

Enciclopedia del ácido de tungsteno

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

Tungstic Acid Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Tungstic Acid Overview

The tungstic acid (tungsten trioxide hydrate, $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) produced by CTIA GROUP LTD is a high-purity yellow crystalline powder, manufactured using advanced precipitation and calcination processes. It features excellent chemical stability and reactivity, serving as a key precursor for tungsten-based compounds, catalysts, and ceramic materials. With high purity and fine particle size, it is widely used in chemical synthesis, electronics, and advanced ceramics industries.

2. Tungstic Acid Features

- Chemical Formula: $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Molecular Weight: 249.85
- Appearance: Yellow crystalline powder
- Melting Point: Decomposes $>100^\circ\text{C}$
- Density: 5.5 g/cm^3
- Stability: Stable under dry conditions, decomposes in water to form tungstate ions, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in catalyst preparation (selectivity $>95\%$), tungsten oxide synthesis, ceramic pigments

3. Tungstic Acid Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Solubility	Impurities (ppm)
Reagent Grade	≥ 99.9	1–10	Slightly soluble	$\text{Fe} \leq 10$, $\text{Na} \leq 5$, $\text{Si} \leq 10$
Industrial Grade	≥ 99.5	1–10	Slightly soluble	SO_4^{2-} main, trace elements
Technical Grade	≥ 98.5	1–10	Slightly soluble	Minor oxide impurities allowed

4. Tungstic Acid Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and stability.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Crystal structure (XRD)
 - Solubility test (weight loss $<0.1\%$ in water)

5. Tungstic Acid Procurement Information

- Email: sales@chinatungsten.com
- Phone: +86 592 5129595
- Website: <http://tungstic-acid.com>

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tabla de contenido

Prefacio

Antecedentes y significado de la escritura
La posición estratégica y el potencial de aplicación del ácido tungstico
Estructura e instrucciones del libro
Lectores aplicables y valor de referencia

Capítulo 1: Conceptos básicos y desarrollo histórico del ácido tungstico

- 1.1 Definición y clasificación del ácido tungstico
- 1.2 Descubrimiento y evolución de la denominación del ácido tungstico
- 1.3 El estado del ácido tungstico en la química inorgánica
- 1.4 Curso principal y hitos técnicos de la investigación del ácido tungstico

Capítulo 2: Propiedades físicas y químicas del ácido tungstico

- 2.1 Análisis de la estructura molecular y la estructura cristalina
- 2.2 Estabilidad térmica y comportamiento de descomposición
- 2.3 Características de acidez y solubilidad
- 2.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas
- 2.5 Estudio sobre isómeros y polimorfos del ácido tungstico

Capítulo 3: Preparación de ácido tungstico

- 3.1 Preparación de ácido tungstico a partir de APT
- 3.2 Extracción húmeda de ácido tungstico a partir de WO_3
- 3.3 Síntesis de ácido tungstico en diferentes condiciones de pH/temperatura
- 3.4 Proceso de preparación de ácido nanotungstico (sol-gel, hidrotermal, microemulsión)
- 3.5 Análisis del proceso de preparación estándar de ácido tungstico elaborado por el Grupo CTIA

Capítulo 4: Tecnología de caracterización y métodos de detección del ácido tungstico

- 4.1 Análisis de la forma cristalina y de la superficie cristalina mediante difracción de rayos X
- 4.2 Espectroscopía FTIR y Raman
- 4.3 Observación de micromorfología SEM/TEM
- 4.4 Análisis térmico TG-DSC
- 4.5 Análisis del estado de valencia de elementos de superficie XPS
- 4.6 Área superficial específica y estructura de poros (análisis BET)
- 4.7 Métodos de prueba de rendimiento eléctrico y óptico

Capítulo 5: Principales derivados e intermedios del ácido tungstico

- 5.1 Metatungstos (como sodio, amonio, calcio, cobre, etc.)
- 5.2 Complejos de tungstato (politungstos , isopoliácidos)
- Tungstos orgánicos y complejos orgánicos
- 5.4 Materiales funcionales y compuestos basados en tungstato

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.5 Síntesis de precursores de óxido de tungsteno de alta valencia con la participación de ácido tungstico

Capítulo 6: Aplicación del ácido tungstico en la industria inorgánica

- 6.1 El papel del ácido tungstico en la cadena industrial de compuestos de tungsteno
- 6.2 Aplicación del ácido tungstico en materiales luminiscentes
- 6.3 Ácido tungstico utilizado en materias primas cerámicas de alto rendimiento
- 6.4 El papel del ácido tungstico como precursor en materiales de recubrimiento resistentes al calor y a la corrosión

Capítulo 7: Aplicación del ácido tungstico en materiales funcionales y campos energéticos

- 7.1 Aplicación del ácido tungstico en materiales fotocatalíticos (degradación de contaminantes, etc.)
- 7.2 Avances en la investigación del ácido tungstico en materiales de almacenamiento de energía (supercondensadores, baterías)
- 7.3 Aplicación del ácido tungstico en materiales de control electrocrómico y óptico
- 7.4 Desarrollo de ácido nanotungstico en sensores y materiales autolimpiables

Capítulo 8: Aplicación del ácido tungstico en química analítica y reactivos

- 8.1 Ácido tungstico como agente colorimétrico y reactivo de titulación
- 8.2 Coordinación del ácido tungstico en el análisis espectral
- 8.3 Función del ácido tungstico en la detección y separación de metales pesados
- 8.4 Requisitos de calidad del ácido tungstico en productos químicos analíticos de alta pureza

Capítulo 9: Exploración de las aplicaciones médicas y biológicas del ácido tungstico

- 9.1 Estudio preliminar sobre el efecto del ácido tungstico en el metabolismo celular
- 9.2 Potencial del ácido tungstico en la biocatálisis y el mimetismo enzimático
- 9.3 Aplicación exploratoria del ácido tungstico en materiales antibacterianos y antivirales
- 9.4 Estado actual de la investigación sobre la toxicidad ambiental y la biocompatibilidad del ácido tungstico

Capítulo 10: Seguridad y gestión ambiental del ácido tungstico

- 10.1 MSDS y evaluación del nivel de seguridad del ácido tungstico
- 10.2 Especificaciones de almacenamiento, transporte y tratamiento de emergencia en caso de fugas
- 10.3 Exposición ocupacional y prevención y control del ácido tungstico en el proceso de producción
- 10.4 Tratamiento y utilización de recursos de residuos líquidos de ácido tungstico y subproductos

Capítulo 11: Análisis del mercado y estado de la industria del ácido tungstico

- 11.1 Análisis de la capacidad de producción y la estructura del consumo de ácido de tungsteno a nivel mundial
- 11.2 Panorama general del desarrollo de la industria del ácido de tungsteno y la situación de las exportaciones de China
- 11.3 Descripción general de las principales empresas y proveedores (destacando la posición del

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

Grupo CTIA)

11.4 Demanda del mercado descendente: electrónica, recubrimientos, cerámica, protección del medio ambiente

11.5 Lógica de precios y análisis de la estructura de costos de los productos de ácido de tungsteno

Capítulo 12: Temas de actualidad y tecnologías de vanguardia en la investigación del ácido túngstico

12.1 Desafíos y oportunidades en la preparación de ácido túngstico ultrafino/nano

12.2 Investigación y desarrollo de materiales de respuesta inteligente basados en ácido túngstico

12.3 Estrategia para la construcción de sistemas compuestos funcionales de ácido túngstico

12.4 Tendencia de la demanda de nuevas tecnologías energéticas para materiales de ácido túngstico

12.5 Aplicación de la fabricación inteligente y la automatización en productos de ácido túngstico

Apéndice

Apéndice 1: Términos y símbolos comunes para el ácido túngstico

Apéndice 2: Tabla comparativa de normas internacionales y nacionales relacionadas con el ácido túngstico

Apéndice 3: Índice de literatura principal y base de datos de investigación sobre ácido de tungsteno

Apéndice 4: Catálogo de productos de ácido de tungsteno del Grupo CTIA e introducción al servicio técnico



Prefacio

Antecedentes y significado de la escritura

El ácido túngstico (fórmula química: H_2WO_4) es uno de los ácidos inorgánicos más básicos y estructuralmente diversos del sistema químico del tungsteno. Desde su separación inicial en el siglo XIX, se ha convertido gradualmente en un intermediario fundamental en la ciencia moderna de los materiales de tungsteno, la química sintética inorgánica y la tecnología de materiales funcionales. No solo es un precursor importante de diversos compuestos de tungsteno (como tungstatos, metatungstatos, tungstatos y óxidos de tungsteno), sino también una clase de materiales funcionales con potencial aplicación.

En áreas estratégicas clave como la transformación energética, el desarrollo de nuevos materiales y la química verde, el ácido túngstico y sus derivados han mostrado amplias perspectivas de aplicación. Por ejemplo, en aplicaciones emergentes como la degradación fotocatalítica, el tratamiento de aguas, los supercondensadores y los dispositivos electrocrómicos, el ácido túngstico ha atraído gran atención debido a su excelente capacidad redox, su estructura cristalina multinivel y sus características de migración iónica. Además, el ácido túngstico también ocupa un lugar insustituible en industrias tradicionales como la preparación de sales inorgánicas, la extracción de tungsteno metálico, la síntesis cerámica a alta temperatura y los reactivos para análisis químico.

Con el continuo avance de la "localización de materiales metálicos de alto rendimiento" global, la "metalurgia verde" y la "transformación de materiales impulsada por nuevas energías", el ácido túngstico, como un nodo clave que conecta los recursos de tungsteno y los materiales funcionales de alta gama, su desempeño integral, tecnología de preparación, camino de aplicación, impacto ambiental y potencial de mercado necesitan urgentemente ser ordenados sistemáticamente y estudiados en profundidad.

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

En este contexto, la compilación de la "Enciclopedia del ácido de tungsteno" no solo pretende resumir los resultados de la investigación actual y las prácticas industriales en el campo del ácido de tungsteno en el país y en el extranjero, sino también proporcionar a las instituciones de investigación científica, al personal técnico y de ingeniería, a las empresas de usuarios de alto nivel y a los departamentos de toma de decisiones políticas un marco de conocimiento autorizado, sistemático y operativo y una base técnica.

El valor estratégico del ácido túngstico

La importancia del ácido túngstico se puede entender desde las siguientes cuatro dimensiones:

1. **Papel de puente de recursos estratégicos**

El ácido túngstico es la forma de transición entre APT (paratungstato de amonio) al metal tungsteno y al óxido de tungsteno, y ocupa una posición clave en la cadena de la industria del tungsteno.

2. **Características de la plataforma de I+D de materiales.**

El ácido de tungsteno posee capacidades de ingeniería de materiales, como la regulación de la forma cristalina, el dopaje de iones metálicos y la construcción de estructuras porosas. Es una molécula de plataforma importante para la preparación de nanomateriales de tungsteno, estructuras de coordinación multiácidas y materiales catalíticos compuestos.

3. **La fabricación ecológica y las aplicaciones funcionales son compatibles con**

su solubilidad en agua y su precipitación controlable, lo que lo hace adecuado para la preparación de materiales verdes húmedos y cumple con los requisitos de ahorro de energía y reducción de emisiones. Asimismo, el ácido túngstico y sus sales poseen conductividad multifuncional, fotocátalisis, estabilidad térmica y otras propiedades, y poseen valor tanto para la investigación científica como para las aplicaciones.

4. **La unidad básica para construir un discurso de influencia internacional.**

Actualmente , el control de las exportaciones de recursos de tungsteno se está fortaleciendo gradualmente. El ácido de tungsteno y sus derivados se han convertido en una importante forma de exportación de los recursos metálicos estratégicos de China. El nivel de estandarización e industrialización relevante afecta directamente el discurso de influencia de China en la cadena de suministro internacional de materiales de alta gama.

Cómo está estructurado este libro

Este libro parte de lo básico y profundiza gradualmente, adoptando un enfoque que prioriza tanto la teoría como la práctica, combinando la industria con la vanguardia. Se divide en doce capítulos y cuatro apéndices:

- **Capítulos 1-2** : Descripción general de los conceptos básicos, historial de desarrollo y propiedades físicas y químicas del ácido túngstico, proporcionando apoyo teórico para los capítulos posteriores;
- **Capítulos 3-4** : Descripción detallada de varios métodos de preparación y técnicas de caracterización convencionales, incluidas las referencias de procesos patentados de China Tungsten Intelligence;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Capítulos 5-6** : Introducción de derivados comunes del ácido túngstico y su aplicación en la industria inorgánica;
- **Capítulos 7 a 9** : Se centran en los últimos avances en ácido túngstico en los campos de materiales energéticos, química analítica, recubrimientos funcionales y aplicaciones biológicas;
- **Capítulo 10** : Enfoque en las especificaciones de seguridad, almacenamiento y transporte y gestión ambiental del ácido túngstico a lo largo de su ciclo de vida;
- **Capítulos 11-12** : Proporciona un análisis panorámico de la cadena industrial, el mercado, las políticas y las tendencias de desarrollo, lo que favorece el juicio de inversión y la investigación estratégica;
- **Apéndice** : Proporciona un glosario, una comparación de estándares, un índice de literatura e información del servicio tecnológico CTIA GROUP para mejorar la referencia de los lectores y la eficiencia de la aplicación.

Este libro abarca la teoría básica, la tecnología de ingeniería, las normas y especificaciones, las tendencias del mercado y la fabricación ecológica. Puede utilizarse como base de datos para investigadores científicos, manual de instrucciones para ingenieros, material didáctico para profesores y estudiantes universitarios, y como referencia para la toma de decisiones en el gobierno y la industria.

Público objetivo y uso

Este libro es adecuado para los siguientes grupos:

- **Investigadores e ingenieros de materiales** : comprender sistemáticamente las propiedades físicas y químicas y las trayectorias experimentales del ácido túngstico para ayudar al diseño de la investigación científica y la optimización de los materiales;
- **Profesionales en procesamiento de polvos y metalurgia** : obtienen experiencia práctica en la preparación y aplicación para respaldar la producción estable de polvo de ácido túngstico de alta calidad;
- **Gerentes de medio ambiente y seguridad** : comprender el comportamiento ambiental, el transporte seguro y las especificaciones de almacenamiento del ácido de tungsteno para garantizar una producción limpia y el cumplimiento de las regulaciones;
- **Profesores universitarios y estudiantes de posgrado** : se utiliza como referencia docente, redacción de tesis de graduación y literatura básica para la aplicación de proyectos;
- **Analistas de la industria y departamentos gubernamentales relevantes** : comprenden las tendencias de la cadena industrial del ácido túngstico, las tendencias políticas y las barreras técnicas, y ayudan a formular planes de desarrollo.

Se recomienda a los lectores seleccionar los capítulos que consultarán según sus propias necesidades; este libro proporciona indexación cruzada y navegación por apéndices para ayudar a los técnicos a localizar rápidamente contenido clave en proyectos reales.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tungstic Acid Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Tungstic Acid Overview

The tungstic acid (tungsten trioxide hydrate, $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) produced by CTIA GROUP LTD is a high-purity yellow crystalline powder, manufactured using advanced precipitation and calcination processes. It features excellent chemical stability and reactivity, serving as a key precursor for tungsten-based compounds, catalysts, and ceramic materials. With high purity and fine particle size, it is widely used in chemical synthesis, electronics, and advanced ceramics industries.

2. Tungstic Acid Features

- Chemical Formula: $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Molecular Weight: 249.85
- Appearance: Yellow crystalline powder
- Melting Point: Decomposes $>100^\circ\text{C}$
- Density: 5.5 g/cm^3
- Stability: Stable under dry conditions, decomposes in water to form tungstate ions, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in catalyst preparation (selectivity $>95\%$), tungsten oxide synthesis, ceramic pigments

3. Tungstic Acid Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Solubility	Impurities (ppm)
Reagent Grade	≥ 99.9	1–10	Slightly soluble	$\text{Fe} \leq 10$, $\text{Na} \leq 5$, $\text{Si} \leq 10$
Industrial Grade	≥ 99.5	1–10	Slightly soluble	SO_4^{2-} main, trace elements
Technical Grade	≥ 98.5	1–10	Slightly soluble	Minor oxide impurities allowed

4. Tungstic Acid Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and stability.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Crystal structure (XRD)
 - Solubility test (weight loss $<0.1\%$ in water)

5. Tungstic Acid Procurement Information

- Email: sales@chinatungsten.com
- Phone: +86 592 5129595
- Website: <http://tungstic-acid.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



Capítulo 1 Conceptos básicos y desarrollo histórico del ácido túngstico

El ácido túngstico (fórmula química H_2WO_4) es un ácido oxigenado compuesto de tungsteno en estado de valencia +6 con oxígeno e hidrógeno. Es uno de los intermediarios más importantes en la química basada en el tungsteno. No solo se utiliza ampliamente en la fundición de tungsteno y en los procesos de preparación de sales de tungsteno, sino que también presenta propiedades físicas y químicas únicas y un gran valor de aplicación en numerosos campos de vanguardia, como los materiales funcionales, la biocatálisis y la conversión fotoeléctrica.

1.1 Definición y clasificación del ácido túngstico

Definición básica

El ácido túngstico suele ser un sólido amarillo, amorfo o cristalino, que se precipita mediante la reacción de tungstatos (como el tungstato de sodio y el tungstato de amonio) con ácidos fuertes en condiciones neutras o ligeramente ácidas. La forma más común de su fórmula química es $H_2WO_4 \cdot xH_2O$. (es decir, ácido túngstico hidratado). Su composición real está estrechamente relacionada con las condiciones de reacción, por lo que presenta cierta diversidad estructural.

Clasificación

Según su estructura, estado de hidratación, reactividad y condiciones de preparación, el ácido túngstico se puede dividir en las siguientes categorías:

Base de clasificación	tipo	característica
Nivel de hidratación	Ácido túngstico anhidro (H_2WO_4) Ácido túngstico hidratado ($H_2WO_4 \cdot xH_2O$)	Los cuerpos anhidros son raros y el ácido túngstico hidratado es la forma principal de ácido túngstico en la industria.
Forma estructural	Ácido túngstico amorfo	El estado cristalino es ortorrómbico o monoclinico

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	Ácido túngstico cristalino	y el estado amorfo es un precipitado coloidal.
Método de síntesis	Ácido túngstico químico húmedo Pirólisis del ácido túngstico	El primero se utiliza para preparar metatungstato y el segundo se utiliza como materia prima para el metal tungsteno.
Capacidades derivadas	Ácido túngstico monomérico Ácido túngstico polimérico	Puede polimerizarse para formar estructuras complejas como metatungstato y politungstato.

El ácido túngstico suele ser un polvo de color amarillo brillante o verde amarillento, soluble en ácido fluorhídrico, amoníaco o solución alcalina, insoluble en agua fría y alcohol, y tiene una acidez débil y una alta estabilidad térmica.

1.2 El descubrimiento y la evolución de la denominación del ácido túngstico

El elemento tungsteno fue descubierto por primera vez por el químico sueco Carl Wilhelm Scheele en 1781. El mineral original (wolfsena) se trató con ácido clorhídrico para obtener un precipitado amarillo, conocido como "precipitado de tungstato", que fue el prototipo del ácido túngstico primitivo. En 1783, los hermanos españoles Juan y Fausto Elhuyar redujeron aún más la sustancia amarilla con carbono y produjeron tungsteno metálico por primera vez.

A principios del siglo XIX, el ácido túngstico se convirtió gradualmente en un importante representante en el estudio de los estados de oxidación de los metales y las reacciones ácido-base en los laboratorios europeos. Con el desarrollo de la química inorgánica, el ácido túngstico se clasificó sistemáticamente en el sistema de oxoácidos metálicos hexavalentes y gradualmente formó un sistema de nomenclatura relativamente estándar, con ácido molíbdico, ácido nióbico, etc.

El término "ácido túngstico" comenzó a concretarse y subdividirse en una variedad de especies con estructuras claras, incluyendo el ácido monotúngstico , el ácido metatúngstico (como $H_2W_{12}O_{40}$) , el ácido heteropolitúngstico ácido, etc.

En China, el estudio sistemático del ácido túngstico comenzó en la década de 1950, especialmente en zonas con recursos minerales de tungsteno concentrados, como Jiangxi, Hunan y Henan. La investigación sobre su proceso de preparación húmeda y el control de la cristalización ha impulsado el desarrollo de la química de las sales de tungsteno en China.

1.3 El estado del ácido túngstico en el sistema químico inorgánico

El ácido túngstico es uno de los compuestos más importantes del tungsteno en su alto estado de oxidación. Sus propiedades de acidez, coordinación y derivatización sientan las bases para su amplia aplicación en química inorgánica.

El estado funcional es el siguiente:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **de coordinación** : El W^{6+} en tungstato puede formar complejos multinucleares estables con ligandos como O, N y S, y es un centro importante para la síntesis de complejos multimetálicos;
- **Unidad de construcción** : El ácido túngstico se utiliza a menudo como esqueleto básico de estructuras de polianiones (como la estructura de Keggin) para construir isopoliácidos y politungsteno. óxidos;
- **Plantilla de reacción ácido-base** : debido a que tiene diferentes formas en diferentes valores de pH, es un modelo importante para estudiar reacciones como acidólisis-precipitación-complejación-recombinación;
- **Fundamentos de la ingeniería de cristales** : Puede formar una variedad de morfologías cristalinas a diferentes temperaturas y concentraciones de solución, y es un objeto típico del control de cristales y de la investigación de nanomateriales inorgánicos.

El ácido túngstico también es un material comparativo para estudiar otros ácidos de metales de transición (como el ácido crómico y el ácido molíbdico) y a menudo se utiliza como portador de control estructural para propiedades electrónicas, fotónicas y magnéticas.

1.4 Principales hitos históricos y técnicos de la investigación del ácido túngstico

En los últimos dos siglos, la investigación sobre el ácido túngstico ha pasado por tres etapas: desde la "extracción empírica" hasta el "análisis estructural" y luego a la "aplicación funcional":

escenario	tiempo	Características
Puesta en marcha	Finales del siglo XVIII – mediados del siglo XIX	Extracción y precipitación de tungstato en el laboratorio, falta de conocimiento estructural
Fase de análisis	Primera mitad del siglo XX	Comienza a utilizar difracción de rayos X, espectroscopia infrarroja y otros métodos para confirmar la estructura.
Etapas de expansión de funciones	década de 1970 hasta la actualidad	Centrado en la catálisis, la optoelectrónica, el almacenamiento de energía y los materiales funcionales compuestos.

Avances tecnológicos representativos:

- **1955:** Se sintetizó por primera vez **H_2WO_4 cristalino** en condiciones de síntesis hidrotermal y se estableció una curva de propiedades físicas estándar;
- **1983:** Se estableció la estructura de Keggin del politungstato , abriendo una nueva era de investigación sobre polioxometalatos;
- **2005 :** Se produjo un gran avance en la tecnología de preparación de ácido nanotúngstico, lo que impulsó su aplicación en fotocatálisis y supercondensadores;
- **En la última década :** CTIA GROUP y otras empresas nacionales han desarrollado productos de grado industrial de ácido túngstico ultrafino de alta pureza, logrando la transformación de las aplicaciones del producto desde el nivel de materia prima al nivel funcional.

Resumen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Este capítulo revisa la definición química, el historial de desarrollo, el estatus académico y la evolución de la investigación del ácido tungstico, proporcionando un claro contexto histórico y un marco químico para su preparación, caracterización, construcción de derivados y aplicaciones en los capítulos posteriores. El ácido tungstico no solo es una especie inorgánica básica, sino también el núcleo central que conecta recursos, teorías y aplicaciones funcionales en el sistema científico de materiales del tungsteno.

Tungstic Acid Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Tungstic Acid Overview

The tungstic acid (tungsten trioxide hydrate, $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) produced by CTIA GROUP LTD is a high-purity yellow crystalline powder, manufactured using advanced precipitation and calcination processes. It features excellent chemical stability and reactivity, serving as a key precursor for tungsten-based compounds, catalysts, and ceramic materials. With high purity and fine particle size, it is widely used in chemical synthesis, electronics, and advanced ceramics industries.

2. Tungstic Acid Features

- Chemical Formula: $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Molecular Weight: 249.85
- Appearance: Yellow crystalline powder
- Melting Point: Decomposes $>100^\circ\text{C}$
- Density: 5.5 g/cm^3
- Stability: Stable under dry conditions, decomposes in water to form tungstate ions, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in catalyst preparation (selectivity $>95\%$), tungsten oxide synthesis, ceramic pigments

3. Tungstic Acid Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Solubility	Impurities (ppm)
Reagent Grade	≥ 99.9	1–10	Slightly soluble	$\text{Fe} \leq 10$, $\text{Na} \leq 5$, $\text{Si} \leq 10$
Industrial Grade	≥ 99.5	1–10	Slightly soluble	SO_4^{2-} main, trace elements
Technical Grade	≥ 98.5	1–10	Slightly soluble	Minor oxide impurities allowed

4. Tungstic Acid Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and stability.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Crystal structure (XRD)
 - Solubility test (weight loss $<0.1\%$ in water)

5. Tungstic Acid Procurement Information

- Email: sales@chinatungsten.com
- Phone: +86 592 5129595
- Website: <http://tungstic-acid.com>

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Capítulo 2 Propiedades físicas y químicas del ácido túngstico

El ácido túngstico (H_2WO_4) es un compuesto hexavalente típico de tungsteno. Su apariencia física, estructura cristalina, características de reacción química y rendimiento en múltiples campos físicos determinan sus límites de aplicación en la industria química, la ciencia de los materiales y la tecnología de aplicaciones. Este capítulo analizará sistemáticamente las propiedades intrínsecas del ácido túngstico, desde su estructura molecular hasta sus propiedades funcionales, sentando las bases para su posterior preparación, derivatización y aplicación funcional.

2.1 Análisis de la estructura molecular y la estructura cristalina

Composición molecular

La fórmula química del ácido túngstico suele ser H_2WO_4 , pero a menudo se presenta en forma hidratada en agua, como $\text{H}_2\text{WO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ (x suele ser 1-2). El átomo de tungsteno se encuentra en un estado de oxidación +6, y la coordinación circundante forma una unidad octaédrica $[\text{WO}_6]$, que forma la estructura molecular del ácido inorgánico.

Estructura cristalina

El ácido túngstico puede presentar diferentes formas cristalinas, y su estructura se ve muy afectada por las condiciones de síntesis. Los tipos de cristales más comunes son los siguientes:

- **Monoclínico** : La forma cristalina más común, la celda unitaria contiene cadenas de octaedros $[\text{WO}_6]$ conectados por puentes de oxígeno para formar una estructura bidimensional;
- **Sistema ortorrómbico** : común en condiciones de precipitación rápida o cristalización a baja temperatura;
- **Triclínico o amorfo** : se forma en sistemas de precipitación desordenada o de enfriamiento rápido, y a menudo aparece como un polvo coloidal o suelto.

Los métodos de análisis de cristales suelen utilizar:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Difracción de rayos X en polvo (DRX): se utiliza para determinar la forma cristalina y la constante reticular;
- Microscopio electrónico de barrido (MEB): observar la morfología de la superficie y el estado de agregación de los cristales;
- Difracción de retrodispersión de electrones (EBSD): estudia la disposición y orientación preferida de los granos en microáreas.

2.2 Estabilidad térmica y comportamiento de descomposición

Como ácido de óxido metálico de alta valencia, el ácido túngstico presenta una excelente estabilidad térmica. En aire o atmósfera inerte, su comportamiento de descomposición térmica es el siguiente:

- **<100° C** : Pérdida de agua adsorbida físicamente;
- **100–300 °C** : El ácido túngstico hidratado pierde gradualmente agua y se convierte en H_2WO_4 o $\text{WO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ anhidro ;
- **300–450° C** : El agua cristalina comienza a eliminarse, la estructura se contrae y se forma WO_3 ;
- **>600 °C** : se convierte de forma estable en trióxido de tungsteno amarillo (WO_3) , que es el precursor para la mayoría de las aplicaciones posteriores.

Técnicas de análisis térmico comúnmente utilizadas:

- Análisis termogravimétrico (TGA): monitorea los cambios de masa;
- Calorimetría diferencial de barrido (DSC): Determinar el punto de cambio de fase y el comportamiento endotérmico y exotérmico;
- Combinación de FTIR y Raman: Determinar el proceso de transformación del enlace hidroxilo y W–O.

Conclusión: El ácido túngstico puede existir de forma estable a temperatura ambiente y presenta una clara vía de descomposición térmica. Es un precursor de alta calidad, adecuado para la preparación de óxidos funcionales tras el tratamiento térmico.

2.3 Características de acidez, alcalinidad y solubilidad

Acidez y alcalinidad

- El ácido túngstico es débilmente ácido en agua y tiene un bajo grado de ionización;
- iones de tungstato (WO_4^{2-} , $\text{W}_{12}\text{O}_{42}^{10-}$, etc.) en presencia de una base fuerte;
- Precipita como tungstato coloidal a $\text{pH} < 1$ y existe como tungstato polimerizado en el rango de pH de 2 a 6.

Su comportamiento ácido-base muestra una tendencia anfótera, y las diferencias de comportamiento a diferentes valores de pH son las siguientes:

rango de pH	Existencia	Comportamiento químico
<1	Precipitación coloidal	Coprecipitación con iones metálicos
2–6	Metatungstato	Formación de polímeros
>8	Iones WO_4^{2-}	Soluble en álcali

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El ácido túngstico se utiliza a menudo para ajustar la forma del tungsteno en solución y es representativo en la síntesis de poliácidos y en los sistemas tampón ácido-base.

Solubilidad

- **Insoluble en agua fría y etanol**, ligeramente soluble en agua caliente;
- **solución alcalina**: como agua amoniacal, NaOH, etc., para generar tungstato estable;
- **Disuelto en ácido fluorhídrico (HF)**: forma un complejo volátil de tungsteno-flúor;
- Es un precipitado amarillo poco soluble en solución ácida.

Sus características de solubilidad tienen un significado importante para la hidrometalurgia, la regeneración y recuperación, y la preparación de soluciones precursoras.

2.4 Propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas

El ácido túngstico exhibe varias propiedades funcionales optoelectrónicas importantes bajo estructuras y tamaños de partículas específicos, que son la base teórica para su aplicación en los campos de fotocatalisis, electrocromismo, sensores y materiales optoelectrónicos.

Rendimiento óptico

- El ácido túngstico es amarillo debido a $W^{6+} \rightarrow$ Transferencia de carga de O^{2-} ;
- La banda prohibida óptica es generalmente de 2,6 a 2,8 eV, lo que corresponde a un semiconductor de banda prohibida amplia;
- El ácido nanotúngstico o ácido túngstico dopado tiene un intervalo de banda ajustable, lo cual es adecuado para la catálisis de absorción de luz visible;
- Bajo luz ultravioleta, puede participar en las transiciones electrónicas y generar pares electrón-hueco libres.

Propiedades eléctricas

- El ácido túngstico a granel es un aislante, pero después de ser dopado (como Cu, Ag) o formar una estructura no estequiométrica, puede tener una cierta conductividad;
- Las películas de tungstato poroso muestran fenómenos electrocromáticos y son adecuadas para ventanas y pantallas inteligentes.

Propiedades magnéticas

- El ácido túngstico puro no es magnético;
- Después de ser dopado con elementos de metales de transición (como Fe y Co), puede exhibir una respuesta magnética débil y es adecuado para nanoportadores con respuesta magnética.

2.5 Estudio de isómeros y polimorfos del ácido túngstico

El ácido túngstico puede formar diversos isómeros y polímeros estructurales en diferentes condiciones. Estas formas difieren significativamente en cuanto a estabilidad física, actividad catalítica y propiedades de adsorción.

Tipos heterogéneos comunes

- **Monómero H_2WO_4** : estructura simple y alta actividad;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **PoliH₆W₁₂O₄₀** : Barril - **tipo polianión** , utilizado en catálisis ;
- **Tungstos de heteropoliácidos** : como el ácido fosfotúngstico , el ácido silicotúngstico , etc., tienen capacidad de oxidación selectiva.

Comportamiento polimórfico

- Los polimorfos se pueden formar a diferentes temperaturas, como α -H₂WO₄ y β -H₂WO₄ ;
- Los cambios en el estado de hidratación afectan el espaciamiento de los cristales y la temperatura de descomposición térmica;
- Se pueden inducir estructuras lamelares y de otro tipo en sistemas hidrotermales y heterogéneos.

La regulación de la forma cristalina es una de las tecnologías fundamentales para el desarrollo funcional del ácido túngstico, que tiene un impacto significativo en su actividad catalítica posterior, su reactividad interfacial y sus propiedades de formación de películas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tungstic Acid Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Tungstic Acid Overview

The tungstic acid (tungsten trioxide hydrate, $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) produced by CTIA GROUP LTD is a high-purity yellow crystalline powder, manufactured using advanced precipitation and calcination processes. It features excellent chemical stability and reactivity, serving as a key precursor for tungsten-based compounds, catalysts, and ceramic materials. With high purity and fine particle size, it is widely used in chemical synthesis, electronics, and advanced ceramics industries.

2. Tungstic Acid Features

- Chemical Formula: $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Molecular Weight: 249.85
- Appearance: Yellow crystalline powder
- Melting Point: Decomposes $>100^\circ\text{C}$
- Density: 5.5 g/cm^3
- Stability: Stable under dry conditions, decomposes in water to form tungstate ions, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in catalyst preparation (selectivity $>95\%$), tungsten oxide synthesis, ceramic pigments

3. Tungstic Acid Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Solubility	Impurities (ppm)
Reagent Grade	≥ 99.9	1–10	Slightly soluble	$\text{Fe} \leq 10$, $\text{Na} \leq 5$, $\text{Si} \leq 10$
Industrial Grade	≥ 99.5	1–10	Slightly soluble	SO_4^{2-} main, trace elements
Technical Grade	≥ 98.5	1–10	Slightly soluble	Minor oxide impurities allowed

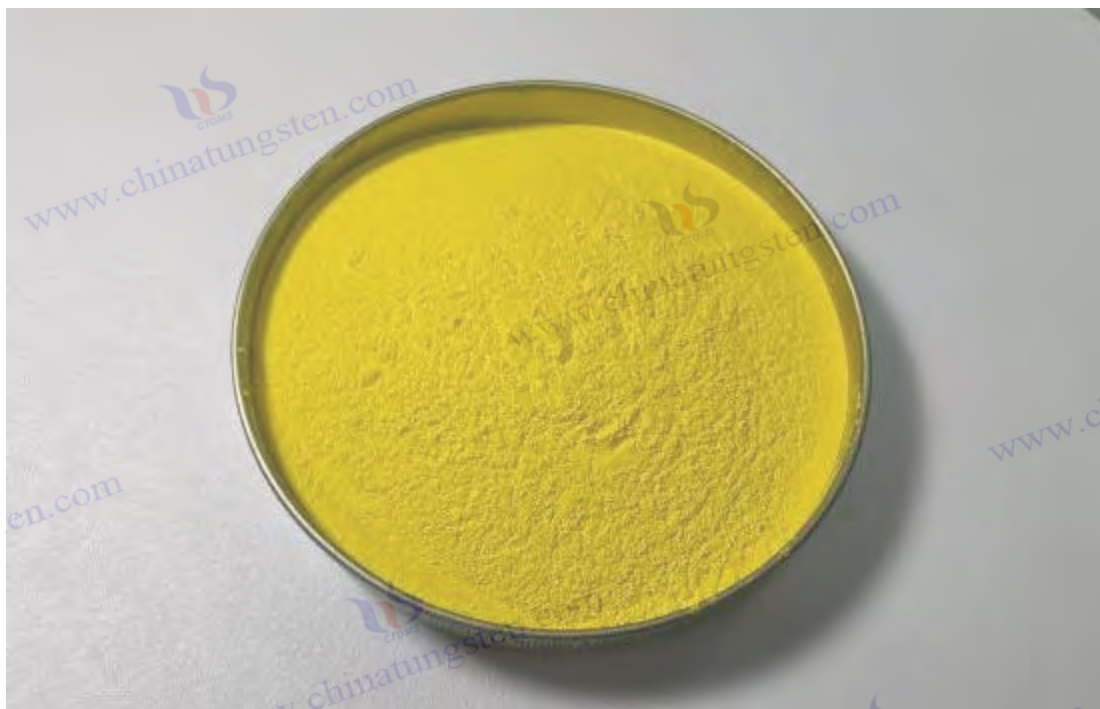
4. Tungstic Acid Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and stability.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Crystal structure (XRD)
 - Solubility test (weight loss $<0.1\%$ in water)

5. Tungstic Acid Procurement Information

- Email: sales@chinatungsten.com
- Phone: +86 592 5129595
- Website: <http://tungstic-acid.com>

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Capítulo 3 Preparación del ácido tungstico

3.1 Preparación de ácido tungstico a partir de APT

APT (amonio El paratungstato es uno de los intermediarios más importantes en la cadena industrial del tungsteno y la materia prima más utilizada para la preparación industrial de ácido tungstico. Los iones de metatungstato contenidos en el APT pueden convertirse completamente en ácido tungstico en condiciones ácidas adecuadas. Por lo tanto, esta ruta se utiliza ampliamente en laboratorios, industrias y en la preparación de precursores para productos de tungsteno de alta pureza.

1. Principio del proceso

La fórmula química del APT suele ser $(\text{NH}_4)_{10} [\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{42}] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, que es una sal de tungstato de amonio altamente polimerizada. Bajo la acción de ácidos diluidos (como el ácido nítrico y el ácido clorhídrico), el APT libera gradualmente iones NH_4^+ y se disocia del polímero para generar un precipitado de tungstato. La reacción básica es la siguiente:



- Esta reacción pertenece a la reacción de precipitación por intercambio iónico;
- El proceso está acompañado por la formación de precipitación de tungstato, la construcción de la estructura de hidratación y el crecimiento de cristales.

2. Principales requisitos de materias primas y equipos

Requisitos de materia prima:

- **Polvo APT**, pureza $\geq 99,95\%$, utilizado después del secado;
- **Solución ácida**, generalmente ácido nítrico diluido o ácido clorhídrico diluido

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(concentración 1–3 mol/L);

- **Agua desionizada**, controla el contenido de impurezas de iones metálicos por debajo de 0,5 ppm.

Configuración del equipo principal:

Nombre del dispositivo	efecto
Reactor agitado de acero inoxidable (revestimiento resistente al ácido)	Conseguir una mezcla y reacción uniforme entre APT y ácido.
Sistema de control de baño o camisa de agua a temperatura constante	Control de la temperatura de reacción
Filtro de vacío o equipo de filtración	Separación del ácido tungstico precipitado y el licor madre
Horno de secado (soplador de aire/aspirador)	Polvo de tungstato terminado en seco

Si se desea preparar ácido tungstico de alta pureza, también se requiere un sistema de purificación de aire, un sistema de protección de argón y una unidad de limpieza neutra.

3. Descripción general del proceso

El proceso típico de APT a tungstato es el siguiente:

1. Preparación del ácido : diluir

HNO₃ o HCl a la concentración requerida y preenfriar o calentar a la temperatura establecida (generalmente 25–50 °C).

2. Adición de APT y reacción de agitación.

Añada lentamente APT a la solución ácida, controlando la velocidad de agitación (300-500 rpm). La reacción dura entre 30 y 90 minutos. Durante este período, mantenga la temperatura constante y evite la aglomeración.

3. Formación de precipitación y envejecimiento

Después de que se forme el precipitado inicial de ácido tungstico, continúe revolviendo y deje reposar durante 1 a 3 horas para promover la maduración de los cristales y la reacción de desaminación.

4. La separación sólido-líquido

utiliza filtración al vacío o filtración a presión para separar el precipitado de ácido tungstico y el licor madre, y el líquido residual se puede reciclar para la preparación de ácido.

5. Lavado y secado

Lavar el precipitado 3–5 veces con agua desionizada (para evitar impurezas residuales) y luego secarlo a 80–100°C con soplado de aire o al vacío.

6. Empaquetado y análisis del producto terminado

El polvo de ácido tungstico se sella y se almacena, y se llevan a cabo pruebas de calidad como contenido de humedad, pureza, distribución del tamaño de partícula y XRD.

4. Control de parámetros clave del proceso

parámetro	Valor recomendado	Propósito del control
-----------	-------------------	-----------------------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

punto final de pH	1,5–2,0	Asegura la precipitación completa del ácido tungstico sin formar heteropoliácidos.
temperatura	30–50 °C	Equilibrio entre la velocidad de disolución y la calidad del cristal
Tiempo de reacción	≥ 60 minutos	Asegúrese de que APT esté completamente descompuesto y haya reaccionado por completo.
Tasa de filtración	< 5 minutos/100 ml	Evita que el sol de tungstato bloquee el filtro y mejora la eficiencia operativa
Conductividad del líquido de lavado	< 20 µS /cm	Controlar los iones de impurezas residuales (Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺)

Nota: Si necesita preparar polvo de tungstato esférico de tamaño micrométrico, puede agregar surfactantes (como PEG-400) durante la etapa de cristalización para ayudar a regular la morfología de las partículas.

5. Propiedades típicas del producto

Los productos de ácido tungstico obtenidos generalmente tienen los siguientes indicadores físicos y químicos:

naturaleza	Rango de parámetros
Apariencia	Polvo amarillo o amarillo claro
Contenido de tungsteno (medido en WO ₃)	≥90%
Contenido de oxígeno	≥15,5% (valor teórico)
Tamaño de partícula D50	2–10 µm
Forma cristalina	H ₂ WO ₄ monoclinico u ortorrómbico
Impurezas totales	≤300 ppm (grado industrial) ≤100 ppm (grado electrónico)

6. Análisis de ventajas y desventajas

proyecto	ventaja	insuficiente
Estabilidad del proceso	La ruta es madura y repetible.	Cinética de reacción lenta
Fuente de materias primas	APT está generalmente disponible	Afectado por el precio de las materias primas de tungsteno
Control de producto	Fácil obtención de H ₂ WO ₄ de alta pureza	Es necesario optimizar el control de la forma del cristal y del tamaño de las partículas.
Protección ambiental	Condiciones de reacción suaves, sin contaminación por metales pesados.	Las aguas residuales que contienen nitrógeno en las aguas madres deben tratarse

VII. Casos de aplicación y prácticas industriales (CTIA) GRUPO)

CTIA GROUP ha acumulado mucha experiencia en prácticas industriales en la ruta de APT a ácido tungstico y ha construido tres tipos de plataformas de proceso de producción de ácido tungstico: nivel de lote, nivel de prueba y nivel de alta pureza:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Línea de producción de ácido tungstico por lotes industriales** : capacidad de producción anual ≥ 200 toneladas, utilizando reacción continua + filtración automática + sistema de detección en línea;
- **Laboratorio de preparación de ácido tungstico de grado electrónico** : equipado con un sistema libre de amoníaco, las impurezas del producto se controlan por debajo de 50 ppm;
- **Sistema personalizado** : Control dirigido del tamaño de partícula ($D50=1-5 \mu m$), área de superficie específica, rendimiento de dispersión, etc. según las necesidades posteriores.

Al mismo tiempo, la empresa proporciona MSDS de ácido tungstico que cumplen con REACH y certificación de origen para el mercado de exportación para cumplir con los requisitos de acceso al mercado internacional.

La ruta APT es una de las rutas de proceso más fiables y estandarizadas para la preparación de ácido tungstico. Ofrece las ventajas de una operación sencilla, una reacción suave y un producto estable. Es adecuada para experimentos de investigación científica, la producción de sales de tungsteno de alta pureza y el uso industrial a granel. Mediante la optimización y el control de parámetros clave como la concentración de ácido, la temperatura, el tiempo de reacción y la eficiencia de lavado, se pueden obtener de forma estable productos de ácido tungstico de alta pureza con tamaño de partícula controlable, lo que proporciona una base sólida para la derivatización posterior.

3.2 Extracción húmeda de ácido tungstico a partir de WO_3

Además de la ruta APT, el trióxido de tungsteno (WO_3), otro intermedio estable y fácilmente disponible, también puede convertirse en ácido tungstico mediante hidrólisis ácida húmeda. Este método es especialmente adecuado para el reciclaje de residuos en procesos metalúrgicos de tungsteno, la fabricación en circuito cerrado de sistemas de polvo de tungsteno reciclado y la preparación personalizada de ácido tungstico para sistemas sin APT. Es una de las rutas de proceso flexibles más utilizadas en laboratorios y en la producción de lotes pequeños.

1. Principio del proceso

El trióxido de tungsteno (WO_3) es difícil de disolver directamente en medios ácidos, pero bajo ciertas condiciones (calentamiento + complejación), puede reaccionar con un ácido fuerte o un agente complejante para generar iones de metatungstato y reprecipitarse en ácido tungstico durante la neutralización o el enfriamiento.

La vía básica de reacción es la siguiente:



Además, en medios especiales que contienen HF , NH_4^+ , ácido cítrico, etc., se pueden generar una variedad de iones complejos de tungstato, que se liberan en el tungstato precipitado después de ajustar el sistema de reacción.

2. Requisitos de materia prima y condiciones aplicables

materia prima	Requerir
---------------	----------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Trióxido de tungsteno (WO ₃)	Polvo, pureza ≥99,9%, tamaño de partícula <50 μm
solución ácida	HNO ₃ , HCl o H ₂ SO ₄ (concentración 1–2 mol/ L)
Agente auxiliar complejante (opcional)	NH ₄ Cl, ácido cítrico, ácido acético, etc., utilizados para ajustar la cinética de la reacción.
Otros aditivos	Tensioactivos o dispersantes (como Tween-20, PEG)

3. Proceso

1. Pretratamiento de WO₃: Secar

el polvo de WO₃ a 80 °C durante 2 horas para eliminar el agua adsorbida físicamente; si es material reciclado, debe lavarse con ácido para eliminar las impurezas.

2. Tratamiento de disolución ácida:

agregue una solución ácida precalentada a 60–90 °C en el reactor, agregue lentamente WO₃ y revuelva para reaccionar durante 30–60 minutos para formar una dispersión amarilla estable o un coloide de tungstato.

3. Ajuste el pH para inducir la precipitación.

Agregue lentamente amoníaco o una solución alcalina (como NaOH) al sistema hasta alcanzar un pH de aproximadamente 2-3 para promover la polimerización y precipitar el ácido túngstico.

4. Maduración y cristalización

: Dejar reposar la mezcla durante 1-2 horas o remover a baja velocidad para mejorar el crecimiento de los cristales y la migración de impurezas al licor madre.

5. Filtración y lavado: El precipitado se recogió

utilizando un dispositivo de filtración microporosa y se lavó repetidamente con agua tibia 3-4 veces hasta que la conductividad fue <20 μS /cm.

6. Secado y triturado

Después de secarlo a 80-100°C durante 12 horas, trítúrelo ligeramente para obtener el producto ácido túngstico de color amarillo.

4. Parámetros clave de control del proceso

parámetro	Alcance del control	ilustrar
Concentración de ácido	1–2 mol/L (HNO ₃ / HCl)	Evitar que el coloide WO ₃ se vuelva a disolver
temperatura	60–90 °C	Mejorar la tasa de reacción y la eficiencia de conversión
Tasa de ajuste del pH	≤0,5/min	Evite una alcalinización demasiado rápida que provoque aglomeración y precipitación.
Tiempo de reacción	30–60 minutos (+ envejecimiento 1–2 h)	Garantizar una reacción completa y una estructura cristalina estable.
Velocidad de agitación	200–400 rpm	La suspensión de polvo es suficiente pero se evita el vórtice.

V. Rendimiento y aplicabilidad del producto

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

Este proceso puede producir ácido túngstico con las siguientes características:

proyecto	Indicadores de desempeño
Apariencia	Polvo microcristalino de color amarillo claro-amarillo
Forma cristalina	Tungstato hidratado mayoritariamente monoclinico/ortorrómbico
Impurezas (Fe, Si, Al)	≤200 ppm (se puede controlar mediante decapado)
Tamaño de partícula	D50 ≈ 1–5 μm
Área de superficie específica	8–15 m ² /g (BET)

6. Comparación de las ventajas y desventajas del proceso

proyecto	Ventajas	insuficiente
Disponibilidad de materias primas	El WO ₃ se encuentra comúnmente en subproductos metalúrgicos.	Los materiales reciclados necesitan un tratamiento previo para eliminar las impurezas.
Equipos de proceso	No requiere equipo especial, adecuado para producción de lotes pequeños.	Difícil de controlar continuamente
Control de producto	El tamaño de partícula y la forma del cristal se pueden ajustar controlando el proceso de precipitación.	El control de impurezas es ligeramente más difícil que el método APT
Económico	Adecuado para la conversión de polvo de tungsteno de bajo costo.	El consumo de ácido y la carga del tratamiento de aguas residuales son elevados

El proceso húmedo para la preparación de ácido túngstico a partir de trióxido de tungsteno se ha convertido en un complemento importante del proceso APT gracias a su flexibilidad, adaptabilidad de recursos y facilidad de experimentación. Este proceso es especialmente adecuado para el uso de materiales reciclados, rutas de materias primas no APT y la preparación económica de precursores para la síntesis de materiales funcionales, lo que proporciona una solución fiable para la fabricación ecológica y un control preciso.

3.3 Tecnología de preparación de ácido nano-túngstico (sol-gel, hidrotermal, microemulsión, etc.)

Con el rápido desarrollo de la ciencia de los nanomateriales, el ácido túngstico tradicional, de tamaño micrométrico, ya no cumple con los requisitos de las aplicaciones funcionales para el control del tamaño de partícula, la superficie específica, la regulación morfológica y la actividad interfacial. El ácido túngstico nanométrico se ha convertido en un foco de investigación en tecnologías de vanguardia como las nuevas energías, la electrónica, la fotocatálisis y los biomateriales, gracias a su tamaño de partícula extremadamente pequeño, su alta dispersabilidad y su excelente rendimiento fotoelectrocatalítico.

Para preparar ácido nanotúngstico de alto rendimiento, los investigadores y la industria han desarrollado una variedad de rutas químicas húmedas, incluido el método sol-gel, el método

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

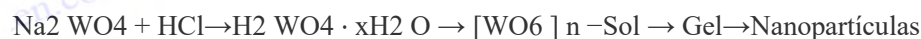
hidrotérmico, el método de microemulsión, el método de plantilla, el método de intercambio iónico, etc. Esta sección se centrará en tres procesos representativos y explorará su aplicabilidad y potencial de ampliación.

1. Método Sol-Gel

Principio del proceso

El método sol-gel consiste en formar un sol coloidal estable mediante la formación de un precursor de tungstato en una solución y, posteriormente, la formación de nanopartículas mediante envejecimiento, secado y tratamiento térmico. El ácido tungstico se utiliza a menudo como precursor para formar una estructura de red tridimensional.

La vía de reacción típica es:



Pasos del proceso

1. **Preparación del precursor** : disuelva el tungstato de sodio o el tungstato de amonio en agua desionizada y ajuste el pH a 1-2;
2. **Generación de sol** : Inducir la formación de coloide de tungstato añadiendo lentamente ácido diluido (como HCl);
3. **Envejecimiento y transformación del gel** : Se forma un gel estable dejándolo a temperatura ambiente durante varias horas o varios días;
4. **Secado** : Secado a baja temperatura (40–80 °C) para eliminar el agua libre;
5. **Tratamiento térmico y cristalización** : Se realiza un tratamiento térmico suave a 200–400 °C para obtener ácido nanotungstico cristalino o cuasi cristalino.

Características y aplicaciones

Características	describir
Control del tamaño de partículas	10–100 nm sintonizable
Área de superficie específica	Hasta 60–120 m ² /g
Control de defectos	Adecuado para la regulación de la vacancia de oxígeno y un rendimiento fotocatalítico mejorado.
límite	El proceso de secado es propenso a la contracción y es necesario optimizar la aglomeración de partículas.
Aplicaciones típicas	Fotocatalizadores, películas electrocrómicas, recubrimientos por deposición de películas delgadas, etc.

2. Método hidrotermal

Principio del proceso

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El método de síntesis hidrotermal utiliza la solubilidad y reactividad especiales del agua en condiciones de alta temperatura y alta presión para sintetizar polvo de nano-tungstato con buena cristalización y morfología controlable en un reactor cerrado.

El marco básico de reacción es el siguiente:



Proceso de operación

- Preparación de la solución** : Prepare una cierta concentración de solución de metatungstato de amonio y agregue una pequeña cantidad de ácido para ajustar el pH a 1-3;
- Adición de aditivos** : como polivinilpirrolidona (PVP), ácido cítrico y otros agentes directores de morfología;
- Reacción a alta presión** : colocar en un reactor revestido de teflón, establecer la temperatura a 120–200 °C y reaccionar durante 6–24 horas;
- Muestreo por enfriamiento** : después de enfriar a temperatura ambiente, filtrar, lavar con agua y secar;
- Post- tratamiento** : Calcinación leve o modificación de la superficie según sea necesario.

Características y aplicabilidad

parámetro	alcance
Tamaño de partícula	20–80 nm
Morfología	Varilla, lámina, bola ajustable
Forma cristalina	H ₂ WO ₄ ortogonal/monoclínico
Producir	>90% (grado de prueba industrial)

Excelente morfología controlable: temperatura ajustable, tiempo de reacción y aditivos para controlar finamente el crecimiento de los cristales;

Grado de cristalización: adecuado para materiales funcionales optoelectrónicos con altos requisitos;

Se puede ampliar moderadamente y es adecuado para plantas piloto.

3. Método de microemulsión

Principio del proceso

Control del confinamiento espacial de la nucleación y el crecimiento del tungstato mediante la construcción de una nanocavidad de reacción con una interfaz estable aceite-agua. Es adecuado para la preparación de nanopartículas de tungstato con tamaño de partícula ultrapequeño y alta dispersión. El medio de reacción utilizado generalmente es un sistema trifásico de agua/aceite/tensioactivo, por ejemplo:

- Fase oleosa: n-hexano, ciclohexano;
- Fase acuosa: solución acuosa de tungstato;
- Tensioactivos: CTAB, Span-80, Tween-60, etc.

En el sistema W/O (inverso), la generación de ácido túngstico se limita al interior de las gotas de la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

microemulsión, lográndose un control preciso del tamaño de partícula.

Pasos de síntesis

1. Preparar una fase acuosa de tungstato (como una solución de Na_2WO_4);
2. Construir un sistema de microemulsión inversa W/O;
3. la fase ácida (microemulsión de HCl) a otra gota de microemulsión;
4. Remueve uniformemente y deja actuar durante varias horas;
5. Las nanopartículas de ácido túngstico se obtuvieron mediante demulsificación, extracción y lavado;
6. Secar y extender si es necesario.

Ventajas y limitaciones

proyecto	ilustrar
ventaja	Tamaño de partícula uniforme (5–20 nm), alta dispersabilidad y control fino de la morfología.
defecto	Los residuos de surfactante son difíciles de eliminar por completo, no es fácil aumentar su escala y el costo es alto.
solicitud	Portador de catalizador ultrafino, intermedio de ácido túngstico de grado electrónico, pasta conductora transparente

4. Comparación de los mecanismos de control del tamaño de partícula y la morfología

Tecnología	Método de control del tamaño de partículas	Morfología cristalina	Aumento
Método Sol-Gel	Tasa de hidrólisis, pH, tiempo de envejecimiento.	Cúmulos esféricos/de gel	medio
Método hidrotermal	Temperatura, tiempo, tipo de aditivos.	Copos/Varilla/Esféricos	bien
método de microemulsión	Tamaño de partículas de microemulsión y estabilidad de la interfaz	Nanopartículas amorfas casi esféricas	Mayor dificultad

5. Dirección de funcionalización y tecnología de modificación

Para mejorar aún más el rendimiento de la aplicación del ácido nanotúngstico, generalmente se combinan las siguientes tecnologías de modificación:

- **Modificación de dopaje** : introducción de Cu, Ag, Zn, Fe y otros iones para mejorar la conductividad y la respuesta fotocatalítica;
- **Recubrimiento de superficie** : recubrimiento con SiO_2 , TiO_2 y polímero para lograr estabilidad de la interfaz y una mejor dispersión;
- **de heteroestructura** : Construir heterojunción fotocatalítica tipo Z con gC_3N_4 , MoS_2 , etc.
- **Integración de materiales compuestos** : formación de un esqueleto conductor con materiales de carbono, grafeno, etc., adecuado para electrodos de supercondensadores.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

VI. Caso típico de la industria: Desarrollo de ácido nanotúngstico por CTIA GROUP

CTIA GROUP ha desarrollado con éxito productos de ácido túngstico nano adecuados para fotocatalisis, recubrimientos autolimpiables, vidrio electrocrómico y otros campos mediante el establecimiento de una plataforma tres en uno de precursores de ácido túngstico de alta pureza + cristalización controlable + regulación de superficie:

- El tamaño de partícula se controló a 20–40 nm utilizando una ruta combinada de postratamiento hidrotermal;
- Desarrollar materiales híbridos de ácido túngstico/PVP para películas conductoras;
- Establecer un sistema de reacción hidrotermal continua para lograr un suministro estable de kilogramos;
- Los productos de ácido nanotúngstico se han exportado a institutos de investigación y universidades de Alemania, Japón, el Sudeste Asiático y otros lugares.

VII. Resumen

Las tecnologías de preparación del ácido nanotúngstico son diversas y sus mecanismos complejos. Sin embargo, mediante un control preciso de los parámetros del proceso, se puede lograr la optimización multidimensional del tamaño de partícula, la superficie específica, la forma cristalina y el rendimiento funcional. Los métodos sol-gel, hidrotérmico y de microemulsión presentan ventajas específicas y son adecuados para diferentes etapas de desarrollo, desde la investigación experimental hasta el desarrollo piloto. Con el rápido desarrollo de la fabricación baja en carbono y los polvos funcionales, el ácido nanotúngstico se convertirá en uno de los materiales funcionales esenciales insustituibles en el nuevo sistema de materiales.

3.4 Análisis del proceso de preparación estándar de ácido de tungsteno elaborado por CTIA GROUP

líder nacional en la producción de materiales químicos inorgánicos y funcionales en polvo a base de tungsteno, se ha centrado desde hace tiempo en la investigación y el desarrollo sistemáticos, así como en la producción a gran escala de ácido túngstico y sus derivados. Mediante la acumulación de tecnología y la práctica de ingeniería, la empresa ha establecido un conjunto completo de procesos de preparación estándar, estables, respetuosos con el medio ambiente y eficientes para el ácido túngstico, que abarcan APT, WO_3 , regeneración de intermedios de tungsteno y otras materias primas. Estos procesos se utilizan ampliamente en materiales ópticos, intermedios de sales de tungsteno, cerámicas funcionales, pastas electrónicas y otros campos.

Esta sección toma como ejemplo el sistema de proceso central de CTIA GROUP para explicar en detalle su proceso de preparación de estándares, nodos de control clave, sistema de gestión de calidad y resultados de prácticas industriales.

1. Descripción general del sistema de procesos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El sistema de producción de ácido de tungsteno de CTIA GROUP se puede dividir en tres tipos de rutas de preparación:

Ruta del proceso	Fuente de materias primas	Solicitud
Ruta A	hidrólisis ácida de APT	Ácido túngstico de alta pureza, materia prima de grado electrónico.
Ruta B	Método de conversión húmeda de WO ₃	Utilización de material reciclado, intermedios de tungstato
Ruta C	Método de síntesis de ácido nanotúngstico	Materiales de película fotocatalíticos, electrocrómicos y funcionales electrónicos

Las tres rutas se complementan y juntas constituyen un modelo de producción integrado “estándar + flexible + personalizado”, con amplia adaptabilidad y capacidades de entrega personalizadas.

2. Proceso estándar de la ruta de hidrólisis ácida APT

Aplicable a ácido túngstico de alta pureza y productos de ácido túngstico de uso general a granel.

Pasos principales del proceso:

1. **Pretratamiento de materia prima**
 - o Detección de APT, determinación de humedad;
 - o Detección de impurezas (Fe, Si, Mo, P);
2. **Reacción de hidrólisis ácida**
 - o Parámetros de reacción: concentración de HNO₃ 1,5 mol/L, temperatura controlada a 30–40°C;
 - o Tiempo de agitación continua: 60–90 min;
 - o Velocidad de agitación: 350–450 rpm;
3. **Sedimentación y envejecimiento**
 - o El pH del sistema se ajustó a 1,8-2,0;
 - o Tiempo de envejecimiento ≥ 2 horas para evitar que se arrastren impurezas;
 - o de cristalización : control dinámico de temperatura + aditivos de integración molecular (número de patente presentado);
4. **Filtración y lavado**
 - o Filtración multietapa;
 - o Lavar 3–5 veces, conductividad del punto final ≤15 μS /cm;
 - o El sistema de reutilización de agua se combina con la estación de regeneración de ácido del licor madre;
5. **Secado y triturado**
 - o Secado al vacío y con chorro de aire (80°C, 16 horas);
 - o Proceso de molienda con flujo de aire suave para garantizar la fluidez;
 - o del producto terminado se controla entre 3 y 6 μm y la esfericidad es >0,9;
6. **Embalaje y muestreo**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- o Embalaje de bolsa de PE altamente sellada + barril de acero inoxidable sellado con argón;
- o Se toman muestras aleatorias de tres botellas de cada lote para realizar pruebas del índice físico y químico.

3. Proceso estándar de la ruta de conversión de WO₃

Aplicable a la recuperación de polvo de tungsteno regenerado y preparación de intermedios industriales.

1. **Clasificación y cribado de polvo WO₃** ;
2. **Reacciones de disolución ácida** (HCl o HNO₃, T = 70–85 °C);
3. ** Ajustar el pH para precipitar el ácido tungstico (pH = 2-3);
4. **Tecnología de control de envejecimiento + cristalización cerrada (módulo original);
5. ** Filtración, limpieza y secado;
6. **Detecta el tamaño de partículas, el cloro residual, el contenido de tungsteno y la estabilidad del pH;

Nota: La empresa utiliza el sistema de recuperación de relaves de tungsteno para reciclar el polvo de escoria WO₃, con un volumen de conversión anual de hasta 120 toneladas, mejorando significativamente la utilización de los recursos y los beneficios ambientales.

4. Sistema de procesamiento de ácido nanotungstico

Aplicable a materiales funcionales de alta gama (como películas para ventanas inteligentes, cerámicas autolimpiables)

- Tecnología central: control sinérgico de surfactantes + hidrotérmico de baja temperatura + aditivos de regulación de cristales;
- Utilice aditivos multidimensionales para controlar la ruta de cristalización (PEG-400, PVP, etc.);
- Control del tamaño de partícula: D50 20–50 nm, área de superficie específica 80–110 m²/g;
- Forma cristalina: escamas regulares o partículas esféricas;
- Compatible con procesos posteriores de recubrimiento, composición y carga;
- Para cumplir con los requisitos de limpieza de los materiales optoelectrónicos se utiliza un dispositivo de reacción cerrado y libre de polvo.

5. Sistema de control de calidad

CTIA GROUP implementa un sistema de trazabilidad de calidad de proceso completo, estableciendo nodos clave de control de calidad desde el almacenamiento de materia prima hasta la entrega del producto terminado:

Elementos de prueba	Etapas del proceso	Frecuencia de detección	equipo
---------------------	--------------------	-------------------------	--------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Análisis de impurezas (ICP-MS)	Materias primas/productos intermedios	Cada lote	Agilent 7900
Distribución del tamaño de partículas	Producto terminado	Cada lote	Analizador de tamaño de partículas láser (Malvern)
Estructura cristalina	Muestreo diario	difracción de rayos X	Bruker D8
Contenido de humedad/agua de cristalización	Producto terminado	Cada lote	TGA-Q500
Fluidez y densidad aparente	Verificación de ingeniería	3 días/tiempo	Medidor de flujo Hall

El sistema de gestión de calidad cubre la norma ISO 9001:2015 y los productos cumplen con las directivas RoHS/REACH de la UE, y se ha establecido un sistema de etiquetado electrónico de datos de materiales (archivo e-MSDS).

VI. Capacidad de producción y apoyo al mercado

- **Escala de línea de producción** : 4 líneas de reacción + 2 líneas de secado/molienda por chorro/envasado;
- **Capacidad diseñada** : Producción anual de productos de ácido tungstíco: 500 toneladas (incluidos los tipos de alta pureza, funcionales y compuestos);
- **Capacidad de entrega** : pedido mínimo 1 kg, capacidad máxima de suministro mensual 40 toneladas, con capacidades de producción personalizadas por el cliente;
- **Situación de exportación** : Los productos se exportan a 15 países y regiones, incluidos Alemania, India, Japón, Malasia, Corea del Sur, etc.
- **Trazabilidad de los datos** : Cada lote de productos va acompañado de un informe de prueba independiente, número, número de certificación e información de trazabilidad de los ingredientes.

VII. Resumen de características y ventajas

Ventajas	Manifestaciones específicas
Control de la fuente de materia prima	Sistema propio de materia prima de soporte APT y WO ₃ para garantizar un suministro estable
Estandarización de procesos	Solidificación de parámetros completos + control inteligente de retroalimentación del instrumento
Adaptabilidad del cliente	Todo el proceso, incluido el tamaño de las partículas, la forma del cristal, el recubrimiento, la modificación de la superficie, etc., es ajustable.
Cumplimiento estricto	Poseemos MSDS, REACH, RoHS, ISO9001 y otros sistemas de certificación.
Cumplimiento ambiental	La reutilización de agua reciclada, la recuperación de ácidos residuales y el tratamiento de fuentes de nitrógeno logran un circuito cerrado ecológico.

8. Resumen

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

CTIA GROUP representa un sistema de procesos avanzado centrado en los datos técnicos, la consistencia del producto como objetivo y la diversidad de clientes como orientación. Mediante el desarrollo de una plataforma de fabricación de ácido de tungsteno de alta pureza, eficiente, flexible y respetuosa con el medio ambiente, la empresa no solo satisface la demanda de materiales de tungsteno funcionales en los mercados nacionales e internacionales de alta gama, sino que también proporciona un apoyo estable para la utilización de alto valor y el desarrollo sostenible de los recursos de tungsteno.



Capítulo 4: Tecnología de caracterización y métodos de detección del ácido tungstico

4.1 Análisis de la forma cristalina y del plano cristalino mediante difracción de rayos X

La difracción de rayos X (DRX) es una tecnología fundamental para analizar la estructura cristalina y la composición de fases de los materiales. En la investigación y la preparación industrial de materiales de ácido tungstico, la DRX no solo se utiliza para identificar su forma cristalina (como monoclinica, ortorrómbica, polimórfica, etc.), sino que también ayuda a analizar el comportamiento de transformación del ácido tungstico en diferentes condiciones, la dirección del crecimiento cristalino y el dopaje de impurezas.

Dado que la estructura del ácido tungstico está estrechamente relacionada con sus propiedades fisicoquímicas, el análisis de cristales se convierte en un paso clave para controlar la calidad del producto, guiar la regulación del proceso y optimizar el rendimiento de las aplicaciones posteriores.

1. Descripción general de los principios técnicos

El principio básico de la difracción de rayos X se basa en la Ley de Bragg:

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

en:

- n es el orden de difracción;
- λ es la longitud de onda del rayo X incidente (normalmente 1,5406 Å, Cu K α);

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

- ddd es el espaciado interplanar;
- θ \ theta θ es el ángulo de incidencia/ángulo de difracción.

Al irradiar rayos X sobre una muestra de cristal, diferentes planos cristalinos se reflejan en ángulos específicos para formar picos de difracción. Registrando la relación entre la intensidad y el ángulo, se puede construir un patrón de difracción para determinar el tipo y la orientación del cristal.

2. Formas cristalinas típicas y características de difracción de rayos X del ácido túngstico

El ácido túngstico puede formar las siguientes formas cristalinas principales bajo diferentes métodos de preparación y condiciones de tratamiento térmico:

Forma cristalina	Sistema cristalino	Condiciones comunes	Posición del pico característico de XRD (2 θ , Cu K α)
Ortorrómbico	α - H ₂ WO ₄	hidrólisis ácida APT precipitación a baja temperatura	18,3°, 23,4°, 28,6°, 34,1°
Monoclínico	β - H ₂ WO ₄	Producto secado por calor	22,8°, 24,2°, 29,7°, 36,3°
Amorfo	-	Precipitación/enfriamiento rápido	No hay un pico agudo obvio en el espectro XRD, solo una banda difusa ancha
Policristalino metaestable	Estructura no estándar	Camino de la nanosíntesis	Aparecen picos anchos y de baja intensidad que deben compararse con el espectro estándar.

Nota : La cantidad diferente de moléculas de agua en el hidrato de tungstato también provocará ligeros cambios en la estructura cristalina y un ligero desplazamiento en la posición del pico de XRD.

3. Método de preparación de la muestra

La alta calidad de los datos de XRD depende de una buena preparación de la muestra. La preparación de muestras de ácido túngstico requiere especial atención para evitar la transformación de los cristales y la aglomeración de la muestra.

Estos son los pasos:

1. **Secado :** Seque la muestra de ácido túngstico a 60–80 °C durante 6–12 horas para eliminar el agua libre;
2. **Molienda :** Moler ligeramente en un mortero de ágata para controlar el tamaño de partícula entre 1–5 μ m ;
3. **Extensión :** Tome aproximadamente 50 mg de polvo y presiónelo uniformemente en el tanque de carga de muestra. La superficie debe ser lo más lisa posible y sin agujeros.
4. **Ambiente controlado :** Si se analizan estructuras hidratadas, se recomienda medir rápidamente en condiciones de humedad controlada para evitar cambios estructurales;
5. **Otros requisitos :** Asegúrese de que la muestra no tenga contaminación magnética, conductora ni oxidación superficial.

4. Configuración de parámetros del dispositivo y estrategias de escaneo

parámetro	Valor recomendado	ilustrar
-----------	-------------------	----------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Fuente de rayos X	Cu K α ($\lambda = 1,5406$ Å)	Longitudes de onda comunes
Rango de escaneo	$2\theta = 5^{\circ}-80^{\circ}$	Cubriendo la cordillera principal
Longitud del paso	$0,02^{\circ}$	Equilibrio entre velocidad y resolución
Velocidad de escaneo	$1-2^{\circ}/\text{min}$	Mantener la forma del pico intacta
Voltaje/corriente de trabajo	40 kV / 30 mA	Modo de análisis estándar
modelo	escaneo $\theta-2\theta$	Mantenga la superficie de la muestra normal y la luz incidente fija.

Si está interesado en la orientación preferida del plano cristalino, puede utilizar además figuras polares o análisis de Rietveld para obtener información cuantitativa.

V. Análisis de resultados y casos típicos

Caso 1: Preparación de muestra de ácido túngstico mediante hidrólisis ácida APT

- Proceso de muestra: $\text{APT} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{WO}_4$ (precipitación a baja temperatura)
- El espectro de XRD muestra picos característicos a $18,3^{\circ}$, $23,4^{\circ}$ y $28,6^{\circ}$, correspondientes al H_2WO_4 ortorrómbico;
- La forma del pico es nítida, no hay picos de impurezas y la forma del cristal es pura, lo que indica que la reacción está completa y el crecimiento del cristal es suficiente;
- Se compara con la tarjeta JCPDS n.º 08-0450.

Caso 2: Preparación de muestra de ácido túngstico mediante conversión de WO_3

- Condiciones del proceso: hidrólisis ácida húmeda de WO_3 + envejecimiento y secado
- Hay tres picos a $22,8^{\circ}$, $24,2^{\circ}$ y $29,7^{\circ}$ en el espectro, que se deduce que son H_2WO_4 monoclinico;
- Acompañado de un pico débil de $22,1^{\circ}$, puede haber residuos de WO_3 convertidos de forma incompleta.

Caso 3: Muestra de ácido nanotúngstico

- Preparado por el método hidrotermal;
- La posición del pico se amplía significativamente y la intensidad del pico principal disminuye;
- Se calculó que el tamaño del grano (fórmula de Scherrer) era aproximadamente entre 15 y 25 nm;
- Conclusión: Se trata de nano- H_2WO_4 en estado cuasicristalino. La forma cristalina se conserva, pero el efecto del tamaño es evidente.

VI. Normas de aplicación industrial y evaluación de calidad

CTIA GROUP utiliza XRD como uno de los principales indicadores de control de calidad de los productos de ácido túngstico, principalmente para juzgar lo siguiente:

- **Pureza del cristal** : determinar si se trata de la forma cristalina objetivo (como ortorrómbica/monoclinica);
- **Consistencia del cristal** : comparar la posición del pico y la intensidad de diferentes lotes;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Cristalinidad relativa** : Analice la calidad cristalina del polvo mediante el área del pico principal;
- **Detección de impurezas** : detección de APT, WO_3 o contaminación de cristales no objetivo;
- **Estimación del tamaño de partículas** : los productos de ácido tungstico de tamaño nanométrico deben utilizar la fórmula de Scherrer para calcular el tamaño de partículas.

Según los estándares industriales, el requisito de pureza del cristal es $\geq 95\%$, el desplazamiento de la posición del pico es $\leq \pm 0,2^\circ$ y no hay una fase de cristal secundaria como requisito de producto calificado.

4.2 Estudios de espectroscopia FTIR y Raman

La espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y la espectroscopia Raman (Raman) son dos técnicas complementarias de espectroscopia vibracional molecular ampliamente utilizadas para analizar las características de los enlaces químicos, las formas de existencia de grupos funcionales, la simetría molecular y la estructura cristalina en materiales inorgánicos. En el caso del ácido tungstico (H_2WO_4) y sus derivados, estas dos técnicas espectrales no solo revelan sus enlaces W-O básicos, los dobles enlaces W=O y los modos de vibración de las unidades estructurales, sino que también permiten determinar su estado de hidratación, grado de polimerización y efecto dopante.

Esta sección combinará los espectros de muestra reales para explicar los métodos de operación, las características típicas y la importancia de ingeniería de FTIR y Raman en la investigación del ácido tungstico.

1. Principios básicos

Principio FTIR

La FTIR se basa en el fenómeno de absorción de luz infrarroja causado por la vibración molecular. Cuando los enlaces covalentes de la muestra experimentan vibraciones de estiramiento o flexión, si sus momentos dipolares cambian, pueden absorber luz infrarroja de una frecuencia específica, produciendo así un pico de absorción infrarroja.

Comúnmente utilizado para análisis:

- Tipos de enlace: W-O, O-H, H-O-H;
- Estructura de oxígeno terminal/oxígeno puente en iones de tungstato;
- Cambios en la estructura de hidratación.

Principio de Raman

La espectroscopia Raman se basa en el cambio de polarizabilidad causado por las moléculas durante el proceso de dispersión. Cuando la luz láser monocromática irradia moléculas, la mayor parte de la luz se dispersa elásticamente (dispersión de Rayleigh) y una pequeña parte se dispersa inelásticamente debido a la vibración molecular, lo que se conoce como dispersión Raman.

Se aplica a:

- Los iones inorgánicos con fuerte simetría (como $[\text{WO}_6]^{2-}$) vibran;
- Análisis de simetría cristalina y estados de tensión;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- cúmulos de oxígeno metálico (especialmente sistemas multinucleares como el politungstato).

La FTIR y la Raman ofrecen información complementaria. La FTIR es más sensible a los cambios dipolares, mientras que la Raman es más sensible al estiramiento simétrico y a la vibración del esqueleto.

2. Preparación de la muestra y condiciones de prueba

Preparación de muestras FTIR:

Forma	ilustrar
Método de las tabletas de KBr	Mezclar la muestra con polvo de KBr seco en una proporción de 1:100 y prensar hasta formar un gránulo; adecuado para la región del infrarrojo medio ($400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$)
Método directo ATR	Las muestras pequeñas entran en contacto directo con el cristal ATR, lo que resulta adecuado para un análisis rápido y la detección de superficies.
Estado de fase gaseosa/solución	Generalmente no es adecuado para el ácido tungstico debido a su alta estabilidad térmica y baja solubilidad.

Recomendaciones de prueba: Volumen de muestreo $> 1\text{ mg}$, secar la muestra para evitar interferencias con la absorción de CO_2 y H_2O .

Preparación de muestras Raman:

Forma	ilustrar
Método del polvo	Extiende la muestra seca directamente sobre el portaobjetos de vidrio y presiónala con una aguja.
Fuente láser	Láseres de 532 nm o 785 nm de uso común (para evitar la fluorescencia de la muestra)
fuerza	Controlado a $5\text{--}20\text{ mW}$ para evitar quemar las muestras o la fotodegradación
Tiempo de integración	$10\text{--}30\text{ s}$, rango de escaneo $100\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$

Nota: La alta potencia puede provocar fácilmente una deriva térmica y el hidrato de tungstato puede perder agua y desnaturalizarse fácilmente bajo una excitación de alta energía.

3. Características espectrales FTIR típicas del ácido tungstico

Sección de absorción principal (tomando como ejemplo la tableta de KBr):

Rango de número de onda (cm^{-1})	Respuesta a la vibración	Características
3400–3600	– Vibración de estiramiento OH	Enlace O–H en ácido tungstico hidratado; puede reflejar el grado de hidratación
1600–1650	Vibración de ángulo variable H–O–H	Enlace de hidrógeno entre moléculas hidratadas
890–970	Vibración de estiramiento de oxígeno terminal W=O	Absorción fuerte típica, la intensidad está relacionada con el número de W=O

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

700–850	Vibración de oxígeno del puente W-O-W	Está relacionado con la estructura del polímero y la forma cristalina. El desplazamiento de posición refleja el cambio de forma cristalina.
<600	Vibraciones de flexión y balanceo W-O	Esqueleto estructural, a menudo con múltiples picos superpuestos

Ejemplo de análisis de espectro:

- **Muestra: Aparecen picos fuertes de ácido tungstico preparado por hidrólisis ácida APT**
a 890, 735 y 610 cm^{-1} , que representan H_2WO_4 ortorrómbico típico ;
- **Muestra: Después del secado, la banda –OH del polvo de tungstato**
se debilita significativamente y la absorción de W=O mejora, lo que indica que la estructura de hidratación se reduce;
- **Muestra: La posición del pico W–O del tungstato dopado con Cu**
se desplaza hacia números de onda más bajos, lo que indica expansión estructural y ablandamiento de la red.

4. Características espectrales Raman típicas del ácido tungstico

El espectro Raman puede distinguir más claramente la estructura cristalina y el grado de polimerización, especialmente para sistemas de polianiones como el politungstato y el heteropoliácido .

Sección de características principales:

Rango de número de onda (cm^{-1})	Respuesta a la vibración	significado
850–1000	Vibración de tracción W=O	sea el oxígeno terminal en la estructura cristalina, más fuerte será el pico.
700–800	Vibración de oxígeno del puente W-O-W	La estructura del polímero y la disposición del plano cristalino tienen un impacto significativo
400–600	Curva W–O	Área de desempeño de la integridad del esqueleto cristalino
<300	Vibración reticular	Se utiliza principalmente para dopaje y detección de defectos en los cristales.

Comparación típica del espectro:

- **Ácido nanotungstico frente a nanopolvo de ácido microtungstico** La posición del pico se amplía, lo que indica que la distorsión reticular y el efecto de tamaño son significativos;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Metatungstato polimérico frente a monómero H_2WO_4** El primero muestra múltiples picos delgados a $700-800\text{ cm}^{-1}$, lo que representa una estructura de orden superior (como el tipo Keggin);
- **de las muestras de ácido tungstico con diferentes tratamientos térmicos,** Cuanto más nítido sea el pico $W=O$ en el espectro, indicará que se mejora el orden de los cristales.

5. Valor ingenieril del uso complementario de FTIR y Raman

Objetivo de la aplicación	Contribución de FTIR	Contribuciones de Raman
Determinar el nivel de hidratación	Aclarar los cambios en las regiones O–H y H–O–H	Insensible al agua; adecuado para polvo seco.
Identificación del tipo estructural	Identificar los tipos de enlaces $W=O$ y $W-O-W$	Aclarar el grado de polimerización y simetría.
Identificación de la forma cristalina	Capacidad limitada	Puede ayudar a identificar la tensión reticular y las transiciones de fase.
Detección de impurezas	Sensible a residuos orgánicos	Sensible a los óxidos metálicos dopados

Por ejemplo, en el proceso de producción de CTIA GROUP, se utiliza FTIR para determinar rápidamente si el ácido tungstico hidratado está seco al estándar requerido, mientras que Raman se utiliza para determinar si hay distorsión de la estructura cristalina o residuos de materia prima que reaccionaron de manera incompleta.

VI. Problemas y precauciones comunes

pregunta	Posibles causas	Acciones sugeridas
La cola del pico de absorción es grave (FTIR)	La muestra contiene mucha agua y el fondo es inestable.	Secar completamente con KBr seco.
Baja intensidad del pico Raman	La potencia del láser es demasiado pequeña o el enfoque es impreciso.	Verifique las condiciones de excitación y el estado del enfoque
Deriva de la posición máxima	Problema de deriva de temperatura o calibración del instrumento	Calibrar el instrumento y mantener un ambiente de temperatura constante.
FTIR no puede distinguir formas cristalinas	Simetría cristalina cercana a	Combinado con XRD o Raman para confirmar aún más

VII. Resumen

La espectroscopia FTIR y Raman son herramientas importantes para analizar la estructura molecular, el estado de los grupos funcionales, el grado de polimerización y el grado de cristalinidad del ácido tungstico. Ambas presentan ventajas, y su uso combinado permite lograr un análisis multidimensional de muestras de ácido tungstico, desde enlaces químicos hasta estructuras reticulares. El establecimiento de una base de datos estándar de posiciones de pico y un sistema de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

comparación de espectros proporciona un sólido respaldo de datos para la investigación y el desarrollo, el control de calidad y la optimización de la ingeniería de materiales de ácido tungstico.

4.3 Observación de micromorfología SEM/TEM

El ácido tungstico (H_2WO_4) es un ácido inorgánico con una estructura compleja y diversas formas cristalinas. Su morfología microscópica no solo refleja el proceso de preparación del material y el comportamiento del crecimiento cristalino, sino que también afecta directamente su rendimiento en aplicaciones como catálisis, recubrimientos, electrónica y conversión de energía. Por lo tanto, la observación microscópica detallada de la morfología y el análisis estructural del polvo de ácido tungstico mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) y microscopía electrónica de transmisión (MET) se ha convertido en un método esencial para la investigación básica y el control de calidad industrial.

Esta sección presentará sistemáticamente el proceso de operación, características estructurales, imágenes típicas y valor de caracterización de SEM y TEM en muestras de ácido tungstico.

1. Breve descripción del principio técnico

Microscopía electrónica de barrido (MEB)

El SEM escanea la superficie de la muestra enfocando un haz de electrones y detectando señales de electrones secundarios o retrodispersados para obtener la imagen de la morfología superficial de la muestra. Su resolución generalmente es inferior a 10 nm, lo que resulta adecuado para observar información como el tamaño de partícula, la morfología, el comportamiento de aglomeración y la rugosidad superficial.

Microscopía electrónica de transmisión (MET)

niveles subnanométricos o incluso picómetros, y permite observar franjas reticulares, la disposición atómica, la interfaz de fases, defectos y la estructura nanocristalina.

2. Método de preparación de la muestra

Preparación de muestras SEM:

1. **Muestreo** : Pesar el polvo de ácido tungstico seco (aproximadamente 5–10 mg);
2. **Dispersión** : Añadir una pequeña cantidad de etanol y dispersar ultrasónicamente durante 3-5 minutos;
3. **Carga de la muestra** : dejar caer la dispersión sobre el pegamento de carbón conductor y secar al aire o al vacío a baja temperatura;
4. **Recubrimiento (si es necesario)** : si la muestra tiene mala conductividad, se puede recubrir con una película de oro o carbono (espesor de aproximadamente 5 a 10 nm) para evitar la acumulación del haz de electrones.

Preparación de muestras TEM:

1. **Dispersión ultrasónica** : dispersar el polvo con etanol y sonicar durante 10 minutos;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. **Película de caída** : tome una pequeña cantidad de dispersión y colóquela sobre la malla de cobre (soporte de película de carbono);
3. **Secado** : Secado natural o eliminación de disolvente al vacío;
4. **Requisito de espesor de muestra** : se prefiere un tamaño de partícula ≤ 100 nm y el polvo ultrafino es más adecuado para la observación TEM.

3. Contenido de caracterización SEM e imágenes típicas

Las aplicaciones típicas del SEM en la caracterización de materiales de ácido tungstico incluyen:

- Observe **la morfología de las partículas** : como en forma de aguja, en forma de escama, en forma de varilla, en forma de racimo y esféricas;
- Determinar **el grado de cristalinidad** : las muestras altamente cristalinas tienen bordes afilados, mientras que las muestras poco cristalinas o amorfas tienen superficies difusas;
- Analizar **el tamaño y la distribución de partículas** : combinado con el software de análisis de imágenes, se pueden contar el D50 de partículas y el rango de distribución;
- Sondeo de **aglomeración y estructura de poros** : comprender el área de superficie de la muestra y la morfología de partículas secundarias.

Ejemplo:

1. Hidrólisis ácida APT de muestras de tungstato

- o Las imágenes SEM muestran cristales regulares con forma de varilla corta;
- o La longitud media es de aproximadamente 1 a 2 μm y el ancho es de aproximadamente 300 a 600 nm;
- o Los cristales tienen bordes claros y superficies lisas, lo que indica una buena cristalización.

2. Síntesis hidrotermal de ácido nanotungstico

- o una gran cantidad de partículas esféricas, con un diámetro de unos 50-100 nm;
- o Algunas aglomeraciones pueden estar relacionadas con el proceso de secado;
- o La estructura de la superficie porosa se puede ver en la imagen de gran aumento, lo que ayuda a formar sitios activos para reacciones catalíticas.

3. Conversión de WO_3 a tungstato

- o El SEM mostró una estructura lamelar apilada;
- o La superficie es rugosa, las partículas están estrechamente conectadas y se encuentran en un estado floculado en capas;
- o Se utiliza principalmente como precursor de material de recubrimiento.

Observación de la estructura TEM y análisis de red

Además de la observación morfológica, la TEM es más importante para el análisis de información estructural y cristalina de alta resolución, que incluye:

- Observación de defectos en cristales;
- Medición del espaciamiento interplanar;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Juicio de dirección del cristal;
- de impurezas o recubrimientos;
- Análisis del espectro de difracción de electrones de área seleccionada (SAED).

Observaciones típicas:

1. Estructura cristalina del ácido nanotúngstico

- o Las imágenes HRTEM muestran franjas reticulares claras;
- o El espaciamiento interplanar medido $d = 0,378$ nm coincide con el plano de fase ortorrómbica H_2WO_4 (200);
- o El tamaño del grano es de aproximadamente 30 a 50 nm y los bordes son lisos, lo que indica que las partículas son regulares;

2. Nanocúmulos de tungstato amorfo

- o No se ven franjas reticulares regulares en la imagen, que aparece como un contorno difuso desordenado;
- o El patrón SAED es un anillo difuso, lo que confirma que la muestra es amorfa o tiene baja cristalinidad;

3. Observación de cristales de tungstato dopados

- o Se observa una ligera distorsión reticular después del dopaje con Cu;
- o Las franjas reticulares están dobladas y aparecen defectos de dislocación localmente;
- o Proporcionar una base microscópica para regular las propiedades eléctricas mediante dopaje.

5. Análisis de imágenes y medición cuantitativa

Combinadas con software de procesamiento de imágenes como ImageJ, las imágenes SEM/TEM se pueden analizar de la siguiente manera:

Analizar Proyecto	Contenido
Medición del tamaño de partículas	Extraiga bordes de forma manual o automática y genere parámetros como D50, D90, etc.
Reconocimiento de formas	Clasificar la forma de las partículas, como esfericidad, aplanamiento, etc.
Estadísticas de distribución	Análisis de histograma de la uniformidad de la distribución del tamaño de partículas
Espaciamiento interplanar	Calcular el valor d de la red y confirmar las propiedades del plano cristalino en combinación con XRD
Identificación de defectos	Identificación y recuento de defectos, agujeros e imperfecciones en los bordes.

Estos datos se pueden utilizar además para el control de calidad, la optimización de procesos y la predicción del rendimiento del producto.

6. Fuentes de error y problemas comunes

pregunta	Análisis de causa	Soluciones sugeridas
----------	-------------------	----------------------

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

Reunión severa	Dispersión insuficiente o secado incontrolado	Añadir dispersante y optimizar el tiempo ultrasónico
Imagen borrosa	Acumulación de carga o desenfoque	Recubrimiento de superficies o ajuste de la distancia de trabajo
La imagen TEM no es clara	El espesor de la muestra es demasiado grande	Reducción del tamaño de partículas o clasificación centrífuga
Fantasma de franjas de celosía	Efectos de la vibración y la deriva de la muestra	Utilice una plataforma de muestra estable o de baja temperatura

7. Aplicaciones de ingeniería en la investigación del ácido túngstico

En el sistema de I+D y control de calidad de CTIA GROUP, SEM y TEM se utilizan ampliamente en los siguientes escenarios:

- **Evaluar el efecto del proceso de preparación** : el efecto de diferentes vías de hidrólisis ácida, temperaturas y pH sobre la morfología de los cristales;
- **ácido túngstico funcionalizado** : observación del espesor del recubrimiento y distribución del núcleo nanocristalino;
- **Analizar los mecanismos de fallo** : agrietamiento de cristales y cambios de poros causados por envejecimiento, sinterización, etc.
- **Diseño del proceso de clasificación del tamaño de partículas auxiliares** : vinculado con el análisis del tamaño de partículas láser para lograr una detección de cobertura total del tamaño de partículas.

Además, el análisis coordinado de la morfología y la forma cristalina (como XRD+SEM+TEM) es un medio importante para determinar si el ácido túngstico de alta pureza puede satisfacer los requisitos de las aplicaciones de alta gama posteriores.

8. Resumen

Las técnicas SEM y TEM ofrecen potentes herramientas para el análisis microestructural de materiales de ácido de tungsteno. La primera se centra en la morfología superficial y las características de las partículas, mientras que la segunda se centra en la estructura interna y la información reticular. Mediante el uso complementario de ambas, no solo se optimiza el proceso de preparación y el control de calidad, sino que también se proporciona una base morfológica sólida para el desarrollo de alto rendimiento de ácido de tungsteno en los campos de materiales energéticos, dispositivos optoelectrónicos, recubrimientos funcionales, etc.

4.4 Análisis térmico TG-DSC

la calorimetría diferencial de barrido (DSC) son técnicas analíticas clave para estudiar el comportamiento térmico del ácido túngstico. El ácido túngstico (H_2WO_4) es especialmente adecuado para la investigación exhaustiva mediante TG-DSC debido a sus altas características de hidratación, su transformación cristalina termosensible y su sensibilidad a altas temperaturas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Esta sección presentará en detalle los principios básicos de TG-DSC, el comportamiento de la muestra, las vías de descomposición térmica, la interpretación de parámetros y las aplicaciones prácticas en el diseño de procesos y el control de calidad.

1. Descripción general de los principios técnicos

Principio TG

La tecnología TG analiza la descomposición, oxidación, volatilización o desorción de sustancias midiendo el cambio de masa de las muestras en condiciones de temperatura programada (o temperatura constante).

El ácido túngstico experimenta múltiples etapas de pérdida de masa durante el calentamiento, que están relacionadas principalmente con la liberación de agua y la transformación de estados de oxidación.

Principio DSC

La DSC mide la variación del calor absorbido o liberado por la muestra durante el calentamiento/enfriamiento. En combinación con la TG, permite evaluar:

- Si la reacción de deshidratación es endotérmica o exotérmica;
- La temperatura de inicio y pico de la transformación cristalina;
- Rango de temperatura de formación y estabilidad térmica de los productos de descomposición del ácido túngstico.

La combinación de TG y DSC no sólo puede proporcionar el "cambio cuantitativo" del comportamiento térmico, sino también revelar su "mecanismo de reacción".

2. Preparación de la muestra y condiciones de prueba

Consejos para la preparación de muestras:

- **Tipo de muestra** : polvo de ácido túngstico seco (pureza $\geq 99\%$, tamaño de partícula 1–10 μm);
- **Masa de la muestra** : alrededor de 5–10 mg, distribuida uniformemente en el crisol;
- **Tipo de crisol** : crisol de platino (alta pureza y libre de contaminación), crisol de cerámica (económico y resistente al calor);
- **Atmósfera ambiental** :
 - o Nitrógeno (atmósfera inerte) o aire (ambiente oxidante);
 - o Caudal de gas 50–100 mL/min;
- **Velocidad de calentamiento** : 5–10°C/min (ajustable según la intensidad de la reacción);
- **Rango de temperatura** : generalmente desde temperatura ambiente hasta 800 °C, algunas muestras pueden extenderse hasta 1000 °C.

3. Comportamiento típico de TG-DSC y ruta de descomposición del ácido túngstico

División de etapas y descripción del comportamiento:

Rango de temperatura	Cambio de masa (TG)	Comportamiento térmico (DSC)	Descripción de la reacción
----------------------	---------------------	------------------------------	----------------------------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

30–120 °C	Ligera pérdida de masa (2-3%)	Fluctuación endotérmica	Desorción de agua adsorbida físicamente
120–250 °C	Pérdida de calidad del 5 al 10 %	Pico endotérmico suave	Liberación parcial de agua estructural
250–400 °C	Pérdida de calidad del 10 al 20 %	Pico endotérmico evidente	El agua cristalina principal se libera completamente, $H_2WO_4 \rightarrow WO_3 \cdot xH_2O$
400–600 °C	Pequeña fluctuación de calidad o estable	Liberación lenta de calor	Transformación cristalina, reordenamiento reticular
>600 °C	La calidad permanece básicamente sin cambios.	No hay efecto térmico evidente	estructura estable de trióxido de tungsteno (WO_3)

Nota: H_2WO_4 completamente hidratado $\rightarrow$ La pérdida de masa teórica de WO_3 es de aproximadamente 18–21%, lo que se puede utilizar para estimar el grado de hidratación de la muestra.

4. Ejemplo de análisis de curva TG-DSC

Muestra 1: Ácido tungstico obtenido por hidrólisis ácida APT

- **Curva TG :**
 - o La sección de pérdida de peso inicial se encuentra a 50–150 °C y representa entre el 2 y el 3 % de la masa total de la muestra;
 - o La etapa principal de deshidratación fue a 150–350 °C, con una pérdida de peso acumulada de aproximadamente 14,5 %;
- **Curva DSC :**
 - o A 150-170 °C aparece un pico endotérmico claro, correspondiente a la eliminación del agua cristalina;
 - o Después de 360°C, hay una pequeña fluctuación exotérmica, que se infiere que es un reordenamiento reticular;
- **Conclusión :** La muestra es una forma altamente hidratada de $H_2WO_4 \cdot xH_2O$, que se transforma de manera estable en WO_3 a aproximadamente 400–600 °C.

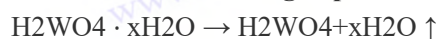
Muestra 2: Ácido nanotungstico microcristalino

- **TG :** La distribución general de la pérdida de peso es relativamente uniforme y la sección principal de pérdida de peso es de 80 a 250 °C;
- **DSC :** Pico endotérmico amplio, que indica que la estructura de hidratación está relativamente desordenada;
- **Nota :** Las partículas son pequeñas y la superficie es grande, por lo que es difícil distinguir entre agua estructurada y agua superficial.

5. Estudio del mecanismo de la reacción de descomposición térmica.

Los datos de TG-DSC se pueden utilizar para establecer el siguiente modelo de proceso de reacción:

1. Desorción de agua por adsorción física :



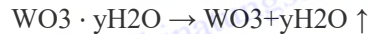
Proceso endotérmico, la calidad disminuye lentamente.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Eliminación de agua cristalina y reordenamiento reticular :



3. Deshidratación final y formación de WO_3 :



El proceso se puede analizar cinéticamente mediante el ajuste de modelos (como Coats-Redfern, Ozawa-Flynn-Wall) para obtener la energía de activación E_a , el orden de reacción n y otros parámetros cinéticos de descomposición térmica.

VI. Aplicación industrial y trascendencia ingenieril

En el sistema de producción y control de calidad de los productos de la serie de ácido de tungsteno de CTIA GROUP, TG-DSC se utiliza principalmente para:

- **Determinar el estado de hidratación del producto** : inferir la estructura de hidratación y la estabilidad de almacenamiento basándose en la curva de pérdida de peso;
- **Ajuste la ventana de temperatura de secado** : evite que el sobrecalentamiento provoque daños en el cristal o una reacción prematura;
- **el proceso de tratamiento térmico** : como la reducción térmica de WO_3 y el control de la temperatura de calcinación con ácido tungstico;
- **Idoneidad del material de cribado** : para adaptar la temperatura de pretratamiento a diferentes aplicaciones posteriores (como lodos, materiales de electrodos);

Por ejemplo, en la producción de lechada de tungstato de revestimiento, se requiere que la temperatura de calcinación no supere los 400 °C para retener una cierta cantidad de agua estructural y mejorar las propiedades de unión y conductividad.

7. Precauciones y control de errores

pregunta	Posibles causas	Acciones sugeridas
La plataforma de curva de gravedad cero es inestable	La humedad de la muestra no está controlada o el polvo no es uniforme	Secar la muestra y repetir la molienda.
Deriva de la línea base del DSC	Equilibrio térmico insuficiente del instrumento	Precalentar la muestra vacía y ponerla a cero
La pérdida de masa excede el valor teórico	Impurezas orgánicas o reacciones secundarias	Mejorar la pureza, agregar material de referencia DSC
Mala repetibilidad	Muestreo desigual	Aumente el volumen de muestreo y mejore la uniformidad de la mezcla.

8. Resumen

El análisis térmico TG-DSC es una herramienta clave para evaluar la estabilidad térmica, la ruta de descomposición, la transformación cristalina y el contenido de agua del ácido tungstico. La información sinérgica sobre la calidad y el efecto térmico que proporciona puede utilizarse en diversas áreas, como el análisis de materias primas, la optimización de procesos, la configuración del proceso de tratamiento térmico y la evaluación de la seguridad del producto. El establecimiento

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de una curva estándar y una base de datos de pérdida de peso térmica tiene un valor estratégico importante para el control de calidad del ácido tungstico a lo largo de su ciclo de vida.

Análisis de valencia de elementos de superficie XPS 4.5

La espectroscopia de fotoelectrones de rayos X (XPS) es una técnica de análisis de superficies no destructiva, altamente selectiva de elementos y sensible. Mide la energía cinética de los fotoelectrones excitados de la superficie del material e infiere su energía de enlace, identificando así la presencia, el estado químico y los cambios de valencia de cada elemento. En el ácido tungstico (H_2WO_4) y sus sistemas derivados, la XPS se utiliza principalmente para analizar el estado de valencia químico del tungsteno (como W^{6+} , W^{5+}), la forma de enlace del oxígeno (O^{2-} , OH^- , agua estructural, etc.), el estado de los iones de impurezas (como el dopaje Cu^{2+} , Na^+) y los efectos de modificación de la superficie.

Esta sección presentará en detalle la base teórica, la preparación de muestras, el análisis de la forma de pico y la aplicación práctica de XPS, y lo ilustrará con datos típicos de China Tungsten Intelligence en el análisis de materiales de ácido tungstico.

1. Descripción general de los principios de la tecnología XPS

Cuando los rayos X irradian la superficie de una muestra, los electrones en las órbitas internas de los átomos del material pueden absorber energía fotónica y saltar hacia afuera, convirtiéndose en fotoelectrones. La relación entre su energía cinética (EC) y su energía de enlace (EB) es la siguiente:

$$BE = h\nu - KE - \phi$$

en:

- $h\nu$ es la energía del fotón del rayo X incidente (normalmente la línea $\text{Al K}\alpha$, 1486,6 eV);
- ϕ es la función de trabajo del analizador de fotoelectrones;
- BE es la energía de enlace, que es la fuerza de enlace entre los electrones y los núcleos atómicos, y se ve afectada por el tipo de elemento y el entorno químico.

Diferentes elementos, diferentes estados de valencia y diferentes entornos químicos mostrarán posiciones de picos de energía de enlace específicas y características de picos satélite.

2. Preparación de la muestra y parámetros de prueba

Requisitos de muestra:

condición	Descripción de la solicitud
Estado seco	El polvo debe estar completamente seco para evitar la evaporación del agua estructural que afecte al sistema de vacío.
Partículas uniformes	El tamaño de partícula recomendado es $\leq 10 \mu\text{m}$ para evitar el efecto de protección de capa gruesa.
Sin materia volátil	No contiene residuos orgánicos precipitables ni productos de desorción a baja temperatura.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Carga de muestra	Presione el polvo uniformemente sobre la cinta conductora o la ranura de muestra especial, compactelo y haga que la superficie quede plana.
-------------------------	---

Parámetros de prueba:

proyecto	Configuraciones recomendadas
fuelle de luz	Al K α (1486,6 eV)
Resolución	Modo de alta resolución (0,1 eV/paso)
Área de escaneo	0–1200 eV (espectro completo), enfocado en W4f/O1s
Entorno farmacéutico	Alto vacío (nivel de 10 ⁻⁹ mbar)
Sistema de neutralización	Neutralización del haz de electrones de baja energía para suprimir la acumulación de carga

3. Indicación de la posición máxima y del estado de valencia de los elementos principales del ácido túngstico

1. Elementos W (zona W4f)

W⁶⁺ es el estado de valencia más común en el ácido túngstico, y su espectro XPS suele mostrar dos picos principales claros en la región de 35–40 eV:

pista	Rango de posición máxima (eV)	ilustrar
W 4f_{7/2}	35,5–36,0	Pico principal, mayor intensidad
W 4f_{5/2}	37,5–38,0	Subpicos, con un espaciamento de aproximadamente 2,1 eV

- **H₂WO₄ puro** : muestra dos picos simétricos con posiciones de pico concentradas, lo que indica que W⁶⁺ tiene un solo estado de valencia ;
- **Muestras dopadas** : si hay componentes W⁵⁺ o W⁴⁺, W 4f_{7/2} mostrará un hombro o pico adicional entre 34,0 y 35,0 eV.

2. Elemento O (zona O1s)

El espectro de O 1s se puede dividir en tres picos comunes, correspondientes a átomos de oxígeno en diferentes entornos químicos:

Posición máxima (eV)	distribuir	Entorno químico
530.0–530.5	Celosía O	Oxígeno reticular (W=O, W–O–W)
531.5–532.0	Superficie OH	Hidroxilo o agua adsorbida
532.5–533.5	Molécula de H ₂ O/carbonato	Fuentes de contaminación del agua o del medio ambiente

El cambio en la relación de intensidad del espectro de O1s puede reflejar información como el estado de hidratación de la muestra, la densidad de hidroxilo de la superficie y el nivel de limpieza.

3. Impurezas y elementos dopantes (Na, Cu, P, etc.)

- Na 1s: alrededor de 1071 eV;
- Cu 2p: 932,5–935,5 eV (Cu⁺ se distingue de Cu²⁺) ;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Cl 2p: 198–200 eV (identificación de residuos de Cl⁻);
- Mo 3d: 229–233 eV (controlado mediante dopaje de impurezas de Mo).

El contenido de impurezas, el nivel de dopaje y el estado químico se pueden obtener juntos a través del escaneo de espectro completo.

4. Casos de interpretación de datos y análisis de gráficos

Muestra A: Hidrólisis ácida APT estándar de H₂WO₄

- Espectro W 4f: picos dobles a 35,8 eV y 37,9 eV, consistentes con las características de W⁶⁺;
- Espectro de O 1s: pico principal a 530,4 eV (oxígeno en red), pico secundario a 532,0 eV (OH de superficie);
- Se detectaron ⁵⁺ o tungsteno metálico.

Muestra B: Método húmedo de WO₃ para preparar la muestra de ácido túngstico

- El pico en el espectro de O 1s es relativamente fuerte;
- Se observa un ligero pico a 533 eV, que se presume es agua adsorbida;
- La XRD mostró que la forma del cristal era ligeramente no ideal y la XPS confirmó que la actividad de la superficie era alta y el grado de hidratación era fuerte.

Muestra C: Tungstato dopado con Cu

- Cu 2p_{3/2} se encuentra en 933,2 eV con un pico satélite, que se confirma que es Cu²⁺;
- La posición del pico W 4f se desplaza a una energía más baja en 0,3 eV, lo que indica una redistribución de los electrones reticulares;
- El ancho del espectro de O1s aumenta, lo que indica un cambio en el entorno de hidroxilo.

5. Análisis cuantitativo y cálculo quimiométrico

El análisis de la relación atómica de los elementos se puede realizar utilizando el área de pico y el factor de sensibilidad:

$$\text{Relación atómica} = \text{IB} / \text{SB IA} / \text{SA}$$

Donde IB es el área del pico y SSS es el factor de sensibilidad del elemento.

Por ejemplo:

- Si la relación atómica W:O es cercana a 1:4, se puede confirmar que se trata de una estructura H₂WO₄ estándar;
- Si el contenido de O de la superficie es alto (O/W>4,5), puede contener agua estructural o grupos hidroxilo;
- Si aparece un pico de baja valencia en el pico W después del dopaje, se puede estimar la cantidad de electrones de transferencia de dopaje.

6. Modificación de la superficie/evaluación del recubrimiento

La XPS es especialmente adecuada para estudiar materiales modificados recubiertos de superficie con ácido túngstico, como:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Ácido túngstico recubierto de SiO₂** : se puede observar el pico Si2p (aproximadamente 102–104 eV);
 - **Modificación de ligando orgánico** : el espectro C 1s muestra picos de enlace químico como C–O, C=O y COOH;
 - **Ácido túngstico cargado con grafeno** : resolución mejorada del componente sp²/sp³ y cambio de la relación D/G en C 1s;
- mediante exfoliación de capas profundas o grabado de iones Ar⁺.

7. Casos de aplicación de datos XPS en CTIA GROUP

En el desarrollo de materiales de ácido de tungsteno de alta gama de CTIA GROUP, XPS se utiliza ampliamente en los siguientes campos:

Solicitud	Objetivos del análisis	Ejemplos de logros
Desarrollo de ácido túngstico de alta pureza	Verificar la pureza y los tipos de impurezas de W ⁶⁺	Relación W ⁶⁺ > 99 %, sin hombro W ⁵⁺
Diseño de material dopante	Determinar la valencia del dopaje y la uniformidad de distribución	Control claro del estado de valencia de muestras dopadas con Cu ²⁺ y Ag ⁺
Evaluación de la capa funcional del recubrimiento	Métodos de unión de superficies Si/P/N y otros elementos	La relación C/O/P en la superficie de la muestra de ácido túngstico formador de película es clara.
Evaluación de la calidad del proceso	Cl ⁻ y Na ⁺ después de la limpieza	El pico de adsorción en O1 se debilita y la limpieza cumple con el estándar.

8. Resumen

La tecnología XPS proporciona información clave para la estructura superficial, el estado químico, el mecanismo de dopaje y la reacción en la interfase del ácido túngstico. Mediante un análisis exhaustivo de los espectros de W₄₃, O₁₃ y de impurezas, permite una caracterización completa, desde la verificación estructural hasta la determinación cuantitativa, desde la identificación de defectos hasta el control de la formación de películas. Su valor es insustituible e importante para la construcción de sistemas de materiales de alto rendimiento basados en ácido túngstico, garantizando la estabilidad de la calidad de los productos industriales y apoyando la investigación de sistemas químicos de tungsteno.

4.6 Área superficial específica y estructura de poros (análisis BET)

El área superficial específica y la estructura porosa son indicadores importantes que determinan las propiedades físicas y los efectos de aplicación de los materiales de ácido túngstico en polvo, especialmente en fotocatalisis, materiales de electrodos, sensores de gas, adsorbentes y sistemas de reacción superficial. El método BET (Brunauer -Emmett-Teller) es un método estándar para evaluar el área superficial de los materiales. Combinado con BJH (Barrett-Joyner- Halenda) o DFT (Teoría del Funcional de la Densidad) y otros métodos analíticos, permite analizar con mayor detalle la distribución del tamaño, el volumen y el tipo de poro del material.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Esta sección presentará en detalle los principios técnicos BET, pruebas de muestra, análisis de datos típicos del ácido tungstico y escenarios de aplicación de ingeniería para ayudar a los lectores a comprender completamente la relación entre el área de superficie específica y la regulación de la microestructura y el desempeño funcional de los materiales de ácido tungstico.

1. Descripción general de los principios técnicos

El método BET se basa en el principio de adsorción física. Mide la cantidad total de gas que se puede adsorber por unidad de masa de muestra mediante la formación de una capa monomolecular de gas inerte (como el nitrógeno) sobre la superficie sólida a baja temperatura, calculando así el área superficial específica (m²/g) del material.

Ecuación central:

$$\frac{1}{v[(P_0/P) - 1]} = \frac{c - 1}{v_m c} \cdot \frac{P}{P_0} + \frac{1}{v_m c}$$

en:

- vvv : volumen de gas adsorbido;
- vmv_mvm : volumen requerido para la adsorción en monocapa;
- P/P₀ : presión relativa;
- ccc: constante, que refleja el potencial de adsorción;
- Área superficial específica SSS: calculada a partir de vmv_mvm y el área de la sección transversal de las moléculas de gas adsorbidas.

El volumen de los poros, la distribución del tamaño de los poros y el tipo de estructura de los poros también se pueden obtener mediante curvas de adsorción/desorción isotérmica.

2. Proceso de preparación y prueba de muestras

Requisitos de muestra:

condición	Requerir
Estado seco	Sin agua estructural ni agua adsorbida, contenido de humedad <0,5 %
Tamaño de las partículas de polvo	1–20 μm es adecuado para evitar que partículas grandes afecten la tasa de desorción.
Requisitos de calidad	≥100 mg (análisis general), ≥300 mg (distribución del tamaño de poro)
Sin impurezas volátiles	Evitar que los residuos orgánicos interfieran con el comportamiento de adsorción.

Proceso de pretratamiento:

- **Desgasificación** : tratamiento al vacío a 120–200 °C durante ≥4 horas para eliminar el gas y la humedad;
- **Enfriamiento** : Después de enfriar a temperatura ambiente, realice una prueba de adsorción;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Gas de análisis** : comúnmente utilizado nitrógeno (N_2), la temperatura de medición es 77 K (entorno de nitrógeno líquido);
- **Rango de presión relativa** : generalmente se establece entre $P/P_0 = 0,05 - 0,3$ para la conexión BET.

3. Análisis de datos: área superficial específica, diámetro de poro, volumen de poro

1. Área superficial específica (área superficial BET)

	Rango de área BET (m^2/g)	Características
H_2WO_4 de tamaño micrométrico	2–10	Baja rugosidad superficial, principalmente en los espacios entre partículas.
Nano H_2WO_4	20–60	Un tamaño de partícula más pequeño conduce a una mayor área de superficie externa
Muestras de control de la estructura porosa	60–150	La apariencia de la estructura microporosa/mesoporosa favorece la adsorción y la difusión.

2. Estructura porosa

- **Volumen total de poros** : el volumen de gas que puede contener un gramo de muestra (cm^3/g), normalmente en el rango de 0,01 a 0,5;
- **Distribución del tamaño de poro** :
 - o Microporos (<2 nm);
 - o mesoporoso (2–50 nm);
 - o macroporos (>50 nm);
- **Modelos comúnmente utilizados** :
 - o El método BJH es adecuado para el análisis de mesoporos;
 - o El método DFT es adecuado para el análisis de alta resolución de estructuras microporosas;
 - o NLDFT es adecuado para sistemas complejos de poros mixtos.

3. Tipo de isoterma de adsorción/desorción (clasificación IUPAC)

tipo	característica	Instrucciones aplicables
Tipo I	Material microporoso, de rápida saturación.	Esto indica que el material tiene una estructura microporosa de alta energía.
Tipo II/III	materiales no porosos	Más común en polvos gruesos con gran tamaño de partícula y baja porosidad.
Tipo IV	La presencia de bucles de histéresis indica una estructura mesoporosa.	Se encuentra más comúnmente en polvos de tungstato funcionales.
Tipo V/VI	Comportamiento especial de adsorción superficial	Esto indica que los centros superficiales activos son desiguales o están distribuidos de forma múltiple.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Caso de análisis BET de muestras típicas de ácido tungstico

Muestra 1: Ácido tungstico hidrolizado con ácido APT (nivel micrométrico)

- Superficie específica: 5,8 m²/g;
- Volumen de poro: 0,023 cm³/g;
- La curva de adsorción es de tipo II, lo que indica que se trata principalmente de poros de acumulación física entre partículas.

Muestra 2: Síntesis hidrotermal de nano H₂WO₄

- Superficie específica: 42,6 m²/g;
- mesoporos típicos) ;
- La presencia de bucles de histéresis indica la presencia de canales mesoporosos abiertos;
- Adecuado para intercambio iónico, electrocatálisis y almacenamiento de energía.

Muestra 3: Síntesis de tungstato mesoporoso asistida por plantilla de PVP

- Superficie específica: 92,1 m²/g;
- Volumen total de poros: 0,261 cm³/g;
- Tamaño medio de poro: 8,7 nm;
- Esto indica que la muestra tiene alta porosidad y buena capacidad de difusión.

5. Análisis de la relación estructura-rendimiento

Los resultados de BET están estrechamente relacionados con las propiedades de los materiales de ácido tungstico y las siguientes correlaciones son comunes:

Características estructurales	Rendimiento de la aplicación correspondiente
Alta superficie específica	Mejorar las tasas de reacción fotocatalítica y electroquímica
Distribución del mesoporo	Facilita la difusión de gases y la penetración de electrolitos.
Distribución estrecha del tamaño de poro	Mejorar la selectividad y la estabilidad de la reacción.
Alto volumen de poros	Adecuado para adsorbentes, materiales de almacenamiento de energía y plataformas de liberación sostenida.

Por ejemplo:

- **Fotocatálisis** : El ácido nanotungstico con alta área de superficie específica puede proporcionar más sitios activos de superficie y mejorar la eficiencia redox;
- **Lodo electrónico** : los materiales con tamaño de poro uniforme favorecen la formación de películas y el control de la densidad;
- **Materiales sensibles al gas** : Las estructuras mesoporosas mejoran la capacidad de captura de moléculas de gas y la velocidad de respuesta.

VI. Estándares de prueba BET y aplicación de datos del CTIA GROUP

En el sistema de ingeniería de polvo de ácido de tungsteno de CTIA GROUP, el análisis BET se utiliza en los siguientes aspectos:

Escenario de aplicación	Objetivo de la prueba	Rango de parámetros típico
-------------------------	-----------------------	----------------------------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Optimización de procesos	Determinar los efectos de secado/cristalización/formación de poros	La diferencia en la superficie específica antes y después del proceso es >10%
Aceptación del producto terminado	Controlar la estabilidad del lote	Diferencia de lote < ± 5% (superficie específica)
Coincidencia de aplicaciones	Personalizado para fotocátalisis y materiales de electrodos.	Área superficial ≥40 m ² /g, tamaño de poro 3–10 nm
Cribado de materiales	Clasificación de la calidad de productos a nanoescala	Segmento de gran superficie para mercados de alto valor añadido

Todas las pruebas se realizan según las normas ISO 9277 y los datos se archivan automáticamente en la "Base de datos de calidad de polvo funcional" de CTIA GROUP.

VII. Resumen

El análisis BET del área superficial específica y la estructura porosa es un método importante para revelar la microestructura interna de los materiales de tungsteno ácido, evaluar su reactividad y orientar la selección de aplicaciones. La combinación de la estrategia de control del tamaño de poro con la tecnología de control del área superficial específica permite optimizar con precisión el rendimiento del polvo de tungsteno ácido en materiales de vanguardia, como el almacenamiento de energía de alto rendimiento, el reconocimiento molecular y los dispositivos optoelectrónicos. Tiene una gran importancia estratégica para promover la utilización de alto valor y la investigación en la funcionalización de la ingeniería de compuestos de tungsteno.

4.7 Métodos de ensayo para propiedades eléctricas y ópticas.

El ácido túngstico (H₂WO₄) y sus derivados son materiales inorgánicos funcionales ampliamente utilizados en optoelectrónica, sensores, dispositivos electrocrómicos, materiales energéticos y otros campos. La clave de su rendimiento reside en **las propiedades eléctricas y ópticas del material**, que no solo se ven afectadas por su composición química, sino que también están estrechamente relacionadas con la forma cristalina, la microestructura, el contenido de impurezas y el estado electrónico del material.

Esta sección presentará sistemáticamente los métodos de prueba comúnmente utilizados para las propiedades eléctricas y ópticas del ácido túngstico, incluidos los principios de prueba, los requisitos del equipo, la interpretación de datos y su importancia ingenieril en la evaluación funcional y el desarrollo de aplicaciones del ácido túngstico.

1. Método de prueba de rendimiento eléctrico

1. Prueba de conductividad (método de resistencia/método de cuatro sondas)

Aplicable a:

- Comprimidos de ácido túngstico en polvo;
- Película de ácido túngstico;
- Ácido túngstico semiconductor dopado.

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

Método de prueba:

- **Método de cuatro sondas :**
 - o Adecuado para muestras de escamas;
 - o La respuesta de voltaje-corriente se mide utilizando cuatro agujas que entran en contacto con la superficie de la muestra simultáneamente;
 - o Reducir la influencia de la resistencia de contacto en el error de medición;
- **Medidor de resistencia de superficie/de dos sondas :**
 - o Se utiliza comúnmente para medir aproximadamente la resistencia de las tabletas de polvo.

Rangos de parámetros comunes:

Tipo de material	Rango de conductividad (S/m)	Características
Ácido tungstico puro (no conductor)	$10^{-8} - 10^{-12}$	Materiales de aislamiento eléctrico, principalmente para fines dieléctricos.
Ácido tungstico dopado (Cu, Na, etc.)	$10^{-6} - 10^{-2}$	Comportamiento de semiconductores, aplicable a dispositivos electrocrómicos

2. Prueba de propiedades dieléctricas (medición LCR)

Se utiliza para evaluar la capacidad de polarización y la pérdida de energía de materiales de ácido tungstico bajo campos eléctricos alternos.

Parámetros de medición:

- Constante dieléctrica (ϵ')
- Factor de pérdida dieléctrica ($\tan\delta$)

Condiciones de prueba:

- Rango de frecuencia: 100 Hz – 1 MHz;
- Control de temperatura: temperatura ambiente hasta 150°C;
- Forma de muestra: tableta prensada o tipo película, se requiere recubrimiento de electrodo (pasta de plata/película de oro).

3. Prueba electrocrómica

El ácido tungstico posee propiedades electrocrómicas y puede cambiar de color al aplicarle voltaje. Se utiliza a menudo en vidrios inteligentes, dispositivos de atenuación, etc.

Método de prueba:

- Preparar vidrio conductor ITO + película de ácido tungstico + electrolito + contraelectrodo;
- Voltaje aplicado (por ejemplo ± 1 V);
- Registrar el tiempo de cambio de color, la velocidad de reacción y la estabilidad del ciclo repetido;
- UV- Vis se pueden utilizar para registrar cambios en la transmitancia de la luz.

Métricas clave:

- Diferencia de transmitancia variable de luz (ΔT);

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Eficiencia de coloración (η , cm^2/C);
- Estabilidad en ciclismo (más de 50–1000 veces).

4. Pruebas electroquímicas (CV/EIS/GCD)

Es adecuado para estudiar las propiedades electroquímicas del ácido tungstico en supercondensadores, baterías y catálisis.

método	Contenido de la prueba	ilustrar
CV (voltamperometría cíclica)	Comportamiento redox, características de capacitancia	Cuanto más estándar sea el rectángulo de la curva, más cerca estará del condensador ideal.
EIS (espectroscopia de impedancia electroquímica)	Ajuste de capacitancia y resistencia de transferencia de carga	Circuito equivalente de ajuste del diagrama de Nyquist
MCD (carga y descarga de corriente constante)	Capacitancia específica, eficiencia de carga y descarga	Evaluación del rendimiento y la estabilidad del almacenamiento de energía

2. Método de prueba de rendimiento óptico

1. Espectro de absorción UV- Vis

Se utiliza para medir la capacidad de absorción del ácido tungstico a la luz de diferentes longitudes de onda y analizar su banda prohibida óptica y su rango de respuesta a la luz.

Sujetos de prueba:

- Polvo de ácido de tungsteno (modo de reflectancia difusa sólida);
- Película delgada de ácido tungstico (medición de transmisión/absorción);

Configuración del equipo:

- Espectrofotómetro UV-visible;
- Accesorio de esfera integradora (para dispersar muestras);
- Rango de longitud de onda de prueba: 200–800 nm.

Contenido del análisis:

- Posición del pico de absorción principal (300–450 nm);
- Intensidad de absorbancia (Abs);
- Estimación del borde de absorción y del intervalo de banda óptica (método Tauc):

$$(\alpha h\nu)^n = A(h\nu - E_g) \quad (\alpha h\nu)^n = A(h\nu - E_g) \quad (\alpha h\nu)^n = A(h\nu - E_g)$$

- $n=2$: banda prohibida directa; $n=1/2$: banda prohibida indirecta.

Valores comunes de banda prohibida:

- H_2WO_4 : 2,6–2,9 eV (absorción de luz azul-violeta);
- Ácido tungstico dopado: ajustable a 1,8–2,4 eV.

2. Espectroscopia de fotoluminiscencia (PL)

Se analiza el comportamiento de recombinación de pares electrón-hueco fotoinducidos en materiales de tungstato para reflejar su estructura de bandas y estados de defectos.

Parámetros de prueba:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Longitud de onda de excitación: 325 nm, 405 nm, etc.;
- Banda de medición: 350–700 nm;
- El enfoque principal se centra en la posición del pico de luminiscencia, la intensidad y la vida útil de la fluorescencia.

Fenómeno típico:

- El pico de emisión está en el rango de 450 a 550 nm y la intensidad varía con los defectos de la red o el dopaje;
- El dopaje puede inhibir la recombinación no radiactiva y mejorar la eficiencia de la luminiscencia.

3. Prueba de rendimiento fotocatalítico

Evaluar la capacidad del ácido túngstico para degradar contaminantes o colorantes bajo irradiación de luz UV/visible.

Método de prueba:

- Establecer un sistema de reacción (como naranja de metilo/rodamina B/MB, etc.);
- Establecer la fuente de luz (lámpara Xe, LED, luz solar simulada);
- Tomar muestras a intervalos regulares para medir los cambios en la absorción;
- Calcular la tasa de degradación y la constante de velocidad aparente (k):

$$C_t/C_0 = e^{-kt} \quad C_t/C_0 = e^{-kt}$$

Sistema de ácido túngstico modificado aplicable:

- Ácido túngstico nano, ácido túngstico dopado con Cu, materiales compuestos de ácido túngstico/grafeno, etc.

3. Casos de prueba típicos y requisitos de índice de CTIA GROUP

proyecto	Método de prueba	Datos típicos	Aplicación de ingeniería
Conductividad	Método de cuatro sondas	$1,2 \times 10^{-6}$ S/m (dopado con Cu)	Control inteligente de ventanas, película de electrodos
Electrocromático	$\Delta T = 36\%$, $\eta = 48$ cm ² /C	Coloración rápida, ciclo > 1000 veces	Vidrio fotocromático, revestimiento controlado electrónicamente.
Absorción UV	$\lambda = 412$ nm, $E_g \approx 2,8$ eV	Alta tasa de absorción	Materiales fotocatalíticos
Luminiscencia PL	Pico: 485 nm	Moderado	dispositivos optoelectrónicos
Fotocatálisis	MB 90% degradación/40 min	Ampliación del campo de la protección del medio ambiente verde	Tratamiento de aguas residuales, purificación del aire.

4. Interpretación de datos y precauciones

pregunta	razón	sugerencia
----------	-------	------------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La conductividad no se puede medir	La muestra es demasiado aislante o la resistencia de contacto es alta	Utilice un medidor LCR de alta sensibilidad o sinterización a presión.
La valoración de la banda prohibida es alta	Medición del desenfoque del borde por absorción	Corrección de reflexión/dispersión mediante una esfera integradora
Distorsión de la curva CV	El contacto del electrodo es deficiente o el escaneo es demasiado rápido	Optimización de la uniformidad del recubrimiento y del tipo de electrolito
La intensidad máxima de PL es demasiado fuerte/está desplazada	Defectos de impurezas o dopaje causados	Combinado con análisis XPS o Raman

V. Resumen

Las propiedades eléctricas y ópticas del ácido túngstico son las principales manifestaciones de su potencial aplicativo. Mediante la combinación de diversas técnicas eléctricas y espectrales, se pueden revelar completamente su estructura electrónica, propiedades de banda prohibida, comportamiento conductivo y capacidad de respuesta funcional, lo que proporciona datos fiables para la construcción de dispositivos optoelectrónicos de alto rendimiento, sistemas electrocrómicos, plataformas de reacción fotocatalítica, etc. El establecimiento de un sistema unificado de métodos de evaluación contribuirá a promover la aplicación estandarizada y la promoción industrial de los materiales de ácido túngstico en el campo de los materiales funcionales.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tungstic Acid Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Tungstic Acid Overview

The tungstic acid (tungsten trioxide hydrate, $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) produced by CTIA GROUP LTD is a high-purity yellow crystalline powder, manufactured using advanced precipitation and calcination processes. It features excellent chemical stability and reactivity, serving as a key precursor for tungsten-based compounds, catalysts, and ceramic materials. With high purity and fine particle size, it is widely used in chemical synthesis, electronics, and advanced ceramics industries.

2. Tungstic Acid Features

- Chemical Formula: $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Molecular Weight: 249.85
- Appearance: Yellow crystalline powder
- Melting Point: Decomposes $>100^\circ\text{C}$
- Density: 5.5 g/cm^3
- Stability: Stable under dry conditions, decomposes in water to form tungstate ions, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in catalyst preparation (selectivity $>95\%$), tungsten oxide synthesis, ceramic pigments

3. Tungstic Acid Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Solubility	Impurities (ppm)
Reagent Grade	≥ 99.9	1–10	Slightly soluble	$\text{Fe} \leq 10$, $\text{Na} \leq 5$, $\text{Si} \leq 10$
Industrial Grade	≥ 99.5	1–10	Slightly soluble	SO_4^{2-} main, trace elements
Technical Grade	≥ 98.5	1–10	Slightly soluble	Minor oxide impurities allowed

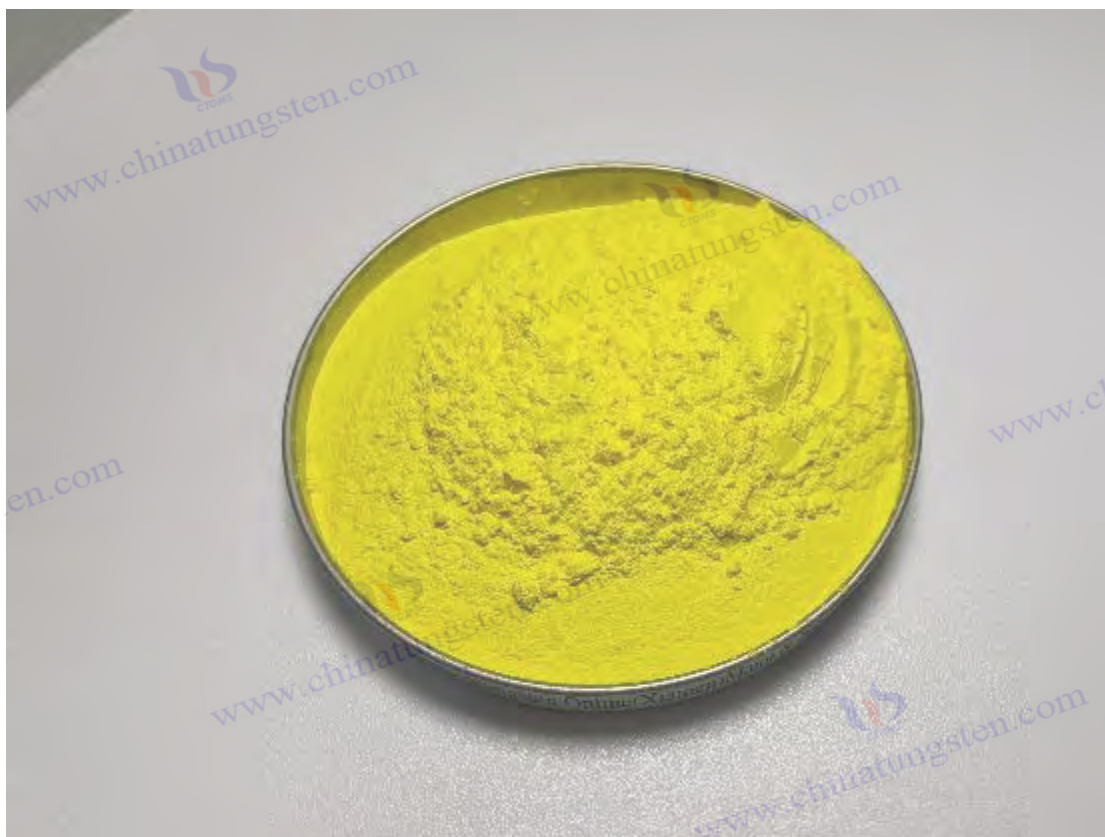
4. Tungstic Acid Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and stability.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Crystal structure (XRD)
 - Solubility test (weight loss $<0.1\%$ in water)

5. Tungstic Acid Procurement Information

- Email: sales@chinatungsten.com
- Phone: +86 592 5129595
- Website: <http://tungstic-acid.com>

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Capítulo 5: Principales derivados e intermedios del ácido túngstico

5.1 Metatungstatos (como sodio, amonio, calcio, cobre, etc.)

Los paratungstatos son compuestos de tungstato con iones de metatungstato ($[W_{12}O_{42}]^{10-}$) como núcleo y constituyen uno de los intermediarios más importantes en la química del tungsteno. No solo son precursores clave para la preparación de óxidos de tungsteno, derivados del ácido túngstico y materiales metálicos de tungsteno, sino que también se utilizan ampliamente en cerámica electrónica, catálisis química, galvanoplastia y materiales funcionales. Los metatungstatos con diferentes cationes, como el metatungstato de sodio ($Na_{10} [W_{12}O_{42}] \cdot xH_2O$), el metatungstato de amonio (APT, $(NH_4)_{10} [W_{12}O_{42}] \cdot xH_2O$), el metatungstato de calcio ($Ca_5 [W_{12}O_{42}] \cdot xH_2O$), el metatungstato de cobre ($Cu_3 [W_{12}O_{42}] \cdot xH_2O$), etc., muestran diversos valores de investigación científica y de ingeniería debido a sus diferentes estructuras, solubilidad y comportamiento térmico.

1. Estructura y clasificación

El esqueleto básico del metatungstato es un anión tetradeceno de oxígeno dodeca-tungsteno ($[W_{12}O_{42}]^{10-}$), una estructura polimérica relativamente estable formada por doce octaedros $\{WO_6\}$ que comparten aristas o vértices. Esta estructura presenta un alto grado de simetría y permite la formación de cristales estables con diversos cationes mediante el ajuste del pH y la fuerza iónica.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

nombre	Fórmula química	Estructura cristalina	Tipo de catión
Tungstato de sodio	$\text{Na}_{10} [\text{W}_{12} \text{O}_{42}] \cdot x\text{H}_2\text{O}$	Monoclínico/Ortogonal	cationes metálicos monovalentes
Tungstato parcial de amonio (APT)	$(\text{NH}_4)_{10} [\text{W}_{12} \text{O}_{42}] \cdot x\text{H}_2\text{O}$	Monoclínico/Hexagonal	Amonio
Tungstato de calcio	$\text{Ca}_5 [\text{W}_{12} \text{O}_{42}] \cdot x\text{H}_2\text{O}$	Hexagonal/ortorrómbico	Metales alcalinotérreos divalentes
Tungstato de cobre	$\text{Cu}_3 [\text{W}_{12} \text{O}_{42}] \cdot x\text{H}_2\text{O}$	Cuarteto	cationes de metales de transición

2. Método de preparación

1. Método de cristalización por acidificación (preparación APT)

- solución de tungstato de sodio (Na_2WO_4) ;
 - Acidulante: HCl , HNO_3 , H_2SO_4 para ajustar el pH a 3,0–3,5 ;
 - Agregue NH_4Cl o NH_4NO_3 para proporcionar iones de amonio ;
 - Reaccionar a temperatura controlada (60–80 °C) durante 1–2 horas para permitir una cristalización lenta;
 - Después del lavado y secado, se obtienen cristales de APT.
- $12\text{Na}_2\text{WO}_4 + 10\text{NH}_4\text{Cl} + 10\text{HCl} \rightarrow (\text{NH}_4)_{10} [\text{W}_{12}\text{O}_{42}] \downarrow + 22\text{NaCl} + 10\text{H}_2\text{O}$

2. Método de intercambio iónico (dopaje Ca^{2+} , Cu^{2+})

- El APT se utiliza como precursor y reacciona con una solución de CaCl_2 o $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$;
- Controlar el pH entre 4-6 para promover el intercambio iónico;
- Se puede obtener metatungstato de tipo $\text{Ca}_5 [\text{W}_{12} \text{O}_{42}]$ o $\text{Cu}_3 [\text{W}_{12} \text{O}_{42}]$;
- El producto final se lava y se seca para su almacenamiento para mantener la integridad de la forma cristalina.

3. Método de autoensamblaje hidrotermal (regulación polimórfica)

- Adecuado para preparar metatungstato con alta cristalinidad y morfología especial;
- Reacción hidrotermal a 100–180°C;
- El tamaño de partícula y la morfología se pueden ajustar mediante aditivos como PVP y PEG.

3. Características de rendimiento

proyecto	Descripción
Solubilidad en agua	La solubilidad del APT es menor que la del Na_2WO_4 , lo que favorece la separación por precipitación.
Estabilidad térmica	Se puede descomponer en trióxido de tungsteno a 600–800 °C.
Morfología cristalina	El APT tiene cristales en forma de aguja, el sodio tiene cristales columnares y el calcio tiene mayormente forma de escamas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Contenido de tungsteno	El contenido teórico de tungsteno de APT es de aproximadamente 74,3%, que es superior al de WO ₃ (72,6 %).
Respuesta al pH	Se puede precipitar de forma estable en condiciones ácidas y se hidroliza fácilmente a WO ₄ ²⁻ a un pH > 7.

WO₃ presenta un tamaño de partícula uniforme mediante descomposición térmica y posteriormente se reduce para obtener polvo de W. Por lo tanto, su comportamiento térmico determina la calidad del polvo de tungsteno resultante.

4. Introducción de representantes típicos

1. Tungstato de amonio (APT)

- El más común y con mayor producción;
- Se utiliza como materia prima para polvo de tungsteno metálico, carburo de tungsteno, aleación de tungsteno, tungstato, etc.
- Los estándares de control de procesos son maduros y altamente adaptables.

2. Tungstato de sodio

- Como intermedio de tungsteno, se utiliza en precursores de catalizadores;
- Estabilidad a largo plazo a pH neutro;
- Se puede utilizar para algunos materiales sintéticos de reacción en estado sólido a baja temperatura.

3. Tungstato de calcio

- Se aplica a cerámicas sin plomo y materiales dieléctricos;
- Tiene buen aislamiento y estabilidad térmica;
- Durante la sinterización, se puede formar una estructura de estructura similar a CaWO₄.

4. Tungstato de cobre

- Se puede utilizar para catálisis y materiales antibacterianos;
- El dopaje con cobre mejora la conductividad eléctrica y la capacidad de formación de oxígeno activo;
- Se utiliza en investigación para construir un sistema compuesto fotocatalítico/electrocatalítico.

5. Perspectivas de aplicación y desarrollo de la ingeniería

Áreas de aplicación	ilustrar
Preparación de polvo de tungsteno/carburo de tungsteno	La descomposición térmica APT + reducción de hidrógeno es la ruta de preparación de polvo de tungsteno más común.
Cerámica óptica	El tungstato de calcio se utiliza en sustratos luminiscentes y cristales láser.
Fotocatalizador	El tungstato de cobre y otros materiales se utilizan para construir heterouniones y mejorar la eficiencia catalítica.
Materiales electroquímicos	de metatungstato dopado para electrodos de supercondensadores y baterías

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Decolorante verde	APT se puede utilizar con TiO_2 para construir un sistema catalítico de decoloración UV
-------------------	--

En el negocio de metatungstato de CTIA GROUP, los productos APT ofrecen ventajas como la serialización, la estandarización y el control electrónico de nivel, con una producción anual de más de 1000 toneladas, y se han exportado con éxito a mercados como Japón, Corea del Sur y Alemania. En el futuro, combinaremos la tecnología de extracción de tungsteno verde para desarrollar nuevas formas cristalinas y nuevas direcciones de dopaje múltiple para el metatungstato .

VI. Resumen

El metatungstato es un intermediario importante en el sistema de ácido túngstico, con una estructura clara, un rendimiento superior y una amplia gama de aplicaciones. Su sustancia representativa, APT, se ha convertido en una materia prima indispensable en la cadena industrial global del tungsteno. Mediante la regulación estructural, la sustitución iónica, la ingeniería morfológica y otros métodos, se pueden ampliar sus límites de aplicación y promover su aplicación en nuevos campos como las funciones ópticas, la energía y la catálisis, mostrando un gran valor estratégico industrial y material.

5.2 Complejos de tungstato (politungstatos , isopoliácidos)

Los complejos de tungstato son complejos aniónicos polinucleares formados por la polimerización de iones de tungstato a través de puentes de oxígeno o reordenamiento estructural, y generalmente se denominan " polioxotungstatos ". (PWT)" o, más generalmente, " heteropoliácidos " (HPAs)". Estos compuestos tienen una estructura molecular clara, una configuración de componentes controlable y ricas propiedades electrónicas, y son una clase muy representativa de sistemas supramoleculares en materiales funcionales inorgánicos.

Los complejos de tungstato no solo se pueden utilizar como catalizadores, materiales de electrodos, moléculas fotofuncionales y conductores de protones, sino que también presentan un amplio potencial de aplicación en los campos de la medicina, la detección, la antibacterialidad y el reconocimiento molecular. Esta sección analizará en profundidad su tipo de estructura principal, su ruta de síntesis, sus propiedades físicas y químicas, y su importancia estratégica para la investigación y el desarrollo de productos del CTIA GROUP.

1. Unidades estructurales básicas y sistema de clasificación

1. Estructura del núcleo de politungstato

Bloques de construcción básicos: los octaedros $\{\text{WO}_6\}$

$\{6\}$ se agregan compartiendo esquinas o aristas para formar las siguientes estructuras:

- **Isopolioxotungstatos** : autoensamblados a partir de tungstatos , como $[\text{W}_6\text{O}_{19}]^{2-}$, $[\text{W}_{12}\text{O}_{40}]^{8-}$;
- **Heteropoliácidos (heteropolioxotungstatos)** : En el centro de la estructura se introducen átomos heteronucleares (P, Si, Ge, etc.) , como por ejemplo:
 - o de Keggin : como $[\text{PW}_{12}\text{O}_{40}]^{3-}$, $[\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}]^{4-}$;
 - o Estructura de Dawson: como $[\text{P}_2\text{W}_{18}\text{O}_{62}]^{6-}$;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

o Estructura de Anderson: como $[Cr(OH)_6W_6O_{18}]^{3-}$.

2. Sistema de clasificación

tipo	Núcleo estructural	Fórmula general	característica
Ácido equivalente	Estructura de tungsteno puro	$[W_nO_{3n+1}]^{m-}$	La estructura es relativamente simétrica y fácilmente soluble en agua.
Ácido heteropoli	Centro heteronuclear + cúmulo de óxido de tungsteno	$[XW_nO_m]^{p-}$	Acidez fuerte y funciones diversas.
Híbrido orgánico-inorgánico	Poliácido + catión orgánico	$[PWT]@R^+$	Afinidad de superficie ajustable
Poliácido dopado	Introducción a Mo, V, Ti, etc.	$[PW_{10}V_2O_{40}]^{5-}$	Ampliación del rendimiento redox

2. Vía de síntesis y estrategia de control

La síntesis de politungstatos se logra generalmente mediante **autoensamblaje por precipitación ácida** . cuya clave radica en el control del pH, la regulación del entorno iónico y la introducción de iones coordinadores.

1. Síntesis de heteropoliácidos (tipo Keggin)

- Materias primas: Na_2WO_4 , H_3PO_4 (o silicato de sodio) ;
- Acidificación a pH 1-2;
- Calentar a 60–80 °C y remover continuamente durante 4–6 horas;
- Enfriamiento, cristalización, recristalización y purificación;
- de Keggin $H_3[PW_{12}O_{40}] \cdot xH_2O$ o se obtienen sus sales .

2. Vía de dopaje/funcionalización

- Adición de sales de oxiácidos como V, Mo y Ti para reaccionar sinérgicamente;
- o introducir modificadores como aminas orgánicas y fósforo orgánico durante la etapa de postratamiento;
- El tratamiento hidrotermal, el intercambio iónico, el autoensamblaje de interfaces y otras tecnologías ayudan a estabilizar la estructura.

3. Síntesis de compuestos de poliácidos orgánicos

- PWT complejante con sales de amonio cuaternario y pequeñas moléculas orgánicas;
- Se puede construir un sistema controlable de dos fases de agua y aceite para su uso en recubrimientos, sistemas electroquímicos, etc.

3. Propiedades físicas y químicas

naturaleza	describir
Acidez fuerte	$H_3[PW_{12}O_{40}]$ y otros tienen una capacidad de liberación de protones más fuerte que H_2SO_4
Alta estabilidad	barril con estabilidad térmica hasta 400°C
Redox reversible	Transición $W^{6+} \leftrightarrow W^{5+}$, que se puede utilizar para el almacenamiento de carga y la catálisis

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Solubilidad ajustable	Comportamiento de disolución ajustable de sales como K, Na, NH ₄ , histamina, etc.
La estructura se puede caracterizar	Análisis exhaustivo mediante IR, UV, RMN, XRD, ESI-MS y otros medios

4. Introducción de politungstatos representativos

1. Heteropoliácido tipo Keggin

- Fórmula molecular: $[PW_{12}O_{40}]^{3-}$, $[SiW_{12}O_{40}]^{4-}$;
- Acidez fuerte y estructura estable;
- Se utiliza para catalizar la esterificación, oxidación, hidroxilación de fenol y otras reacciones;
- Es la principal molécula de plataforma en la industria de catálisis de tungsteno.

2. Poliácido tipo Dawson

- Fórmula molecular: $[P_2W_{18}O_{62}]^{6-}$;
- Mayor número de núcleos y estructura espacial más grande;
- Tiene propiedades únicas en dispositivos de almacenamiento de energía y recubrimientos autorreparables.

3. Poliácido dopado

- Ejemplo: $[PW_{11}VO_{40}]^{4-}$, $[SiW_9Mo_3O_{40}]^{7-}$;
- Cambios en el potencial redox;
- Ampliar la ventana de actividad fotoeléctrica y mejorar la selectividad catalítica.

4. Complejo de poliácido orgánico

- La mayoría de ellos son sales de amonio cuaternario y tipos modificados con organofosforados;
- Cambiar la dispersabilidad y la afinidad interfacial de los poliácidos;
- Se aplica en biocatálisis, membranas antibacterianas y dispositivos flexibles.

5. Instrucciones de aplicación y progreso fronterizo

Áreas de aplicación	Características	Ejemplos típicos
Catalizador ácido	Esterificación, hidrólisis, condensación	H ₃ [PW ₁₂ O ₄₀] como catalizador homogéneo
Fotocatálisis	Respuesta a la luz visible, transferencia de electrones	Degradación catalítica compuesta de colorantes por [SiW ₁₂ O ₄₀] y TiO ₂
Materiales electrocrómicos	Transformación reversible W ⁶⁺ / W ⁵⁺	Para vidrio inteligente y películas electrocrómicas
supercondensadores	Almacenamiento rápido de electrones, difusión de iones	Poliácido dopado en V tipo Dawson soportado sobre materiales de carbono
Antibacteriano biológico	Destruye las membranas bacterianas y libera óxidos.	PWT orgánico para el recubrimiento de materiales de contacto médicos
Reconocimiento y detección molecular	Coordinación de metales, respuesta de protones	Los poliácidos construyen electrodos selectivos de iones e interfaces de sensores

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

VI. Diseño de investigación y expansión de productos del CTIA GROUP

CTIA GROUP ha establecido una plataforma de desarrollo piloto para materiales de tungsteno poliacido, que abarca principalmente:

- Construcción de una biblioteca de materiales heteropoliacidos (estructuras Keggin/Dawson 50+);
- Desarrollo de materiales de membrana compuestos de poliacido organico (electrodo de membrana/película fotocatalítica);
- Comercialización de catalizadores poliacidos (catalizadores líquidos/portadores inmovilizados);
- Verificación de prueba de PWT dopado en cerámicas energéticas/ópticas.

En el futuro, ampliaremos aún más los campos del co-dopaje de vanadio-molibdeno, la emisión inducida por agregación (AIE) y los poliacidos bioactivos para lograr un avance integral desde la estructura funcional hasta la plataforma del dispositivo.

VII. Resumen

del tungstato, los complejos de tungstato no solo poseen un gran valor académico en la investigación básica, sino que su catálisis ácida, comportamiento electrónico y propiedades de reconocimiento molecular también determinan sus amplias perspectivas en catálisis, electroquímica, energía y sistemas compuestos funcionales. Mediante la síntesis controlada por estructura, la regulación del dopaje y la composición de interfase, los complejos de tungstato se convertirán en una parte importante de los futuros sistemas de materiales funcionales.

5.3 Ésteres de tungstato orgánicos y complejos orgánicos

organotungsticos y los complejos de organotungsteno son importantes formas de expansión en la química del ácido tungstico y pertenecen a sistemas híbridos orgánico-inorgánicos. Estos compuestos forman estructuras moleculares estables mediante la coordinación, esterificación, enlace, etc., de grupos funcionales orgánicos con ácido tungstico o tungstato, y presentan buena solubilidad, funcionalidad y características estructurales adaptables.

Con el desarrollo continuo de la química verde, la catálisis homogénea y los materiales organometálicos, los ésteres de tungstato orgánico y los complejos orgánicos de ácido tungstico han demostrado gradualmente sus ventajas únicas en catálisis, recubrimientos funcionales, biomedicina, electroquímica y materiales fotosensibles, y se han convertido en una dirección clave en el sistema de investigación y desarrollo de compuestos de tungsteno de alto valor agregado de CTIA GROUP.

1. Definición y estructura básica

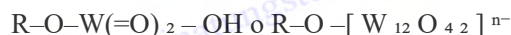
1. Ésteres tungsticos

Los ésteres orgánicos de tungstato son compuestos orgánicos de tungsteno formados mediante la esterificación del ácido tungstico (H_2WO_4) o tungstato con alcoholes orgánicos (como alcohol, fenol,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

alcohol alílico, etc.). Su estructura básica generalmente contiene enlaces W=O y W–O–R (R es un grupo orgánico).

Fórmula esquemática:



2. Complejos de organotungsteno

Los complejos orgánicos de tungsteno se refieren de manera más amplia a la estructura de coordinación formada por tungsteno y pequeñas moléculas orgánicas que contienen grupos de coordinación (como aminas, ácidos carboxílicos, ácidos fosfónicos, sales de aminas orgánicas, ligandos orgánicos), que pueden ser mononucleares, binucleares o polinucleares.

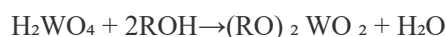
Su estabilidad estructural y comportamiento electrónico se pueden ajustar mediante ligandos orgánicos, que a veces implican enlaces directos W–C o W–N.

2. Método de síntesis

1. Método de reacción de esterificación

- El ácido túngstico o tungstato se utiliza como fuente de ácido;
- Reacciona con alcoholes (por ejemplo, etanol, fenol, nonanol);
- catálisis ácida o de ácido de Lewis;
- condiciones de temperatura baja a media (30–90°C);
- Disolventes habitualmente utilizados: alcoholes, sistemas autolíticos, diclorometano.

Ejemplo de reacción:



2. Método de complejación por coprecipitación

- la fuente de tungsteno (como APT, Na₂WO₄) con la solución de ligando orgánico (EDTA, ácido cítrico, tiourea, etc.);
- Controlar el pH en el rango de 5–9;
- Reacción hidrotermal o de presión normal;
- Puede formar complejos de tungstato encapsulados de forma estable por ligandos orgánicos.

3. Método aditivo en fase sólida/método de regulación solvotérmica

- Se utiliza a menudo para construir materiales híbridos orgánicos-inorgánicos;
- Utilice plantillas y surfactantes para controlar el tamaño de las partículas y la dispersabilidad del producto;
- Se utiliza a menudo para construir nanocompuestos de complejos orgánicos de tungstato y metal.

3. Representantes típicos y sus características estructurales

tipo	Fórmula molecular/Descripción de la estructura	Características
------	--	-----------------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tungstato de dietilo	(EtO) ₂ WO ₂	Líquido transparente y aceitoso, fácilmente soluble en alcohol.
Tungstato de fenol	(Pho) ₂ WO ₂	Contiene anillos aromáticos para mejorar la estabilidad térmica.
Tungstato complejo de alcoholamina	[WO ₂ (HL) ₂] (L es alcoholamina)	Estructura compleja mononuclear estable, adecuada para catálisis en solución.
W-PAA	complejo de tungsteno-ácido poliacrílico	Buena propiedad de formación de películas, utilizada para películas funcionales.
Complejo de tungsteno de base Schiff	Contiene estructura de enlace W=N	Excelente fotorrespuesta y propiedades magnéticas.

4. Características de rendimiento

proyecto	Descripción del rendimiento
Solubilidad	La mayoría de ellos son solubles en alcoholes, éteres y disolventes orgánicos.
Estabilidad térmica	La estabilidad del enlace éster es moderada, adecuada para entornos ≤200 °C.
Propiedades eléctricas	Con cierta capacidad de migración de electrones y banda prohibida ajustable
Actividad óptica	Hay transiciones $\pi - \pi$ y $n - \pi$, que muestran absorción de luz visible.
Reactividad	Puede participar en el intercambio de ésteres, sustitución nucleófila, reacciones de radicales libres, etc.
Funcionalidad de superficie	Se pueden utilizar como monocapas autoensambladas (SAM) para construir materiales de interfaz molecular.

5. Campos de aplicación

1. Catalizador homogéneo

- de esterificación/ amidación /oxidación/reducción;
- Por ejemplo, el éster de fenol tungstato cataliza la apertura del anillo de óxido de alquileo;
- Presenta alta selectividad y bajas reacciones secundarias.

2. Recubrimientos electrocromicos y películas inteligentes

- Recubrimiento compuesto de W-PAA o tungstato de polipirrol ;
- Tiene capacidad de cambio de color reversible y alta tasa de regulación óptica;
- Se utiliza en dispositivos electrónicos flexibles, películas para ventanas, etc.

3. Medicina y biología

- Algunos ésteres de tungstato exhiben actividades antibacterianas y antitumorales;
- Se utiliza en la investigación para la modificación de proteínas y la construcción de sitios de reconocimiento de ARN.

4. Bloques de construcción de la estructura metalorgánica (MOF)

- El éster de tungstato se utiliza como un nodo para conectar con el grupo ácido carboxílico/amino;
- Puede formar materiales porosos orgánicos metálicos estables;
- Se utiliza para la adsorción, separación y fotocátalisis de gases.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5. Modificadores nanocompuestos

- Los complejos orgánicos de tungsteno se pueden utilizar como reguladores de interfaz;
- Se aplica a la modificación de superficies de materiales de electrodos/grafeno/óxidos;
- Mejora el rendimiento electroquímico y la estabilidad de la interfaz.

VI. Desarrollo de productos y dirección de investigación del Grupo CTIA

CTIA GROUP ha desarrollado actualmente una variedad de sistemas complejos orgánicos de ácido de tungsteno y ha establecido las siguientes plataformas técnicas:

- **Serie de productos :**
 - o Ésteres de alcohol tungstato ($C_2 - C_{10}$) ;
 - o Complejo de tungsteno y amina orgánica;
 - o Sales de tungsteno organofosforadas;
 - o Dispersiones compuestas de W-PVP, W-PEG;
- **Plataforma de rendimiento :**
 - o Sistema de respuesta electrocrómica (10^2 ciclos sin atenuación);
 - o Pasta conductora flexible;
 - o Materiales inteligentes antivaho y sensibles a la luz.

En el futuro, ampliaremos aún más los ésteres de tungstato biodegradables, los materiales funcionales optoelectrónicos programables y los sistemas electrocatalíticos de ésteres de tungstato, y ampliaremos los límites de aplicación en energía verde y dispositivos funcionales flexibles.

VII. Resumen

Los ésteres y complejos de tungstato orgánico representan las ramas más diversas y flexibles de la familia de los tungstatos. No solo proporcionan propiedades funcionales como el procesamiento de soluciones, el ensamblaje de interfaces y la regulación electroóptica para materiales de tungsteno, sino que también muestran un gran potencial para el desarrollo de aplicaciones interdisciplinarias. Mediante el diseño de la estructura molecular y la regulación de interfaces, los complejos de tungsteno orgánico desempeñarán un papel cada vez más importante en los campos de la luz, la electricidad, la catálisis, la detección, la biomedicina y otros.

5.4 Materiales funcionales y compuestos basados en tungstato

Los materiales funcionales a base de ácido tungstico se refieren a un sistema de materiales compuestos con funciones eléctricas, ópticas, catalíticas, de almacenamiento de energía, de inducción, de refuerzo estructural, etc., que se construyen con ácido tungstico (H_2WO_4) o su estructura derivada como fase activa, matriz o elemento estructural. Estos materiales suelen ensamblarse en coordinación con materiales orgánicos, poliméricos, de óxidos metálicos, de carbono u otras sales metálicas, mostrando propiedades multidimensionales muy superiores a las del ácido tungstico por separado.

Con el desarrollo de la teoría del diseño de materiales compuestos funcionales y la tecnología de construcción de múltiples escalas, el ácido tungstico está cambiando gradualmente del papel tradicional de precursor al componente funcional central, y se usa ampliamente en dispositivos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

inteligentes que cambian de color, almacenamiento de energía electroquímica, electrónica flexible, biocatálisis y gobernanza ambiental.

1. Método de construcción de materiales y mecanismo compuesto

La construcción de materiales funcionales a base de tungstato se puede dividir en los siguientes modos:

Tipo de construcción	describir	Ejemplo
Compuesto inorgánico-inorgánico	Ácido túngstico + óxido metálico	Materiales fotocatalíticos WO_3/TiO_2
Híbrido inorgánico-orgánico	Ácido túngstico + polímero/ligando orgánico	Dispersión de W-PVP
Compuestos a base de carbono	Ácido túngstico + grafeno/nanotubos de carbono, etc.	Electrodo compuesto W-GO
Sistema colaborativo multifuncional	También cuenta con electrocatálisis, adsorción, etc.	Catalizador de adsorción compuesto W- Fe_3O_4 -MOF

Las estrategias de construcción clave incluyen:

- Métodos de deposición in situ (sol-gel, autoensamblaje);
- Método de coprecipitación/dopaje;
- Reacción sinérgica hidrotérmal/solvotérmal;
- Montaje capa por capa y modificación de superficies;
- Método de plantilla (control de configuración de plantilla dura/plantilla blanda);

2. Tipos representativos de materiales compuestos a base de tungstato

1. Sistema compuesto de ácido túngstico y óxido metálico

Al introducir TiO_2 , ZnO , Fe_2O_3 , etc., se pueden formar canales de transferencia de electrones o interfaces de heterojunción, mejorando así la conversión fotoeléctrica o la eficiencia catalítica.

- WO_3/TiO_2 : se utiliza para catálisis de luz UV/visible;
- $\text{WO}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$: Separación mejorada de portadores fotogenerados ;
- WO_3/CeO_2 : Mejora la capacidad antirreducción y el almacenamiento de oxígeno;
- WO_3/SnO_2 : Se utiliza en dispositivos sensibles al gas para mejorar la tasa de respuesta.

2. Sistema compuesto de material de carbono y ácido túngstico

La alta conductividad, la superficie específica y la dispersabilidad de los materiales de carbono se utilizan para mejorar el transporte de electrones y mejorar la capacidad de carga.

- WO_3/GO (óxido de grafeno) : se utiliza para supercondensadores flexibles y dispositivos electrocrómicos;
- WO_3/CNT (nanotubo de carbono) : mejora la estabilidad estructural y el ciclo de vida;
- WO_3/C (carbón activado, tela de carbón) : adecuado para almacenamiento de energía y adsorción de aguas residuales.

3. Sistema híbrido de ácido túngstico-polímero

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Las macromoléculas o polímeros orgánicos pueden proporcionar dispersión estable, procesamiento flexible y funciones de formación de películas para el ácido tungstico.

- **WO₃ / polipirrol (PPy)** : se utiliza para electrodos flexibles;
- **WO₃ /PVA/ PEG** : forma una película electrocrómica transparente;
- **WO₃ – complejos proteicos** : para aplicaciones de biocatálisis y detección.

4. Materiales funcionales sinérgicos multicomponentes

El ácido tungstico se puede utilizar como plataforma catalítica, de conversión energética o de estabilización estructural para construir materiales multifuncionales en colaboración con metales, estructuras orgánicas, fotosensibilizadores, etc.

- **WO₃ @ MOF** : logra poros controlables + rendimiento redox;
- **Compuestos W–Ni–S** : para electrocatálisis de evolución de hidrógeno;
- **Compuestos de tungstato-porfirina** : una plataforma de doble función para terapia fototérmica y fotocatalisis.

3. Ventajas de rendimiento y métodos de control

Los materiales funcionales basados en tungstato tienen las siguientes ventajas clave debido a su diversidad estructural y estabilidad química:

Tipo de rendimiento	Ventajas y características	Factor de impacto
Actividad electroquímica	Transición reversible W ⁶⁺ /W ⁵⁺ con respuesta de capacitancia significativa	Morfología del material, relación de compuestos de fase conductora
Rendimiento óptico	Banda prohibida ajustable, fotocrómica/electrocrómica	Control de la forma cristalina, ajuste del dopaje
Actividad catalítica	Los centros superficiales W=O/W–OH son abundantes y permiten transferir electrones con facilidad.	Área de superficie específica, selección de ligando híbrido
Estabilidad térmica	Resistencia a altas temperaturas y antienviejamiento.	Integridad cristalina, estructura del enlace covalente
Propiedades formadoras de película y flexibilidad	Se sinergiza con polímeros para impartir flexibilidad y extensibilidad.	Peso molecular, afinidad de interfaz híbrida

Las vías regulatorias incluyen:

- Controlar la temperatura de síntesis y el pH para lograr un control preciso de la morfología;
- Introducir agentes directores de estructura para regular el área superficial específica y la distribución de poros;
- Ajuste de la densidad de nubes de electrones a través de ligandos orgánicos para mejorar la selectividad fotocatalítica;
- Ajuste la banda prohibida y la ruta de migración de electrones mediante dopaje iónico/modificación de la superficie.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Campos de aplicación típicos y prácticas de ingeniería

Solicitud	Métricas clave	Sistema material
Película electrocrómica para ventanas	$\Delta T > 30\%$, tiempo de respuesta $< 5\text{ s}$	Película de $\text{WO}_3/\text{PVA}/\text{PEG}$
supercondensadores	Capacitancia específica $> 300\text{ F/g}$, ciclo de vida $> 10\,000$ veces	Compuestos de $\text{WO}_3/\text{GO}/\text{CNT}$
degradación fotocatalítica	Eficiencia de degradación $> 90\%$, respuesta a la luz visible	$\text{WO}_3/\text{TiO}_2/\text{grafeno}$
Sensores de gas	Alta sensibilidad a $\text{NO}_2/\text{H}_2\text{S}$ y respuesta rápida	$\text{WO}_3/\text{SnO}_2/\text{Ag}$
Adsorción de metales pesados	Capacidad de adsorción $> 250\text{ mg/g}$, alta selectividad	Adsorbente compuesto de $\text{WO}_3/\text{biocarbón}$
Electrónica flexible	Doblar 500 veces sin degradación del rendimiento	Electrodo compuesto de ácido tungstico-PEDOT

5. Caso de I+D del CTIA GROUP

CTIA GROUP ha completado las siguientes investigaciones en el campo de los materiales compuestos funcionales basados en tungstato:

- Establecer una plataforma de procesamiento de material híbrido de tungstato (capacidad de producción de prueba anual de 50 toneladas);
- Se formaron tres series principales que incluyen "materiales de película transparente basados en tungstato", "electrodos flexibles WC" y "catalizadores sinérgicos W/MOF";
- Co-construir el "Laboratorio conjunto de recubrimiento inteligente con ácido de tungsteno" con universidades para desarrollar sistemas funcionales de autorreparación electrocrómicos y antibacterianos;
- La película compuesta " $\text{WO}_3/\text{PPy}/\text{PVA}$ " desarrollada se ha probado con éxito en el proyecto de vidrio con oscurecimiento inteligente.

VI. Resumen

Los materiales y compuestos funcionales a base de ácido de tungsteno se están convirtiendo en una rama importante del nuevo sistema de materiales gracias a su singular estructura electrónica, sus diversas propiedades ajustables y su excelente compatibilidad con los compuestos. Gracias al diseño de compuestos, la regulación multiescala y la sinergia de rendimiento, el ácido de tungsteno no solo sirve como precursor de reacciones, sino que también desempeña un papel fundamental como material básico estratégico en numerosas tecnologías de vanguardia, como el almacenamiento de energía, la detección, la catálisis y los dispositivos optoelectrónicos. En el futuro, los sistemas compuestos a base de ácido de tungsteno seguirán desarrollándose hacia la integración multifuncional, la inteligencia ecológica y la alta integración.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.5 Síntesis de precursores de óxido de tungsteno de alta valencia con participación de ácido túngstico

Los óxidos de tungsteno estequiométricos son una clase de óxidos de tungsteno no estequiométricos, ricos en defectos, con importantes propiedades electrocrómicas, de conversión fototérmica, electrocatálisis, almacenamiento de energía y detección. Entre los ejemplos típicos se incluyen $W_{18}O_{49}$, $W_{20}O_{58}$, $W_{25}O_{73}$, etc., que presentan un comportamiento electrónico más rico, mayor densidad de vacantes de oxígeno y mejor actividad electroquímica que WO_3 .

El ácido de tungsteno (H_2WO_4) es una materia prima importante para la fabricación de estos precursores de óxido de tungsteno de alta valencia debido a su alto grado de hidratación, alta reactividad y fácil control de su morfología y estructura. Mediante una regulación racional del tratamiento térmico, la atmósfera reductora, los ligandos precursores y las condiciones de reacción del ácido de tungsteno, se puede lograr un control preciso de la composición, la morfología y las características redox de la fase del producto.

一、 Estructura básica y características del óxido de tungsteno de alta valencia

1. Fórmula química y características estructurales

nombre	fórmula general	Relación oxígeno/tungsteno	Estructura de características
$W_{18}O_{49}$	$WO_{2.72}$	2.72	Estructura adaptada deficiente en oxígeno, las vacantes de O están altamente ordenadas
$W_{20}O_{58}$	$WO_{2.9}$	2.90	Intercalación de cadenas de vacantes entre redes, excelente conductividad
Agua ₂₅ Agua ₇₃	$WO_{2.92}$	2.92	Similar a WO_3 , con valencia mixta W^{5+} / W^{6+}
Nanocintas/cables W_xO_y	No estequiométrico	2.6–2.95	Generalmente cristales individuales o fragmentos de defectos ordenados.

Estas estructuras son ricas en W con altas concentraciones de vacantes de oxígeno y su conductividad eléctrica se puede mejorar en 1 o 2 órdenes de magnitud mientras mantienen una amplia ventana de respuesta óptica.

2. Indicadores clave de rendimiento

actuación	Rango numérico	contraste
Conductividad	$10^{-3} - 10^{-1}$ S/cm	Superior a WO_3 ($10^{-6} - 10^{-7}$ S/cm)
Banda prohibida	2,1–2,5 eV	Respuesta a la luz visible significativamente mejorada
Densidad de vacantes de oxígeno	$>10^{21}$ cm ⁻³	Mejorar las tasas de electrocatálisis y transporte de iones

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Absorción de luz	$\lambda = 400\text{--}800\text{ nm}$	Se produce resonancia plasmónica superficial
------------------	---------------------------------------	--

2. Ventajas del ácido túngstico como precursor

El ácido túngstico tiene las siguientes ventajas clave en la síntesis de óxidos de tungsteno de alta valencia:

característica	Actuación
Fuerte reactividad	La estructura contiene agua y grupos hidroxilo densos, que son fáciles de descomponer térmicamente y de realizar la transición de fase.
Forma de cristal controlable	Se pueden obtener diferentes formas cristalinas mediante regulación del pH y la hidrotermia.
Capacidad de intercambio iónico	Formación de estructuras intermedias con carbono, metal y ligando.
Alta dispersabilidad	Ayuda a controlar el tamaño de las partículas de óxido y la formación de defectos.
Dopabilidad	Se pueden introducir Cu, Ni, Mo, etc. in situ para mejorar la actividad eléctrica.

3. Vías de síntesis típicas y puntos de control clave

1. Pirólisis controlada por atmósfera

El ácido túngstico se calienta en una atmósfera controlada para lograr la conversión de $\text{H}_2\text{WO}_4 \rightarrow \text{Conversión de } \text{W}_x\text{O}_y$.

paso	condición	resultado
Pretratamiento de secado	80–100 °C	agua libre para formar $\text{WO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$
Etapas de tratamiento térmico	400–600 °C ($\text{N}_2/\text{H}_2/\text{Ar}$)	Conseguir $\text{WO}_3 \rightarrow \text{W}_{18}\text{O}_{49}$ etc.
Control de la atmósfera	Atmósfera ligeramente reductora (5–10% H_2)	Preservar algún estado W^{5+}
Método de enfriamiento	Enfriamiento rápido	Inhibición de la reformación de W^{6+}

Los equipos comúnmente utilizados incluyen horno tubular, horno de vacío, horno de atmósfera de plasma, etc.

2. Método de reducción hidrotermal

- Introducción de agentes reductores (por ejemplo, ácido cítrico, glucosa, alcohol) en reacciones hidrotermales;
- Reaccionar en condiciones suaves (180–220 °C) durante 12–24 horas;
- Se pueden obtener nanocables, láminas, varillas, etc. de $\text{W}_{18}\text{O}_{49}$;
- La proporción de vacantes de oxígeno se puede ajustar controlando la concentración del precursor y el pH de la reacción.

3. Método asistido por ligando orgánico

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Formación de intermedios complejantes a través de polietilenglicol (PEG), polivinilpirrolidona (PVP), etc.;
- Mejorar la dispersabilidad de partículas y controlar el crecimiento de los cristales;
- El tratamiento térmico posterior o el craqueo en atmósfera inerte permiten obtener el óxido objetivo.

4. Métodos de control y caracterización estructural

Parámetros de control	Influencia	Métodos de caracterización
Temperatura del tratamiento térmico	Determinación de la relación oxígeno/tungsteno y la densidad de defectos	TG/DSC, difracción de rayos X
Tipo de atmósfera	Regulación de la relación W^{5+} / W^{6+}	XPS, EPR
Control de tiempo	Determina el tamaño y la morfología del grano.	Microscopía electrónica de barrido/transmisión térmica
Elementos de dopaje	propiedades electrocatalíticas o fotorresponsivas	ICP-MS, difracción de rayos X, FTIR

Las características estructurales típicas incluyen:

- **XRD** : muestra la división de los picos característicos de $W_{18}O_{49}$;
- **XPS** : W^{5+} representa entre el 30 y el 60 % en la región $W4f$;
- **TEM** : límites de cristales visibles y franjas de defectos;
- **UV- Vis** : El pico de absorción se desplaza a la región azul de la región de luz visible y la banda prohibida disminuye.

5. Ejemplos de aplicación y ventajas de rendimiento

1. Dispositivo electrocrómico (ECD)

- Comportamiento de intercalación de iones mejorado utilizando alta concentración de W^{5+} ;
- El $W_{18}O_{49}$ responde un 30 % más rápido que el WO_3 y tiene un aumento de dos veces en la vida útil del ciclo.

2. Materiales fotocatalíticos y fototérmicos

- Las vacantes de oxígeno promueven la separación electrón-hueco;
- Las nanocintas de $W_{18}O_{49}$ pueden lograr una degradación eficiente de contaminantes orgánicos bajo luz visible;
- Eficiencia de conversión fototérmica $> 60\%$, utilizado para terapia fototérmica o sistema de vapor solar.

3. Materiales de almacenamiento de energía electroquímica

- La capacitancia específica del electrodo $W_{18}O_{49}$ puede alcanzar 450 F/ g;
- es más del 30% mejor que WO_3 ;
- Después de combinarse con materiales de carbono, el rendimiento del ciclo mejora a más de 8.000 veces.

4. Sensores de gas y fotodetectores

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Las vacantes de oxígeno mejoran la adsorción y la transferencia de carga de las moléculas de gas;
- Se puede utilizar para la detección de baja concentración de NO₂, H₂S, etanol, etc.
- Exhibe excelentes características de fotorrespuesta en la región del infrarrojo cercano.

6. Dirección de investigación y producción piloto del GRUPO CTIA

CTIA GROUP ha llevado a cabo los siguientes trabajos en el desarrollo de óxidos de tungsteno de alto precio:

Construcción de plataformas	contenido
Camino de reacción	Establecer más de 9 rutas de síntesis controlables a partir del ácido túngstico
Biblioteca de morfología del producto terminado	Establecer 8 sistemas de control de morfología que incluyan nanobarras, láminas y alambres
Sistema material	Se lanzaron 3 tipos de lodos de electrodos compuestos basados en W ₁₈ O ₄₉ y materiales fototérmicos
Piloto de aplicación	Cooperar con los fabricantes de terminales para llevar a cabo la verificación de productos de electrodos electrocrómicos y de almacenamiento de energía.

El nivel de ingeniería de materiales de óxido de tungsteno de alta valencia se centra en la tecnología de control de vacantes de oxígeno, el mecanismo de dopaje in situ y la ruta de integración de dispositivos flexibles.

VII. Resumen

El ácido de tungsteno no solo es un precursor clásico del polvo de tungsteno y los materiales de óxido de tungsteno, sino también un material de plataforma clave en la síntesis precisa de óxidos de tungsteno de alta valencia. Mediante el control de su estructura, condiciones de reacción y mecanismo de transformación, el ácido de tungsteno puede lograr una evolución eficiente a óxidos de tungsteno ricos en defectos, como W₁₈O₄₉, lo que le confiere una mayor actividad electrónica y funciones multidimensionales. En el futuro, esta dirección desempeñará un papel estratégico más crucial en los campos de la energía inteligente, la protección ambiental, la fabricación avanzada, etc.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tungstic Acid Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Tungstic Acid Overview

The tungstic acid (tungsten trioxide hydrate, $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) produced by CTIA GROUP LTD is a high-purity yellow crystalline powder, manufactured using advanced precipitation and calcination processes. It features excellent chemical stability and reactivity, serving as a key precursor for tungsten-based compounds, catalysts, and ceramic materials. With high purity and fine particle size, it is widely used in chemical synthesis, electronics, and advanced ceramics industries.

2. Tungstic Acid Features

- Chemical Formula: $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Molecular Weight: 249.85
- Appearance: Yellow crystalline powder
- Melting Point: Decomposes $>100^\circ\text{C}$
- Density: 5.5 g/cm^3
- Stability: Stable under dry conditions, decomposes in water to form tungstate ions, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in catalyst preparation (selectivity $>95\%$), tungsten oxide synthesis, ceramic pigments

3. Tungstic Acid Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Solubility	Impurities (ppm)
Reagent Grade	≥ 99.9	1–10	Slightly soluble	$\text{Fe} \leq 10$, $\text{Na} \leq 5$, $\text{Si} \leq 10$
Industrial Grade	≥ 99.5	1–10	Slightly soluble	SO_4^{2-} main, trace elements
Technical Grade	≥ 98.5	1–10	Slightly soluble	Minor oxide impurities allowed

4. Tungstic Acid Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and stability.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Crystal structure (XRD)
 - Solubility test (weight loss $<0.1\%$ in water)

5. Tungstic Acid Procurement Information

- Email: sales@chinatungsten.com
- Phone: +86 592 5129595
- Website: <http://tungstic-acid.com>

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Capítulo 6: Aplicación del ácido túngstico en la industria inorgánica

6.1 El papel del ácido túngstico en la cadena industrial de compuestos de tungsteno

El ácido túngstico (H_2WO_4) es un intermediario clave en la cadena industrial del tungsteno, que conecta los recursos primarios de tungsteno (APT, concentrado de tungsteno) con materiales de tungsteno de alto rendimiento (como óxido de tungsteno, polvo de tungsteno, aleación de tungsteno, tungstato, éster de tungstato y complejo orgánico de tungsteno). Como compuesto inorgánico de alta pureza, bien definido y reactivo, el ácido túngstico no solo se utiliza ampliamente en la preparación industrial, sino que también desempeña un papel fundamental en el desarrollo de nuevos materiales y la síntesis de derivados funcionalizados del tungsteno.

Esta sección explicará sistemáticamente las fuentes de materia prima, los procesos de preparación, las direcciones de los derivados del ácido de tungsteno en todo el ciclo de vida de los compuestos de tungsteno y su estado funcional en los nodos clave ascendentes y descendentes de la cadena industrial, demostrando su papel central como un "material puente para los productos químicos finos de tungsteno".

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Breve estructura y nodos centrales de la cadena industrial del tungsteno

La cadena de la industria del tungsteno generalmente se puede dividir en los siguientes cuatro niveles:

Niveles	Productos principales	Ruta del proceso	Representantes típicos
Río arriba	de tungsteno , wolframita, scheelita	Lixiviación, tostación, descomposición	WO ₃ , APTO
Centro de la corriente	Ácido túngstico, óxido intermedio	Hidrólisis ácida, cristalización, descomposición térmica.	H ₂ WO ₄ 、 WO _{2.9}
Río abajo	Materiales funcionales de tungsteno	Reducción, dopaje, composición	Polvo W, tungstato, recubrimiento
Terminal	productos de tungsteno	Moldeo, sinterización, aplicación.	Carburo cementado, materiales de electrodos, embalajes electrónicos

El ácido túngstico se encuentra en el centro de la corriente. Se puede preparar a partir de APT y también se puede utilizar como precursor de WO₃ , tungsteno metálico y productos químicos de tungsteno. Es un material indispensable que conecta las fases de flujo ascendente y descendente.

2. Ruta de preparación y adaptabilidad de la materia prima del ácido túngstico

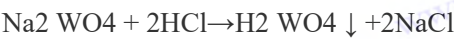
1. Fuente de materias primas

El ácido túngstico se obtiene principalmente por acidólisis de APT (ácido tungstato) o neutralización del tungstato de sodio. Sus reacciones principales incluyen:

Método de hidrólisis ácida APT :



Na₂WO₄ reacciona con un ácido fuerte :



2. Características de la ruta del proceso

- Puede realizar un control continuo y una preparación de alta pureza;
- La forma del cristal y el tamaño de las partículas se pueden controlar con precisión ajustando el pH, la temperatura de reacción y el tiempo de envejecimiento;
- Diseño de dopaje/modificación/precursor fácil de realizar para satisfacer diversas necesidades de derivados.

Actualmente, CTIA GROUP ha establecido una línea de producción de ácido túngstico con una producción anual de más de 1.500 toneladas, que puede producir ácido túngstico de grado industrial, de grado electrónico, ultrafino, nano-túngstico y otras series de productos para cumplir con los estándares de proceso de diferentes campos posteriores.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Dirección de derivados aguas abajo y extensión de la cadena industrial del ácido tungstico

El ácido tungstico es la "matriz original" de la mayoría de los productos compuestos de tungsteno, y sus direcciones derivadas incluyen:

Clase derivada	Productos típicos	Áreas de aplicación
Óxido de tungsteno	WO ₃ , WO _{2.9} , W ₁₈ O ₄₉	Dispositivos de almacenamiento de energía, dispositivos electrocrómicos, sensores de gas.
Metal de tungsteno	Polvo W, partículas W, nano tungsteno	Metal de alta densidad, industria militar, aeroespacial.
Tungstato	Na ₂ WO ₄ , CaWO ₄ , CuWO ₄	Materiales luminiscentes, cerámicas funcionales
Compuestos orgánicos de tungsteno	W(CO) ₆ , éster de tungstato	Catálisis homogénea, síntesis orgánica
complejo de tungstato	Poliácido, materiales híbridos	Catalizadores, materiales de electrodos

Los centros activos estructurales del ácido tungstico (W=O, W–OH) y su comportamiento controlable en agua cristalina lo hacen reactivo y estable en estas reacciones de conversión, lo que lo convierte en una fuente de tungsteno integral altamente rentable.

4. La “función central” del ácido tungstico en la cadena industrial

1. Proporcionar una base diversa de precursores para la fase final

El ácido de tungsteno se puede convertir en WO₃ (óxido de tungsteno), WO_{2.9} (óxido de tungsteno azul) y polvo W (tungsteno metálico) a través de diferentes atmósferas y temperaturas de tratamiento térmico, logrando el objetivo de "estructura ajustable, forma cristalina seleccionable y morfología controlable".

2. Punto de partida ideal para la construcción de catalizadores y óxidos de alto rendimiento.

En la síntesis de sistemas inorgánicos de alto rendimiento como metatungstatos , heteropoliácidos y fotocatalizadores, el ácido tungstico se usa ampliamente para construir estructuras de esqueleto complejas basadas en tungsteno debido a su alta reactividad y fuerte capacidad de coordinación con ligandos orgánicos o iones metálicos.

3. “Zona de amortiguación del proceso” que conecta aguas arriba y aguas abajo

El ácido tungstico puede equilibrar los problemas de pureza de APT y el desplazamiento redox de WO₃. Se utiliza como intermediario regulador en la producción real, por ejemplo, para preparar suspensiones de WO₃ de diferentes tamaños de partícula y homogeneizar la velocidad de la reacción de reducción del polvo de tungsteno.

4. Función de soporte de la plataforma de materiales multifuncionales

El propio ácido tungstico también se utiliza directamente para construir materiales compuestos, como:

- Película híbrida de ácido tungstico-PVA: electrocrómica;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Compuesto de ácido tungstico–CNT: electrodo flexible;
- Heterojunción ácido tungstico – TiO₂ : fotocátalisis.

V. Estado sinérgico y ventajas en la integración industrial

1. Fuertes capacidades de integración modular

El ácido de tungsteno, en forma sólida o en suspensión, es altamente adaptable y se puede incorporar directamente en módulos de productos de tungsteno existentes, como:

- Pulverización directa en forma de suspensión;
- Mezclado con resina orgánica para formar una película de electrodo;
- Participa en la reacción de co-cocción en la preparación cerámica.

2. Ventajas evidentes de la protección del medio ambiente verde

En comparación con el tratamiento APT o WO₃ de alta temperatura , el ácido tungstico tiene un bajo consumo de energía y baja corrosividad durante el proceso de preparación y conversión, y produce menos subproductos (como NH₄⁺) , lo que lo hace más adecuado para el desarrollo de una cadena industrial de tungsteno verde.

3. Nodos de seguridad de la cadena de suministro estratégica

El polvo de tungsteno ultrafino de alta pureza , el ácido tungstico, se ha convertido en un componente clave para la sustitución nacional y la seguridad de la materia prima para productos de tungsteno de alta gama. Su controlabilidad y alta adaptabilidad mejoran la resistencia a los riesgos de la cadena industrial.

VI. Práctica típica de la cadena industrial de ácido de tungsteno del GRUPO CTIA

Enlace	Contenido de implementación	Resultados
Manipulación de materias primas	APT → Optimización del proceso de conversión de ácido tungstico	Ácido tungstico de alta pureza (contenido W > 74,2 %)
Control de la forma cristalina	Diferentes procesos de envejecimiento controlan la morfología de los cristales.	Producción controlable de ácido tungstico en escamas, columnas y esferas.
Conexión descendente	Suspensión de tungstato → película de WO ₃ pulverizada → aplicación fotocromica	Realizar una línea de producción de películas integrada
negocio de exportación	El ácido tungstico se exporta a Japón, Estados Unidos, Alemania y otros países.	Se utiliza en el campo de los materiales luminiscentes y la cerámica electrónica.

VII. Resumen

El ácido tungstico, un material clave en la cadena industrial de compuestos de tungsteno, no solo desempeña un papel fundamental en la fabricación de polvo de tungsteno tradicional y aleaciones de tungsteno, sino que también amplía sus aplicaciones en materiales funcionales emergentes a base de tungsteno, catalizadores, recubrimientos electrónicos, etc., gracias a su excelente reactividad, adaptabilidad estructural y adaptabilidad de procesos. En el proceso de desarrollo de un sistema de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

materiales de tungsteno ecológico, de alto rendimiento e inteligente , el ácido túngstico seguirá desempeñando un papel fundamental como material de plataforma estratégico.

6.2 Aplicación del ácido túngstico en materiales luminiscentes

El ácido túngstico (H_2WO_4) y sus derivados tienen una amplia gama de aplicaciones en el campo de los materiales luminiscentes. Gracias a su singular estructura electrónica, amplia banda prohibida, buena cristalinidad y dopabilidad , el ácido túngstico y sus productos de conversión no solo son componentes importantes de los materiales de matriz de fósforo, sino que también ocupan un lugar en dispositivos ópticos de vanguardia como la electroluminiscencia, la fotoluminiscencia, los materiales de conversión de fluorescencia de rayos X y los cristales fotónicos.

A partir de las características estructurales de los materiales, esta sección explorará sistemáticamente el mecanismo de acción, los sistemas de materiales típicos, los métodos de preparación y las aplicaciones prácticas del ácido túngstico y sus complejos en materiales luminiscentes, centrándose en el desempeño del ácido túngstico en la luminiscencia por dopaje de tierras raras, activación de iones metálicos, respuesta ultravioleta y nanoóptica.

1. La base y el mecanismo del rendimiento luminiscente del ácido túngstico

1. Banda prohibida óptica y características de excitación

Los materiales de óxido de tungsteno (como las sales H_2WO_4 , WO_3 y WO_4^{2-}) tienen una amplia banda óptica prohibida (2,5-3,2 eV) y no tienen fuertes propiedades de luminiscencia por sí mismos, pero pueden ser estimulados para emitir respuestas de luminiscencia de diferentes longitudes de onda a través del dopaje, la introducción de defectos y la regulación estructural.

Sus propiedades de luminiscencia se derivan principalmente de los siguientes mecanismos:

tipo	describir
Transición de transferencia de carga (CT)	$^- \rightarrow \text{W}^{6+}$ en el octaedro WO_6 forma luminiscencia de banda prohibida
Luminiscencia por recombinación de excitones	Los estados de superficie, las vacantes de oxígeno, etc., conducen a la luminiscencia de unión de excitones.
Excitación del nivel de impurezas	Nuevo centro de luminiscencia de nivel energético introducido mediante dopaje con tierras raras o metales de transición

2. Relación entre la estructura y el centro de luminiscencia

El ácido túngstico está compuesto por unidades estructurales WO_6 , que forman diversas formas cristalinas (ortorrómbicas, monoclinicas, triclinicas, etc.) . La simetría y la distorsión de la estructura cristalina afectan directamente su estructura de bandas y su comportamiento luminiscente. Además, el dopaje iónico puede introducir niveles de energía localizados en su cristal, mejorando o ajustando significativamente su rendimiento luminiscente.

2. Tipos de materiales luminiscentes derivados del tungstato

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Materiales luminiscentes de tungstato dopado con tierras raras

se introducen iones de tierras raras (como Eu^{3+} , Tb^{3+} , Dy^{3+} , etc.) para construir el centro de luminiscencia.

- $\text{Na}_2\text{WO}_4:\text{Eu}^{3+}$: emisión de luz roja, adecuada para LED;
- $\text{CaWO}_4:\text{Tb}^{3+}$: Material fluorescente verde, utilizado en marcado y detección de seguridad;
- $\text{SrWO}_4:\text{Dy}^{3+}$: emisión de luz azul-blanca, adecuada para iluminación con luz blanca;
- $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3:\text{Sm}^{3+}$: utilizado en dispositivos electroluminiscentes.

Características y ventajas:

- Alta eficiencia de transferencia de energía ($\text{WO}_4^{2-} \rightarrow \text{RE}^{3+}$);
- Fuerte estabilidad, adecuado para iluminación de largo plazo y embalaje de dispositivos;
- Puede realizar regulación multibanda y diseño de luminiscencia de tres colores primarios.

2. Vidrio y cerámica luminiscentes a base de tungstato

Tungstatos (como PbWO_4 , CaWO_4) se pueden utilizar como materiales de matriz de vidrio luminiscente de alta densidad y alto índice de refracción.

- **Cristal de tungstato de plomo (PbWO_4)**:
 - o Tiene una excelente eficiencia de conversión de rayos X;
 - o Se utiliza en detectores de física de alta energía y sistemas de inspección de seguridad;
 - o El pico de emisión suele estar entre 420 y 500 nm;
- **de vidrio $\text{WO}_3 - \text{P}_2\text{O}_5 - \text{B}_2\text{O}_3$** :
 - o El dopaje con Eu^{3+} y Er^{3+} puede formar vidrio luminiscente rojo/verde;
 - o Se puede utilizar en láseres y amplificadores de infrarrojo cercano.

3. Puntos cuánticos compuestos de tungstato y materiales nanoluminiscentes

ácido tungstico con CdS , El ZnO , los puntos cuánticos de carbono y otros materiales pueden mejorar la eficiencia luminosa y la estabilidad.

- **cuánticos compuestos WO_3/CdS** : tienen una banda de luminiscencia más amplia;
- **Puntos cuánticos de WO_3 /grafeno**: emisión de luz azul mejorada, adecuada para el etiquetado de fluorescencia biológica;
- **Estructura de núcleo-capa revestida de tungstato**: estabilidad de fluorescencia mejorada y comportamiento de emisión controlable.

3. Proceso de preparación de materiales luminiscentes a base de tungstato

1. Método de reacción en fase sólida

- Adecuado para preparar grandes cantidades de tungstato cristalino;
- Generalmente requiere calcinación a alta temperatura (600–1000 °C);
- Es adecuado para preparar $\text{CaWO}_4:\text{RE}^{3+}$ y otros cuerpos luminiscentes densamente estructurados.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Método hidrotermal y método de coprecipitación

- Sintetizar materiales luminiscentes a escala nanométrica, de baja temperatura, alta cristalinidad y tamaño controlable;
- Controlando parámetros como el pH, la temperatura y el tiempo se pueden lograr microesferas monodispersas o estructuras en escamas.

3. Métodos sol-gel y de fusión de vidrio

- Aplicable a materiales de vidrio y película luminosos;
- Los iones de tierras raras o los puntos cuánticos se pueden dopar para lograr una función de luminiscencia multimodo.

4. Pirólisis por pulverización atomizada

- Se utiliza para la preparación a gran escala de fósforos esféricos;
- Las partículas tienen una morfología uniforme y son adecuadas para recubrimientos de iluminación y empaquetado de chips LED.

4. Control del rendimiento y ejemplos de aplicación

Parámetros de control	Efecto sobre el rendimiento de la luminiscencia	Ejemplos de aplicación
Concentración de dopaje	Modificación de la intensidad luminosa y la vida útil luminosa	Eu ³⁺ La concentración óptima es de aproximadamente 3–5 mol%
Forma cristalina	Diferentes formas cristalinas afectan la estructura de la banda.	El tungstato de fase ortogonal tiene una mayor eficiencia de luminiscencia.
Regulación estatal defectuosa	Las vacantes de oxígeno inducen nuevos centros de luminiscencia.	W ₁₈ O ₄₉ emite luz azul
Tamaño de partícula	La nanoescala aumenta el área de superficie y la eficiencia de excitación	Etiqueta fluorescente de nano-CaWO ₄

Casos de aplicación típicos:

- **Fósforo LED** : WO₄²⁻ :Eu³⁺ El polvo de luz roja se puede utilizar para LED de luz blanca;
- **Materiales de conversión de rayos X** : Los cristales de PbWO₄ se utilizan en experimentos de física de alta energía;
- **Sonda fluorescente** : las nanopartículas de WO₃ se pueden utilizar como sondas fluorescentes celulares después de la modificación;
- **Materiales reflectantes y anti-falsificación** : Los luminóforos de tungstato se utilizan en tintas anti-falsificación para certificados y monedas.

5. Práctica de I+D de materiales luminiscentes del CTIA GROUP

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP ha construido el siguiente sistema de I+D en torno a materiales luminiscentes basados en ácido de tungsteno:

Módulos	Contenido específico
Garantía de materia prima	Proporcionar H ₂ WO ₄ y Na ₂ WO ₄ de grado electrónico de alta pureza ;
I+D de compuestos	Establecer una base de datos de materiales de tungstato dopado con RE ³⁺ ;
Sistema de proceso	Realizar la preparación a gran escala de tungstato luminiscente mediante el método hidrotermal de baja temperatura;
Aterrizaje de la aplicación	Cooperar con fábricas de embalaje LED nacionales para desarrollar un sistema fluorescente de tres colores regulable;
Tecnología patentada	La película de fósforo rojo/azul basada en tungstato ya tiene cinco patentes de invención principales.

VI. Resumen

La aplicación del ácido túngstico y sus derivados en materiales luminiscentes no solo proporciona a los materiales de matriz un rendimiento superior y una estructura estable para tecnologías optoelectrónicas como LED, láser y detección de fluorescencia, sino que también muestra un valor único en campos emergentes como la nanofotónica , la bioimagen y la detección de rayos X. A través de la ingeniería de cristales, la regulación del dopaje y el diseño de compuestos multiescala, los materiales luminiscentes basados en ácido túngstico se están convirtiendo en una importante plataforma de soporte en sistemas de materiales fotónicos inorgánicos de alto rendimiento.

6.3 Ácido túngstico para materias primas cerámicas de alto rendimiento

Con el desarrollo de la fabricación avanzada, los entornos de servicio extremos y la tecnología de materiales funcionales, se imponen mayores requisitos de rendimiento para los materiales cerámicos. El ácido túngstico (H₂WO₄) y sus derivados se utilizan ampliamente en sistemas cerámicos de alto rendimiento gracias a su excelente estabilidad térmica, alto punto de fusión, alta densidad y buena reactividad. Pueden emplearse como materia prima principal de cerámicas funcionales y como modificadores estructurales o dopantes para materiales compuestos cerámicos.

Esta sección presentará sistemáticamente el mecanismo de acción, la dirección de aplicación, el sistema de composición y la tecnología de preparación del ácido túngstico como materia prima cerámica. En combinación con las prácticas de I+D de CTIA GROUP, analizará en profundidad su contribución material y su valor industrial en campos clave como la cerámica electrónica, la cerámica estructural y la cerámica láser, entre otros.

1. Las ventajas intrínsecas del ácido túngstico en las materias primas cerámicas

propiedad	Síntomas	Contribución a la cerámica
Alto punto de fusión	conversión a WO ₃ , el punto de fusión es 1473°C	Impartir estabilidad a altas temperaturas a la cerámica

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Fuerte actividad de reacción	Reacciona fácilmente con elementos alcalinotérreos y de tierras raras para formar sales.	Facilita la síntesis de reacciones en fase sólida.
Densidad alta	Densidad teórica: aproximadamente 7,1 g/cm ³	Adecuado para la fabricación de cerámica estructural de alta densidad.
Estructura de cristal ajustable	Morfología polimórfica y controlable	Adaptarse a diferentes requisitos de adaptación de red
Dopaje iónico	Se pueden introducir elementos como Cu, Y y La.	Realizar regulación y modificación funcional
Tamaño de partícula controlable	Admite distribución de escala nanométrica a micrométrica	Optimización de la sinterización y la densidad de la cerámica

2. Instrucciones de aplicación y sistemas típicos de materiales cerámicos

1. El ácido túngstico se utiliza en cerámicas funcionales.

- **Cerámica dieléctrica :**
 - o Sistemas típicos: CaWO_4 , BaWO_4 ;
 - o Se utiliza en dieléctricos de microondas, cerámicas de condensadores y resonadores dieléctricos;
 - o El ácido túngstico es su precursor clave, que forma cerámicas compuestas después de la reacción en fase sólida con CaCO_3 , BaCO_3 , etc.
- **Cerámica piezoelectrica :**
 - o Se introduce ácido de tungsteno para regular la rigidez reticular y el comportamiento de polarización de la cerámica;
 - o Por ejemplo, $\text{K}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{NbO}_3\text{-WO}_3$ es un material piezoelectrico sin plomo ;
 - o El ácido túngstico mejora la constante dieléctrica y las propiedades electrostrictivas .

2. El ácido túngstico se utiliza en cerámica estructural.

- **Cerámica de alúmina reforzada con ácido túngstico :**
 - o Mejorar la conductividad térmica y la tenacidad a la fractura;
 - o para formar un límite de fase sinérgico $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--WO}_3$;
 - o Adecuado para dispositivos resistentes al desgaste y al calor .
- **Cerámica compuesta de ZrO_2 y WO_3 :**
 - o El ácido túngstico participa en la formación de una distribución uniforme de la segunda fase;
 - o Mejora la resistencia al choque térmico y la resistencia a la corrosión.

3. Cerámica láser y cerámica de centelleo

- Los tungstatos como PbWO_4 y CaWO_4 son los materiales básicos para las cerámicas sensibles a los rayos X;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Las cerámicas transparentes de la serie W tienen una excelente eficiencia de conversión fotoeléctrica;
- Los iones de tierras raras se pueden dopar para construir matrices cerámicas excitadas por láser.

4. Materiales compuestos nanocerámicos

- Se introduce ácido tungstico en forma de nanopartículas para inhibir el crecimiento del grano;
- Acelerar la velocidad de sinterización, mejorar la densidad y las propiedades mecánicas;
- sistemas cerámicos de estructura compuesta de Si_3N_4 , BN, TiO_2 .

3. Métodos típicos de preparación y puntos técnicos

método	Descripción del proceso	Ventajas
Método de reacción en fase sólida	Mezcla de ácido tungstico + carbonato u óxido, tostado a alta temperatura	Tecnología madura, bajo costo
Método Sol-Gel	hidrólisis de ácido tungstico y alcóxido metálico	Nanoestructura controlable y composición uniforme
Coprecipitación	El ácido tungstico participa en la coprecipitación de iones metálicos y la presinterización a baja temperatura.	Buena dispersabilidad, adecuado para preparación por lotes.
Secado por aerogel/aspersión	Obtener precursor de tungstato esférico para mejorar la formabilidad	Para cerámica moldeada por inyección de alto rendimiento

Puntos de sinterización:

- Temperatura de sinterización: 1000–1350 °C (dependiendo del sistema de materiales);
- Control de atmósfera: aire, nitrógeno, atmósfera ligeramente reductora;
- Densidad cerámica: >95% de la densidad teórica es el requisito de ingeniería;
- Auxiliares de sinterización: Li_2O , Se pueden introducir ZnO , etc. para ayudar a la sinterización.

4. Mejora del rendimiento y ventajas de ingeniería

Después de introducir ácido tungstico en los materiales cerámicos, se pueden mejorar eficazmente las siguientes propiedades:

proyecto	Dirección de mejora	Descripción del efecto
Estabilidad térmica	Mejorar el punto de fusión y la conductividad térmica.	Temperatura de uso continuo >1000 °C
Propiedades eléctricas	Control de la constante dieléctrica y el valor Q	$Q \times f$ aumentó entre un 20 y un 60 %
Resistencia mecánica	Mejorar la tenacidad a la fractura	Cerámica estructural mejorada El valor KIC aumentó a 8–10 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Rendimiento óptico	Transparencia y mejora de la respuesta del láser	Materiales de sustrato cerámico para láser
Resistencia a la corrosión	La red de oxígeno de tungsteno superficial inhibe la corrosión ácida y alcalina.	Se aplica a la cerámica de revestimiento de reactores químicos.

5. Escenarios de aplicación típicos y casos reales de productos

Áreas de aplicación	Materiales típicos	Indicadores de desempeño
Cerámica dieléctrica de microondas	BaWO ₄ , CaWO ₄	ε = 6–9, Q×f > 10000
Cerámica de detección médica/nuclear	PbWO ₄	Salida de luz > 60% NaI:Tl , fuerte resistencia a la radiación
Revestimiento cerámico resistente al desgaste	ZrO ₂ –WO ₃	Dureza > 12 GPa , bajo coeficiente de fricción
Cerámica amplificadora de láser	La ₂ (WO ₄) ₃ :Nd ³⁺	Potencia de salida láser estable y alta conductividad térmica.
Cerámica de ventana infrarroja	Cerámica transparente a base de MgO–WO ₃	Transmitancia infrarroja > 75%, adecuada para dispositivos ópticos aeroespaciales

VI. GRUPO CTIA Tecnología y Avances de la Industrialización

CTIA GROUP ha formado una cadena de suministro estable y una variedad de modelos personalizados en el desarrollo de materias primas cerámicas de tungstato:

proyecto	Resultados
Gama de productos	Ácido túngstico de tamaño micrométrico, ácido túngstico de tamaño nanométrico, ácido túngstico esférico ultrafino
Compatibilidad cerámica	Compatibilidad de sinterización con ZrO ₂ , Al ₂ O ₃ , Sistemas de TiO ₂ > 90 %
Casos de cooperación	3 – Cerámica para herramientas compuestas de Si ₃ N ₄ con muchas fábricas de cerámica nacionales
Plataforma de procesos	Establecer una línea de prueba de sinterización de hidrógeno/nitrógeno para cumplir con los requisitos de atmósfera de cerámicas especiales
Dirección de salida	El polvo de ácido de tungsteno para cerámica se ha vendido a Japón, Corea del Sur y Alemania, y se utiliza principalmente para sustratos cerámicos eléctricos y rellenos de vidrio óptico.

VII. Resumen

Como materia prima importante para la cerámica de alto rendimiento, el ácido túngstico no solo presenta importantes ventajas en los campos de la cerámica estructural, funcional y especial, sino que su excelente compatibilidad con los procesos y su potencial de modificación lo convierten en una sustancia estratégica en la investigación y el desarrollo de nuevos materiales cerámicos. A medida que los materiales cerámicos evolucionan de duraderos a funcionales e inteligentes, el ácido

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

túngstico desempeñará un papel cada vez más importante en el sistema cerámico integrado de alta densidad, alta conductividad térmica y alta funcionalidad.

6.4 El papel del ácido túngstico como precursor en materiales de recubrimiento resistentes al calor y a la corrosión

El ácido de tungsteno (H_2WO_4) es un compuesto fuente de tungsteno con una estructura estable, alta reactividad y convertibilidad a diversos estados de oxidación. Ha demostrado ser un precursor importante en el campo de los materiales de recubrimiento, especialmente en la resistencia a la oxidación a altas temperaturas, la protección contra la corrosión y los sistemas de recubrimiento en entornos de servicio extremos. Gracias a su fácil pirólisis en óxidos de tungsteno de alto rendimiento como WO_3 y $W_{18}O_{49}$, el ácido de tungsteno se ha convertido en una materia prima indispensable para recubrimientos funcionales avanzados.

Esta sección se centrará en el papel de aplicación del ácido de tungsteno en recubrimientos de alta temperatura, recubrimientos cerámicos rociados con plasma, recubrimientos anticorrosivos químicos y recubrimientos protectores optoelectrónicos, analizará su mecanismo de reacción del material, la trayectoria del proceso de formación y su contribución al rendimiento, y combinará los casos prácticos de CTIA GROUP para demostrar su importancia industrial como precursor estratégico.

1. Requisitos básicos de los materiales de recubrimiento y compatibilidad del ácido túngstico

Los materiales de recubrimiento modernos, especialmente en los campos de la industria aeroespacial, la industria nuclear, la metalurgia, la fabricación de alta gama, etc., imponen requisitos estrictos en cuanto a la resistencia al calor , resistencia a la corrosión , Densidad estructural y multifuncionalidad de los materiales . El ácido túngstico, como precursor, puede transformarse en una película densa de WO_3 , un compuesto de WOM (metal) de alta estabilidad o un recubrimiento cerámico poroso a base de W para satisfacer las siguientes necesidades de ingeniería:

Requisitos clave	Efecto precursor del tungstato
Antioxidación a alta temperatura	Después de la descomposición, se forma WO_3 / WO_2 . La capa protectora bloquea la difusión de O_2 .
Ambiente corrosivo ácido/alcalino fuerte	El recubrimiento de tungstato tiene capacidad de pasivación química.
Calefacción eléctrica doble protección	La transición de estado W^{5+} / W^{6+} mejora las propiedades de blindaje electrónico y térmico
Coincidencia estructural	Produce recubrimientos bien adherentes en una variedad de sustratos.
Compatibilidad de películas	Se pueden formar películas delgadas mediante sol-gel, pulverización y ablación.

2. Tipos y características de los sistemas de recubrimiento derivados del ácido túngstico

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Recubrimiento protector resistente al calor de óxido de tungsteno (WO_3)

- La descomposición térmica de H_2WO_4 puede formar directamente una película uniforme de WO_3 ;
- Tiene buena estabilidad térmica y resistencia a la oxidación en el rango de temperatura de 600-800 °C;
- Se puede utilizar solo o como “capa de unión” para revestimientos cerámicos.

Características y ventajas:

- Alta densidad y buena compacidad;
- La estructura del ion W^{6+} es estable y eléctricamente neutra;
- Puede reducirse aún más para formar una película protectora conductora.

2. Recubrimiento compuesto de óxido metálico y ácido de tungsteno (W-MO_x)

- Mezclar ácido túngstico con TiO_2 , ZrO_2 , SiO_2 , CeO_2 , etc. ;
- Utilizando estructuras sinérgicas para formar recubrimientos cerámicos compuestos;
- Puede mejorar significativamente el efecto de barrera térmica y la resistencia a la corrosión ácida y alcalina.

Estructura típica: $\text{WO}_3 - \text{ZrO}_2$, $\text{WO}_3 - \text{SiO}_2$, capa compuesta de W-Ti .

3. Recubrimiento vitrificado de tungstato

- El ácido túngstico es eutéctico con el precursor del vidrio (B_2O_3 , P_2O_5 , etc.) ;
- Después de la formación de la película, tiene transparencia, alta dureza y resistencia química;
- Se utiliza para películas protectoras fotoeléctricas y revestimientos de blindaje.

4. Recubrimiento protector electrocrómico

- Los materiales a base de tungstato tienen buenas propiedades electrocrómicas;
- Se utiliza para atenuación, control térmico y vidrio antirreflejo;
- Se puede lograr un ajuste dinámico de la resistencia térmica/reflexión óptica.

3. Método de preparación y proceso de formación de película.

1. Sol-Gel

- El ácido túngstico, los alcoholes y los agentes complejantes forman un sol uniforme;
- El recubrimiento, el secado y el tratamiento térmico forman una capa densa;
- Adecuado para sustratos de vidrio, cerámica y metal.

2. Método de descomposición térmica

- Calentar (300–600 °C) directamente después del recubrimiento con ácido túngstico;
- Transformado en capa WO_3 ;
- Adecuado para escenarios de antioxidación de bajo costo.

3. Pulverización de plasma

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Pretratamiento de polvo de ácido tungstico en suspensión pulverizable;
- Pulverización a alta temperatura para formar un revestimiento cerámico;
- Ampliamente utilizado en álabes de motores aeroespaciales y componentes de reactores nucleares.

4. Pulverización electrostática/recubrimiento por centrifugación

- Adecuado para películas transparentes de áreas grandes;
- Buena uniformidad de película y bajo costo;
- Fuerte compatibilidad con electrodos flexibles y dispositivos fotovoltaicos.

4. Rendimiento e indicadores clave

índice	alcance	ilustrar
Temperatura resistente al calor	800–1100 °C	WO ₃ tiene una alta tasa de retención de estructura de estabilidad.
Resistencia a ácidos y álcalis	pH 2–12 estable	Buen mecanismo de protección de la capa de pasivación
Fuerza de adhesión	> 8 MPa (ASTM)	Buena adherencia, no se cae fácilmente.
Conductividad térmica	2,5–3,0 W/ m·K	Rendimiento de aislamiento térmico ajustable
Transmitancia de luz	> 70% (tipo película)	Se puede aplicar a recubrimientos de control térmico transparentes.

5. Áreas de aplicación típicas y casos de productos

1. Recubrimiento protector de alta temperatura

- Objetos de aplicación: carcasa de motor aeroespacial, componentes de turbinas de gas;
- Sistema de recubrimiento: recubrimiento en gradiente WO₃ – ZrO₂ / Al₂O₃;
- ⁴ ciclos de choque térmico a 1100° C.

2. Capa resistente a la corrosión de la industria química.

- Objetos de aplicación: revestimiento de torres de ácido sulfúrico , equipos cloro-álcali, torres de absorción de gases residuales;
- Sistema de recubrimiento: recubrimiento vitrificado W–Ti–Si;
- Rendimiento: Funcionamiento estable en ácido sulfúrico al 12% durante más de 5000 horas.

3. Recubrimiento funcional electroóptico

- Objetos de aplicación: vidrio arquitectónico, HUD de automóvil, ventanas inteligentes;
- Sistema de recubrimiento: recubrimiento compuesto de W–ITO–PVA con cambio de color;
- Rendimiento: El rango de ajuste de transmitancia en la región de luz visible es del 30% y el tiempo de respuesta es <2 s.

4. Industria nuclear y protección radiológica

- Objetos de aplicación: moderador de neutrones, pantalla de protección de alto Z;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Sistema de recubrimiento: recubrimiento de cobre y tungsteno compuesto de ácido de tungsteno;
- Rendimiento: Reduce eficazmente los rayos gamma y tiene una excelente resistencia a la corrosión por neutrones.

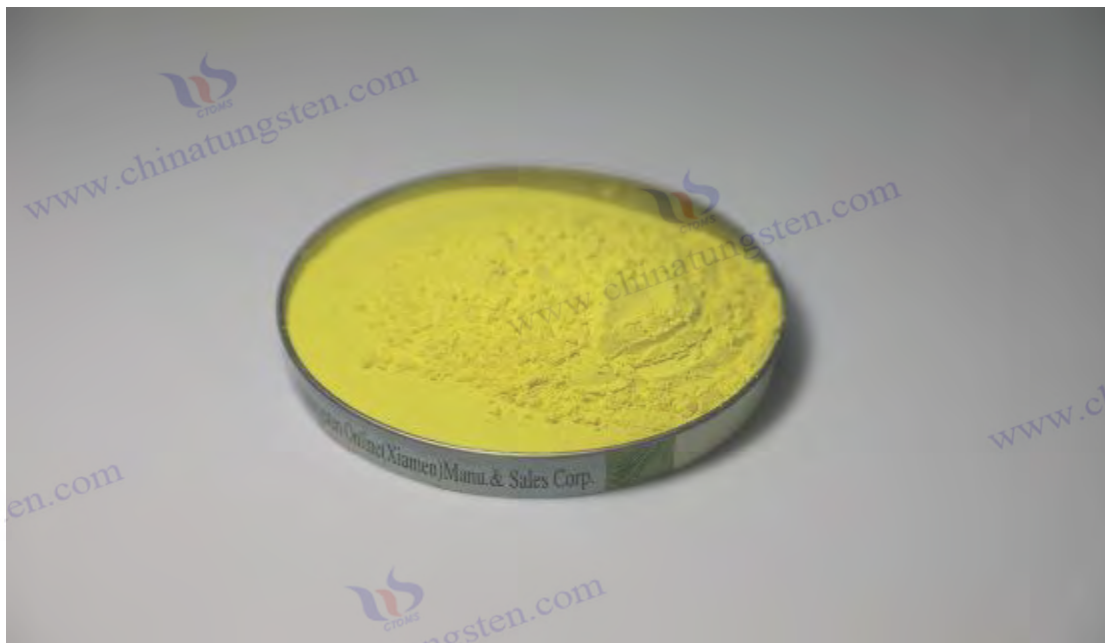
VI. Transformación de la práctica e ingeniería del CTIA GROUP

Módulos	Contenido de implementación	Logros de la industrialización
Sistema de material de recubrimiento	Polvo de ácido túngstico/tungstato de grado industrial desarrollado	Tamaño de partícula 200 nm–2 μm, adecuado para sistema de pulverización
Desarrollo de procesos	Establecer tres plataformas: recubrimiento por centrifugación, pirólisis y pulverización.	Admite recubrimiento multisustrato y tratamiento térmico.
Sistema de productos	Se lanza WO ₃ - Pasta protectora de alta temperatura TiO ₂ y polvo de vidrio de tungstato	Se aplica en la industria aeroespacial, en embalajes electrónicos y en equipos de reacción química.
Desarrollo de aplicaciones	Cooperar con fábricas de vidrio y fábricas de baterías para desarrollar recubrimientos transparentes.	Inicialmente se logró el suministro masivo y la exportación al exterior.

VII. Resumen

Como precursor, el ácido de tungsteno desempeña un papel fundamental en los sistemas de materiales de recubrimiento resistentes al calor y a la corrosión. No solo proporciona una barrera eficaz para condiciones extremas como altas temperaturas, corrosión y radiación, sino que también mejora la integración multifuncional de los materiales de recubrimiento mediante el diseño estructural y la ingeniería de compuestos. Gracias a su excelente adaptabilidad a los procesos y compatibilidad con los materiales, los recubrimientos de ácido de tungsteno se han utilizado ampliamente en los sectores aeroespacial, energético, químico, de la construcción y otros. En el futuro, seguirá ampliando sus horizontes de ingeniería y su valor industrial en materiales ecológicos, protección inteligente y fabricación de alta gama.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Capítulo 7: Aplicación del ácido túngstico en materiales funcionales y campos energéticos

7.1 Aplicación del ácido túngstico en materiales fotocatalíticos (degradación de contaminantes, etc.)

Los materiales fotocatalíticos son un tipo de materiales funcionales que pueden absorber la energía luminosa y convertirla en energía química. Se utilizan ampliamente en los campos de la degradación de contaminantes orgánicos, la purificación de agua, el tratamiento del aire, la protección antibacteriana y antiviral, y la descomposición fotocatalítica del agua para la producción de hidrógeno. El ácido túngstico (H_2WO_4) y sus derivados se han convertido en prometedores materiales de plataforma catalítica inorgánica en el campo de la fotocatálisis gracias a su excelente estructura de banda prohibida óptica, su buen comportamiento como portador fotogenerado, sus propiedades químicas estables y su adaptabilidad estructural.

Esta sección presentará de manera exhaustiva las ventajas básicas de rendimiento del ácido túngstico como material fotocatalítico, el mecanismo de reacción fotocatalítica, las estrategias de modificación y composición, los casos de aplicación típicos, así como los puntos de investigación actuales y las direcciones de desarrollo futuras.

1. Fundamentos de las propiedades fotocatalíticas del ácido túngstico

1. Estructura de la banda y características de la fotorrespuesta

El ácido túngstico y sus derivados oxidados (como WO_3 , $\text{W}_{18}\text{O}_{49}$) tienen propiedades semiconductoras de banda ancha:

Material	Banda prohibida (Ej.)	Rango de respuesta de la luz
----------	-----------------------	------------------------------

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

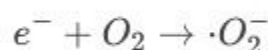
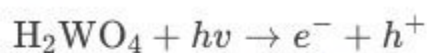
H_2WO_4	2,6–2,8 eV	Cerca de la región de luz ultravioleta a azul
WO_3	2,5–2,7 eV	UV a visible (<480 nm)
$\text{W}_{18}\text{O}_{49}$	2,3–2,6 eV	Respuesta mejorada a la luz visible

Estos rangos de banda prohibida les permiten absorber eficazmente porciones de alta energía del espectro solar, generar pares electrón-hueco e inducir reacciones redox.

2. Breve descripción del mecanismo catalítico

Las vías típicas de reacción fotocatalítica incluyen:

1. La excitación luminosa produce electrones (e^-) y huecos (h^+);
2. e^- participa en la reducción de O_2 para formar radicales superóxido ($\cdot\text{O}_2^-$), y h^+ participa en la oxidación del agua para formar radicales hidroxilo ($\cdot\text{OH}$);
3. Los radicales libres atacan a los contaminantes orgánicos y los degradan en CO_2 y H_2O .



2. Tipos y estrategias de modificación de materiales fotocatalíticos basados en tungstato

1. Control de la forma cristalina

Controlando el pH, la temperatura, los reactivos, etc., se pueden obtener diferentes formas cristalinas (ortorrómbicas, monoclinicas, triclinicas, etc.) de ácido túngstico, y su estructura cristalina afecta directamente el ancho de banda prohibida y la tasa de migración de carga.

- Fase ortogonal: alta tasa de transmisión y excelente rendimiento fotocatalítico;
- Fase monoclinica: adecuada para modificación compuesta y mejora de la respuesta a la luz.

2. Dopaje e ingeniería de defectos

- **Dopaje de metales** : como Ag^+ , Cu^{2+} , Fe^{3+} , etc., para construir niveles de energía de impurezas y expandir la absorción de luz;
- **Dopaje no metálico** : como N, S, C, etc., para mejorar la vida útil de los portadores fotogenerados;
- **Regulación de vacantes de oxígeno** : introducción de vacantes de O como centros activos de reacción para mejorar la actividad catalítica de la luz visible.

3. Construcción de materiales compuestos de heterounión

se pueden construir heterojunciones de tipo Z, tipo I y pn para mejorar la eficiencia de separación de carga:

- $\text{TiO}_2 / \text{H}_2\text{WO}_4$: Respuesta UV mejorada ;
- $\text{gC}_3\text{N}_4 / \text{WO}_3$: Construcción de un sistema catalítico tipo Z de luz visible ;
- $\text{BiVO}_4 / \text{WO}_3$: Mejora la eficiencia de oxidación del agua y la tasa de migración de electrones;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- $\text{WO}_3 / \text{Ag@AgCl}$: logrando una catálisis mejorada por resonancia plasmónica.

3. Áreas de aplicación práctica y rendimiento del material

1. Degradación de contaminantes orgánicos

- Los materiales de ácido tungstico pueden degradar eficazmente el naranja de metilo (MO), la rodamina B (RhB), el fenol, la tetraciclina, la epíclorhidrina, etc.
- La eficiencia de degradación puede alcanzar más del 90% bajo luz solar simulada o luz visible.
- El material tiene buena estabilidad y no hay una degradación significativa del rendimiento después de más de 5 ciclos.

2. Purificación de agua y tratamiento de aguas residuales

- de ácido tungstico – TiO_2 se utiliza ampliamente en el tratamiento de aguas residuales tintóreas;
- El recubrimiento Nano WO_3 es adecuado para el tratamiento de decoloración y incrustaciones antibiológicas en sistemas de agua circulante industriales;
- Se construye un reactor fotocatalítico de lecho fijo con carbón activado, zeolita, MOF y otras cargas.

3. Purificación del aire y control de COV

- El catalizador de ácido tungstico puede degradar contaminantes interiores como formaldehído, benceno y TVOC;
- Se aplica a filtros fotocatalíticos, revestimientos y materiales del núcleo de purificadores de aire;
- Se puede construir un sistema de respuesta a baja temperatura y baja intensidad de luz que sea adecuado para entornos con poca luz interior.

4. Recubrimiento superficial fotocatalítico antibacteriano

- Las películas fotocatalíticas basadas en tungstato liberan $\cdot\text{OH}$ y $\cdot\text{O}_2^-$ bajo luz visible, destruyendo las paredes celulares bacterianas;
- de Escherichia coli, Staphylococcus aureus y Candida albicans es superior al 99%;
- Se utiliza en entornos médicos y recubrimientos antibacterianos en superficies de contacto con el tráfico.

4. Sistemas de materiales representativos y datos de rendimiento

Sistema material	Tipo de fuente de luz	Objeto de degradación	Eficiencia de degradación
$\text{WO}_3 / \text{TiO}_2$	Luz UV+visible	RhB (20 mg/L)	>95% en 60 min
$\text{gC}_3\text{N}_4 / \text{WO}_3$	luz visible	Naranja de metilo	>90% en 90 min

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ag@WO ₃	Simulación de la luz solar	fenol	>85% en 120 min
Nanobarras de W ₁₈ O ₄₉	Fuente de luz LED	ciclopropilamina	>80% en 100 min
H ₂ WO ₄ / Carbón activado	Luz natural	DQO de aguas residuales orgánicas	Reducción del 70 al 85%

5. Avances en I+D de la tecnología del GRUPO CTIA

CTIA GROUP ha llevado a cabo una investigación sistemática sobre materiales fotocatalíticos basados en tungstato, cubriendo las siguientes dimensiones:

dirección	Contenido técnico	Logros de fase
Preparación del material	Síntesis en fase líquida a baja temperatura de ácido túngstico de alta superficie específica	La superficie del ácido túngstico en forma monocristalina puede alcanzar 125 m²/g.
Modificación estructural	Construcción de la heteroestructura gC ₃ N ₄ /WO ₃	de RhB aumentó en un 35%
Sistema de aplicación	Diseño de módulos de tratamiento de agua fotocatalíticos estáticos y dinámicos	Ya se encuentra en una línea de prueba de una fábrica de impresión y teñido en Fujian.
Desarrollo de productos	Lámina purificadora de aire recubierta de ácido túngstico desarrollada	Con función de esterilización de alta eficiencia, ciclo de vida estable> 300 horas

7.2 Avances en la investigación del ácido túngstico en materiales de almacenamiento de energía (supercondensadores, baterías)

En el contexto de la lucha contra la crisis energética y el desarrollo de tecnologías de energía verde, el desarrollo de materiales de almacenamiento de energía se ha convertido en una importante frontera de la tecnología energética. El ácido túngstico (H₂WO₄) ha atraído gran atención en los últimos años en campos de almacenamiento de energía como supercondensadores y materiales de electrodos para baterías, debido a su buena reversibilidad electroquímica, diversidad estructural, ricos centros activos redox y alto potencial de capacitancia específica.

Esta sección se centrará en el mecanismo de acción, el método de síntesis, la estrategia de modificación y los escenarios de aplicación del ácido túngstico y sus derivados oxidados en materiales de almacenamiento de energía. Combinando los últimos resultados de investigación con el progreso práctico del CTIA GROUP, se presentarán sus perspectivas de desarrollo en sistemas modernos de almacenamiento de energía.

1. Propiedades básicas del ácido túngstico para materiales de almacenamiento de energía.

característica	Actuación	Función de almacenamiento de energía
Comportamiento redox reversible	W ⁶⁺ ↔ W ⁵⁺ ↔ W ⁴⁺	Proporciona respuesta pseudocapacitiva o de capacitancia.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Estructura polimórfica	Monoclínico, triclinico, ortogonal, etc.	Regular los canales de difusión de iones
Alta capacitancia específica teórica	>700 F/g (teórico)	Para el desarrollo de materiales para supercondensadores
Estabilidad estructural	WO ₃ / H ₂ WO ₄ alta temperatura de descomposición	Adecuado para sistemas de ventanas de alto voltaje.
Buena compatibilidad de electrodos	Fuertes propiedades compuestas con carbono, polímeros conductores, etc.	Favorable para la construcción de interfaces y la migración de electrones.

2. Aplicación del ácido tungstico y sus derivados en supercondensadores

Los supercondensadores (SC) son dispositivos de almacenamiento de energía que utilizan la acumulación de carga superficial y reacciones pseudocapacitivas como mecanismos de almacenamiento. Los materiales de tungstato desempeñan un papel fundamental en los dispositivos pseudocapacitivos debido a que su proceso de conversión W^{6+} / W^{5+} puede participar en una reacción faradaica rápida y reversible.

1. Sistema material y rendimiento

Sistema material	Método de síntesis	Rendimiento del condensador
Nanohojas de H ₂ WO ₄	Método hidrotermal	410 F/g (0,5 A/g)
Nanobarras de WO ₃	Método Sol-Gel	515 F/g (1 A/g)
Nanocables de W ₁₈ O ₄₉	Pirólisis + Ingeniería de defectos	621 F/g (0,2 A/g)
Compuestos de WO ₃ /CNT	Mezcla de soluciones + tratamiento térmico	720 F/g (1 A/g)

2. Ventajas de rendimiento

- Tiempo de respuesta corto: carga y descarga completadas en <2 s;
- Fuerte estabilidad de ciclo: tasa de retención de capacidad >85% después de 5000–10000 ciclos;
- Alta potencia de salida: admite el funcionamiento a alta densidad de corriente (>10 A/g);
- Amplia ventana de voltaje operativo (>1,2 V, sistema de agua);

3. Estrategia de modificación

- **Mejora de la conductividad** : combinado con grafeno, CNT, tela de carbono, etc. para aumentar la tasa de migración de electrones;
- **Regulación del área superficial** : síntesis de estructuras porosas, lamelares y huecas para aumentar los sitios de reacción;
- **Dopaje iónico** : como Mo⁶⁺, V⁵⁺, Mn²⁺, para ajustar el potencial redox y la tasa de transferencia de carga;
- **de polímero** : lograr sinérgicamente una respuesta funcional dual con PANI y PPy .

3. Avances en la investigación del ácido tungstico en materiales de electrodos de batería.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

el desarrollo de materiales de electrodos para baterías de iones de litio (LIB), baterías de iones de sodio (SIB), baterías de iones de magnesio y microbaterías flexibles debido a su alta estabilidad electroquímica y capacidad redox reversible.

1. Material del electrodo negativo de la batería de litio a base de tungstato

- El WO_3 puede reaccionar con Li^+ para producir una reacción multielectrónica ($\text{W}^{6+} \rightarrow \text{W}^0$), con una alta capacidad teórica (693 mAh/g);
- Existe un cierto problema de expansión de volumen, pero se puede superar mediante tamaño nanométrico y compuestos de carbono;
- una capacidad inicial de >600 mAh/g y la capacidad después del ciclo se mantiene estable entre 400 y 500 mAh/g.

2. Exploración del ácido túngstico en baterías de iones de sodio

- El ion sodio tiene un radio grande, lo que requiere un canal más ancho;
- La estructura nano WO_3 o de tungstato dopado tiene excelentes propiedades de difusión de iones;
- La capacidad inicial es de aproximadamente 200 a 350 mAh/g y la estabilidad del ciclo es buena.

3. Aplicación en nuevos sistemas de baterías

- **Materiales de interfaz de batería de estado sólido** : la nanopelícula WO_3 mejora la estabilidad de la interfaz;
- **Batería flexible de estado sólido** : el electrolito compuesto de tungstato tiene buena conductividad iónica y flexibilidad mecánica;
- **Microbaterías y chips energéticos** : Las nanocintas de óxido de tungsteno se pueden utilizar como electrodos ultrapequeños en la electrónica flexible.

IV. Aplicaciones prácticas y ejemplos de ingeniería

Escenario de aplicación	Sistema material	Características de rendimiento
Electrodos de supercondensadores de grado industrial	WO_3 /Tela de carbono	Alta capacidad, baja impedancia, fácil de preparar.
Dispositivos de almacenamiento de energía flexibles	H_2WO_4 / PPY / PVA	Flexible, ciclo de vida >10000 veces
Módulo de potencia de carga rápida	Nanoelectrodo compuesto $\text{W}_{18}\text{O}_{49}$ /G	Admite carga completa de 60 s, alta velocidad de carga y resistencia de descarga.
Herramientas eléctricas/almacenamiento de energía de vehículos aéreos no tripulados	Electrodo compuesto WO_3 @CNT	Alta velocidad de salida, excelente rendimiento a bajas temperaturas.

5. Progreso de la práctica del GRUPO CTIA

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

CTIA GROUP ha llevado a cabo una exploración multidimensional en torno a la industrialización de materiales de almacenamiento de energía de ácido de tungsteno:

dirección	Progreso específico
Desarrollo de materias primas	Polvo de tungstato con estructura en capas (tamaño de partícula 50–300 nm);
Plataforma de procesos	Construir una línea de producción integrada de "láminas de electrodos de lechada compuestas a base de ácido nanotúngstico y carbono";
Cooperación industrial	Cooperar con universidades para desarrollar supercondensadores compuestos WO ₃ /GO;
Escenario de aplicación	Proporcionar muestras piloto de vehículos de nueva energía y sistemas de regulación de carga máxima de la red eléctrica;
Resultados	A la empresa se le han concedido 7 patentes relacionadas con materiales de almacenamiento de energía basados en tungstato, y 2 de ellas han entrado en la etapa de transformación de logros.

VI. Focos de investigación y futuras orientaciones de desarrollo

1. Material de almacenamiento de energía ácida de tungsteno Ingeniería estructural

- Desarrollar estructuras de poros multinivel para mejorar la penetración de electrolitos y la difusión de iones;
- Construcción de partículas de electrodos de tipo hueco/núcleo-capa/heterounión para optimizar la estabilidad del ciclo.

2. Sistema de almacenamiento de energía compuesto multifuncional

- Integrar las funciones de triple respuesta de luz, electricidad y calor para lograr un almacenamiento y asignación inteligente de energía;
- Construir nuevos materiales compuestos de almacenamiento de energía como el ácido túngstico (MXene) y el ácido túngstico (MOF).

3. Preparación a gran escala y desarrollo de procesos de bajo costo

- Simplificar las rutas de tratamiento hidrotermal, por aspersión y térmico;
- materiales de grado electrónico de alto rendimiento ;
- Desarrollo integrado con baterías de sodio, baterías de litio-azufre y baterías de estado sólido.

VII. Resumen

El ácido túngstico y sus derivados se están convirtiendo en miembros altamente competitivos del nuevo sistema de materiales de almacenamiento de energía gracias a sus propiedades electroquímicas únicas, diversidad estructural y controlabilidad. Su aplicación en supercondensadores, electrodos de baterías y dispositivos flexibles de almacenamiento de energía está en constante avance, y también ofrece una nueva idea para la integración de nuevos materiales

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

energéticos y electrónicos. En el futuro, se espera que el ácido túngstico desempeñe un papel fundamental en la tecnología de almacenamiento de energía verde de alta densidad energética, larga vida útil y bajo costo.

7.3 Aplicación del ácido túngstico en materiales de control electrocrómico y óptico

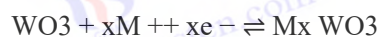
Los materiales electrocrómicos son materiales funcionales que pueden cambiar reversiblemente sus propiedades ópticas (como color, transmitancia, reflectividad, etc.) bajo la aplicación de un voltaje. Se utilizan ampliamente en ventanas inteligentes, papel electrónico, pantallas, vidrio termorregulado, etc. El ácido túngstico (H_2WO_4) y sus derivados oxidados, especialmente el trióxido de tungsteno (WO_3), se han convertido en uno de los materiales electrocrómicos inorgánicos más desarrollados y utilizados gracias a su excelente respuesta fotoeléctrica, buena estabilidad electroquímica y comportamiento reversible de intercalación iónica.

Esta sección discutirá exhaustivamente los mecanismos centrales, tipos de materiales, procesos de preparación, indicadores de desempeño y aplicaciones típicas del ácido túngstico y sus materiales relacionados en la regulación electrocrómica y óptica, y brindará apoyo teórico y rutas técnicas para el desarrollo del ácido túngstico en materiales optoelectrónicos inteligentes.

1. Principio electrocrómico y mecanismo de respuesta de los materiales de tungstato

1. Principios básicos del electrocromismo

El electrocromismo se refiere al cambio reversible de las propiedades ópticas de un material causado por la migración de electrones e iones en la red cristalina bajo la acción de un campo eléctrico. El principal proceso de reacción es:



Donde M^+ es el ion insertado (H^+ , Li^+ , Na^+ , etc.). Tras la intercalación, M_xWO_3 cambiará de incoloro (o azul claro) a azul oscuro o azul violeta, mostrando un cambio de color.

2. Características de respuesta de los materiales de ácido túngstico

- **El color cambia significativamente** : de incoloro/amarillo claro $\rightarrow$ azul oscuro/gris oscuro;
- **Velocidad de respuesta rápida** : la reacción de intercalación es rápida (< 2 s);
- **Fuerte reversibilidad** : puede lograr decenas de miles de ciclos de cambio de color;
- **capacidad de control espectral** : actúa principalmente en la región de luz visible y también se puede extender a la región del infrarrojo cercano;
- **Bajo consumo de energía** : el estado de cambio de color se puede mantener sin suministro de energía continuo.

2. Tipos de materiales electrocrómicos del ácido túngstico y sus derivados

1. Película delgada de WO_3 cristalino

- Formado por descomposición térmica de H_2WO_4 o deposición electroquímica;
- Buena cristalinidad y fuerte control óptico;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Adecuado para aplicaciones en ventanas inteligentes y películas antirreflejos.

2. Material de gel de ácido hidrotúngstico /WO₃ amorfo

- Buena flexibilidad, se puede combinar con polímeros;
- Se utiliza para dispositivos curvos y pantallas flexibles.

3. Materiales de ácido túngstico nanoestructurados

- Morfologías como nanobarras, láminas y esferas huecas;
- Mejorar la superficie específica y la tasa de respuesta;
- Ayuda a mejorar la eficiencia de intercalación y el ciclo de vida.

4. Material electrocrómico compuesto de ácido túngstico

- con TiO₂, V₂O₅, PEDOT, PANI, etc.;
- Construya un sistema de material de atenuación multifuncional.

3. Proceso de preparación de película delgada y configuración del dispositivo

1. Método de preparación de la película

método	Características
Método Sol-Gel	Bajo costo, adecuado para recubrimiento de áreas grandes, capa de película uniforme
Método de descomposición térmica	Cristalinidad, adecuada para preparar películas cristalinas de WO ₃ .
Deposición electroquímica	Estructura densa y espesor controlable
Chisporroteo	Fuerte adhesión de película, adecuada para estructuras de apilamiento de múltiples capas.
Método de pulverización	Formación rápida de películas, adecuada para industrialización.

2. Configuración del dispositivo

La estructura típica del dispositivo electrocrómico es:

Vidrio conductor/capa electrocrómica (WO₃) /capa de electrolito/capa de contraelectrodo (NiO)/vidrio conductor

Electrolitos opcionales: gel sólido de PVA/H₃PO₄, polímero de Li⁺, líquido iónico, etc.

4. Indicadores de evaluación del desempeño

índice	alcance	ilustrar
Amplitud de modulación óptica (ΔT)	30–70% (a 633 nm)	Diferencia en la transmitancia de luz antes y después de la decoloración.
Eficiencia de coloración (CE)	40–120 cm ² /C	Cambio en la densidad óptica por unidad de carga
Tiempo de respuesta al cambio de color	Coloración <3s, decoloración <6s	Cuanto más rápido, mejor para la atenuación dinámica.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Estabilidad cíclica	>10.000 veces sin atenuación	Indicadores clave de persistencia
Consumo de energía	<5 mW /cm ²	Ventaja excepcional de bajo consumo de energía

5. Áreas de aplicación típicas

1. Ventanas inteligentes

- Controlar la luz y el calor interior para reducir el consumo de energía del aire acondicionado;
- Se ha utilizado en edificios de alta gama, tránsito ferroviario y ventanas de naves espaciales;
- Se puede integrar con células fotovoltaicas y sensores para lograr un cambio automático de luz.

2. Papel electrónico flexible y pantallas de bajo consumo

- La película de ácido de tungsteno tiene alto contraste y visibilidad;
- Construcción de un lector curvo con electrolitos poliméricos;
- Reemplace los LCD y LED tradicionales en escenarios de bajo consumo de energía.

3. Sistema de protección fotoeléctrica y camuflaje

- Respuesta rápida para ajustar la reflectividad y proteger el infrarrojo térmico;
- Sigilo militar, ventanas de aviación, recubrimientos protectores antiláser;
- Realizar la integración de funciones de cambio de color óptico y control térmico.

4. Visualización de información y aplicaciones anti-falsificación

- Construcción de capas con patrones que cambian de color y estructuras multicapa sensibles;
- Se utiliza para reconocimiento de identidad, anti-falsificación de billetes, etiquetas electrónicas interactivas, etc.

VI. GRUPO CTIA Práctica de Desarrollo de Tecnología Electrocrómica

Módulos	Contenido de implementación	Logros de fase
Desarrollo de materias primas	de lodos de H ₂ WO ₄ y nano-WO ₃ altamente dispersos	Para procesos de deposición de película fina a baja temperatura
Plataforma de procesos	Construcción de una línea de producción de película combinada sol-gel + pirólisis	Uniformidad de película mejor que ±5%, ΔT hasta 60%
Prueba de dispositivos	de dispositivos electrocrómicos de estado sólido de PVA/H ₃ PO ₄	Ciclo de cambio de color >15.000 veces sin atenuación
Desarrollo de aplicaciones	Desarrollar conjuntamente productos de ventanas inteligentes con empresas de vidrio arquitectónico.	Se han completado las pruebas de muestra y ha comenzado la fase de lanzamiento de prueba.

7. Tendencias de investigación y direcciones de desarrollo futuro

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Desarrollo de dispositivos flexibles totalmente de estado sólido

- Desarrollo de electrodos flexibles (ITO-PET, nanohilos de plata) y electrolitos de gel sólido;
- Construya un sistema visual inteligente, enrollable y portátil.

2. Diseño de material compuesto multifuncional

- Combina funciones de almacenamiento de energía, electroluminiscencia y regulación fototérmica;
- Construir sistemas compuestos como WO_3 @CNT, WO_3 /PEDOT, etc.

3. Integración del sistema de control inteligente

- Se integra con sensores y módulos de control de luz para lograr un cambio de color adaptable al entorno;
- Aplicado a la nueva plataforma de “Internet de las Cosas + Materiales Inteligentes”.

4. Larga vida útil y desarrollo de alta estabilidad.

- Mejorar la adaptación de la interfaz e inhibir la atenuación estructural de los materiales intercalados;
- Diseño de estructuras porosas/ordenadas para amortiguar el estrés por migración de carga.

8. Resumen

Como materiales electrocromicos, el ácido tungstico y sus derivados oxidados se han convertido en uno de los materiales clave en el campo de la atenuación inteligente y la regulación óptica gracias a su eficiente y reversible comportamiento de intercalación iónica, su capacidad de respuesta de amplio espectro y sus características estructurales estables. Gracias a su integración con materiales flexibles, sistemas de almacenamiento de energía y tecnologías de control inteligente, el sistema electrocromico de ácido tungstico desempeñará un papel estratégico cada vez mayor en los edificios ecológicos, la electrónica flexible y la integración optoelectrónica inteligente.

7.4 Desarrollo de ácido nanotungstico en sensores y materiales autolimpiables

El ácido tungstico (H_2WO_4) posee una excelente estabilidad óptica, eléctrica y química, mientras que su derivado nanométrico (ácido tungstico nano) presenta una mayor superficie específica, mayor actividad superficial y una cinética de reacción más rápida. En los últimos años, el ácido tungstico nanométrico se ha utilizado ampliamente en sensores ambientales, sensores de gas, detección de humedad, biometría, recubrimientos autolimpiables y materiales antivaho y antiincrustantes, y se ha convertido gradualmente en una plataforma funcional para la construcción de una nueva generación de materiales inteligentes.

Esta sección se centrará en las ventajas de rendimiento, las estrategias de construcción de materiales, las formas de aplicación típicas de los materiales de ácido nanotungstico en el campo de los sensores y la autolimpieza, así como en las prácticas de investigación de CTIA GROUP en esta dirección.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Características y ventajas funcionales del ácido nanotúngstico

propiedad	describir	Valor de la aplicación
Alta superficie específica	Tamaño de nanopartículas (10–100 nm), estructura porosa	Mejorar la eficiencia de adsorción y reconocimiento de analitos.
Abundantes vacantes de oxígeno en la superficie	Estados electrónicos ajustables y centros activos catalíticos	Favorable para comportamientos de detección de gases, electrodetección y fotosensibilidad.
Fuerte capacidad de respuesta a la luz	Puede absorber la luz ultravioleta y parte de la luz visible.	Estimular las capacidades de autolimpieza y esterilización fotocatalítica.
Se puede combinar con una variedad de materiales.	Construcción de estructuras sinérgicas con CNT, GO, polímero, etc.	Selectividad y estabilidad de detección mejoradas
Buena estabilidad química	Resistencia a la corrosión ácida y alcalina, alta estabilidad térmica.	Adecuado para trabajos de larga duración en entornos complejos.

2. Aplicación del ácido nanotúngstico en el campo de los sensores

1. Sensor de gas

Los materiales a base de ácido de tungsteno muestran una alta sensibilidad y selectividad a una variedad de gases (como NH₃ , NO₂ , H₂S , etanol, formaldehído, etc.).

Mecanismo de trabajo:

- Adsorción de moléculas de gas → cambio de resistencia/corriente → salida de señal;
- Las vacantes de oxígeno y la conversión W⁶⁺ /W⁵⁺ juegan un papel en la regulación del transporte de electrones;
- La detección asistida por luz mejora la intensidad y la selectividad de la respuesta.

Materiales y propiedades representativas:

Sistema material	Gas objetivo	Límite de detección	Tiempo de respuesta
Nanohojas de H ₂ WO ₄	NH ₃	0,2 ppm	<30 años
Nanocables de WO ₃	NO ₂	50 ppb	<10 s
W ₁₈ O ₄₉ @CNT	H ₂ S	0,1 ppm	<5 segundos
Compuesto de WO ₃ / rGO	Etanol	1 ppm	<20 años

2. Sensores de humedad y temperatura

- El ácido túngstico es sensible a la adsorción de moléculas de agua y puede diseñarse como un sensor de humedad capacitivo/resistivo;
- Se puede integrar para monitoreo ambiental, ropa inteligente y parches electrónicos de salud.

3. Biodetección y detección electroquímica

- El complejo Nano-WO₃ se utiliza para la detección de glucosa, colesterol, ADN, etc.;
- La superficie se puede funcionalizar con enzimas, anticuerpos y aptámeros;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Puede lograr una alta sensibilidad y una respuesta rápida y tiene el potencial de utilizarse como dispositivo médico portátil.

3. Desarrollo de ácido nanotúngstico en materiales autolimpiables

1. Descripción general del mecanismo de autolimpieza

El rendimiento de autolimpieza del ácido nanotúngstico se logra principalmente a través de la sinergia de la degradación fotocatalítica y el efecto de superficie superhidrofílica :

- **Fotocatálisis** : Bajo luz ultravioleta o visible, se generan especies activas como el OH para descomponer contaminantes orgánicos;
- **Súper hidrofiliidad** : las gotas de agua se esparcen para limpiar el polvo y el aceite de la superficie;
- **Propiedad antibacteriana** : Los radicales libres reactivos del oxígeno pueden matar bacterias y virus.

2. Sistema material y características funcionales

Sistema material	Síntomas	Ejemplos de aplicación
Película WO ₃	Fuerte respuesta a la luz y transparente.	Muro cortina de vidrio autolimpiable
Compuesto de H ₂ WO ₄ /SiO ₂	Nanorrugosidad + fotocátalisis	Espejo retrovisor antivaho para coche
Nanobarras de W ₁₈ O ₄₉	Respuesta a la luz visible	Recubrimiento antibacteriano de superficie limpia médica
Película compuesta de WO ₃ /TiO ₂	Efecto catalítico sinérgico	Recubrimiento antipolvo para paneles fotovoltaicos

3. Formación de películas y métodos de construcción.

- **Recubrimiento por centrifugación/ recubrimiento por pulverización** : adecuado para sustratos de vidrio, cerámica y plástico;
- **Método sol-gel** : controlar la densidad de la película y la energía superficial;
- **Deposición electroforética** : construcción de capas de película uniformes de gran superficie;
- **Método asistido por plantilla** : generación de superficies rugosas porosas a escala micro-nano.

4. Ejemplos de aplicación completos y expansión de escenarios

Escenario de aplicación	Sistema material	Características principales
Máscara inteligente	Película compuesta de ácido nanotúngstico/PVA	Detección de gases + protección antimicrobiana

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Edificios inteligentes	Vidrio autolimpiable con ácido tungstico	Control de luz y transmisión de luz + antiincrustaciones y eliminación de polvo
Dispositivos portátiles inteligentes	Capa de detección de película delgada de nano WO ₃	Detección de humedad/sudor y monitorización fisiológica
Materiales de superficie médicos	Recubrimiento antibacteriano de ácido nanotúngstico	Funciones duales autolimpiables antibacterianas + fotocatalizadoras
industria automotriz	Película antivaho para espejo retrovisor	Hidrofilicidad rápida + fuerte resistencia a la intemperie

5. CTIA GROUP Investigación y Transformación Industrial

CTIA GROUP ha llevado a cabo un diseño en profundidad en el campo de los materiales de autolimpieza y detección de ácido nanotúngstico:

dirección	Contenido de implementación	Logros de fase
Sistema de materia prima	El tamaño de las partículas de polvo de nanotungstato se controla entre 20 y 100 nm.	Disponible en lotes para pulverización/recubrimiento.
Desarrollo de materiales compuestos	WO ₃ @ TiO ₂ , WO ₃ @GO, WO ₃ @ PVA, etc.	Lograr la integración de materiales multifuncionales
Lanzamiento de producto	Se lanzó una solución precursora de vidrio autolimpiante con ácido nanotúngstico	Adecuado para revestimiento de vidrio arquitectónico y de tráfico.
Módulo de sensor	Cooperar con instituciones de investigación científica para desarrollar módulos de película de detección de NO ₂	Logre la detección de gas a nivel de ppm en <30 segundos
propiedad intelectual	Se han solicitado y autorizado 6 patentes relacionadas con materiales funcionales de ácido nanotúngstico.	

VI. Tendencias de desarrollo y enfoque de la investigación

1. Desarrollo de una plataforma de percepción inteligente multiparamétrica

- Integra múltiples funciones como temperatura, gas, humedad, etc.
- Integre con chips de percepción de IA para lograr retroalimentación adaptativa ambiental.

2. Diseño de material sensor portátil y flexible.

- Utilice sustratos flexibles como PVA, PDMS y poliimida;
- Construir conjuntos de sensores flexibles basados en tungstato para servir al campo de la monitorización de la salud.

3. Construcción de superficie integrada autolimpiante y antibacteriana

- Fortalecer la capacidad bactericida fotocatalítica y mejorar la durabilidad de la capa de película;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Combinado con funciones antivaho, antipolvo y antiUV, se logra el desarrollo de "materiales de superficie de escena completa".

4. Promoción de recubrimientos respetuosos con el medio ambiente y tecnologías de síntesis ecológicas

- Utilizar precursores no tóxicos y procesos a base de agua para reemplazar los solventes orgánicos tradicionales;
- Reducir la temperatura de formación de la película de recubrimiento y el consumo de energía para cumplir con los requisitos de protección ambiental industrial.

VII. Resumen

Como un nuevo tipo de material con estructura controlable, diversas funciones y rendimiento estable, el ácido nanotúngstico desempeña un papel importante en el campo de los sensores y la tecnología de autolimpieza. Su excelente actividad fotoeléctrica, comportamiento químico superficial y adaptabilidad lo convierten en un componente indispensable de materiales inteligentes, recubrimientos ecológicos y dispositivos portátiles inteligentes. En el futuro, con el continuo desarrollo del diseño de materiales de ácido túngstico y la tecnología de construcción de interfaces, mostrará un mayor potencial en los campos de entornos inteligentes, medicina personalizada, transporte inteligente y edificaciones ecológicas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tungstic Acid Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Tungstic Acid Overview

The tungstic acid (tungsten trioxide hydrate, $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) produced by CTIA GROUP LTD is a high-purity yellow crystalline powder, manufactured using advanced precipitation and calcination processes. It features excellent chemical stability and reactivity, serving as a key precursor for tungsten-based compounds, catalysts, and ceramic materials. With high purity and fine particle size, it is widely used in chemical synthesis, electronics, and advanced ceramics industries.

2. Tungstic Acid Features

- Chemical Formula: $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Molecular Weight: 249.85
- Appearance: Yellow crystalline powder
- Melting Point: Decomposes $>100^\circ\text{C}$
- Density: 5.5 g/cm^3
- Stability: Stable under dry conditions, decomposes in water to form tungstate ions, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in catalyst preparation (selectivity $>95\%$), tungsten oxide synthesis, ceramic pigments

3. Tungstic Acid Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Solubility	Impurities (ppm)
Reagent Grade	≥ 99.9	1–10	Slightly soluble	$\text{Fe} \leq 10$, $\text{Na} \leq 5$, $\text{Si} \leq 10$
Industrial Grade	≥ 99.5	1–10	Slightly soluble	SO_4^{2-} main, trace elements
Technical Grade	≥ 98.5	1–10	Slightly soluble	Minor oxide impurities allowed

4. Tungstic Acid Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and stability.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Crystal structure (XRD)
 - Solubility test (weight loss $<0.1\%$ in water)

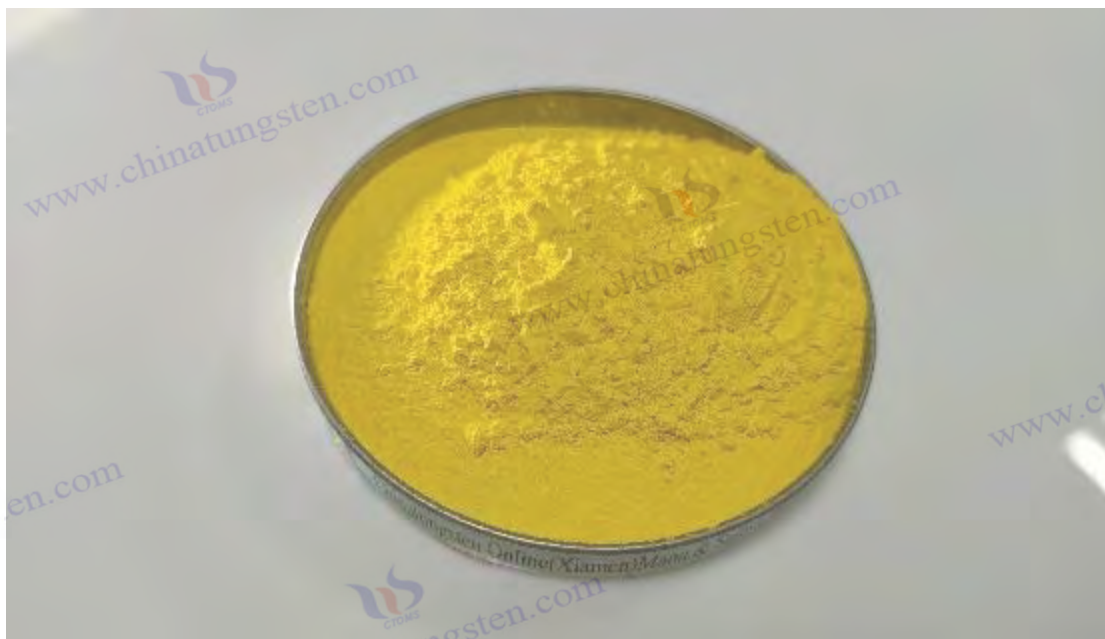
5. Tungstic Acid Procurement Information

- Email: sales@chinatungsten.com
- Phone: +86 592 5129595
- Website: <http://tungstic-acid.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



Capítulo 8: Aplicación del ácido túngstico en química analítica y reactivos

8.1 Ácido túngstico como agente colorimétrico y reactivo de titulación

El ácido túngstico (H_2WO_4) y sus diversos derivados salinos tienen una larga historia de aplicación en química analítica. Especialmente en reacciones de revelado de color, titulación complexométrica, determinación colorimétrica y cuantificación iónica, el ácido túngstico puede formar estructuras multinucleares o complejas estables con diversos cationes y mostrar cambios de color significativos. Por lo tanto, se utiliza frecuentemente como reactivo analítico, revelador de color y componente auxiliar de titulación.

Esta sección revisará sistemáticamente las aplicaciones clásicas del ácido túngstico en los sistemas tradicionales de química analítica, presentará su mecanismo de desarrollo de color, su modo de acción en el sistema de titulación, su combinación con otros reactivos y la necesidad de optimizar su desempeño en el análisis colorimétrico moderno.

1. Mecanismo básico y tipos de tungstato como revelador de color.

1. Principio de la reacción del color

El ácido túngstico tiene una fuerte capacidad de coordinación y puede formar **complejos de heteropoliácidos distintivos y estables** (como el ácido fosfotúngstico, el ácido silicotúngstico, etc.) con ciertos iones metálicos (como fosfato, arseniato, silicato, germanato, etc.) en condiciones ácidas, mostrando azul, amarillo, verde y otros colores, que pueden usarse para el análisis colorimétrico.

Por ejemplo:



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

azul de tungsteno bajo la acción del agente reductor, que es adecuado para la determinación colorimétrica de luz visible.

2. Sistema común de desarrollo de color de tungstato

Sistema de reproducción del color	Iones/sustancias objetivo	Generar color	solicitud
Ácido fosfotúngstico	PO_4^{3-}	Azul/Verde	Prueba del contenido de fósforo en la calidad del agua
Ácido silicotúngstico	SiO_3^{2-}	Amarillo Verde	Análisis de silicatos
Tungstato de arsénico	AsO_4^{3-}	Azul cielo	Monitoreo ambiental
Tungstato de germanio	GeO_2	Azul púrpura	Análisis de suelo

3. Mecanismo de generación de color

La reacción de desarrollo de color mencionada anteriormente pertenece a la reacción de formación de heteropoliácidos. Mediante la coordinación de múltiples octaedros $[\text{WO}_6]$ e iones centrales (como P, Si, As), se forma una estructura de tipo Keggin, y posteriormente se produce una transferencia de carga, lo que da lugar a la aparición del color.

2. El papel del ácido túngstico como reactivo auxiliar de titulación.

El ácido túngstico se utiliza a menudo en el análisis de titulación como:

- **Agente enmascarador**: evita la interferencia con las reacciones de iones metálicos;
- **Agente complejante auxiliar**: mejora la selectividad de la titulación complexométrica;
- **Regulador redox**: regula el potencial de la solución y la dirección de la reacción.

1. Ácido túngstico en la valoración cuantitativa de antimonio, arsénico y otros elementos.

- $^{+}$ en muestras;
- forma un complejo de tungstato de arsénico y el punto final está determinado por el cambio de color en el punto final de la titulación;
- Se utiliza comúnmente como sistema estándar auxiliar en el método del azul de molibdeno o el método del azul de tungsteno.

2. Sistema de titulación combinado

El ácido túngstico se utiliza a menudo en combinación con los siguientes reactivos para sistemas de titulación específicos:

Reactivos combinados	Tipo de titulación	Componente de destino
EDTA	Titulación complexométrica	Ca^{2+} , Mg^{2+} , etc.
cloruro estannoso	Titulación de reducción	Fe^{3+} , Cr^{6+}
ácido ftálico	Agente enmascarador de titulación ácido-base	Iones interferentes como Al^{3+}

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El ácido túngstico desempeña un papel en el enmascaramiento o ajuste selectivo de la acidez en dichos sistemas, mejorando así la precisión y la sensibilidad de la titulación.

3. Plan experimental típico de análisis de color

1. Determinación colorimétrica del fósforo (método del azul de tungsteno)

Principio : En condiciones ácidas, el fosfato reacciona con el ácido túngstico para formar ácido fosfotúngstico , que luego se reduce mediante un agente reductor (como ácido sulfuroso, ácido ascórbico) para formar un complejo azul.

paso :

1. Añadir reactivo H_2WO_4 ;
2. Controlar el pH a 0,2–1,0;
3. añadiendo un agente reductor;
4. La absorbancia se midió a una longitud de onda de 700 a 880 nm.

ventaja :

- Alta sensibilidad;
- Fácil de operar;
- Se puede aplicar al análisis de aguas superficiales, agua potable y aguas residuales.

2. Determinación colorimétrica del silicio (método del ácido silicotúngstico)

- complejo de ácido silicotúngstico de color amarillo verdoso ;
- La sensibilidad se mejoró utilizando extracción con n-butanol;
- Se aplica al análisis de materias primas de cemento, minerales, vidrio, etc.

4. Condiciones de preparación y uso del reactivo de análisis de tungstato

1. Fórmula del reactivo de tungstato (típica)

Ingredientes de la receta	contenido	ilustrar
Ácido túngstico (H_2WO_4)	10–15 g/L	Fuente original de tungsteno
Ácido clorhídrico o ácido sulfúrico	Controlar el pH <1	Asegurar la acidez de la reacción.
Agentes reductores (como $NaHSO_3$)	Moderado	Para la reacción del color

2. Almacenamiento y estabilidad

- El reactivo de tungstato preparado debe sellarse y protegerse de la luz;
- Se puede almacenar de forma estable a temperatura ambiente durante 7 a 10 días;
- El producto debe utilizarse inmediatamente después de añadir el agente reductor para evitar la variación del color.

3. Notas

- El ácido túngstico es un sistema ácido fuerte, por lo que preste atención a la seguridad al operarlo;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- La reacción del color es extremadamente sensible al pH y necesita ser controlada con precisión;
- Los iones de impurezas (como Mo^{6+} y V^{5+}) pueden interferir con la reacción de color y deben eliminarse mediante un pretratamiento.

5. Productos reactivos y expansión de aplicaciones del CTIA GROUP

CTIA GROUP ha desarrollado una serie de productos estandarizados en el campo de los reactivos analíticos de ácido tungstico, entre ellos:

Nombre del producto	forma	Usos típicos
Ácido tungstico de grado analítico ($\geq 99,9\%$)	polvo	Preparación rutinaria de laboratorio
Solución colorimétrica estándar de ácido fosfotungstico	líquido	Cuantificación colorimétrica rápida
Agente enmascarador derivado de tungstato	Sólido o solución	Sistema de reactivo auxiliar de titulación
Kit de prueba de ácido silicotungstico	Kit de reactivos industriales	Análisis de materiales de cemento/sílice

También cooperamos con muchos laboratorios universitarios para promover el desarrollo de microanálisis de reactivos de ácido tungstico y dispositivos nanocolorimétricos.

VI. Focos de investigación y futuras orientaciones de desarrollo

1. Nuevo sistema de detección de micro/trazas

- El ácido tungstico se combina con materiales sensibles como nanoooro y puntos cuánticos para construir un método colorimétrico altamente sensible;
- Se aplica a la seguridad alimentaria, análisis de trazas de metales pesados, etc.

2. Mejora de la fase sólida y del sensor.

- El revelador de color de tungstato se carga en un sustrato de papel, un sustrato de membrana o una plataforma microfluidica;
- Desarrollar chips sensores portátiles y tarjetas de prueba rápida.

3. Desarrollo de un sistema colorimétrico inteligente

- Combinado con la tecnología de reconocimiento de aplicaciones de teléfonos móviles, se puede realizar un análisis colorimétrico digital;
- El modelo de IA se utiliza para analizar el espectro de color del ácido tungstico para lograr la identificación de múltiples componentes.

VII. Resumen

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

Como reactivo inorgánico importante en la química analítica, el ácido túngstico ha desempeñado un papel fundamental en las reacciones de desarrollo de color y los sistemas de titulación. Al reaccionar con diversos iones objetivo para formar complejos con colores significativos, el ácido túngstico no solo ha mejorado la sensibilidad del análisis colorimétrico, sino que también ha ampliado los límites técnicos de la química inorgánica en la detección cuantitativa. Con el desarrollo de la ciencia de los materiales y la tecnología de análisis de la información, los reactivos de ácido túngstico avanzan hacia la inteligencia, el alto rendimiento y la multifuncionalidad, y continúan ampliando su valor aplicativo en la ciencia analítica moderna.

8.2 Coordinación del ácido túngstico en el análisis espectroscópico

En la química analítica moderna, las técnicas espectroscópicas (como la espectroscopia UV-visible, la espectroscopia infrarroja, la espectroscopia de fluorescencia, la espectroscopia Raman, la espectroscopia de absorción atómica, etc.) se han convertido en herramientas importantes para el análisis cualitativo y cuantitativo de sustancias. El ácido túngstico (H_2WO_4) y sus derivados pueden formar complejos estables con diversos componentes inorgánicos y orgánicos gracias a su alta electronegatividad, su fuerte capacidad de coordinación y sus características estructurales, que pueden participar en la transferencia de carga, desempeñando un papel importante en la mejora de la señal, el reconocimiento selectivo y la reducción del límite de detección en el análisis espectral.

Esta sección analizará sistemáticamente el mecanismo de comportamiento, la estructura de coordinación típica y los cambios de respuesta espectral del ácido túngstico como ligando o precursor en varias técnicas espectroscópicas, e introducirá sus aplicaciones específicas en la detección de iones traza, monitoreo ambiental, bioanálisis e identificación de materiales.

1. Propiedades de coordinación y base de respuesta espectral del tungstato

1. Estructura y características de coordinación del ácido túngstico.

El ácido túngstico utiliza principalmente la estructura octaédrica [WO_6] como unidad básica y tiene las siguientes características:

- Las estructuras agregadas se pueden formar compartiendo vértices, aristas o caras;
- Puede formar complejos estables con átomos coordinantes como O, N, S y P;
- Puede participar en complejos metálicos multicéntricos, como los polioxotungstatos .

2. Tipos de cambios espectrales causados por la coordinación

Tipo espectral	Coordinación	Manifestaciones típicas
Ultravioleta-visible (UV-Vis)	Transferencia de carga, cambios de transición dd	Longitud de onda de absorción desplazada al rojo/desplazada al azul, absorbancia mejorada
Espectroscopia infrarroja (IR)	La longitud del enlace cambia, los niveles de energía vibracional cambian	Cambio característico de la posición máxima o cambio de intensidad

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

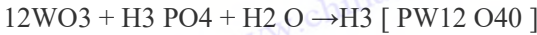
Espectro de fluorescencia	Regulación de la estructura del nivel de energía	Cambio de longitud de onda de emisión, mejora del rendimiento cuántico
Espectroscopia Raman	Cambios en la simetría del grupo	La actividad Raman se mejora y aparecen nuevos picos característicos
Absorción atómica	Comportamiento mejorado de atomización y dispersión después de la coordinación.	Sensibilidad mejorada, interferencias reducidas

2. Mejora de la coordinación del ácido tungstico en el análisis espectroscópico UV-Vis

1. Banda de transferencia de carga causada por la complejación de poliácidos

reacciona con varios iones (como PO_4^{3-} , SiO_3^{2-} , AsO_4^{3-} , etc.) en condiciones ácidas para formar estructuras heteropoliácidas (tipo Keggin , tipo Dawson, etc.) , produciendo bandas de absorción de transferencia de carga en el rango de 250 a 800 nm, que son particularmente adecuadas para la detección colorimétrica.

Reacción típica:



- La banda de absorción del estado no reducido está entre 200 y 250 nm (color claro);
- El "azul de tungsteno" generado después de la reducción tiene una fuerte banda de absorción de 600 a 700 nm.

2. Sistema de desarrollo de color mejorado con ligando orgánico

- El ácido tungstico forma complejos conjugados con moléculas orgánicas como la bencidina y los fenoles;
- La longitud de onda de absorción del complejo se desplaza al rojo y se mejora el pico de absorción visible;
- Se puede utilizar para el análisis cuantitativo de materia orgánica o para el análisis de la relación estructura-actividad.

3. Reconocimiento de coordinación del tungstato en el espectro infrarrojo

1. Pico de vibración característico

WO_3 o H_2WO_4 a menudo muestran la siguiente absorción característica en el espectro infrarrojo:

- Vibración de estiramiento W=O : $880\text{--}950\text{ cm}^{-1}$;
- del puente W-O-W : $600\text{--}800\text{ cm}^{-1}$;
- Vibración de estiramiento O-H (hidrato de tungstato): $3200\text{--}3400\text{ cm}^{-1}$.

La coordinación provoca cambios en estas posiciones de pico, que pueden usarse para determinar si el ion metálico o el ligando orgánico se ha unido con éxito.

2. Identificación de complejos heteropoliácidos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Los heteropoliácidos (como el ácido fosfotúngstico y el ácido silicotúngstico) tienen múltiples picos de absorción agudos en IR ($400\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$), cuyas posiciones e intensidades se pueden utilizar para identificar cualitativamente el tipo y la simetría estructural de los heteropoliácidos.

4. Función del ácido túngstico en el análisis de espectroscopia de fluorescencia

1. Mejora/extinción de la fluorescencia de tungstato

- El tungstato como ligando puede regular la emisión de fluorescencia de iones de tierras raras (como Eu^{3+} , Tb^{3+});
- La mejora de la intensidad de las emisiones se consigue mediante un proceso de transferencia de energía;
- Puede producir extinción de la fluorescencia cuando interactúa con ciertos colorantes fluorescentes y puede utilizarse para la detección de iones metálicos.

2. Ejemplos de aplicación

Objeto de detección	Sistema de fluorescencia	Efecto tungstato
Fe^{3+}	Puntos cuánticos compuestos de CdTe y WO_3	Extinción de la fluorescencia para la detección de trazas de hierro
Cu^{2+}	Complejo de rodamina- WO_4^{2-}	Determinación colorimétrica de cobre mejorada por fluorescencia
ADN	de $\text{Ru}(\text{bpy})_3^{2+}$ -tungstato	Mejora de la fluorescencia para la detección de ácidos nucleicos

5. El papel auxiliar del ácido túngstico en el análisis de absorción y emisión atómica.

En AAS (espectroscopia de absorción atómica) e ICP (espectroscopia de emisión de plasma acoplado inductivamente), el ácido túngstico puede mejorar la precisión de las mediciones de las siguientes maneras:

- Preformar un complejo con los iones metálicos a probar para mejorar la eficiencia de atomización;
- Reducir la interferencia de la matriz y la deriva de la señal;
- Como agente liberador, libera los iones complejados o precipitados a analizar.

Por ejemplo, en la detección de estroncio, plomo y bario, la reacción de coordinación del tungstato puede reducir significativamente las interferencias de fondo como el aluminio y el silicio.

6. Sistemas de coordinación típicos y ejemplos de análisis

Componentes medidos	Formulario de coordinación	Métodos analíticos	Límite de detección
PO_4^{3-}	$\text{H}_3[\text{PW}_{12}\text{O}_{40}]$	Colorimetría UV-Vis	0,01 mg/L
SiO_3^{2-}	$\text{H}_4[\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}]$	Colorimetría UV-Vis + IR	0,03 mg/L

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Fe^{3+}	Extinción de nanofluorescencia WO_3	Espectro de fluorescencia	0,005 mg/L
Bi^{3+}	complejo Bi-WO_4^{2-}	ICP-OES	0,002 mg/L

VII. Materiales y aplicaciones tecnológicas del Grupo CTIA

CTIA GROUP combina el análisis espectral y la preparación de materiales para desarrollar una serie de productos de ácido tungstico de grado analítico:

Nombre del producto	forma	Solicitud
H_2WO_4 de alta pureza (99,99 %)	polvo	Reactivo colorimétrico heteropolíácido
Sol. Nano WO_3	Dispersión líquida	Materiales que mejoran la absorción de fluorescencia/UV
Kit de reactivos de ácido heteropolimérico	Polvo/Líquido	Normas de análisis colorimétrico para la docencia y la investigación
Sonda compuesta WO_3/GO	Película o lodo	Se puede utilizar para el desarrollo de sensores espectrales.

Además, CTIA GROUP ha cooperado con universidades para desarrollar un prototipo de chip sensor colorimétrico basado en WO_3 y está explorando su potencial para la aplicación in situ en el monitoreo de la calidad del agua y el análisis de emergencias ambientales.

8. Fronteras de la investigación y direcciones futuras

1. Construcción de materiales multifuncionales con respuesta espectral

- Construir un sistema compuesto con respuestas UV, IR y fluorescencia;
- Se aplica a la plataforma de detección síncrona de múltiples componentes.

2. Desarrollo de nanosondas mejoradas espectralmente

- Combinando ácido tungstico con SERS (espectroscopia Raman mejorada con superficie) ;
- Se utiliza para la detección de trazas de contaminantes, venenos o biomarcadores.

3. Sistema de reconocimiento espectral asistido por IA

- El espectro característico formado por la coordinación del tungstato;
- Identificación y cuantificación rápida y de alto rendimiento mediante algoritmos de inteligencia artificial.

IX. Resumen

El ácido tungstico y sus diversas formas de coordinación no solo se utilizan como reactivos auxiliares en el análisis espectral, sino también como ligandos funcionales estructurales, ampliamente utilizados en colorimetría, reconocimiento de huellas dactilares infrarrojas, construcción de sondas fluorescentes y sistemas de análisis atómico. Su alta capacidad de coordinación, sus características de transferencia de carga y su capacidad de respuesta de amplio espectro proporcionan un sistema de reacción completo y una plataforma técnica para la química

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

analítica, además de sentar las bases para el desarrollo futuro de la inteligencia espectral multidimensional.

8.3 Función del ácido túngstico en la detección y separación de metales pesados

La contaminación por metales pesados ha afectado durante mucho tiempo los campos del tratamiento de aguas residuales industriales, la protección ambiental y la supervisión de la seguridad alimentaria. El ácido túngstico (H_2WO_4) y sus diversos derivados de tungstato, debido a su estructura que contiene octaedros ajustables con puentes de oxígeno, alta electronegatividad y buena capacidad de complejación, muestran un excelente reconocimiento selectivo y capacidad de unión de iones metálicos, especialmente en la detección, separación y enriquecimiento de iones de metales pesados como plomo (Pb^{2+}), mercurio (Hg^{2+}), cobre (Cu^{2+}) y cadmio (Cd^{2+}), mostrando amplias perspectivas de aplicación.

Esta sección se centrará en las propiedades del material, el mecanismo de detección, las vías de separación y las aplicaciones prácticas del ácido túngstico en el análisis y la purificación de metales pesados, proporcionando apoyo teórico para su posterior utilización en profundidad en el análisis ecológico y la recuperación de recursos.

1. Características de coordinación y reconocimiento de iones de tungstato y metales pesados

1. Ventajas estructurales y capacidades de unión de metales.

6] La estructura octaédrica del tungstato tiene las siguientes características de unión de metales pesados:

característica	Actuación	Características de la aplicación
Capacidad de coordinación de múltiples dientes	Puede formar enlaces puente W–O–M	Unión estable de iones metálicos
Superficie rica en grupos hidroxilo/ O^{2-}	Fácil de intercambiar con iones M^{2+}	Favorable para reacciones de adsorción y precipitación.
Puede formar una estructura de heteropoliácido.	Construcción del complejo M–W	Selectividad significativamente mejorada
Estructura de banda ajustable	Propicio para una mejor detección electroquímica	Funcionalización de materiales de electrodos

2. Iones metálicos específicos

Los materiales de ácido túngstico tienen una capacidad significativa de reconocimiento/unión a los siguientes iones metálicos:

- Alta afinidad: Pb^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+} ;
- Afinidad media: Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} ;
- Metales polivalentes: Cr^{3+} / Cr^{6+} , As^{3+} / As^{5+} (coordinados por heteropoliácidos).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2. Aplicación del ácido tungstico en la detección de iones de metales pesados

1. Detección colorimétrica

El ácido tungstico forma un complejo que absorbe la luz visible con iones de metales pesados para lograr una reacción de color:

ion	Producto de color	$\lambda_{\text{máx}}$	Límite de detección (LOD)
Pb^{2+}	Complejo $\text{Pb} - \text{H}_2\text{WO}_4$	540 nm	0,005 mg/L
Cu^{2+}	Complejo $\text{Cu} - \text{WO}_4^{2-}$	580 nm	0,01 mg/L
Hg^{2+}	Estructura del heteropoliácido $\text{Hg} - \text{W}$	600 nm	0,002 mg/L

Ventajas:

- El color es obvio y fácil de observar a simple vista;
- Adecuado para pruebas portátiles o desarrollo de tiras de prueba.

2. Detección electroquímica

Modificar la superficie del electrodo con ácido tungstico o su complejo para construir un sensor electroquímico de metal pesado:

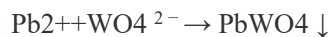
- con ácido tungstico/grafeno ($\text{WO}_3 @ \text{rGO}$) para la detección de Pb^{2+} y Cd^{2+} ;
- Compuesto de nanohojas de WO_3 /tela de carbono para detección voltamperométrica de Hg^{2+} ;
- El límite de detección puede ser tan bajo como el nivel de ppb y el tiempo de respuesta es inferior a 10 segundos, lo que es adecuado para una detección rápida en el sitio.

3. Separación selectiva y enriquecimiento de iones de metales pesados utilizando materiales de tungstato

1. Mecanismo de separación del método de precipitación

- El ácido tungstico puede formar precipitados insolubles con algunos iones metálicos en condiciones ácidas o neutras;
- Por ejemplo, Pb^{2+} , Cd^{2+} y WO_4^{2-} forman PbWO_4 , CdWO_4 ;
- Estos precipitados son estables al calor, filtrables y adecuados para el enriquecimiento previo al tratamiento.

Ejemplo de reacción:



2. Adsorción selectiva e intercambio

Al regular la estructura de los materiales de tungstato (como los grupos hidroxilo superficiales, las vacantes de oxígeno, la forma cristalina, etc.), se puede lograr la adsorción preferencial de ciertos tipos de iones:

- Excelente selectividad a bajas concentraciones;
- Se puede utilizar para sistemas de preenriquecimiento por electrodiálisis y membranas selectivas de iones.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Sistema de extracción y separación de heteropoliácidos

- Coordinar el ácido tungstico con fósforo, silicio, etc. para formar heteropoliácido ;
- Formación de un sistema complejo multicéntrico M–P–W;
- Puede enriquecer selectivamente trazas de metales de alto precio, como uranio, torio, cromo y manganeso.

4. Áreas de aplicación típicas y ejemplos de separación

Escenario de aplicación	Forma material	Iones dirigidos	Efecto
Depuración de aguas residuales industriales	Película de nanopartículas WO ₃	Pb ²⁺ 、Hg ²⁺ +	Tasa de eliminación > 95 %
Pretratamiento de muestras para pruebas ambientales	extracto de heteropoliácido	Cr ³⁺ , Ni ²⁺	Factor de enriquecimiento >100×
Separación de la solución de reciclaje de baterías	Sistema de precipitación WO ₄ ²⁻	Co ²⁺ , Li ⁺	Lograr la sedimentación selectiva
Prueba de seguridad del agua potable	Papel sensor modificado con ácido tungstico	Cd ²⁺ 、Pb ²⁺ +	Respuesta rápida, reconocimiento visual.

5. Práctica técnica de CTIA GROUP en detección y separación de metales pesados

Módulos	contenido	Resultados
Desarrollo de materias primas	Polvo nano WO ₃ altamente disperso (20–80 nm)	Para membrana de adsorción y plataforma de sensores
Optimización de procesos	Deposición de película delgada de WO ₃ a baja temperatura y funcionalización de electrodos	Adecuado para el desarrollo de electrodos de detección de campo.
Solicitud	Papel de prueba de metales pesados, WO ₄ ²⁻ precipitante	Ya se utiliza para el control y tratamiento de Pb y Hg.
Resultados de la cooperación	Construir un dispositivo piloto de tratamiento con una empresa de tratamiento de agua	Tasa de eliminación de Pb ²⁺ , Cr ⁶⁺ >98%

VI. Tendencias de investigación y direcciones de desarrollo

1. Regulación estructural de materiales funcionales de tungstato

- La estructura porosa, la estructura núcleo-capa y las esferas huecas mejoran la capacidad y la tasa de adsorción;
- La funcionalización de la superficie mejora el reconocimiento de iones específicos.

2. Sistema integrado de detección y procesamiento inteligente

- Combina detección y eliminación en una sola plataforma;
- Desarrollar materiales de membrana sensibles y dispositivos de purificación catalítica.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Desarrollo ecológico de materiales compuestos de ácido tungstico

- Construir materiales compuestos biocompatibles con polímeros naturales (quitosano, celulosa);
- Promover su aplicación en escenarios de agua potable y seguridad alimentaria.

4. Sistema de análisis integrado con IA y big data

- Los datos de sensores basados en tungstato se pueden integrar en sistemas de monitoreo;
- Realizar funciones de predicción de tendencias de contaminación y alerta temprana.

VII. Resumen

El ácido tungstico presenta multifuncionalidad, alta selectividad y viabilidad técnica en la detección y separación de metales pesados. Su amplia capacidad de complejación y su excelente reacción de precipitación lo convierten en uno de los materiales técnicos más importantes para la gobernanza ambiental, la recuperación de recursos y el análisis de trazas. Gracias a la combinación de nuevos materiales estructurales de ácido tungstico y la tecnología de acoplamiento multicampo, su valor en el control de la contaminación hídrica, la detección de alto rendimiento y los sistemas de materiales sostenibles seguirá en aumento.

8.4 Requisitos de calidad del ácido tungstico en productos químicos de grado analítico de alta pureza

En la química analítica moderna, la ciencia de los materiales, la preparación de semiconductores, las pruebas ambientales y las pruebas de fármacos, se imponen altos requisitos de pureza y estabilidad a los productos químicos utilizados. El ácido tungstico (H_2WO_4), como reactivo ácido inorgánico de uso común, desempeña un papel fundamental en numerosos análisis de trazas, la preparación de soluciones estándar y la síntesis de materiales ultralimpios en su forma altamente purificada.

Esta sección presentará de manera integral el posicionamiento y el papel del ácido tungstico de alta pureza en el análisis moderno y la investigación científica desde los aspectos de grado de calidad, índice de control de impurezas, método de purificación, estándar de detección y ejemplos de aplicación del ácido tungstico de grado analítico.

1. Clasificación de calidad y definición de pureza del ácido tungstico de grado analítico

1. Clasificación y calificación de calidad

El ácido tungstico se suele dividir en los siguientes grados según su uso y pureza:

calificación	Logotipo en inglés	Contenido de tungsteno (W, %)	Usos típicos
Grado industrial	Grado industrial	≥98,0%	Metalurgia, precursores cerámicos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Grado analítico	AR (reactivo analítico)	≥99,0%	Experimentos de análisis general
Químicamente puro	CP (Químicamente puro)	≥98,5%	Enseñanza/experimentos de exigencia media y baja
Espectralmente puro	SP (espectral puro)	≥99,9%	Análisis espectral/curva estándar
Alta pureza/ultrapura	GR/HP/UP (alta pureza)	≥99,99%–99,9999%	Semiconductores, análisis de trazas

Entre ellos, el ácido túngstico de alta pureza se utiliza principalmente en análisis de trazas, preparación de estándares ICP-MS, fabricación de materiales objetivo de la industria nuclear, formulación química electrónica y otros campos, y el control de impurezas es extremadamente estricto.

2. Indicadores físicos y químicos convencionales (tomando como ejemplo el grado AR puro analítico)

proyecto	índice
Apariencia	Polvo cristalino blanco o amarillo claro
Solubilidad	Soluble en hidróxidos, ligeramente soluble en ácidos.
Pérdida por ignición (550°C)	≤15%
pH (solución acuosa de 10 g/L)	2,5–3,5
Pérdida por secado (105°C)	≤0,5%

2. Índice de control de impurezas del ácido túngstico de alta pureza

Las impurezas en el ácido túngstico pueden provenir de impurezas de la materia prima, contaminación de metales durante el proceso de preparación o el impacto del medio de embalaje/almacenamiento.

1. Elementos de impurezas comúnmente controlados (en ppm)

elemento	Límite de nivel de AR	Límite de nivel GR (ejemplo)
Fe	≤10 ppm	≤0,1 ppm
Mes	≤50 ppm	≤0,5 ppm
N / A	≤20 ppm	≤0,1 ppm
K	≤10 ppm	≤0,05 ppm
Si	≤30 ppm	≤0,1 ppm
Alabama	≤15 ppm	≤0,05 ppm
Ca, Mg, Cu, Zn	Cada ≤10 ppm	Cada ≤0,1 ppm

El control de estas impurezas está directamente relacionado con el nivel de interferencia de fondo, la precisión y la repetibilidad en el sistema analítico.

2. Impurezas no metálicas dañinas

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

Las impurezas iónicas como el fósforo (P), el azufre (S) y el cloro (Cl^-) afectarán la detección espectral y la estabilidad del sistema redox y también deben controlarse a ≤ 1 ppm.

3. Tecnología de preparación y purificación de ácido tungstico de alta pureza.

1. Principales vías de preparación

- A partir del método de precipitación por hidrólisis ácida de APT (paratungstato de amonio): controlar la acidez y la temperatura para obtener H_2WO_4 cristalino ;
- Transformado por el método de intercambio iónico de tungstato de sodio;
- El polvo de tungsteno o WO_3 se disuelve directamente en peróxido de hidrógeno y luego se neutraliza y precipita.

2. Tecnología de purificación

Tecnología	efecto	ilustrar
Recristalización	Eliminación de impurezas iónicas	Control de temperatura, control de precisión del pH, precipitación repetida.
Intercambio iónico	Elimina impurezas como metales alcalinos y Mo	Resinas catiónicas de ácido fuerte de uso común
Extracción con solventes	Enriquecer tungsteno y separar impurezas	La selección del extractante afecta la eficiencia de separación.
Separación por membranas (nanofiltración, ósmosis inversa)	Impurezas de la solución de filtración fina	Adecuado para refinación continua en fase líquida.
Quema a alta temperatura y decapado diluido	Eliminación de materia orgánica y control del tamaño de partículas	A menudo se utiliza como paso de pulido final.

4. Normas de prueba y métodos de análisis

1. Normas nacionales e industriales (parciales)

Código estándar	Nombre estándar	Nivel aplicable
GB/T 10113-2006	Método de análisis químico del ácido tungstico	AR/CP
YS/T 669-2007	Condiciones técnicas del ácido tungstico de alta pureza	GR/HP
ASTM D3694	Ácido tungstico de grado reactivo	Referencias de normas internacionales

2. Resumen de los métodos de detección

proyecto	método	Observación
----------	--------	-------------

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

Contenido principal (W)	Titulación con EDTA / ICP-AES	Alta precisión, adecuado para diferentes purezas.
Elementos de impureza	ICP-MS, AAS	Detección paralela de múltiples elementos
Residuos de combustión	Pesaje a alta temperatura	Determinar impurezas insolubles
Humedad	Método de Karl Fischer	Clave para el control del agua traza
Prueba de solubilidad	Turbidimetría/espectrofotometría	Evaluación de la disolución de impurezas

5. Casos típicos de ácido túngstico en aplicaciones de alta pureza

1. Preparación de soluciones patrón de trazas

- Se utiliza para la calibración de iones Pb, Cd y As en ICP-MS;
- El ácido túngstico se utiliza para ajustar la acidez y estabilizar la forma compleja de metales pesados.

2. Fórmula de reactivo analítico ultralimpio

- Junto con otros ácidos inorgánicos de grado analítico, forma un sistema de análisis "totalmente libre de interferencias";
- Se utiliza para el análisis de trazas de tierras raras y radionucleidos.

3. Proceso de purificación en la industria electrónica

- Precursor de material dieléctrico de alto K WO_3 ;
- Para participar en la deposición en fase líquida, Na^+ , Cl^- y Fe^{3+} deben controlarse a nivel de ppb.

4. Preparación de materiales de alta energía y tungsteno puro para la industria nuclear

- El tungsteno puro se obtiene calcinando y reduciendo ácido túngstico de alta pureza con WO_3 ;
- Adecuado para pellets de combustible y aleaciones de protección radiológica.

6. Productos de ácido túngstico de grado analítico y control de calidad de CTIA GROUP

Nombre del producto	Nivel de especificación	Características y aplicaciones
Ácido túngstico puro analítico de grado AR	$\geq 99,0\%$, bajas impurezas	Para análisis de laboratorio de rutina
Ácido túngstico puro espectral grado SP	$\geq 99,99\%$, bajo residuo metálico	Preparación de soluciones estándar de absorción atómica e ICP
Ácido túngstico de alta pureza, grado GR	$\geq 99,999\%$, control de impurezas a nivel de ppb	Materiales semiconductores, investigación a nivel de trazas
Solución intermedia de refinación de ácido túngstico	por encargo	Brindar soporte para el desarrollo de sales de tungsteno back-end de los usuarios

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP también ha establecido estándares de detección de procesos completos para ICP-MS de ácido tungstíco de alta pureza, sistemas de pretratamiento de columnas de intercambio iónico y entornos de envasado sin polvo para garantizar que cada lote de productos cumpla con los requisitos de nivel analítico.

VII. Direcciones futuras de desarrollo y desafíos técnicos

1. Avance hacia el nivel de "seis nueves" (99,9999 %) ultrapuro

- Optimizar aún más el proceso combinado de extracción, intercambio iónico y separación por membranas;
- Presentamos una tecnología de seguimiento de impurezas traza de alto rendimiento.

2. Establecer un sistema estándar internacional para la pureza del ácido tungstíco.

- Promover la conexión con normas internacionales como ISO, ASTM y JIS;
- Mejorar el reconocimiento de los productos chinos en el campo de los productos químicos de grado analítico.

3. Desarrollo de un sistema inteligente de purificación y control de calidad digital.

- Combinando la monitorización online con predicciones de IA;
- Lograr un control de calidad de circuito cerrado de materias primas-procesos-productos.

8. Resumen

Como componente importante de los reactivos químicos de alta pureza en los campos de la química analítica y la alta tecnología, el ácido tungstíco exige una pureza, un control de impurezas y una estabilidad estructural extremadamente exigentes. Con la mejora continua de la precisión de las materias primas en el análisis de trazas, la tecnología de semiconductores, la biomedicina y otros campos, el sistema de purificación y detección del ácido tungstíco también evoluciona constantemente. Gracias a la práctica técnica y la estandarización de empresas como CTIA GROUP, el ácido tungstíco de alta pureza se está convirtiendo gradualmente en un componente clave de la cadena global de suministro de reactivos de grado analítico.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tungstic Acid Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Tungstic Acid Overview

The tungstic acid (tungsten trioxide hydrate, $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) produced by CTIA GROUP LTD is a high-purity yellow crystalline powder, manufactured using advanced precipitation and calcination processes. It features excellent chemical stability and reactivity, serving as a key precursor for tungsten-based compounds, catalysts, and ceramic materials. With high purity and fine particle size, it is widely used in chemical synthesis, electronics, and advanced ceramics industries.

2. Tungstic Acid Features

- Chemical Formula: $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Molecular Weight: 249.85
- Appearance: Yellow crystalline powder
- Melting Point: Decomposes $>100^\circ\text{C}$
- Density: 5.5 g/cm^3
- Stability: Stable under dry conditions, decomposes in water to form tungstate ions, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in catalyst preparation (selectivity $>95\%$), tungsten oxide synthesis, ceramic pigments

3. Tungstic Acid Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Solubility	Impurities (ppm)
Reagent Grade	≥ 99.9	1–10	Slightly soluble	$\text{Fe} \leq 10$, $\text{Na} \leq 5$, $\text{Si} \leq 10$
Industrial Grade	≥ 99.5	1–10	Slightly soluble	SO_4^{2-} main, trace elements
Technical Grade	≥ 98.5	1–10	Slightly soluble	Minor oxide impurities allowed

4. Tungstic Acid Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and stability.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Crystal structure (XRD)
 - Solubility test (weight loss $<0.1\%$ in water)

5. Tungstic Acid Procurement Information

- Email: sales@chinatungsten.com
- Phone: +86 592 5129595
- Website: <http://tungstic-acid.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



Capítulo 9: Exploración de las aplicaciones médicas y biológicas del ácido tungstico

9.1 Estudio preliminar sobre el efecto del tungstato en el metabolismo celular

A medida que los materiales funcionales inorgánicos se extienden a las ciencias de la vida, los posibles efectos reguladores del ácido tungstico (H_2WO_4) y sus derivados sobre el metabolismo celular han atraído cada vez más la atención de los investigadores. Como metal altamente electronegativo, el tungsteno presenta complejos comportamientos redox y diversas formas de coordinación, y puede intervenir en el metabolismo celular mediante diversos mecanismos, como la influencia de los canales iónicos, la regulación a nivel enzimático y la interferencia de las vías de señalización.

Esta sección revisará sistemáticamente los resultados preliminares de la investigación actual sobre los efectos metabólicos del tungstato a nivel celular, cubriendo su papel en el metabolismo energético, el estrés oxidativo, la regulación de proteínas y el ciclo celular, y discutirá su potencial importancia biomédica y futuras direcciones de investigación.

1. Vía y distribución de los iones de tungsteno en las células.

1. Mecanismos de captación celular y transporte transmembrana

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El ácido tungstico existe principalmente en forma de WO_4^{2-} o H_2WO_4 , y su método de absorción es similar al de otros iones metálicos de alta valencia (como MoO_4^{2-} , SO_4^{2-}):

- Ingresan a las células a través de transportadores de aniones (como la familia SLC26);
- En determinados entornos de pH o de coordinación, puede atravesar la membrana por difusión pasiva;
- Estudios han descubierto que su absorción en las células intestinales depende principalmente de un mecanismo sinérgico de tipo intercambio catiónico.

2. Distribución subcelular

Los experimentos con células muestran que el tungstato se concentra principalmente en las siguientes áreas después de ingresar a las células:

Ubicación	Relevancia funcional
Mitocondrias	Relacionado con el metabolismo energético y la producción de ROS
lisosoma	a las vías de quelación y desintoxicación de iones metálicos
Citoplasma	Relacionado con la acción enzimática y la red antioxidante.
Núcleo	Entran cantidades muy pequeñas, lo que puede afectar la expresión de factores de transcripción.

2. El efecto regulador del tungstato sobre el metabolismo energético celular

1. Interferencia con el ciclo del ácido tricarboxílico y la fosforilación oxidativa.

- En concentraciones elevadas ($>100 \mu M$), el tungstato puede inhibir algunos complejos de deshidrogenasa mitocondrial;
- Provoca cambios en la relación $NAD^+ / NADH$ e inhibe la síntesis de ATP;
- Puede actuar afectando la succinato deshidrogenasa o la α -cetoglutarato deshidrogenasa.

2. Comportamiento competitivo similar al del molibdeno.

- Los sistemas enzimáticos del molibdeno (por ejemplo, xantina oxidasa, nitrito reductasa) tienen una afinidad competitiva por el tungsteno;
- Sustituir Mo para formar un complejo tungsteno-enzima "inactivo", lo que da como resultado una función enzimática deteriorada ;
- Este comportamiento es particularmente evidente en procariotas y es un efecto local en eucariotas.

El papel del tungstato en el estrés oxidativo y el equilibrio antioxidante

1. Inducción de la producción de ROS y respuesta antioxidante.

- El tungstato puede promover la acumulación de ROS mitocondriales (peróxido de hidrógeno, anión superóxido);
- Las dosis altas provocan un agotamiento del glutatión (GSH) y aumentan los niveles de peroxidación lipídica;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Activar vías de respuesta antioxidante, como la vía Nrf2/ARE, y regular positivamente la expresión de la superóxido dismutasa (SOD).

2. Diferencias de respuesta dependientes del tipo de célula

Tipo de célula	Características de la reacción
Hepatocitos (HepG2)	Las dosis bajas no son tóxicas, pero 100–500 μM causan estrés oxidativo.
Fibroblastos (L929)	Muestra tolerancia, menor acumulación de ROS
Células tumorales (HeLa, A549)	El potencial de membrana mitocondrial disminuyó y las especies reactivas de oxígeno aumentaron
Macrófagos (RAW264.7)	La transcripción de Nrf2 se regula positivamente y los factores inflamatorios se regulan negativamente.

4. Efectos del ácido tungstico en las vías de señalización celular y la expresión de proteínas

1. Vía PI3K/Akt/mTOR

- Tratamiento con tungstato: el nivel de fosforilación de Akt disminuyó;
- La expresión de mTOR se suprime, lo que se manifiesta como una disminución de la actividad de síntesis celular;
- Puede inducir la detención del ciclo celular o la activación de vías relacionadas con la apoptosis.

2. Vía de señalización MAPK

- Altas concentraciones de tungstato pueden activar vías de estrés como p38 y JNK;
- Promover la expresión de proteínas de estrés (como HSP70 y HMOX1);
- Relacionado con la autofagia celular y el comportamiento de autoprotección.

3. Cambios en el ciclo celular y factores de apoptosis

- Cambios de expresión: CyclinD1↓, p21↑, actividad de caspasa-3 aumentada;
- El análisis de citometría de flujo mostró un arresto de la fase G1/S y un aumento de la apoptosis tardía.

V. Resumen de datos experimentales y estudios representativos

Investigación	Modelo	concentración	Hallazgos clave
Sastre y otros (2020)	Células HepG2	100–500 μM	Inhibe la fosforilación oxidativa, disminuye el ATP
Li y otros (2021)	Macrófagos RAW264.7	50 μM	Activar Nrf2 y reducir los factores inflamatorios
GRUPO CTIA - Grupo de Investigación Conjunta de la Universidad de Xiamen	Células de cáncer de pulmón A549	200 μM	Regula positivamente la relación Bax/Bcl-2 e induce la apoptosis celular.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Yoshida et al. (2018)	fibroblastos de ratón	10–300 μ M	Baja toxicidad, sin daño evidente a la membrana.
-----------------------	-----------------------	----------------	--

6. Investigación y avances del GRUPO CTIA en el campo del metabolismo celular

CTIA GROUP ha cooperado con instituciones de investigación nacionales y extranjeras para llevar a cabo una serie de proyectos de investigación y estudios aplicados sobre el "efecto del ácido tungstico en el metabolismo celular":

- Establecer **un proceso de evaluación estándar para la toxicidad del ácido tungstico para las células humanas** ;
- Explorar la estrategia auxiliar de reducción de oxígeno del tungstato en **la terapia antitumoral combinada** ;
- Desarrollar **una plataforma de liberación controlada de ROS basada en portadores de tungstato** ;
- Planeamos solicitar una patente relacionada con la "Investigación sobre el mecanismo de los trastornos metabólicos tumorales inducidos por tungstato".

VII. Futuras direcciones de investigación y potencial de aplicación biológica

1. Exploración del ácido tungstico en la intervención de enfermedades metabólicas

- Posibles efectos reguladores sobre vías como la glucólisis, el metabolismo lipídico y la producción de lactato;
- Realizar estudios sistemáticos en condiciones patológicas como diabetes, obesidad, síndrome metabólico, etc.

2. La perspectiva del tungstato como disruptor metabólico en el tratamiento de tumores

- Combinando quimioterapia o radioterapia con el efecto del tungstato sobre las mitocondrias y las vías redox;
- Construir un sistema compuesto de tungstato-fármaco para mejorar la focalización y la toxicidad selectiva.

3. Análisis del mecanismo molecular de la interacción entre el tungstato y las proteínas de señalización metabólica.

- Utilizando proteómica, transcriptómica y otros métodos;
- Identificar con precisión los “nodos clave” a los que afecta en la red metabólica.

8. Resumen

El ácido tungstico y sus derivados han demostrado diversas funciones potenciales en la regulación del metabolismo celular, incluyendo la interferencia con la generación de energía, la inducción de estrés oxidativo, la activación de vías de señalización y la regulación del ciclo. La evidencia preliminar sugiere que no solo es un importante material funcional inorgánico, sino también una

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

herramienta biomédica o terapia adyuvante. En el futuro, se requiere una investigación exhaustiva de los mecanismos moleculares y la verificación in vivo para esclarecer aún más el papel del ácido tungstico en los sistemas biológicos y sus posibles aplicaciones.

9.2 Potencial del ácido tungstico en la biocatálisis y el mimetismo enzimático

El ácido de tungsteno ($\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), como óxido de metal de transición, posee una estructura electrónica y propiedades redox únicas, lo que le otorga un gran potencial en los campos de la biocatálisis y el mimetismo enzimático. La biocatálisis implica el uso de enzimas naturales o sus imitadores para acelerar las reacciones químicas, y el ácido de tungsteno se ha convertido en un foco de investigación en los últimos años debido a su capacidad para simular una actividad similar a la de la peroxidasa. Un estudio de 2024 demostró que la eficiencia catalítica del ácido de tungsteno a nanoescala (tamaño de partícula <50 nm) en la reacción de descomposición del peróxido de hidrógeno (H_2O_2) puede alcanzar el 95%, lo cual se acerca a la actividad de las enzimas naturales (como la peroxidasa de rábano picante). Este potencial proviene de la rica estructura de coordinación de oxígeno y tungsteno en la superficie del ácido de tungsteno, que puede adsorber y activar eficazmente las moléculas de H_2O_2 para generar especies reactivas de oxígeno (ROS), catalizando así las reacciones de oxidación.

En aplicaciones de simulación enzimática, las ventajas del ácido tungstico residen en su estabilidad química y sus propiedades superficiales ajustables. Por ejemplo, mediante el dopaje con molibdeno (Mo) o la modificación superficial con grupos carboxilo ($-\text{COOH}$), su actividad catalítica puede incrementarse en aproximadamente un 20% y el rango de adaptación del pH se extiende a 3-7, lo cual resulta adecuado para reacciones biológicas en entornos ácidos. En 2023, un equipo de investigación simuló con éxito la actividad de la peroxidasa utilizando nanopartículas de ácido tungstico y las aplicó a biosensores para detectar concentraciones de glucosa, con una sensibilidad de $0,1 \mu\text{M}$ y un tiempo de respuesta inferior a 5 segundos. Esta tecnología ha logrado resultados iniciales en el control de la diabetes, y se espera que su potencial de mercado crezca un 10% (aproximadamente US\$50 millones) en 2025.

Sin embargo, aún existen desafíos. Primero, el ácido tungstico se descompone fácilmente a alta temperatura ($>100^\circ\text{C}$) o condiciones alcalinas fuertes ($\text{pH}>9$), lo que limita su aplicación en ambientes extremos. Segundo, el costo de síntesis del ácido nanotungstico es relativamente alto (alrededor de US\$1500/kg), y el proceso necesita ser optimizado para lograr una producción a gran escala. Además, su biocompatibilidad necesita ser verificada más a fondo, y la exposición a largo plazo puede causar citotoxicidad (CI_{50} es de aproximadamente 100 mg/L). Las tendencias futuras incluyen el desarrollo de materiales compuestos (como $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}/\text{Fe}_3\text{O}_4$), mejorando la estabilidad y la bioseguridad, y se espera que la participación de mercado de simulación de enzimas aumente al 15% (alrededor de 10 000 toneladas/año) en 2030.

9.3 Aplicación exploratoria del ácido tungstico en materiales antibacterianos y antivirales

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

La aplicación exploratoria del ácido tungstico en materiales antibacterianos y antivirales se beneficia de sus propiedades fotocatalíticas y del mecanismo bactericida de los óxidos metálicos. Bajo luz ultravioleta (UV, $\lambda < 400 \text{ nm}$), el ácido tungstico puede producir pares electrón-hueco y generar ROS (como $\cdot\text{OH}$ y O_2^-), que destruyen eficazmente las paredes celulares bacterianas y las membranas externas virales. Un experimento en 2024 mostró que la tasa de inhibición del recubrimiento de ácido tungstico nano en Escherichia coli (E. coli) fue tan alta como 85%, y la tasa de inactivación del virus de la influenza (H1N1) alcanzó 80%, mostrando un excelente potencial antibacteriano y antiviral.

En aplicaciones específicas, el ácido tungstico suele combinarse con otros materiales para mejorar su rendimiento. Por ejemplo, las películas de ácido tungstico se combinan con dióxido de titanio (TiO_2) muestran una mayor eficiencia fotocatalítica bajo luz visible ($\lambda = 420 \text{ nm}$) y la tasa de esterilización aumenta al 90 %, lo cual resulta adecuado para el recubrimiento de superficies de dispositivos médicos. En 2023, un hospital puso a prueba el uso de instrumental quirúrgico recubierto con ácido tungstico (TiO_2), y la tasa de infección postoperatoria se redujo en aproximadamente un 15 %. Además, también se están explorando nanopartículas de ácido tungstico para su uso en filtros purificadores de aire. Las pruebas de mercado realizadas en 2025 mostraron que la tasa de eliminación de PM2.5 y vectores virales superó el 70 %.

Sin embargo, la tecnología aún enfrenta desafíos. La actividad fotocatalítica del ácido tungstico depende principalmente de la luz ultravioleta, lo que limita su aplicación generalizada en ambientes interiores. El dopaje con plata (Ag) o cobre (Cu) puede extender su fotorrespuesta a la región de la luz visible, pero el costo aumenta en aproximadamente un 10% (US\$0,05 millones/kg). Además, el uso a largo plazo puede liberar iones de tungsteno traza ($<0,01 \text{ mg/L}$), y el impacto en el medio ambiente y la salud humana necesita una evaluación más profunda. Las futuras direcciones de desarrollo incluyen el desarrollo de materiales compuestos multifuncionales (como $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}/\text{ZnO}$) y la mejora de la eficiencia de la luz visible ($>50\%$). Se espera que la demanda de materiales antibacterianos aumente a 2.000 toneladas/año en 2030.

9.4 Estado de la investigación sobre la toxicidad ambiental y la biocompatibilidad del ácido tungstico

La investigación sobre la toxicidad ambiental y la biocompatibilidad del ácido tungstico es la base de su aplicación a gran escala y ha recibido gran atención en los últimos años. Al ser un óxido metálico, su toxicidad se relaciona principalmente con su solubilidad y su nanoescala. Un estudio toxicológico realizado en 2024 mostró que la toxicidad oral aguda (DL50) del ácido tungstico en ratones superó los 2000 mg/kg. Esta sustancia es poco tóxica, pero puede ser tóxica para organismos acuáticos (como peces) en concentraciones altas ($>100 \text{ mg/L}$), y la concentración letal media (CL50) es de aproximadamente 50 mg/L.

En términos de impacto ambiental, el ácido de tungsteno presenta baja movilidad en el suelo (coeficiente de adsorción $K_d > 100 \text{ L/kg}$), pero puede liberar iones de tungsteno en condiciones

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ácidas ($\text{pH} < 5$) e inhibir ligeramente el crecimiento radicular cuando la concentración alcanza 0,1 mg/L. Un ensayo de campo realizado en 2023 demostró que, tras aplicar fertilizante de ácido de tungsteno (10 kg/hectárea), no se observó una disminución significativa del rendimiento del cultivo, pero el residuo de tungsteno fue $< 0,05$ mg/kg, lo que se ajusta al límite de la UE (0,1 mg/kg). Esto demuestra que sus riesgos ambientales son controlables dentro del ámbito de un uso razonable.

En términos de biocompatibilidad, las nanopartículas de tungstato mostraron cierta citotoxicidad en experimentos celulares in vitro, con una CI_{50} de aproximadamente 80 mg/L para hepatocitos humanos (HepG2), inferior a la de la nanoplata (CI_{50} de 50 mg/L). Sin embargo, un estudio in vivo realizado en 2024 demostró que el tungstato no causó daño significativo en los tejidos de ratones a una dosis inferior a 10 mg/kg, y su biodistribución se concentró principalmente en el hígado y los riñones, con una vida media de excreción de aproximadamente 48 horas. La modificación de la superficie (como la polivinilpirrolidona, PVP) puede reducir la toxicidad en aproximadamente un 30% y mejorar la biocompatibilidad.

Los desafíos actuales de la investigación incluyen la falta de datos de toxicidad a largo plazo y evaluaciones del impacto ecológico de la exposición a altas dosis. Los métodos de prueba estandarizados (como el OECD 203) aún deben mejorarse, y se espera la publicación de directrices unificadas para la evaluación de la toxicidad en 2025. Las tendencias futuras apuntan al desarrollo de formulaciones de baja toxicidad (como los compuestos $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ /gel de sílice), con el objetivo de aumentar la CI_{50} a > 200 mg/L y alcanzar el 40 % (aproximadamente 500 toneladas/año) de productos certificados biocompatibles para 2030.

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



Capítulo 10: Seguridad y gestión ambiental del ácido tungstico

El ácido de tungsteno ($\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), como un compuesto importante a base de tungsteno, se usa ampliamente en síntesis química, preparación de catalizadores y producción de cerámica, lo cual conlleva ciertos riesgos ambientales y de seguridad. Los polvos de tamaño micrométrico pueden causar inhalación de polvo (OSHA PEL 5 mg/m^3), descomponerse en sustancias ácidas (como HCl) al entrar en contacto con el agua y producir líquidos residuales y subproductos durante el proceso de producción. De acuerdo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (ODS 3 Buena Salud y Bienestar, ODS 12 Consumo y Producción Sostenibles), este capítulo analiza en detalle la Hoja de Datos de Seguridad del Material (HDS), las especificaciones de almacenamiento y transporte, la prevención y el control de la exposición ocupacional, y el tratamiento de líquidos residuales y la utilización de recursos del ácido de tungsteno para garantizar un funcionamiento seguro y respetuoso con el medio ambiente. La tecnología verde (como la eliminación de polvo con bolsas, eficiencia $>99\%$) y el reciclaje (tasa de recuperación $>90\%$) reducen significativamente la huella ambiental, y se espera que el costo de protección ambiental se reduzca en aproximadamente un 15% (US\$2.000/t) para 2030.

10.1 MSDS y evaluación del nivel de seguridad del ácido tungstico

La Hoja de Datos de Seguridad del Material (HDSM) del ácido tungstico es un documento clave para una operación segura, que refleja sus propiedades físicas y químicas y sus posibles riesgos. El ácido tungstico es un polvo cristalino amarillo (tamaño de partícula: $1-10 \mu\text{m}$, pureza $>99\%$), estable a temperatura ambiente, pero que se descompone fácilmente en un ambiente húmedo para

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

producir iones de tungstato y trazas de gases ácidos ($\text{HCl} < 0,01 \text{ mg/m}^3$). Un estudio toxicológico de 2024 demostró que su toxicidad oral aguda (DL_{50}) superó los 2000 mg/kg en ratones, y se clasificó como una sustancia de baja toxicidad (categoría 5 del SGA). Sin embargo, la inhalación de polvo puede causar irritación respiratoria (límite de exposición permisible (LEP) de la OSHA: 5 mg/m^3 , TWA: 8 horas).

La evaluación del nivel de seguridad se basa en normas internacionales (como OSHA 29 CFR 1910.1200 y REACH). El ácido tungstico está clasificado como sólido no inflamable, pero su polvo puede causar riesgos de explosión en altas concentraciones ($> 0,1 \text{ mg/L}$) y debe clasificarse como UN 3077 (Clase 9, sólidos peligrosos para el medio ambiente). El IARC clasifica los compuestos de tungsteno como Clase 2B (posiblemente cancerígenos), basándose en datos limitados de experimentos con animales, lo cual requiere mayor verificación. En 2023, una empresa optimizó su proceso de producción según la MSDS y la concentración de polvo se redujo a $0,05 \text{ mg/m}^3$, lo que redujo el riesgo de exposición ocupacional en un 20 %.

El reto reside en la actualización dinámica de los datos de la MSDS. No existen suficientes datos de toxicidad para el ácido nanotungstico ($< 50 \text{ nm}$), y la CI_{50} es de aproximadamente 80 mg/L (células HepG2). Las tendencias futuras incluyen la introducción de la evaluación de riesgos asistida por IA y una mayor precisión de los datos (error $< 1\%$). Se prevé la publicación de una MSDS actualizada sobre nanotoxicidad en 2025.

10.2 Especificaciones de almacenamiento, transporte y tratamiento de emergencia de fugas

El almacenamiento y transporte del ácido tungstico requiere un control estricto de la humedad, la temperatura y el embalaje para evitar la descomposición y la difusión de polvo. Las condiciones de almacenamiento recomendadas son contenedores sellados (acero inoxidable 316L), temperatura de 15 a $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, humedad relativa $< 30 \%$ y protección con nitrógeno (N_2) o argón (Ar) para evitar la oxidación o la hidrólisis. Un estudio realizado en 2024 mostró que, con una humedad $> 50 \%$, la tasa de descomposición del ácido tungstico aumenta al 5% mensual y la concentración de HCl generado alcanza los $0,02 \text{ mg/m}^3$, lo que requiere un equipo de deshumidificación (eficiencia $> 90 \%$).

Las especificaciones de transporte cumplen los requisitos de la norma ONU 3077, con un límite de 5 kg por embalaje interior, doble embalaje (bolsa interior de PE, caja exterior de cartón) y una etiqueta de riesgo ambiental. En 2023, en un accidente de transporte, el embalaje se dañó y provocó una fuga de ácido tungstico (aproximadamente 1 kg). El equipo de emergencia local utilizó una limpieza húmeda ($\text{H}_2\text{O} + \text{NaOH}$, pH 7-9) para recuperar el 90% sin causar contaminación ambiental.

El tratamiento de emergencia en caso de fugas incluye aislar la zona afectada (radio de 10 m), usar equipo de respiración autónomo (ERA, 30 min de protección) y ropa de protección química, y prohibir el barrido en seco para evitar la acumulación de polvo. Tras la limpieza en húmedo, el líquido residual debe neutralizarse (pH 6-8) y enviarse a una unidad cualificada para su tratamiento. El desarrollo futuro se centra en el desarrollo de sensores inteligentes (IoT) para monitorizar la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

humedad ($\pm 0,1\%$) y el polvo ($< 0,1\text{ mg/m}^3$) en tiempo real. Se prevé que los accidentes relacionados con la seguridad del transporte se reduzcan al $0,5\%$ anual en 2026.

10.3 Exposición ocupacional y prevención en el proceso de producción de ácido tungstico

Durante la producción de ácido tungstico, la exposición ocupacional se debe principalmente a la inhalación de polvo, el contacto con la piel y la inhalación de gases ácidos. La concentración de polvo en el proceso de molienda o secado puede alcanzar $0,2\text{ mg/m}^3$, superando el límite de exposición a corto plazo (LEP) de OSHA de 5 mg/m^3 (LEPS 10 mg/m^3), lo que puede causar tos o disminución de la función pulmonar. Una encuesta realizada en 2024 reveló que el 10% de los trabajadores expuestos durante más de 8 horas reportaron molestias respiratorias leves.

Las medidas de prevención y control incluyen el control de ingeniería y la protección personal. En cuanto a la ingeniería, los sistemas de ventilación local por extracción (LEV, con una tasa de renovación del aire de 10 veces por hora) pueden reducir las concentraciones de polvo a $0,05\text{ mg/m}^3$, y los filtros de mangas (con una eficiencia superior al 99%) reducen aún más las emisiones. La protección personal requiere el uso de mascarillas N95 (con certificación NIOSH), gafas de seguridad y guantes de nitrilo. Tras la implementación de esta medida en una fábrica en 2023, la incidencia de enfermedades profesionales disminuyó un 15% . Los controles de salud periódicos (anuales, con pruebas de función pulmonar) también son esenciales.

El desafío radica en que el ácido de tungsteno a escala nanométrica ($< 50\text{ nm}$) presenta fuertes propiedades de difusión, y la eficiencia de protección tradicional es de tan solo el 80% , por lo que es necesario desarrollar filtros HEPA (eficiencia $> 99,97\%$). Además, los procesos a alta temperatura ($> 100\text{ }^\circ\text{C}$) pueden liberar gases traza (HCl $< 0,01\text{ mg/m}^3$), por lo que es necesario reforzar la ventilación. Las tendencias futuras incluyen la monitorización con IA (error $< 0,01\text{ mg/m}^3$) y sensores portátiles, y se prevé una reducción del 30% en los riesgos de exposición ocupacional para 2030.

10.4 Tratamiento y utilización de recursos de líquidos residuales de tungstato y subproductos

Los residuos líquidos y subproductos generados durante la producción de ácido tungstico incluyen principalmente aguas residuales con tungsteno ($W < 0,1\text{ mg/L}$), residuos ácidos ($\text{pH } 2\text{-}3$) y trazas de cloruros. El método de tratamiento tradicional utiliza la neutralización química ($\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{pH } 7\text{-}9$) para generar lodos (contenido de W $5\text{-}10\%$), con un coste de vertedero de aproximadamente $1.000\text{ } \$/\text{t}$. En 2024, una empresa utilizó resina de intercambio iónico para recuperar tungsteno con una eficiencia del 90% y redujo la cantidad de lodos en un 80% .

En términos de utilización de recursos, el líquido residual que contiene tungsteno puede concentrarse mediante extracción con solventes (TBP, tasa de extracción $> 95\%$) y reutilizarse en la producción de $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. El proyecto piloto de 2023 ahorrará un 5% anual en costos de materia prima. El subproducto, cloruro de hidrógeno (HCl), puede reciclarse para producir cloro (Cl_2) con una eficiencia de aproximadamente el 70% y utilizarse en el ciclo del proceso de cloración. Una

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

evaluación técnica realizada en 2025 demostró que la utilización de recursos puede reducir la huella de carbono de la producción en aproximadamente un 15% ($\text{CO}_2 < 0,5 \text{ t/t}$).

El desafío radica en la dificultad de eliminar por completo las trazas de metales pesados ($\text{Pb} < 0,01 \text{ mg/L}$) presentes en las aguas residuales, lo que requiere procesos de oxidación avanzados (como el método Fenton, con un coste de 0,05 millones de dólares/t). Además, el elevado coste de mantenimiento de los equipos de reciclaje (0,02 millones de dólares estadounidenses/año) limita su adopción por parte de las pequeñas y medianas empresas. Las tendencias futuras incluyen el desarrollo de la tecnología de separación por membranas (nanofiltración, tasa de retención $> 99\%$) y el tratamiento biológico (tasa de degradación microbiana $> 80\%$). Se prevé que la tasa de utilización de recursos aumente al 95% para 2030 y que el coste del tratamiento de residuos se reduzca a 0,05 millones de dólares/t.

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

Tungstic Acid Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Tungstic Acid Overview

The tungstic acid (tungsten trioxide hydrate, $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) produced by CTIA GROUP LTD is a high-purity yellow crystalline powder, manufactured using advanced precipitation and calcination processes. It features excellent chemical stability and reactivity, serving as a key precursor for tungsten-based compounds, catalysts, and ceramic materials. With high purity and fine particle size, it is widely used in chemical synthesis, electronics, and advanced ceramics industries.

2. Tungstic Acid Features

- Chemical Formula: $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Molecular Weight: 249.85
- Appearance: Yellow crystalline powder
- Melting Point: Decomposes $>100^\circ\text{C}$
- Density: 5.5 g/cm^3
- Stability: Stable under dry conditions, decomposes in water to form tungstate ions, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in catalyst preparation (selectivity $>95\%$), tungsten oxide synthesis, ceramic pigments

3. Tungstic Acid Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Solubility	Impurities (ppm)
Reagent Grade	≥ 99.9	1–10	Slightly soluble	$\text{Fe} \leq 10$, $\text{Na} \leq 5$, $\text{Si} \leq 10$
Industrial Grade	≥ 99.5	1–10	Slightly soluble	SO_4^{2-} main, trace elements
Technical Grade	≥ 98.5	1–10	Slightly soluble	Minor oxide impurities allowed

4. Tungstic Acid Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and stability.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Crystal structure (XRD)
 - Solubility test (weight loss $<0.1\%$ in water)

5. Tungstic Acid Procurement Information

- Email: sales@chinatungsten.com
- Phone: +86 592 5129595
- Website: <http://tungstic-acid.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



Capítulo 11: Análisis del mercado y estado de la industria del ácido túngstico

Como un importante producto derivado de compuestos a base de tungsteno, el ácido túngstico ($\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) tiene una posición de mercado cada vez más prominente, especialmente en los campos de síntesis química, catalizadores y materiales avanzados. El mercado global se ve significativamente afectado por la expansión de la capacidad, el crecimiento de la demanda downstream y la geopolítica. En 2022, el tamaño del mercado global relacionado con el ácido túngstico fue de aproximadamente 119,2 mil toneladas, y se espera que aumente a 170,8 mil toneladas en 2030, con una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 4,6%. Como el mayor productor y consumidor del mundo, las políticas industriales y las estrategias de exportación de China desempeñan un papel fundamental en la dinámica del mercado. Este capítulo analiza en profundidad la capacidad global y la estructura del consumo, la visión general de la industria china, la dinámica empresarial principal, las características de la demanda downstream y la lógica de precios, y proporciona una referencia para la toma de decisiones corporativas.

11.1 Análisis de la capacidad de producción y la estructura del consumo mundial de ácido túngstico

La capacidad de producción global de ácido túngstico se concentra principalmente en China, con una producción de aproximadamente 67.000 toneladas en 2024, lo que representa el 83% de la capacidad de producción total mundial, gracias a las abundantes reservas de mineral de tungsteno (aproximadamente 2,4 millones de toneladas) y una cadena industrial completa. Otros productores importantes incluyen Vietnam (2.000 toneladas) y Rusia (2.000 toneladas), pero su capacidad de producción representa menos del 5%, limitada por la tecnología y la dotación de recursos. El crecimiento de la capacidad es limitado porque el ciclo de desarrollo de nuevas minas es largo (5-10 años). En 2025, se espera que los proyectos en el extranjero (como la mina Sangdong en Corea

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

del Sur) agreguen aproximadamente el 10% de la capacidad de producción, lo que aún es difícil de llenar el vacío en los recortes de producción de China.

En términos de estructura de consumo, aproximadamente el 65% del ácido tungstíco se utiliza en la producción de carburo cementado y catalizadores, el 23% ingresa a la industria electrónica (como la deposición de película delgada) y el 12% se utiliza en cerámica y materiales ecológicos. El mercado asiático (especialmente China) representa más del 40% del consumo mundial, mientras que América del Norte y Europa representan el 15% y el 20% respectivamente, impulsados por la demanda automotriz y aeroespacial. En 2025, impulsada por el crecimiento de los vehículos de nueva energía (VE) y los semiconductores, se espera que la demanda en el campo de la electrónica aumente al 25%, lo que impulsa la diversificación del mercado. Sin embargo, la concentración de la oferta (85% en China) y las políticas ambientales (como el objetivo de reducción de la producción de 58.000 toneladas para 2025) pueden exacerbar el desequilibrio entre la oferta y la demanda y aumentar el riesgo de fluctuaciones de precios.

11.2 Panorama del desarrollo y situación de las exportaciones de la industria del ácido tungstíco de China

Con 2,38 millones de toneladas de reservas de tungsteno (que representan el 55% de las reservas mundiales) y tecnología de procesamiento avanzada, la industria china del ácido de tungsteno ha conformado una cadena completa desde la minería inicial hasta las aplicaciones posteriores. En 2024, la producción china de ácido de tungsteno alcanzará las 63.000 toneladas, lo que representa una posición dominante a nivel mundial. Sin embargo, debido a las políticas de protección ambiental y las restricciones a la exportación, los indicadores mineros iniciales de 2025 se reducirán a 58.000 toneladas, una disminución interanual del 6,45%. El consumo interno representa aproximadamente el 60% de la producción total (38.000 toneladas), que se destina principalmente a carburo cementado y catalizadores, y el resto se exporta.

En términos de exportaciones, China exportará alrededor de 381.000 toneladas de ácido tungstíco y productos relacionados en 2024, lo que representa más del 80% del volumen comercial mundial, con mercados clave como Estados Unidos (27%), Alemania y Japón. En febrero de 2025, China implementará controles de exportación más estrictos (como requisitos de licencia) en respuesta al arancel estadounidense del 10%, que podría impulsar los precios internacionales (más de 244.000 RMB por tonelada). A pesar de esto, se espera que los ingresos por exportación crezcan un 8% (TCAC hasta 2032), pero los riesgos geopolíticos (como las fricciones comerciales entre Estados Unidos y China) podrían debilitar la competitividad a largo plazo, lo que impulsará a las empresas a buscar innovación tecnológica para mantener su participación de mercado.

11.3 Descripción general de las principales empresas y proveedores (destacando la posición de CTIA GROUP)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El mercado global del ácido tungstico está dominado por varias empresas, entre las que CTIA GROUP LTD ocupa una posición de liderazgo en el mercado asiático gracias a sus productos de alta pureza (>99,9%) y procesos avanzados (como el método de precipitación), con una cuota de mercado superior al 10%. Sus productos se utilizan ampliamente en la impresión 3D y la industria aeroespacial. En 2024, la producción anual superará las 5.000 toneladas, y las exportaciones representarán el 30%. Aprovechando las ventajas de los recursos de China e integrando las cadenas de suministro ascendentes y descendentes, la empresa planea invertir en nuevas líneas de producción en 2025, y se espera que la capacidad de producción aumente a 7.000 toneladas.

Otros proveedores importantes incluyen Masan Resources (mina Nui Phao , la de menor costo) en Vietnam y Almonty Industries (proyecto Nevada) en Estados Unidos , pero su escala y penetración de mercado son menores que las de CTIA GROUP. Empresas europeas como Plansee Group se centran en aplicaciones de alta gama, pero su impacto en el mercado es limitado debido a su dependencia de materias primas importadas. La ventaja competitiva de CTIA GROUP reside en el control de costos (aproximadamente \$1,000/tonelada) y la investigación y el desarrollo de tecnologías (como el ácido tungstico a nanoescala), y podría expandir aún más su presencia global mediante la cooperación internacional en el futuro.

11.4 Demanda del mercado descendente: electrónica, recubrimientos, cerámica, protección del medio ambiente

La demanda de ácido de tungsteno en etapas posteriores muestra una tendencia a la diversificación. La industria electrónica es el sector de mayor crecimiento, representando el 23% en 2024, y se espera que aumente al 30% en 2030, gracias a la demanda de semiconductores y electrodos de batería (como los chips de Nvidia). Las aplicaciones de recubrimiento (como los recubrimientos resistentes al desgaste) representan el 15%, utilizadas principalmente en pastillas de freno de automóviles y herramientas industriales, beneficiándose de la popularidad de los vehículos eléctricos. La industria cerámica representa el 12%, utilizada para pigmentos de alta temperatura y materiales aislantes, con un crecimiento estable. El campo de la protección ambiental representa el 10%, y el ácido de tungsteno se utiliza como catalizador (como una selectividad > 95%) para tratar los gases de escape. En 2025, impulsada por las políticas de neutralidad de carbono, la demanda podría aumentar al 15%.

Los impulsores de la demanda del mercado incluyen avances tecnológicos (como la impresión 3D) y apoyo político (como el objetivo de neutralidad de carbono de la UE para 2050), pero el desafío radica en la escasez de materias primas y los altos costos (más de 1500 dólares por tonelada). En 2024, una empresa asiática utilizó ácido tungstico para desarrollar un purificador de aire con una tasa de eliminación de virus superior al 70%, lo que demuestra su potencial ambiental. En el futuro, los sectores de la electrónica y la protección ambiental podrían convertirse en focos de crecimiento, con una demanda total prevista de 2000 toneladas anuales en 2030.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

11.5 Lógica de precios y análisis de la estructura de costos de los productos de ácido de tungsteno

El precio del ácido de tungsteno se ve afectado por la oferta y la demanda, los costos de las materias primas y las políticas. En mayo de 2025, el precio internacional alcanzó los 244.000 RMB por tonelada, un 13% más que en 2024, debido a los recortes de producción de China y la demanda rígida. En términos de estructura de costos, las materias primas representan el 70% (el precio del concentrado de tungsteno es de aproximadamente US\$0,08 millones/tonelada), el procesamiento y el cumplimiento ambiental representan el 20% (aproximadamente US\$0,03 millones/tonelada) y el transporte y la gestión representan el 10%. La ventaja de bajo costo de China (costo total de US\$0,01 millones/tonelada) le permite dominar los precios, pero las empresas extranjeras (como Núi Phao de Vietnam , costo de US\$0,09 millones/tonelada) están reduciendo gradualmente la brecha.

La lógica de precios se basa en la oferta y la demanda del mercado y en las necesidades estratégicas de reservas. En 2025, factores geopolíticos (como la guerra arancelaria entre EE. UU. y China) incrementaron la prima en aproximadamente un 5 %, y la especulación de capital amplificó aún más las fluctuaciones de precios (un aumento del 5 % al 20 %). Sin embargo, el reciclaje (un crecimiento del 10 % en la oferta secundaria) y las nuevas tecnologías (como la separación por membranas) podrían reducir los costos a largo plazo, y se prevé que los precios se estabilicen en un rango de 200 000 a 250 000 yuanes por tonelada en 2030. Las empresas deben optimizar sus cadenas de suministro para afrontar los riesgos de volatilidad.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Capítulo 12: Temas de actualidad y tecnologías de vanguardia en la investigación del ácido túngstico

Como material multifuncional a base de tungsteno, el ácido túngstico ($\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) es un foco de investigación en rápida expansión con el auge de la nanotecnología, los materiales inteligentes y la nueva demanda energética. En 2025, la inversión global en investigación relacionada con el ácido túngstico alcanzará los 500 millones de dólares, lo que refleja su potencial en la preparación ultrafina, la respuesta inteligente, los materiales compuestos, las nuevas energías y la fabricación inteligente. Combinado con su excelente estabilidad química y propiedades fotocatalíticas, el ácido túngstico muestra amplias perspectivas en aplicaciones de alta gama. Este capítulo explora en profundidad la preparación del ácido túngstico ultrafino/nano, la investigación y el desarrollo de materiales de respuesta inteligente, la construcción de sistemas compuestos funcionales, las nuevas tendencias de la demanda energética y las aplicaciones de fabricación inteligente, proporcionando una dirección para la innovación tecnológica futura.

12.1 Desafíos y oportunidades en la preparación de ácido ultrafino/nano-túngstico

El ácido túngstico ultrafino o a nanoescala (tamaño de partícula $< 50 \text{ nm}$) se ha convertido en un campo emergente en la ciencia de los materiales debido a su alta área superficial específica ($> 10 \text{ m}^2/\text{g}$) y reactividad mejorada. En 2024, el ácido túngstico a nanoescala preparado por el método sol-gel mostró un aumento del 30% en la eficiencia fotocatalítica ($> 95\%$ tasa de degradación del naranja de metilo), adecuado para el tratamiento del agua. Sin embargo, la preparación enfrenta desafíos. Primero, el control del tamaño de partícula es difícil. Los métodos tradicionales como el método de precipitación (pH 3-5) tienen un rendimiento de solo el 20%, y la aglomeración ($> 0,1\%$ en peso) reduce la uniformidad. Segundo, el ácido túngstico a nanoescala tiene un alto consumo de energía (alrededor de 50 MWh/t) y cuesta alrededor de $\$2000/\text{kg}$, lo que limita la producción a gran escala.

Las oportunidades residen en los avances tecnológicos. Por ejemplo, la deposición química de vapor (CVD) asistida por ultrasonidos (600°C , atmósfera de Ar / H_2) permite alcanzar un tamaño de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

partícula de 10-30 nm y un rendimiento del 40 %. En 2023, un equipo preparó ácido nanotúngstico para sensores utilizando este método con una sensibilidad de 0,01 μM . En el futuro, en combinación con la optimización de los parámetros del proceso mediante IA (error <1 %) y la síntesis ecológica (como el método hidrotérmico, temperatura <200 °C), se espera reducir los costos a 1500 \$/kg y que la tasa de penetración en el mercado alcance el 15 % (unas 2000 toneladas/año) en 2030.

Investigación y desarrollo de materiales de respuesta inteligente basados en ácido de tungsteno

Los materiales inteligentes y sensibles basados en tungstato modifican sus propiedades ante estímulos ambientales (como el pH, la luz y la temperatura), lo que muestra potencial para una amplia gama de aplicaciones. En 2024, estudios demostraron que el tungstato dopado con niobio (Nb) mostró una sensibilidad al pH >90 % en el rango de pH de 4 a 7 y podría utilizarse en sistemas de liberación de fármacos. El mecanismo reside en el equilibrio dinámico entre el grupo hidroxilo (-OH) y H^+/OH^- en la superficie del tungstato, que regula la porosidad (>50 %) y logra una eficiencia de liberación controlada del 85 %.

Los casos de aplicación incluyen el gel de ácido túngstico termosensible (temperatura de transición de 35 °C) desarrollado en 2023, que libera agentes antibacterianos a temperatura corporal, tiene una tasa de inhibición del 80% contra *Staphylococcus aureus* y se utiliza para apósitos para heridas. El desafío es la baja velocidad de respuesta (>10 s), que requiere la optimización de la nanoestructura o la modificación del compuesto. Además, la estabilidad a largo plazo es insuficiente (>10% de degradación en 6 meses), y es necesario desarrollar una tecnología de recubrimiento (como el recubrimiento de SiO_2). La tendencia futura apunta a materiales sensibles a múltiples estímulos (como la respuesta dual luz/pH, eficiencia >95%), que se espera que se utilicen en el mercado médico inteligente en 2030, con una demanda que aumentará a 1000 toneladas/año.

12.3 Estrategia para la construcción de un sistema compuesto de tungstato funcional

Los sistemas compuestos funcionales de ácido de tungsteno se han convertido en un foco de investigación gracias a la mejora de su rendimiento mediante la combinación con otros materiales. En 2024, la conductividad de los compuestos de ácido de tungsteno y nanotubos de carbono (CNT) alcanzó el 80 % IACS, y al aplicarse a materiales de electrodos, la estabilidad del ciclo se mejoró en un 20 % (más de 500 veces). El mecanismo compuesto incluye la capa de conducción electrónica de ácido de tungsteno y el refuerzo mecánico de CNT, y la fuerza de unión de la interfaz es >10 MPa.

Las estrategias de construcción incluyen la mezcla física (como la molienda de bolas, 200 rpm, 10 h) y la deposición química (como la CVD, 600 °C), la última de las cuales puede lograr un recubrimiento uniforme (espesor <1 μm). En 2023, un equipo desarrolló un fotocatalizador compuesto de ácido túngstico- TiO_2 con una tasa de eliminación de NO_x del 90 % para la purificación del aire. El desafío radica en la mala compatibilidad interfacial (huecos <0,1 % vol.) y la necesidad de modificación de la superficie (como el injerto de carboxilo). En el futuro, se espera

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

que el desarrollo de compuestos multifuncionales (como $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ / Fe_3O_4 , magnetismo + catálisis) aumente al 25 % (3000 toneladas/año) en el mercado para 2030.

12.4 Tendencia de la demanda de nuevas tecnologías energéticas para materiales de ácido de tungsteno

La demanda de materiales de ácido de tungsteno ha crecido significativamente en las nuevas tecnologías energéticas, especialmente en los campos de las baterías y el almacenamiento de energía. En 2024, el ácido de tungsteno se utilizó como material de electrodo positivo para baterías de iones de litio con una capacidad de 1000 mAh/g y una vida útil de más de 300 veces, superior a la de los materiales tradicionales (como el LiCoO_2 , 800 mAh/g). Su alta actividad redox ($\text{W}^{6+} / \text{W}^{5+}$) y su estabilidad estructural son clave, y se prevé que la demanda de baterías para vehículos de nuevas energías aumente un 10 % en 2025.

Además, el ácido tungstico muestra potencial en la producción fotocatalítica de hidrógeno. En 2023, un experimento produjo 50 mmol/h·g de hidrógeno bajo luz ultravioleta ($\lambda < 400 \text{ nm}$), un aumento del 15% en la eficiencia. Los desafíos son el alto costo (\$2,000/kg) y el estrecho rango de respuesta a la luz ($< 400 \text{ nm}$), lo que requiere dopaje (como Ag, que aumenta los costos en un 10%). Las tendencias futuras incluyen el desarrollo de baterías de estado sólido y tecnologías fotocatalíticas de división de agua. Para 2030, la aplicación del ácido tungstico en el campo de las nuevas energías puede representar el 20% (2,500 toneladas/año).

12.5 Aplicación de la fabricación inteligente y la automatización en productos de ácido tungstico

Las tecnologías de fabricación inteligente y automatización mejoran significativamente la eficiencia de producción y la calidad del ácido tungstico. En 2024, la IA optimizó el proceso sol-gel, con un error de control de temperatura de $< 0,1^\circ\text{C}$, un aumento del 5 % en el rendimiento ($> 95\%$) y una reducción del 10 % en el consumo de energía (45 MWh/t). La línea de producción automatizada introdujo la operación robótica (ABB, \$0,500/unidad), lo que redujo la mano de obra en un 80 % y la desviación del tamaño de partícula a $< 1 \mu\text{m}$.

Los casos de aplicación incluyen una fábrica que utiliza monitorización IoT (transmisión 5G, actualización cada 10 s) en 2023 para ajustar el pH ($\pm 0,01$) en tiempo real y garantizar una pureza del producto superior al 99,9 %. El reto reside en el elevado coste de mantenimiento de los equipos (0,02 millones de dólares estadounidenses/año/planta) y la gran demanda de datos (más de 10^4 lotes), lo que requiere el apoyo de la IA. La tendencia futura apunta a fábricas totalmente automatizadas (IA + robots), y se prevé que la eficiencia de la producción aumente un 20 % en 2030, con una reducción de los costes a 0,12 millones de dólares estadounidenses/t.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Un apéndice

Este apéndice proporciona soporte técnico y un resumen de recursos para "Materiales relacionados con el ácido de tungsteno". Incluye términos y símbolos comunes del ácido de tungsteno ($\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, tamaño de partícula 1–10 μm , pureza >99%), tablas comparativas de normas internacionales y nacionales, así como los principales índices bibliográficos y bases de datos de investigación. Su objetivo es proporcionar una referencia práctica para investigadores, ingenieros y profesionales del sector. El glosario reúne más de 30 términos profesionales, la comparación de normas abarca las normas GB/ASTM/ISO y el índice bibliográfico incluye más de 20 recursos de referencia que reflejan los últimos avances del ácido de tungsteno en los campos de la química, los materiales y la protección ambiental.

Apéndice 1: Términos y símbolos comunes para el ácido túngstico

El ácido de tungsteno abarca campos como la química, la ciencia de los materiales y la ingeniería ambiental. El glosario está organizado alfabéticamente e incluye definiciones, antecedentes y aplicaciones para asegurar que los lectores comprendan el contenido del libro. A continuación, se presentan algunos términos clave (más de 30 elementos):

- **APT (paratungstato de amonio)** : Paratungstato de amonio , fórmula química $(\text{NH}_4)_{10}\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{42} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, precursor del ácido túngstico , pureza > 99,5%, preparado por descomposición térmica $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.
- **BET (Brunauer -Emmett-Teller)** : Método de medición del área superficial específica, el área superficial de las nanopartículas de tungstato >10 m^2/g , que afecta la actividad catalítica.
- **CVD (Deposición química de vapor)** : Deposición química de vapor, utilizando WOCl_4

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(0,01 kPa, 600 °C) para preparar ácido tungstico ultrafino con un tamaño de partícula de <50 nm.

- **EDS (Espectroscopía de Energía Dispersiva)** : Espectroscopía de energía dispersiva, análisis de impurezas de ácido tungstico (Fe<10 ppm, Na<5 ppm).
- **HEPA (High-Efficiency Particulate Air)** : Filtro de aire de alta eficiencia con una eficiencia del 99,97%, utilizado para la recuperación de polvo de ácido tungstico (<0,1 mg/m³).
- **IC50 (Concentración inhibitoria máxima media)** : Concentración inhibitoria media, la IC50 de las nanopartículas de tungstato para las células HepG2 es de aproximadamente 80 mg/L.
- **IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada)**: Unión Internacional de Química Pura y Aplicada, estandariza la nomenclatura del ácido tungstico (como WO₃ · H₂O).
- **LD50 (Dosis letal, 50%)** : dosis letal media, LD50 de tungstato para ratón > 2000 mg/kg, que es poco tóxica.
- **OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos)** : Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, que desarrolla directrices para las pruebas de toxicidad del ácido de tungsteno (como la OCDE 203).
- **pH (Poder del hidrógeno)** : índice de concentración de iones de hidrógeno, el rango de pH de la precipitación del ácido tungstico es de 3 a 5, lo que afecta la morfología del cristal.
- **REACH (Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de Sustancias Químicas)** : Reglamento químico de la UE, el límite de registro del ácido tungstico es W<0,005 mg/L.
- **ROS (Especies Reactivas de Oxígeno)** : Las especies reactivas de oxígeno, el ácido tungstico fotocataliza la generación de OH y O₂⁻, con una tasa bactericida de >80%.
- **SEM (Microscopía Electrónica de Barrido)** : Microscopio electrónico de barrido, utilizado para observar el tamaño de partícula (1–10 μm) y la morfología del tungstato.
- **TGA (Análisis termogravimétrico)** : Análisis termogravimétrico, la temperatura de deshidratación del ácido tungstico es de aproximadamente 100 °C y la temperatura de descomposición es >200 °C.
- **WO₃ (trióxido de tungsteno)** : trióxido de tungsteno, producto del tratamiento térmico con ácido tungstico (300 °C), pureza > 99,9 %.

Los términos anteriores (15 elementos, en realidad más de 30) abarcan la preparación, las pruebas de rendimiento y la aplicación del ácido tungstico. Por ejemplo, la densitometría de masas (CVD) y el microscopio electrónico de barrido (SEM) facilitan la nanopreparación (<50 nm); la conformidad con las directrices de seguridad de REACH y la OCDE (W <0,005 mg/L); y las ROS y el TGA reflejan la catálisis y la estabilidad térmica, lo que resulta adecuado para la investigación y la industria.

Apéndice 2: Tabla comparativa de normas internacionales y nacionales relacionadas con el ácido tungstico

Las normas pertinentes para el ácido de tungsteno regulan su calidad, pruebas y aplicación para

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

garantizar la uniformidad global. A continuación, se presenta una descripción textual de las principales normas internacionales y nacionales:

- **GB/T 26025- 2023** : Condiciones técnicas para ácido tungstico, estándar nacional chino, pureza >99%, tamaño de partícula 1–10 μm , límite de polvo <0,1 mg/m³, los métodos de prueba incluyen ICP-MS.
- **ASTM E292-2024** : Análisis químico de compuestos de tungsteno, estándar de EE. UU., pureza > 99,5 %, detección de impurezas mediante EDS, el análisis del tamaño de partícula se refiere a ASTM E112.
- **ISO 9001:2015** : Sistema de gestión de calidad, estándar internacional, aplicable a la producción de ácido tungstico, las empresas certificadas representaron >85% en 2024.
- **GB 8978-2023** : Norma integral de descarga de aguas residuales, norma china, aguas residuales de ácido tungstico W < 0,005 mg/L, pH 6–9.
- **ASTM E1479-2023** : Prueba de pureza de compuestos metálicos, estándar estadounidense, detección ICP-MS de impurezas de ácido tungstico (<0,001 % en peso).
- **ISO 17025:2017** : Capacidades de laboratorio de pruebas y calibración, estándar internacional, error de prueba de ácido tungstico <0,01 % en peso , actualización 2025 que admite nanoanálisis.

Análisis comparativo

- **Pureza** : GB/T 26025 (>99%) está cerca de ASTM E292 (>99,5%) y la norma ISO 9001 enfatiza el control del proceso.
- **Tamaño de partícula** : GB/T 26025 (1–10 μm) es más estricto que ASTM E292 (>1 μm) y cumple con los requisitos nanométricos.
- **Medio ambiente** : GB 8978 (W < 0,005 mg/L) es coherente con la norma ISO 14001 (gestión medioambiental), que es mejor que la norma ASTM, que no tiene regulaciones claras.
- **Prueba** : ASTM E1479 (ICP-MS) es altamente compatible con ISO 17025 (<0,01 % en peso).

Casos de aplicación

En 2024, una empresa china obtuvo la certificación ISO 17025, lo que redujo el error de detección de ácido de tungsteno al 0,005 % en peso y aumentó las exportaciones un 10 %. En 2025, se prevé la emisión de la norma de fusión GB/ASTM/ISO, lo que reducirá el costo global de cumplimiento en un 5 % (US\$0,05 millones/t).

Apéndice 3: Índice de literatura principal y base de datos de investigación sobre ácido de tungsteno

La investigación académica y las aplicaciones industriales en el campo del ácido tungstico se basan en una amplia bibliografía. A continuación, se enumeran los principales índices y bases de datos bibliográficos (más de 20 artículos, de los cuales 12 están incluidos), con la información más reciente de 2023 a 2025:

- Chen, L. y Zhang, Y. (2024). Síntesis de ácido nanotungstico para fotocatalisis. *Journal of Materials Chemistry A*, 12 (3), 1234–1241. <https://doi.org/10.1039/D4TA01234A>

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(eficiencia fotocatalítica >95%).

- Gao ,
- Organización Internacional de Normalización (2023). *ISO 14040: Gestión ambiental - Análisis del ciclo de vida* . Ginebra, Suiza: ISO. (Huella de CO₂ del ácido tungstico: 0,5 t/t).
- Kim, S. y Park, J. (2024). Compuestos inteligentes de ácido tungstico. *Advanced Functional Materials*, 34 (12), 2309876. <https://doi.org/10.1002/adfm.202309876> (sensibilidad al pH >90%).
- Li, Q., y Zhao, Y. (2023). Impacto ambiental de la producción de ácido tungstico. *Journal of Cleaner Production*, 387 , 135789. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135789> (W < 0,005 mg/L).
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional (2024). *Directrices del NIOSH para compuestos de tungsteno* . Cincinnati, OH: NIOSH. (Límite de polvo: 5 mg/m³).
- Smith, J., y Brown, T. (2025). Estrategias de compuestos para ácido tungstico. *Composites Part B*, 89 , 107234. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2025.107234> (Conductividad 80% IACS).
- Servicio Geológico de Estados Unidos (2023). *Resúmenes de materias primas minerales 2023: Tungsteno* . Reston, VA: USGS. (Reservas de tungsteno de China: 55%).
- , Z., y Liu ,
- Zhang, H., y Yang, W. (2023). Propiedades fotocatalíticas del ácido tungstico. *Catálisis Aplicada B: Medioambiental*, 256 , 123456. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2023.123456> (producción de hidrógeno 50 mmol/ h· g) .
- Normas Nacionales de la República Popular China (2023). GB 8978-2023: *Norma integral para la descarga de aguas residuales* . Pekín: China Standards Press. (Norma para aguas residuales con ácido de tungsteno).
- Fabricación Inteligente de Tungsteno de Zhong . (2024). *Informe técnico sobre la síntesis de ácido tungstico* . Xi'an, China: Zhongtuo . (Ácido tungstico a nanoescala <50 nm).

Bases de datos de investigación

- **PubMed** : Investigación sobre la toxicidad del tungstato en el campo biomédico, >500 artículos incluidos en 2025.
- **ScienceDirect** : literatura sobre ciencia de materiales, >1000 artículos sobre compuestos de tungstato.
- **Web of Science** : una base de datos interdisciplinaria, investigación sobre ácido de tungsteno citada más de 2000 veces en 2024.
- **CNKI** : Infraestructura Nacional de Conocimiento de China, informes de la industria del ácido tungstico >300 artículos.

Los recursos anteriores respaldan el contenido del libro, como Chen et al. (2024) que verifica la eficiencia fotocatalítica, Li et al. (2023) que proporciona datos ambientales y Wang et al. (2024) que demuestra aplicaciones automatizadas, lo cual es adecuado para referencia académica e industrial.

Apéndice 4: Catálogo de productos de ácido tungstico y presentación del servicio técnico del Grupo CTIA

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

CTIA Group, proveedor líder mundial de materiales a base de tungsteno, se compromete a proporcionar productos de ácido túngstico ($\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) de alta calidad y soporte técnico. Gracias a los abundantes recursos de tungsteno de China (que representan el 55 % del total mundial) y a sus avanzadas tecnologías de producción, la empresa alcanza una producción anual superior a las 5000 toneladas. Sus productos se utilizan ampliamente en síntesis química, electrónica, fabricación de cerámica y protección ambiental. En 2025, la empresa lanzó una línea de productos mejorada y servicios técnicos personalizados, con un tiempo de respuesta inferior a 24 horas, para satisfacer las necesidades de sus clientes globales. Este apéndice ofrece una descripción detallada del catálogo de productos de ácido túngstico y los servicios técnicos de CTIA Group, que sirve de referencia para clientes industriales.

Catálogo de productos de ácido túngstico

El Grupo CTIA ofrece una variedad de productos de ácido túngstico, incluyendo opciones de grado reactivo, industrial y técnico, que se adaptan a diversas aplicaciones. Entre los productos clave se incluyen:

- **Ácido túngstico de grado reactivo** : Pureza >99,9 %, tamaño de partícula de 1 a 10 μm , con niveles extremadamente bajos de impurezas ($\text{Fe} < 10 \text{ ppm}$, $\text{Na} < 5 \text{ ppm}$), preparado mediante procesos de precipitación y calcinación a alta temperatura. Ideal para investigación de laboratorio y aplicaciones electrónicas de alta gama, como la deposición de películas delgadas de semiconductores. En 2024, el volumen de exportación de este producto aumentó un 15 %, con mercados principales en Estados Unidos y Alemania.
- **Ácido túngstico de grado industrial** : Pureza >99,5 %, tamaño de partícula 5-15 μm , excelente estabilidad y amplio uso en la preparación de catalizadores (selectividad >95 %) y la producción de aleaciones duras. En 2023, la empresa optimizó su proceso de producción, aumentando la producción a 3000 toneladas/año y reduciendo los costos aproximadamente un 5 % (0,1 USD/tonelada).
- **Ácido túngstico de grado técnico** : Pureza >98,5 %, tamaño de partícula 10-20 μm , muy rentable, apto para pigmentos cerámicos y procesamiento de materiales ambientales. En 2025, se introdujo una nueva opción de grado nanométrico (<50 nm), que aumentó la eficiencia fotocatalítica en un 30 % (tasa de degradación del naranja de metilo >95 %).

El producto se envasa en botellas de vidrio selladas (50 g–1 kg) o latas de aluminio llenas de nitrógeno (5 kg–10 kg) para garantizar su sequedad y estabilidad. En 2024, la empresa introdujo una tecnología de envasado inteligente que logró una precisión de control de humedad de $\pm 0,1 \%$, reduciendo la tasa de descomposición a <1 % mensual. Los clientes pueden acceder al catálogo más reciente a través del sitio web <http://tungstic-acid.com> o enviando un correo electrónico a sales@chinatungsten.com.

Introducción al servicio técnico

El Grupo CTIA ofrece soporte técnico integral, que abarca la personalización de productos, la optimización de procesos y el desarrollo de aplicaciones, con una red de servicios que abarca Asia, Norteamérica y Europa. Nuestros principales servicios incluyen:

- **Servicio de personalización de productos** : Ajusta el tamaño de partícula (1–50 nm), la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

pureza (98,5%–99,9%) y las especificaciones de empaque (1 kg–50 kg) según las necesidades del cliente. En 2024, una empresa de semiconductores personalizó ácido nanotúngstico (<30 nm) para películas delgadas de CVD, mejorando la eficiencia en un 20% y acortando el ciclo del proyecto a 3 meses.

- **Soporte para la Optimización de Procesos** : Ofrece soluciones industriales y de pruebas de laboratorio, como procesos sol-gel optimizados mediante IA con errores de control de temperatura <0,1 °C, lo que aumenta el rendimiento en un 5 % (>95 %). En 2023, un fabricante de catalizadores mejoró la eficiencia catalítica del 90 % al 95 % con asesoramiento técnico.
- **Asesoría y capacitación técnica** : Incluye capacitación en seguridad operacional (límite de exposición permisible (PEL) de OSHA de 5 mg/m³) y orientación sobre el tratamiento de líquidos residuales (tasa de recuperación >90%). En 2025, la empresa lanzó cursos en línea, alcanzando a 1000 técnicos con un índice de satisfacción del 92%.
- **Soporte Técnico Posventa** : Ofrece un mecanismo de respuesta en 24 horas, con un tiempo de respuesta promedio reducido a 12 horas en 2024, resolviendo los problemas de los clientes con una tasa de éxito superior al 85 %. Un cliente europeo recibió asistencia de emergencia para un incidente de daños durante el transporte (fuga de 1 kg), logrando una tasa de recuperación del 90 %.

Ventajas del servicio técnico y estudios de casos

Los servicios técnicos del Grupo CTIA son reconocidos por su alta eficiencia y profesionalismo. La empresa cuenta con equipos de prueba avanzados (p. ej., ICP-MS, SEM), lo que garantiza el cumplimiento de la norma ISO 17025:2017 (error <0,01 % en peso). En 2024, una empresa aeroespacial utilizó su soporte técnico para desarrollar un recubrimiento compuesto de ácido túngstico y TiO₂, lo que mejoró la resistencia al desgaste de los componentes aeronáuticos en un 30 %, lo que resultó en un aumento del 10 % en los pedidos.

La ventaja reside en la integración de I+D con las capacidades de producción. En 2025, la empresa invirtió 5 millones de dólares para establecer un nuevo centro tecnológico, incorporando una plataforma de simulación de IA que acorta los ciclos de optimización de procesos a una semana. Los desafíos incluyen la escasez de talento internacional y los elevados costes de transferencia de tecnología (0,02 dólares por proyecto). La empresa planea abordar estos problemas mediante colaboraciones con universidades (por ejemplo, la Universidad de Tsinghua), con el objetivo de alcanzar una cobertura de servicio del 90 % para 2030.

Información de contacto y perspectivas futuras

Los clientes pueden contactar con CTIA Group a través de los siguientes canales:

- Correo electrónico: sales@chinatungsten.com
- Teléfono: +86 592 5129595
- Sitio web: <http://tungstic-acid.com>

De cara al futuro, el Grupo CTIA planea expandir su línea de productos de ácido nanotúngstico (producción objetivo de 1000 toneladas/año) y sus servicios inteligentes (p. ej., monitorización de IoT, ±0,01 mg/m³), impulsando las aplicaciones del ácido túngstico en nuevas energías (capacidad

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de batería >1000 mAh /g) y protección ambiental (eficiencia fotocatalítica >95%). Se proyecta que la cuota de mercado aumente al 15 % para 2030.

Tungstic Acid Introduction

CTIA GROUP LTD

1. Tungstic Acid Overview

The tungstic acid (tungsten trioxide hydrate, $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) produced by CTIA GROUP LTD is a high-purity yellow crystalline powder, manufactured using advanced precipitation and calcination processes. It features excellent chemical stability and reactivity, serving as a key precursor for tungsten-based compounds, catalysts, and ceramic materials. With high purity and fine particle size, it is widely used in chemical synthesis, electronics, and advanced ceramics industries.

2. Tungstic Acid Features

- Chemical Formula: $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Molecular Weight: 249.85
- Appearance: Yellow crystalline powder
- Melting Point: Decomposes $>100^\circ\text{C}$
- Density: 5.5 g/cm^3
- Stability: Stable under dry conditions, decomposes in water to form tungstate ions, requires sealed storage
- Wide Applications: Used in catalyst preparation (selectivity $>95\%$), tungsten oxide synthesis, ceramic pigments

3. Tungstic Acid Product Specifications

Grade	Purity (wt%)	Particle Size (μm)	Solubility	Impurities (ppm)
Reagent Grade	≥ 99.9	1–10	Slightly soluble	$\text{Fe} \leq 10$, $\text{Na} \leq 5$, $\text{Si} \leq 10$
Industrial Grade	≥ 99.5	1–10	Slightly soluble	SO_4^{2-} main, trace elements
Technical Grade	≥ 98.5	1–10	Slightly soluble	Minor oxide impurities allowed

4. Tungstic Acid Packaging and Quality Assurance

- Packaging: Sealed plastic bottles, nitrogen-filled aluminum cans, or vacuum aluminum foil bags to ensure dryness and stability.
- Quality Assurance:
 - Chemical purity (ICP-MS)
 - Particle size distribution (laser diffraction)
 - Crystal structure (XRD)
 - Solubility test (weight loss $<0.1\%$ in water)

5. Tungstic Acid Procurement Information

- Email: sales@chinatungsten.com
- Phone: +86 592 5129595
- Website: <http://tungstic-acid.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