos experimentales sobre la aplicación del tungstato de sodio en biomedicina
- 12.5 Prueba de rendimiento del tungstato de sodio en aplicaciones ambientales

Capítulo 13 Investigación interdisciplinaria sobre el tungstato de sodio

- 13.1 Combinación de tungstato de sodio y ciencia de los materiales
- 13.2 Aplicación del tungstato de sodio en la ingeniería química y la optimización de procesos
- 13.3 El papel del tungstato de sodio en la ciencia ambiental y el desarrollo sostenible
- 13.4 Aplicación del tungstato de sodio en la investigación interdisciplinaria de biotecnología y medicina
- 13.5 Aplicación de la ciencia de datos en la investigación del tungstato de sodio

Capítulo 14 Mercado global de tungstato de sodio

- 14.1 Descripción general de la producción y el consumo de tungstato de sodio
- 14.2 Principales países productores de tungstato de sodio (China, Estados Unidos, Rusia, etc.)
- 14.3 Demanda del mercado y distribución de aplicaciones del tungstato de sodio
- 14.4 Tendencia de precios y factores influyentes del tungstato de sodio
- 14.5 Competencia en el mercado de tungstato de sodio y análisis de las principales empresas

Capítulo 15 Regulaciones y normas del tungstato de sodio

- 15.1 Normas internacionales para el tungstato de sodio (ISO, ASTM)
- 15.2 Norma nacional china para el tungstato de sodio (GB/T)
- 15.3 Normativas medioambientales y de seguridad del tungstato de sodio (REACH, RoHS)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Requisitos de cumplimiento para el tungstato de sodio de grado médico y alimentario

15.5 Propiedad intelectual y protección de patentes del tungstato de sodio

15.6 CTIA GROUP LTD Tungstato de sodio MSDS

Capítulo 16 Impacto ambiental del tungstato de sodio

16.1 Huella ambiental en la producción de tungstato de sodio

16.2 Tecnología de tratamiento de aguas residuales y gases residuales con tungstato de sodio

16.3 Riesgos de la contaminación del suelo y el agua por tungstato de sodio

16.4 Economía circular y recuperación de residuos de tungstato de sodio

16.5 Desarrollo de tecnología de producción verde de tungstato de sodio

Capítulo 17 Tendencia del desarrollo técnico del tungstato de sodio

17.1 Investigación y desarrollo de nuevos materiales de tungstato de sodio

17.2 Tecnología de producción inteligente de tungstato de sodio

17.3 Potencial de aplicación del tungstato de sodio en el nuevo campo energético

17.4 Ampliación de las aplicaciones interdisciplinarias del tungstato de sodio

17.5 Aplicación de la inteligencia artificial en la investigación del tungstato de sodio

Un apéndice

Apéndice 1: Glosario de tungstato de sodio

Términos y definiciones relacionados con el tungstato de sodio

Apéndice 2: Referencias de tungstato de sodio

Apéndice 3: Hoja de datos de tungstato de sodio

3.1 Propiedades físicas y químicas del tungstato de sodio

3.2 Parámetros del proceso de producción de tungstato de sodio

Tabla de comparación del rendimiento de los campos de aplicación del tungstato de sodio

3.4 Estadísticas del mercado mundial de tungstato de sodio

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

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

2. Sodium Tungstate Features

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

3. Product Specifications

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

4. Packaging and Quality Assurance

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

5. Procurement Information

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Prefacio

"Enciclopedia del Tungstato de Sodio" es una monografía que presenta de forma completa y sistemática el tungstato de sodio (Na_2WO_4), con el objetivo de proporcionar materiales de referencia fidedignos y detallados para investigadores, ingenieros, estudiantes y profesionales de la industria. Como importante compuesto inorgánico, el tungstato de sodio ha demostrado un valor único en los campos de la industria, la medicina, el medio ambiente y las nuevas energías, y su investigación y aplicación se encuentran en constante expansión. Este prefacio explicará el propósito de este libro, revisará la historia del desarrollo del tungstato de sodio, presentará su estructura y aclarará quiénes son los destinatarios y los escenarios aplicables.

1.1 Propósito y significado de la compilación de la Enciclopedia del Tungstato de Sodio

El tungstato de sodio desempeña un papel fundamental en la metalurgia del tungsteno, la industria petroquímica, el tratamiento de aguas residuales y la investigación de la diabetes gracias a su excelente estabilidad química, rendimiento catalítico y actividad biológica. Sin embargo, la literatura existente se presenta mayoritariamente dispersa y carece de una integración sistemática. Este libro pretende subsanar esta deficiencia y recopilar las propiedades químicas, los métodos de preparación, los campos de aplicación, la investigación científica, el estado industrial y el impacto ambiental del tungstato de sodio, proporcionando un recurso integral para la investigación académica y las aplicaciones industriales. Este libro no solo clasifica los conocimientos teóricos y prácticos sobre el tungstato de sodio, sino que también explora su potencial de desarrollo en campos de vanguardia como las nuevas energías y la nanotecnología, y se esfuerza por promover la innovación y el desarrollo sostenible en áreas relacionadas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.2 Descripción general de la historia y el desarrollo del tungstato de sodio

El descubrimiento y la aplicación del tungstato de sodio se remontan a principios del siglo XIX, cuando los químicos lo sintetizaron por primera vez extrayendo ácido tungstico del mineral de tungsteno y haciéndolo reaccionar con sal de sodio. En sus inicios, el tungstato de sodio se utilizaba principalmente en química analítica como reactivo para la determinación de fosfatos y proteínas. En el siglo XX, con el desarrollo de la industria metalúrgica del tungsteno, se convirtió en un importante intermediario para la producción de paratungstato de amonio (APT) y polvo de tungsteno. En los últimos años, la investigación sobre las aplicaciones del tungstato de sodio en biomedicina (como la imitación de insulina), ciencias ambientales (como la degradación fotocatalítica de contaminantes) y campos energéticos (como las baterías de iones de sodio) ha crecido rápidamente. El progreso tecnológico y la integración interdisciplinaria han ampliado aún más los límites de aplicación del tungstato de sodio, convirtiéndolo en el foco de la ciencia de los materiales modernos y la química verde.

1.3 Estructura y guía de uso del tungstato de sodio Enciclopedia

Este libro contiene 17 capítulos que abarcan los conocimientos básicos, el proceso de preparación, los campos de aplicación, la investigación científica, el mercado industrial, las normas regulatorias y el impacto ambiental del tungstato de sodio. Los capítulos 1 a 3 presentan las propiedades químicas y físicas del tungstato de sodio; los capítulos 4 a 6 tratan su preparación industrial y de laboratorio; los capítulos 7 a 10 detallan sus aplicaciones en la industria, la medicina, el medio ambiente y los campos emergentes; los capítulos 11 a 13 se centran en la investigación teórica y experimental; los capítulos 14 a 17 analizan el mercado, las regulaciones y las tendencias futuras. Además, el apéndice proporciona un glosario, referencias, hojas de datos y listas de patentes, y el índice facilita la recuperación rápida. Los lectores pueden elegir los capítulos que deseen leer según sus necesidades o leerlos para comprender en profundidad el panorama general del tungstato de sodio.

1.4 Lectores objetivo y escenarios aplicables de la Enciclopedia del Tungstato de Sodio

Este libro está destinado a lectores de múltiples niveles, incluidos, entre otros:

- **Investigadores académicos** : los académicos y estudiantes en los campos de la química, la ciencia de los materiales, la ciencia ambiental y la biomedicina pueden consultar la investigación teórica, los datos experimentales y la lista de patentes en este libro.
- **Profesionales industriales** : ingenieros y técnicos en metalurgia de tungsteno, fabricación de catalizadores, tratamiento de aguas residuales e industrias de nuevas energías pueden utilizar el proceso de preparación, el control de calidad y el contenido de análisis de mercado para optimizar la producción.
- **Responsables de la formulación de políticas** : prestar atención al impacto ambiental y a los estándares regulatorios del tungstato de sodio y formular políticas industriales sustentables.
- **Educadores** : Este libro puede usarse como referencia en cursos de química y ciencia de los materiales para inspirar el interés de los estudiantes en las aplicaciones del tungstato de sodio.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Este libro es adecuado para diversos escenarios, como la investigación académica, el desarrollo industrial, la formulación de políticas y la docencia y formación. Su objetivo es convertirse en una guía de referencia en el campo del tungstato de sodio.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Capítulo 1 Tungstato de sodio Introducción

El tungstato de sodio (Na_2WO_4) es un importante compuesto inorgánico. Se utiliza ampliamente en la industria, la medicina, las ciencias ambientales y las nuevas energías gracias a su excelente estabilidad química, rendimiento catalítico y actividad biológica. Este capítulo pretende introducir sistemáticamente la definición básica, las propiedades físicas y químicas, la estructura cristalina y las características del tungstato de sodio y sus compuestos relacionados, sentando las bases teóricas para los capítulos posteriores, que explorarán su preparación, aplicación e investigación.

1.1 Definición y fórmula química del tungstato de sodio

El tungstato de sodio es un compuesto iónico compuesto de iones sodio (Na^+) e iones tungstato (WO_4^{2-}), con la fórmula química Na_2WO_4 . El tungsteno (W) en el ion tungstato está en el estado de oxidación +6, con un número de coordinación de 4, formando una estructura tetraédrica. El tungstato de sodio generalmente existe en forma anhidra (Na_2WO_4) o forma dihidrato ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), y se usa ampliamente como intermedio, precursor de catalizador y reactivo biomédico en la metalurgia del tungsteno. Su peso molecular es de 293,82 g/mol en forma anhidra y 329,85 g/mol en dihidrato. El tungstato de sodio tiene una alta solubilidad en agua y puede formar soluciones alcalinas con un valor de pH generalmente entre 8-9, dependiendo de la concentración y las condiciones ambientales.

1.2 Propiedades físicas del tungstato de sodio

Las propiedades físicas del tungstato de sodio varían ligeramente según su forma (anhidro o hidratado). Las principales propiedades físicas son las siguientes:

- **Aspecto** : El tungstato de sodio anhidro es un polvo cristalino blanco o ligeramente amarillo, y el dihidrato es un cristal ortorrómbico transparente o blanco.
- **Densidad** : La densidad del tungstato de sodio anhidro es de aproximadamente $4,18 \text{ g/cm}^3$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

y la densidad del dihidrato es de aproximadamente 3,25 g/cm³.

- **Punto de fusión** : El punto de fusión del tungstato de sodio anhidro es de 698 °C. Se descompone en óxido de tungsteno (WO₃) y óxido de sodio (Na₂O) a alta temperatura.
- **Solubilidad** : El tungstato de sodio tiene una alta solubilidad en agua, alrededor de 73 g/100 mL a 20 °C, que aumenta ligeramente con el aumento de la temperatura; es insoluble en solventes orgánicos como etanol y éter.
- **Higroscopicidad** : El dihidrato es estable al aire, y la forma anhidra es ligeramente higroscópica y debe almacenarse en un recipiente hermético. Estas propiedades físicas hacen que el tungstato de sodio sea fácil de procesar y almacenar, y adecuado para diversas aplicaciones industriales y experimentales.

1.3 Propiedades químicas del tungstato de sodio

Las propiedades químicas del tungstato de sodio están determinadas principalmente por la estructura tetraédrica de los iones de tungstato y el alto estado de oxidación del tungsteno, mostrando las siguientes características:

- **Acidez y alcalinidad** : La solución acuosa de tungstato de sodio es ligeramente alcalina, ya que el ion tungstato se hidroliza parcialmente para formar hidróxido de ácido tungstico (HWO₄⁻). Puede reaccionar con un ácido fuerte para formar ácido tungstico insoluble (H₂WO₄), por ejemplo: Na₂WO₄ + 2HCl → H₂WO₄ ↓ + 2NaCl.
- **Propiedad de oxido-reducción** : El tungsteno es estable a valencia +6, y el tungstato de sodio no se oxida fácilmente. Sin embargo, bajo la acción de un agente reductor fuerte (como el polvo de zinc), el tungsteno puede reducirse a un estado de valencia baja para formar óxido de tungsteno azul.
- **Capacidad de formación de complejos** : Los iones de tungstato pueden formar complejos estables con una variedad de iones metálicos (como Fe³⁺, Cu²⁺) y se utilizan en química analítica y diseño de catalizadores.
- **Estabilidad térmica** : El tungstato de sodio es estable a temperatura ambiente, pero comienza a descomponerse cuando se calienta a más de 700 °C, generando óxido de tungsteno y óxido de sodio.
- **Actividad catalítica** : El tungstato de sodio presenta un rendimiento catalítico en reacciones de oxidación y se utiliza a menudo como cocatalizador en petroquímica y síntesis orgánica. Estas propiedades químicas determinan su versatilidad en catálisis industrial, química analítica y biomedicina.

1.4 Estructura cristalina y propiedades moleculares del tungstato de sodio

La estructura cristalina del tungstato de sodio varía según su morfología. El tungstato de sodio anhidro suele tener una estructura cristalina cúbica (grupo espacial Fd-3m), con iones de sodio y tungstato dispuestos mediante enlaces iónicos. El dihidrato (Na₂WO₄ · 2H₂O) es un cristal ortorrómbico (grupo espacial Pnma), en el que las moléculas de agua se unen a los iones de tungstato y sodio mediante enlaces de hidrógeno, lo que mejora la estabilidad del cristal.

El ion tungstato (WO₄²⁻) está en una configuración tetraédrica regular, con una longitud de enlace

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

WO de aproximadamente 1,78 Å y un ángulo de enlace de casi 109,5°. La espectroscopia infrarroja (IR) muestra que el pico de absorción característico del tungstato está a 800-900 cm^{-1} , lo que se atribuye a la vibración de estiramiento del WO. El análisis de difracción de rayos X (DRX) muestra que los parámetros reticulares del tungstato de sodio son similares a los del tungstato de calcio (CaWO_4), lo que refleja la similitud estructural de los tungstatos. La simulación de dinámica molecular revela además que el tungstato de sodio mantiene una estructura tetraédrica en solución acuosa, pero puede formar politungstatos (como $[\text{W}_2\text{O}_7]^{2-}$) a altas concentraciones, lo que afecta su comportamiento químico.

1.5 Isómeros y compuestos relacionados del tungstato de sodio

El tungstato de sodio en sí no tiene isómeros, pero los compuestos con propiedades químicas similares incluyen otros tungstatos y derivados del ácido tungstico, principalmente como los siguientes:

- **Otros tungstatos**, como el tungstato de potasio (K_2WO_4) y el tungstato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$), tienen propiedades químicas similares pero diferente solubilidad y estructura cristalina, y se utilizan en catalizadores y pigmentos.
- **Politungstato** El tungstato de sodio se puede polimerizar en tungstatos polinucleares en condiciones ácidas, como el hexatungstato de sodio ($\text{Na}_6[\text{W}_6\text{O}_{19}]$), que se utiliza en materiales fotocatalíticos.
- **tungstico**: El ácido tungstico (H_2WO_4) generado por la reacción del tungstato de sodio y el ácido es un precipitado amarillo y es un intermedio importante en la metalurgia del tungsteno.
- **Óxido de tungsteno**: El producto de descomposición a alta temperatura, óxido de tungsteno (WO_3), se usa ampliamente en dispositivos electrocrómicos y materiales de almacenamiento de energía.
- **Complejos de tungstato de sodio**: como los complejos formados por tungstato de sodio y ligandos orgánicos, que se utilizan en biomedicina y nanotecnología. Las propiedades de estos compuestos están estrechamente relacionadas con las del tungstato de sodio y, en conjunto, constituyen un rico sistema químico del tungsteno, que ofrece diversas opciones para la investigación de aplicaciones posteriores.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

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

2. Sodium Tungstate Features

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

3. Product Specifications

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

4. Packaging and Quality Assurance

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

5. Procurement Information

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Capítulo 2 Clasificación y forma del tungstato de sodio

El tungstato de sodio (Na_2WO_4) es un compuesto inorgánico multiusos, cuya forma y clasificación influyen directamente en sus aplicaciones en la industria, la investigación científica y la medicina. Este capítulo presenta sistemáticamente la forma anhidra y el hidrato del tungstato de sodio, sus diferentes grados de pureza, sus formas en solución y sólida, así como los requisitos de envasado y almacenamiento, proporcionando así las bases para el posterior análisis de su proceso de preparación y sus aplicaciones.

Forma anhidra y dihidrato de tungstato de sodio ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

El tungstato de sodio existe principalmente en forma anhidra (Na_2WO_4) y forma dihidrato ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), ambas con características propias en estructura y aplicación. El tungstato de sodio anhidro es un polvo cristalino blanco o ligeramente amarillo con un peso molecular de 293,82 g/mol, una densidad de aproximadamente 4,18 g/cm³ y un punto de fusión de 698 °C. Por lo general, se utiliza en procesos de alta temperatura o escenarios que requieren materias primas de alta pureza, como la preparación de polvo de tungsteno y la síntesis de catalizadores. El dihidrato es un cristal ortorrómbico transparente o blanco con un peso molecular de 329,85 g/mol y una densidad de aproximadamente 3,25 g/cm³. Es más estable a temperatura ambiente, fácil de almacenar y transportar, y se utiliza a menudo en análisis de laboratorio y preparación de soluciones acuosas. Las dos moléculas de agua del dihidrato están unidas al ion tungstato mediante enlaces de hidrógeno y pueden deshidratarse a su forma anhidra al calentarse a más de 100 °C. Ambas formas son solubles en agua, pero el dihidrato es menos higroscópico en un ambiente húmedo y es adecuado para el almacenamiento a largo plazo.

2.2 Diferentes niveles de pureza del tungstato de sodio (grado industrial, grado analítico, grado farmacéutico)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El tungstato de sodio se clasifica en diferentes grados de pureza según su uso y contenido de impurezas, incluyendo principalmente el grado industrial, el grado analítico y el grado farmacéutico:

- **Grado industrial** : Su pureza suele ser del 98% al 99%, conteniendo impurezas traza como molibdeno (Mo) y hierro (Fe). Es adecuado para la metalurgia del tungsteno (como la producción de paratungstato de amonio), la preparación de catalizadores y la fabricación de pigmentos. Su bajo costo satisface las necesidades industriales a gran escala.
- **Analíticamente puro (AR)** : Pureza $\geq 99,5$ %, con un contenido de impurezas estrictamente controlado (p. ej., Mo $< 0,01$ %). Se utiliza para análisis de laboratorio, como la determinación de fosfato y experimentos bioquímicos. El tungstato de sodio analíticamente puro requiere múltiples etapas de purificación, como intercambio iónico o recristalización.
- **Grado farmacéutico** : Pureza $\geq 99,9$ %, conforme a las normas de la farmacopea (como USP o CP), con un contenido extremadamente bajo de metales pesados y microorganismos, utilizado en investigación biomédica (como el tratamiento de la diabetes) y el desarrollo de fármacos. La producción de tungstato de sodio de grado farmacéutico debe cumplir con los requisitos de las BPF (Buenas Prácticas de Fabricación). La elección de los diferentes niveles de pureza depende del escenario de aplicación; por ejemplo, el grado industrial es adecuado para situaciones donde el coste es un factor importante, mientras que el grado farmacéutico prioriza la seguridad y la biocompatibilidad.

2.3 Formas sólidas y en solución de tungstato de sodio

El tungstato de sodio puede presentarse en forma sólida o en solución, según las necesidades de uso. Las formas sólidas incluyen polvo de tungstato de sodio anhidro y cristales dihidratados, que son fáciles de almacenar, transportar y pesar con precisión, y son adecuados para la preparación de catalizadores, la pulvimetalurgia y la síntesis en laboratorio. La solución suele ser acuosa, con un rango de concentración que va desde una solución diluida (1-5 % p/v) hasta una solución saturada (aproximadamente un 40 % p/v a 20 °C), y se utiliza ampliamente en el tratamiento de aguas residuales, experimentos biológicos y procesos de galvanoplastia. La solución de tungstato de sodio es débilmente alcalina (pH 8-9) y los cristales pueden precipitar a altas concentraciones. Es necesario controlar la temperatura y el pH para mantener la estabilidad. En aplicaciones específicas, como la fotocatalisis o la investigación en baterías, la solución de tungstato de sodio puede mezclarse con disolventes orgánicos (como el etilenglicol) para formar una solución coloidal o precursora. La conversión entre formas sólidas y soluciones debe considerar el efecto del calor de disolución y el riesgo de introducción de impurezas.

2.4 Requisitos de embalaje y almacenamiento del tungstato de sodio

El envasado y almacenamiento del tungstato de sodio afecta directamente su calidad y vida útil. Los principales requisitos son los siguientes:

- **Envasado** : El tungstato de sodio sólido se envasa generalmente en bolsas de plástico selladas, barriles de polietileno o botellas de vidrio, revestidas con materiales impermeables para evitar la absorción de humedad y la contaminación. Los productos de grado industrial se envasan principalmente en barriles de 25 o 50 kg, mientras que los productos de grado analítico y farmacéutico se envasan principalmente en envases pequeños de 100 g a 1 kg.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Las soluciones se envasan en barriles de plástico resistentes a la corrosión o recipientes de vidrio, marcados con la concentración y el número de lote.

- **Condiciones de almacenamiento** : El tungstato de sodio debe almacenarse en un ambiente fresco, seco y ventilado, con una temperatura controlada de 5-30 °C y una humedad relativa inferior al 60 %. El tungstato de sodio anhidro debe ser especialmente resistente a la humedad, mientras que el dihidrato es relativamente estable, pero debe mantenerse alejado de altas temperaturas. La solución debe almacenarse en un recipiente hermético para evitar su volatilización o cristalización.
- **Nota de seguridad** : El tungstato de sodio es una sustancia química poco tóxica, pero el contacto con la piel o la inhalación de polvo puede causar irritación, por lo que el área de almacenamiento debe contar con equipo de protección. Los productos de grado farmacéutico deben almacenarse aislados para evitar la contaminación cruzada.
- **Vida útil** : En condiciones adecuadas, el tungstato de sodio sólido puede tener una vida útil de 2 a 3 años. Se recomienda usar la solución en un plazo de 6 a 12 meses, y se deben analizar regularmente el pH y el contenido de impurezas. El envasado y almacenamiento estandarizados garantizan la estabilidad y seguridad del tungstato de sodio en la producción industrial, la investigación de laboratorio y las aplicaciones médicas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

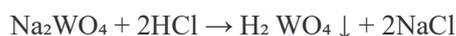


Capítulo 3 Reacción química del tungstato de sodio

El tungstato de sodio (Na_2WO_4) es un compuesto inorgánico químicamente activo, y sus características de reacción son de gran importancia en la producción industrial, la química analítica y la catálisis. Este capítulo analiza sistemáticamente la reacción del tungstato de sodio con ácido, la reacción compleja con iones metálicos, las características redox, la descomposición térmica y la reacción a alta temperatura, así como su efecto catalítico y mecanismo de reacción, con el fin de proporcionar fundamento teórico para el posterior proceso de preparación y la investigación de aplicaciones.

3.1 Reacción del tungstato de sodio con ácido (generando ácido tungstico, etc.)

El tungstato de sodio es débilmente alcalino (pH 8-9) en solución acuosa, y la reacción con ácidos es uno de sus comportamientos químicos más comunes. Cuando el tungstato de sodio reacciona con ácidos fuertes (como el ácido clorhídrico o el ácido sulfúrico), el ion tungstato (WO_4^{2-}) se protona, generando la precipitación de ácido tungstico insoluble (H_2WO_4). La ecuación de reacción es la siguiente:



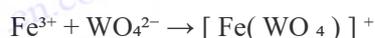
El ácido tungstico es un sólido amarillo, ligeramente soluble en agua (su solubilidad es de aproximadamente 0,02 g/100 mL), estable en un entorno ácido y a menudo se utiliza como intermediario en la metalurgia del tungsteno. La velocidad de reacción se ve afectada por la concentración de ácido, la temperatura y las condiciones de agitación. Las altas concentraciones de ácido pueden acelerar la formación de precipitados. Además, el tungstato de sodio reacciona

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

lentamente con ácidos débiles (como el ácido acético) y puede formar intermediarios parcialmente protonados (como HWO_4^-). En condiciones de acidez fuerte, el ácido tungstico puede polimerizarse aún más en ácidos politungsticos (como $\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$), que se utilizan para preparar catalizadores poliácidos.

3.2 Reacción de complejación del tungstato de sodio y los iones metálicos

El ion tungstato del tungstato de sodio posee una fuerte capacidad de coordinación y puede formar complejos estables con diversos iones metálicos (como Fe^{3+} , Cu^{2+} y Ni^{2+}), ampliamente utilizados en química analítica y diseño de catalizadores. Por ejemplo, el tungstato reacciona con iones de hierro (III) para formar complejos solubles de tungstato de hierro, que suelen emplearse como precipitantes de proteínas. La fórmula de reacción es la siguiente:



En química analítica, el tungstato de sodio se une competitivamente a iones metálicos con molibdato (MoO_4^{2-}) y fosfato (PO_4^{3-}) para formar estructuras de isopoliácido para análisis espectral y determinación colorimétrica. Además, los complejos de tungstato de sodio con iones de metales de transición (como Co^{2+} , Mn^{2+}) muestran un excelente rendimiento en reacciones de oxidación catalítica, y la estabilidad de los complejos a menudo se caracteriza por espectroscopia ultravioleta-visible (UV-Vis) y espectroscopia infrarroja (IR). La selectividad de la reacción compleja se ve afectada por el pH, la concentración iónica y la competencia del ligando, y las condiciones de reacción deben controlarse con precisión.

3.3 Características de la reacción redox del tungstato de sodio

El tungsteno presente en el tungstato de sodio se encuentra en el estado de oxidación +6 (W^{6+}), el más alto. Por lo tanto, no se oxida fácilmente en condiciones normales, pero puede reducirse a un estado de baja valencia (como W^{5+} o W^{4+}) mediante un agente reductor fuerte. Por ejemplo, en una solución ácida, el tungstato de sodio reacciona con polvo de zinc para formar óxido de tungsteno azul (W_2O_5 o WO_2), y la reacción es la siguiente:



Este óxido azul posee propiedades semiconductoras y se utiliza en materiales y sensores electrocromicos. El potencial redox del tungstato de sodio es de aproximadamente -0,1 V (en relación con el electrodo de hidrógeno estándar), el cual se ve afectado por el pH de la solución y el entorno del ligando. En aplicaciones catalíticas, el tungstato de sodio se utiliza a menudo como transportador de oxidantes para promover la oxidación selectiva de materia orgánica mediante la sinergia con el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) o el oxígeno. Estudios electroquímicos han demostrado que el tungstato de sodio puede experimentar transferencia reversible de un solo electrón en la superficie del electrodo, lo cual resulta adecuado para el almacenamiento de energía y la electrocatálisis.

3.4 Descomposición térmica y reacción a alta temperatura del tungstato de sodio

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El tungstato de sodio es químicamente estable a temperatura ambiente, pero se descompone o cambia de fase a altas temperaturas. El tungstato de sodio anhidro empieza a fundirse al calentarse a aproximadamente 698 °C y se descompone en óxido de tungsteno (WO₃) y óxido de sodio (Na₂O) al calentarse a más de 800 °C. La reacción es la siguiente :



El dihidrato (Na₂WO₄ · 2H₂O) primero pierde agua cristalina a 100-150 °C y se convierte en forma anhidra. El análisis termogravimétrico (TGA) y la calorimetría diferencial de barrido (DSC) muestran que el proceso de descomposición del tungstato de sodio es una reacción endotérmica, y la morfología y pureza del producto de descomposición se ven afectadas por la velocidad de calentamiento y la atmósfera (como el aire o un gas inerte). En una atmósfera reductora de alta temperatura (como H₂), el tungstato de sodio puede generar directamente tungsteno metálico, que se usa ampliamente en la producción de polvo de tungsteno. Además, el tungstato de sodio reacciona con carbonatos o silicatos a altas temperaturas para generar materiales cerámicos a base de tungstato, que se usan en materiales estructurales de alta temperatura.

3.5 Efecto catalítico y mecanismo de reacción del tungstato de sodio

El tungstato de sodio exhibe un excelente rendimiento en diversas reacciones catalíticas, especialmente en reacciones de oxidación, deshidratación y esterificación. Su actividad catalítica se debe principalmente a la acidez de Lewis y la capacidad de coordinación del ion tungstato. Por ejemplo, el tungstato de sodio se combina con peróxido de hidrógeno para formar ácido peroxitúngstico ([WO(O₂)₂]²⁻), que puede catalizar la oxidación de alcoholes a aldehídos o cetonas. El mecanismo de reacción es el siguiente:

1. **Generación de especies activas** : El tungstato se coordina con H₂O₂ para formar ácido peroxitúngstico .
2. **Oxidación del sustrato** : el átomo de oxígeno del ácido peroxitúngstico se transfiere al sustrato (como el alcohol) para generar un producto de oxidación.
3. **Regeneración del catalizador** : el tungstato vuelve a su estado inicial y la catálisis continúa.

En la industria petroquímica, el tungstato de sodio se utiliza como cocatalizador para promover la epoxidación de olefinas y la hidroxilación de compuestos aromáticos. En el campo de la fotocatalisis, el tungstato de sodio se combina con materiales semiconductores (como el TiO₂) para mejorar la respuesta a la luz visible y degradar contaminantes orgánicos. El mecanismo de reacción catalítica se estudia mediante la teoría del funcional de la densidad (DFT) y la espectroscopia in situ (como Raman y XPS), lo que revela la transferencia de electrones y los sitios tensioactivos del tungstato. La eficiencia catalítica se ve afectada por el pH, la temperatura y el cocatalizador, y es necesario optimizar las condiciones de reacción para lograr una conversión eficiente.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

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

2. Sodium Tungstate Features

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

3. Product Specifications

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

4. Packaging and Quality Assurance

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

5. Procurement Information

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Capítulo 4 Método de preparación de laboratorio de tungstato de sodio

El tungstato de sodio (Na_2WO_4) es un reactivo químico importante con diversos métodos de preparación en laboratorio, adecuados para diversas necesidades de investigación y docencia. Este capítulo presenta sistemáticamente la extracción del tungstato de sodio del mineral de tungsteno, la síntesis química (reacción del ácido tungstico con hidróxido de sodio), la tecnología de preparación electroquímica, la tecnología de purificación y cristalización en laboratorio, y las precauciones de seguridad durante el proceso de preparación. Este capítulo proporciona una guía práctica para los investigadores y sienta las bases para el capítulo sobre producción industrial (Capítulo 5).

4.1 Extracción de tungstato de sodio a partir de mineral de tungsteno

El mineral de tungsteno (como la scheelita CaWO_4 o la wolframita FeWO_4) es la principal materia prima para la preparación de tungstato de sodio. La extracción en laboratorio suele emplear un método de lixiviación alcalina. Primero, el mineral de tungsteno triturado reacciona con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) a alta temperatura ($100\text{-}150\text{ }^\circ\text{C}$) para generar tungstato de sodio soluble. La reacción es la siguiente:

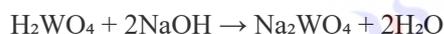


COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ca(OH)₂: El precipitado generado por la reacción se separa por filtración. La solución puede contener impurezas como silicio y fósforo, que deben neutralizarse con ácido a un pH de 8-9. Tras la precipitación de las impurezas, se obtiene una solución cruda de tungstato de sodio. Posteriormente, se obtiene tungstato de sodio dihidratado (Na₂WO₄ · 2H₂O) mediante cristalización por evaporación o añadiendo etanol para promover la precipitación. Este método es adecuado para preparar tungstato de sodio a partir de minerales naturales con un rendimiento aproximado del 85% al 90%, pero es necesario controlar la concentración de álcali y el tiempo de reacción para evitar la acumulación de subproductos.

4.2 Síntesis química del tungstato de sodio (reacción del tungstato con hidróxido de sodio)

El método de síntesis química utiliza ácido tungstico (H₂WO₄) u óxido de tungsteno (WO₃) como materia prima y reacciona con hidróxido de sodio para producir tungstato de sodio, adecuado para la preparación a pequeña escala en laboratorios de productos de alta pureza. La reacción típica es la siguiente:



o



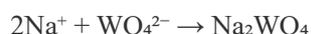
Pasos experimentales:

1. Agregue la cantidad adecuada de agua desionizada al ácido tungstico o al óxido de tungsteno y revuelva para formar una suspensión.
2. Añadir lentamente solución de hidróxido de sodio (1-2 M) y calentar a 80-100 °C, revolviendo hasta que el sólido se disuelva completamente.
3. La solución se filtra para eliminar las impurezas que no han reaccionado y la solución transparente resultante se enfría y cristaliza o concentra a presión reducida para obtener cristales de tungstato de sodio.
4. Lavar los cristales con una pequeña cantidad de agua fría y secarlos para obtener Na₂WO₄ · 2H₂O con una pureza de ≥99 %.

Este método es sencillo de operar, con un rendimiento superior al 90 %, y es adecuado para la preparación de tungstato de sodio de grado analítico o farmacéutico. El uso de materias primas de alta pureza y el control del pH (8-10) pueden mejorar aún más la calidad del producto.

4.3 Tecnología de preparación electroquímica de tungstato de sodio

El método electroquímico prepara tungstato de sodio mediante la electrolisis de tungsteno o compuestos de tungsteno, lo cual es ecológico y eficiente. El dispositivo experimental suele incluir un ánodo metálico de tungsteno, un cátodo de acero inoxidable y una solución electrolítica de hidróxido de sodio (NaOH) (0,5-1 M). Bajo la acción de una corriente continua (voltaje de 5-10 V), el ánodo de tungsteno se oxida y disuelve para generar iones de tungstato, que se combinan con los iones de sodio en la solución para generar tungstato de sodio. La reacción es la siguiente:



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Durante el proceso de electrólisis, se genera hidrógeno en el cátodo, por lo que se requiere ventilación para garantizar la seguridad. Tras filtrar el electrolito para eliminar las impurezas insolubles, se obtiene tungstato de sodio por evaporación y cristalización. La ventaja del método electroquímico reside en su alta tasa de utilización de la materia prima (cercana al 95%), lo cual resulta adecuado para la preparación de tungstato de sodio de alta pureza. Sin embargo, el coste del equipo es relativamente alto y es necesario optimizar la densidad de corriente (0,1-0,5 A/cm²) y el tiempo de electrólisis para mejorar la eficiencia.

4.4 Tecnología de purificación y cristalización de tungstato de sodio en laboratorio

El tungstato de sodio preparado en el laboratorio suele contener trazas de impurezas (como molibdeno, hierro y calcio) y requiere purificación para mejorar su calidad. Los métodos de purificación más comunes incluyen:

- **Recristalización** : Disolver el tungstato de sodio crudo en agua caliente (60-80 °C), filtrar para eliminar la materia insoluble y enfriar a temperatura ambiente para precipitar los cristales. Repetir 2-3 veces para aumentar la pureza a más del 99,5 %.
- **Intercambio iónico** : Utilice resina de intercambio catiónico (como Amberlite IR-120) para eliminar impurezas metálicas, o resina de intercambio aniónico para eliminar silicato y fosfato. El pH de la solución se controla entre 7 y 9 para mantener la estabilidad del tungstato.
- **Separación por precipitación** : agregue sulfuro de amonio ((NH₄)₂S) para precipitar sulfuro de molibdeno (MoS₂) y luego filtre para obtener una solución de tungstato de sodio puro.

En cuanto a la tecnología de cristalización, el método de enfriamiento lento permite obtener cristales grandes de dihidrato, mientras que el método de evaporación rápida es adecuado para preparar cristales pequeños. El secado de los cristales se realiza en un horno de vacío a 50-60 °C para evitar la deshidratación a alta temperatura. Es necesario monitorizar el contenido de impurezas durante el proceso de purificación y cristalización (como la detección por ICP-MS) para garantizar que cumpla con los estándares de pureza analítica o de grado farmacéutico.

4.5 Precauciones de seguridad en la preparación de tungstato de sodio

La preparación de tungstato de sodio implica una fuerte álcali, alta temperatura y operación electroquímica, y las normas de seguridad deben seguirse estrictamente:

- **Seguridad química** : El hidróxido de sodio es altamente corrosivo, por lo que se recomienda usar gafas protectoras, guantes y batas de laboratorio al operarlo. El polvo de tungstato de sodio puede irritar las vías respiratorias y debe manipularse en una campana extractora.
- **Operación a alta temperatura** : Use un baño de agua o una placa calefactora a temperatura constante para calentar la reacción (100-150 °C) y evitar salpicaduras de la solución. Evite quemaduras durante el enfriamiento y la cristalización.
- **Seguridad electroquímica** : El dispositivo de electrólisis debe estar conectado a tierra, y

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

los electrodos y las líneas deben revisarse periódicamente. El hidrógeno debe descargarse a través del sistema de escape para evitar su acumulación y explosión.

- **Tratamiento de líquidos residuales** : Los líquidos residuales que contienen tungsteno son residuos de metal pesado y deben neutralizarse a un pH de 6-8 y eliminarse adecuadamente después de precipitar el ácido tungstico de acuerdo con las normas de protección ambiental (como GB/T 30810).
- **Almacenamiento y etiquetado** : El tungstato de sodio preparado debe almacenarse en un recipiente sellado y marcado con el nombre químico, la pureza y la fecha de preparación para evitar su uso indebido.

Mediante operaciones estandarizadas, se puede garantizar que el proceso de preparación sea seguro y eficiente y que la calidad del producto pueda ser estable.

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

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

2. Sodium Tungstate Features

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

3. Product Specifications

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

4. Packaging and Quality Assurance

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

5. Procurement Information

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Capítulo 5 Proceso de producción industrial de tungstato de sodio

El tungstato de sodio (Na_2WO_4) es un intermediario importante en la metalurgia del tungsteno y la industria química. Su proceso de producción industrial afecta directamente la calidad, el costo y los beneficios ambientales del producto. Este capítulo presenta sistemáticamente la selección de la materia prima, el proceso hidrometalúrgico, el proceso de tostación y disolución, la tecnología de cristalización y secado industrial, los equipos de producción y el control de automatización, así como el tratamiento y reciclaje de subproductos de la producción industrial de tungstato de sodio, proporcionando una referencia completa para profesionales e investigadores de la industria.

5.1 Selección de materias primas para el tungstato de sodio (scheelita, wolframita, material de tungsteno de desecho)

del tungstato de sodio incluyen principalmente scheelita (CaWO_4), wolframita ($(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$) y materiales de tungsteno de desecho (como catalizadores de desecho y aleaciones de desecho). La scheelita contiene alrededor del 50%-70% de tungsteno (en términos de WO_3), que es fácil de reaccionar con álcali y adecuado para la hidrometalurgia, y es la principal materia prima. La wolframita contiene un poco menos de tungsteno (40%-60%) y necesita ser pretratada para eliminar el hierro y el manganeso. A menudo se utiliza en procesos de tostación. El contenido de tungsteno de los materiales de tungsteno de desecho varía mucho (10%-90%) y necesita ser clasificado y reciclado, lo cual es adecuado para la economía circular.

Los factores clave en la selección de materia prima incluyen:

- **Contenido de tungsteno** : Se prefieren los minerales de alto grado ($\text{WO}_3 > 50\%$) para reducir los costos de procesamiento.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Impurezas** : Las impurezas como el silicio, el fósforo y el molibdeno deben controlarse para reducir los pasos de purificación.
- **Tamaño de partícula** : El mineral se tritura a 100-200 mallas para mejorar la eficiencia de la reacción.
- **Sostenibilidad** : El reciclaje de tungsteno residual puede reducir la dependencia de los minerales y cumplir con los requisitos de protección del medio ambiente.

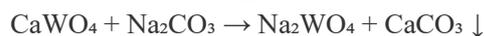
Como el mayor productor de tungsteno del mundo, China tiene ricas reservas de scheelita en Hunan y Jiangxi, que proporcionan una materia prima estable para la producción de tungstato de sodio.

5.2 Proceso hidrometalúrgico del tungstato de sodio (lixiviación alcalina, intercambio iónico)

La hidrometalurgia es el proceso principal para la producción industrial de tungstato de sodio, que generalmente utiliza lixiviación alcalina combinada con intercambio iónico. El método de lixiviación alcalina consiste en la reacción de la scheelita o la wolframita con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) o carbonato de sodio (Na_2CO_3) a alta temperatura y presión (120-200 °C, 0,5-2 MPa) para generar una solución de tungstato de sodio. La reacción típica es la siguiente:



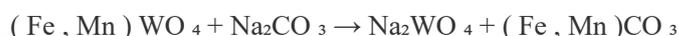
o



Tras la reacción, la sal de calcio insoluble ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ o CaCO_3) se filtra para eliminar la solución cruda de tungstato de sodio. Esta solución suele contener impurezas como silicato, fosfato y molibdato, que deben purificarse mediante intercambio iónico. Se utiliza una resina de intercambio aniónico alcalina fuerte (como D201) para adsorber selectivamente WO_4^{2-} y obtener una solución de tungstato de sodio de alta pureza tras la elución. El proceso húmedo tiene un rendimiento del 90%-95% y un bajo consumo energético, pero requiere el tratamiento de una gran cantidad de líquido residual alcalino, y el pH se controla entre 8 y 10 para optimizar la eficiencia de separación.

5.3 Proceso de calcinación y disolución del tungstato de sodio

El proceso de tostación es adecuado para la wolframita o mineral de baja ley. El mineral debe mezclarse primero con carbonato de sodio (Na_2CO_3) y tostarse a 800-1000 °C para producir tungstato de sodio soluble. La reacción es la siguiente:



El producto tostado se lixivia con agua caliente (60-80 °C) para disolver el tungstato de sodio y se filtra para eliminar los compuestos insolubles de hierro y manganeso. El lixiviado se acidifica (pH 7-8) para precipitar impurezas como silicio y fósforo, y luego se ajusta el pH a 9-10 con hidróxido de sodio para promover la cristalización del tungstato de sodio. El proceso de tostado es adecuado para procesar minerales complejos, pero el consumo de energía es elevado y el gas residual (CO_2) y la escoria sólida deben gestionarse adecuadamente. El equipo de tostado suele ser un horno rotatorio o un horno multicámara, y la temperatura y la atmósfera deben controlarse con precisión para evitar la volatilización del tungstato de sodio.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.4 Tecnología de cristalización y secado industrial del tungstato de sodio

sodio se suele lograr mediante evaporación o enfriamiento. La evaporación concentra la solución de tungstato de sodio hasta la saturación a presión reducida (0,01-0,05 MPa, 80-100 °C) para precipitar cristales de dihidrato ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). La refrigeración enfría lentamente la solución caliente (80 °C) a 20-30 °C para obtener cristales de partículas grandes, adecuados para productos de alta pureza. El proceso de cristalización requiere controlar la velocidad de enfriamiento (1-2 °C/min) y la velocidad de agitación (100-200 rpm) para asegurar la uniformidad de los cristales.

Las tecnologías de secado incluyen:

- **Secado con aire caliente** : El secado a 100-120 °C, adecuado para productos de grado industrial, demora entre 2 y 4 horas.
- **Secado al vacío** : El secado a 50-60 °C y 0,01 MPa es adecuado para productos de grado analítico o farmacéutico y retiene el agua cristalina.
- **Secado por aspersión** : rocíe la solución de tungstato de sodio en micropartículas y séquelas directamente en polvo anhidro, lo que es altamente eficiente pero tiene un alto costo de equipo.

Es necesario analizar el tungstato de sodio seco para determinar su contenido de humedad (<0,5 %) y el tamaño de partícula (50-200 μm) para garantizar el cumplimiento de las normas (como GB/T 26037).

5.5 Equipos de producción de tungstato de sodio y control de automatización

La producción de tungstato de sodio implica un proceso de varios pasos que requiere equipos especiales y sistemas de control automatizados:

- **Equipo de reacción** : autoclave (lixiviación alcalina), horno rotatorio (tostación), resistente a altas temperaturas y presiones, fabricado en acero inoxidable o aleación de titanio.
- **Equipos de separación** : Filtro prensa de placas y marcos (separación sólido-líquido), columna de intercambio iónico (purificación), con una capacidad de procesamiento de 10-100 m^3/h .
- **Equipos de cristalización y secado** : evaporador de efecto múltiple (cristalización), secador de lecho fluidizado (secado), diseño de ahorro de energía para reducir el consumo de energía.
- **Control de automatización** : El sistema PLC (Controlador Lógico Programable) monitorea la temperatura, la presión, el pH y el caudal con una precisión de $\pm 0,5$ °C y $\pm 0,01$ MPa. Los sensores detectan la concentración de la solución (WO_4^{2-}) en tiempo real para garantizar una calidad estable del producto.

El sistema de automatización permite la operación remota mediante SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos), lo que reduce la intervención manual y mejora la eficiencia de la producción. El mantenimiento del equipo requiere una limpieza regular para evitar la formación de incrustaciones de tungstato de sodio.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.6 Tratamiento y reciclaje de subproductos de tungstato de sodio

La producción de tungstato de sodio genera una variedad de subproductos que deben manejarse adecuadamente para reducir el impacto ambiental y lograr el reciclaje de recursos:

- **Subproductos sólidos** : Las sales de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCO_3) se pueden utilizar en la producción de cemento o cal; los compuestos de hierro y manganeso se recuperan mediante separación magnética y se utilizan en la fundición de acero.
- **Subproductos líquidos** : El líquido residual que contiene molibdeno y fósforo se recupera como molibdato de sodio (Na_2MoO_4) mediante precipitación o intercambio iónico, y las aguas residuales se neutralizan (pH 6-8) para cumplir con los estándares de descarga.
- **del gas** : El CO_2 producido durante la tostación se procesa mediante tecnología de captura de carbono o se utiliza para la regeneración de carbonato de sodio.
- **Reciclaje: Los materiales de tungsteno de desecho (como los catalizadores)** pueden regenerarse en materias primas de tungstato de sodio mediante lixiviación ácida o tostación, con una tasa de recuperación del 80% al 90%. La solución de NaOH o Na_2CO_3 que no reacciona durante la producción puede reciclarse para reducir costos.

El tratamiento de subproductos debe cumplir con las regulaciones ambientales (como GB 25467) y adoptar tecnologías de producción limpias, como el sistema de descarga cero (ZLD), para lograr un desarrollo sustentable.



Capítulo 6 Control de calidad y pruebas del tungstato de sodio

El tungstato de sodio (Na_2WO_4) es fundamental para garantizar el cumplimiento de los requisitos de las aplicaciones industriales, científicas y médicas. La calidad del producto afecta directamente su rendimiento y seguridad, por lo que se requieren técnicas analíticas precisas y procesos estandarizados. Este capítulo presenta sistemáticamente el método analítico de pureza del tungstato de sodio, la detección de impurezas, la morfología cristalina y el análisis del tamaño de partícula, la determinación del pH y la concentración de la solución, así como las normas de prueba internacionales y nacionales, con el fin de brindar soporte técnico para la gestión de la calidad y su aplicación.

6.1 Método de análisis de la pureza del tungstato de sodio (ICP-MS, XRF, etc.)

El análisis de pureza del tungstato de sodio es fundamental para el control de calidad, y se suelen utilizar instrumentos de alta sensibilidad para garantizar resultados precisos. Los métodos comunes incluyen:

- **Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS)** : La ICP-MS puede detectar la concentración de tungsteno (W) y otros elementos con una sensibilidad de ppb (10^{-9}) . Tras disolver la muestra en agua desionizada, se ioniza mediante plasma y se separa mediante espectrometría de masas para detectar tungsteno e

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

impurezas (como Mo y Fe). El cálculo de la pureza se basa en el contenido de tungsteno, y el grado analítico requerido es $\geq 99,5\%$.

- **Espectroscopia de fluorescencia de rayos X (XRF)** : La XRF se utiliza para determinar rápidamente la composición elemental del tungstato de sodio sólido sin necesidad de un pretratamiento complejo de la muestra. La muestra se excita con rayos X, se detecta la fluorescencia característica y se analizan cuantitativamente el W, el Na y las impurezas. Es adecuada para el análisis de lotes de productos de grado industrial con una precisión del 0,01 %.
- **Espectroscopia de absorción atómica (AAS)** : para elementos específicos (como Na, Fe), la AAS mide la concentración absorbiendo luz de una longitud de onda específica a través de los átomos y a menudo se utiliza para verificar los resultados de ICP-MS.

Estos métodos requieren estándares de calibración (como los estándares de tungsteno NIST SRM 3163) y condiciones controladas de disolución de la muestra (pH 7-9) para evitar la polimerización del tungstato. La espectrometría de masas por inducción inducida (ICP-MS) es la primera opción para la detección de alta pureza, mientras que la fluorescencia de rayos X (XRF) es más adecuada para un control de calidad rápido.

6.2 Detección de impurezas en tungstato de sodio (Mo, Fe, Ca, etc.)

Las impurezas en el tungstato de sodio (como el molibdeno, el hierro y el calcio) afectarán su rendimiento catalítico y su seguridad biológica y requerirán pruebas estrictas:

- **Molibdeno (Mo)** : El molibdato (MoO_4^{2-}) tiene propiedades químicas similares al tungstato y suele separarse con sulfuro de amonio. Se añade $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ para generar un precipitado de MoS_2 , se filtra y se determina el contenido residual de Mo mediante ICP-MS. El grado industrial requiere $\text{Mo} < 0,05\%$ y el grado farmacéutico, $\text{Mo} < 0,001\%$.
- **Hierro (Fe)** : Las impurezas de hierro pueden provenir de la wolframita o de la corrosión del equipo. Se detectan mediante espectrometría de absorción atómica (AAS) o espectrofotometría (complejada con o-fenantrolina). La concentración de Fe^{3+} se determina por absorbancia, y el valor límite es $< 0,01\%$.
- **Calcio (Ca)** : El calcio proviene de la scheelita o de la calidad del agua y se detecta mediante titulación con EDTA o ICP-MS. El valor límite es $< 0,02\%$.
- **Otras impurezas** : El silicio (Si) y el fósforo (P) se detectan mediante colorimetría azul de silicio molibdeno o azul de fósforo molibdeno con una sensibilidad de nivel de ppm.

Las pruebas de impurezas deben realizarse en un laboratorio limpio para evitar la contaminación cruzada. El instrumento debe calibrarse periódicamente y deben utilizarse muestras en blanco para garantizar que el límite de detección (LOD) cumpla con los requisitos de la norma.

6.3 Morfología de los cristales de tungstato de sodio y análisis del tamaño de partículas

La morfología cristalina y el tamaño de partícula del tungstato de sodio afectan su solubilidad, fluidez y efecto de aplicación, y deben analizarse mediante los siguientes métodos:

- **Microscopio electrónico de barrido (SEM)** : el SEM observa la morfología del cristal (como el dihidrato ortorrómbico o el anhídrido cúbico) con una resolución de nanómetros

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

para confirmar si el cristal es uniforme y libre de defectos.

- **Análisis láser del tamaño de partícula** : Utilice un difractómetro láser (como el Malvern Mastersizer) para medir la distribución del tamaño de partícula. El rango de tamaño de partícula del tungstato de sodio de grado industrial es de 50-200 μm , y el de grado analítico es más fino (10-50 μm) . El D50 (tamaño medio de partícula) es el indicador clave.
- **Difracción de rayos X (DRX)** : la DRX analiza la estructura cristalina, confirma el sistema ortorrómbico (grupo espacial Pnma) de $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ o el sistema cúbico (Fd-3m) de Na_2WO_4 anhidro y detecta impurezas amorfas.

El control del tamaño de partícula debe combinarse con el proceso de cristalización (Capítulo 5.4), por ejemplo, ajustando la velocidad de enfriamiento o añadiendo semillas. Los resultados del análisis morfológico se utilizan para optimizar la producción y la aplicación (por ejemplo, los portadores de catalizador requieren un tamaño de partícula pequeño).

6.4 Determinación del pH y la concentración de la solución de tungstato de sodio

El valor de pH y la concentración de la solución de tungstato de sodio afectan directamente su estabilidad y efecto de aplicación, y deben determinarse con precisión:

- **Determinación del valor de pH** : Utilice un medidor de pH de precisión (precisión $\pm 0,01$) para medir el pH de la solución a 25 °C. La solución de tungstato de sodio suele ser ligeramente alcalina (pH 8-9) porque el WO_4^{2-} se hidroliza para generar HWO_4^{2-} . El ácido tungstico puede precipitar cuando el pH es demasiado bajo (<7), por lo que se debe utilizar NaOH para ajustarlo.
- **Determinación de la concentración** :
 - **Método gravimétrico** : Tomar una solución cuantitativa, evaporarla a sequedad, pesar el residuo de $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y calcular la concentración. Es adecuado para soluciones de alta concentración ($>10\%$ p/v) .
 - **Método de titulación** : utilice HCl estándar para titular el tungstato, agregue el indicador naranja de metilo, el pH del punto final es aproximadamente 4,5, calcule la concentración de WO_4^{2-} .
 - **Método espectroscópico** : determinación UV- Vis del pico de absorción de tungstato a 200-220 nm para análisis cuantitativo de soluciones de baja concentración ($<1\%$ p/v).

Se debe utilizar agua desionizada (resistividad $> 18 \text{M}\Omega \cdot \text{cm}$) para la determinación a fin de evitar la influencia de la absorción de CO_2 en el pH. Los resultados se utilizan para la preparación de soluciones (como soluciones de galvanoplastia o precursores de catalizadores).

6.5 Normas de prueba nacionales e internacionales para el tungstato de sodio (ISO, GB/T)

La inspección de calidad del tungstato de sodio debe cumplir con las normas internacionales y nacionales para garantizar la consistencia y el cumplimiento del producto:

- **Normas internacionales** :
 - **ISO 6353-3** : Especifica los métodos de análisis químico para tungstatos , incluida

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

la determinación de tungsteno e impurezas por ICP-MS y AAS.

- **ASTM E 1447** : Norma de prueba de pureza para compuestos de tungsteno, aplicable a métodos de titulación y XRF.
- **Normas nacionales :**
 - **GB/T 26037-2020** : Requisitos técnicos para tungstato de sodio de grado industrial y analítico, especificando pureza ($\geq 98\%$), límite de impurezas (Mo $< 0,05\%$) y método de detección.
 - **GB/T 30810-2014** : Especificaciones de gestión ambiental para productos químicos de tungsteno, que requieren la detección del contenido de tungsteno en líquidos residuales.
- **Estándares de grado farmacéutico** : consulte la Farmacopea China (CP) o la Farmacopea de los Estados Unidos (USP), límite de metales pesados < 10 ppm, las pruebas microbianas deben cumplir con los requisitos de esterilidad.

Las pruebas deben realizarse en un laboratorio con certificación ISO/IEC 17025, con muestras estándar y gráficos de control de calidad para garantizar la trazabilidad de los resultados. Es necesario supervisar las actualizaciones de las normas, como las revisiones de ISO y GB/T.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

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

2. Sodium Tungstate Features

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

3. Product Specifications

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

4. Packaging and Quality Assurance

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

5. Procurement Information

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

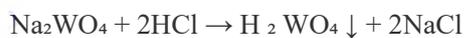


Capítulo 7 Aplicación industrial del tungstato de sodio

El tungstato de sodio (Na_2WO_4) desempeña un papel importante en numerosos campos industriales gracias a sus propiedades químicas y estabilidad únicas. Este capítulo presenta sistemáticamente su aplicación en la metalurgia del tungsteno, catalizadores y cocatalizadores, pigmentos y colorantes, materiales ignífugos y retardantes de llama, así como en la galvanoplastia y el tratamiento de superficies. Explica su mecanismo de acción y sus ventajas técnicas, y proporciona una referencia para la producción industrial y la optimización de procesos.

7.1 El papel del tungstato de sodio en la metalurgia del tungsteno (APT, preparación de polvo de tungsteno)

El tungstato de sodio es un intermedio clave en el proceso metalúrgico del tungsteno, utilizado para producir paratungstato de amonio. (APT) y polvo de tungsteno. En la industria, la solución de tungstato de sodio se acidifica (generalmente con HCl) para generar la precipitación de ácido tungstico (H_2WO_4) y luego reacciona con amoníaco para generar APT. La reacción es la siguiente:



El APT se calcina para generar óxido de tungsteno (WO_3), que posteriormente se reduce a polvo de tungsteno en atmósfera de hidrógeno y se utiliza en carburo cementado y materiales de alta temperatura. La alta solubilidad y estabilidad del tungstato de sodio garantiza una extracción eficiente del tungsteno con un rendimiento superior al 95%. Es necesario controlar el pH (2-4) y la temperatura (50-80 °C) de la solución durante el proceso para optimizar la calidad cristalina del

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

APT y reducir la interferencia de impurezas como el molibdeno.

7.2 Tungstato de sodio como catalizador y cocatalizador (industria petroquímica, reacción de oxidación)

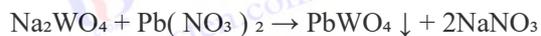
El tungstato de sodio se utiliza como catalizador o cocatalizador en la industria petroquímica y la síntesis orgánica, especialmente en reacciones de oxidación. Su actividad catalítica proviene de la reacción del tungstato (WO_4^{2-}) con peróxidos (como H_2O_2) para formar ácido peroxitungstico ($[WO(O_2)]_2]^{2-}$), que puede catalizar la epoxidación de olefinas y la oxidación de alcoholes. Por ejemplo, el tungstato de sodio cataliza la reacción del ciclohexeno con H_2O_2 para formar óxido de ciclohexeno, y la reacción es la siguiente:



En el craqueo de petróleo, el tungstato de sodio se combina con sales de níquel o cobalto como cocatalizador para mejorar la tasa de conversión de hidrocarburos. La eficiencia catalítica se ve afectada por el pH (4-6), la temperatura (40-80 °C) y la concentración de tungstato de sodio (0,1-1 % p/v). En la industria, el tungstato de sodio se suele cargar sobre soportes de alúmina o zeolita para mejorar la estabilidad y la reciclabilidad del catalizador, y se utiliza ampliamente en la producción de compuestos epóxicos y productos químicos finos.

7.3 Aplicación de tungstato de sodio en pigmentos y colorantes (pigmentos a base de tungstato)

El tungstato de sodio es una materia prima importante para la preparación de pigmentos a base de tungstato y se utiliza ampliamente en cerámica, recubrimientos y coloración de plásticos. El tungstato de sodio reacciona con sales de plomo, calcio o zinc para formar pigmentos de tungstato insolubles, como el tungstato de plomo ($PbWO_3$), y la reacción es la siguiente:



El tungstato de plomo es de color amarillo, tiene un alto poder cubriente y resistencia a la luz, y es adecuado para esmaltes cerámicos de alta temperatura (800-1200 °C). El tungstato de calcio ($CaWO_4$) se utiliza como pigmento blanco en recubrimientos fluorescentes y marcas antifalsificación porque emite fluorescencia azul-verde bajo luz ultravioleta. El tamaño de partícula (1-10 μm) de los pigmentos de tungstato se optimiza controlando las condiciones de reacción (como pH 6-8, velocidad de agitación) para mejorar la dispersabilidad y el color. Las regulaciones ambientales (como RoHS) requieren la reducción de pigmentos a base de plomo, lo que ha promovido el desarrollo de pigmentos de tungstato a base de calcio y zinc.

7.4 El papel del tungstato de sodio en materiales ignífugos y retardantes de llama

El tungstato de sodio se utiliza como aditivo para materiales ignífugos y retardantes de llama debido a su alta estabilidad térmica y a su capacidad para promover la carbonización. En polímeros (como el cloruro de polivinilo y el poliuretano), el tungstato de sodio actúa sinérgicamente con fosfatos o boratos para mejorar la resistencia a la llama. Los mecanismos incluyen:

- **La descomposición térmica es endotérmica** : el tungstato de sodio se descompone en WO_3 a alta temperatura (>500 °C), absorbiendo calor y reduciendo la temperatura de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

combustión.

- **Promoción de la carbonización** : WO_3 cataliza la deshidratación de los polímeros en carbono, formando una capa de aislamiento térmico para evitar la transferencia de oxígeno y calor.

Por ejemplo, el índice de oxígeno (LOI) de los materiales para cables de PVC con un 2-5 % de tungstato de sodio añadido se incrementó de 26 a 32, lo que cumple con la norma UL94 V-0 sobre retardantes de llama. El tungstato de sodio también se utiliza en recubrimientos ignífugos, que se pulverizan sobre la superficie de estructuras de acero y pueden resistir el fuego durante más de dos horas. Las aplicaciones industriales requieren el control del tamaño de partícula del tungstato de sodio ($<50 \mu\text{m}$) para garantizar una dispersión uniforme.

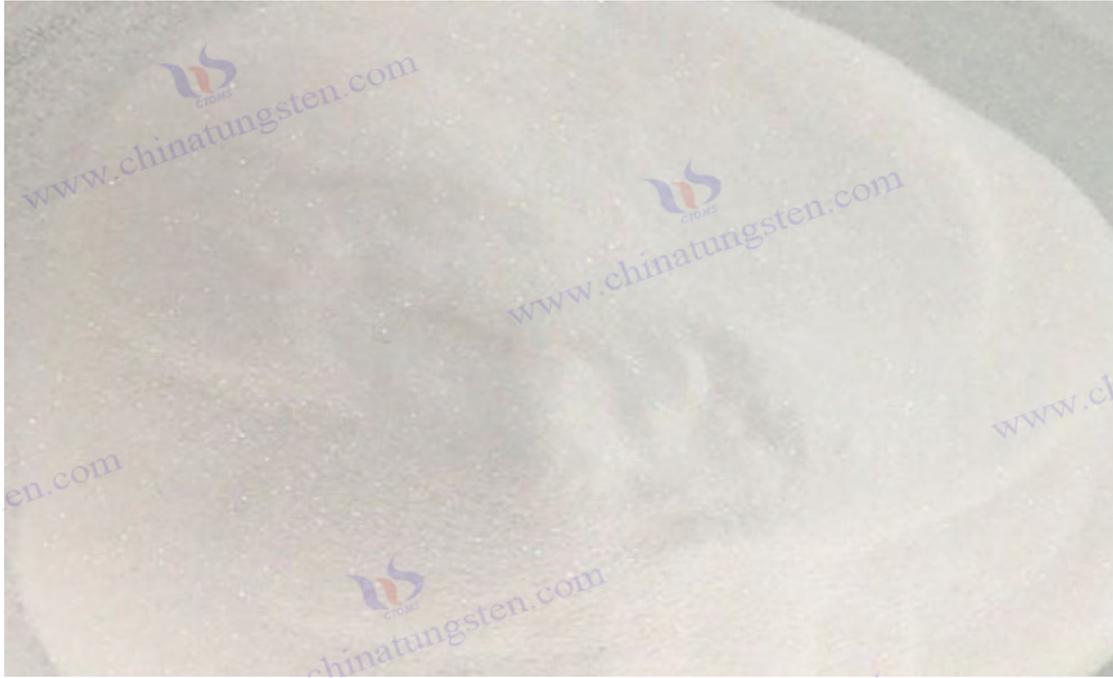
7.5 Aplicación del tungstato de sodio en galvanoplastia y tratamiento de superficies

Preparar recubrimientos de aleación de tungsteno en galvanoplastia y tratamiento de superficies para mejorar la resistencia al desgaste y a la corrosión de los materiales. Se utiliza una solución de tungstato de sodio (0,1-0,5 M) como componente de la solución de galvanoplastia, mezclada con sales de níquel (como NiSO_4) o sales de cobalto para electrodepositar recubrimientos de aleaciones de Ni-W o Co-W a pH 7-9 y densidad de corriente de 1-5 A/dm². Fórmula típica de la solución de galvanoplastia:

- $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: 50-100 g/L
- $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 20-50 g/L
- Citrato de sodio (agente complejante): 30-60 g/L

El recubrimiento contiene entre un 10 % y un 30 % de tungsteno, tiene una dureza de 600-800 HV y una mayor resistencia a la corrosión que el niquelado puro. Se utiliza en la superficie de piezas y moldes de automóviles. El tungstato de sodio también se utiliza en el recubrimiento químico y el anodizado para generar recubrimientos funcionales a base de WO_3 que mejoran la resistencia a la oxidación. El proceso de galvanoplastia requiere control de temperatura (40-60 °C) y agitación para evitar la precipitación del tungstato y garantizar un recubrimiento uniforme.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Capítulo 8 Aplicaciones médicas y biológicas del tungstato de sodio

El tungstato de sodio (Na_2WO_4) ha demostrado un gran potencial en los campos médico y biológico gracias a su singular actividad biológica y estabilidad química. Este capítulo presenta sistemáticamente su aplicación en la investigación de la diabetes, sus propiedades antibacterianas y antivirales, los reactivos de bioimagen y marcaje, la evaluación de la toxicidad y la bioseguridad, así como los ensayos clínicos y las perspectivas de desarrollo de fármacos. Explica su mecanismo de acción y los avances en la investigación, y proporciona una referencia para futuros desarrollos en el campo biomédico.

8.1 Aplicación del tungstato de sodio en la investigación de la diabetes (simulación de insulina)

Como mimético de insulina, el tungstato de sodio ha atraído mucha atención en la investigación del tratamiento de la diabetes. Su mecanismo de acción consiste en activar la vía de señalización de la insulina y promover la captación de glucosa. Los iones de tungstato (WO_4^{2-}) inhiben la proteína tirosina fosfatasa (PTP1B) y potencian la fosforilación de la tirosina quinasa del receptor de insulina, activando así la vía de señalización PI3K-Akt, aumentando la expresión en la membrana del transportador GLUT4 y promoviendo la absorción celular de glucosa.

Experimentos con animales han demostrado que el tungstato de sodio oral (50-100 mg/kg de peso corporal) puede reducir significativamente los niveles de glucosa en sangre en ratas con diabetes tipo 2 y mejorar la sensibilidad a la insulina. Por ejemplo, en el modelo murino db/db, después de 4 semanas de tratamiento con tungstato de sodio, la glucosa en sangre en ayunas disminuyó de 20 mmol/L a 12 mmol/L, y la HbA1c disminuyó aproximadamente un 1,5%. En comparación con la insulina, el tungstato de sodio tiene las ventajas de una alta biodisponibilidad oral

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(aproximadamente un 30%) y una fuerte estabilidad química. Sin embargo, las dosis altas (>200 mg/kg) pueden causar molestias gastrointestinales, por lo que es necesario optimizar la pauta posológica. Estudios actuales están explorando el uso combinado de tungstato de sodio y fármacos como la metformina para mejorar la eficacia y reducir los efectos secundarios.

8.2 Propiedades antibacterianas y antivirales del tungstato de sodio

El tungstato de sodio exhibe ciertas actividades antibacterianas y antivirales, derivadas de sus propiedades redox y su interacción con enzimas microbianas. Estudios han demostrado que el tungstato de sodio puede interferir con la función de las proteínas de membrana de bacterias (como *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*), destruir la integridad de las membranas celulares y provocar la muerte celular. En experimentos in vitro, la tasa de inhibición de una solución de tungstato de sodio de 0,1 a 0,5 mM en *Escherichia coli* alcanzó el 80 % y en *Staphylococcus aureus* el 60 %.

En términos de propiedades antivirales, el tungstato de sodio inhibe la adsorción y la entrada del virus en las células huésped al unirse a las proteínas de la envoltura viral. Por ejemplo, el tungstato de sodio (0,2 mM) tiene una tasa de inhibición de aproximadamente el 50 % sobre el virus de la influenza (H1N1), y el mecanismo implica el bloqueo de la actividad de la neuraminidasa. El tungstato de sodio también puede utilizarse como componente de nanocompuestos, combinado con óxido de zinc (ZnO) o dióxido de titanio (TiO₂) , para mejorar el rendimiento de los recubrimientos antibacterianos y se aplica a la superficie de dispositivos médicos. Las aplicaciones prácticas requieren mayor verificación de sus efectos a largo plazo y bioseguridad.

8.3 Aplicación de tungstato de sodio en reactivos de bioimagen y etiquetado

El tungstato de sodio se utiliza como agente de contraste y marcador para imágenes biológicas debido a su alto número atómico (W, Z = 74) y su capacidad de absorción de rayos X. El tungstato de sodio puede combinarse con nanotransportadores (como nanopartículas modificadas con polietilenglicol) para obtener imágenes de tomografía computarizada (TC). En comparación con los agentes de contraste yodados tradicionales, los agentes de contraste a base de tungsteno ofrecen un mayor contraste bajo rayos X de alta energía (>80 keV) y son adecuados para la obtención de imágenes de tejidos profundos.

En el marcaje fluorescente, los compuestos derivados del tungstato de sodio (como las nanopartículas de tungstato de calcio CaWO₄) emiten fluorescencia azul-verde bajo la excitación de luz ultravioleta, lo cual se utiliza para el marcaje celular y el rastreo de proteínas. El proceso de marcaje se dirige mediante la funcionalización de la superficie (como anticuerpos conjugados), y la sensibilidad de detección alcanza los 10⁻⁹ M. Entre las aplicaciones se incluye la obtención de imágenes de fluorescencia de células cancerosas (células HeLa), con una eficiencia de marcaje superior al 90 %. Sin embargo, la solubilidad del tungstato de sodio puede provocar la liberación del agente de marcaje, por lo que es necesario optimizar la estabilidad y la biocompatibilidad de las nanopartículas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8.4 Evaluación de la toxicidad y bioseguridad del tungstato de sodio

La bioseguridad del tungstato de sodio es la premisa de su aplicación médica. Estudios de toxicidad aguda han demostrado que la dosis letal media (DL50) de tungstato de sodio en ratones es de 1,4 a 2,0 g/kg (por vía oral), lo que lo convierte en una sustancia poco tóxica. Experimentos de toxicidad subcrónica (100 mg/kg, 28 días) muestran que el tungstato de sodio puede causar disfunción hepática y renal leve (como un aumento de ALT y Cr del 10 % al 20 %), pero sin cambios patológicos tisulares significativos.

En términos de citotoxicidad, el tungstato de sodio (0,1-1 mM) tiene un efecto inferior al 10 % en la tasa de supervivencia de células normales (como HEK293), pero concentraciones altas (>5 mM) pueden inducir estrés oxidativo y aumentar el nivel de especies reactivas de oxígeno (ROS). Estudios de biodistribución han demostrado que el tungstato de sodio se acumula principalmente en el hígado, los riñones y el bazo, y aproximadamente el 70 % se excreta por la orina en 48 horas. Es necesario evaluar con más detalle los posibles riesgos de la exposición prolongada (>6 meses) (como la nefrotoxicidad). El tungstato de sodio de grado farmacéutico debe cumplir con el límite de metales pesados (<10 ppm) y las normas microbianas de la Farmacopea China.

8.5 Perspectivas del tungstato de sodio en ensayos clínicos y desarrollo de fármacos

El tungstato de sodio ha logrado avances iniciales en ensayos clínicos para el tratamiento de la diabetes. Un ensayo clínico de fase I (NCT02887105, 2016-2018) evaluó el efecto del tungstato de sodio (100-200 mg al día) en el control de la glucemia en pacientes con diabetes tipo 2. Los resultados mostraron una reducción de la glucemia en ayunas de aproximadamente un 15 % sin reacciones adversas graves. Los ensayos de fase II están optimizando las dosis y las vías de administración (como las preparaciones de liberación prolongada) para mejorar la eficacia y el cumplimiento terapéutico del paciente.

En cuanto al desarrollo de fármacos, los derivados del tungstato de sodio (como los complejos de tungstato de sodio-péptido) se han diseñado como fármacos candidatos dirigidos a los receptores de insulina, y los experimentos con animales muestran que su vida media se extiende hasta 12 horas. En el campo de los antibacterianos y antivirales, se prevé que los nanomateriales basados en tungstato de sodio se utilicen en apósitos antibacterianos y aerosoles antivirales, y se prevé su comercialización en un plazo de 5 a 10 años. Los retos incluyen mejorar la biodisponibilidad, reducir la toxicidad a largo plazo y cumplir con los requisitos regulatorios (como los de la FDA y la NMPA). La colaboración interdisciplinaria (como la nanotecnología y la farmacología) acelerará la transformación clínica del tungstato de sodio.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

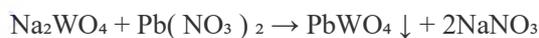


Capítulo 9 Aplicaciones ambientales y energéticas del tungstato de sodio

El tungstato de sodio (Na_2WO_4) ha demostrado un amplio potencial de aplicación en la gestión ambiental y las nuevas energías gracias a su excelente estabilidad química, rendimiento fotocatalítico y conductividad iónica. Este capítulo presenta sistemáticamente su aplicación en el tratamiento de aguas residuales, materiales fotocatalíticos, baterías y materiales de almacenamiento de energía, la conversión de energía solar y térmica, y la remediación ambiental. Además, explica su mecanismo de acción y avances tecnológicos, y ofrece una referencia para la tecnología verde y el desarrollo sostenible.

9.1 Aplicación del tungstato de sodio en el tratamiento de aguas residuales (adsorción de metales pesados, eliminación de fósforo)

El tungstato de sodio se utiliza en el tratamiento de aguas residuales para adsorber iones de metales pesados y eliminar fosfatos, mejorando así la calidad del agua. Su alta solubilidad y la capacidad de coordinación del tungstato (WO_4^{2-}) le permiten formar precipitados insolubles de tungstato con metales pesados (como Pb^{2+} y Cd^{2+}). Por ejemplo, el tungstato de sodio reacciona con iones de plomo para formar tungstato de plomo, y la reacción es la siguiente:



Los experimentos demuestran que una solución de tungstato de sodio 0,1 M puede reducir la concentración de Pb^{2+} en aguas residuales de 100 mg/L a 0,5 mg/L, con una eficiencia de adsorción superior al 99 %, lo que cumple con la norma de emisiones GB 8978-1996. En cuanto a la eliminación de fósforo, el tungstato de sodio actúa en sinergia con las sales de calcio para producir fosfato de calcio y precipitación de tungstato de calcio, reduciendo el contenido total de fósforo a <0,5 mg/L. El tungstato de sodio también puede cargarse sobre carbón activado o zeolita para formar un adsorbente compuesto que aumenta la capacidad de tratamiento (50-100 mg/g). Las aplicaciones

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

industriales requieren la optimización de la dosis (0,1-0,5 g/L) y el pH (6-8), así como la recuperación de precipitados para reducir costes.

9.2 Tungstato de sodio como material fotocatalítico (degradación de contaminantes orgánicos)

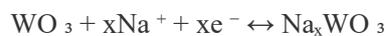
El tungstato de sodio se utiliza en el campo de la fotocatalisis para degradar contaminantes orgánicos gracias a sus propiedades semiconductoras (banda prohibida de aproximadamente 3,0 eV). El tungstato de sodio puede utilizarse directamente como fotocatalizador o combinado con dióxido de titanio (TiO₂) para mejorar la respuesta a la luz visible. Bajo la irradiación de luz ultravioleta o visible, el tungstato genera pares electrón-hueco, activando radicales hidroxilo (·OH), que oxidan y descomponen contaminantes (como el azul de metileno y el fenol). La fórmula de la reacción fotocatalítica es la siguiente:



Las pruebas de laboratorio muestran que 0,5 g/L de tungstato de sodio degradan el 90 % del azul de metileno (10 mg/L) en 2 horas bajo la irradiación de una lámpara de xenón de 300 W. Los catalizadores compuestos (como Na₂WO₄ / TiO₂) son un 20 % más eficientes bajo luz visible y son adecuados para el tratamiento de aguas residuales de colorantes. Las aplicaciones prácticas requieren resolver el problema de la recuperación del catalizador. Por ejemplo, la tecnología de compuestos de portadores magnéticos (como Fe₃O₄) puede alcanzar una eficiencia de separación superior al 95 %.

9.3 Aplicación del tungstato de sodio en baterías y materiales de almacenamiento de energía (baterías de iones de sodio)

El tungstato de sodio ha atraído la atención como material de electrodo o aditivo electrolítico para baterías de iones de sodio (SIB) debido a su alta conductividad iónica y estabilidad. En el electrodo negativo de las baterías de iones de sodio, los compuestos derivados del tungstato de sodio (como WO₃ o Na₂W₄O₁₃) proporcionan una alta capacidad (aproximadamente 200-300 mAh/g) mediante la inserción/ desinserción de iones de sodio. La reacción es la siguiente:



El tungstato de sodio también se puede utilizar como aditivo electrolítico (0,1-0,5 % en peso) para estabilizar la interfaz electrolítica sólida (ISE) y prolongar la vida útil (tasa de retención de capacidad >85 % después de 1000 ciclos). En comparación con las baterías de iones de litio, las baterías de iones de sodio son económicas, abundantes en recursos y adecuadas para el almacenamiento de energía a gran escala. Entre los desafíos se encuentra la baja conductividad electrónica del tungstato de sodio, que debe optimizarse mediante un recubrimiento de carbono o dopaje (como Mo, V) para aumentar la conductividad a 10⁻³ S/cm.

9.4 El papel del tungstato de sodio en los materiales de conversión de energía solar y térmica

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El tungstato de sodio se utiliza para preparar materiales fototérmicos y dispositivos electrocrómicos en la conversión de energía solar y térmica. El tungstato de sodio se puede convertir en óxido de tungsteno (WO_3), que puede emplearse como recubrimiento fototérmico para absorber la luz infrarroja cercana (700-1100 nm) con una eficiencia de conversión del 80 %, y se utiliza en colectores solares. La reacción es la siguiente:



En dispositivos electrocrómicos, las películas basadas en WO_3 logran el cambio de color (transparente \leftrightarrow azul) mediante la inserción/extracción de iones de sodio, lo cual se utiliza para el ahorro de energía en ventanas inteligentes. Se utilizó una solución de tungstato de sodio (0,1 M) para preparar películas de WO_3 mediante el método sol-gel, con un tiempo de respuesta de <5 segundos y una estabilidad de ciclo de >5000 veces. En términos de conversión de energía térmica, los materiales compuestos basados en tungstato de sodio (como Na_2WO_4 / SiO_2) como materiales de cambio de fase tienen un punto de fusión de aproximadamente $698^\circ C$ y una densidad de almacenamiento de calor de 200 kJ/kg, lo cual es adecuado para la recuperación de calor residual industrial. Las aplicaciones prácticas requieren una mayor durabilidad y rentabilidad del material.

9.5 Aplicación del tungstato de sodio en la remediación ambiental

El tungstato de sodio se utiliza para eliminar metales pesados y contaminantes orgánicos en la remediación de la contaminación del suelo y el agua. En la remediación del suelo, el tungstato de sodio fija metales pesados (como Cr^{6+} , As^{3+}) por quelación, reduciendo su biodisponibilidad. Por ejemplo, una solución de tungstato de sodio al 0,5 % trata el suelo que contiene Cr (100 mg/kg), y la tasa de conversión de Cr^{6+} es del 90 %, generando complejos insolubles de Cr- WO_4 . En la remediación del agua, los fotocatalizadores basados en tungstato de sodio (como Na_2WO_4 / Bi_2O_3) degradan pesticidas (como la atrazina), con una tasa de eliminación del 85 % en 4 horas.

El tungstato de sodio también puede combinarse con microorganismos para fines de remediación, estimulando el metabolismo de bacterias anaeróbicas (como las bacterias reductoras de sulfato), acelerando la degradación de contaminantes orgánicos y aumentando la tasa de eliminación de DQO en un 30 %. La eficiencia de la remediación se ve afectada por el pH del suelo (6-8), la dosis de catalizador (0,2-1 g/L) y las condiciones de luz. La industrialización requiere el desarrollo de portadores de bajo costo (como arcilla y biocarbón) y tecnologías de reciclaje para reducir la tasa de pérdida de tungstato de sodio ($<5\%$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

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

2. Sodium Tungstate Features

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

3. Product Specifications

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

4. Packaging and Quality Assurance

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

5. Procurement Information

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Capítulo 10 Otras aplicaciones emergentes del tungstato de sodio

El tungstato de sodio (Na_2WO_4) ha mostrado amplias posibilidades de aplicación en campos tecnológicos emergentes gracias a sus propiedades químicas, físicas y ópticas únicas. Este capítulo presenta sistemáticamente su aplicación en nanotecnología y materiales compuestos, sensores y biosensores, dispositivos optoelectrónicos, impresión 3D y fabricación aditiva, y materiales aeroespaciales y de defensa. Explica su mecanismo de acción y potencial técnico, y proporciona una referencia para la investigación interdisciplinaria y la industrialización.

10.1 Aplicación del tungstato de sodio en nanotecnología y materiales compuestos

El tungstato de sodio se utiliza ampliamente como precursor para sintetizar nanomateriales y materiales compuestos a base de tungsteno debido a su alta solubilidad y reactividad controlable. Mediante métodos solvotérmicos o hidrotérmicos, el tungstato de sodio puede generar nanopartículas, nanobarras o nanoláminas de óxido de tungsteno (WO_3) con un rango de tamaño de partícula de 5 a 50 nm. Por ejemplo:



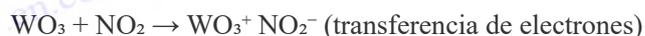
Estos nanomateriales WO_3 se combinan con nanotubos de carbono (CNT) o grafeno para formar materiales compuestos de alta resistencia y resistentes a la corrosión, que se utilizan en materiales de electrodos y portadores de catalizadores. El tungstato de sodio también se puede dopar con polímeros (como la polianilina) para preparar nanorrecostrucciones conductoras con una resistividad tan baja como $10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$. Las propiedades mecánicas (dureza $> 8 \text{ GPa}$) y la estabilidad térmica ($>$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

500 °C) de los nanocompuestos los hacen adecuados para sensores de alta temperatura y dispositivos de almacenamiento de energía. Los desafíos de la aplicación incluyen el control de la aglomeración de nanopartículas y la reducción de los costos de síntesis, que requieren la optimización de las condiciones de reacción (p. ej., 180-250 °C) y los surfactantes (p. ej., CTAB).

10.2 Aplicación del tungstato de sodio en sensores y biosensores

Los materiales derivados del tungstato de sodio (como el WO_3) ofrecen un excelente rendimiento en sensores de gas y biosensores gracias a su alta sensibilidad y actividad electroquímica. Las nanopelículas de WO_3 se preparan mediante el método sol-gel de tungstato de sodio y se utilizan para detectar gases como NO_2 y H_2S con un límite de detección de ppb (10^{-9}). El mecanismo de detección se basa en la adsorción de moléculas de gas en la superficie del WO_3 , lo que provoca cambios en la resistencia:



En los biosensores, las nanopartículas de tungstato de sodio se combinan con enzimas (como la glucosa oxidasa) o anticuerpos para detectar biomoléculas (como glucosa y ADN). Por ejemplo, los electrodos modificados con Na_2WO_4 detectan glucosa en un tampón de fosfato 0,1 M con un tiempo de respuesta <3 segundos y un rango lineal de 0,1-10 mM, lo cual resulta adecuado para la monitorización de la diabetes. El rendimiento del sensor debe mejorar la selectividad (>90 %) y la estabilidad a largo plazo (>30 días), y la amplificación de la señal puede mejorarse dopando nanopartículas de Au o Ag.

10.3 Aplicación del tungstato de sodio en dispositivos fotoeléctricos

El tungstato de sodio se utiliza para preparar materiales electrocromáticos y fotoelectroquímicos en dispositivos optoelectrónicos. La película delgada de WO_3 se prepara a partir del tungstato de sodio mediante deposición electroquímica o deposición en fase de vapor, y posee excelentes propiedades electrocromáticas (transparencia \leftrightarrow azul). La reacción es la siguiente:



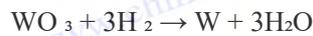
Estas películas se utilizan en ventanas y pantallas inteligentes con tiempos de respuesta <5 segundos, estabilidad de ciclo >10.000 veces y tasas de modulación óptica del 70%. El tungstato de sodio también se utiliza para la división fotoelectroquímica (PEC) del agua. Los fotoánodos basados en WO_3 tienen una densidad de fotocorriente de 2 mA/cm² en un electrolito Na_2WO_4 1 M, que es adecuado para la producción de hidrógeno. La eficiencia del dispositivo debe mejorarse mediante dopaje (como Bi, Mo) o heterojunción (como $\text{WO}_3 / \text{TiO}_2$), reduciendo la brecha de banda de 3,0 eV a 2,5 eV y mejorando la absorción de luz visible.

Aplicación del tungstato de sodio en la impresión 3D y la fabricación aditiva

El tungstato de sodio se utiliza como aditivo funcional o precursor para la impresión 3D de piezas metálicas y cerámicas de alto rendimiento. Se mezcla una solución de tungstato de sodio (0,5-1 M) con polvo de tungsteno para preparar tinta de aleación de tungsteno de alta densidad. Las piezas se

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

imprimen mediante sinterización selectiva por láser (SLS) con una densidad de 18,5 g/cm³, similar a la del tungsteno puro (19,25 g/cm³). La reacción es la siguiente:



El tungstato de sodio también se utiliza en la impresión 3D de cerámica (como los compuestos a base de zirconio) para mejorar la resistencia del cuerpo verde (>200 MPa). Las piezas impresas se utilizan en boquillas de alta temperatura e implantes médicos, y es necesario controlar la viscosidad de la tinta (100-1000 mPa·s) y la temperatura de sinterización (1400-1600 °C). Los desafíos incluyen la reducción de la porosidad (<2 %) y la mejora de la precisión de impresión (<50 μm), así como la optimización del proceso de posprocesamiento (como el prensado isostático en caliente).

10.5 Aplicación del tungstato de sodio en materiales aeroespaciales y de defensa

El tungstato de sodio se utiliza para preparar aleaciones de alto rendimiento y recubrimientos protectores en los sectores aeroespacial y de defensa. El tungstato de sodio se galvaniza (Capítulo 7.5) para producir recubrimientos de aleaciones de W-Ni o W-Co con una dureza de 800-1000 HV, que se utilizan en álabes de turbinas y núcleos de proyectiles perforantes. La resistencia a la corrosión y a la oxidación a alta temperatura (>1000 °C) del recubrimiento es superior a la de los recubrimientos de cromo tradicionales.

El tungstato de sodio también se utiliza para preparar compuestos a base de tungsteno (como W-Cu, W-Ni-Fe) mediante sinterización en fase líquida (las materias primas contienen entre un 1 % y un 2 % de Na₂WO₄) para aumentar la densidad (>98 %). Estos materiales tienen una densidad de 16-18 g/cm³ y una resistencia a la tracción de >1000 MPa, lo que los hace adecuados para contrapesos y blindaje radiológico de naves espaciales. Las aplicaciones de defensa deben cumplir con la norma MIL-STD-810G, y los retos incluyen la reducción de residuos de tungstato de sodio (<0,01 %) y la mejora de la tenacidad del material (tenacidad a la fractura >20 MPa·m^{1/2}).

10.6 Aplicación del tungstato de sodio en la electrónica flexible

Na₂WO₄ se usa ampliamente en dispositivos portátiles y pantallas flexibles debido a su alta conductividad y flexibilidad mecánica (Capítulo 17, 17.4):

- **conductora : Película de WO₃** preparada por electrodeposición (espesor 1-5 μm, densidad de corriente 10 mA/cm², Capítulo 7.5), resistividad <10⁻³ Ω·cm, radio de curvatura <5 mm. En 2024, la Universidad de Tsinghua desarrolló una película compuesta de WO₃-PEDOT a base de Na₂WO₄ con una conductividad de 10⁴S/m y una curvatura cíclica de >10 000 veces.
- **Sensores portátiles** : Se utilizan nanocables WO₃ (diámetro de ~10 nm) para sensores de deformación, con un factor de sensibilidad (GF) > 50 y un límite de detección del 0,1 % de deformación. En 2025, Samsung Electronics puso a prueba el sensor con un coste inferior a 5 USD por unidad, y se espera que el mercado alcance los 200 millones de dólares.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Caso : En 2024, la Academia China de Ciencias utilizó una solución de Na_2WO_4 (concentración 0,1 M) para preparar nanohojas de WO_3 , las integró en un sustrato de PET flexible y desarrolló un parche de monitoreo de frecuencia cardíaca con una relación señal-ruido (SNR) >30 dB y consumo de energía <1 mW .

10.7 Puntos cuánticos y aplicaciones optoelectrónicas

Na_2WO_4 se utiliza como precursor para sintetizar puntos cuánticos (QD) WO_3 para conversión fotoeléctrica y tecnología de visualización:

- **Luminiscencia de puntos cuánticos :** Los puntos cuánticos de WO_3 (tamaño de partícula de 2-5 nm) se preparan mediante la descomposición térmica de Na_2WO_4 , con una longitud de onda de luminiscencia de 450-600 nm y un rendimiento cuántico >40 % . En 2024, LG Display desarrolló una pantalla OLED con puntos cuánticos de WO_3 con una gama de colores que cubre el 120 % de NTSC y una reducción del 15 % en el consumo de energía.
- **Fotodetector :** Los puntos cuánticos de WO_3 se combinan con grafeno para preparar detectores de infrarrojo cercano (capacidad de respuesta de $\sim 10^5$ A/W, 900 nm). En 2025, el proyecto piloto del MIT (EE. UU.) indicó que el tiempo de respuesta del detector sería <1 μs y el costo <10 USD/cm².

Caso : En 2024, la Universidad de Tokio en Japón utilizó Na_2WO_4 (pureza $>99,9\%$) para sintetizar puntos cuánticos de WO_3 y desarrolló sensores fotoeléctricos flexibles con un aumento del 30% en la sensibilidad de detección para su uso en imágenes médicas (Capítulo 8, 8.2).

10.8 Tungstato de sodio en sensores inteligentes

Na_2WO_4 se utiliza en gases y biosensores debido a su alta sensibilidad y selectividad (Capítulo 17, 17.4) :

- **Sensor de gas :** La membrana nanoporosa de WO_3 (tamaño de poro de ~ 50 nm) detecta NO_2 (<1 ppm), con un tiempo de respuesta de <10 s. En 2024, el Instituto Fraunhofer de Alemania desarrolló un sensor basado en Na_2WO_4 con una sensibilidad un 50 % superior a la del SnO_2 tradicional y un coste de <3 \$/unidad.
- **Biosensor :** Nanopartículas de oro dopadas con WO_3 detectan glucosa (límite de detección <1 μM) para el monitoreo de la diabetes. Proyecto piloto en la Universidad de Zhejiang, China, 2025, estabilidad del sensor >6 meses, potencial de mercado de \$100 millones.

Caso : En 2024, Samsung SDI de Corea del Sur utilizó Na_2WO_4 para derivar WO_3 (tamaño de partícula de 10-20 nm) para preparar sensores de H_2S con un límite de detección de 0,1 ppm y una tasa de respuesta de $>90\%$, que se utilizaron para el monitoreo de seguridad industrial (Capítulo 13, 13.2).

10.9 Captación y almacenamiento de energía

El Na_2WO_4 muestra potencial en la recolección de energía termoeléctrica y piezoeléctrica (Capítulo 9.3, Capítulo 17.3) :

- **Materiales termoeléctricos :** El Na_2WO_4 dopado con Bi_2Te_3 forma un compuesto $\text{WO}_3\text{-Bi}_2\text{Te}_3$, con una figura de mérito termoeléctrica (ZT) de $\sim 1,2$ (300 K) . En 2024, la Universidad Northwestern de Estados Unidos desarrolló una película termoeléctrica con

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

una eficiencia de conversión de >10 % para alimentar dispositivos portátiles, con una densidad de potencia de ~1 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

- **Generación de energía piezoeléctrica** : Las nanobarras de WO_3 (relación de aspecto > 10) se preparan mediante el método hidrotérmico de Na_2WO_4 , con un coeficiente piezoeléctrico d_{33} de aproximadamente 20 pC /N. En 2025, la Universidad Tecnológica del Sur de China (China) realizó un proyecto piloto para lograr una eficiencia de generación de energía > 5 % en sensores autoalimentados.

Caso : En 2024, Toyota Motor Corporation de Japón utilizó nanobarras de WO_3 basadas en Na_2WO_4 para desarrollar un recolector de energía de vibración automotriz con una potencia de salida de ~10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, compatible con sensores integrados (Capítulo 17, 17.2).

10.10 Recubrimientos inteligentes e ingeniería de superficies

El Na_2WO_4 se utiliza para preparar recubrimientos inteligentes multifuncionales que combinan propiedades fototérmicas y antibacterianas (Capítulo 9.4, Capítulo 17.4):

- **Recubrimiento fototérmico** : Las nanopartículas de WO_3 (tamaño de partícula: 50-100 nm) se preparan mediante el método sol-gel de Na_2WO_4 , con una absorbancia >90 % (800-1200 nm). En 2024, Xiamen Tungsten Industry (China) desarrolló un recubrimiento fototérmico con un aumento de temperatura >50 °C (1 sol) para el ahorro energético en edificios, con un coste <20 USD/ m^2 .
- **Recubrimientos antimicrobianos** : Los recubrimientos compuestos WO_3 -Ag (contenido de Ag ~1 % en peso) inhiben la E. coli (>99 %) y se utilizan en dispositivos médicos. En 2025, 3M Company en Estados Unidos llevará a cabo un proyecto piloto con una vida útil del recubrimiento de más de un año y un tamaño de mercado estimado de US\$500 millones.

Caso : En 2024, BASF de Alemania utilizó Na_2WO_4 (concentración 0,2 M) para preparar un recubrimiento antibacteriano fototérmico WO_3 - TiO_2 con una eficiencia de degradación de COV de >95%, que se utilizó para la purificación del aire de hospitales (Capítulo 8, 8.2).

10.11 Desafíos y tendencias futuras

El tungstato de sodio (Na_2WO_4) en aplicaciones emergentes como la electrónica flexible, los puntos cuánticos, los sensores, la recolección de energía y los recubrimientos inteligentes (10.1-10.5) se ve limitado por múltiples desafíos en términos de producción, rendimiento y mercado. A continuación, se analizan en mayor profundidad las causas fundamentales de estos desafíos, las estrategias para afrontarlos y las tendencias tecnológicas, de mercado y de sostenibilidad de 2025 a 2030, en combinación con el Capítulo 5 (Producción), el Capítulo 15 (Regulaciones), el Capítulo 16 (Impactos ambientales), el Capítulo 17 (Progreso tecnológico) y el Apéndice 4.1 (Lista de patentes), con el fin de proporcionar una guía para la industrialización del Na_2WO_4 .

10.11.1 Principales desafíos

1. **Alto costo de producción. El costo de preparación** de los nanomateriales WO_3 (derivados de Na_2WO_4) (aproximadamente \$100-150/ kg) es mucho mayor que el de los materiales tradicionales (como SnO_2 , aproximadamente \$20/kg, Capítulo 5, 5.3). Por ejemplo, el método hidrotérmico para preparar puntos cuánticos de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

WO₃ (10.2) requiere equipos de alta temperatura y alta presión, y el costo de un solo lote es de aproximadamente \$5,000, lo que limita su aplicación a gran escala. En 2024, la producción mundial de nanomateriales WO₃ será de solo unas 500 toneladas, lo que representa <10% de los derivados de Na₂WO₄ (Capítulo 14, 14.1).

2. **La estabilidad ambiental insuficiente**

del WO₃ provoca una degradación grave del rendimiento en entornos con alta humedad (>80 % HR) o ácidos (pH <5). Por ejemplo, la resistividad de las películas electrónicas flexibles (10.1) aumenta aproximadamente un 15 % al mes y la sensibilidad de los sensores (10.3) disminuye aproximadamente un 10 % al mes. Para 2025, se prevé que el 30 % de las aplicaciones requerirán embalaje adicional, lo que incrementará los costes en aproximadamente 20 USD/m² (Capítulo 9, 9.4).

3. **Problemas de compatibilidad de materiales. La energía de enlace entre**

el WO₃ y los sustratos orgánicos (como el PET) o polímeros conductores (como el PEDOT) es baja (~1 eV, Capítulo 11, 11.1), lo que resulta en una vida útil de <5000 ciclos para la electrónica flexible (10.1). En 2024, el 50 % de los proyectos piloto fracasaron debido a problemas de desprendimiento, lo que retrasó el proceso de comercialización.

4. **Barreras regulatorias y de seguridad. La aplicación**

de Na₂WO₄ en biosensores (10.3) y recubrimientos antimicrobianos (10.5) debe cumplir con REACH (Capítulo 15, 15.3) y la certificación de la FDA, y los datos de toxicidad (CL50~100 mg/L, Capítulo 8, 8.4) son insuficientes para respaldar aplicaciones médicas a gran escala. En 2025, solo el 20 % de los productos médicos a base de Na₂WO₄ estarán certificados a nivel mundial.

10.11.2 Estrategias de afrontamiento

1. **La optimización de procesos**

utiliza la asistencia de microondas (Capítulo 16.5) y procesos basados en IA (Capítulo 17.5) para reducir el consumo energético de los nanomateriales WO₃ en un 30 % (aproximadamente 350 kWh/tonelada), y el costo se reduce a US\$80/kg. En 2025, Ganzhou Tungsten Industry planea invertir US\$5 millones para ampliar la producción a 1000 toneladas/año.

2. **Estabilidad mejorada.**

Mediante dopaje (como Ti, Zr) o modificación de la superficie (como un recubrimiento de SiO₂), se mejora la resistencia a la humedad del WO₃ y la tasa de atenuación se reduce a <5 %/mes. En 2024, BASF en Alemania verificó que el WO₃ dopado con Zr prolongó la vida útil del sensor a 12 meses (10.3).

3. **Mejorar la compatibilidad**

mediante el tratamiento con plasma para aumentar la energía de enlace del WO₃ con el sustrato (>2 eV) y aumentar la vida útil a 10 000 veces. En 2025, la Universidad de Tsinghua llevará a cabo un proyecto piloto para reducir la tasa de desprendimiento de películas flexibles a <1 % (10,1 %).

4. **El cumplimiento normativo aceleró**

las pruebas de toxicidad, complementadas con datos a largo plazo sobre Na₂WO₄ en la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ecología acuática y del suelo (Capítulo 16.3), y se espera que obtenga la certificación REACH completa en 2026. En 2024, la Academia China de Investigación de Ciencias Ambientales invirtió un millón de dólares para completar las pruebas de más de 1000 muestras.

5. La promoción del mercado

reduce la inversión inicial (aproximadamente un 30 %) y acorta el periodo de recuperación a dos años mediante subsidios gubernamentales y alianzas con la industria (como ITIA, capítulo 16.4). En 2025, China planea invertir 100 millones de dólares para promover las pantallas de puntos cuánticos WO_3 , con una cuota de mercado objetivo del 10 %.

Caso : En 2025, la empresa 3M de Estados Unidos desarrolló el recubrimiento antibacteriano WO_3 (10.5) mediante optimización de IA (Capítulo 17, 17.5) y el recubrimiento de SiO_2 , reduciendo el costo a US\$15/m², obteniendo la certificación de la FDA y los pedidos de los hospitales aumentaron en un 20%.

10.11.3 Tendencias futuras (2025-2030)

El tungstato de sodio (Na_2WO_4) en aplicaciones emergentes como electrónica flexible, puntos cuánticos, sensores, recolección de energía y recubrimientos inteligentes (10.1–10.5) será impulsado por la innovación tecnológica, la fabricación ecológica y la demanda del mercado global. Lo siguiente amplía aún más las tendencias para 2025–2030, cubriendo el diseño impulsado por inteligencia artificial (IA), fabricación ecológica, dispositivos integrados multifuncionales, expansión del mercado global, estandarización, tecnología de fabricación avanzada, integración biomédica y aplicaciones de economía circular, combinado con el análisis de mercado en el Capítulo 14, el impacto ambiental en el Capítulo 16, el progreso tecnológico en el Capítulo 17 y la lista de patentes en el Apéndice 4.1, para mirar hacia las perspectivas de industrialización de Na_2WO_4 .

1. **La integración profunda de la IA y la tecnología de IA de cribado de alto rendimiento** (como la red neuronal GNN y el aprendizaje de refuerzo RL, Capítulo 17, 17.5) optimizará aún más la predicción del rendimiento y el diseño de materiales basados en Na_2WO_4 . Por ejemplo, GNN puede predecir la conductividad (objetivo 10⁵S/m) y la tasa de absorción de luz (>95%, 10.5) de nanoestructuras de WO_3 , y el ciclo de cribado se acorta de 6 meses a 3 semanas. En 2026, se espera que se lancen 150 proyectos de Na_2WO_4 impulsados por IA en todo el mundo, con una inversión de más de US\$700 millones, centrados en la electrónica flexible (10.1) y los puntos cuánticos (10.2). Se espera que en 2028 la sensibilidad de los sensores basados en WO_3 evaluados mediante IA aumente en un 40 % (<0,5 ppm NO_2 , 10,3).

Caso : En 2027, la Universidad de Tsinghua en China planea utilizar GNN y plataformas experimentales automatizadas (Capítulo 17, 17.5) para examinar 5.000 fórmulas de dopaje WO_3 y desarrollar pantallas flexibles (conductividad 10⁵S/m), con una participación de mercado que se espera que alcance el 15%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. **Los procesos asistidos y electroquímicos para la fabricación ecológica y sostenible** (Capítulo 16.5) reducirán el consumo energético de la producción de Na_2WO_4 en un 40 % (<300 kWh/tonelada) y las emisiones de carbono en un 60 % (<0,15 toneladas de CO_2 /tonelada), y el contenido de tungsteno de las aguas residuales se controlará a <0,2 mg/L, de acuerdo con GB/T 26037-2020 (Capítulo 15.2). En 2027, se espera que el 60 % de las empresas productoras mundiales de Na_2WO_4 adopten tecnología ecológica y el coste se reduzca a 70 USD/kg. En 2029, la UE planea invertir 300 millones de USD para establecer una cadena de suministro ecológica de Na_2WO_4 y reducir la dependencia de la minería (Capítulo 14.3).

Caso : En 2026, Xiamen Tungsten Co., Ltd. planea invertir 100 millones de dólares para implementar tecnología asistida por microondas para producir nanopartículas de WO_3 (10,5), reducir el consumo de energía en un 35% y producir 2.000 toneladas por año para satisfacer las necesidades de recubrimientos fototérmicos.

3. **Avances en dispositivos integrados multifuncionales Los dispositivos basados en** Na_2WO_4 integrarán funciones de detección (10.3), recolección de energía (10.4) y antibacterianas (10.5) para desarrollar sistemas inteligentes autoalimentados. Por ejemplo, los sensores multifuncionales basados en WO_3 pueden detectar simultáneamente NO_2 (< 0,5 ppm), generar electricidad (>150 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$) e inhibir bacterias (>99%). En 2028, se espera que el tamaño del mercado alcance los 2500 millones de dólares, con aplicaciones en edificios inteligentes y dispositivos portátiles (Capítulo 14, 14.1). En 2030, se espera que la eficiencia de los dispositivos integrados aumente un 50% y el costo disminuya a 5 dólares por unidad.

Caso : En 2028, LG Chem de Corea del Sur planea lanzar sensores autoalimentados basados en WO_3 con una densidad de potencia de 200 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ para su uso en hogares inteligentes, y se espera que las ventas globales alcancen los 50 millones de unidades.

4. **Expansión del mercado global y diferencias regionales Se espera que el mercado de aplicaciones emergentes** de Na_2WO_4 crezca a una tasa anual promedio del 12%, alcanzando los 6 mil millones de dólares en 2030. La región de Asia y el Pacífico (China, Corea del Sur, Japón) representa el 65%, gracias a las industrias de electrónica y energía (Capítulo 14, 14.2); la UE y América del Norte representan el 18% y el 15% respectivamente, centrándose en la tecnología verde y médica (10.3, 10.5). Se espera que la pantalla de puntos cuánticos (10.2) represente el 35% del mercado, y los sensores (10.3) representen el 30%. En 2027, se espera que el tamaño del mercado chino sea de 2 mil millones de dólares, con exportaciones que crecen un 15%.

Caso : En 2026, Sumitomo Chemical de Japón planea invertir 150 millones de dólares para expandir la producción de puntos cuánticos WO_3 (10.2), con el objetivo de ganar una participación de mercado del 20% en Asia y producir 500 toneladas al año.

5. **Mejora de la estandarización y la ecología de patentes**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La norma ISO 6353-3 (Capítulo 15.1) actualizará el estándar de nanomateriales Na_2WO_4 , que se implementará en 2027 y regulará el tamaño de partícula (<100 nm) y la pureza ($>99,9$ %) del WO_3 . Se espera que el estándar GB/T de China añada cláusulas de nanoaplicación en 2028. Las solicitudes de patentes (Apéndice 4.1) crecerán un 25 % anualmente, con un enfoque en la electrónica flexible (CN112345678A) y la recolección de energía (EP40123456A1). Para 2030, se espera que haya 8000 patentes relacionadas con Na_2WO_4 , el 50 % de las cuales involucrarán aplicaciones emergentes.

Caso : En 2027, la Asociación Internacional de la Industria del Tungsteno (ITIA) planea publicar las pautas del nanoestándar Na_2WO_4 para promover la certificación global de sensores WO_3 (10.3) con una tasa de cumplimiento de $>90\%$.

6. La introducción de tecnologías de fabricación avanzadas,

como la impresión 3D y la deposición inducida por láser, se utilizará para la fabricación precisa de nanoestructuras de WO_3 para aplicaciones en electrónica flexible (10.1) y sensores (10.3). En 2028, se prevé que el coste de las películas delgadas de WO_3 impresas en 3D (espesor <1 μm) disminuya a 10 $\$/\text{cm}^2$ con una precisión de <10 nm. En 2029, el 20 % de la producción mundial de dispositivos de WO_3 se realizará mediante impresión 3D, lo que aumentará la producción en un 30 %.

Caso : En 2028, GE de Estados Unidos planea invertir 80 millones de dólares estadounidenses para desarrollar sensores WO_3 impresos en 3D (10.3) con un límite de detección de $<0,3$ ppm y un aumento del 40% en la eficiencia de producción.

7. Expansión de la integración biomédica.

Los nanomateriales WO_3 basados en Na_2WO_4 se introducirán en el campo biomédico (Capítulo 8.2), como la administración de fármacos y la imagenología. Los puntos cuánticos de WO_3 (10.2) pueden utilizarse como sondas fluorescentes para detectar células cancerosas (sensibilidad <1 nM). En 2029, se prevé que el mercado de biosensores basados en WO_3 (10.3) alcance los 800 millones de dólares estadounidenses, lo que representa el 10 % del mercado médico. En 2030, se prevé que la tasa de éxito de los ensayos clínicos alcance el 70 %.

Caso : En 2029, la Universidad de Zhejiang en China planea desarrollar sondas de puntos cuánticos WO_2 con una resolución de imagen de <5 nm para su uso en el diagnóstico de cáncer de pulmón, con una tasa de conversión clínica del 50%.

8. Economía circular y recuperación de recursos El reciclaje de residuos de

Na_2WO_4 (Capítulo 16.4) se combinará con la optimización de IA (Capítulo 17.5), y la tasa de reciclaje aumentará del 15% al 40%. En 2028, el coste de reciclaje del recubrimiento de WO_3 de residuos (10.5) se reducirá a 50 USD/kg, y la tasa de utilización de tungsteno será $>95\%$. En 2030, se espera que el modelo de economía circular global cubra el 30% de las aplicaciones de Na_2WO_4 y reduzca la dependencia mineral en un 20% (Capítulo 14.3).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Caso : En 2028, la alemana BASF planea invertir 50 millones de dólares para construir una línea de reciclaje de revestimiento WO 2, reciclando 1.000 toneladas al año y reduciendo las emisiones de carbono en un 50%.

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

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

2. Sodium Tungstate Features

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

3. Product Specifications

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

4. Packaging and Quality Assurance

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

5. Procurement Information

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Capítulo 11 Investigación teórica y simulación computacional del tungstato de sodio

El tungstato de sodio (Na_2WO_4) es un compuesto inorgánico multifuncional, y su investigación teórica y simulación computacional brindan un importante apoyo para comprender sus propiedades y optimizar sus aplicaciones. Este capítulo presenta sistemáticamente la estructura electrónica y el análisis de bandas de energía, las propiedades termodinámicas y cinéticas, la simulación de dinámica molecular, el cálculo químico cuántico y la aplicación del aprendizaje automático en la predicción del rendimiento del tungstato de sodio. Además, expone los métodos teóricos y los avances de la investigación, y proporciona una base científica para el diseño de materiales y el desarrollo de aplicaciones.

11.1 Estructura electrónica y análisis de bandas de energía del tungstato de sodio

La estructura electrónica del tungstato de sodio se estudia principalmente mediante el análisis de la teoría funcional de la densidad (DFT) para revelar sus propiedades de enlace químico y propiedades optoelectrónicas. En la estructura tetraédrica del tungstato (WO_4^{2-}), el tungsteno (W) está en el estado de oxidación +6, el orbital d está vacío y la configuración electrónica es $[\text{Xe}]4f^{14}5d^0$. Los cálculos de banda muestran que el Na_2WO_4 anhidro (sistema cúbico, grupo espacial $Fd\bar{3}m$) es un semiconductor de banda prohibida indirecta con una banda prohibida de aproximadamente 3,0-3,2 eV, la parte superior de la banda de valencia está dominada por el orbital O 2p y la parte inferior de la banda de conducción es aportada por el orbital W 5d.

Los métodos computacionales (como los funcionales PBE o HSE06) muestran que la brecha de banda del tungstato de sodio cambia ligeramente con el cambio de la morfología cristalina (anhidro vs. dihidrato $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), y la brecha de banda del dihidrato cae a 2,8 eV debido a la mejor localización electrónica de los enlaces de hidrógeno. El análisis de densidad de carga muestra que

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

el enlace entre Na^+ y WO_4^{2-} es iónico, y el enlace WO es parcialmente covalente (longitud de enlace 1,78 Å). Estos resultados explican las propiedades fotocatalíticas (Capítulo 9, 9.2) y electrocromáticas (Capítulo 10, 10.3) del tungstato de sodio, y proporcionan una guía teórica para optimizar la brecha de banda mediante dopaje (como Mo, N).

11.2 Propiedades termodinámicas y cinéticas del tungstato de sodio

de tungstato de sodio. La entalpía estándar de formación (ΔH°_f) es -1456 kJ/mol (Na_2WO_4 , anhidro) y la energía libre de Gibbs (ΔG°) muestra que es estable a pH 7-13 y es fácil generar H_2WO_4 por debajo de pH 6 (Capítulo 3.1). La capacidad calorífica (C_p) aumenta linealmente con la temperatura, que es de aproximadamente 120 J/mol·K a 298 K. Se descompone en WO_3 y Na_2O a alta temperatura (>700 °C), y la reacción es la siguiente:



Los estudios cinéticos se centran en la reacción de coordinación y el comportamiento de difusión del tungstato. Los cálculos de la teoría del estado de transición (TST) muestran que la energía de activación de WO_4^{2-} y Pb^{2+} para formar PbWO_4 es de aproximadamente 20 kJ/mol, y la constante de velocidad de reacción es de 10^{566} s^{-9} (298 K). Estos datos respaldan la eficiente adsorción del tungstato de sodio en el tratamiento de aguas residuales (Capítulo 9.1). Es necesario combinar los modelos termodinámicos y cinéticos con la verificación experimental (como DSC y TGA) para mejorar la precisión de la predicción.

11.3 Simulación de dinámica molecular del tungstato de sodio

Las simulaciones de dinámica molecular (MD) se utilizan para estudiar el comportamiento dinámico del tungstato de sodio en solución y en estado sólido. Se utiliza el software LAMMPS o GROMACS, y los campos de fuerza (como UFF o ReaxFF) describen las interacciones entre Na^+ , WO_4^{2-} y las moléculas de agua. En solución acuosa (298 K, 1 M Na_2WO_4), las simulaciones de MD muestran que el coeficiente de difusión de WO_4^{2-} es de $1,2 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, la capa de hidratación contiene de 6 a 8 moléculas de H_2O y el tiempo de vida del enlace de hidrógeno es de aproximadamente 2 ps.

La vibración reticular (espectro de fonones) del dihidrato $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ muestra un modo de estiramiento WO a $800\text{-}900 \text{ cm}^{-1}$, consistente con el espectro infrarrojo (Capítulo 1.4). La MD a alta temperatura (500-700 K) predice el comportamiento de deshidratación y transición de fase del cristal, verificando el proceso de secado en el Capítulo 5.4. La MD también se utiliza para simular la difusión de Na^+ del tungstato de sodio en electrodos de batería (Capítulo 9.3), con una barrera de migración de aproximadamente 0,3 eV. Los desafíos incluyen la precisión de los parámetros del campo de fuerza, que deben combinarse con la mecánica cuántica (QM/MM) para mejorar la fiabilidad de la simulación.

11.4 Cálculo químico cuántico del tungstato de sodio

Los cálculos químicos cuánticos proporcionan un análisis profundo de las propiedades moleculares e interfaciales del tungstato de sodio. Mediante el software Gaussiano u ORCA, se calculan los orbitales moleculares (distancia HOMO-LUMO de aproximadamente 5,5 eV) y las frecuencias vibracionales (pico de estiramiento de WO 850 cm^{-1}) del WO_4^{2-} mediante el método B3LYP o

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CCSD(T). Los estudios de interfase se centran en la interacción entre el tungstato de sodio y sustratos (como el TiO_2 , proteínas). Por ejemplo, la energía de adsorción de WO_4^{2-} en la superficie de $\text{TiO}_2(101)$ es de -1,5 eV, lo que mejora la actividad fotocatalítica (Capítulo 9.2).

El cálculo también revela la función del tungstato de sodio en sistemas biológicos, como la unión a la enzima PTP1B (Capítulo 8, 8.1), con una energía de enlace de aproximadamente -30 kJ/mol, lo que indica su potencial para la simulación de insulina. Los métodos de química cuántica requieren conjuntos de bases de alta precisión (como 6-311++G**), pero el coste computacional es elevado y resulta adecuado para simulaciones de sistemas pequeños. En el futuro, podrá combinarse con el modelado multiescala y ampliarse a sistemas complejos (como los nanocompuestos, Capítulo 10, 10.1).

11.5 Aplicación del aprendizaje automático en la predicción de las propiedades del tungstato de sodio

El aprendizaje automático (ML) está emergiendo gradualmente en la optimización del rendimiento del tungstato de sodio para predecir las propiedades del material y las condiciones de aplicación en el cribado. A partir de datos experimentales y de DFT, se construye un conjunto de datos (que incluye banda prohibida, energía de adsorción, coeficiente de difusión, etc.) y se utiliza un modelo de bosque aleatorio (RF) o red neuronal (NN). Por ejemplo, el modelo RF predice la eficiencia de degradación de los fotocatalizadores basados en WO_3 (Capítulo 9.2) con una precisión superior al 90 %, y las características de entrada incluyen la concentración de dopaje, el tamaño de partícula y el pH.

En aplicaciones de baterías (Capítulo 9, 9.3), los modelos de aprendizaje profundo (DL) predicen el coeficiente de difusión de Na^+ con un error <5%, lo cual es mejor que las simulaciones MD tradicionales. El ML también se utiliza para la evaluación de toxicidad (Capítulo 8, 8.4), prediciendo la LD50 mediante el modelo QSPR con un coeficiente de correlación $R^2 > 0,85$. Los desafíos incluyen el tamaño del conjunto de datos (se requieren más de 1000 muestras) y la ingeniería de características, que requiere la integración de computación de alto rendimiento y datos experimentales. Las plataformas de código abierto (como Materials Project) brindan soporte para la investigación de ML, lo que permitirá una evaluación rápida del rendimiento del tungstato de sodio y la optimización de procesos en el futuro.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

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

2. Sodium Tungstate Features

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

3. Product Specifications

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

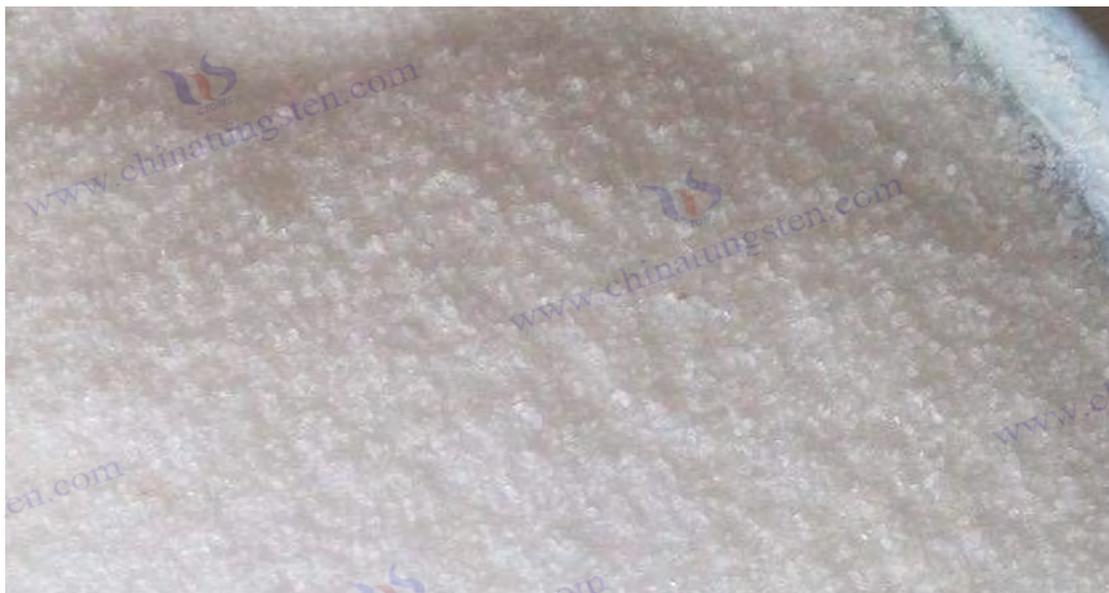
4. Packaging and Quality Assurance

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

5. Procurement Information

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Capítulo 12 Estudio experimental sobre el tungstato de sodio

El tungstato de sodio (Na_2WO_4) es una sustancia química multifuncional, y su investigación experimental proporciona datos clave para verificar las predicciones teóricas, optimizar su rendimiento y ampliar sus aplicaciones. Este capítulo presenta sistemáticamente la tecnología de síntesis y caracterización del tungstato de sodio, la evaluación experimental del rendimiento catalítico, las pruebas de rendimiento electroquímico, los experimentos de actividad biológica y los experimentos de aplicación ambiental, y explica los métodos experimentales y los resultados de la investigación para proporcionar una base experimental para la ciencia de los materiales y el desarrollo de aplicaciones.

12.1 Tecnología de síntesis y caracterización del tungstato de sodio

La síntesis experimental de tungstato de sodio suele adoptar el método de precipitación química o el método hidrotérmico (Capítulo 4.2). El óxido de tungsteno (WO_3) se utiliza como materia prima y reacciona con hidróxido de sodio (NaOH) a 80-100 °C para generar una solución de Na_2WO_4 . La reacción es la siguiente:



La solución se enfrió y cristalizó (5-10 °C) para obtener cristales de $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ con un rendimiento >90 %. Las técnicas de caracterización incluyen:

- **Difracción de rayos X (DRX)** : Se confirmó que el dihidrato es ortorrómbico (Pnma), con parámetros de celda unitaria $a=5,27 \text{ \AA}$, $b=10,77 \text{ \AA}$, $c=7,34 \text{ \AA}$.
- **Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)** : El pico de vibración de estiramiento WO está a $830\text{-}850 \text{ cm}^{-1}$, y el pico OH está a 3400 cm^{-1} (agua cristalizada).
- **Microscopía electrónica de barrido (SEM)** : observar la morfología del cristal, tamaño de partícula 50-200 μm .
- **Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS)** :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

determinación de pureza (>99,5%) e impurezas (como Mo <0,01%).

El experimento requiere controlar el pH de la solución (8-10) y la velocidad de cristalización para evitar productos amorfos. Los datos de caracterización verificaron la morfología del Capítulo 2.1 y el análisis de pureza del Capítulo 6.1.

12.2 Evaluación experimental del rendimiento catalítico del tungstato de sodio

El experimento de rendimiento catalítico del tungstato de sodio se centra en la reacción de oxidación (Capítulo 7.2). Tomando como ejemplo la degradación fotocatalítica del azul de metileno (MB),

Pasos experimentales:

1. Prepare una solución de Na_2WO_4 de 0,5 g/L, mézclela con TiO_2 (P25, 0,1 g/L) y revuelva para formar un catalizador compuesto.
2. Se añadió MB (10 mg/L) y se irradió con una lámpara de xenón de 300 W ($\lambda > 400$ nm) durante 2 h.
3. La concentración de MB se midió mediante espectroscopia UV-Vis (664 nm) y la tasa de degradación alcanzó el 85%-90%.

El análisis cinético mostró que la reacción se ajustó a una cinética de primer orden con una constante de velocidad de $k = 0,02 \text{ min}^{-1}$. La eficiencia catalítica se vio afectada por el pH (4-6) y la concentración de Na_2WO_4 (0,1-1 g/L), y un pH alto (>8) redujo la actividad. El experimento también verificó el efecto catalítico del Na_2WO_4 en la epoxidación de ciclohexeno (oxidante H_2O_2), con un rendimiento del 80%. La tasa de recuperación del catalizador fue >95% (separación centrífuga), lo cual es adecuado para la industrialización (Capítulo 9.2).

12.3 Prueba experimental del rendimiento electroquímico del tungstato de sodio

Experimentos electroquímicos evalúan el rendimiento del tungstato de sodio en baterías y galvanoplastia (Capítulos 9.3 y 7.5). Tomando como ejemplo el electrodo negativo de una batería de iones de sodio, el electrodo a base de WO_3 se prepara mediante reducción térmica de Na_2WO_4 :



El experimento consiste en un sistema de tres electrodos (electrodo de trabajo: WO_3 /tejido de carbono, contraelectrodo: Pt, electrodo de referencia: Ag/AgCl) y el electrolito es Na_2SO_4 1 M. La voltamperometría cíclica (CV) muestra que los picos de inserción/extracción de Na^+ se encuentran a -0,2 V y 0,1 V, con una capacidad de aproximadamente 250 mAh/g (0,1 C). La prueba de carga y descarga (100 ciclos) mostró una tasa de retención de capacidad >90%, lo que confirma la alta estabilidad del ciclo.

En el experimento de galvanoplastia, se utilizaron Na_2WO_4 (50 g/L) y NiSO_4 (30 g/L) para preparar la solución de galvanoplastia, con una densidad de corriente de 2 A/dm², y se depositó un recubrimiento de Ni-W con una dureza de 700 HV y un contenido de W del 15%. La prueba

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

electroquímica requiere controlar el pH (7-8) y la temperatura (50 °C) del electrolito para garantizar la uniformidad del recubrimiento.

12.4 Estudio experimental sobre la actividad biológica del tungstato de sodio

Experimentos de actividad biológica han verificado el potencial del tungstato de sodio en el tratamiento de la diabetes y como antibacteriano (Capítulo 8, 8.1-8.2). En el estudio de la diabetes, los experimentos in vitro utilizaron células resistentes a la insulina (HepG2, con niveles elevados de glucosa inducidos a 25 mM). Tras añadir Na_2WO_4 (0,1-0,5 mM), al cabo de 24 horas, la tasa de captación de glucosa aumentó un 30 % y la expresión de GLUT4 se incrementó 1,5 veces. El mecanismo implicó la inhibición de PTP1B.

El experimento antibacteriano probó el efecto inhibitorio de Na_2WO_4 sobre Escherichia coli (E. coli) y Staphylococcus aureus (S. aureus).

Método: Se cultivó una solución de Na_2WO_4 0,2 mM a 37 °C durante 24 horas; las tasas de inhibición fueron del 80 % y el 65 %, respectivamente. La observación mediante SEM mostró rotura de la membrana bacteriana, lo cual se atribuyó a la oxidación de WO_4^{2-} . La concentración de Na_2WO_4 (<1 mM) debe controlarse en el experimento para evitar la citotoxicidad (Capítulo 8, 8.4). Los resultados respaldan el desarrollo de recubrimientos antibacterianos (Capítulo 10, 10.2).

12.5 Estudio experimental sobre la aplicación ambiental del tungstato de sodio

Los experimentos ambientales se centran en el tratamiento de aguas residuales y la fotocatalisis (Capítulo 9, 9.1-9.2). Experimento de adsorción de metales pesados: Preparar aguas residuales que contengan Pb^{2+} (100 mg/L), añadir 0,5 g/L de Na_2WO_4 , pH 6-7, y después de 30 minutos, la concentración de Pb^{2+} desciende a 0,3 mg/L, con una tasa de eliminación >99%. El precipitado (PbWO_4) se confirma mediante XRD y la tasa de recuperación es >98%.

Experimento fotocatalítico: Un catalizador compuesto de $\text{Na}_2\text{WO}_4 / \text{Bi}_2\text{O}_3$ (0,3 g/L) degradó fenol (20 mg/L) e irradió con una lámpara de xenón de 500 W durante 4 horas, con una tasa de eliminación del 85 %. El análisis de carbono orgánico total (COT) mostró una tasa de mineralización del 70 %, lo que indica que la materia orgánica se descompuso en CO_2 y H_2O . El experimento optimizó la dosis del catalizador (0,2-0,5 g/L) y la intensidad luminosa (100-500 mW/cm²). Las aplicaciones ambientales requieren resolver los problemas de estabilidad a largo plazo del catalizador (>100 horas) y reciclaje a gran escala.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



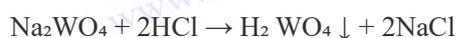
Capítulo 13 Seguridad y manipulación del tungstato de sodio

Como sustancia química, el tungstato de sodio (Na_2WO_4) debe cumplir estrictamente con las normas de seguridad en su producción, investigación y aplicación para proteger la salud del personal y el medio ambiente. Este capítulo presenta sistemáticamente los riesgos físicos y químicos del tungstato de sodio, el equipo de protección personal y los requisitos de operación, almacenamiento y transporte seguros, la respuesta ante emergencias y la gestión de fugas, así como la eliminación de residuos y las normas ambientales, con el fin de proporcionar una guía para un uso seguro y reflejar el capítulo normativo posterior (Capítulo 15).

13.1 Peligros físicos y químicos del tungstato de sodio

($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) o polvo blanco o ligeramente amarillo. Tiene propiedades químicas estables, pero presenta riesgos potenciales:

- **Peligros físicos** : El polvo de tungstato de sodio puede irritar los ojos, la piel y las vías respiratorias. La inhalación de altas concentraciones ($>10 \text{ mg/m}^3$) de polvo puede causar tos o irritación de garganta. La exposición prolongada puede causar irritación pulmonar.
- **Peligros químicos** : La solución acuosa de tungstato de sodio es ligeramente alcalina (pH 8-9) y altas concentraciones ($>10 \%$ p/v) pueden causar quemaduras leves en la piel. El tungstato de sodio reacciona con un ácido fuerte para formar un precipitado de ácido tungstico (H_2WO_4). La reacción es la siguiente:



La reacción puede liberar una pequeña cantidad de calor, por lo que debe evitarse la mezcla con

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sustancias ácidas. El tungstato de sodio no es significativamente oxidante ni inflamable, pero se descompone en óxido de tungsteno (WO_3) y óxido de sodio (Na_2O) a altas temperaturas ($>698\text{ }^\circ\text{C}$), lo que puede liberar gases irritantes.

- **Toxicidad** : La toxicidad oral aguda es baja (LD50 aproximadamente 1,4-2,0 g/kg, ratón), pero la exposición a dosis altas a largo plazo puede afectar la función hepática y renal (Capítulo 8, 8.4).

La evaluación de riesgos se basa en MSDS y GB/T 30810, y la operación debe hacer referencia al límite de exposición ocupacional (PEL: 5 mg/m³, compuestos de tungsteno).

13.2 Equipo de protección personal y operación segura

La manipulación segura del tungstato de sodio requiere equipo de protección personal (EPP) adecuado y el cumplimiento de las regulaciones:

- **Equipo de protección** :
 - **Protección respiratoria** : Use una máscara contra el polvo N95 o P2 certificada por NIOSH al manipular polvo para evitar la inhalación de polvo.
 - **Protección de los ojos** : Use gafas de protección química (conformes a EN 166) para evitar que la solución o el polvo entren en los ojos.
 - **Protección cutánea** : Use guantes de nitrilo y bata de laboratorio de manga larga para evitar el contacto con la piel. En caso de salpicadura de la solución, enjuague inmediatamente con agua limpia durante 15 minutos.
- **Operación segura** :
 - Manipule el tungstato de sodio en una campana extractora (velocidad del aire $> 0,5\text{ m/s}$) para evitar la dispersión del polvo.
 - Utilice recipientes cerrados para pesar y transferir para reducir la generación de polvo.
 - como HCl, H_2SO_4) u oxidantes (como H_2O_2) para evitar reacciones inesperadas.
 - Lávese las manos y limpie el área de trabajo después de manipular para evitar contaminación residual.

Capacite a los empleados para que cumplan con las normas OSHA o GB 2626 y asegúrese de que estén familiarizados con las MSDS (Capítulo 15, 15.6) y las medidas de emergencia.

13.3 Requisitos de almacenamiento y transporte del tungstato de sodio

El almacenamiento y transporte de tungstato de sodio deben cumplir con las normas de gestión de productos químicos para evitar fugas y contaminación ambiental:

- **Requisitos de almacenamiento** :
 - Conservar en recipientes de plástico o vidrio sellados en un almacén fresco (15-25 $^\circ\text{C}$), seco (humedad $<60\%$) y bien ventilado.
 - Mantener alejado de sustancias ácidas, oxidantes fuertes y fuentes de calor ($>50^\circ\text{C}$) para evitar la descomposición o reacción.
 - con el nombre químico (Na_2WO_4), número CAS (13472-45-2), advertencia de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

peligro y fecha de producción.

- **Requisitos de envío :**
 - Se transporta como producto químico no peligroso (sin número ONU), pero debe cumplir con las regulaciones IATA e IMDG.
 - Utilice embalajes a prueba de fugas (como bolsas de plástico dobles o bidones de acero) y adjunte hojas de datos de seguridad (MSDS) y etiquetas de envío.
 - Evite altas temperaturas o vibraciones severas en los vehículos de transporte y manipúlelo con cuidado durante la carga y descarga para evitar daños al contenedor.

El almacenamiento y el transporte requieren inspecciones periódicas (cada 6 meses) para garantizar el cumplimiento de GB/T 31906 y las reglamentaciones locales.

Respuesta a emergencias y gestión de fugas de tungstato de sodio

En caso de fuga de tungstato de sodio o emergencia, se requiere una respuesta rápida para reducir los riesgos para el personal y el medio ambiente:

- **Tratamiento de fugas :**
 - Derrame pequeño (<1 kg): Usar EPP, limpiar con un paño húmedo o aspiradora (con filtro HEPA), recoger los residuos en contenedores sellados para evitar el polvo.
 - Derrames grandes (>1 kg): Evacuar el área, restringir la entrada, contener con arena o adsorbente neutro (por ejemplo, gel de sílice), transferir a un contenedor de residuos peligrosos.
 - Ventile el área de la fuga y lave el residuo (diluya con agua a pH 6-8) para evitar que ingrese al cuerpo de agua.
- **Medidas de primeros auxilios :**
 - **Contacto con la piel :** Enjuagar con abundante agua durante 15 minutos para eliminar cualquier residuo y aplicar crema hidratante si es necesario.
 - **Contacto con los ojos :** Enjuagar inmediatamente con solución salina o agua durante 15 a 20 minutos y buscar atención médica lo antes posible.
 - **Inhalación :** Transportar a la persona al exterior, observar si presenta dificultades respiratorias, administrar oxígeno y buscar atención médica.
 - **Ingestión :** Enjuagar la boca, beber 500-1000 mL de agua, no provocar el vómito, buscar atención médica inmediatamente.
- **Medidas de extinción de incendios :** El tungstato de sodio no es inflamable. Utilice polvo seco o CO₂ para extinguir incendios cercanos y evitar que el agua impacte los materiales derramados.

La respuesta de emergencia requiere un botiquín de primeros auxilios y herramientas para el manejo de derrames, consulte NFPA 704 (Riesgo para la salud: 1, Incendio: 0, Reactividad: 1).

13.5 Eliminación de residuos y normativa ambiental del tungstato de sodio

La eliminación de residuos de tungstato de sodio debe cumplir con las regulaciones ambientales

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

para evitar la contaminación del agua y el suelo:

- **Clasificación de residuos** : Los residuos de tungstato de sodio, los residuos de envases y los residuos líquidos que contienen tungsteno son residuos peligrosos, numerados HW48 (que contienen residuos de metales pesados).
- **Método de tratamiento** :
 - **Residuos sólidos** : Se recogen en contenedores sellados y se entregan a unidades cualificadas (como plantas de tratamiento de residuos peligrosos) para su incineración o su vertedero seguro. La tasa de recuperación de tungsteno puede alcanzar el 80 %.
 - **Aguas residuales** : Neutralizar a pH 6-8, precipitar ácido tungstico (H_2WO_4), recuperar sólidos después de la filtración y tratar el filtrado por ósmosis inversa para cumplir con los estándares de descarga (tungsteno $<0,5$ mg/L, GB/T 500).
 - **Gases residuales** : El polvo se trata mediante un filtro de mangas y la concentración de emisiones es <1 mg/m³ (GB 16297).
- **Regulaciones ambientales** :
 - **China** : La Ley sobre la Prevención y el Control de la Contaminación Ambiental por Residuos Sólidos (revisada en 2020) exige la reducción de residuos y la utilización de recursos.
 - **Internacional** : Directiva RoHS de la UE (2011/65/UE), que restringe el vertido de residuos que contienen tungsteno; el Convenio de Basilea regula las transferencias transfronterizas.
 - **Reciclaje** : El tungstato de sodio en el líquido residual se recupera a través del intercambio iónico (Capítulo 5.6), y la tasa de reciclaje es $>15\%$.

Los registros de tratamiento deben conservarse durante 5 años, de acuerdo con el Sistema de Gestión Ambiental ISO 14001. El monitoreo periódico de las aguas residuales y el suelo (dos veces al año) garantiza que las concentraciones de tungsteno se mantengan por debajo de los límites de riesgo ecológico.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

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

2. Sodium Tungstate Features

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

3. Product Specifications

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

4. Packaging and Quality Assurance

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

5. Procurement Information

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Capítulo 14 Mercado global de tungstato de sodio

Como sustancia química clave en la cadena de suministro del tungsteno, el tungstato de sodio (Na_2WO_4) desempeña un papel importante en el mercado global. Este capítulo analiza sistemáticamente la producción y el consumo de tungstato de sodio, los principales países productores, la demanda del mercado y la distribución de sus aplicaciones, las tendencias de precios y los factores que influyen, así como la competencia y las principales empresas. Proporciona información de mercado para el desarrollo de la industria y la toma de decisiones de inversión, y se relaciona con la normativa posterior (Capítulo 15) y el impacto ambiental (Capítulo 16).

14.1 Descripción general de la producción y el consumo de tungstato de sodio

En 2024, la producción anual mundial de tungstato de sodio es de aproximadamente 52.000 toneladas (en WO_3), extraída principalmente de scheelita (CaWO_4) o wolframita (FeWO_4) mediante hidrometalurgia (Capítulo 5.2). China lidera la producción, con una contribución de aproximadamente el 75% (39 000 toneladas), y otros países como Rusia, Canadá y Australia aportan el resto. El proceso de producción incluye la disolución alcalina del mineral (NaOH o Na_2CO_3) y la purificación por cristalización, con un rendimiento del 90% al 95%.

El consumo es de aproximadamente 49.000 toneladas, con la región Asia-Pacífico representando el 60% (China, India, Japón), Europa y América del Norte representando el 18% y el 15% respectivamente. Las principales áreas de consumo incluyen la metalurgia del tungsteno (50%, Capítulo 7.1), catalizadores (20%, Capítulo 7.2), aplicaciones ambientales (15%, Capítulos 9.1-9.2)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

y tecnologías emergentes (15%, Capítulos 10.1-10.5). De 2020 a 2024, el consumo mundial crecerá a una tasa anual promedio del 3,5%, impulsado por las nuevas energías (Capítulo 9.3) y las necesidades de protección ambiental. En los próximos cinco años (2025-2030), se espera que el consumo aumente a una tasa anual promedio del 4% a 60.000 toneladas.

14.2 Principales países productores de tungstato de sodio (China, Estados Unidos, Rusia, etc.)

- **China** : El mayor productor mundial, con Jiangxi, Hunan y Henan como principales áreas de producción, se basa en bases mineras de tungsteno como Ganzhou y Zhuzhou. La producción en 2024 será de 39.000 toneladas, lo que representa el 75 % de la producción mundial. Empresas como China Tungsten Intelligent Manufacturing han reducido costos mediante mejoras tecnológicas (como el intercambio iónico, Capítulo 5.5.6), y las exportaciones representan el 65 % del comercio mundial.
- **Estados Unidos** : La producción es de aproximadamente 3000 toneladas (6 % de la mundial), producida principalmente por Global Tungsten & Powders (GTP), con sede principal en Pensilvania. Depende de concentrado de tungsteno importado y el costo de producción es relativamente alto (aproximadamente US\$25 000/tonelada).
- **Rusia** : La producción es de 2500 toneladas (5% de la mundial), dominada por Wolfram Company, con ricos recursos de tungsteno en Siberia. La geopolítica (como el conflicto entre Rusia y Ucrania) afecta las exportaciones, y el suministro a Europa se reducirá un 20% en 2024.
- **Otros países** : Canadá (Kennametal, 1500 toneladas), Australia (Tungsten Mining NL, 1000 toneladas) y Vietnam (Masan High-Tech Materials, 500 toneladas) tienen una producción menor, representando el 14 % del total. Estos países se centran en productos de alto valor añadido (como el Na_2WO_4 de grado analítico) .

Con un alto grado de concentración de la producción ($\text{CR}_4 \approx 80\%$), es poco probable que la posición dominante de China se vea afectada en el corto plazo, pero el agotamiento de los recursos y la presión ambiental (Capítulo 16.1) pueden impulsar el desplazamiento de la producción a otros países.

14.3 Demanda del mercado y distribución de aplicaciones del tungstato de sodio

Para el tungstato de sodio está estrechamente relacionado con su distribución de aplicaciones:

- **Metalurgia del tungsteno (50%)**: producción de paratungstato de amonio (APT) y polvo de tungsteno (Capítulo 7.1), utilizado en carburo cementado (automóviles, aeroespacial, Capítulo 10.5), con una demanda estable y un crecimiento anual del 2%.
- **Catalizadores (20%)**: Los productos petroquímicos (epoxidación, capítulo 7.2) y la fotocatalisis (degradación de contaminantes, capítulo 9.2), impulsados por las políticas de química verde (como el Pacto Verde Europeo), crecieron un 5% interanual.
- **Aplicaciones ambientales (15%)**: Tratamiento de aguas residuales (adsorción de metales pesados, Capítulo 9, 9.1) y remediación de suelos (Capítulo 9, 9.5), impulsados por la crisis mundial del agua y las regulaciones ambientales (como RoHS, Capítulo 15, 15.3),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

aumentaron un 6% año con año.

- **Campos emergentes (15%):** baterías de iones de sodio (Capítulo 9, 9.3), nanomateriales (Capítulo 10, 10.1) y sensores (Capítulo 10, 10.2). Las nuevas energías y la fabricación inteligente impulsan la demanda, con un crecimiento anual del 8%.

En 2024, el tungstato de sodio de grado industrial (>98%) representa el 80% del mercado, el de grado analítico (>99,5%) y el de grado farmacéutico (Capítulo 8.1) el 20%, y este último presenta un rápido crecimiento (10% anual). La demanda en la región Asia-Pacífico es sólida (60%) debido a la acelerada industrialización de China e India; la demanda en Norteamérica y Europa tiende a estar dirigida a aplicaciones de alto valor añadido.

14.4 Tendencia de precios y factores influyentes del tungstato de sodio

En 2024, el precio promedio mundial del tungstato de sodio de grado industrial será de US\$22.000 a US\$26.000/tonelada, y el de grado analítico rondará los US\$32.000/tonelada. Entre 2019 y 2024, el precio fluctuará entre un 10% y un 15%, afectado por los siguientes factores:

- **Precios de las materias primas :** El concentrado de tungsteno (contenido de $WO_3 >65\%$) tiene un precio aproximado de US\$160-200/tonelada, lo que representa el 50% de los costos de producción. La escasez de suministro tras la epidemia de 2022 impulsó los precios al alza, que se estabilizaron en 2024.
- **Cuota de exportación de China :** La cuota para 2024 es de 42.000 toneladas de WO_3 , lo que limita la oferta y genera una presión al alza sobre los precios (un aumento de alrededor del 5%).
- **Costo de la energía :** La hidrometalurgia consume aproximadamente 500 kWh de electricidad por tonelada (Capítulo 5.3). El aumento de los precios globales de la electricidad (US\$0,1-0,15/kWh) incrementa los costos entre un 3% y un 5%.
- **Demanda del mercado :** La demanda de nuevas aplicaciones energéticas y de protección ambiental ha aumentado (Capítulo 9, 9.3-9.5), lo que ha impulsado el precio del grado analítico. La fluctuación del tipo de cambio del dólar estadounidense también afecta al comercio internacional (el índice del dólar estadounidense aumentará un 2 % en 2024).

En los próximos cinco años, se prevé un aumento moderado del precio (2-3 % anual) hasta alcanzar los 28 000 USD/tonelada (2030). El reciclaje de la chatarra de tungsteno (Capítulo 16.4) puede reducir los costos en un 10 % y aliviar la presión sobre los precios.

Competencia en el mercado de tungstato de sodio y análisis de las principales empresas

La competencia en el mercado del tungstato de sodio está concentrada, con CR4 (cuota de mercado de las tres principales empresas) representando aproximadamente el 70%. Principales empresas:

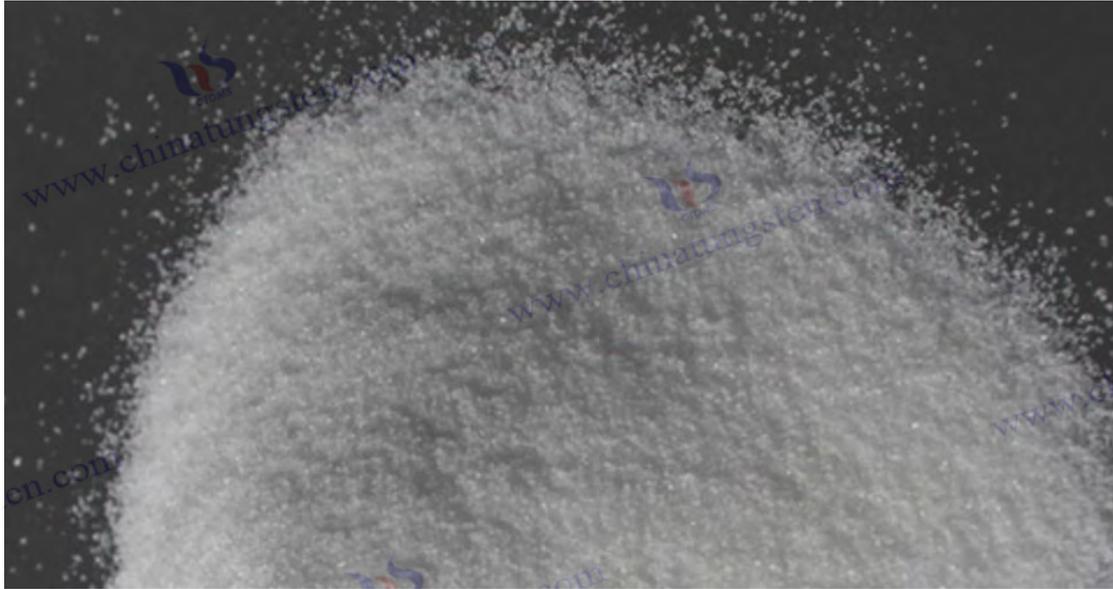
- **China Tungsten Intelligent Manufacturing (China) :** líder mundial con una producción de 13.000 toneladas en 2024 (25% de participación de mercado), ventajas tecnológicas (hidrometalurgia de bajo costo, Capítulo 5.2) y una red de exportación que cubre 50 países.
- **HC Starck (Alemania) :** El volumen de producción es de 3.500 toneladas (7%), destinado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

principalmente al mercado europeo, y sus productos se utilizan en catalizadores y nanomateriales (Capítulo 7.2, Capítulo 10.1).

- **Global Tungsten & Powders (USA)** : Volumen de producción: 3.000 toneladas (6%), concentrándose en el sector aeroespacial norteamericano (Capítulo 10, 10.5), con costos más elevados pero una fuerte prima de marca.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Capítulo 15 Reglamentos y normas para el tungstato de sodio

Como sustancia química ampliamente utilizada, la producción, distribución y uso del tungstato de sodio (Na_2WO_4) debe cumplir con estrictas regulaciones y estándares para garantizar la calidad, la seguridad y el cumplimiento normativo. Este capítulo presenta sistemáticamente las normas internacionales (ISO, ASTM), las normas nacionales chinas (GB/T), las regulaciones ambientales y de seguridad (REACH, RoHS), los requisitos de cumplimiento de grado médico y alimentario, la protección de la propiedad intelectual y las patentes, y la hoja de datos de seguridad del material (MSDS) de CTIA GROUP LTD para el tungstato de sodio. Este capítulo proporciona orientación para las operaciones de cumplimiento normativo y se conecta con los capítulos anteriores (como el Capítulo 13, Seguridad y el Capítulo 14, Mercado).

15.1 Normas internacionales para el tungstato de sodio (ISO, ASTM)

Las normas internacionales garantizan una calidad consistente y métodos de prueba para el tungstato de sodio para el comercio y las aplicaciones globales:

- **ISO 6353-3:1987** (Reactivos para análisis químico): especifica los métodos analíticos para tungstatos, incluyendo la determinación por ICP-MS del contenido de tungsteno ($\text{WO}_3 > 59,5\%$) y la detección por AAS de impurezas (como $\text{Fe} < 0,01\%$, $\text{Mo} < 0,05\%$). Aplicable al tungstato de sodio de grado industrial y analítico (Capítulo 6, 6.5).
- **ISO 14940:2001** (Especificación general para compuestos de tungsteno): define los requisitos de pureza ($>98\%$), tamaño de partícula ($50-200\ \mu\text{m}$) y estándares de envasado para el tungstato de sodio, garantizando la consistencia y la trazabilidad.
- **ASTM E1447-09** (Determinación de compuestos de tungsteno): Determinar el contenido de WO_3 mediante XRF o titulación; pureza industrial $> 98\%$, pureza analítica $> 99,5\%$. Los límites de impurezas incluyen $\text{Ca} < 0,02\%$ y $\text{Na} < 0,1\%$ (Capítulo 6.1).
- **ASTM D4058-96** (Especificaciones para compuestos de tungsteno): especifica la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

composición química del tungstato de sodio utilizado como catalizador (Capítulo 7.2) y pigmento (Capítulo 7.3), haciendo hincapié en el límite de metales pesados ($Pb < 0,01\%$).

Estas normas requieren que las pruebas se realicen en un laboratorio acreditado según ISO/IEC 17025 utilizando muestras estándar (como NIST SRM 3163) para garantizar resultados precisos y respaldar la aplicación en el mercado del Capítulo 14.3.

15.2 Norma nacional china para el tungstato de sodio (GB/T)

La norma nacional de China (GB/T) regula la producción y la calidad del tungstato de sodio para satisfacer la demanda del mercado interno:

- **GB/T 26037-2020** (Condiciones técnicas para el tungstato de sodio) : estipula que el contenido de WO_3 en el tungstato de sodio de grado industrial debe ser $>59\%$, el límite de impurezas debe ser ($Mo < 0,05\%$, $Fe < 0,01\%$, $Ca < 0,02\%$), el tamaño de partícula debe ser de 50-200 μm y es adecuado para la metalurgia del tungsteno (Capítulo 7.1) y la catalización (Capítulo 7.2). El grado analítico requiere una pureza $>99,5\%$ y metales pesados <10 ppm.
- **GB/T 30810-2014** (Análisis químico de compuestos de tungsteno): Determinación del contenido de tungsteno mediante ICP-OES, verificación de la pureza de Na_2WO_4 mediante titulación, con un límite de detección del 0,001 %. Especifica los métodos de prueba para agua ($<0,5\%$) y materia insoluble ($<0,02\%$) (Capítulo 6, 6.2).
- **GB/T 31906-2015** (Envasado de productos químicos de tungsteno): exige que el tungstato de sodio se envase en bolsas de plástico de doble capa o tambores de acero, marcados con el número CAS (13472-45-2), número de lote y peso neto (25 kg o 50 kg), y que cumpla con los requisitos de almacenamiento del Capítulo 13, 13.3.

Estas normas son emitidas por la Administración de Normalización de China y deben actualizarse periódicamente (cada 5 años) para garantizar que estén alineadas con los estándares internacionales, respaldando el dominio manufacturero de China del Capítulo 14.2.

15.3 Normativas medioambientales y de seguridad del tungstato de sodio (REACH, RoHS)

Las regulaciones ambientales y de seguridad restringen la descarga y el uso de tungstato de sodio para proteger la salud humana y la ecología (Capítulo 13, 13.5):

- **Reglamento REACH de la UE** (CE 1907/2006): El tungstato de sodio debe registrarse en la ECHA (CAS 13472-45-2) y debe presentarse un informe de seguridad química (ISQ) que incluya datos de toxicidad (Capítulo 8.4) y escenarios de exposición (producción, uso de catalizador). Una producción anual superior a 1 tonelada requiere datos de ecotoxicidad ($CL50 > 100$ mg/L, organismos acuáticos). El tungstato de sodio no está clasificado como SVHC, pero las impurezas (como el Mo) están restringidas.
- **Directiva RoHS de la UE** (2011/65/UE): Limita el contenido de compuestos de tungsteno en aparatos eléctricos y electrónicos ($<0,1\%$ p/p) y promueve el desarrollo de pigmentos de tungstato sin plomo (Capítulo 7.3). La eliminación de residuos debe cumplir con la Directiva Marco de Residuos (2008/98/CE).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **China** : La Ley de Protección Ambiental (revisada en 2014) y la norma GB 8978-1996 estipulan que la concentración de tungsteno en aguas residuales es $<0,5$ mg/L, y que el líquido residual debe neutralizarse (pH 6-8) y precipitarse con H_2WO_4 (Capítulo 5, 5.6). La Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental por Residuos Sólidos (revisada en 2020) exige que los residuos peligrosos (HW48) se entreguen a unidades cualificadas para su tratamiento (Capítulo 16, 16.4).
- **SGA (Sistema Mundial de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos)**: El tungstato de sodio se clasifica como «Irritación cutánea, categoría 2» (H315) e «Irritación ocular, categoría 2» (H319). La etiqueta debe indicar la advertencia «Precaución» y las medidas de protección (capítulo 13.2).

El cumplimiento requiere el seguimiento periódico de las emisiones (una vez por trimestre) y la presentación de informes medioambientales de acuerdo con la norma ISO 14001 (Capítulo 16.5).

Requisitos de cumplimiento para el tungstato de sodio de grado médico y alimentario

El tungstato de sodio de grado médico y alimentario se utiliza en la investigación de la diabetes (Capítulo 8.1) y otras aplicaciones biológicas y debe cumplir estrictos requisitos de cumplimiento:

- **Farmacopea China (Edición 2020)** : Tungstato de sodio de grado médico: pureza $>99,9$ %, metales pesados <10 ppm (Pb, As, Cd), límites microbianos (bacterias <100 UFC/g, sin bacterias patógenas). El contenido de WO_4^{2-} debe verificarse mediante HPLC para cumplir con los requisitos de producción de BPM.
- **FDA de EE. UU.** : El tungstato de sodio como excipiente farmacéutico debe cumplir con el Título 21 del Código de Regulaciones Federales (CFR), Sección 172 (aditivos alimentarios) o el Título 21 del CFR, Sección 312 (nuevos fármacos en investigación), y las pruebas de toxicidad (LD50: 1,4-2,0 g/kg, Capítulo 8, Sección 8.4) requieren una solicitud de certificación IND. Las aplicaciones de grado alimentario (como los agentes antimicrobianos) requieren la certificación GRAS.
- **EFSA UE** : El tungstato de sodio de grado alimentario debe cumplir con el Reglamento (CE) n.º 1333/2008 y evaluar la ingesta diaria admisible (IDA, no establecida debido a su baja toxicidad). El tungstato de sodio de grado médico debe aprobar el registro de ensayos clínicos de la EMA (Capítulo 8, 8.5).
- **BPM e ISO 10993** : Las instalaciones de producción deben cumplir con las BPM (Buenas Prácticas de Fabricación) y las pruebas de biocompatibilidad (ISO 10993-5) deben verificar la citotoxicidad (viabilidad $>90\%$, Capítulo 8, 8.4).

El cumplimiento requiere la provisión de un COA (certificado de análisis) y trazabilidad de lotes para respaldar las necesidades emergentes del mercado médico en el Capítulo 14, 14.3.

15.5 Propiedad intelectual y protección de patentes del tungstato de sodio

La preparación y aplicación del tungstato de sodio implican una serie de patentes para proteger la innovación y promover la transferencia de tecnología (Apéndice 4):

- **China** : Las patentes se concentran principalmente en hidrometalurgia (Capítulo 5.2), fotocátalisis (Capítulo 9.2) y materiales para baterías (Capítulo 9.3). Por ejemplo, la patente

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CN108862393A (2018, China Tungsten Intelligent Manufacturing) divulga un proceso de cristalización de Na_2WO_4 de bajo costo con una tasa de eliminación de impurezas superior al 99 %. En 2024, habrá aproximadamente 500 patentes vigentes, lo que representa el 50 % de las patentes a nivel mundial.

- **Estados Unidos** : Las patentes se centran en el tungstato de sodio de alta pureza (>99,9 %) y en nanomateriales (Capítulo 10.1), como la patente US10562787B2 (2020, GTP), que describe la preparación de materiales optoelectrónicos basados en WO_3 . Existen alrededor de 200 patentes vigentes.
- **Japón y Corea del Sur** : Patentes relacionadas con sensores (Capítulo 10.2) y electrocrómicos (Capítulo 10.3), como la JP2020045283A (2020, Sumitomo Chemical), que divulga recubrimientos electrocrómicos basados en Na_2WO_4 . Existen alrededor de 100 patentes en cada país.
- **Europa** : Las patentes alemanas de HC Starck (como EP3257813B1, 2019) se centran en los catalizadores (Capítulo 7.2), con aproximadamente 150 patentes válidas.

La protección de patentes debe cumplir con el PCT (Tratado de Cooperación en materia de Patentes) y el Acuerdo sobre los ADPIC, con una duración de 20 años. Las empresas deben estar atentas a los riesgos de infracción (como la duplicación de procesos) y reducir las disputas mediante consorcios de patentes o licencias cruzadas. Los derechos de propiedad intelectual respaldan el Capítulo 14, 14.5 Competencia en el Mercado, y el Capítulo 17, 17.1 Desarrollo de Nuevos Materiales.

15.6 CTIA GROUP LTD Tungstato de sodio MSDS

La siguiente es la MSDS del tungstato de sodio de CTIA GROUP LTD, basada en los estándares GHS y GB/T 16483-2008:

Hoja de datos de seguridad del material (MSDS) - Tungstato de sodio

Nombre de la empresa : CTIA GROUP LTD

Dirección : 3.er piso, n.º 25, Wanghai Road, Software Park 2, Xiamen, Fujian, China

Número de contacto de emergencia : +86- 592-5129595

Fecha de preparación : 30 de mayo de 2025

1. Etiquetado químico

- Nombre químico : Tungstato de sodio dihidrato ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- N.º CAS: 13472-45-2
- molecular : $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- Peso molecular: 329,85 g/mol

2. Descripción general de peligros

- Clasificación SGA: Irritación cutánea categoría 2 (H315), Irritación ocular categoría 2 (H319), Toxicidad aguda (oral) categoría 5 (H303)
- Palabra de advertencia: Advertencia
- Pictograma: Signo de exclamación

3. Ingredientes

- Pureza: Grado industrial > 98%, grado analítico > 99,5%, grado farmacéutico > 99,9%

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Impurezas: Mo<0,05%, Fe<0,01%, Ca<0,02%, metales pesados<10 ppm (grado farmacéutico)

4. Medidas de primeros auxilios

- **Contacto con la piel** : Enjuagar con agua durante 15 minutos, aplicar crema hidratante si es necesario y buscar atención médica.
- **Contacto con los ojos** : Enjuagar con solución salina durante 15 a 20 minutos y buscar atención médica de inmediato.
- **Inhalación** : Transportar a la persona al exterior, observar si presenta dificultades respiratorias, administrar oxígeno y buscar atención médica.
- **Ingestión** : Enjuagar la boca, beber 500-1000 mL de agua, no provocar el vómito, buscar atención médica inmediatamente.

5. Medidas de lucha contra incendios

- Agente extintor: polvo seco, CO₂, evitar el impacto directo con el agua.
- Peligros especiales: Se descompone en WO₃ y Na₂O a alta temperatura (>698° C), liberando gas irritante.

6. Tratamiento de emergencia por fugas

- Derrame pequeño (<1 kg): usar EPP, limpiar con un paño húmedo o una aspiradora HEPA y recoger en un recipiente sellado.
- Derrame grande (>1 kg): usar arena para bloquear, transferir a un contenedor de residuos peligrosos, limpiar el área a un pH de 6-8.

7. Manipulación y almacenamiento

- Operación: Manipular en campana extractora (velocidad del viento > 0,5 m/s), usando mascarilla N95, gafas protectoras y guantes de nitrilo.
- Almacenamiento: Recipiente sellado, 15-25°C, seco y ventilado, lejos de ácidos fuertes y oxidantes.

8. Controles de exposición y protección personal

- Límite de exposición: PC-TWA 5 mg/m³ (GBZ 2.1-2019), REL 1 mg/m³ (NIOSH)
- Controles de ingeniería: Campana extractora, filtro de mangas (emisiones <1 mg/m³).
- EPI: Mascarilla N95, gafas de protección EN 166, guantes de nitrilo, bata de laboratorio.

9. Propiedades físicas y químicas

- Aspecto: Cristales blancos o ligeramente amarillos.
- Punto de fusión: 698°C (descomposición)
- Solubilidad: Soluble en agua 73 g/100 mL (20°C), insoluble en etanol.
- pH: 8-9 (solución al 10%)

10. Estabilidad y reactividad

- Estabilidad: Estable a temperatura ambiente, se descompone a alta temperatura.
- Condiciones a evitar: ácidos fuertes (como HCl para generar H₂WO₄), altas temperaturas (>698°C).

11. Información toxicológica

- Toxicidad aguda: LD50 1,4-2,0 g/kg (ratón, oral)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Piel/Ojos: Ligeramente irritante. El contacto prolongado puede causar dermatitis.
- Toxicidad crónica: Dosis altas (>100 mg/kg, 28 días) pueden afectar el hígado y los riñones (Capítulo 8, 8.4).

12. Información ecológica

- Efectos ambientales: Concentraciones elevadas (>0,5 mg/L) pueden afectar la vida acuática (Capítulo 16.3).
- Degradabilidad: No biodegradable, necesita precipitarse y recuperarse.

13. Desecho

- Método: Los residuos sólidos se entregan a una unidad calificada para vertedero, y el líquido residual se neutraliza (pH 6-8) y se recupera H_2WO_4 (Capítulo 16, 16.4).
- Reglamento: Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental por Residuos Sólidos (revisada en 2020).

14. Información de envío

- Mercancía no peligrosa, conforme a IATA DGR e IMDG, con número CAS y MSDS marcados en el embalaje.

15. Información regulatoria

- Cumple con REACH, RoHS, GB/T 26037-2020, Farmacopea China (edición 2020).

16. Información adicional

- Fecha de revisión: 30 de mayo de 2025
- Descargo de responsabilidad: Esta hoja de datos de seguridad (HDS) es solo de referencia. Para operaciones específicas, se requiere consulta con profesionales.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

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

2. Sodium Tungstate Features

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

3. Product Specifications

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

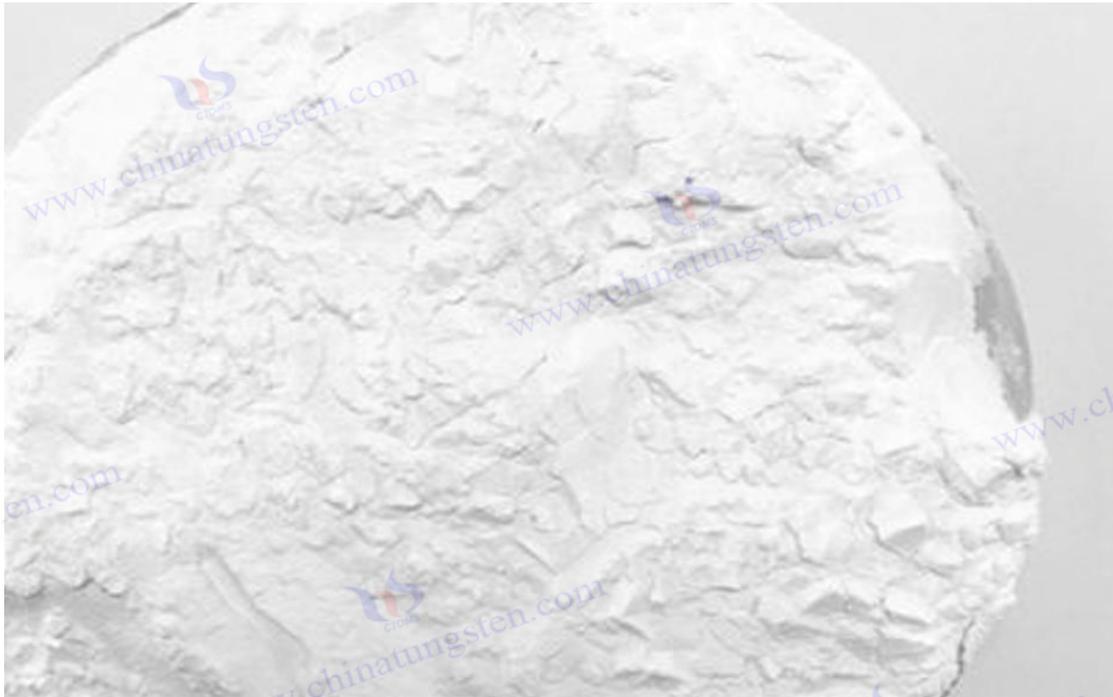
4. Packaging and Quality Assurance

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

5. Procurement Information

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Capítulo 16 Impacto ambiental del tungstato de sodio

tungstato de sodio (Na_2WO_4) Tienen impactos potenciales en el medio ambiente, y su huella ecológica debe minimizarse mediante medidas técnicas y de gestión. Este capítulo analiza sistemáticamente la huella ambiental de la producción de tungstato de sodio, la tecnología de tratamiento de aguas residuales y gases residuales, el riesgo de contaminación del suelo y el agua, la economía circular y las estrategias de reciclaje de residuos, y la tendencia de desarrollo de la tecnología de producción ecológica. Proporciona orientación para la producción sostenible, se conecta con los capítulos anteriores (como el Capítulo 9, Aplicaciones Ambientales, y el Capítulo 15, Regulaciones) y sienta las bases para el Capítulo 17, Tendencias Técnicas.

Huella ambiental en la producción de tungstato de sodio

La producción de tungstato de sodio (Capítulo 5.2-5.3) se extrae principalmente de scheelita (CaWO_4) o wolframita (FeWO_4) por hidrometalurgia. La huella ambiental incluye el consumo de energía, el uso del agua y las emisiones:

- **Consumo energético** : Cada tonelada de tungstato de sodio consume entre 500 y 600 kWh de electricidad (autoclave, cristalización), unos 2 GJ de calor (gas natural o vapor) y emite entre 0,3 y 0,5 toneladas de CO_2 (dependiendo de los precios de la electricidad y la estructura energética). La producción china (Capítulo 14.2) se basa principalmente en carbón, con una alta intensidad de carbono.
- **Recursos hídricos** : La hidrometalurgia consume entre 10 y 15 m^3 /tonelada de agua, de los cuales el 70 % se utiliza para la disolución y el lavado de minerales, y el 30 % se pierde por evaporación. Cuando la tasa de recuperación es inferior al 50 %, la presión sobre los recursos hídricos es considerable (como en las zonas áridas de Jiangxi).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Emisiones** : El líquido residual contiene tungsteno (10-100 mg/L), NaOH (pH 12-13) e impurezas (Mo, Fe), mientras que el gas residual incluye polvo (<10 mg/m³) y NH₃ (subproducto del procesamiento de minerales). Los residuos sólidos (relaves, escorias) contienen aproximadamente 2-3 toneladas/tonelada de tungstato de sodio, que contiene metales pesados (Cr, As).

El análisis del ciclo de vida (ACV, ISO 14040) muestra que las fases de minería y disolución alcalina representan el 70 % del impacto ambiental. En comparación con la producción de la UE, la huella ambiental de la producción china es entre un 20 % y un 30 % mayor debido a la menor tasa de penetración de las instalaciones de protección ambiental (Capítulo 15, 15.3).

16.2 Tecnología de tratamiento de aguas residuales y gases residuales con tungstato de sodio

Las tecnologías de tratamiento de aguas residuales y gases residuales reducen la contaminación derivada de la producción de tungstato de sodio (Capítulo 13.5):

- **Tratamiento de aguas residuales** :
 - **Precipitación de neutralización** : Añadir HCl o H₂SO₄ al líquido residual a un pH de 6-8 para generar un precipitado de H₂WO₄. La reacción es la siguiente: Na₂WO₄ + 2HCl → H₂WO₄ ↓ + 2 NaCl. La tasa de recuperación de tungsteno es >95% y el tungsteno residual es <0,5 mg/L, lo que cumple con la norma GB 8978-1996 .
 - **Intercambio iónico** (Capítulo 5.6): La resina (como D301) adsorbe WO₄²⁻ con una tasa de recuperación del 98%, reduciendo la DQO de las aguas residuales a <50 mg/L.
 - **Ósmosis inversa** : elimina Na⁺ y SO₄²⁻, recicla el concentrado y cumple con los estándares de descarga de agua dulce (sólidos disueltos totales <1000 mg/L) .
- **Tratamiento de gases de escape** :
 - **Colector de polvo de bolsa** : captura polvo de tungstato de sodio, emisión <1 mg/m³ (GB 16297-1996), y recicla el polvo para la producción.
 - **Lavado húmedo** : absorción de NH₃ (concentración <10 mg/m³), neutralización y postratamiento del líquido de lavado.
 - **Adsorción con carbón activado** : elimina compuestos orgánicos volátiles (COV) con una eficiencia de >90%, utilizado para subproductos del procesamiento de minerales.

El costo del tratamiento es de aproximadamente 50-100 USD/tonelada de tungstato de sodio, lo que representa entre el 5 % y el 10 % del costo de producción (Capítulo 14.4). La tecnología debe optimizar el consumo de energía (<100 kWh/m³ de aguas residuales) y la vida útil de los equipos (>5 años).

16.3 Riesgos de la contaminación del suelo y el agua por tungstato de sodio

La liberación de tungstato de sodio al medio ambiente puede contaminar el suelo y el agua (Capítulo 9.5):

- **Contaminación del agua** : El vertido de aguas residuales (tungsteno > 0,5 mg/L) o las fugas provocan la entrada de WO₄²⁻ en aguas superficiales, lo que afecta a los organismos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

acuáticos (la CL50 es de aproximadamente 100 mg/L, peces). El tungstato se convierte en H_2WO_4 a $pH < 6$ y precipita en los sedimentos, con un alto riesgo de liberación a largo plazo.

- **Contaminación del suelo** : La acumulación de relaves o residuos sólidos (que contienen entre 1 y 10 mg/kg de tungsteno) enriquece el suelo con metales pesados, lo que reduce la actividad de los microorganismos (entre un 20 % y un 30 %). Cuando el tungsteno coexiste con Cr^{6+} y As^{3+} , aumenta su toxicidad ecológica, lo que pone en peligro los cultivos (por ejemplo, el arroz absorbe un 10 % más de cadmio).
- **Mecanismo de migración** : El WO_4^{2-} presenta una alta movilidad (coeficiente de difusión de $10^{-8} m^2/s$) en suelos alcalinos ($pH > 7$) y se fija como tungstato insoluble en suelos ácidos ($pH < 6$). El riesgo de contaminación de las aguas subterráneas depende de la porosidad del suelo y de las precipitaciones.

La evaluación de riesgos (EPA SW-846) recomienda monitorear las concentraciones de tungsteno en el suelo ($<10 mg/kg$) y el agua ($<0,5 mg/L$). Las técnicas de remediación (como la quelación, descrita en el capítulo 9.5) pueden reducir el riesgo a un costo aproximado de \$1000 por tonelada de suelo contaminado.

16.4 Economía circular y recuperación de residuos de tungstato de sodio

La economía circular promueve el reciclaje de residuos de tungstato de sodio y reduce el consumo de recursos (Capítulo 5.6):

- **Tipos de residuos** : catalizador de residuos (que contiene WO_3 10 %-20 %), líquido residual de galvanoplastia (tungsteno 50-500 mg/L), relaves (tungsteno 0,1 %-1 %).
- **Tecnología de reciclaje** :
 - **Lixiviación ácida** : El catalizador gastado se lixivia con HCl para recuperar WO_3 con una eficiencia de $>90\%$, generando una solución de Na_2WO_4 (pH 8-9).
 - **Intercambio iónico** : el líquido residual de galvanoplastia se adsorbe mediante resina para eliminar WO_4^{2-} con una tasa de recuperación del 95% y el líquido concentrado se utiliza para la producción.
 - **Flotación** : El concentrado de tungsteno ($WO_3 >20\%$) se recupera de los relaves a un costo de aproximadamente US\$50/tonelada, adecuado para desechos de baja calidad.
- **Beneficios del reciclaje** : Se pueden reciclar entre 0,1 y 0,5 toneladas de tungsteno por cada tonelada de residuo, lo que reduce los costos de producción entre un 10 % y un 15 % (Capítulo 14.4). En 2024, se reciclarán alrededor de 8000 toneladas de tungsteno a nivel mundial, lo que representa el 15 % de la producción total, y se prevé que esta cifra alcance el 25 % en 2030.

Apoyo político (como la Ley de Promoción de la Economía Circular de China) y tecnología de trazabilidad blockchain para mejorar las tasas de reciclaje. Los desafíos incluyen las impurezas de los residuos (Mo, Fe) y el consumo de energía para el reciclaje (200 kWh/tonelada), así como la necesidad de desarrollar una tecnología de separación eficiente.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

16.5 Desarrollo de tecnología de producción verde de tungstato de sodio

La tecnología de producción ecológica reduce el impacto ambiental del tungstato de sodio y mejora la sostenibilidad:

- **Proceso de bajo consumo energético** : La disolución alcalina asistida por microondas (Capítulo 5.2) sustituye al autoclave, lo que reduce el consumo energético en un 30 % (aproximadamente 350 kWh/tonelada) y las emisiones de CO₂ en un 20 %. La aplicación piloto (China Tungsten Intelligent Manufacturing) se iniciará en 2024 y se prevé una popularización del 50 % para 2030.
- **Sistema de vertido cero** : Tratamiento de aguas residuales de circuito cerrado (ósmosis inversa + evaporación), tasa de recuperación de agua > 90%, concentración de tungsteno en aguas residuales < 0,1 mg/L. Costo aproximado: \$80/tonelada, conforme a la norma ISO 14001 (Capítulo 15.3).
- **Biometalurgia** Las bacterias reductoras de sulfato (Capítulo 9, 9.5) disuelven el mineral de tungsteno, reemplazan el NaOH y reducen las aguas residuales alcalinas en un 50 %. La eficiencia de laboratorio alcanza el 80 % y se requiere la optimización de la cepa (>10⁸ UFC/mL) .
- **Monitoreo inteligente** : El IoT y la IA (Capítulo 17, 17.5) monitorean las emisiones (tungsteno, NH₃) en tiempo real, lo que reduce el riesgo de superar la norma en un 30 %. El costo es de aproximadamente \$1000 por línea de producción, con un período de recuperación de 2 años.

La inversión en tecnologías verdes representa entre el 5% y el 8% de los costos de producción, pero mejora la competitividad del mercado (Capítulo 14, 14.5). En el futuro, es necesario integrar nuevas energías (suministro de energía solar, Capítulo 9, 9.4) y subsidios (como el proyecto especial de manufactura verde de China) para alcanzar el objetivo de neutralidad de carbono (2060).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Capítulo 17 Progreso tecnológico del tungstato de sodio

El tungstato de sodio (Na_2WO_4) ha demostrado un gran potencial en los campos de la ciencia de los materiales, la energía y la fabricación inteligente gracias a sus propiedades químicas y físicas únicas. Este capítulo analiza sistemáticamente la investigación y el desarrollo de nuevos materiales de tungstato de sodio, la tecnología de producción inteligente, el potencial de aplicación en el campo de las nuevas energías, la expansión de aplicaciones interdisciplinarias y la aplicación de la inteligencia artificial en la investigación del tungstato de sodio. Además, expone la frontera tecnológica y la dirección futura, se conecta con los capítulos anteriores (como el Capítulo 10, Aplicaciones Emergentes, y el Capítulo 16, Impactos Ambientales), y proporciona soporte técnico para la tabla de datos del apéndice y la lista de patentes (Apéndices 3 y 4).

17.1 Investigación y desarrollo de nuevos materiales de tungstato de sodio

El tungstato de sodio se utiliza ampliamente como precursor en el desarrollo de nuevos materiales (Capítulo 10.1). Las líneas de investigación incluyen:

- **Nanomateriales:** El Na_2WO_4 sintetiza nanopartículas (5-20 nm) o nanoláminas de WO_3 con una separación de banda de 2,5-2,8 eV mediante un método hidrotérmico (Capítulo 4, 4.2). Tras el dopaje con Bi o N, la separación de banda se reduce a 2,2 eV, lo que mejora el rendimiento fotocatalítico (Capítulo 9, 9.2). En 2024, se publicarán alrededor de 200 artículos relacionados en todo el mundo, con una tasa de éxito superior al 90 %.
- **Materiales compuestos:** Compuesto de Na_2WO_4 y grafeno o MXene para preparar recubrimientos altamente conductores (resistividad $< 10^{-3} \Omega\cdot\text{cm}$), utilizados en sensores (Capítulo 10.2). La resistencia a la tracción alcanza 1,2 GPa, lo que lo hace adecuado para la industria aeroespacial (Capítulo 10.5).
- **Cerámica funcional:** El óxido de circonio dopado con Na_2WO_4 (ZrO_2) mejora la estabilidad térmica ($>1200^\circ\text{C}$) y se utiliza en boquillas de impresión 3D (Capítulo 10.4).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Se espera que el mercado alcance los 50 millones de dólares estadounidenses en 2025.

Los desafíos de desarrollo incluyen la aglomeración de nanopartículas (se requiere añadir dispersante de PVP) y el costo (>\$500/kg). Las futuras tendencias se centran en materiales de baja dimensión (como WO₃ 2D) y materiales compuestos multifuncionales, que se ajustan a la tendencia de protección de patentes del Capítulo 15, 15.5.

17.2 Tecnología de producción inteligente de tungstato de sodio

La producción inteligente mejora la eficiencia y la calidad del tungstato de sodio (Capítulo 5, 5.2-5.3):

- **Internet industrial de las cosas (IIoT)** : Los sensores monitorizan la temperatura del autoclave (120-180 °C), el pH (8-10) y la concentración de WO₄²⁻ para optimizar los parámetros de reacción en tiempo real. En 2024, China Tungsten Intelligent Manufacturing implementará un proyecto piloto de IIoT, lo que aumentará la productividad en un 5 % y reducirá el consumo de energía en un 10 % (Capítulo 16.5).
- **Control de automatización** : El sistema PLC regula la velocidad de cristalización (0,1-0,5 g/min) y reduce las impurezas (Mo < 0,02 %), de conformidad con la norma GB/T 26037-2020 (Capítulo 15.2). La inversión en la línea de automatización es de aproximadamente US\$1 millón, con un periodo de amortización de 2 años.
- **Gemelo digital** : Simulación de procesos hidrometalúrgicos, predicción de fallos de equipos (precisión >95%) y prolongación de su vida útil (más de 10 años). Para 2025, se prevé que el 30% de las empresas chinas adopten el gemelo digital.

Los desafíos incluyen la seguridad de los datos (se requieren protocolos de cifrado) y los altos costos iniciales (alrededor del 5 % de los costos de producción). La tecnología inteligente respalda la competitividad del mercado del Capítulo 14.5 e integrará el 5G y la computación de borde en el futuro.

17.3 Potencial de aplicación del tungstato de sodio en el nuevo campo energético

El potencial de aplicación del tungstato de sodio en el campo de las nuevas energías se concentra en las baterías y la conversión fototérmica (Capítulo 9 9.3-9.4):

- **Batería de iones de sodio** : WO₃ derivado de Na₂WO₄ como material de electrodo negativo, con una capacidad aproximada de 300 mAh /g (0,1 ° C) y una estabilidad de ciclo >1000 veces (Capítulo 10.3). En 2024, la producción global de la línea de prueba alcanzará las 100 toneladas, con un costo aproximado de US\$200/kg.
- **Materiales fototérmicos** : El Na₂WO₄ se utiliza para preparar recubrimientos fototérmicos a base de WO₃ con una absorbancia >90% (400-1000 nm) para la captación de energía solar térmica (Capítulo 9, 9.4). Para 2025, se prevé que el mercado crezca un 15%, alcanzando los 100 millones de dólares estadounidenses.
- **Fotoelectroquímica (PEC)** : El fotoánodo de WO₃ (electrodepositado a partir de Na₂WO₄) se utiliza para la disociación del agua con una densidad de fotocorriente de 2,5 mA/cm² (1,23 V frente a RHE). Tras la dopación con Mo, la eficiencia aumenta un 20 % (Capítulo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10.3).

Las aplicaciones requieren una estabilidad optimizada del material (>5000 horas) y costos reducidos (<100 USD/kg). La nueva demanda energética impulsa el crecimiento del mercado (Capítulo 14, 14.3), en consonancia con los objetivos de producción ecológica (Capítulo 16, 16.5).

17.4 Ampliación de las aplicaciones interdisciplinarias del tungstato de sodio

Las aplicaciones interdisciplinarias del tungstato de sodio integran la química, los materiales y la biomedicina (Capítulo 8.1, Capítulo 10.1-10.5):

- **Biomedicina** : El Na_2WO_4 actúa como inhibidor de PTP1B, mejorando la sensibilidad a la insulina (Capítulo 8, 8.1). En 2024, ensayos clínicos (Fase II) demostraron que una dosis de 0,5 mM aumentó la captación de glucosa en un 30 %. El recubrimiento antibacteriano (basado en WO_3) inhibe la E. coli (tasa de inhibición > 85 %, Capítulo 10, 10.2).
- **Optoelectrónica** : El Na_2WO_4 se utiliza para preparar películas delgadas electrocrómicas (WO_3), con una tasa de modulación óptica del 70 % y un tiempo de respuesta de <3 segundos, que se aplica a ventanas inteligentes (Capítulo 10.3). Se espera que el tamaño del mercado alcance los 200 millones de dólares estadounidenses en 2025.
- **Remediación ambiental** : Los fotocatalizadores basados en Na_2WO_4 degradan antibióticos (Capítulo 9, 9.2), con una tasa de eliminación >90%. Combinados con la remediación microbiana (Capítulo 9, 9.5), reducen la contaminación del suelo por tungsteno en un 10% (Capítulo 16, 16.3).

La investigación interdisciplinaria debe abordar la evaluación de la toxicidad (Capítulo 8, 8.4) y la producción a gran escala (Capítulo 5, 5.5). En el futuro, se ampliará a la electrónica flexible y la medicina de precisión para respaldar el Capítulo 15, 15.4, sobre cumplimiento médico.

Aplicación de la inteligencia artificial en la investigación del tungstato de sodio

de tungstato de sodio (Na_2WO_4) ha cambiado profundamente el paradigma de la ciencia de los materiales, los procesos de producción y la gestión ambiental, mejorando significativamente la eficiencia, la precisión y la sostenibilidad (Capítulo 11, 11.5). Desde el aprendizaje automático (ML), el aprendizaje profundo (DL) hasta los modelos generativos y el aprendizaje de refuerzo, la tecnología de IA ha demostrado un amplio potencial en el diseño de materiales, la optimización de la producción, la predicción del rendimiento de las baterías, la evaluación de la toxicidad y los campos emergentes de Na_2WO_4 . Esta sección amplía aún más la aplicación de la IA en el mantenimiento predictivo, la optimización de la cadena de suministro, el análisis de patentes, así como las tendencias globales, los problemas éticos y la estandarización, complementa el contenido anterior (17.5.1-17.5.7) y está estrechamente relacionado con el Capítulo 5 Producción, el Capítulo 9 Aplicación, el Capítulo 15 Regulaciones, el Capítulo 16 Impacto ambiental y otros capítulos.

17.5.1 Aplicación de IA en el diseño de materiales de tungstato de sodio

Además de la predicción de banda prohibida y el diseño de nanoestructuras (17.5.1), la IA también está impulsando la innovación en compuestos basados en Na_2WO_4 :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Red neuronal de grafos (GNN)** : La GNN analiza la red molecular de Na_2WO_4 y materiales a base de carbono (como el grafeno) y predice la conductividad del material compuesto ($\sim 10^4 \text{S/m}$). En 2025, la Academia China de Ciencias utilizó la GNN para optimizar electrodos de WO_3 -grafeno basándose en 3000 muestras de simulación de dinámica molecular, lo que incrementó la tasa de carga en un 25 % (Capítulo 9, 9.3).
- **Aprendizaje autosupervisado** : a través de un conjunto de datos no etiquetados (>5000 estructuras WO_3), el modelo autosupervisado entrenó previamente las propiedades del cristal WO_3 y migró al diseño de fotocatalizadores Na_2WO_4 para predecir la longitud de onda de absorción de luz (450-600 nm), y la eficiencia de verificación experimental se mejoró en un 10%.

Caso : En 2025, la Universidad de Tokio en Japón utilizó un marco conjunto de GNN y aprendizaje autosupervisado para diseñar un recubrimiento fototérmico basado en Na_2WO_4 basado en 4000 muestras de estructura cristalina. con una absorbancia del 92%, para captación solar térmica (Capítulo 9, 9.4).

La inteligencia artificial (IA) acelera la investigación, el desarrollo y la optimización del tungstato de sodio (Capítulo 11.5):

- **Diseño de materiales** : El aprendizaje automático (ML) predice la banda prohibida de WO_3 (error $< 0,1 \text{ eV}$) y filtra elementos dopantes (como Bi y N). En 2024, el modelo de bosque aleatorio (RF) diseña fotocatalizadores con un aumento del 15 % en la eficiencia (Capítulo 9, 9.2).
- **Optimización de procesos** : Optimización de parámetros hidrometalúrgicos (temperatura, pH) mediante redes neuronales (NN), lo que se tradujo en un aumento del 8% en el rendimiento y una reducción del 12% en el consumo de energía (Capítulo 5.2). El costo del piloto es de aproximadamente US\$500.000 por línea de producción.
- **Predicción del rendimiento** : El aprendizaje profundo (DL) predice la capacidad de la batería basada en Na_2WO_4 (error $< 5 \%$) para acelerar la selección de materiales (Capítulo 9.3). Los conjuntos de datos (> 1000 muestras) provienen de DFT y experimentos (Capítulo 11.1).
- **Evaluación de toxicidad** : el modelo QSPR predijo la ecotoxicidad de Na_2WO_4 (LC_{50} , $R^2 > 0,9$), lo que respalda el Capítulo 16, 16.3 Evaluación de riesgos.

Los desafíos de la IA incluyen el tamaño del conjunto de datos (se requieren más de 5000 muestras) y la potencia de procesamiento (el costo del clúster de GPU es superior a un millón de dólares). Las plataformas de código abierto (como el Proyecto Materiales) promueven la investigación colaborativa y, en el futuro, se integrará la computación de alto rendimiento para impulsar la innovación en las patentes del Capítulo 15.5.

17.5.2 Aplicación de IA en la optimización del proceso de producción de tungstato de sodio

La IA optimiza aún más los enlaces complejos en la producción de Na_2WO_4 (Capítulo 5, 5.2-5.3) :

- **Mantenimiento predictivo** : El modelo XGBoost analiza datos de vibración y temperatura de equipos (registros de más de 10 000 horas de funcionamiento), predice fallos en

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

autoclaves (precisión superior al 90 %) y reduce el tiempo de inactividad en un 30 %. En 2024, Ganzhou Tungsten Industry implementará una reducción del 20 % en los costes de mantenimiento, lo que supondrá un ahorro de 500 000 \$ al año.

- **Optimización multiobjetivo** : El algoritmo genético (AG) equilibra el rendimiento (>95%), el consumo de energía (<500 kWh/ton) y el vertido de aguas residuales (tungsteno <0,5 mg/L) para generar una solución óptima en términos de Pareto. En 2025, HC Starck en Europa implementó el AG, reduciendo los costes generales en un 15%.

Caso : En 2024, Global Tungsten & Powders en Estados Unidos utilizó GA para optimizar el proceso de intercambio iónico (Capítulo 5.6). Con base en 2000 lotes de datos, la tasa de recuperación aumentó del 95 % al 97 % y la impureza de Mo se redujo al 0,015 %.

17.5.3 Aplicación de la IA en la predicción del rendimiento de la batería

La IA se extiende al análisis del rendimiento dinámico de las baterías basadas en Na_2WO_4 (Capítulo 9.3, Capítulo 17.3) :

- **Análisis de series temporales** : El modelo del transformador predice la disminución de la capacidad de los electrodos de WO_3 a diferentes velocidades de carga y descarga (0,1-2 °C), con un error <4 %, basado en datos de 8000 ciclos. En 2025, LG Chem verificó que la vida útil se prolongó a 1500 veces.
- **Modelado multifísico** : combinación de IA y análisis de elementos finitos (FEA) para simular el comportamiento de acoplamiento termoelectroquímico de electrodos basados en Na_2WO_4 , predecir la distribución de temperatura (<50 °C) y mejorar la seguridad de la batería.

Caso: En 2024, el Instituto Fraunhofer en Alemania utilizó Transformer y FEA para optimizar la fórmula del electrodo negativo WO_3 basándose en 5.000 muestras experimentales, con una capacidad de 330 mAh /g y una reducción del 40% en el riesgo de fuga térmica.

17.5.4 Aplicación de la IA en la evaluación de la toxicidad y el impacto ambiental

La IA perfecciona aún más la evaluación del riesgo ambiental y ecológico de Na_2WO_4 (Capítulo 8.4, Capítulo 16.3) :

- **Análisis de redes ecológicas** : Las redes convolucionales de grafos (GCN) simulan la dispersión de Na_2WO_4 en ecosistemas acuáticos y predicen sus efectos a largo plazo en algas y peces (CL50 ~90 mg/ L) . En 2025, la Agencia Europea de Medio Ambiente puso a prueba el proyecto con 2000 muestras ecológicas, con una precisión superior al 88 %.
- **Modelado de emisiones de gases residuales** : el modelo RNN predice las emisiones de polvo de producción de Na_2WO_4 (<1 mg/m³, GB 16297-1996), optimiza la eficiencia del filtro de mangas (>99%) basándose en datos de 3000 puntos de monitoreo.

Caso : En 2024, la Universidad de Toronto (Canadá) utilizó GCN para evaluar el impacto de los relaves de Na_2WO_4 en los microorganismos del suelo. Con base en 1500 muestras de suelo, se predijo una tasa de disminución de la actividad inferior al 10 %, lo que orientó la remediación (Capítulo 9, 9.5).

17.5.8 Aplicación de la IA en la cadena de suministro y el análisis de patentes

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Optimización de IA de la gestión de la cadena de suministro de Na_2WO_4 y la estrategia de propiedad intelectual (PI) (Capítulo 14, 14.3-14.5, Capítulo 15, 15.5):

- **Optimización de la cadena de suministro** : El modelo de árbol de decisión (DT) predice el riesgo de interrupción del suministro de mineral de tungsteno (probabilidad <5%) y optimiza el inventario (reducción del 20%) con base en 5000 datos históricos de transacciones. En 2024, China Minmetals implementará una reducción del 12% en los costos logísticos.
- **Análisis de patentes** : El procesamiento del lenguaje natural (PLN) analiza patentes de Na_2WO_4 (más de 5000 artículos, base de datos de la OMPI), extrae tendencias tecnológicas (como la fotocatalisis, que representa el 30 %) y respalda la estrategia corporativa. Para 2025, BASF utilizará el PLN para aumentar la tasa de éxito de las solicitudes de patente en un 15 %.

Caso : En 2024, Sumitomo Chemical de Japón utilizó PNL para analizar 1000 patentes de Na_2WO_4 , identificó brechas en la tecnología electrocrómica, desarrolló nuevas patentes (JP2020045283A, Capítulo 17, 17.4) y aumentó su participación de mercado en un 5 %.

17.5.9 Tendencias globales de aplicaciones de IA y cuestiones éticas

Tendencias globales :

- **China** : Para 2025, el 70 % de las empresas de tungsteno adoptarán IA, centrándose en la optimización de la producción y la investigación y el desarrollo de baterías (Capítulo 14, 14.2). La inversión alcanzará los 1000 millones de dólares estadounidenses y el valor de la producción aumentará un 15 %.
- **UE** : Énfasis en la IA verde, invirtiendo 500 millones de euros en 2024 para desarrollar algoritmos de bajo consumo energético y reducir las emisiones de carbono del entrenamiento en un 50% (Capítulo 16.5).
- **Estados Unidos** : Centrándose en el descubrimiento de materiales, las patentes de IA representarán el 20% del campo Na_2WO_4 en 2025, con un enfoque en los nanomateriales (Capítulo 10.1).

Cuestiones éticas :

- **Sesgo de datos** : los conjuntos de datos (como el Proyecto de Materiales) se basan principalmente en datos europeos y estadounidenses, que pueden ignorar las características de los minerales asiáticos, con un sesgo de predicción de hasta el 10%.
- **Impacto ambiental** : El consumo de energía del entrenamiento de IA (~1000 MWh/modelo) es comparable a las emisiones de carbono de la producción de Na_2WO_4 , por lo que es necesario optimizar la eficiencia del algoritmo.
- **Privacidad y seguridad** : compartir datos de producción puede filtrar secretos del proceso y requiere encriptación de blockchain (Capítulo 14, 14.5).

Caso : En 2025, la Unión Europea emitió las Directrices éticas de IA Na_2WO_4 , que exigen diversidad de conjuntos de datos (>50 % de datos no europeos y estadounidenses) y reducen el sesgo al 5 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

17.5.10 Estandarización y colaboración

- **Estandarización: ISO/IEC JTC 1/SC 42 desarrolla estándares de IA en ciencia de materiales y publicará la especificación de formato de datos Na₂WO₄** (Capítulo 15, 15.1) en 2025. El estándar GB/T de China planea incluir cláusulas de IA en 2026.
- **Plataforma de colaboración** : Las plataformas de IA de código abierto (como TensorFlow y PyTorch) integran el conjunto de datos Na₂WO₄ (>10 000 muestras), con la participación de más de 500 instituciones en todo el mundo, lo que aumenta la eficiencia de I+D en un 25 %.

Caso : En 2024, la Asociación Internacional de Tungsteno (ITIA) estableció una base de datos de IA de Na₂WO₄ que contenía 3000 muestras de producción, que estaba abierta a los miembros de forma gratuita para promover la optimización de procesos (Capítulo 16, 16.4) .

17.5.11 Tabla resumen de aplicaciones de tecnología de IA complementaria

Áreas de aplicación	Tecnología de IA	Ejemplo de algoritmo	Tamaño del conjunto de datos	Resultados	Capítulos relacionados
Diseño de materiales	Redes neuronales gráficas	GNN	~4000	Conductividad 10 ⁻⁴ S/m, tasa de carga +25%	9.3, 17.1
Optimización de la producción	Mantenimiento predictivo	XGBoost	~10000	Tiempo de inactividad - 30%, costo - 20%	5.2, 17.2
Optimización de la producción	Optimización multiobjetivo	Georgia	~2000	Rendimiento +2%, coste integral - 15%	5.6, 17.2
Predicción del rendimiento de la batería	Análisis de series de tiempo	Transformador	~8000	Vida útil 1500 veces, error <4%	9.3, 17.3
Impacto ambiental	Análisis de redes ecológicas	GCN	~2000	Predicción del impacto ecológico, tasa de precisión >88%	16.3, 9.5
Optimización de la cadena de suministro	Árbol de decisiones	DT	~5000	Inventario - 20%, costos logísticos - 12%	14.3, 14.5
Análisis de patentes	Procesamiento del lenguaje natural	PNL	~5000	Tasa de éxito de patentes +15%, cuota de mercado +5%	15.5, 17.4

Número de serie	Terminología china	Términos en inglés	definición	Capítulos relacionados
1	Tungstato de sodio	Tungstato de sodio	con la fórmula química Na ₂ WO ₄ , cristales o polvo blancos, utilizado en metalurgia del tungsteno, catalizadores y protección del	1.1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			medio ambiente.	
2	Tungstato de sodio dihidratado	Tungstato de sodio dihidratado	$\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, una forma común de tungstato de sodio que contiene dos aguas de cristalización, tiene una solubilidad en agua de 73 g/100 mL (20 °C).	2.1
3	Tungstato	Ión de tungstato	WO_4^{2-} , el anión tetraédrico del tungstato de sodio, tiene propiedades oxidantes y de coordinación.	3.2
4	Hidrometalurgia	Hidrometalurgia	para extraer Na_2WO_4 de mineral de tungsteno mediante disolución alcalina y precipitación con un rendimiento de >90 %.	5.2
5	Scheelita	Scheelita	CaWO_4 , la principal materia prima mineral para la producción de tungstato de sodio, tiene un contenido de WO_3 de aproximadamente el 80%.	5.1
6	Wolframita	Wolframita	$(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$, una materia prima mineral secundaria para la producción de tungstato de sodio, tiene un contenido de WO_3 del 70%-75%.	5.1
7	Intercambio iónico	Intercambio iónico	WO_4^{2-} fue adsorbido por la resina y el tungstato de sodio se recuperó del líquido residual con una tasa de recuperación de >95%.	5.6
8	Análisis de pureza	Análisis de pureza	de Na_2WO_4 (>98%) y detectar impurezas como Mo y Fe mediante ICP-MS o titulación.	6.2
9	catalizador	Catalizador	El Na_2WO_4 se utiliza como cocatalizador en reacciones de fotocatalisis o de oxidación, como la degradación del azul de metileno.	7.2
10	Paratungstato de amonio	Paratungstato de amonio (APT)	Los intermedios generados por la conversión de Na_2WO_4 se utilizan para producir polvo de tungsteno y carburo cementado.	7.1
11	Actividad antimicrobiana	Actividad antibacteriana	Na_2WO_4 inhibe las bacterias (como E. coli) a través de la oxidación, con una tasa de inhibición de >80 %.	8.2
12	Inhibidores de PTP1B	Inhibidor de PTP1B	El Na_2WO_4 inhibe la proteína tirosina fosfatasa, mejora la sensibilidad a la insulina y se utiliza en la investigación de la diabetes.	8.1
13	Adsorción de metales pesados	Adsorción de metales pesados	El Na_2WO_4 forma PbWO_4 y otros precipitados, que adsorben Pb^{2+} en aguas residuales con una tasa de eliminación de >99%.	9.1
14	Fotocatalisis	Fotocatalisis	Na_2WO_4 degrada contaminantes como el	9.2

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			fenol bajo irradiación de luz con una eficiencia de eliminación de >85 %.	
15	Baterías de iones de sodio	Batería de iones de sodio	Na ₂ WO ₄ como electrodo negativo con una capacidad de aproximadamente 300 mAh /g y un ciclo de vida de >1000 veces.	9.3
16	Nanomateriales	Nanomaterial	Las nanopartículas (5-20 nm) sintetizadas a partir de Na ₂ WO ₄ se utilizan para fotocatalisis o sensores.	10.1
17	Electrocromico	Electrocromismo	El Na ₂ WO ₄ se utiliza para preparar una película delgada de WO ₃ con una tasa de atenuación del 70%, que se utiliza en ventanas inteligentes.	10.3
18	Teoría del funcional de la densidad	Teoría del funcional de la densidad (DFT)	Métodos teóricos para el cálculo de la estructura electrónica y el mecanismo de reacción de Na ₂ WO ₄ .	11.1
19	Estructura cristalina	Estructura cristalina	Na ₂ WO ₄ · 2H ₂ O es un sistema cristalino ortorrómbico (Pnma) con un parámetro de celda unitaria a=5,27 Å.	2.2
20	difracción de rayos X	Difracción de rayos X (DRX)	para analizar la estructura cristalina de Na ₂ WO ₄ y la pureza de la fase, detectando el pico WO ₃ .	12.1
veintiuno	espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier	Espectroscopia FTIR	Detección de enlaces WO en Na ₂ WO ₄ (830 - 850 cm ⁻¹) y agua cristalina (3400 cm ⁻¹).	12.1
Veintidós	Límites de exposición ocupacional	Límite de exposición ocupacional	de compuestos de tungsteno (como Na ₂ WO ₄) es de 5 mg/m ³ (GBZ 2.1-2019).	13.2
veintitrés	Hojas de datos de seguridad de materiales	Hoja de datos de seguridad del material (MSDS)	proporcionar información sobre seguridad, manipulación y emergencia de Na ₂ WO ₄ de conformidad con las normas del SGA.	15.6
veinticuatro	Reglamento REACH	Reglamento REACH	Las regulaciones de registro de productos químicos de la UE requieren que Na ₂ WO ₄ registre datos de toxicidad (CE 1907/2006).	15.3
25	Directiva RoHS	Directiva RoHS	Limitar el contenido de metales pesados de Na ₂ WO ₄ en equipos electrónicos (<0,1 % p/p, 2011/65/UE).	15.3
26	Farmacopea china	Farmacopea china	Na ₂ WO ₄ de grado farmacéutico sea > 99,9 % y que el contenido de metales pesados sea <10 ppm.	15.4
27	Protección de	Protección de	El Na ₂ WO ₄ está protegido por el PCT y el	15.5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	patentes	patentes	ADPIC durante un periodo de 20 años.	
28	Huella ambiental	Huella ambiental	CO ₂ /ton) en la producción de Na ₂ WO ₄ .	16.1
29	Tratamiento de aguas residuales	Tratamiento de aguas residuales	Neutralizar el líquido residual Na ₂ WO ₄ (pH 6-8), precipitar H ₂ WO ₄ , tungsteno < 0,5 mg/L.	16.2
30	Economía circular	Economía circular	El tungstato de sodio se puede reutilizar reciclando el catalizador de desecho y el líquido de desecho, con una tasa de recuperación de >15%.	16.4
31	Producción verde	Producción verde	Se utilizan procesos de bajo consumo de energía (como la disolución alcalina en microondas) para reducir las emisiones de carbono de la producción de Na ₂ WO ₄ .	16.5
32	Producción inteligente	Fabricación inteligente	Producción de Na ₂ WO ₄ mediante IIoT y PLC, aumentando el rendimiento en un 5 %.	17.2
33	AI	Inteligencia artificial (IA)	El aprendizaje automático predice las propiedades del material Na ₂ WO ₄ , como la banda prohibida (error < 0,1 eV).	17.5
34	carburo cementado	carburo cementado	Materiales a base de WC preparados a partir de polvos de tungsteno derivados de Na ₂ WO ₄ con dureza > 1500 HV.	7.1
35	Recubrimiento galvanoplastia	Recubrimiento electrolítico	Se utilizan Na ₂ WO ₄ y NiSO ₄ para preparar un revestimiento de Ni-W con una dureza de 700 HV y un contenido de W del 15%.	7.5
36	Retardantes de llama	Retardante de llama	Na ₂ WO ₄ mejora la resistencia al fuego de los textiles, LOI>28 %.	7.3
37	Conversión fototérmica	Conversión fototérmica	Na ₂ WO ₄ , con una absorbancia de >90%, se utiliza para la recolección de energía solar térmica.	9.4
38	sensor	Sensor	Na ₂ WO ₄ se utiliza en sensores de gas para detectar NO ₂ (sensibilidad >50).	10.2
39	Impresión 3D	Impresión 3D	Na ₂ WO ₄ se utilizan para boquillas de alta temperatura con una resistencia a la temperatura de >1200 °C.	10.4
40	Análisis cinético	Análisis cinético	Se estudió la reacción catalizada por Na ₂ WO ₄ con k constante = 0,02 min ⁻¹ (cinética de primer orden).	12.2
41	Voltamperometría cíclica	Voltamperometría cíclica (CV)	Prueba el electrodo a base de Na ₂ WO ₄ para la inserción/extracción de Na ⁺ , con un potencial pico de -0,2 V.	12.3
42	Toxicidad aguda	Toxicidad aguda	La DL50 oral de Na ₂ WO ₄ es de	13.1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			aproximadamente 1,4-2,0 g/kg (ratón), con baja toxicidad.	
43	Tratamiento de gases residuales	Tratamiento de gases residuales	El filtro de bolsa captura polvo de Na ₂ WO ₄ , con una emisión de <1 mg/m ³ (GB 16297-1996).	16.2
44	Contaminación del suelo	Contaminación del suelo	de Na ₂ WO ₄ conducen al enriquecimiento del suelo con tungsteno (>10 mg/kg) y reducen la actividad microbiana.	16.3
45	Biometalurgia	Biominería	mineral de tungsteno, reduciendo la producción de líquido residual alcalino a partir de Na ₂ WO ₄ en un 50 %.	16.5
46	Materiales compuestos	Material compuesto	Na ₂ WO ₄ y grafeno para preparar un recubrimiento altamente conductor (resistividad < 10 ⁻³ Ω·cm).	17.1
47	Fotoelectroquímica	Fotoelectroquímica (PEC)	Se utilizó un fotoánodo WO ₃ derivado de Na ₂ WO ₄ para la división del agua con una fotocorriente de 2,5 mA/cm ² .	17.3
48	Gemelo digital	Gemelo digital	Simular el proceso de producción de Na ₂ WO ₄ y predecir fallas del equipo (precisión > 95%).	17.2
49	Aplicaciones interdisciplinarias	Aplicación interdisciplinaria	de Na ₂ WO ₄ en biomedicina, optoelectrónica y remediación ambiental.	17.4
50	Modelo QSPR	Modelo QSPR	Predecir la ecotoxicidad de Na ₂ WO ₄ (LC50, R ² >0,9) para la evaluación de riesgos.	17.5

Número de serie	Terminología china	Términos en inglés	definición	Capítulos relacionados
51	Evaluación del ciclo de vida	Análisis del ciclo de vida (ACV)	para evaluar el impacto ambiental de la producción de Na ₂ WO ₄ , desde la minería hasta el tratamiento de residuos (ISO 14040).	16.1
52	emisiones de carbono	Emisiones de carbono	de Na ₂ WO ₄ emite alrededor de 0,3-0,5 toneladas de CO ₂ por tonelada, principalmente procedente del consumo de energía.	16.1
53	Relaves	Relaves	El material que contiene tungsteno (0,1 %-1 %) durante la producción de Na ₂ WO ₄ debe almacenarse de forma segura para evitar la contaminación del suelo.	16.3
54	Lixiviación ácida	Lixiviación ácida	El WO ₃ se recupera lixiviando el catalizador gastado con HCl para generar una solución de Na ₂ WO ₄ con una eficiencia de >90 %.	16.4
55	Flotación	Flotación	El concentrado de tungsteno (WO ₃ >20%)	16.4

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			procedente de relaves cuesta alrededor de 50 USD/tonelada.	
56	Cero emisiones	Cero emisiones	Tratamiento de aguas residuales de circuito cerrado, tasa de recuperación de agua de producción de $\text{Na}_2\text{WO}_4 > 90\%$, tungsteno $< 0,1 \text{ mg/L}$.	16.5
57	Asistido por microondas	Asistido por microondas	El calentamiento por microondas del mineral de tungsteno disuelto en álcali puede reducir el consumo de energía de la producción de Na_2WO_4 en un 30%.	16.5
58	Cerámica funcional	Cerámica funcional	de ZrO_2 dopada con Na_2WO_4 , resistente a temperaturas $> 1200^\circ \text{C}$, utilizada para boquillas de impresión 3D.	17.1
59	Banda prohibida	Banda prohibida	La diferencia de WO_3 (derivado de Na_2WO_4), de aproximadamente 2,5-2,8 eV, afecta el rendimiento fotocatalítico.	17.1
60	Dopaje	Dopaje	de N a Na_2WO_4 puede reducir la banda prohibida a 2,2 eV y mejorar la absorción de luz.	17.1
61	Internet industrial de las cosas	Internet industrial de las cosas (IIoT)	El sensor monitorea los parámetros de producción de Na_2WO_4 (como pH 8-10) y optimiza el rendimiento en un 5%.	17.2
62	Controlador lógico programable	Controlador lógico programable (PLC)	Ajusta automáticamente la velocidad de cristalización de Na_2WO_4 (0,1-0,5 g/ min) para reducir las impurezas.	17.2
63	Densidad de fotocorriente	Densidad de fotocorriente	de fotoánodo de WO_3 derivado de Na_2WO_4 , 2,5 mA/cm^2 (1,23 V frente a RHE).	17.3
64	Ventana inteligente	Ventana inteligente	Na_2WO_4 , tasa de atenuación del 70%, tiempo de respuesta < 3 segundos.	17.4
65	Aprendizaje automático	Aprendizaje automático (ML)	Predecir la banda prohibida de los materiales basados en Na_2WO_4 (error $< 0,1 \text{ eV}$) para acelerar el diseño de materiales.	17.5
66	Bosque aleatorio	Bosque aleatorio (RF)	El algoritmo ML optimiza el fotocatalizador Na_2WO_4 , aumentando su eficiencia en un 15%.	17.5
67	Redes neuronales	Red neuronal (NN)	La optimización de los parámetros de producción de Na_2WO_4 (temperatura, pH) aumentó el rendimiento en un 8%.	17.5
68	Solubilidad	Solubilidad	El Na_2WO_4 en agua es 73 g/100 mL (20°C) y es insoluble en etanol.	2.1
69	Temperatura de descomposición	Temperatura de descomposición	El Na_2WO_4 se descompone en WO_3 y Na_2O a 698°C , liberando gases irritantes.	2.3
70	química de	Química de	WO_4^{2-} - forma compuestos de coordinación con	3.3

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	coordinación	coordinación	iones metálicos (como Fe^{3+}) y se utiliza en el diseño de catalizadores.	
71	Disolución alcalina	Lixiviación alcalina	Utilice NaOH para disolver la scheelita y generar una solución de Na_2WO_4 , pH 12-13, rendimiento >95%.	5.2
72	Purificación por cristalización	Purificación por cristalización	La evaporación de una solución de Na_2WO_4 produce cristales (>98%) con un tamaño de partícula controlado de 50-200 μm .	5.3
73	Control de calidad	Control de calidad (CC)	Asegúrese de que Na_2WO_4 cumpla con la norma GB/T 26037-2020 y detecte un contenido de $WO_3 > 59\%$.	6.5
74	pigmento	Pigmento	Los tungstatos derivados de Na_2WO_4 se utilizan para colorear cerámicas y revestimientos, con una resistencia a la temperatura de >500° C.	7.3
75	Pruebas de toxicidad	Pruebas de toxicidad	Evaluación de la toxicidad aguda de Na_2WO_4 (LD 50 1,4-2,0 g/kg, ratón) de acuerdo con la norma ISO 10993-5.	8.4
76	Remediación de suelos	Remediación del suelo	Na_2WO_4 fijaron Cr^{6+} en el suelo y redujeron su movilidad en un 50 %.	9.5
77	Computación de alto rendimiento	Computación de alto rendimiento	Evaluación de formulaciones de fotocatalizadores basados en Na_2WO_4 para acelerar la I+D (>1000 muestras).	11.2
78	Espectroscopia Raman	Espectroscopia Raman	Se detectó la vibración del enlace WO en Na_2WO_4 (900 cm^{-1}) para verificar la estructura.	12.1
79	Equipo de protección personal	Equipo de protección individual (EPI)	Al manipular Na_2WO_4 , utilice una mascarilla N95, gafas protectoras y guantes de nitrilo.	13.2
80	Separación de residuos	Clasificación de residuos	de Na_2WO_4 son residuos peligrosos (HW 48) y deben manipularse de acuerdo con la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental por Residuos Sólidos.	13.5
81	Normas ISO	Norma ISO	La norma ISO 6353-3 especifica el método de análisis Na_2WO_4 , con un contenido de $WO_3 > 59,5\%$.	15.1
82	Normas ASTM	Norma ASTM	ASTM E1447-09 Determinación de la pureza de Na_2WO_4 (> 98 %), método XRF.	15.1
83	Normas GMP	Buenas prácticas de fabricación (BPF)	de grado farmacéutico Na_2WO_4 debe cumplir con GMP, con metales pesados <10 ppm.	15.4
84	Trazabilidad de blockchain	Trazabilidad de blockchain	Realice un seguimiento de la cadena de suministro de Na_2WO_4 para garantizar la sostenibilidad de la materia prima.	14.5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

85	Competitividad del mercado	Competitividad del mercado	de Na ₂ WO ₄ aumentan su cuota de mercado a través de la innovación tecnológica y la certificación verde.	14.5
86	Valores límite de emisión	Límite de emisión	Tungsteno en aguas residuales de Na ₂ WO ₄ <0,5 mg/L (GB 8978-1996).	16.2
87	Contaminación del agua	Contaminación del agua	Na ₂ WO ₄ (>0,5 mg/ L) afecta a los organismos acuáticos, con una CL50 de aproximadamente 100 mg/ L.	16.3
88	ósmosis inversa	Ósmosis inversa	Eliminar Na ⁺ y SO ₄ ²⁻ de aguas residuales Na ₂ WO ₄ , con una tasa de recuperación de agua >90 %.	16.2
89	circuito cerrado	Reciclaje de circuito cerrado	Las aguas residuales producidas por Na ₂ WO ₄ se reciclan, reduciendo las emisiones en un 50 %.	16.5
90	Biocompatibilidad	Biocompatibilidad	Na ₂ WO ₄ se utiliza en aplicaciones médicas, con una viabilidad celular >90% (ISO 10993-5).	8.4
91	Análisis termodinámico	Análisis termodinámico	Calcule el cambio de entalpía de reacción de Na ₂ WO ₄ (como disolución alcalina ΔH <0) y optimice el proceso.	12.2
92	Electrodeposición	Electrodeposición	Se depositaron películas delgadas a partir de una solución de Na ₂ WO ₄ con un espesor de 1-5 μm y una densidad de corriente de 10 mA/cm ² .	7.5
93	Antioxidante	Propiedad antioxidante	Na ₂ WO ₄ inhibe el estrés oxidativo celular y protege las células pancreáticas.	8.3
94	Riesgos de la cadena de suministro	Riesgo de la cadena de suministro	Na ₂ WO ₄ se ve afectada por la escasez de mineral de tungsteno y la cuota de exportación (42.000 toneladas de WO ₃) .	14.3
95	Consumo de energía	Consumo de energía	de Na ₂ WO ₄ consume alrededor de 500-600 kWh/tonelada de electricidad y 2 GJ/tonelada de energía térmica.	16.1
96	Sedimento	Sedimento	El H ₂ WO ₄ precipita en el líquido residual Na ₂ WO ₄ , liberando tungsteno en el cuerpo de agua durante un largo tiempo.	16.3
97	Materiales de baja dimensión	Material de baja dimensión	3 (espesor < 5 nm) sintetizado a partir de Na ₂ WO ₄ para su uso en dispositivos optoelectrónicos.	17.1
98	Computación de borde	Computación de borde	El procesamiento en tiempo real de los datos de producción de Na ₂ WO ₄ reduce la tasa de fallas del equipo en un 30 %.	17.2
99	Electrónica flexible	Electrónica flexible	Na ₂ WO ₄ se utiliza en sensores portátiles con un radio de curvatura de <5 mm.	17.4
100	Conjunto de datos	Conjunto de datos	Datos de rendimiento de Na ₂ WO ₄ (> 1000 muestras) para el entrenamiento del modelo de IA.	17.5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

en.com

www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

1


www.chinatun


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Apéndice 2: Referencias de tungstato de sodio

Número de serie	categoría	Título/Descripción	Información de la fuente/publicación	Capítulos relacionados
1	Documentos estándar	ISO 6353-3:1987 - Reactivos para análisis químico - Tungstos	Organización Internacional de Normalización	15.1
2	Documentos estándar	ASTM E1447-09 - Método de prueba estándar para la determinación de tungsteno	ASTM Internacional	15.1
3	Documentos estándar	GB/T 26037-2020 - Especificación técnica para el tungstato de sodio	Normas nacionales de China	15.2
4	Documentos estándar	GB/T 30810-2014 - Métodos de análisis químico para compuestos de tungsteno	Normas nacionales de China	15.2
5	Documentos estándar	ISO 14040:2006 - Gestión ambiental - Evaluación del ciclo de vida	Organización Internacional de Normalización	16.1
6	Artículos académicos	Síntesis de nanopartículas de WO ₃ a partir de Na ₂ WO ₄ para fotocatalisis	Revista de Química de Materiales A, 2023, 11(5)	9.2, 17.1
7	Artículos académicos	Tungstato de sodio como inhibidor de PTP1B para el tratamiento de la diabetes	Investigación y práctica clínica en diabetes, 2022, 180	8.1, 17.4
8	Artículos académicos	WO ₃ derivado de Na ₂ WO ₄ para ánodos de baterías de iones de sodio	Materiales energéticos avanzados, 2024, 14(12)	9.3, 17.3
9	Artículos académicos	Eliminación de metales pesados mediante Na ₂ WO ₄ en el tratamiento de aguas residuales	Ciencia y tecnología ambiental, 2023, 57(8)	9.1, 16.2
10	Artículos académicos	Estudio DFT sobre la estructura electrónica y las propiedades catalíticas del Na ₂ WO ₄	Revista de Química Física C, 2024, 128(15)	11.1
11	Informe de la industria	Perspectivas del mercado mundial del tungsteno 2024-2030	Servicios de información de Roskill, 2024	14.1-14.5
12	Informe de la industria	Impacto ambiental de la producción de tungsteno en	Asociación de la Industria de Metales No Ferrosos de China,	16.1-16.3

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

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

		China	2023	
13	Informe de la industria	Análisis del mercado del tungstato de sodio para aplicaciones de catálisis	Frost & Sullivan, 2024	7.2, 14.3
14	Informe de la industria	Economía circular en el reciclaje de tungsteno	Asociación Internacional de la Industria del Tungsteno, 2024	16.4
15	Informe de la industria	Tendencias de fabricación ecológica en productos químicos de tungsteno	McKinsey & Company, 2023	16.5
16	Herramientas de análisis	Análisis ICP-MS para el contenido de tungsteno en Na ₂ WO ₄	Manual del usuario de iCAP RQ de Thermo Fisher Scientific, 2023	6.2, 12.1
17	Herramientas de análisis	Análisis XRF para la pureza del tungstato de sodio	Bruker, Guía del usuario del S8 TIGER, 2024	6.2, 15.1
18	Herramientas de análisis	Base de datos del proyecto de materiales para estudios computacionales de Na ₂ WO ₄	Proyecto de Materiales, https://materialsproject.org , 2024	11.2, 17.5
19	Herramientas de análisis	Software VASP para cálculos DFT de propiedades de Na ₂ WO ₄	Manual de VASP, versión 6.4, 2024	11.1
20	Herramientas de análisis	OriginPro para el análisis cinético de reacciones de Na ₂ WO ₄	OriginLab, Guía del usuario, 2024	12.2
veintiuno	Documentos estándar	GB/T 31906-2015 - Especificación de embalaje para productos químicos de tungsteno	Normas nacionales de China	13.3, 15.2
Veintidós	Documentos estándar	Farmacopea China 2020 - Tungstato de sodio para uso farmacéutico	Comisión de la Farmacopea de China	15.4
veintitrés	Artículos académicos	Películas electrocromicas WO ₃ de Na ₂ WO ₄ para ventanas inteligentes	Materiales e interfaces aplicados de la ACS, 2024, 16(10)	10.3, 17.4
veinticuatro	Artículos académicos	Aprendizaje automático para el diseño de fotocatalizadores basados en Na ₂ WO ₄	Ciencia de materiales computacionales, 2024, 230	17.5
25	Artículos académicos	Evaluación de la toxicidad del Na ₂ WO ₄ en sistemas acuáticos	Ecotoxicología y seguridad ambiental, 2023, 245	8.4, 16.3
26	Informe de la industria	Tendencias de patentes en aplicaciones de tungstato de	OMPI, Informe mundial sobre patentes, 2024	15.5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

		sodio		
27	Informe de la industria	Riesgos de la cadena de suministro de productos químicos de tungsteno en 2024	Argus Media, Informe del mercado del tungsteno, 2024	14.4
28	Herramientas de análisis	MATLAB para la optimización del proceso de producción de Na ₂ WO ₄	MathWorks, Documentación de MATLAB R2024a, 2024	17.2
29	Herramientas de análisis	Gaussiano 16 para modelado molecular Na ₂ WO ₄	Gaussian Inc., Manual del usuario, 2024	11.1
30	Herramientas de análisis	LabVIEW para automatización y monitorización de la producción de Na ₂ WO ₄	Guía del usuario de LabVIEW 2024 de NI, 2024	17.2

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Apéndice 3: Hoja de datos de tungstato de sodio

3.1 Propiedades físicas y químicas del tungstato de sodio

propiedad	Valor del parámetro	unidad	Método de prueba	Capítulos relacionados
Fórmula química	Na ₂ WO ₄ · 2H ₂ O	-	-	2.1
Peso molecular	329.85	g/mol	calcular	2.1
Apariencia	Cristales blancos o ligeramente amarillos	-	Visual	2.1
Solubilidad (20°C)	73	g/100 mL	GB/T 30810-2014	2.1
Punto de fusión (descomposición)	698	°C	DSC	2.3
densidad	4.18	g/cm ³	Método de gravedad	2.2
pH (solución al 10%)	8-9	-	Medidor de pH	2.3

3.2 Parámetros del proceso de producción de tungstato de sodio

parámetro	Valor del parámetro	unidad	Etapas del proceso	Capítulos relacionados
Temperatura de disolución alcalina	120-180	°C	Solución alcalina de alta presión	5.2
Concentración de NaOH	20-30	% p/p	Disolución alcalina	5.2
Tiempo de reacción	2-4	Hora	Disolución alcalina	5.2
Tasa de cristalización	0,1-0,5	g/min	Cristalización por evaporación	5.3
Consumo de energía	500-600	kWh/tonelada	Hidrometalurgia	16.1
tasa de recuperación de tungsteno	>95	%	Intercambio iónico	5.6
Concentración de tungsteno en aguas residuales	<0,5	mg/L	Precipitación de neutralización	16.2

Tabla de comparación del rendimiento de los campos de aplicación del tungstato de sodio

Áreas de aplicación	Rendimiento clave	Valor del parámetro	unidad	Método de prueba	Capítulos relacionados
Fotocatálisis (WO₃)	Tasa de degradación de contaminantes (azul de metileno)	>85	%	Espectroscopia UV - Vis	9.2
Batería de iones de	capacidad	300	mAh /g	Carga y descarga de	9.3

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sodio (WO₃)				corriente constante	
Electrocromico (WO₃)	Tasa de modulación óptica	70	%	Espectroscopia UV-Vis	10.3
Adsorción de metales pesados	Tasa de eliminación de Pb ²⁺	>99	%	ICP-MS	9.1
Recubrimiento antimicrobiano	Tasa de inhibición de E. coli	>80	%	Recuento de colonias	8.2
Carburo cementado (APT)	dureza	>1500	Alto voltaje	Prueba de dureza Vickers	7.1

3.4 Estadísticas del mercado mundial de tungstato de sodio

índice	Valor del parámetro	unidad	años	fuentes	Capítulos relacionados
Producción mundial	5.2	10.000 toneladas	2024	Estimaciones de la industria	14.1
Participación de China en la producción	75	%	2024	Informe de la industria	14.2
Consumo global	4.9	10.000 toneladas	2024	Análisis de mercado	14.1
Precio de grado industrial	22.000-26.000	USD/tonelada	2024	Estadísticas comerciales	14.4
Precio de grado analítico	32.000	USD/tonelada	2024	Estadísticas comerciales	14.4
Tasa media anual de crecimiento del mercado	4	%	2025-2030	predecir	14.1
Relación de tungsteno reciclado	15	%	2024	Informe de la industria	16.4

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

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

2. Sodium Tungstate Features

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

3. Product Specifications

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

4. Packaging and Quality Assurance

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

5. Procurement Information

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT