

Энциклопедия вольфрамата натрия

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

Мировой лидер в области интеллектуального производства для вольфрамовой,
молибденовой и редкоземельной промышленности

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

ВВЕДЕНИЕ В CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, дочерняя компания с полной собственностью и независимым юридическим лицом, созданная CHINATUNGSTEN ONLINE, занимается продвижением интеллектуального, интегрированного и гибкого проектирования и производства вольфрамовых и молибденовых материалов в эпоху промышленного Интернета. CHINATUNGSTEN ONLINE, основанная в 1997 году с www.chinatungsten.com в качестве отправной точки — первого в Китае веб-сайта с продукцией из вольфрама высшего уровня — является пионерской компанией электронной коммерции в стране, сосредоточенной на вольфрамовой, молибденовой и редкоземельной промышленности. Используя почти три десятилетия обширного опыта в области вольфрама и молибдена, CTIA GROUP унаследовала исключительные проектные и производственные возможности своей материнской компании, превосходное обслуживание и международную деловую репутацию, став поставщиком комплексных прикладных решений в области вольфрамовых химикатов, вольфрамовых металлов, твердых сплавов, высокоплотных сплавов, молибдена и молибденовых сплавов.

За последние 30 лет CHINATUNGSTEN ONLINE создала более 200 многоязычных профессиональных веб-сайтов по вольфраму и молибдену, охватывающих более 20 языков, с более чем миллионом страниц новостей, цен и анализа рынка, связанных с вольфрамом, молибденом и редкоземельными металлами. С 2013 года ее официальный аккаунт WeChat "CHINATUNGSTEN ONLINE" опубликовал более 40 000 единиц информации, обслуживая почти 100 000 подписчиков и ежедневно предоставляя бесплатную информацию сотням тысяч специалистов отрасли по всему миру. Благодаря совокупным посещениям кластера ее веб-сайта и официального аккаунта, достигающим миллиардов раз, он стал признанным мировым и авторитетным информационным центром для отраслей вольфрама, молибдена и редкоземельных металлов, предоставляя круглосуточные многоязычные новости, характеристики продукции, рыночные цены и услуги по тенденциям рынка.

Основываясь на технологиях и опыте CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP фокусируется на удовлетворении индивидуальных потребностей клиентов. Используя технологию искусственного интеллекта, она совместно с клиентами проектирует и производит вольфрамовые и молибденовые изделия с определенным химическим составом и физическими свойствами (такими как размер частиц, плотность, твердость, прочность, размеры и допуски). Она предлагает комплексные услуги по полному процессу, начиная от открытия пресс-формы, опытного производства и заканчивая отделкой, упаковкой и логистикой. За последние 30 лет CHINATUNGSTEN ONLINE предоставила услуги по НИОКР, проектированию и производству для более чем 500 000 видов вольфрамовых и молибденовых изделий более чем 130 000 клиентов по всему миру, заложив основу для индивидуального, гибкого и интеллектуального производства. Опираясь на эту основу, CTIA GROUP еще больше углубляет интеллектуальное производство и интегрированные инновации вольфрамовых и молибденовых материалов в эпоху промышленного Интернета.

Доктор Ханис и его команда в CTIA GROUP, основываясь на своем более чем 30-летнем опыте работы в отрасли, также написали и опубликовали знания, технологии, анализ цен на вольфрам и рыночных тенденций, связанных с вольфрамом, молибденом и редкоземельными металлами, свободно делясь ими с вольфрамовой промышленностью. Доктор Хан, имеющий более чем 30-летний опыт с 1990-х годов в электронной коммерции и международной торговле вольфрамовой и молибденовой продукцией, а также в проектировании и производстве цементированных карбидов и сплавов высокой плотности, является известным экспертом в области вольфрамовой и молибденовой продукции как на внутреннем, так и на международном уровне. Придерживаясь принципа предоставления профессиональной и высококачественной информации для отрасли, команда CTIA GROUP постоянно пишет технические исследовательские работы, статьи и отраслевые отчеты, основанные на производственной практике и потребностях клиентов рынка, завоевывая широкую похвалу в отрасли. Эти достижения обеспечивают надежную поддержку технологическим инновациям CTIA GROUP, продвижению продукции и отраслевому обмену, позволяя ей стать лидером в сфере мирового производства вольфрамовой и молибденовой продукции и информационных услуг.



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 LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

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

2. Sodium Tungstate Features

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

3. Product Specifications

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

4. Packaging and Quality Assurance

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

5. Procurement Information

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Оглавление

Предисловие

- 1.1 Цель и значение составления Энциклопедии вольфрамата натрия
- 1.2 Обзор истории и развития вольфрамата натрия
- 1.3 Структура и руководство по использованию энциклопедии вольфрамата натрия
- 1.4 Целевые читатели и применимые сценарии энциклопедии вольфрамата натрия

Глава 1 Вольфрамат натрия Введение

- 1.1 Определение и химическая формула вольфрамата натрия
- 1.2 Физические свойства вольфрамата натрия (внешний вид, плотность, температура плавления, растворимость и т. д.)
- 1.3 Химические свойства вольфрамата натрия (кислотность, щелочность, окислительно-восстановительные свойства, устойчивость)
- 1.4 Кристаллическая структура и молекулярные свойства вольфрамата натрия
- 1.5 Изомеры и родственные соединения вольфрамата натрия

Глава 2 Классификация и форма вольфрамата натрия

- 2.1 Безводная форма и дигидрат вольфрамата натрия ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- 2.2 Различные уровни чистоты вольфрамата натрия (промышленный, аналитический, фармацевтический)
- 2.3 Растворы и твердые формы вольфрамата натрия
- 2.4 Требования к упаковке и хранению вольфрамата натрия

Глава 3 Химическая реакция вольфрамата натрия

- 3.1 Реакция вольфрамата натрия с кислотой (с образованием вольфрамовой кислоты и т. д.)
- 3.2 Реакция комплексообразования вольфрамата натрия и ионов металлов
- 3.3 Характеристики окислительно-восстановительной реакции вольфрамата натрия
- 3.4 Термическое разложение и высокотемпературная реакция вольфрамата натрия
- 3.5 Каталитическое действие и механизм реакции вольфрамата натрия

Глава 4. Лабораторный метод получения вольфрамата натрия

- 4.1 Извлечение вольфрамата натрия из вольфрамовой руды
- 4.2 Химический синтез вольфрамата натрия (реакция вольфрамовой кислоты и гидроксида натрия)
- 4.3 Электрохимическая технология получения вольфрамата натрия
- 4.4 Лабораторная технология очистки и кристаллизации вольфрамата натрия
- 4.5 Меры предосторожности при получении вольфрамата натрия

Глава 5. Промышленный процесс производства вольфрамата натрия

- 5.1 Выбор сырья для вольфрамата натрия (шеелит, вольфрамит, отходы вольфрамового сырья)
- 5.2 Гидрометаллургический процесс вольфрамата натрия (щелочное выщелачивание,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ионный обмен)

- 5.3 Процесс прокаливания и растворения вольфрамата натрия
- 5.4 Промышленная технология кристаллизации и сушки вольфрамата натрия
- 5.5 Оборудование и автоматизация производства вольфрамата натрия
- 5.6 Обработка и переработка побочных продуктов вольфрамата натрия

6 Контроль качества и испытания вольфрамата натрия

- 6.1 Метод анализа чистоты вольфрамата натрия (ИСП-МС, РФА и т.д.)
- 6.2 Обнаружение примесей в вольфрамите натрия (Mo, Fe, Ca и т.д.)
- 6.3 Морфология кристаллов вольфрамата натрия и анализ размера частиц
- 6.4 Определение pH и концентрации раствора вольфрамата натрия
- 6.5 Международные и национальные стандарты испытаний вольфрамата натрия (ISO, GB/T)

Глава 7. Промышленное применение вольфрамата натрия

- 7.1 Роль вольфрамата натрия в металлургии вольфрама (АРТ, получение вольфрамового порошка)
- 7.2 Вольфрамат натрия как катализатор и сокатализатор (нефтехимическая промышленность, реакция окисления)
- 7.3 Применение вольфрамата натрия в пигментах и красителях (Пигменты на основе вольфрамата)
- 7.4 Роль вольфрамата натрия в огнестойких материалах и антипиренах
- 7.5 Применение вольфрамата натрия в гальванике и обработке поверхностей

Глава 8. Медицинское и биологическое применение вольфрамата натрия

- 8.1 Применение вольфрамата натрия в исследованиях диабета (моделирование инсулина)
- 8.2 Антибактериальные и противовирусные свойства вольфрамата натрия
- 8.3 Применение вольфрамата натрия в реагентах для биовизуализации и маркировки
- 8.4 Оценка токсичности и биологической безопасности вольфрамата натрия
- 8.5 Перспективы использования вольфрамата натрия в клинических испытаниях и разработке лекарственных препаратов

Глава 9. Экологическое и энергетическое применение вольфрамата натрия

- 9.1 Применение вольфрамата натрия при очистке сточных вод (адсорбция тяжелых металлов, удаление фосфора)
- 9.2 Вольфрамат натрия как фотокаталитический материал (разложение органических загрязнителей)
- 9.3 Применение вольфрамата натрия в аккумуляторах и материалах для хранения энергии (натрий-ионные аккумуляторы)
- 9.4 Роль вольфрамата натрия в материалах для преобразования солнечной и тепловой энергии
- 9.5 Применение вольфрамата натрия в очистке окружающей среды

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Глава 10. Другие новые применения вольфрамата натрия

- 10.1 Наноматериалы и композиционные материалы на основе вольфрамата натрия
- 10.2 Применение вольфрамата натрия в 3D-печати и аддитивном производстве
- 10.3 Роль вольфрамата натрия в оптических и электронных устройствах (электрохромные материалы)
- 10.4 Применение вольфрамата натрия в сельском хозяйстве и питании растений (добавка микроэлементов)
- 10.5 Потенциал вольфрамата натрия в аэрокосмической и оборонной промышленности
- 10.6 Применение вольфрамата натрия в гибкой электронике
- 10.7 Квантовые точки и фотоэлектрические приложения
- 10.8 Вольфрамат натрия в интеллектуальных датчиках
- 10.9 Сбор и хранение энергии
- 10.10 Интеллектуальные покрытия и поверхностная инженерия
- 10.11 Проблемы и будущие тенденции

11 Теоретическое исследование вольфрамата натрия

- 11.1 Квантово-химический расчет вольфрамата натрия
- 11.2 Моделирование молекулярной динамики вольфрамата натрия
- 11.3 Термодинамический и кинетический анализ вольфрамата натрия
- 11.4 Поверхностная химия и поведение вольфрамата натрия на границе раздела
- 11.5 Исследование электронной структуры вольфрамата натрия

Глава 12. Прогресс в экспериментальных исследованиях вольфрамата натрия

- 12.1 Исследование новых методов получения вольфрамата натрия
- Синтез функционализированных материалов на основе вольфрамата натрия
- 12.3 Оптимизация каталитических характеристик вольфрамата натрия
- 12.4 Экспериментальные данные по применению вольфрамата натрия в биомедицине
- 12.5 Тест производительности вольфрамата натрия в экологических приложениях

Глава 13 Междисциплинарные исследования вольфрамата натрия

- 13.1 Сочетание вольфрамата натрия и материаловедения
- 13.2 Применение вольфрамата натрия в химической инженерии и оптимизации процессов
- 13.3 Роль вольфрамата натрия в науке об окружающей среде и устойчивом развитии
- 13.4 Применение вольфрамата натрия в междисциплинарных исследованиях биотехнологии и медицины
- 13.5 Применение науки о данных в исследованиях вольфрамата натрия

Глава 14 Мировой рынок вольфрамата натрия

- 14.1 Обзор производства и потребления вольфрамата натрия
- 14.2 Основные страны-производители вольфрамата натрия (Китай, США, Россия и др.)
- 14.3 Рыночный спрос и распределение применения вольфрамата натрия
- 14.4 Тенденция цен и факторы, влияющие на вольфрамат натрия

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

14.5 Конкуренция на рынке вольфрамата натрия и анализ основных компаний

Глава 15. Правила и стандарты вольфрамата натрия

15.1 Международные стандарты для вольфрамата натрия (ISO, ASTM)

15.2 Национальный стандарт Китая для вольфрамата натрия (GB/T)

15.3 Экологические и технические нормы безопасности вольфрамата натрия (REACH, RoHS)

Требования соответствия для медицинского и пищевого вольфрамата натрия

15.5 Интеллектуальная собственность и патентная защита вольфрамата натрия

15.6 CTIA GROUP LTD Паспорт безопасности вольфрамата натрия

Глава 16. Воздействие вольфрамата натрия на окружающую среду

16.1 Воздействие на окружающую среду при производстве вольфрамата натрия

16.2 Технология очистки сточных вод и отходящих газов вольфрамом натрия

16.3 Риски загрязнения почвы и воды вольфрамом натрия

16.4 Круговая экономика и утилизация отходов вольфрамата натрия

16.5 Разработка экологически чистой технологии производства вольфрамата натрия

Глава 17. Тенденция технического развития вольфрамата натрия

17.1 Исследования и разработки новых материалов на основе вольфрамата натрия

17.2 Интеллектуальная технология производства вольфрамата натрия

17.3 Потенциал применения вольфрамата натрия в новой области энергетики

17.4 Расширение междисциплинарных применений вольфрамата натрия

17.5 Применение искусственного интеллекта в исследованиях вольфрамата натрия

Приложение

Приложение 1: Глоссарий вольфрамата натрия

Термины и определения, связанные с вольфрамом натрия

Приложение 2: Ссылки на вольфраматы натрия

Приложение 3: Паспорт вольфрамата натрия

3.1 Физические и химические свойства вольфрамата натрия

3.2 Параметры процесса производства вольфрамата натрия

Сравнительная таблица характеристик областей применения вольфрамата натрия

3.4 Статистика мирового рынка вольфрамата натрия

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Предисловие

«Энциклопедия вольфрамата натрия» — это монография, которая всесторонне и систематически знакомит с вольфрамом натрия (Na_2WO_4) с целью предоставления авторитетных и подробных справочных материалов для исследователей, инженеров, студентов и практиков отрасли. Как важное неорганическое соединение, вольфрамат натрия продемонстрировал уникальную ценность в областях промышленности, медицины, охраны окружающей среды и новой энергетики, а его исследования и применение постоянно расширяются. В этом предисловии будет объяснена цель написания этой книги, рассмотрена история развития вольфрамата натрия, представлена структура книги и уточнены целевые читатели и применимые сценарии.

1.1 Цель и значение составления Энциклопедии вольфрамата натрия

Вольфрамат натрия играет ключевую роль в металлургии вольфрама, нефтехимической промышленности, очистке сточных вод и исследованиях диабета благодаря своей превосходной химической стабильности, каталитическим характеристикам и биологической активности. Однако существующая литература в основном представлена в разрозненной форме и не имеет систематической интеграции. Цель этой книги — заполнить этот пробел и объединить химические свойства, методы получения, области применения, научные исследования, промышленный статус и воздействие вольфрамата натрия на окружающую среду, предоставив единый ресурс для академических исследований и промышленного применения. Эта книга не только сортирует теоретические и практические знания о вольфраме натрия, но и с нетерпением ждет его потенциала развития в передовых областях, таких как новая энергетика и нанотехнологии, и стремится содействовать инновациям и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

устойчивому развитию в смежных областях.

1.2 Обзор истории и развития вольфрамата натрия

Открытие и применение вольфрамата натрия можно проследить до начала 19 века, когда химики впервые синтезировали вольфрамат натрия, извлекая вольфрамовую кислоту из вольфрамовой руды и реагируя с ней с солью натрия. В первые дни вольфрамат натрия в основном использовался в аналитической химии в качестве реагента для определения фосфатов и белков. В 20 веке, с развитием металлургической промышленности вольфрамата натрия, вольфрамат натрия стал важным промежуточным продуктом для производства паравольфрамата аммония (АРТ) и вольфрамового порошка. В последние годы исследования применения вольфрамата натрия в биомедицине (например, имитация инсулина), науке об окружающей среде (например, фотокаталитическое разложение загрязняющих веществ) и областях энергетики (например, натрий-ионные батареи) быстро развиваются. Технический прогресс и междисциплинарная интеграция еще больше расширили границы применения вольфрамата натрия, сделав его объектом внимания современного материаловедения и зеленой химии.

1.3 Структура и руководство по использованию энциклопедии вольфрамата натрия

Эта книга содержит 17 глав, охватывающих основные знания, процесс приготовления, области применения, научные исследования, промышленный рынок, нормативные стандарты и воздействие вольфрамата натрия на окружающую среду. Главы 1–3 знакомят с химическими и физическими свойствами вольфрамата натрия; главы 4–6 обсуждают его лабораторное и промышленное приготовление; главы 7–10 подробно описывают его применение в промышленности, медицине, окружающей среде и новых областях; главы 11–13 сосредоточены на теоретических и экспериментальных исследованиях; главы 14–17 анализируют рынок, правила и будущие тенденции. Кроме того, в приложении представлен глоссарий, ссылки, технические паспорта и списки патентов, а индекс облегчает быстрый поиск. Читатели могут выбирать главы для чтения в соответствии со своими потребностями или читать их, чтобы получить глубокое понимание общей картины вольфрамата натрия.

1.4 Целевые читатели и применимые сценарии энциклопедии вольфрамата натрия

Эта книга предназначена для читателей разных уровней, включая, помимо прочего:

- **Академические исследователи** : ученые и студенты в области химии, материаловедения, экологии и биомедицины могут обратиться к теоретическим исследованиям, экспериментальным данным и списку патентов, содержащимся в этой книге.
- **Промышленные специалисты** : инженеры и техники в области металлургии вольфрама, производства катализаторов, очистки сточных вод и новых видов энергии могут использовать материалы по процессам подготовки, контролю качества и анализу рынка для оптимизации производства.
- **Политикам** : обратить внимание на воздействие вольфрамата натрия на окружающую среду и нормативные стандарты, а также разработать устойчивую

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

промышленную политику.

- **Педагогам** : Эту книгу можно использовать в качестве справочного пособия на курсах химии и материаловедения, чтобы пробудить у студентов интерес к применению вольфрамата натрия.

Эта книга подходит для различных сценариев, таких как академические исследования, промышленное развитие, разработка политики, а также преподавание и обучение. Она стремится стать авторитетным руководством в области вольфрамата натрия.

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

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

2. Sodium Tungstate Features

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

3. Product Specifications

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

4. Packaging and Quality Assurance

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

5. Procurement Information

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Глава 1 Вольфрамат натрия Введение

Вольфрамат натрия (Na_2WO_4) является важным неорганическим соединением. Он широко используется в промышленности, медицине, науке об окружающей среде и новой энергетике благодаря своей превосходной химической стабильности, каталитическим характеристикам и биологической активности. Цель этой главы — систематически представить основные определения, физические и химические свойства, кристаллическую структуру и характеристики вольфрамата натрия и родственных ему соединений, заложив теоретическую основу для последующих глав, чтобы изучить его получение, применение и исследование.

1.1 Определение и химическая формула вольфрамата натрия

Вольфрамат натрия — это ионное соединение, состоящее из ионов натрия (Na^+) и ионов вольфрамата (WO_4^{2-}), с химической формулой Na_2WO_4 . Вольфрам (W) в ионе вольфрамата находится в степени окисления +6 с координационным числом 4, образуя тетраэдрическую структуру. Вольфрамат натрия обычно существует в безводной форме (Na_2WO_4) или форме дигидрата ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и широко используется в качестве промежуточного продукта, предшественника катализатора и биомедицинского реагента в металлургии вольфрама. Его молекулярная масса составляет 293,82 г/моль в безводной форме и 329,85 г/моль в дигидрате. Вольфрамат натрия обладает высокой растворимостью в воде и может образовывать щелочные растворы со значением pH обычно от 8 до 9, в зависимости от концентрации и условий окружающей среды.

1.2 Физические свойства вольфрамата натрия

Физические свойства вольфрамата натрия немного различаются в зависимости от его формы (безводная или гидратная). Ниже приведены основные физические свойства:

- **Внешний вид** : Безводный вольфрамат натрия представляет собой белый или слегка

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

желтоватый кристаллический порошок, а дигидрат — прозрачные или белые орторомбические кристаллы.

- **Плотность** : Плотность безводного вольфрамата натрия составляет около 4,18 г/см³, а плотность дигидрата — около 3,25 г/см³.
- **Температура плавления** : Температура плавления безводного вольфрамата натрия составляет 698 ° С. При высокой температуре он может разлагаться на оксид вольфрама (WO₃) и оксид натрия (Na₂O).
- **Растворимость** : ВольфраMAT натрия обладает высокой растворимостью в воде, около 73 г/100 мл при 20°C, которая немного увеличивается с повышением температуры; он нерастворим в органических растворителях, таких как этанол и эфир.
- **Гигроскопичность** : Дигидрат стабилен на воздухе, а безводная форма немного гигроскопична и должна храниться в герметичном контейнере. Эти физические свойства делают вольфраMAT натрия простым в обработке и хранении, а также подходящим для различных промышленных и экспериментальных применений.

1.3 Химические свойства вольфрамата натрия

Химические свойства вольфрамата натрия в основном определяются тетраэдрической структурой ионов вольфрама и высокой степенью окисления вольфрама, демонстрируя следующие характеристики:

- **Кислотность и щелочность** : Водный раствор вольфрамата натрия является слабощелочным, поскольку ион вольфрамата частично гидролизуется с образованием гидроксида вольфрамовой кислоты (HWO₄⁻). Он может реагировать с сильной кислотой с образованием нерастворимой вольфрамовой кислоты (H₂WO₄), например: $\text{Na}_2\text{WO}_4 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{H}_2\text{WO}_4 \downarrow + 2\text{NaCl}$.
- **Окислительно-восстановительные свойства** : Вольфрам стабилен при валентности +6, а вольфраMAT натрия нелегко окисляется. Однако под действием сильного восстановителя (например, цинкового порошка) вольфрам может быть восстановлен до состояния с низкой валентностью, образуя синий оксид вольфрама.
- **Комплексообразующая способность** : ионы вольфрамата могут образовывать стабильные комплексы с различными ионами металлов (такими как Fe³⁺, Cu²⁺) и используются в аналитической химии и разработке катализаторов.
- **Термическая стабильность** : вольфраMAT натрия стабилен при комнатной температуре, но начинает разлагаться при нагревании выше 700°C, образуя оксид вольфрама и оксид натрия.
- **Каталитическая активность** : ВольфраMAT натрия проявляет каталитическую активность в реакциях окисления и часто используется в качестве сокатализатора в нефтехимии и органическом синтезе. Эти химические свойства определяют универсальность вольфрамата натрия в промышленном катализе, аналитической химии и биомедицине.

1.4 Кристаллическая структура и молекулярные свойства вольфрамата натрия

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Кристаллическая структура вольфрамата натрия меняется в зависимости от его морфологии. Безводный вольфрамат натрия обычно имеет кубическую кристаллическую структуру (пространственная группа $Fd-3m$), в которой ионы натрия и ионы вольфрамата организованы ионными связями. Дигидрат ($Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$) представляет собой орторомбический кристалл (пространственная группа $Pnma$), в котором молекулы воды связаны с ионами вольфрамата и ионами натрия водородными связями, что повышает стабильность кристалла.

Ион вольфрамата (WO_4^{2-}) находится в правильной тетраэдрической конфигурации с длиной связи WO около $1,78 \text{ \AA}$ и углом связи около $109,5^\circ$. Инфракрасная спектроскопия (ИК) показывает, что характерный пик поглощения вольфрамата находится при $800-900 \text{ см}^{-1}$, что приписывается валентным колебаниям WO . Анализ рентгеновской дифракции (XRD) показывает, что параметры решетки вольфрамата натрия аналогичны параметрам вольфрамата кальция ($CaWO_4$), что отражает структурную общность вольфрамов . Молекулярно-динамическое моделирование также показывает, что вольфрамат натрия сохраняет тетраэдрическую структуру в водном растворе, но может образовывать поливольфраматы (такие как $[W_2O_7]^{2-}$) при высоких концентрациях, что влияет на его химическое поведение.

1.5 Изомеры и родственные соединения вольфрамата натрия

Сам по себе вольфрамат натрия не имеет изомеров, но соединения со схожими химическими свойствами включают другие вольфраматы и производные вольфрамовой кислоты, в основном следующие:

- **Другие вольфраматы** : такие как вольфрамат калия (K_2WO_4) и вольфрамат аммония ($(NH_4)_2WO_4$), имеют схожие химические свойства, но различную растворимость и кристаллическую структуру и используются в катализаторах и пигментах.
- **Политунграмат** : Вольфрамат натрия может быть полимеризован в полиядерные вольфраматы в кислых условиях, такие как гексавольфрамат натрия ($Na_6[W_6O_{19}]$), который используется в фотокаталитических материалах.
- **Вольфрамовая кислота**: **Вольфрамовая кислота** (H_2WO_4), образующаяся в результате реакции вольфрамата натрия и кислоты, представляет собой желтый осадок и является важным промежуточным продуктом в металлургии вольфрама.
- **Оксид вольфрама** : продукт высокотемпературного разложения, оксид вольфрама (WO_3), широко используется в электрохромных устройствах и материалах для хранения энергии.
- **Комплексы вольфрамата натрия** : такие комплексы, образованные вольфрамом натрия и органическими лигандами, которые используются в биомедицине и нанотехнологиях. Свойства этих родственных соединений тесно связаны с вольфрамом натрия, и вместе они составляют богатую систему химии вольфрама, предоставляя разнообразные возможности для последующих прикладных исследований.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Глава 2 Классификация и форма вольфрамата натрия

Вольфрамат натрия (Na_2WO_4) является многоцелевым неорганическим соединением, и его форма и классификация напрямую влияют на его применение в промышленности, научных исследованиях и медицине. В этой главе систематически представлены безводная форма и гидрат вольфрамата натрия, различные степени чистоты, растворы и твердые формы, а также требования к упаковке и хранению, что обеспечивает основу для последующего обсуждения процесса его приготовления и сценариев применения.

Безводная форма и дигидрат вольфрамата натрия ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

Вольфрамат натрия в основном существует в безводной форме (Na_2WO_4) и дигидратной форме ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), обе из которых имеют свои особенности в структуре и применении. Безводный вольфрамат натрия представляет собой белый или слегка желтый кристаллический порошок с молекулярной массой 293,82 г/моль, плотностью около 4,18 г/см³ и температурой плавления 698 °С. Обычно он используется в высокотемпературных процессах или сценариях, требующих высокочистого сырья, таких как получение вольфрамового порошка и синтез катализаторов. Дигидрат представляет собой прозрачный или белый орторомбический кристалл с молекулярной массой 329,85 г/моль и плотностью около 3,25 г/см³. Он более стабилен при комнатной температуре, его легко хранить и транспортировать, и он часто используется в лабораторном анализе и приготовлении водных растворов. Две молекулы воды дигидрата связаны с ионом вольфрамата водородными связями и могут быть дегидратированы до безводной формы при нагревании выше 100°С. Обе формы растворимы в воде, но дигидрат менее гигроскопичен во влажной среде и подходит для длительного хранения.

2.2 Различные уровни чистоты вольфрамата натрия (промышленный, аналитический,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

фармацевтический)

Вольфрамат натрия классифицируется по различным классам чистоты в зависимости от его применения и содержания примесей, в том числе на промышленный, аналитический и фармацевтический:

- **Промышленный сорт** : чистота обычно составляет 98%-99%, содержит следовые примеси, такие как молибден (Mo) и железо (Fe), подходит для металлургии вольфрама (например, для производства паравольфрамата аммония), приготовления катализаторов и производства пигментов. Стоимость низкая и соответствует крупномасштабным промышленным потребностям.
- **Аналитически чистый (AR)** : чистота $\geq 99,5\%$, содержание примесей строго контролируется (например, Mo $< 0,01\%$), используется для лабораторного анализа, например, определения фосфата и биохимических экспериментов. Аналитически чистый вольфрамат натрия должен пройти несколько стадий очистки, таких как ионный обмен или перекристаллизация.
- **Фармацевтическая степень чистоты** : чистота $\geq 99,9\%$, в соответствии со стандартами фармакопеи (такими как USP или CP), с крайне низким содержанием тяжелых металлов и микроорганизмов, используется для биомедицинских исследований (таких как лечение диабета) и разработки лекарственных средств. Производство вольфрамата натрия фармацевтической степени чистоты должно соответствовать требованиям GMP (Good Manufacturing Practice). Выбор различных уровней чистоты зависит от сценария применения, например, промышленная степень чистоты подходит для чувствительных к стоимости сценариев, в то время как фармацевтическая степень чистоты отдает приоритет безопасности и биосовместимости.

2.3 Растворы и твердые формы вольфрамата натрия

Вольфрамат натрия может существовать в твердой или растворенной форме в зависимости от требований использования. Твердые формы включают безводный порошок вольфрамата натрия и кристаллы дигидрата, которые легко хранить, транспортировать и точно взвешивать, и они подходят для приготовления катализаторов, порошковой металлургии и лабораторного синтеза. Форма раствора обычно представляет собой водный раствор вольфрамата натрия с концентрацией от разбавленного раствора (1-5% м/о) до насыщенного раствора (около 40% м/о при 20°C), который широко используется в очистке сточных вод, биологических экспериментах и процессах гальванизации. Раствор вольфрамата натрия является слабощелочным (pH 8-9), и кристаллы могут выпадать в осадок при высоких концентрациях. Температура и pH должны контролироваться для поддержания стабильности. В определенных областях применения, таких как фотокатализ или исследование батарей, раствор вольфрамата натрия можно смешивать с органическими растворителями (например, этиленгликолем) для образования коллоидного или исходного раствора. При переходе из твердого состояния в раствор необходимо учитывать тепловой эффект растворения и риск попадания примесей.

2.4 Требования к упаковке и хранению вольфрамата натрия

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Упаковка и хранение вольфрамата натрия напрямую влияют на его качество и срок службы. Ниже приведены основные требования:

- **Упаковка** : Твердый вольфрамат натрия обычно упаковывают в герметичные пластиковые пакеты, полиэтиленовые бочки или стеклянные бутылки, выстланные влагонепроницаемыми материалами для предотвращения впитывания влаги и загрязнения. Промышленные продукты в основном упаковывают в бочки по 25 кг или 50 кг, в то время как аналитические и фармацевтические продукты в основном упаковывают в небольшие упаковки от 100 г до 1 кг. Растворы упаковывают в коррозионно-стойкие пластиковые бочки или стеклянные контейнеры, на которых указана концентрация и номер партии.
- **Условия хранения** : Вольфрамат натрия следует хранить в прохладном, сухом, проветриваемом помещении с температурой 5-30°C и относительной влажностью ниже 60%. Безводный вольфрамат натрия должен быть особенно влагонепроницаемым, в то время как дигидрат относительно стабилен, но его следует хранить вдали от высоких температур. Раствор необходимо хранить в герметичной таре, чтобы предотвратить улетучивание или кристаллизацию.
- **Примечание по безопасности** : Вольфрамат натрия — малотоксичный химикат, но контакт с кожей или вдыхание пыли может вызвать раздражение, поэтому место хранения должно быть оборудовано средствами защиты. Фармацевтическая продукция должна храниться изолированно, чтобы избежать перекрестного загрязнения.
- **Срок годности** : При соответствующих условиях срок годности твердого вольфрамата натрия может достигать 2-3 лет. Форму раствора рекомендуется использовать в течение 6-12 месяцев, а pH и содержание примесей следует регулярно проверять. Стандартизированная упаковка и хранение обеспечивают стабильность и безопасность вольфрамата натрия в промышленном производстве, лабораторных исследованиях и медицинских применениях.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

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

2. Sodium Tungstate Features

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

3. Product Specifications

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

4. Packaging and Quality Assurance

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

5. Procurement Information

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

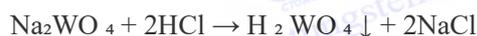


Глава 3 Химическая реакция вольфрамата натрия

Вольфрамат натрия (Na_2WO_4) является химически активным неорганическим соединением, и его реакционные характеристики имеют большое значение в промышленном производстве, аналитической химии и катализе. В этой главе систематически обсуждается реакция вольфрамата натрия с кислотой, сложная реакция с ионами металлов, окислительно-восстановительные характеристики, термическое разложение и высокотемпературная реакция, а также его каталитический эффект и механизм реакции, чтобы обеспечить теоретическую поддержку для последующего процесса приготовления и прикладных исследований.

3.1 Реакция вольфрамата натрия с кислотой (с образованием вольфрамовой кислоты и т. д.)

Вольфрамат натрия является слабощелочным (pH 8-9) в водном растворе, и реакция с кислотой является одним из его наиболее распространенных химических поведений. Когда вольфрамат натрия реагирует с сильной кислотой (такой как соляная кислота, серная кислота), ион вольфрамата (WO_4^{2-}) протонируется с образованием нерастворимого осадка вольфрамовой кислоты (H_2WO_4). Уравнение реакции выглядит следующим образом:



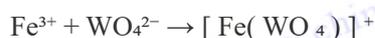
Вольфрамовая кислота — это желтое твердое вещество, слабо растворимое в воде (растворимость составляет около 0,02 г/100 мл), стабильное в кислой среде и часто используемое в качестве промежуточного продукта в металлургии вольфрама. Скорость

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

реакции зависит от концентрации кислоты, температуры и условий перемешивания. Высокие концентрации кислоты могут ускорить образование осадков. Кроме того, вольфрамат натрия медленно реагирует со слабыми кислотами (такими как уксусная кислота) и может образовывать частично протонированные промежуточные продукты (такие как HWO_4^-). В сильных кислых условиях вольфрамовая кислота может далее полимеризоваться в поливольфрамовые кислоты (такие как $\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}$), которые используются для приготовления поликислотных катализаторов.

3.2 Реакция комплексообразования вольфрамата натрия и ионов металлов

Вольфрамат-ион вольфрамата натрия обладает сильной координационной способностью и может образовывать стабильные комплексы с различными ионами металлов (такими как Fe^{3+} , Cu^{2+} , Ni^{2+}), которые широко используются в аналитической химии и разработке катализаторов. Например, вольфрамат реагирует с ионами железа (III) с образованием растворимых комплексов вольфрамата железа, которые часто используются в качестве осадителей белков. Формула реакции выглядит следующим образом:



В аналитической химии вольфрамат натрия конкурентно связывается с ионами металлов с молибдатом (MoO_4^{2-}) и фосфатом (PO_4^{3-}) с образованием изополикислотных структур для спектрального анализа и колориметрического определения. Кроме того, комплексы вольфрамата натрия с ионами переходных металлов (таких как Co^{2+} , Mn^{2+}) показывают превосходную производительность в реакциях каталитического окисления, а стабильность комплексов часто характеризуется ультрафиолетово-видимой спектроскопией (UV-Vis) и инфракрасной спектроскопией (IR). Селективность комплексной реакции зависит от pH, концентрации ионов и конкуренции лигандов, а условия реакции должны точно контролироваться.

3.3 Характеристики окислительно-восстановительной реакции вольфрамата натрия

Вольфрам в вольфрамате натрия находится в степени окисления +6 (W^{6+}), что является наивысшей степенью окисления. Поэтому он нелегко окисляется в нормальных условиях, но может быть восстановлен до состояния с низкой валентностью (например, W^{5+} или W^{4+}) сильным восстановителем. Например, в кислом растворе вольфрамат натрия реагирует с порошком цинка, образуя синий оксид вольфрама (W_2O_5 или WO_2), и реакция выглядит следующим образом:



Этот синий оксид обладает полупроводниковыми свойствами и используется в электрохромных материалах и датчиках. Окислительно-восстановительный потенциал вольфрамата натрия составляет около -0,1 В (относительно стандартного водородного электрода), на который влияют pH раствора и лигандная среда. В каталитических приложениях вольфрамат натрия часто используется в качестве носителя окислителей для

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

содействия селективному окислению органических веществ путем синергического действия с перекисью водорода (H_2O_2) или кислородом. Электрохимические исследования показали, что вольфрамат натрия может подвергаться обратимому переносу одного электрона на поверхности электрода, что подходит для хранения энергии и электрокатализа.

3.4 Термическое разложение и высокотемпературная реакция вольфрамата натрия

Вольфрамат натрия химически стабилен при комнатной температуре, но он разлагается или меняет фазу при высокой температуре. Безводный вольфрамат натрия начинает плавиться при нагревании примерно до 698°C и разлагается на оксид вольфрама (WO_3) и оксид натрия (Na_2O) при дальнейшем нагревании выше 800°C . Реакция выглядит следующим образом:
$$\text{Na}_2\text{WO}_4 \rightarrow \text{WO}_3 + \text{Na}_2\text{O}$$

Дигидрат ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) сначала теряет кристаллизационную воду при $100\text{--}150^\circ\text{C}$ и переходит в безводную форму. Термогравиметрический анализ (ТГА) и дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) показывают, что процесс разложения вольфрамата натрия является эндотермической реакцией, а морфология и чистота продукта разложения зависят от скорости нагрева и атмосферы (например, воздуха или инертного газа). В высокотемпературной восстановительной атмосфере (например, H_2) вольфрамат натрия может напрямую генерировать металлический вольфрам, который широко используется в производстве вольфрамового порошка. Кроме того, вольфрамат натрия реагирует с карбонатами или силикатами при высоких температурах, образуя керамические материалы на основе вольфрамата, которые используются в высокотемпературных конструкционных материалах.

3.5 Каталитическое действие и механизм реакции вольфрамата натрия

Вольфрамат натрия демонстрирует превосходную производительность в различных каталитических реакциях, особенно в реакциях окисления, дегидратации и этерификации. Его каталитическая активность в основном обусловлена кислотностью Льюиса и координационной способностью иона вольфрамата. Например, вольфрамат натрия соединяется с перекисью водорода, образуя пероксивольфрамовую кислоту ($[\text{WO}(\text{O}_2)_2]^{2-}$), которая может катализировать окисление спиртов до альдегидов или кетонов. Механизм реакции следующий:

1. **Генерация активных видов** : вольфрамат координируется с H_2O_2 , образуя пероксивольфрамовую кислоту.
2. **Окисление субстрата** : атом кислорода в пероксивольфрамовой кислоте переносится на субстрат (например, спирт) с образованием продукта окисления.
3. **Регенерация катализатора** : вольфрамат возвращается в исходное состояние, и катализ продолжается.

В нефтехимии вольфрамат натрия используется в качестве сокатализатора для ускорения эпоксицирования олефинов и ароматического гидроксирования. В области фотокатализа вольфрамат натрия смешивается с полупроводниковыми материалами (такими как TiO_2) для

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

улучшения реакции на видимый свет и разложения органических загрязнителей. Механизм каталитической реакции изучается с помощью теории функционала плотности (DFT) и спектроскопии in situ (такой как Рамановская спектроскопия, XPS), выявляя перенос электронов и поверхностные активные центры вольфрамата. Каталитическую эффективность влияют рН, температура и сокатализатор, и условия реакции необходимо оптимизировать для достижения эффективной конверсии.



Глава 4. Лабораторный метод получения вольфрамата натрия

Вольфрамат натрия (Na_2WO_4) является важным химическим реагентом с различными методами лабораторного приготовления, подходящими для различных исследовательских и учебных нужд. В этой главе систематически представлены извлечение вольфрамата натрия из вольфрамовой руды, химический синтез (реакция вольфрамовой кислоты и гидроксида натрия), технология электрохимического приготовления, технология лабораторной очистки и кристаллизации, а также меры предосторожности в процессе приготовления, предоставляя практические рекомендации для исследователей и закладывая основу для последующей главы промышленного производства (глава 5).

4.1 Извлечение вольфрамата натрия из вольфрамовой руды

Вольфрамовая руда (например, шеелит CaWO_4 или вольфрамит FeWO_4) является основным сырьем для получения вольфрамата натрия. Лабораторная экстракция обычно использует метод щелочного выщелачивания. Сначала измельченная вольфрамовая руда реагирует с раствором гидроксида натрия (NaOH) при высокой температуре ($100\text{-}150^\circ\text{C}$) для получения растворимого вольфрамата натрия. Реакция выглядит следующим образом:

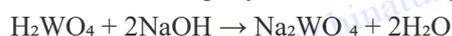


COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

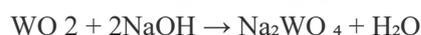
$\text{Ca}(\text{OH})_2$ В результате реакции образуется осадок, который отделяется фильтрацией. Раствор может содержать примеси, такие как кремний и фосфор, которые необходимо нейтрализовать кислотой до pH 8-9. После осаждения примесей получается неочищенный раствор вольфрамата натрия. Затем дигидрат вольфрамата натрия ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) получают путем кристаллизации испарением или добавлением этанола для ускорения осаждения. Этот метод подходит для получения вольфрамата натрия из природных минералов с выходом около 85%-90%, но концентрацию щелочи и время реакции необходимо контролировать, чтобы избежать накопления побочных продуктов.

4.2 Химический синтез вольфрамата натрия (реакция вольфрамата с гидроксидом натрия)

Метод химического синтеза использует вольфрамовую кислоту (H_2WO_4) или оксид вольфрама (WO_3) в качестве сырья и реагирует с гидроксидом натрия для получения вольфрамата натрия, который подходит для мелкосерийного лабораторного получения высокочистых продуктов. Типичная реакция выглядит следующим образом:



или



Экспериментальные этапы:

1. Добавьте необходимое количество деионизированной воды к вольфрамовой кислоте или оксиду вольфрама и перемешайте до образования суспензии.
2. Медленно добавьте раствор гидроксида натрия (1–2 М) и нагрейте до 80–100 °С, помешивая до полного растворения твердого вещества.
3. Раствор фильтруют для удаления непрореагировавших примесей, а полученный прозрачный раствор охлаждают и кристаллизуют или концентрируют при пониженном давлении для получения кристаллов вольфрамата натрия.
4. Промойте кристаллы небольшим количеством холодной воды и высушите их, чтобы получить $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ с чистотой $\geq 99\%$.

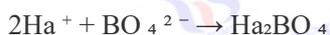
Этот метод прост в эксплуатации, с выходом более 90% и подходит для получения аналитически чистого или фармацевтического вольфрамата натрия. Использование высокочистого сырья и контроль pH (8-10) могут дополнительно улучшить качество продукта.

4.3 Электрохимическая технология получения вольфрамата натрия

Электрохимический метод готовит вольфрамат натрия путем электролиза вольфрама или его соединений, что является экологически чистым и эффективным. Экспериментальное устройство обычно включает в себя анод из металлического вольфрама, катод из нержавеющей стали и раствор электролита гидроксида натрия (NaOH) (0,5-1 М). Под действием постоянного тока (напряжение 5-10 В) вольфрамовый анод окисляется и растворяется с образованием ионов вольфрамата, которые соединяются с ионами натрия в

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

растворе, образуя вольфрамат натрия. Реакция выглядит следующим образом:



В процессе электролиза на катоде образуется водород, и для обеспечения безопасности требуется вентиляция. После фильтрации электролита для удаления следов нерастворимых примесей вольфрамат натрия получают путем испарения и кристаллизации. Преимущество электрохимического метода заключается в том, что коэффициент использования сырья высок (близок к 95%), что подходит для получения вольфрамата натрия высокой чистоты, но стоимость оборудования относительно высока, а плотность тока (0,1-0,5 А/см²) и время электролиза необходимо оптимизировать для повышения эффективности.

4.4 Лабораторная технология очистки и кристаллизации вольфрамата натрия

Вольфрамат натрия, приготовленный в лабораторных условиях, часто содержит следовые примеси (такие как молибден, железо и кальций) и нуждается в очистке для улучшения его качества. Распространенные методы очистки включают:

- **Перекристаллизация** : Растворите сырой вольфрамат натрия в горячей воде (60-80°C), отфильтруйте для удаления нерастворимых веществ и охладите до комнатной температуры для осаждения кристаллов. Повторите 2-3 раза, чтобы повысить чистоту до более чем 99,5%.
- **Ионный обмен** : используйте катионообменную смолу (например, Amberlite IR-120) для удаления металлических примесей или анионообменную смолу для удаления силикатов и фосфатов. pH раствора контролируется на уровне 7-9 для поддержания стабильности вольфрамата.
- **Разделение осадков** : добавьте сульфид аммония ((NH₄)₂S) для осаждения сульфида молибдена (MoS₂), а затем отфильтруйте для получения чистого раствора вольфрамата натрия.

С точки зрения технологии кристаллизации, метод медленного охлаждения позволяет получать крупные кристаллы дигидрата, в то время как метод быстрого испарения подходит для получения мелких кристаллов. Сушка кристаллов осуществляется в вакуумной печи при температуре 50-60°C, чтобы избежать высокотемпературной дегидратации. Содержание примесей необходимо контролировать в процессе очистки и кристаллизации (например, с помощью обнаружения ICP-MS), чтобы гарантировать, что оно соответствует стандартам аналитической чистоты или фармацевтической чистоты.

4.5 Меры предосторожности при получении вольфрамата натрия

Приготовление вольфрамата натрия подразумевает использование сильной щелочи, высоких температур и электрохимических процессов, поэтому необходимо строго соблюдать правила безопасности:

- **Химическая безопасность** : Гидроксид натрия очень едкий, поэтому при работе надевайте защитные очки, перчатки и лабораторные халаты. Пыль вольфрамата

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

натрия может раздражать дыхательные пути, поэтому с ней нужно работать в вытяжном шкафу.

- **Работа при высокой температуре** : используйте водяную баню с постоянной температурой или горячую плиту для нагревания реакции (100-150°C), чтобы избежать разбрызгивания раствора. Избегайте ожогов при охлаждении и кристаллизации.
- **Электрохимическая безопасность** : Электролизное устройство должно быть заземлено, а электроды и линии должны регулярно проверяться. Водород должен выводиться через выхлопную систему, чтобы избежать накопления и взрыва.
- **Обработка жидких отходов** : жидкие отходы, содержащие вольфрам, представляют собой отходы тяжелых металлов и должны быть нейтрализованы до pH 6-8 и надлежащим образом утилизированы после осаждения вольфрамовой кислоты в соответствии с нормами охраны окружающей среды (например, GB/T 30810).
- **Хранение и маркировка** : Приготовленный вольфрамат натрия следует хранить в герметичной таре и маркировать его химическим названием, степенью чистоты и датой приготовления, чтобы избежать неправильного использования.

Благодаря стандартизированным операциям можно гарантировать безопасность и эффективность процесса приготовления, а также стабильность качества продукции.

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

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

2. Sodium Tungstate Features

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

3. Product Specifications

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

4. Packaging and Quality Assurance

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

5. Procurement Information

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Глава 5 Промышленный процесс производства вольфрамата натрия

Вольфрамат натрия (Na_2WO_4) является важным промежуточным продуктом в металлургии вольфрама и химической промышленности. Его промышленный производственный процесс напрямую влияет на качество продукции, стоимость и экологические преимущества. В этой главе систематически представлены выбор сырья, гидрометаллургический процесс, процесс обжига и растворения, технология промышленной кристаллизации и сушки, производственное оборудование и автоматизация управления, а также обработка побочных продуктов и переработка промышленного производства вольфрамата натрия, что обеспечивает всестороннюю справочную информацию для промышленных практиков и исследователей.

5.1 Выбор сырья для вольфрамата натрия (шеелит, вольфрамит, отходы вольфрамового сырья)

Вольфрамат натрия в основном включают шеелит (CaWO_4), вольфрамит ($(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$) и отходы вольфрамовых материалов (такие как отходы катализаторов и отходы сплавов). Шеелит содержит около 50% -70% вольфрама (в пересчете на WO_3), который легко реагирует со щелочью и подходит для гидрометаллургии, и является основным сырьем. Вольфрамит содержит немного меньше вольфрама (40% -60%) и нуждается в предварительной обработке для удаления железа и марганца. Его часто используют в процессах обжига. Содержание вольфрама в отходах вольфрамовых материалов сильно варьируется (10% -90%) и его необходимо классифицировать и перерабатывать, что подходит для круговой экономики.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ключевые факторы при выборе сырья включают в себя:

- **Содержание вольфрама** : предпочтительны руды с высоким содержанием вольфрама ($WO_3 > 50\%$), поскольку это снижает затраты на переработку.
- **Примеси** : необходимо контролировать содержание таких примесей, как кремний, фосфор и молибден, чтобы сократить количество этапов очистки.
- **Размер частиц** : руда измельчается до размера 100-200 меш для повышения эффективности реакции.
- **Устойчивость** : Переработка отходов вольфрама может снизить зависимость от полезных ископаемых и соответствовать требованиям по защите окружающей среды.

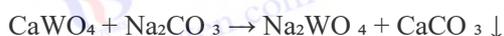
Будучи крупнейшим в мире производителем вольфрама, Китай располагает богатыми запасами шеелита в провинциях Хунань и Цзянси, что обеспечивает стабильное сырье для производства вольфрамата натрия.

5.2 Гидрометаллургический процесс вольфрамата натрия (щелочное выщелачивание, ионный обмен)

Гидрометаллургия является основным процессом промышленного производства вольфрамата натрия, обычно с использованием щелочного выщелачивания в сочетании с ионным обменом. Метод щелочного выщелачивания заключается в реакции шеелита или вольфрамита с раствором гидроксида натрия (NaOH) или карбоната натрия (Na_2CO_3) при высокой температуре и высоком давлении (120-200°C, 0,5-2 МПа) для получения раствора вольфрамата натрия. Типичная реакция выглядит следующим образом:



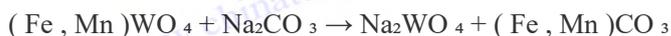
или



После реакции нерастворимая соль кальция ($Ca(OH)_2$ или $CaCO_3$) фильтруется для удаления неочищенного раствора вольфрамата натрия. Раствор часто содержит примеси, такие как силикат, фосфат и молибдат, которые необходимо очистить ионным обменом. Используйте сильную щелочную анионообменную смолу (например, D201) для селективной адсорбции WO_4^{2-} и получения раствора вольфрамата натрия высокой чистоты после элюирования. Мокрый процесс имеет выход 90%-95% и низкое потребление энергии, но он требует обработки большого количества щелочной отработанной жидкости, а pH контролируется на уровне 8-10 для оптимизации эффективности разделения.

5.3 Процесс прокаливания и растворения вольфрамата натрия

Процесс обжига подходит для вольфрамита или низкосортной руды. Руду сначала необходимо смешать с карбонатом натрия (Na_2CO_3) и обжечь при температуре 800-1000°C для получения растворимого вольфрамата натрия. Реакция выглядит следующим образом:



Обоженный продукт выщелачивают горячей водой (60-80°C) для растворения вольфрамата натрия и фильтруют для удаления нерастворимых соединений железа и марганца.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Выщелачивание подкисляют (рН 7-8) для осаждения примесей, таких как кремний и фосфор, а затем рН доводят до 9-10 с помощью гидроксида натрия для ускорения кристаллизации вольфрамата натрия. Процесс обжига подходит для переработки сложных руд, но потребление энергии высокое, а отходящий газ (CO_2) и твердый шлак необходимо правильно обрабатывать. Оборудование для обжига обычно представляет собой вращающуюся печь или многокамерную печь, а температуру и атмосферу необходимо точно контролировать, чтобы избежать улетучивания вольфрамата натрия.

5.4 Промышленная технология кристаллизации и сушки вольфрамата натрия

Промышленная кристаллизация вольфрамата натрия обычно достигается путем испарительной кристаллизации или охлаждающей кристаллизации. Испарительная кристаллизация концентрирует раствор вольфрамата натрия до насыщения при пониженном давлении (0,01-0,05 МПа, 80-100 °С) для осаждения кристаллов дигидрата ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Охлаждающая кристаллизация медленно охлаждает горячий раствор (80 °С) до 20-30 °С для получения кристаллов с крупными частицами, которые подходят для продуктов высокой чистоты. Процесс кристаллизации должен контролировать скорость охлаждения (1-2 °С/мин) и скорость перемешивания (100-200 об/мин) для обеспечения однородных кристаллов.

Технологии сушки включают в себя:

- **Сушка горячим воздухом** : сушка при температуре 100–120 °С, подходит для промышленных изделий, занимает 2–4 часа.
- **Вакуумная сушка** : сушка при температуре 50–60 °С и давлении 0,01 МПа подходит для аналитических или фармацевтических продуктов и сохраняет кристаллизационную воду.
- **Распылительная сушка** : распыление раствора вольфрамата натрия на микрочастицы и их непосредственная сушка в безводный порошок. Этот метод высокоэффективен, но требует высокой стоимости оборудования.

Высушенный вольфрамат натрия необходимо проверить на содержание влаги (<0,5%) и размер частиц (50–200 мкм), чтобы гарантировать соответствие стандартам (например, GB/T 26037).

5.5 Оборудование и автоматизация производства вольфрамата натрия

вольфрамата натрия представляет собой многоступенчатый процесс, требующий специального оборудования и автоматизированных систем управления:

- **Реакционное оборудование** : автоклав (щелочное выщелачивание), вращающаяся печь (обжиг), устойчивая к высоким температурам и давлению, изготовленная из нержавеющей стали или титанового сплава.
- **Оборудование для разделения** : пластинчатый и рамный фильтр-пресс (разделение твердой и жидкой фаз), ионообменная колонна (очистка), производительностью 10-100 м³/ч.
- **Оборудование для кристаллизации и сушки** : многокорпусной испаритель

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(кристаллизация), сушилка с псевдоожиженным слоем (сушка), энергосберегающая конструкция для снижения потребления энергии.

- **Автоматизация управления** : система ПЛК (программируемый логический контроллер) контролирует температуру, давление, pH и расход с точностью $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ и $\pm 0,01$ МПа. Датчики определяют концентрацию раствора (WO_4^{2-}) в режиме реального времени для обеспечения стабильного качества продукта.

Система автоматизации может реализовать удаленное управление через SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), сократить ручное вмешательство и повысить эффективность производства. Техническое обслуживание оборудования требует регулярной очистки для предотвращения образования накипи вольфрамата натрия.

5.6 Обработка и переработка побочных продуктов вольфрамата натрия

При производстве вольфрамата натрия образуется множество побочных продуктов, которые необходимо правильно утилизировать для снижения воздействия на окружающую среду и достижения вторичной переработки ресурсов:

- **Твердые побочные продукты** : соли кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCO_3) могут использоваться в производстве цемента или извести; соединения железа и марганца извлекаются путем магнитной сепарации и используются при выплавке стали.
- **Жидкие побочные продукты** : жидкие отходы, содержащие молибден и фосфор, восстанавливаются в виде молибдата натрия (Na_2MoO_4) путем осаждения или ионного обмена, а сточные воды нейтрализуются (pH 6-8) для соответствия стандартам сброса.
- **Побочные продукты газа** : CO_2 , образующийся при обжиге, перерабатывается с помощью технологии улавливания углерода или используется для регенерации карбоната натрия.
- **Переработка: Отходы вольфрамовых материалов (например, отработанные катализаторы)** могут быть регенерированы в сырье вольфрамата натрия путем кислотного выщелачивания или обжига со степенью извлечения 80%-90%. Непрореагировавший раствор NaOH или Na_2CO_3 в производстве может быть переработан для снижения затрат.

Для достижения устойчивого развития переработка побочных продуктов должна соответствовать экологическим нормам (например, GB 25467) и использовать чистые производственные технологии, такие как система нулевых сбросов (ZLD).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Глава 6 Контроль качества и испытания вольфрамата натрия

Вольфрамат натрия (Na_2WO_4) является ключевым звеном для обеспечения соответствия требованиям промышленных, научных исследований и медицинских приложений. Качество продукта напрямую влияет на его производительность и безопасность, поэтому требуются точные аналитические методы и стандартизированные процессы. В этой главе систематически представлен аналитический метод чистоты вольфрамата натрия, обнаружения примесей, морфологии кристаллов и анализа размера частиц, определения pH и концентрации раствора, а также международные и внутренние стандарты испытаний для обеспечения технической поддержки управления качеством и применения.

6.1 Метод анализа чистоты вольфрамата натрия (ИСП-МС, РФА и т.д.)

Анализ чистоты вольфрамата натрия является основой контроля качества, и для обеспечения точных результатов обычно используются высокочувствительные приборы. Распространенные методы включают:

- **Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС)** : ИСП-МС может определять концентрацию вольфрама (W) и других элементов с чувствительностью на уровне ppb (10^{-9}) . После растворения образца в деионизированной воде он ионизируется плазмой и разделяется масс-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

спектрометрией для обнаружения вольфрама и примесей (таких как Mo и Fe). Расчет чистоты основан на содержании вольфрама, а аналитическое требование составляет $\geq 99,5\%$.

- **Рентгеновская флуоресцентная спектроскопия (XRF)** : XRF используется для быстрого определения элементного состава твердого вольфрамата натрия без сложной предварительной обработки образца. Образец возбуждается рентгеновскими лучами, обнаруживается характерная флуоресценция, и W, Na и примеси количественно анализируются. Подходит для пакетного тестирования промышленной продукции с точностью 0,01%.
- **Атомно-абсорбционная спектроскопия (ААС)** : для определенных элементов (таких как Na, Fe) ААС измеряет концентрацию путем поглощения света определенной длины волны через атомы и часто используется для проверки результатов ИСП-МС.

Эти методы требуют калибровочных стандартов (например, стандартов вольфрама NIST SRM 3163) и контролируемых условий растворения образца (pH 7-9), чтобы избежать полимеризации вольфрамата. ICP-MS является первым выбором для обнаружения высокой чистоты, в то время как XRF больше подходит для быстрого контроля качества.

6.2 Обнаружение примесей в вольфрамате натрия (Mo, Fe, Ca и т.д.)

Примеси в вольфрамате натрия (такие как молибден, железо и кальций) влияют на его каталитические свойства и биологическую безопасность и требуют строгого тестирования:

- **Молибден (Mo)** : Молибдат (MoO_4^{2-}) имеет химические свойства, схожие с вольфраматом, и обычно отделяется сульфидом аммония. Добавьте $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ для получения осадка MoS_2 , отфильтруйте его и используйте ICP-MS для определения остаточного содержания Mo. Для промышленного класса требуется $\text{Mo} < 0,05\%$, а для фармацевтического класса требуется $\text{Mo} < 0,001\%$.
- **Железо (Fe)** : Примеси железа могут поступать из вольфрамита или коррозии оборудования. Они обнаруживаются с помощью ААС или спектрофотометрии (в комплексе с о-фенантролином). Концентрация Fe^{3+} определяется по поглощению, а предельное значение составляет $< 0,01\%$.
- **Кальций (Ca)** : Кальций поступает из шеелита или качества воды и обнаруживается титрованием ЭДТА или ИСП-МС. Предельное значение составляет $< 0,02\%$.
- **Другие примеси** : Кремний (Si) и фосфор (P) определяются колориметрией с использованием кремниево-молибденового синего или фосфорно-молибденового синего с чувствительностью на уровне ppm.

Тестирование на примеси должно проводиться в чистой лаборатории, чтобы избежать перекрестного загрязнения. Прибор следует регулярно калибровать, а также следует использовать пустые образцы, чтобы гарантировать, что предел обнаружения (LOD) соответствует стандартным требованиям.

6.3 Морфология кристаллов вольфрамата натрия и анализ размера частиц

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Кристаллическая морфология и размер частиц вольфрамата натрия влияют на его растворимость, текучесть и эффективность применения и должны анализироваться следующими методами:

- **Сканирующий электронный микроскоп (СЭМ)** : СЭМ исследует морфологию кристалла (например, орторомбический дигидрат или кубический ангидрат) с разрешением в нанометры, чтобы подтвердить, является ли кристалл однородным и бездефектным.
- **Лазерный анализ размера частиц** : используйте лазерный дифрактометр (например, Malvern Mastersizer) для измерения распределения размеров частиц. Диапазон размеров частиц вольфрамата натрия промышленного класса составляет 50-200 мкм , а аналитического класса — мельче (10-50 мкм) . D50 (медианный размер частиц) является ключевым показателем.
- **Рентгеновская дифракция (XRD)** : XRD анализирует кристаллическую структуру, подтверждает орторомбическую систему (пространственная группа $Pnma$) $Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$ или кубическую систему ($Fd-3m$) безводного Na_2WO_4 и обнаруживает аморфные примеси.

Контроль размера частиц необходимо сочетать с процессом кристаллизации (глава 5.4), например, регулировкой скорости охлаждения или добавлением затравок. Результаты морфологического анализа используются для оптимизации производства и применения (например, для носителей катализаторов требуется малый размер частиц).

6.4 Определение pH и концентрации раствора вольфрамата натрия

Значение pH и концентрация раствора вольфрамата натрия напрямую влияют на его стабильность и эффективность применения и должны быть точно определены:

- **Определение значения pH** : используйте точный pH-метр (точность $\pm 0,01$) для измерения pH раствора при 25 °C. Раствор вольфрамата натрия обычно слабощелочной (pH 8-9), поскольку WO_4^{2-} гидролизуется с образованием HWO_4^- . Вольфрамовая кислота может выпадать в осадок, если pH слишком низкий (< 7), и для точной настройки необходимо использовать NaOH.
- **Определение концентрации** :
 - **Гравиметрический метод** : Возьмите количественный раствор, выпарите его досуха, взвесьте остаток $Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$ и рассчитайте концентрацию. Подходит для растворов высокой концентрации ($> 10\% w/v$).
 - **Метод титрования** : используйте стандартный раствор HCl для титрования вольфрамата, добавьте индикатор метилоранж, конечный pH составит около 4,5, рассчитайте концентрацию WO_4^{2-} .
 - **Спектроскопический метод** : определение пика поглощения вольфрамата в УФ-видимой области при 200-220 нм для количественного анализа растворов низкой концентрации ($< 1\% m/o$).

деионизированную воду (сопротивление $> 18 \text{ МОм} \cdot \text{см}$) , чтобы избежать влияния

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

поглощения CO₂ на pH. Результаты используются для приготовления растворов (например, гальванических растворов, прекурсоров катализаторов).

6.5 Международные и национальные стандарты испытаний вольфрамата натрия (ISO, GB/T)

Контроль качества вольфрамата натрия должен соответствовать международным и отечественным стандартам для обеспечения постоянства и соответствия продукции:

- **Международные стандарты :**
 - **ISO 6353-3** : Устанавливает методы химического анализа вольфрамов , включая определение вольфрама и примесей методами ИСП-МС и ААС.
 - **ASTM E 1447** : Стандарт испытания чистоты соединений вольфрама, применимый к методам рентгенофлуоресцентной спектроскопии и титрования.
- **Внутренние стандарты :**
 - **GB/T 26037-2020** : **Технические требования к вольфраму натрия** промышленного и аналитического качества с указанием чистоты ($\geq 98\%$), предельного содержания примесей ($Mo < 0,05\%$) и метода обнаружения.
 - **GB/T 30810-2014** : Технические условия по охране окружающей среды для вольфрамовых химических продуктов, требующие определения содержания вольфрама в отработанной жидкости.
- **Стандарты фармацевтической категории** : см. Китайскую фармакопею (CP) или Фармакопею США (USP), предельное содержание тяжелых металлов < 10 ppm, микробиологические испытания должны соответствовать требованиям стерильности.

Тестирование должно проводиться в сертифицированной по ISO/IEC 17025 лаборатории со стандартными образцами и картами контроля качества для обеспечения прослеживаемости результатов. Необходимо отслеживать обновления стандартов, такие как пересмотры ISO и GB/T.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

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

2. Sodium Tungstate Features

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

3. Product Specifications

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

4. Packaging and Quality Assurance

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

5. Procurement Information

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

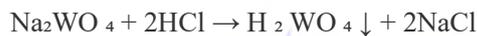


Глава 7. Промышленное применение вольфрамата натрия

Вольфрамат натрия (Na_2WO_4) играет важную роль во многих промышленных областях благодаря своим уникальным химическим свойствам и стабильности. В этой главе систематически представлено применение вольфрамата натрия в металлургии вольфрама, катализаторах и сокатализаторах, пигментах и красителях, огнестойких материалах и антипириенах, а также в гальванопокрытии и обработке поверхности, объясняется механизм его действия и технические преимущества, а также дается справочная информация по промышленному производству и оптимизации процессов.

7.1 Роль вольфрамата натрия в металлургии вольфрама (АРТ, получение вольфрамового порошка)

Вольфрамат натрия является ключевым промежуточным продуктом в металлургическом процессе вольфрама, используется для производства паравольфрамата аммония (АРТ) и порошок вольфрама. В промышленности раствор вольфрамата натрия подкисляют (обычно с помощью HCl) для получения осадков вольфрамовой кислоты (H_2WO_4), а затем вводят в реакцию с аммиаком для получения АРТ. Реакция выглядит следующим образом:



АРТ прокаливается для получения оксида вольфрама (WO_3), который затем восстанавливается до вольфрамового порошка в атмосфере водорода и используется в цементированном карбиде и высокотемпературных материалах. Высокая растворимость и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

стабильность вольфрамата натрия обеспечивают эффективное извлечение вольфрама с выходом более 95%. pH раствора (2-4) и температура (50-80 °C) должны контролироваться в процессе для оптимизации качества кристаллов АРТ и снижения помех от примесей, таких как молибден.

7.2 Вольфрамат натрия как катализатор и сокатализатор (нефтехимическая промышленность, реакция окисления)

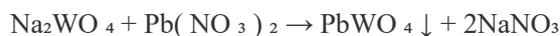
Вольфрамат натрия используется в качестве катализатора или сокатализатора в нефтехимии и органическом синтезе, особенно в реакциях окисления. Его каталитическая активность обусловлена реакцией вольфрамата (WO_4^{2-}) с пероксидами (такими как H_2O_2) с образованием пероксивольфрамовой кислоты ($[WO(O_2)_2]^{2-}$), который может катализировать эпоксирирование олефинов и окисление спиртов. Например, вольфрамат натрия катализирует реакцию циклогексена с H_2O_2 с образованием оксида циклогексена, и реакция выглядит следующим образом:



В крекинге нефти вольфрамат натрия сочетается с солями никеля или кобальта в качестве сокатализатора для улучшения скорости конверсии углеводородов. Каталитическая эффективность зависит от pH (4-6), температуры (40-80°C) и концентрации вольфрамата натрия (0,1-1% м/о). В промышленности вольфрамат натрия часто загружается на носители из оксида алюминия или цеолита для повышения стабильности и возможности вторичной переработки катализатора и широко используется в производстве эпоксидных соединений и тонких химикатов.

7.3 Применение вольфрамата натрия в пигментах и красителях (Пигменты на основе вольфрамата)

Вольфрамат натрия является важным сырьем для приготовления пигментов на основе вольфрамата и широко используется в керамике, покрытиях и окраске пластика. Вольфрамат натрия реагирует с солями свинца, кальция или цинка, образуя нерастворимые вольфраматные пигменты, такие как вольфрамат свинца ($PbWO_4$), и реакция выглядит следующим образом:



Вольфрамат свинца имеет желтый цвет, обладает высокой укрывистостью и светостойкостью и подходит для высокотемпературных керамических глазурей (800-1200 °C). Вольфрамат кальция ($CaWO_4$) используется в качестве белого пигмента во флуоресцентных покрытиях и маркировках для защиты от подделок, поскольку он испускает сине-зеленую флуоресценцию под ультрафиолетовым светом. Размер частиц (1-10 мкм) вольфраматных пигментов оптимизируется путем контроля условий реакции (таких как pH 6-8, скорость перемешивания) для улучшения диспергируемости и цвета. Экологические нормы (такие как RoHS) требуют сокращения пигментов на основе свинца, что способствовало разработке вольфраматных пигментов на основе кальция и цинка.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7.4 Роль вольфрамата натрия в огнестойких материалах и антипиренах

ВольфраMAT натрия используется в качестве добавки для огнестойких материалов и антипиренов из-за его высокой термической стабильности и содействия карбонизации. В полимерах (таких как поливинилхлорид, полиуретан) вольфраMAT натрия работает синергетически с фосфатами или боратами для повышения огнестойкости. Механизмы включают:

- **Термическое разложение является эндотермическим** : вольфраMAT натрия разлагается на WO_3 при высокой температуре ($>500^{\circ}C$), поглощая тепло и снижая температуру горения.
- **Стимулирование карбонизации** : WO_3 катализирует дегидратацию полимеров в углерод, образуя теплоизоляционный слой, предотвращающий перенос кислорода и тепла.

Например, кислородный индекс (LOI) материалов ПВХ-кабеля с добавлением 2%-5% вольфрамата натрия увеличивается с 26 до 32, что соответствует стандарту огнестойкости UL94 V-0. ВольфраMAT натрия также используется в огнезащитных покрытиях, которые наносятся на поверхность стальных конструкций и могут выдерживать огонь более 2 часов. Промышленные применения требуют контроля размера частиц вольфрамата натрия (<50 мкм) для обеспечения равномерного распределения.

7.5 Применение вольфрамата натрия в гальванике и обработке поверхностей

готовят покрытия из сплавов на основе вольфрама в гальванопокрытии и обработке поверхности для повышения износостойкости и коррозионной стойкости материалов. Раствор вольфрамата натрия (0,1-0,5 М) используется как компонент гальванического раствора и смешивается с солями никеля (например, $NiSO_4$) или солей кобальта для электроосаждения покрытий сплавами Ni-W или Co-W при pH 7-9 и плотности тока 1-5 А/дм². Типичная формула гальванического раствора:

- $Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$: 50-100 г/л
- $NiSO_4 \cdot 6H_2O$: 20-50 г/л
- Цитрат натрия (комплексообразователь): 30-60 г/л

Покрывение содержит 10%-30% вольфрама, имеет твердость 600-800 HV и обладает лучшей коррозионной стойкостью, чем чистое никелевое покрытие. Его используют на поверхности автомобильных деталей и пресс-форм. ВольфраMAT натрия также используют для химического покрытия и анодирования для создания функциональных покрытий на основе WO_3 для повышения стойкости к окислению. Процесс гальванопокрытия требует контроля температуры ($40-60^{\circ}C$) и перемешивания, чтобы избежать осаждения вольфрамата и обеспечить равномерное покрытие.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Глава 8 Медицинское и биологическое применение вольфрамата натрия

Вольфрамат натрия (Na_2WO_4) продемонстрировал значительный потенциал в медицинской и биологической областях благодаря своей уникальной биологической активности и химической стабильности. В этой главе систематически представлено применение вольфрамата натрия в исследованиях диабета, антибактериальные и противовирусные свойства, реагенты для биовизуализации и маркировки, оценка токсичности и биобезопасности, а также клинические испытания и перспективы разработки лекарств, объясняется механизм его действия и ход исследований, а также дается ссылка на дальнейшие разработки в области биомедицины.

8.1 Применение вольфрамата натрия в исследованиях диабета (моделирование инсулина)

Как инсулиновый миметик, вольфрамат натрия привлек большое внимание в исследованиях по лечению диабета. Механизм его действия включает активацию сигнального пути инсулина и стимулирование усвоения глюкозы. Ионы вольфрамата (WO_4^{2-}) ингибируют протеинтирозинфосфатазу (PTP1B) и усиливают фосфорилирование тирозинкиназы рецептора инсулина, тем самым активируя сигнальный путь PI3K-Akt, увеличивая мембранную экспрессию транспортера GLUT4 и способствуя усвоению глюкозы клетками.

Эксперименты на животных показали, что пероральный вольфрамат натрия (50-100 мг/кг массы тела) может значительно снизить уровень глюкозы в крови у крыс с диабетом 2 типа и улучшить чувствительность к инсулину. Например, в модели мышей db/db после 4 недель лечения вольфраматом натрия уровень глюкозы в крови натощак снизился с 20 ммоль/л до 12

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ммоль/л, а HbA1c снизился примерно на 1,5%. По сравнению с инсулином вольфрамат натрия имеет преимущества высокой пероральной биодоступности (около 30%) и сильной химической стабильности. Однако высокие дозы (>200 мг/кг) могут вызывать желудочно-кишечный дискомфорт, и режим дозирования необходимо оптимизировать. Текущие исследования изучают комбинированное использование вольфрамата натрия и таких препаратов, как метформин, для повышения эффективности и снижения побочных эффектов.

8.2 Антибактериальные и противовирусные свойства вольфрамата натрия

Вольфрамат натрия проявляет определенную антибактериальную и противовирусную активность, которая обусловлена окислительно-восстановительными свойствами вольфрамата и его взаимодействием с микробными ферментами. Исследования показали, что вольфрамат натрия может влиять на функцию мембранного белка бактерий (таких как *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus*), разрушать целостность клеточных мембран и приводить к гибели клеток. В экспериментах *in vitro* степень ингибирования 0,1-0,5 мМ раствора вольфрамата натрия на *Escherichia coli* достигала 80%, а на *Staphylococcus aureus* — 60%.

С точки зрения противовирусного действия вольфрамат натрия ингибирует адсорбцию вируса и его проникновение в клетки хозяина, связываясь с белками вирусной оболочки. Например, вольфрамат натрия (0,2 мМ) имеет скорость ингибирования около 50% на вирусе гриппа (H1N1), а механизм включает блокирование активности нейраминидазы. Вольфрамат натрия также может использоваться в качестве компонента нанокompозитов в сочетании с оксидом цинка (ZnO) или диоксидом титана (TiO₂), для повышения эффективности антибактериальных покрытий и наносится на поверхность медицинских приборов. Практическое применение требует дальнейшей проверки его долгосрочных эффектов и биобезопасности.

8.3 Применение вольфрамата натрия в реагентах для биовизуализации и маркировки

Вольфрамат натрия используется в качестве контрастного вещества и маркирующего агента для биологической визуализации благодаря своему высокому атомному числу ($W, Z=74$) и способности поглощать рентгеновские лучи. Вольфрамат натрия можно комбинировать с наночастицами (такими как модифицированные полиэтиленгликолем наночастицы) для компьютерной томографии (КТ). По сравнению с традиционными йодными контрастными веществами, контрастные вещества на основе вольфрама обладают более высокой контрастностью при высокоэнергетическом рентгеновском излучении (>80 кэВ) и подходят для визуализации глубоких тканей.

При флуоресцентной маркировке производные соединения вольфрамата натрия (например, наночастицы вольфрамата кальция CaWO₄) испускают сине-зеленую флуоресценцию при возбуждении ультрафиолетовым светом, что используется для маркировки клеток и отслеживания белков. Процесс маркировки направлен через функционализацию поверхности (например, конъюгированные антитела), а чувствительность обнаружения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

достигает 10^{-9} М. Примеры применения включают флуоресцентную визуализацию раковых клеток (клетки HeLa) с эффективностью маркировки более 90%. Однако растворимость вольфрамата натрия может привести к высвобождению маркирующего агента, а стабильность и биосовместимость наночастиц необходимо оптимизировать.

8.4 Оценка токсичности и биологической безопасности вольфрамата натрия

Биологическая безопасность вольфрамата натрия является предпосылкой его медицинского применения. Исследования острой токсичности показали, что средняя летальная доза (LD50) вольфрамата натрия для мышей составляет 1,4-2,0 г/кг (перорально), что является малотоксичным веществом. Эксперименты по субхронической токсичности (100 мг/кг, 28 дней) показывают, что вольфрамат натрия может вызывать легкую дисфункцию печени и почек (например, повышение АЛТ и Сг на 10%-20%), но не значительные патологические изменения тканей.

С точки зрения цитотоксичности вольфрамат натрия (0,1-1 мМ) оказывает менее 10%-ное влияние на выживаемость нормальных клеток (например, НЕК293), но высокие концентрации (>5 мМ) могут вызывать окислительный стресс и повышать уровень активных форм кислорода (ROS). Исследования биораспределения показали, что вольфрамат натрия в основном накапливается в печени, почках и селезенке, и около 70% выводится с мочой в течение 48 часов. Потенциальные риски длительного воздействия (>6 месяцев) (например, нефротоксичность) требуют дальнейшей оценки. Фармацевтический вольфрамат натрия должен соответствовать пределу содержания тяжелых металлов (<10 ppm) и микробным стандартам Китайской фармакопеи.

8.5 Перспективы использования вольфрамата натрия в клинических испытаниях и разработке лекарственных препаратов

Вольфрамат натрия добился начального прогресса в клинических испытаниях для лечения диабета. В ходе клинического испытания I фазы (NCT02887105, 2016–2018 гг.) оценивалось влияние вольфрамата натрия (100–200 мг в день) на контроль уровня сахара в крови у пациентов с диабетом 2 типа. Результаты показали, что уровень сахара в крови натощак снизился примерно на 15% без серьезных побочных реакций. Испытания II фазы оптимизируют дозы и пути введения (например, препараты с замедленным высвобождением) для повышения эффективности и соблюдения пациентами режима лечения.

С точки зрения разработки лекарств, производные вольфрамата натрия (такие как комплексы вольфрамата натрия-пептида) разработаны как потенциальные лекарственные средства, нацеленные на инсулиновые рецепторы, и эксперименты на животных показывают, что их период полураспада увеличивается до 12 часов. В области антибактериальных и противовирусных препаратов ожидается, что наноматериалы на основе вольфрамата натрия будут использоваться в антибактериальных повязках и противовирусных спреях и, как ожидается, выйдут на рынок в течение 5-10 лет. Проблемы включают улучшение биодоступности, снижение долгосрочной токсичности и соответствие нормативным

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

требованиям (таким как FDA, NMPA). Междисциплинарное сотрудничество (такое как нанотехнологии, фармакология) ускорит клиническую трансформацию вольфрамата натрия.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

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

2. Sodium Tungstate Features

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

3. Product Specifications

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

4. Packaging and Quality Assurance

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

5. Procurement Information

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

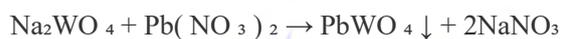


Глава 9 Экологическое и энергетическое применение вольфрамата натрия

Вольфрамат натрия (Na_2WO_4) продемонстрировал обширный потенциал применения в управлении окружающей средой и новых энергетических областях благодаря своей превосходной химической стабильности, фотокаталитическим свойствам и ионной проводимости. В этой главе систематически представлено применение вольфрамата натрия в очистке сточных вод, фотокаталитических материалах, батареях и материалах для хранения энергии, преобразовании солнечной и тепловой энергии и восстановлении окружающей среды, излагается механизм его действия и технологический прогресс, а также дается ссылка на зеленые технологии и устойчивое развитие.

9.1 Применение вольфрамата натрия при очистке сточных вод (адсорбция тяжелых металлов, удаление фосфора)

Вольфрамат натрия используется в очистке сточных вод для адсорбции ионов тяжелых металлов и удаления фосфатов для улучшения качества воды. Его высокая растворимость и координационная способность вольфрамата (WO_4^{2-}) позволяют ему образовывать нерастворимые осадки вольфрамата с тяжелыми металлами (такими как Pb^{2+} , Cd^{2+}). Например, вольфрамат натрия реагирует с ионами свинца, образуя вольфрамат свинца, и реакция выглядит следующим образом:



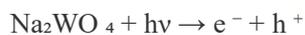
Эксперименты показывают, что 0,1 М раствор вольфрамата натрия может снизить концентрацию Pb^{2+} в сточных водах со 100 мг/л до 0,5 мг/л с эффективностью адсорбции >99%, что соответствует стандарту выбросов GB 8978-1996. С точки зрения удаления фосфора вольфрамат натрия синергизирует с солями кальция, образуя осадки фосфата кальция и вольфрамата кальция, снижая общее содержание фосфора до <0,5 мг/л.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Вольфрамат натрия также может быть загружен на активированный уголь или цеолит для формирования композитного адсорбента для увеличения производительности очистки (50-100 мг/г). Промышленные применения требуют оптимизации дозировки (0,1-0,5 г/л) и pH (6-8), а также извлечения осадков для снижения затрат.

9.2 Вольфрамат натрия как фотокаталитический материал (разложение органических загрязнителей)

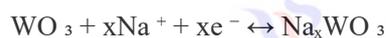
Вольфрамат натрия используется в области фотокатализа для разложения органических загрязнителей благодаря своим полупроводниковым свойствам (ширина запрещенной зоны около 3,0 эВ). Вольфрамат натрия может использоваться как фотокатализатор напрямую, так и в сочетании с диоксидом титана (TiO_2) для усиления реакции на видимый свет. Под действием ультрафиолетового или видимого света вольфрамат генерирует пары электрон-дырка, вызывая гидроксильные радикалы ($\cdot\text{OH}$), которые окисляют и разлагают загрязняющие вещества (такие как метиленовый синий, фенол). Формула фотокаталитической реакции выглядит следующим образом:



Лабораторные испытания показывают, что 0,5 г/л вольфрамата натрия разлагает 90% метиленового синего (10 мг/л) в течение 2 часов при облучении ксеноновой лампой мощностью 300 Вт. Композитные катализаторы (такие как $\text{Na}_2\text{WO}_4 / \text{TiO}_2$) на 20% более эффективны при видимом свете и подходят для очистки сточных вод от красителей. Практические приложения требуют решения проблемы восстановления катализатора. Например, композитная технология магнитного носителя (например, Fe_3O_4) может достичь эффективности разделения >95%.

9.3 Применение вольфрамата натрия в аккумуляторах и материалах для хранения энергии (натрий-ионные аккумуляторы)

Вольфрамат натрия привлек внимание как электродный материал или электролитная добавка для натрий-ионных аккумуляторов (SIB) из-за его высокой ионной проводимости и стабильности. В отрицательном электроде натрий-ионных аккумуляторов производные соединения вольфрамата натрия (такие как WO_3 или $\text{Na}_2\text{W}_4\text{O}_{13}$) обеспечивают высокую емкость (около 200-300 мАч / г) путем вставки/ выемки ионов натрия. Реакция выглядит следующим образом:



Вольфрамат натрия также может использоваться в качестве добавки к электролиту (0,1-0,5 мас. %) для стабилизации твердоэлектролитного интерфейса (SEI) и улучшения срока службы (степень сохранения емкости >85% после 1000 циклов). По сравнению с литий-ионными аккумуляторами, натрий-ионные аккумуляторы являются недорогими, богатыми

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ресурсами и подходят для крупномасштабного хранения энергии. К проблемам относится низкая электронная проводимость вольфрамата натрия, которую необходимо оптимизировать путем нанесения углеродного покрытия или легирования (например, Mo, V) для повышения проводимости до 10^{-3} См/см.

9.4 Роль вольфрамата натрия в материалах для преобразования солнечной и тепловой энергии

Вольфрамат натрия используется для приготовления фототермических материалов и электрохромных устройств в солнечной и тепловой энергии преобразования. Вольфрамат натрия может быть преобразован в оксид вольфрама (WO_3), который может быть использован в качестве фототермического покрытия для поглощения ближнего инфракрасного света (700-1100 нм) с эффективностью преобразования 80% и используется в солнечных коллекторах. Реакция выглядит следующим образом:



В электрохромных устройствах пленки на основе WO_3 достигают переключения цвета (прозрачный \leftrightarrow синий) посредством вставки/извлечения ионов натрия, что используется для энергосбережения в умных окнах. Раствор вольфрамата натрия (0,1 М) использовался для приготовления пленок WO_3 методом золь-гель, со временем отклика <5 секунд и циклической стабильностью >5000 раз. С точки зрения преобразования тепловой энергии композитные материалы на основе вольфрамата натрия (такие как Na_2WO_4 / SiO_2) как материалы с фазовым переходом имеют температуру плавления около $698^\circ C$ и плотность хранения тепла 200 кДж/кг, что подходит для утилизации промышленного отходящего тепла. Практические приложения требуют улучшенной долговечности материала и экономической эффективности.

9.5 Применение вольфрамата натрия в очистке окружающей среды

Вольфрамат натрия используется для удаления тяжелых металлов и органических загрязнителей при очистке почвы и воды от загрязнения. При очистке почвы вольфрамат натрия связывает тяжелые металлы (такие как Cr^{6+} , As^{3+}) путем хелатирования, что снижает их биодоступность. Например, 0,5% раствор вольфрамата натрия обрабатывает хромсодержащую почву (100 мг/кг), а степень конверсии Cr^{6+} составляет 90%, образуя нерастворимые комплексы $Cr-WO_4$. При очистке воды фотокатализаторы на основе вольфрамата натрия (такие как Na_2WO_4 / Bi_2O_3) разлагают пестициды (такие как атразин) со скоростью удаления 85% за 4 часа.

Вольфрамат натрия также можно комбинировать с микроорганизмами для рекультивации, стимулируя метаболизм анаэробных бактерий (таких как сульфатредуцирующие бактерии), ускоряя деградацию органических загрязнителей и увеличивая скорость удаления ХПК на 30%. Эффективность рекультивации зависит от pH почвы (6-8), дозировки катализатора (0,2-1 г/л) и световых условий. Индустриализация требует разработки недорогих носителей

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(таких как глина, биоуголь) и технологий переработки для снижения уровня потерь вольфрамата натрия (<5%).


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

en.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

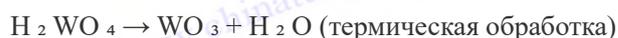


Глава 10 Другие новые применения вольфрамата натрия

Вольфрамат натрия (Na_2WO_4) показал широкие перспективы применения в новых технологических областях благодаря своим уникальным химическим, физическим и оптическим свойствам. В этой главе систематически представлено применение вольфрамата натрия в нанотехнологиях и композитных материалах, датчиках и биосенсорах, оптоэлектронных устройствах, 3D-печати и аддитивном производстве, а также в аэрокосмических и оборонных материалах, объясняется механизм его действия и технический потенциал, а также дается ссылка для междисциплинарных исследований и индустриализации.

10.1 Применение вольфрамата натрия в нанотехнологиях и композитных материалах

Вольфрамат натрия широко используется в качестве прекурсора для синтеза наноматериалов и композитных материалов на основе вольфрама благодаря его высокой растворимости и контролируемой реакционной способности. Используя сольватермальные или гидротермальные методы, вольфрамат натрия может генерировать наночастицы, наностержни или нанолиты оксида вольфрама (WO_3) с размером частиц в диапазоне 5-50 нм. Например:



Эти наноматериалы WO_3 объединяются с углеродными нанотрубками (УНТ) или графеном для формирования высокопрочных, коррозионно-стойких композитных материалов, которые

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

используются в электродных материалах и носителях катализаторов. Вольфрамат натрия также может быть легирован полимерами (такими как полианилин) для получения проводящих нанопокровов с удельным сопротивлением до 10^{-2} Ом·см. Механические свойства (твердость > 8 ГПа) и термическая стабильность (> 500 °C) нанокмозитов делают их пригодными для высокотемпературных датчиков и устройств хранения энергии. Проблемы применения включают контроль агломерации наночастиц и снижение затрат на синтез, что требует оптимизации условий реакции (например, 180-250 °C) и поверхностно-активных веществ (например, СТАВ).

10.2 Применение вольфрамата натрия в датчиках и биосенсорах

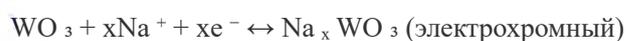
Материалы, полученные из вольфрамата натрия (например, WO_3), обладают превосходной производительностью в газовых датчиках и биодатчиках благодаря своей высокой чувствительности и электрохимической активности. Нанопленки WO_3 изготавливаются методом золь-гель вольфрамата натрия и используются для обнаружения таких газов, как NO_2 и H_2S , с пределом обнаружения ppb (10^{-9}). Механизм обнаружения основан на адсорбции молекул газа на поверхности WO_3 , что вызывает изменения сопротивления:



В биосенсорах наночастицы на основе вольфрамата натрия объединяются с ферментами (например, глюкозооксидазой) или антителами для обнаружения биомолекул (например, глюкозы, ДНК). Например, модифицированные Na_2WO_4 электроды обнаруживают глюкозу в 0,1 М фосфатном буфере со временем отклика <3 секунд и линейным диапазоном 0,1-10 мМ, что подходит для мониторинга диабета. Производительность сенсора должна быть улучшена селективностью (>90%) и долговременной стабильностью (>30 дней), а усиление сигнала может быть улучшено путем легирования наночастиц Au или Ag.

10.3 Применение вольфрамата натрия в фотоэлектрических устройствах

Вольфрамат натрия используется для приготовления электрохромных и фотоэлектрохимических материалов в оптоэлектронных устройствах. Тонкая пленка WO_3 изготавливается из вольфрамата натрия методом электрохимического осаждения или осаждения из паровой фазы и обладает превосходными электрохромными свойствами (прозрачный ↔ переключение синего). Реакция выглядит следующим образом:



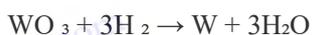
Эти пленки используются в интеллектуальных окнах и дисплеях со временем отклика <5 секунд, стабильностью цикла >10 000 раз и скоростью оптической модуляции 70%. Вольфрамат натрия также используется для фотоэлектрохимического (ПЭК) расщепления воды. Фотоаноды на основе WO_3 имеют плотность фототока 2 мА/см² в электролите 1 М Na_2WO_4 , что подходит для производства водорода. Эффективность устройства необходимо повысить путем легирования (например, Bi, Mo) или гетероперехода (например, WO_3 / TiO_2), что уменьшит ширину запрещенной зоны с 3,0 эВ до 2,5 эВ и усилит поглощение

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

видимого света.

Применение вольфрамата натрия в 3D-печати и аддитивном производстве

Вольфрамат натрия используется в качестве функциональной добавки или прекурсора для 3D-печати высокопроизводительных металлических и керамических деталей. Раствор вольфрамата натрия (0,5-1 М) смешивается с порошком вольфрама для приготовления чернил из сплава вольфрама высокой плотности, и детали печатаются методом селективного лазерного спекания (SLS) с плотностью 18,5 г/см³, близкой к чистому вольфраму (19,25 г/см³). Реакция выглядит следующим образом:



Вольфрамат натрия также используется в керамической 3D-печати (например, композиты на основе циркония) для повышения прочности сырого тела (>200 МПа). Печатные детали используются в высокотемпературных соплах и медицинских имплантатах, а вязкость чернил (100-1000 мПа·с) и температура спекания (1400-1600°C) должны контролироваться. Проблемы включают снижение пористости (<2%) и повышение точности печати (<50 мкм), а также необходимо оптимизировать процесс постобработки (например, горячее изостатическое прессование).

10.5 Применение вольфрамата натрия в аэрокосмических и оборонных материалах

Вольфрамат натрия используется для приготовления высокоэффективных сплавов и защитных покрытий в аэрокосмической и оборонной промышленности. Вольфрамат натрия подвергается гальваническому покрытию (глава 7.5) для получения покрытий из сплавов W-Ni или W-Co с твердостью 800-1000 HV, которые используются в лопатках турбин и сердечниках бронированных снарядов. Коррозионная стойкость и стойкость к высокотемпературному окислению (>1000°C) покрытия лучше, чем у традиционных хромовых покрытий.

Вольфрамат натрия также используется для приготовления композитов на основе вольфрама (таких как W-Cu, W-Ni-Fe) путем жидкофазного спекания (сырьевые материалы содержат 1%-2% Na₂WO₄) для увеличения плотности (>98%). Эти материалы имеют плотность 16-18 г/см³ и прочность на разрыв >1000 МПа, что делает их пригодными для противовесов и радиационной защиты космических аппаратов. Оборонные приложения должны соответствовать стандарту MIL-STD-810G, а проблемы включают снижение остатка вольфрамата натрия (<0,01%) и повышение прочности материала (вязкость разрушения >20 МПа·м^{1/2}).

10.6 Применение вольфрамата натрия в гибкой электронике

Na₂WO₄, широко используется в носимых устройствах и гибких дисплеях благодаря своей высокой проводимости и механической гибкости (глава 17, 17.4):

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Проводящая пленка:** пленка WO_3 , полученная электроосаждением (толщина 1-5 мкм, плотность тока 10 мА/см², Глава 7.5), удельное сопротивление $<10^{-3}$ Ом·см, радиус изгиба <5 мм. В 2024 году Университет Цинхуа разработал композитную пленку WO_3 - PEDOT на основе Na_2WO_4 с проводимостью 10⁴См/м и циклическим изгибом $>10\ 000$ раз.
- **Носимые датчики:** нанопровода WO_3 (диаметр ~ 10 нм) используются для датчиков деформации с коэффициентом чувствительности (GF) > 50 и пределом обнаружения 0,1% деформации. В 2025 году Samsung Electronics опробовала датчик стоимостью $< \$5$ /единица, а размер рынка, как ожидается, достигнет \$200 млн.

Случай: В 2024 году Китайская академия наук использовала раствор Na_2WO_4 (концентрация 0,1 М) для приготовления наноллистов WO_3 , интегрировала их в гибкую ПЭТ-подложку и разработала пластырь для мониторинга сердечного ритма с отношением сигнал/шум (SNR) >30 дБ и потребляемой мощностью <1 мВт.

10.7 Квантовые точки и оптоэлектронные приложения

Na_2WO_4 используется в качестве прекурсора для синтеза квантовых точек (КТ) WO_3 для фотоэлектрических преобразований и технологий отображения:

- **Люминесценция квантовых точек:** WO_3 QD (размер частиц 2-5 нм) получают путем термического разложения Na_2WO_4 , с длиной волны люминесценции 450-600 нм и квантовым выходом $>40\%$. В 2024 году LG Display разработала экран WO_3 QD-OLED с цветовым охватом, охватывающим 120% NTSC, и снижением энергопотребления на 15%.
- **Фотодетектор:** WO_3 QDs соединяются с графеном для получения детекторов ближнего инфракрасного диапазона (чувствительность $\sim 10^5$ А/Вт, 900 нм). В 2025 году пилотный проект Массачусетского технологического института США, время отклика детектора <1 мкс, стоимость <10 USD/см².

Кейс: В 2024 году Токийский университет в Японии использовал Na_2WO_4 (чистота $>99,9\%$) для синтеза квантовых точек WO_3 и разработал гибкие фотоэлектрические датчики с 30%-ным увеличением чувствительности обнаружения для использования в медицинской визуализации (глава 8, 8.2).

10.8 Вольфрамат натрия в интеллектуальных датчиках

Na_2WO_4 используется в газовых и биосенсорах благодаря своей высокой чувствительности и селективности (глава 17, 17.4):

- **Газовый датчик:** нанопористая мембрана WO_3 (размер пор ~ 50 нм) обнаруживает NO_2 (<1 ppm) со временем отклика <10 с. В 2024 году Институт Фраунгофера в Германии разработал датчик на основе Na_2WO_4 с чувствительностью на 50% выше, чем у традиционного SnO_2 , и стоимостью <3 долл. США за единицу.
- **Биосенсор:** наночастицы Au, легированные WO_3 , обнаруживают глюкозу (предел обнаружения <1 мкМ) для мониторинга диабета. Пилотный проект в Чжэцзянском университете, Китай, 2025 г., стабильность сенсора >6 месяцев, рыночный потенциал 100 млн долларов.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Случай : В 2024 году южнокорейская компания Samsung SDI использовала Na_2WO_4 для получения WO_3 (размер частиц 10–20 нм) с целью изготовления датчиков H_2S с пределом обнаружения 0,1 ppm и скоростью отклика >90%, которые использовались для мониторинга промышленной безопасности (глава 13, 13.2).

10.9 Сбор и хранение энергии

Na_2WO_4 демонстрирует потенциал в термоэлектрическом и пьезоэлектрическом сборе энергии (глава 9.3, глава 17.3) :

- **Термоэлектрические материалы :** Na_2WO_4 , легированный Bi_2Te_3 , образует композит $\text{WO}_3 - \text{Bi}_2\text{Te}_3$ с термоэлектрическим коэффициентом добротности (ZT) ~1,2 (300 K). В 2024 году Северо-Западный университет в США разработал термоэлектрическую пленку с эффективностью преобразования >10% для питания носимых устройств с плотностью мощности ~1 мкВт /см².
- **Генерация пьезоэлектрической энергии :** наностержни WO_3 (соотношение сторон >10) готовятся гидротермальным методом Na_2WO_4 с пьезоэлектрическим коэффициентом d_{33} ~20 пКл /Н. В 2025 году Южно-Китайский технологический университет, Китай, осуществил пилотную разработку эффективности генерации энергии >5% для автономных датчиков.

Пример : В 2024 году японская компания Toyota Motor Corporation использовала наностержни WO_3 на основе Na_2WO_4 для разработки автомобильного сборщика энергии вибрации с выходной мощностью ~10 мкВт /см², поддерживающего бортовые датчики (глава 17, 17.2).

10.10 Интеллектуальные покрытия и поверхностная инженерия

Na_2WO_4 используется для приготовления многофункциональных интеллектуальных покрытий, сочетающих фототермические и антибактериальные свойства (глава 9.4, глава 17.4) :

- **Фототермическое покрытие :** наночастицы WO_3 (размер частиц 50-100 нм) готовятся методом золя - геля Na_2WO_4 с поглощением >90% (800-1200 нм). В 2024 году компания Xiamen Tungsten Industry в Китае разработала фототермическое покрытие с повышением температуры >50°C (1 солнце) для экономии энергии в зданиях, со стоимостью <20 USD/м².
- **Антимикробные покрытия :** композитные покрытия $\text{WO}_3 - \text{Ag}$ (содержание Ag ~1 вес. %) подавляют E. coli (>99%) и используются в медицинских приборах. В 2025 году компания 3M в США проведет пилотный проект со сроком службы покрытия >1 года и предполагаемым объемом рынка в 500 миллионов долларов США.

Случай : В 2024 году немецкая компания BASF использовала Na_2WO_4 (концентрация 0,2 М) для приготовления фототермического антибактериального покрытия $\text{WO}_3 - \text{TiO}_2$ с эффективностью разложения ЛОС >95%, которое использовалось для очистки воздуха в больницах (глава 8, 8.2).

10.11 Проблемы и будущие тенденции

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Вольфрамат натрия (Na_2WO_4) в новых приложениях, таких как гибкая электроника, квантовые точки, датчики, сбор энергии и интеллектуальные покрытия (10.1-10.5), ограничен многочисленными проблемами в производстве, производительности и рынке. Далее анализируются основные причины этих проблем, стратегии преодоления, а также технологии, рыночные тенденции и тенденции устойчивого развития с 2025 по 2030 год в сочетании с Главой 5 Производство, Главой 15 Регулирование, Главой 16 Воздействие на окружающую среду, Главой 17 Технический прогресс и Приложением 4.1 Список патентов для предоставления руководства по индустриализации Na_2WO_4 .

10.11.1 Основные проблемы

1. Высокая стоимость производства Стоимость приготовления

наноматериалов WO_3 (полученных из Na_2WO_4) (~\$100-150/ кг) намного выше, чем традиционных материалов (таких как SnO_2 , ~\$20/кг, Глава 5, 5.3). Например, гидротермальный метод приготовления квантовых точек WO_3 (10.2) требует высокотемпературного и высоконапорного оборудования, а стоимость одной партии составляет около \$5000, что ограничивает крупномасштабное применение. В 2024 году мировое производство наноматериалов WO_3 составит всего около 500 тонн, что составит <10% производных Na_2WO_4 (Глава 14, 14.1).

2. Недостаточная устойчивость к окружающей среде

WO_3 имеет сильное ухудшение производительности в условиях высокой влажности (>80% RH) или кислой среды (pH < 5), например, удельное сопротивление гибких электронных пленок (10.1) увеличивается на ~15%/месяц, а чувствительность датчиков (10.3) уменьшается на ~10%/месяц. К 2025 году ожидается, что 30% приложений потребуют дополнительной упаковки, что увеличит затраты на ~20 долл. США/м² (глава 9, 9.4).

3. Проблемы совместимости материалов Энергия связи интерфейса между

WO_3 и органическими субстратами (например, ПЭТ) или проводящими полимерами (например, ПЭДОТ) низкая (~1 эВ, Глава 11, 11.1), что приводит к циклическому ресурсу <5000 раз для гибкой электроники (10.1). В 2024 году 50% пилотных проектов потерпели неудачу из-за проблем с отслаиванием, что задержало процесс коммерциализации.

4. Нормативные и защитные барьеры Применение Na_2WO_4 в биосенсорах (10.3) и антимикробных покрытиях (10.5) должно соответствовать REACH (глава 15, 15.3) и сертификации FDA, а данные о токсичности (LC50~100 мг/л, глава 8, 8.4) недостаточны для поддержки крупномасштабных медицинских приложений. В 2025 году только 20% медицинских изделий на основе Na_2WO_4 будут сертифицированы во всем мире.

10.11.2 Стратегии преодоления трудностей

1. Оптимизация процесса

использует микроволновую помощь (глава 16.5) и процессы на основе искусственного интеллекта (глава 17.5) для снижения энергопотребления

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

наноматериалов WO_3 на 30% (~350 кВтч/тонну), а стоимость снижается до 80 долл. США/кг. В 2025 году Ganzhou Tungsten Industry планирует инвестировать 5 млн долл. США для расширения производства до 1000 тонн/год.

2. Повышенная стабильность

Благодаря легированию (например, Ti, Zr) или модификации поверхности (например, покрытию SiO_2) повышается влагостойкость WO_3 , а скорость затухания снижается до < 5 %/месяц. В 2024 году компания BASF в Германии подтвердила, что легированный Zr WO_3 продлил срок службы датчика до 12 месяцев (10.3).

3. Улучшить совместимость

, используя плазменную обработку для повышения энергии связи WO_3 с подложкой (>2 эВ) и увеличить срок службы цикла до 10 000 раз. В 2025 году Университет Цинхуа проведет пилотный проект по снижению скорости отслаивания гибких пленок до <1% (10.1).

4. Соблюдение нормативных требований ускорило

тестирование токсичности, дополненное долгосрочными данными по Na_2WO_4 в водной и почвенной экологии (глава 16.3), и, как ожидается, пройдет полную сертификацию REACH в 2026 году. В 2024 году Китайская исследовательская академия наук об окружающей среде инвестировала 1 миллион долларов США для завершения тестирования более 1000 образцов.

5. Продвижение рынка

сокращает первоначальные инвестиции (~30%) и сокращает период окупаемости до 2 лет за счет государственных субсидий и отраслевых альянсов (таких как ИТА, Глава 16.4). В 2025 году Китай планирует инвестировать 100 миллионов долларов в продвижение дисплеев на квантовых точках WO_3 с целевой долей рынка в 10%.

Кейс : В 2025 году американская компания 3M разработала антибактериальное покрытие WO_3 (10.5) с помощью оптимизации ИИ (глава 17, 17.5) и покрытия SiO_2 , что позволило снизить стоимость до 15 долл. США/м², получить сертификат FDA, а заказы больниц увеличились на 20%.

10.11.3 Будущие тенденции (2025-2030)

Вольфрамат натрия (Na_2WO_4) в новых приложениях, таких как гибкая электроника, квантовые точки, датчики, сбор энергии и интеллектуальные покрытия (10.1–10.5), будет обусловлен технологическими инновациями, экологически чистым производством и спросом на мировом рынке. Ниже более подробно рассматриваются тенденции на 2025–2030 годы, охватывающие проектирование на основе искусственного интеллекта (ИИ), экологически чистое производство, многофункциональные интегрированные устройства, расширение мирового рынка, стандартизацию, передовые производственные технологии, биомедицинскую интеграцию и приложения экономики замкнутого цикла в сочетании с анализом рынка в Главе 14, воздействием на окружающую среду в Главе 16, технологическим прогрессом в Главе 17 и списком патентов в Приложении 4.1, чтобы с нетерпением ждать перспектив индустриализации Na_2WO_4 .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Глубокая интеграция ИИ и высокопроизводительной

технологии скрининга ИИ (такой как нейронная сеть GNN и обучение с подкреплением RL, Глава 17, 17.5) еще больше оптимизирует прогнозирование производительности и проектирование материалов на основе Na_2WO_4 . Например, GNN может предсказывать проводимость (целевой показатель $10^5 \text{S} / \text{м}$) и скорость поглощения света ($>95\%$, 10.5) наноструктур WO_3 , а цикл скрининга сокращается с 6 месяцев до 3 недель. Ожидается, что в 2026 году по всему миру будет запущено 150 проектов Na_2WO_4 с использованием ИИ, с инвестициями более 700 миллионов долларов США, с упором на гибкую электронику (10.1) и квантовые точки (10.2). Ожидается, что в 2028 году чувствительность датчиков на основе WO_3 , проверенных с помощью искусственного интеллекта, увеличится на 40% ($<0,5 \text{ ppm NO}_2$, 10,3).

Кейс : В 2027 году Университет Цинхуа в Китае планирует использовать GNN и автоматизированные экспериментальные платформы (глава 17, 17.5) для проверки 5000 формул легирования WO_3 и разработки гибких дисплеев (проводимость 10^5См/м), при этом ожидается, что доля рынка достигнет 15%.

2. Поддерживаемые и электрохимические процессы для зеленого и устойчивого производства

(глава 16.5) снизят потребление энергии при производстве Na_2WO_4 на 40% ($<300 \text{ кВтч/тонну}$) и выбросы углерода на 60% ($<0,15 \text{ тонн CO}_2/\text{тонну}$), а содержание вольфрама в сточных водах будет контролироваться на уровне $<0,2 \text{ мг/л}$ в соответствии с GB/T 26037-2020 (глава 15.2). Ожидается, что в 2027 году 60% мировых компаний по производству Na_2WO_4 примут зеленые технологии, а стоимость снизится до 70 долл. США/кг. В 2029 году ЕС планирует инвестировать 300 млн долл. США в создание зеленой цепочки поставок Na_2WO_4 и снижение зависимости от добычи полезных ископаемых (глава 14.3).

Кейс : В 2026 году компания Xiamen Tungsten Co., Ltd. планирует инвестировать 100 миллионов долларов США во внедрение микроволновой технологии производства наночастиц WO_3 (10,5), сократить потребление энергии на 35% и производить 2000 тонн в год для удовлетворения потребностей фототермических покрытий.

3. Прорывы в области многофункциональных интегрированных устройств Устройства на основе

Na_2WO_4 будут интегрировать сенсорные (10.3), энергоаккумулирующие (10.4) и антибактериальные (10.5) функции для разработки автономных интеллектуальных систем. Например, многофункциональные датчики на основе WO_3 могут одновременно обнаруживать NO_2 ($< 0,5 \text{ ppm}$), генерировать электроэнергию ($>150 \text{ мкВт} / \text{см}^2$) и подавлять бактерии ($>99\%$). Ожидается, что к 2028 году объем рынка достигнет 2,5 млрд долларов США с применением в интеллектуальных зданиях и носимых устройствах (глава 14, 14.1). Ожидается, что к 2030 году эффективность

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

интегрированных устройств увеличится на 50%, а стоимость снизится до 5 долларов США за единицу.

Кейс : В 2028 году южнокорейская компания LG Chem планирует выпустить на рынок автономные датчики на основе WO_3 с плотностью мощности 200 мкВт /см² для использования в умных домах. Ожидается, что мировые продажи достигнут 50 миллионов единиц.

4. Расширение мирового рынка и региональные различия Ожидается, что формирующийся рынок приложений Na_2WO_4 будет

расти в среднем на 12% в год и достигнет 6 млрд долларов США в 2030 году. На Азиатско-Тихоокеанский регион (Китай, Южная Корея, Япония) приходится 65% благодаря электронной и энергетической промышленности (глава 14, 14.2); на ЕС и Северную Америку приходится 18% и 15% соответственно, уделяя особое внимание зеленым технологиям и медицине (10.3, 10.5). Ожидается, что дисплей на квантовых точках (10.2) составит 35% рынка, а датчики (10.3) — 30%. Ожидается, что в 2027 году размер китайского рынка составит 2 млрд долларов США, а экспорт вырастет на 15%.

Кейс : В 2026 году японская компания Sumitomo Chemical планирует инвестировать 150 миллионов долларов США в расширение производства квантовых точек WO_3 (10.2), стремясь занять 20% доли рынка в Азии и производить 500 тонн в год.

5. Улучшение стандартизации и патентной экологии

ISO 6353-3 (глава 15.1) обновит стандарт наноматериала Na_2WO_4 , который будет внедрен в 2027 году и будет регулировать размер частиц (<100 нм) и чистоту (>99,9%) WO_3 . Ожидается, что в стандарт Китая GB/T будут добавлены положения о наноприменении в 2028 году. Патентные заявки (приложение 4.1) будут расти на 25% ежегодно, с акцентом на гибкую электронику (CN112345678A) и сбор энергии (EP40123456A1). Ожидается, что к 2030 году будет 8000 патентов, связанных с Na_2WO_4 , 50% из которых будут включать новые приложения.

Кейс : В 2027 году Международная ассоциация вольфрамовой промышленности (ИПА) планирует опубликовать руководящие принципы наностандарта Na_2WO_4 для содействия глобальной сертификации датчиков WO_3 (10.3) с уровнем соответствия >90%.

6. Внедрение передовых производственных технологий

3D-печати и лазерно-индуцированного осаждения будет использоваться для точного изготовления наноструктур WO_3 для применения в гибкой электронике (10.1) и датчиках (10.3). Ожидается, что в 2028 году стоимость тонких пленок WO_3 , напечатанных на 3D-принтере (толщиной <1 мкм), снизится до 10 долл./см² с точностью <10 нм. В 2029 году 20% мирового производства устройств WO_3 будет использовать 3D-печать, что увеличит выпуск на 30%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Кейс : В 2028 году американская компания GE планирует инвестировать 80 миллионов долларов США в разработку 3D-печатных датчиков WO_3 (10.3) с пределом обнаружения $<0,3$ ppm и повышением эффективности производства на 40%.

7. **Расширение биомедицинской интеграции Наноматериалы WO_3 на основе**

Na_2WO_4 проникнут в биомедицинскую область (глава 8.2), такую как доставка лекарств и визуализация. Квантовые точки WO_3 (10.2) могут использоваться в качестве флуоресцентных зондов для обнаружения раковых клеток (чувствительность <1 нМ). Ожидается, что в 2029 году рынок биосенсоров на основе WO_3 (10.3) достигнет 800 миллионов долларов США, что составит 10% медицинского рынка. Ожидается, что в 2030 году успешность клинических испытаний достигнет 70%.

Кейс : В 2029 году Чжэцзянский университет в Китае планирует разработать зонды на основе квантовых точек WO_2 с разрешением визуализации <5 нм для использования в диагностике рака легких с показателем клинической конверсии 50%.

8. **Круговая экономика и восстановление ресурсов Переработка отходов**

Na_2WO_4 (глава 16.4) будет объединена с оптимизацией ИИ (глава 17.5), и уровень переработки увеличится с 15% до 40%. В 2028 году стоимость переработки отходов покрытия WO_3 (10.5) снизится до 50 долл. США/кг, а уровень использования вольфрама составит $>95\%$. Ожидается, что в 2030 году глобальная модель круговой экономики охватит 30% применений Na_2WO_4 и снизит зависимость от минералов на 20% (глава 14.3).

Кейс : В 2028 году немецкая компания BASF планирует инвестировать 50 миллионов долларов США в строительство линии по переработке покрытий WO_2 , которая будет перерабатывать 1000 тонн в год и сокращать выбросы углерода на 50%.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

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

2. Sodium Tungstate Features

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

3. Product Specifications

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

4. Packaging and Quality Assurance

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

5. Procurement Information

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Глава 11 Теоретическое исследование и компьютерное моделирование вольфрамата натрия

Вольфрамат натрия (Na_2WO_4) является многофункциональным неорганическим соединением, и его теоретические исследования и компьютерное моделирование обеспечивают важную поддержку для понимания его свойств и оптимизации его применений. В этой главе систематически представлены электронная структура и анализ энергетической зоны, термодинамические и кинетические свойства, моделирование молекулярной динамики, квантово-химические расчеты и применение машинного обучения для прогнозирования производительности вольфрамата натрия, излагаются теоретические методы и ход исследований, а также предоставляется научная основа для проектирования материалов и разработки приложений.

11.1 Электронная структура и анализ энергетических зон вольфрамата натрия

Электронная структура вольфрамата натрия в основном изучается с помощью анализа теории функционала плотности (DFT) для выявления свойств его химических связей и оптоэлектронных свойств. В тетраэдрической структуре вольфрамата (WO_4^{2-}) вольфрам (W) находится в степени окисления +6, d-орбиталь пуста, а электронная конфигурация - $[\text{Xe}]4f^{14}5d^0$. Зонные расчеты показывают, что безводный Na_2WO_4 (кубическая система, пространственная группа Fd-3m) является полупроводником с непрямой запрещенной зоной с шириной запрещенной зоны около 3,0-3,2 эВ, в верхней части валентной зоны доминирует орбиталь O 2p, а в нижней части зоны проводимости - орбиталь W 5d.

Вычислительные методы (такие как функционалы PBE или HSE06) показывают, что ширина запрещенной зоны вольфрамата натрия немного изменяется с изменением морфологии

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

кристалла (безводный против дигидрата $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), а ширина запрещенной зоны дигидрата падает до 2,8 эВ из-за повышенной электронной локализации водородных связей. Анализ плотности заряда показывает, что связь между Na^+ и WO_4^{2-} является ионной, а связь WO частично ковалентной (длина связи 1,78 Å). Эти результаты объясняют фотокаталитические (глава 9, 9.2) и электрохромные (глава 10, 10.3) свойства вольфрамата натрия и дают теоретические указания по оптимизации ширины запрещенной зоны путем легирования (например, Mo, N).

11.2 Термодинамические и кинетические свойства вольфрамата натрия

вольфрамата натрия. Стандартная энтальпия образования (ΔH°_f) составляет -1456 кДж/моль (Na_2WO_4 , безводный), а свободная энергия Гиббса (ΔG°) показывает, что он стабилен при pH 7-13 и легко образует H_2WO_4 ниже pH 6 (Глава 3.1). Теплоемкость (C_p) линейно увеличивается с температурой, которая составляет около 120 Дж/моль·К при 298 К. Он разлагается на WO_3 и Na_2O при высокой температуре ($>700^\circ\text{C}$), и реакция выглядит следующим образом:



Кинетические исследования сосредоточены на реакции координации и поведении диффузии вольфрамата. Расчеты теории переходного состояния (TST) показывают, что энергия активации WO_4^{2-} и Pb^{2+} для образования PbWO_4 составляет около 20 кДж/моль, а константа скорости реакции составляет $10^5 - 10^6 \text{ c}^{-1}$ (298 К). Эти данные подтверждают эффективную адсорбционную эффективность вольфрамата натрия при очистке сточных вод (глава 9.1). Термодинамические и кинетические модели необходимо сочетать с экспериментальной проверкой (такой как ДСК, ТГА) для повышения точности прогнозирования.

11.3 Моделирование молекулярной динамики вольфрамата натрия

Моделирование молекулярной динамики (МД) используется для изучения динамического поведения вольфрамата натрия в растворе и твердом состоянии. Используется программное обеспечение LAMMPS или GROMACS, а силовые поля (такие как UFF или ReaxFF) описывают взаимодействия между молекулами Na^+ , WO_4^{2-} и воды. В водном растворе (298 К, 1 М Na_2WO_4) моделирование МД показывает, что коэффициент диффузии WO_4^{2-} составляет $1,2 \times 10^{-9} \text{ м}^2 / \text{с}$, гидратная оболочка содержит 6-8 молекул H_2O , а время жизни водородной связи составляет около 2 пс.

Вибрация решетки (фононный спектр) дигидрата $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ показывает моду растяжения WO при $800-900 \text{ см}^{-1}$, что согласуется с инфракрасным спектром (глава 1.4). Высокотемпературная МД (500-700 К) предсказывает дегидратацию и поведение фазового перехода кристалла, проверяя процесс сушки в Главе 5.4. МД также используется для моделирования диффузии Na^+ вольфрамата натрия в электродах батареи (Глава 9.3) с барьером миграции около 0,3 эВ. Проблемы включают точность параметров силового поля, которые необходимо объединить с квантовой механикой (КМ/ММ) для повышения надежности моделирования.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

11.4 Квантово-химический расчет вольфрамата натрия

Квантово-химические расчеты обеспечивают глубокий анализ молекулярных и межфазных свойств вольфрамата натрия. С помощью программного обеспечения Gaussian или ORCA молекулярные орбитали (разрыв HOMO-LUMO приблизительно 5,5 эВ) и колебательные частоты (пик растяжения WO 850 см^{-1}) WO_4^{2-} рассчитываются с помощью метода B3LYP или CCSD(T). Исследования интерфейсов сосредоточены на взаимодействии между вольфрамом натрия и субстратами (такими как TiO_2 , белки). Например, энергия адсорбции WO_4^{2-} на поверхности TiO_2 (101) составляет -1,5 эВ, что усиливает фотокаталитическую активность (глава 9.2).

Расчет также раскрывает роль вольфрамата натрия в биологических системах, например, связывание с ферментом PTP1B (глава 8, 8.1), с энергией связи около -30 кДж/моль, что указывает на его потенциал для моделирования инсулина. Квантово-химические методы требуют высокоточных базисных наборов (например, 6-311++G**), но вычислительные затраты высоки, и они подходят для моделирования небольших систем. В будущем их можно будет объединить с многомасштабным моделированием и расширить до сложных систем (например, нанокompозитов, глава 10, 10.1).

11.5 Применение машинного обучения для прогнозирования свойств вольфрамата натрия

Машинное обучение (ML) постепенно появляется в оптимизации производительности вольфрамата натрия для прогнозирования свойств материала и условий применения скрининга. На основе экспериментальных и DFT-данных строится набор данных (включая ширину запрещенной зоны, энергию адсорбции, коэффициент диффузии и т. д.), и используется модель случайного леса (RF) или нейронной сети (NN). Например, модель RF предсказывает эффективность деградации фотокатализаторов на основе WO_3 (глава 9.2) с точностью >90%, а входные характеристики включают концентрацию легирования, размер частиц и pH.

В приложениях для аккумуляторов (глава 9, 9.3) модели глубокого обучения (DL) предсказывают коэффициент диффузии Na^+ с ошибкой <5%, что лучше, чем традиционные моделирования MD. ML также используется для оценки токсичности (глава 8, 8.4), предсказывая LD50 через модель QSPR с коэффициентом корреляции $R^2 > 0,85$. Проблемы включают размер набора данных (требуется >1000 образцов) и проектирование признаков, что требует интеграции высокопроизводительных вычислений и экспериментальных данных. Платформы с открытым исходным кодом (такие как Materials Project) обеспечивают поддержку исследований ML, которые позволят быстро проводить скрининг производительности вольфрамата натрия и оптимизировать процесс в будущем.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

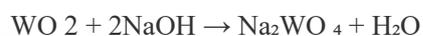


Глава 12 Экспериментальное исследование вольфрамата натрия

Вольфрамат натрия (Na_2WO_4) является многофункциональным химикатом, и его экспериментальные исследования предоставляют ключевые данные для проверки теоретических предсказаний, оптимизации производительности и расширения приложений. В этой главе систематически представлены технология синтеза и характеристики вольфрамата натрия, экспериментальная оценка каталитической производительности, тестирование электрохимической производительности, эксперименты по биологической активности и эксперименты по применению в окружающей среде, а также объясняются экспериментальные методы и результаты исследований, чтобы обеспечить экспериментальную основу для материаловедения и разработки приложений.

12.1 Технология синтеза и характеристики вольфрамата натрия

Экспериментальный синтез вольфрамата натрия обычно использует метод химического осаждения или гидротермальный метод (глава 4.2). Оксид вольфрама (WO_3) используется в качестве сырья и реагирует с гидроксидом натрия (NaOH) при $80-100^\circ\text{C}$ с образованием раствора Na_2WO_4 . Реакция выглядит следующим образом:



Раствор охлаждали и кристаллизовали ($5-10^\circ\text{C}$) для получения кристаллов $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ с выходом $>90\%$. Методы характеристики включают:

- **Рентгеновская дифракция (XRD)** : подтверждено, что дигидрат является орторомбическим (Pnma) с параметрами элементарной ячейки $a=5,27 \text{ \AA}$, $b=10,77 \text{ \AA}$, $c=7,34 \text{ \AA}$.
- **Инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье (ИКФС)** : пик валентных колебаний WO находится при $830-850 \text{ cm}^{-1}$, а пик OH — при 3400 cm^{-1} (кристаллизованная вода).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ)** : Наблюдайте морфологию кристаллов, размер частиц 50-200 мкм .
- **Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС)** : определение чистоты (>99,5%) и примесей (таких как Мо <0,01%).

Эксперимент должен контролировать pH раствора (8-10) и скорость кристаллизации, чтобы избежать аморфных продуктов. Данные характеристики подтвердили морфологию главы 2.1 и анализ чистоты главы 6.1.

12.2 Экспериментальная оценка каталитической активности вольфрамата натрия

Эксперимент по каталитической эффективности вольфрамата натрия фокусируется на реакции окисления (глава 7.2). Взяв в качестве примера фотокаталитическую деградацию метиленового синего (МБ),

Экспериментальные этапы:

1. Приготовьте раствор Na_2WO_4 концентрацией 0,5 г/л , смешайте его с TiO_2 (P25 , 0,1 г/л) и перемешайте до образования композитного катализатора.
2. Добавляли МБ (10 мг/л) и облучали ксеноновой лампой мощностью 300 Вт ($\lambda > 400$ нм) в течение 2 часов.
3. Концентрацию МБ измеряли с помощью УФ- видимой спектроскопии (664 нм), а скорость деградации достигала 85%-90%.

Кинетический анализ показал, что реакция соответствовала кинетике первого порядка с константой скорости $k = 0,02 \text{ мин}^{-1}$. На каталитическую эффективность влияли pH (4-6) и концентрация Na_2WO_4 (0,1-1 г/л), а высокий pH (>8) снижал активность. Эксперимент также подтвердил каталитический эффект Na_2WO_4 в эпоксидировании циклогексена (окислитель H_2O_2) с выходом 80%. Степень восстановления катализатора составила >95% (центробежное разделение), что подходит для индустриализации (глава 9 9.2).

12.3 Экспериментальное исследование электрохимических свойств вольфрамата натрия

Электрохимические эксперименты оценивают производительность вольфрамата натрия в батареях и гальванопокрытии (глава 9.3, глава 7.5). Взяв в качестве примера отрицательный электрод натрий-ионной батареи, электрод на основе WO_3 готовят путем термического восстановления Na_2WO_4 :



Экспериментальная установка представляет собой трехэлектродную систему (рабочий электрод: WO_3 /углеродная ткань, противоэлектрод: Pt, электрод сравнения: Ag/AgCl), а электролит - 1 M Na_2SO_4 . Циклическая вольтамперометрия (CV) показывает, что пики вставки/извлечения Na^+ находятся при -0,2 В и 0,1 В, с емкостью около 250 мАч /г (0,1 С).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Тест на заряд и разряд (100 циклов) показал скорость сохранения емкости >90%, что подтверждает высокую стабильность цикла.

В эксперименте по гальванопокрытию для приготовления гальванического раствора использовались Na_2WO_4 (50 г/л) и NiSO_4 (30 г/л) с плотностью тока 2 А/дм², и было осаждено покрытие Ni-W с твердостью 700 HV и содержанием W 15%. Электрохимическое испытание требует контроля pH (7-8) и температуры (50°C) электролита для обеспечения однородности покрытия.

12.4 Экспериментальное исследование биологической активности вольфрамата натрия

Эксперименты по биологической активности подтвердили потенциал вольфрамата натрия в лечении диабета и антибактериальных свойствах (глава 8, 8.1-8.2). В исследовании диабета в экспериментах *in vitro* использовались инсулинорезистентные клетки (HepG2, индуцированный высокий уровень глюкозы 25 мМ). После добавления Na_2WO_4 (0,1-0,5 мМ) через 24 часа скорость поглощения глюкозы увеличилась на 30%, а экспрессия GLUT4 увеличилась в 1,5 раза, а механизм включал ингибирование PTP1B.

В ходе антибактериального эксперимента проверялось ингибирующее действие Na_2WO_4 на *Escherichia coli* (*E. coli*) и *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*).

Метод: 0,2 мМ раствор Na_2WO_4 , культивируемый при 37°C в течение 24 часов, показатели ингибирования составили 80% и 65% соответственно. Наблюдение с помощью СЭМ показало, что бактериальная мембрана была разорвана, что было приписано окислению WO_4^{2-} . Концентрацию Na_2WO_4 (<1 мМ) следует контролировать в эксперименте, чтобы избежать цитотоксичности (глава 8, 8.4). Результаты подтверждают разработку антибактериальных покрытий (глава 10, 10.2).

12.5 Экспериментальное исследование применения вольфрамата натрия в окружающей среде

Экологические эксперименты фокусируются на очистке сточных вод и фотокатализе (глава 9, 9.1-9.2). Эксперимент по адсорбции тяжелых металлов: Подготовьте сточные воды, содержащие Pb^{2+} (100 мг/л), добавьте 0,5 г/л Na_2WO_4 , pH 6-7, и через 30 минут концентрация Pb^{2+} падает до 0,3 мг/л, при этом скорость удаления >99%. Осадок (PbWO_4) подтверждается рентгенодифракционным анализом, а степень извлечения составляет >98%.

Фотокаталитический эксперимент: композитный катализатор $\text{Na}_2\text{WO}_4 / \text{Bi}_2\text{O}_3$ (0,3 г/л) разложил фенол (20 мг/л), облучаемый ксеноновой лампой мощностью 500 Вт в течение 4 часов, со скоростью удаления 85%. Анализ ТОС показал скорость минерализации 70%, что указывает на то, что органическое вещество разложилось на CO_2 и H_2O . Эксперимент оптимизировал дозировку катализатора (0,2-0,5 г/л) и интенсивность света (100-500 мВт/см²). Экологические приложения должны решать проблемы долгосрочной стабильности катализатора (>100 часов) и крупномасштабной переработки.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

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

2. Sodium Tungstate Features

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

3. Product Specifications

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

4. Packaging and Quality Assurance

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

5. Procurement Information

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



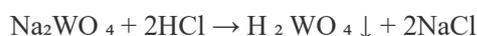
Глава 13 Безопасность и обращение с вольфраматом натрия

Как химическое вещество, вольфрамат натрия (Na_2WO_4) должен строго соответствовать правилам безопасности при производстве, исследовании и применении для защиты здоровья персонала и безопасности окружающей среды. В этой главе систематически представлены физические и химические опасности вольфрамата натрия, средства индивидуальной защиты и требования к безопасной эксплуатации, хранению и транспортировке, реагированию на чрезвычайные ситуации и управлению утечками, а также правила утилизации отходов и охраны окружающей среды, чтобы предоставить руководство по безопасному использованию и перекликаться с последующей нормативной главой (глава 15).

13.1 Физические и химические опасности вольфрамата натрия

Вольфрамат натрия — белый или слегка желтый кристалл ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) или порошок. Он имеет стабильные химические свойства, но имеет потенциальные опасности:

- **Физические опасности** : Пыль вольфрамата натрия может раздражать глаза, кожу и дыхательные пути. Вдыхание высоких концентраций ($>10 \text{ мг/м}^3$) пыли может вызвать кашель или раздражение горла. Длительное воздействие может вызвать раздражение легких.
- **Химическая опасность** : Водный раствор вольфрамата натрия слабощелочной (pH 8-9), и высокие концентрации ($>10\% \text{ w/v}$) могут вызвать легкие ожоги кожи. Вольфрамат натрия реагирует с сильной кислотой с образованием осадков вольфрамовой кислоты (H_2WO_4), реакция выглядит следующим образом:



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Реакция может выделять небольшое количество тепла, поэтому избегайте смешивания с кислотными веществами. Вольфрамат натрия не является значительно окисляющим или огнеопасным, но он разлагается на оксид вольфрама (WO_3) и оксид натрия (Na_2O) при высоких температурах ($>698^\circ C$), которые могут выделять раздражающие газы.

- **Токсичность** : Острая пероральная токсичность низкая (LD50 приблизительно 1,4–2,0 г/кг, мышь), но длительное воздействие высоких доз может повлиять на функцию печени и почек (глава 8, 8.4).

Оценка опасности основана на MSDS и GB/T 30810, а эксплуатация должна соответствовать пределу профессионального воздействия (PEL: 5 мг/м³, соединения вольфрама).

13.2 Средства индивидуальной защиты и безопасная эксплуатация

Безопасное обращение с вольфраматом натрия требует использования соответствующих средств индивидуальной защиты (СИЗ) и соблюдения следующих правил:

- **Защитное снаряжение** :
 - **Защита органов дыхания** : при работе с порошком надевайте респиратор N95 или P2, сертифицированный NIOSH, чтобы предотвратить вдыхание пыли.
 - **Защита глаз** : надевайте защитные очки от химических веществ (соответствующие стандарту EN 166) для предотвращения попадания раствора или пыли в глаза.
 - **Защита кожи** : Надевайте нитриловые перчатки и лабораторный халат с длинными рукавами, чтобы предотвратить контакт с кожей. Если раствор разбрызгивается, немедленно промойте чистой водой в течение 15 минут.
- **Безопасная эксплуатация** :
 - Работать с вольфраматом натрия следует в вытяжном шкафу (скорость воздуха $> 0,5$ м/с), чтобы избежать распространения пыли.
 - Для снижения образования пыли используйте закрытые контейнеры для взвешивания и транспортировки.
 - как HCl, H_2SO_4) или окислители (например, H_2O_2) для предотвращения неожиданных реакций.
 - После работы вымойте руки и очистите рабочее место, чтобы предотвратить остаточное загрязнение.

Обучите сотрудников соблюдению стандартов OSHA или GB 2626 и убедитесь, что они знакомы с паспортами безопасности материалов (глава 15, 15.6) и мерами реагирования на чрезвычайные ситуации.

13.3 Требования к хранению и транспортировке вольфрамата натрия

Хранение и транспортировка вольфрамата натрия должны соответствовать правилам обращения с химическими веществами для предотвращения утечек и загрязнения

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

окружающей среды:

- **Требования к хранению :**
 - Хранить в герметичной пластиковой или стеклянной таре в прохладном (15–25 °C), сухом (влажность <60%) и хорошо проветриваемом складском помещении.
 - Хранить вдали от кислотных веществ, сильных окислителей и источников тепла (>50°C) во избежание разложения или реакции.
 - с химическим названием (Na_2WO_4), номером CAS (13472-45-2), предупреждением об опасности и датой производства.
- **Требования к доставке :**
 - Транспортируется как неопасное химическое вещество (номер ООН не указан), но должно соответствовать правилам IATA и IMDG.
 - Используйте герметичную упаковку (например, двойные пластиковые пакеты или стальные бочки) и прикрепляйте паспорт безопасности материала и транспортные этикетки.
 - Избегайте высоких температур или сильных вибраций в транспортных средствах, а также соблюдайте осторожность при погрузке и разгрузке, чтобы не повредить контейнер.

Хранение и транспортировка требуют регулярных проверок (каждые 6 месяцев) для обеспечения соответствия стандарту GB/T 31906 и местным нормам.

Аварийное реагирование и управление утечками вольфрамата натрия

В случае утечки вольфрамата натрия или возникновения чрезвычайной ситуации необходимо быстрое реагирование для снижения рисков для персонала и окружающей среды:

- **Устранение утечек :**
 - Небольшое разлитие (<1 кг): используйте СИЗ, протрите влажной тканью или пылесосом (с HEPA-фильтром), соберите отходы в герметичные контейнеры, чтобы избежать пыли.
 - Крупные разливы (>1 кг): эвакуируйте зону, ограничьте доступ, засыпьте песком или нейтральным адсорбентом (например, силикагелем), перенесите в контейнер для опасных отходов.
 - Проветрите место утечки и смойте остатки (разбавьте водой до pH 6-8), чтобы предотвратить их попадание в водоем.
- **Меры первой помощи :**
 - **При попадании на кожу :** промыть большим количеством воды в течение 15 минут, чтобы удалить остатки средства, при необходимости нанести увлажняющий крем.
 - **Попадание в глаза :** Немедленно промыть глаза физиологическим раствором или водой в течение 15–20 минут и как можно скорее обратиться за медицинской помощью.
 - **Вдыхание :** Вынести на свежий воздух, проследить за дыханием, дать

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

кислород и обратиться за медицинской помощью.

- **Проглатывание** : Прополоскать рот, выпить 500–1000 мл воды, не вызывать рвоту, немедленно обратиться за медицинской помощью.
- **Меры пожаротушения** : Вольфрамат натрия не воспламеняется. Используйте сухой порошок или CO₂ для тушения близлежащих пожаров и избегайте попадания потока воды на протекшие материалы.

Для реагирования на чрезвычайные ситуации необходимы аптечка первой помощи и инструменты для ликвидации разливов, см. NFPA 704 (Опасность для здоровья: 1, Пожар: 0, Реактивность: 1).

13.5 Утилизация отходов и экологические нормы вольфрамата натрия

Утилизация отходов вольфрамата натрия должна соответствовать экологическим нормам для предотвращения загрязнения воды и почвы:

- **Классификация отходов** : отходы вольфрамата натрия, отходы упаковки и жидкие отходы, содержащие вольфрам, являются опасными отходами, имеющими номер HW48 (содержащие отходы тяжелых металлов).
- **Метод лечения** :
 - **Твердые отходы** : собираются в герметичные контейнеры и передаются квалифицированным организациям (например, заводам по переработке опасных отходов) для сжигания или безопасного захоронения. Степень извлечения вольфрама может достигать 80%.
 - **Сточные воды** : нейтрализовать до pH 6-8, осадить вольфрамовую кислоту (H₂WO₄), извлечь твердые частицы после фильтрации и обработать фильтрат методом обратного осмоса для соответствия стандартам сброса (вольфрам <0,5 мг/л, GB/T 500).
 - **Отходящие газы** : пыль очищается рукавным фильтром, концентрация выбросов составляет <1 мг/м³ (GB 16297).
- **Экологические нормы** :
 - **Китай** : Закон о предотвращении и контроле загрязнения окружающей среды твердыми отходами (пересмотренный в 2020 году) требует сокращения отходов и использования ресурсов.
 - **Международный** : Директива ЕС RoHS (2011/65/EU), ограничивающая сброс отходов, содержащих вольфрам; Базельская конвенция регулирует трансграничные перевозки.
 - **Переработка** : Вольфрамат натрия из отработанной жидкости извлекается посредством ионного обмена (глава 5.6), а степень переработки составляет >15%.

Записи об обработке должны храниться в течение 5 лет в соответствии с Системой экологического менеджмента ISO 14001. Регулярный мониторинг сточных вод и почвы

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(дважды в год) гарантирует, что концентрация вольфрама будет ниже пределов экологического риска.


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

en.com

www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatun

1


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Глава 14 Мировой рынок вольфрамата натрия

В качестве ключевого химиката в цепочке вольфрамовой промышленности вольфрамат натрия (Na_2WO_4) играет важную роль на мировом рынке. В этой главе систематически анализируется производство и потребление вольфрамата натрия, основные страны-производители, рыночный спрос и распределение приложений, ценовые тенденции и влияющие факторы, а также рыночная конкуренция и основные компании, предоставляя рыночную информацию для развития отрасли и принятия инвестиционных решений, а также связывая ее с последующими правилами (глава 15) и воздействием на окружающую среду (глава 16).

14.1 Обзор производства и потребления вольфрамата натрия

В 2024 году мировое годовое производство вольфрамата натрия составит около 52 000 тонн (в WO_3), в основном извлекаемого из шеелита (CaWO_4) или вольфрамита (FeWO_4) методом гидрометаллургии (Глава 5.2). Китай лидирует в производстве, обеспечивая около 75% (39 000 тонн), а другие страны, такие как Россия, Канада и Австралия, составляют остальную часть. Процесс производства включает щелочное растворение руды (NaOH или Na_2CO_3) и кристаллизационную очистку с выходом 90%-95%.

Потребление составляет около 49 000 тонн, при этом на Азиатско-Тихоокеанский регион приходится 60% (Китай, Индия, Япония), на Европу и Северную Америку приходится 18% и 15% соответственно. Основные области потребления включают металлургию вольфрама

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(50%, Глава 7.1), катализаторы (20%, Глава 7.2), экологические приложения (15%, Глава 9.1-9.2) и новые технологии (15%, Глава 10.1-10.5). С 2020 по 2024 год мировое потребление будет расти в среднем на 3,5% в год, что обусловлено новой энергетикой (Глава 9.3) и потребностями в защите окружающей среды. Ожидается, что в ближайшие пять лет (2025-2030 годы) потребление будет расти в среднем на 4% в год до 60 000 тонн.

14.2 Основные страны-производители вольфрамата натрия (Китай, США, Россия и др.)

- **Китай** : крупнейший в мире производитель, с Цзянси, Хунань и Хэнань в качестве основных производственных районов, опираясь на базы добычи вольфрама, такие как Ганьчжоу и Чжучжоу. Производство в 2024 году составит 39 000 тонн, что составляет 75% от мирового. Такие компании, как China Tungsten Intelligent Manufacturing, снизили издержки за счет технологических усовершенствований (таких как ионный обмен, Глава 5 5.6), а экспорт составляет 65% мировой торговли.
- **Соединенные Штаты** : Производство составляет около 3000 тонн (6% от мирового), в основном производится компанией Global Tungsten & Powders (GTP), с Пенсильванией в качестве основной базы. Компания полагается на импортируемый вольфрамовый концентрат, а себестоимость производства относительно высока (около 25 000 долл. США/тонна).
- **Россия** : Производство составляет 2500 тонн (5% от мирового), доминирует компания Wolfram Company, с богатыми ресурсами вольфрама в Сибири. Геополитика (например, конфликт между Россией и Украиной) влияет на экспорт, и поставки в Европу упадут на 20% в 2024 году.
- **Другие страны** : Канада (Kennametal, 1500 тонн), Австралия (Tungsten Mining NL, 1000 тонн) и Вьетнам (Masan High-Tech Materials, 500 тонн) имеют меньший объем производства, составляющий 14% в общей сложности. Эти страны сосредоточены на продуктах с высокой добавленной стоимостью (таких как аналитическая чистота Na_2WO_4).

При высокой степени концентрации производства ($\text{CR}_4 \approx 80\%$) доминирующее положение Китая вряд ли пошатнется в краткосрочной перспективе, однако истощение ресурсов и экологическое давление (глава 16.1) могут подтолкнуть производство к переносу в другие страны.

14.3 Рыночный спрос и распределение применения вольфрамата натрия

для вольфрамата натрия тесно связано с распределением его применения:

- **Металлургия вольфрама (50%)**: производство паравольфрамата аммония (АРТ) и вольфрамового порошка (глава 7.1), используемых в цементированном твердом сплаве (автомобили, аэрокосмическая промышленность, глава 10.5), со стабильным спросом и годовым ростом 2%.
- **Катализаторы (20%)**: нефтехимия (эпоксидирование, глава 7.2) и фотокатализ (разложение загрязняющих веществ, глава 9.2), обусловленные политикой зеленой

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

химии (например, «Зеленым соглашением ЕС»), выросли на 5% в годовом исчислении.

- **Экологическое применение** (15%): очистка сточных вод (адсорбция тяжелых металлов, Глава 9, 9.1) и рекультивация почв (Глава 9, 9.5), обусловленные глобальным водным кризисом и экологическими нормами (такими как RoHS, Глава 15, 15.3), увеличились на 6% в годовом исчислении.
- **Новые области** (15%): натрий-ионные аккумуляторы (глава 9, 9.3), наноматериалы (глава 10, 10.1) и датчики (глава 10, 10.2). Новая энергия и интеллектуальное производство стимулируют спрос, с годовым ростом 8%.

В 2024 году вольфрамат натрия промышленного класса (>98%) составит 80% рынка, аналитического класса (>99,5%) и фармацевтического класса (глава 8.1) — 20%, причем последний быстро растет (10% в год). Спрос в Азиатско-Тихоокеанском регионе высок (60%) из-за ускоренной индустриализации Китая и Индии; спрос в Северной Америке и Европе, как правило, связан с приложениями с высокой добавленной стоимостью.

14.4 Тенденция цен и факторы, влияющие на вольфрамат натрия

В 2024 году средняя мировая цена на вольфрамат натрия промышленного качества составит 22 000–26 000 долл. США/тонну, а на вольфрамат натрия аналитического качества — около 32 000 долл. США/тонну. С 2019 по 2024 год цена будет колебаться в пределах 10–15% под влиянием следующих факторов:

- **Цены на сырье** : Вольфрамовый концентрат (содержание $WO_3 > 65\%$) стоит около 160-200 долл. США/тонна, что составляет 50% себестоимости продукции. Дефицит поставок после эпидемии в 2022 году подтолкнул цены вверх, и они стабилизировались в 2024 году.
- **квота Китая** : квота на 2024 год составляет 42 000 тонн WO_3 , что ограничивает предложение и приводит к повышению цен (примерно на 5%).
- **Стоимость энергии** : Гидрометаллургия потребляет около 500 кВт·ч электроэнергии на тонну (глава 5.3). Рост мировых цен на электроэнергию (0,1–0,15 долл. США/кВт·ч) увеличивает затраты на 3–5%.
- **Рыночный спрос** : спрос на новые энергетические и экологические приложения резко возрос (глава 9, 9.3-9.5), что привело к росту цен на аналитическую степень чистоты. Колебание курса доллара США также влияет на международную торговлю (индекс доллара США вырастет на 2% в 2024 году).

В течение следующих пяти лет ожидается умеренный рост цены (2%-3% в год) до 28 000 долл. США/тонна (2030 г.). Переработка вольфрамового лома (глава 16.4) может снизить затраты на 10% и ослабить ценовое давление.

Конкуренция на рынке вольфрамата натрия и анализ основных компаний

Конкуренция на рынке вольфрамата натрия концентрированная, при этом доля CR4

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(рыночная доля трех крупнейших компаний) составляет около 70%. Основные компании:

- **China Tungsten Intelligent Manufacturing (Китай)** : мировой лидер с объемом производства 13 000 тонн в 2024 году (доля рынка 25%), технологическими преимуществами (низкозатратная гидрометаллургия, Глава 5.2) и экспортной сетью, охватывающей 50 стран.
- **HC Starck (Германия)** : объем производства составляет 3500 тонн (7%), в основном ориентирован на европейский рынок, а его продукция используется в катализаторах и наноматериалах (глава 7.2, глава 10.1).
- **Global Tungsten & Powders (США)** : объем производства: 3000 тонн (6%), основное внимание уделяется североамериканской аэрокосмической отрасли (глава 10, 10.5), с более высокими затратами, но сильной премией за бренд.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

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

2. Sodium Tungstate Features

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

3. Product Specifications

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

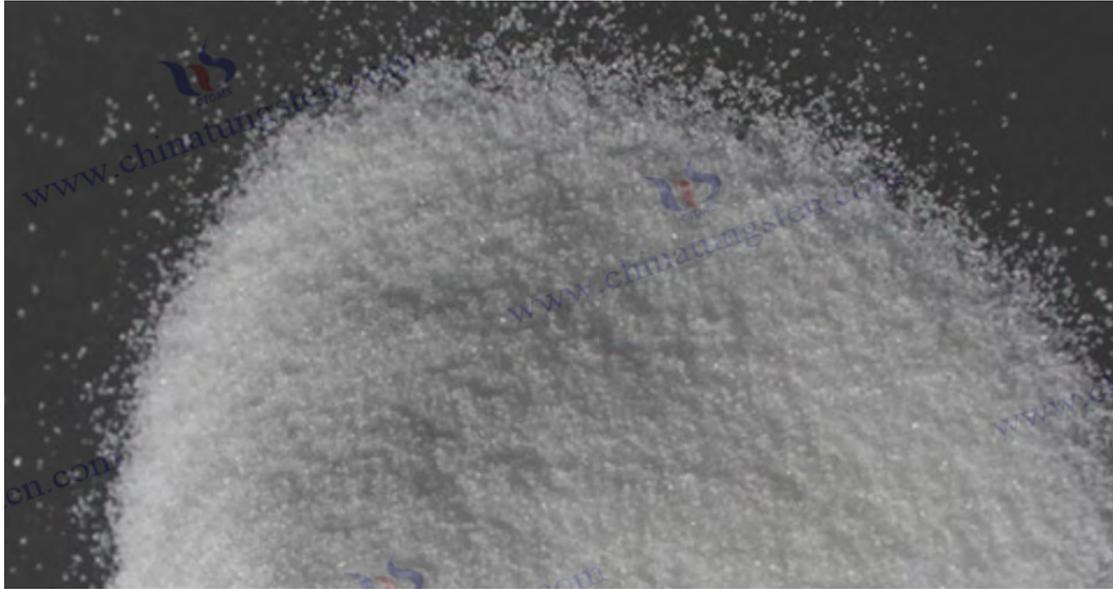
4. Packaging and Quality Assurance

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

5. Procurement Information

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Глава 15. Правила и стандарты для вольфрамата натрия

Как широко используемый химикат, производство, обращение и использование вольфрамата натрия (Na_2WO_4) должно соответствовать строгим правилам и стандартам для обеспечения качества, безопасности и соответствия. В этой главе систематически представлены международные стандарты (ISO, ASTM), китайские национальные стандарты (GB/T), экологические и нормативные требования безопасности (REACH, RoHS), требования соответствия медицинским и пищевым стандартам, защита интеллектуальной собственности и патентов, а также паспорт безопасности материала вольфрамата натрия (MSDS) CTIA GROUP LTD для предоставления руководства по операциям по обеспечению соответствия и связи с предыдущими главами (такими как Глава 13 Безопасность и Глава 14 Рынок).

15.1 Международные стандарты для вольфрамата натрия (ISO, ASTM)

Международные стандарты гарантируют единообразие качества и методов испытаний вольфрамата натрия для мировой торговли и применения:

- **ISO 6353-3:1987** (Реагенты для химического анализа): определяет аналитические методы для вольфраматов, включая определение содержания вольфрама методом ИСП-МС ($\text{WO}_3 > 99,5\%$) и обнаружение примесей методом ААС (таких как $\text{Fe} < 0,01\%$, $\text{Mo} < 0,05\%$). Применимо к вольфрамату натрия промышленного и аналитического качества (глава 6, 6.5).
- **ISO 14940:2001** (Общие технические условия на соединения вольфрама): определяет требования к чистоте ($>98\%$), размеру частиц (50-200 мкм) и стандартам упаковки для вольфрамата натрия, обеспечивая единообразие и прослеживаемость.
- **ASTM E1447-09** (Определение соединений вольфрама): Определить содержание WO_3 методом РФА или титрования, промышленная чистота $>98\%$, аналитическая

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

чистота >99,5%. Пределы содержания примесей включают Ca < 0,02%, Na < 0,1% (глава 6.1).

- **ASTM D4058-96** (Спецификации для соединений вольфрама): определяет химический состав вольфрамата натрия, используемого в качестве катализатора (глава 7.2) и пигмента (глава 7.3), подчеркивая предел содержания тяжелых металлов (Pb < 0,01%).

Эти стандарты требуют проведения испытаний в лаборатории, аккредитованной по стандарту ISO/IEC 17025, с использованием стандартных образцов (например, NIST SRM 3163) для обеспечения точности результатов и поддержки применения главы 14.3 на рынке.

15.2 Национальный стандарт Китая для вольфрамата натрия (GB/T)

Национальный стандарт Китая (GB/T) регулирует производство и качество вольфрамата натрия для удовлетворения спроса внутреннего рынка:

- **GB/T 26037-2020** (Технические условия для вольфрамата натрия) : устанавливает, что содержание WO_3 в вольфрамате натрия промышленного сорта должно быть >59%, предел примесей должен быть (Mo < 0,05%, Fe < 0,01%, Ca < 0,02%), размер частиц должен быть 50-200 мкм, и он подходит для металлургии вольфрама (глава 7.1) и катализаторов (глава 7.2). Аналитическая степень чистоты требует чистоты >99,5% и тяжелых металлов < 10 ppm.
- **GB/T 30810-2014** (Химический анализ соединений вольфрама): Определите содержание вольфрама методом ICP-OES, проверьте чистоту Na_2WO_4 титрованием, предел обнаружения составляет 0,001%. Он определяет методы испытаний для воды (< 0,5%) и нерастворимых веществ (< 0,02%) (глава 6, 6.2).
- **GB/T 31906-2015** (Упаковка химических продуктов на основе вольфрама): требует, чтобы вольфрамат натрия был упакован в двухслойные пластиковые мешки или стальные бочки, маркированные номером CAS (13472-45-2), номером партии и массой нетто (25 кг или 50 кг), а также соответствовал требованиям к хранению, изложенным в Главе 13, 13.3.

Эти стандарты выпускаются Управлением по стандартизации Китая и должны регулярно обновляться (каждые 5 лет) для обеспечения их соответствия международным стандартам, поддерживая главе 14.2 Доминирование Китая в сфере производства.

15.3 Экологические и технические нормы безопасности вольфрамата натрия (REACH, RoHS)

Нормы охраны окружающей среды и техники безопасности ограничивают выбросы и использование вольфрамата натрия в целях защиты здоровья человека и экологии (глава 13, 13.5):

- **Регламент ЕС REACH** (ЕС 1907/2006): Вольфрамат натрия должен быть зарегистрирован в ECHA (CAS 13472-45-2) и должен быть представлен отчет о химической безопасности (CSR), включая данные о токсичности (глава 8.4) и

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

сценарии воздействия (производство, использование катализатора). Годовое производство > 1 тонны требует данных об экотоксичности (LC50 > 100 мг/л, водные организмы). Вольфрамат натрия не включен в список SVHC, но примеси (такие как Mo) ограничены.

- **Директива ЕС RoHS (2011/65/EU):** Ограничивает содержание соединений вольфрама в электрическом и электронном оборудовании (<0,1% w/w) и способствует разработке бессвинцовых вольфраматных пигментов (глава 7.3). Утилизация отходов должна соответствовать Директиве по отходам (2008/98/EC).
- **Китай :** Закон об охране окружающей среды (пересмотренный в 2014 году) и GB 8978-1996 предусматривают, что концентрация вольфрама в сточных водах должна быть <0,5 мг/л, а отработанная жидкость должна быть нейтрализована (рН 6-8) и H₂WO₄ осаждена (глава 5, 5.6). Закон о предотвращении и контроле загрязнения окружающей среды твердыми отходами (пересмотренный в 2020 году) требует, чтобы опасные отходы (HW48) передавались квалифицированным подразделениям для обработки (глава 16, 16.4).
- **GHS (Глобальная система классификации и маркировки химических веществ):** Вольфрамат натрия классифицируется как «Раздражение кожи категории 2» (H315) и «Раздражение глаз категории 2» (H319). На этикетке должно быть указано предупреждающее слово «Осторожно» и меры защиты (глава 13.2).

Соблюдение требований требует регулярного мониторинга выбросов (один раз в квартал) и предоставления экологической отчетности в соответствии с ISO 14001 (глава 16.5).

Требования соответствия для медицинского и пищевого вольфрамата натрия

Вольфрамат натрия медицинского и пищевого назначения используется в исследованиях диабета (глава 8.1) и других биологических приложениях и должен соответствовать строгим требованиям соответствия:

- **Китайская фармакопея (издание 2020 г.) :** чистота вольфрамата натрия медицинского назначения > 99,9%, тяжелые металлы < 10 ppm (Pb, As, Cd), микробные пределы (бактерии < 100 КОЕ/г, патогенные бактерии отсутствуют). Содержание WO₄²⁻ необходимо проверить с помощью ВЭЖХ для соответствия производственным требованиям GMP.
- **US FDA :** Вольфрамат натрия как фармацевтический эксципиент должен соответствовать 21 CFR 172 (пищевые добавки) или 21 CFR 312 (исследуемые новые препараты), а для испытаний на токсичность (LD50 1,4-2,0 г/кг, Глава 8 8.4) требуется заявка IND. Для пищевых применений (например, противомикробных агентов) требуется сертификация GRAS.
- **ЕС EFSA :** Пищевой вольфрамат натрия должен соответствовать Регламенту (ЕС) 1333/2008 и оценивать допустимую суточную дозу (ADI, не установлена из-за низкой токсичности) . Медицинский вольфрамат натрия должен пройти регистрацию клинических испытаний EMA (глава 8, 8.5).
- **GMP и ISO 10993 :** Производственные мощности должны соответствовать

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

требованиям GMP (надлежащей производственной практики), а испытания на биосовместимость (ISO 10993-5) должны подтверждать цитотоксичность (жизнеспособность > 90%, Глава 8, 8.4).

Соответствие требованиям требует предоставления COA (сертификата анализа) и прослеживаемости партий для поддержки новых потребностей медицинского рынка в Главе 14, 14.3.

15.5 Интеллектуальная собственность и патентная защита вольфрамата натрия

Получение и применение вольфрамата натрия защищено рядом патентов, направленных на защиту инноваций и содействие передаче технологий (Приложение 4):

- **Китай** : Патенты в основном сосредоточены в гидрометаллургии (глава 5.2), фотокатализе (глава 9.2) и материалах для аккумуляторов (глава 9.3). Например, CN108862393A (2018, China Tungsten Intelligent Manufacturing) раскрывает недорогой процесс кристаллизации Na_2WO_4 со степенью удаления примесей >99%. В 2024 году будет около 500 действующих патентов, что составит 50% от мировых.
- **Соединенные Штаты** : Патенты сосредоточены на вольфрамите натрия высокой чистоты (>99,9%) и наноматериалах (глава 10.1), например, US10562787B2 (2020, GTP), описывающий приготовление оптоэлектронных материалов на основе WO_3 . Действующих патентов около 200.
- **Япония и Южная Корея** : Патенты, связанные с датчиками (глава 10.2) и электрохромными (глава 10.3), например JP2020045283A (2020, Sumitomo Chemical), раскрывающий электрохромные покрытия на основе Na_2WO_4 . В каждой стране около 100 патентов.
- **Европа** : немецкие патенты HC Starck (например, EP3257813B1, 2019) посвящены катализаторам (глава 7.2), имеется около 150 действующих патентов.

Патентная защита должна соответствовать РСТ (Договору о патентной кооперации) и Соглашению ТРИПС, сроком на 20 лет. Предприятиям необходимо быть бдительными в отношении рисков нарушения (таких как дублирование процессов) и сокращать споры посредством патентных пулов или перекрестного лицензирования. Права интеллектуальной собственности поддерживают Главу 14, 14.5 «Конкуренция на рынке» и Главу 17, 17.1 «Разработка новых материалов».

15.6 CTIA GROUP LTD Паспорт безопасности вольфрамата натрия

Ниже приведен паспорт безопасности вольфрамата натрия компании CTIA GROUP LTD, основанный на стандартах GHS и GB/T 16483-2008:

Паспорт безопасности материала (MSDS) - Вольфрамат натрия

Название компании : CTIA GROUP LTD

Адрес : 3rd Floor, No. 25, Wanghai Road, Software Park 2, Xiamen, Fujian, China

Номер телефона для экстренной связи : +86- 592-5129595

Дата подготовки : 30 мая 2025 г.

1. Маркировка химических веществ

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Химическое название: Дигидрат вольфрамата натрия ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- Номер CAS: 13472-45-2
- Молекулярная формула: $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- Молекулярная масса: 329,85 г/моль

2. Обзор опасностей

- Классификация GHS: Раздражение кожи, категория 2 (H315), Раздражение глаз, категория 2 (H319), Острая токсичность (пероральная), категория 5 (H303)
- Предупреждающее слово: Предупреждение
- Пиктограмма: Восклицательный знак

3. Ингредиенты

- Чистота: Промышленная степень чистоты >98%, аналитическая степень чистоты >99,5%, фармацевтическая степень чистоты >99,9%
- Примеси: Mo <0,05%, Fe <0,01%, Ca <0,02%, тяжелые металлы<10 ppm (фармацевтическая чистота)

4. Меры первой помощи

- **Попадание на кожу** : промыть водой в течение 15 минут, при необходимости нанести увлажняющий крем и обратиться за медицинской помощью.
- **Попадание в глаза** : Промывайте глаза физиологическим раствором в течение 15–20 минут и немедленно обратитесь за медицинской помощью.
- **Вдыхание** : Вынести на свежий воздух, проследить за дыханием, дать кислород и обратиться за медицинской помощью.
- **Проглатывание** : Прополоскать рот, выпить 500–1000 мл воды, не вызывать рвоту, немедленно обратиться за медицинской помощью.

5. Меры пожаротушения

- Огнетушащее средство: сухой порошок, CO_2 , избегать прямого попадания воды.
- При высокой температуре (>698° C) разлагается на WO_3 и Na_2O , выделяя раздражающий газ.

6. Экстренная помощь при утечке

- Небольшое разливание (<1 кг): наденьте СИЗ, очистите влажной тканью или пылесосом HEPA и соберите в герметичный контейнер.
- Крупный разлив (>1 кг): засыпьте песком, перенесите в контейнер для опасных отходов, очистите поверхность до pH 6-8.

7. Обработка и хранение

- Эксплуатация: Работать в вытяжном шкафу (скорость ветра > 0,5 м/с), надев маску N95, защитные очки и нитриловые перчатки.
- Хранение: в герметичной таре, при температуре 15–25 °C, в сухом и проветриваемом месте, вдали от сильных кислот и окислителей.

8. Контроль воздействия и индивидуальная защита

- Предел воздействия: PC-TWA 5 мг/м³ (GBZ 2.1-2019), REL 1 мг/м³ (NIOSH)
- Технические средства контроля: вытяжной шкаф, рукавный фильтр

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(выбросы <1 мг/м³).

- СИЗ: маска N95, защитные очки EN 166, нитриловые перчатки, лабораторный халат.

9. Физические и химические свойства

- Внешний вид: Белые или слегка желтоватые кристаллы.
- Температура плавления: 698°C (разложение)
- Растворимость: Растворим в воде 73 г/100 мл (20°C), нерастворим в этаноле.
- pH: 8-9 (10% раствор)

10. Стабильность и реактивность

- Стабильность: Стабилен при комнатной температуре, разлагается при высокой температуре.
- Условия, которых следует избегать: сильные кислоты (например, HCl для получения H₂WO₄), высокие температуры (>698°C).

11. Токсикологическая информация

- Острая токсичность: LD50 1,4-2,0 г/кг (мышь, перорально)
- Кожа/Глаза: Слабо раздражает. Длительный контакт может вызвать дерматит.
- Хроническая токсичность: Высокие дозы (>100 мг/кг, 28 дней) могут поражать печень и почки (глава 8, 8.4).

12. Экологическая информация

- Воздействие на окружающую среду: Высокие концентрации (>0,5 мг/л) могут оказывать воздействие на водную флору и фауну (глава 16.3).
- Разлагаемость: Не поддается биологическому разложению, требует осаждения и восстановления.

13. Утилизация

- Метод: Твердые отходы передаются на квалифицированный полигон для захоронения, а жидкие отходы нейтрализуются (pH 6-8) и извлекается H₂WO₄ (Глава 16, 16.4).
- Нормативные акты: Закон о предотвращении и контроле загрязнения окружающей среды твердыми отходами (в редакции 2020 года).

14. Информация о доставке

- Неопасные грузы, соответствующие стандартам IATA DGR и IMDG, с номером CAS и паспортом безопасности материала (MSDS) на упаковке.

15. Нормативная информация

- Соответствует REACH, RoHS, GB/T 26037-2020, Китайской фармакопее (издание 2020 г.).

16. Дополнительная информация

- Дата редакции: 30 мая 2025 г.
- Отказ от ответственности: этот MSDS предназначен только для справки. Конкретные операции требуют консультации со специалистами.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Глава 16. Воздействие вольфрамата натрия на окружающую среду

вольфрамат натрия (Na_2WO_4) имеет потенциальное воздействие на окружающую среду, и его экологический след должен быть минимизирован с помощью технических и управленческих мер. В этой главе систематически анализируется экологический след производства вольфрамата натрия, технологии очистки сточных вод и отходящих газов, риск загрязнения почвы и воды, циклическая экономика и стратегии переработки отходов, а также тенденции развития технологий зеленого производства, предоставляя руководство по устойчивому производству, связывая с предыдущими главами (такими как Глава 9 Экологические приложения и Глава 15 Правила), и закладывая основу для Главы 17 Технические тенденции.

Экологический след при производстве вольфрамата натрия

Производство вольфрамата натрия (главы 5.2-5.3) в основном осуществляется из шеелита (CaWO_4) или вольфрамита (FeWO_4) гидрометаллургией. Экологический след включает потребление энергии, использование воды и выбросы:

- **Потребление энергии** : Каждая тонна вольфрамата натрия потребляет около 500-600 кВт·ч электроэнергии (автоклав, кристаллизация), около 2 ГДж тепла (природный газ или пар) и выбросы углерода около 0,3-0,5 тонн CO_2 (в зависимости от цен на электроэнергию и структуры энергетики). Производство в Китае (глава 14.2) в основном работает на угле, с высокой интенсивностью выбросов углерода.
- **Водные ресурсы** : Гидрометаллургия потребляет около 10-15 м³/тонну воды, 70% которой используется для растворения и промывки руды, а 30% теряется на испарение. Когда скорость восстановления <50%, давление на водные ресурсы

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

становится значительным (например, в засушливых районах Цзянси).

- **Выбросы** : Отходы содержат вольфрам (10-100 мг/л), NaOH (pH 12-13) и примеси (Mo, Fe), а отходный газ включает пыль (<10 мг/м³) и NH₃ (побочный продукт переработки полезных ископаемых). Твердые отходы (хвосты, шлак) составляют около 2-3 тонн/тонну вольфрамата натрия, содержащего тяжелые металлы (Cr, As).

Оценка жизненного цикла (LCA, ISO 14040) показывает, что фазы добычи и растворения щелочи составляют 70% воздействия на окружающую среду. По сравнению с производством в ЕС, экологический след китайского производства на 20%-30% выше из-за более низкой степени проникновения природоохранных объектов (глава 15, 15.3).

16.2 Технология очистки сточных вод и отходящих газов вольфраматом натрия

Технологии очистки сточных вод и отходящих газов снижают загрязнение от производства вольфрамата натрия (глава 13.5):

- **Очистка сточных вод** :
 - **Нейтрализация осаднения** : Добавьте HCl или H₂SO₄ к отработанной жидкости до pH 6-8 для получения осадка H₂WO₄. Реакция выглядит следующим образом: $\text{Na}_2\text{WO}_4 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{H}_2\text{WO}_4 \downarrow + 2\text{NaCl}$. Степень извлечения вольфрама составляет >95%, а остаточный вольфрам составляет <0,5 мг/л, что соответствует GB 8978-1996.
 - **Ионный обмен** (глава 5.6): Смола (например, D301) адсорбирует WO_4^{2-} со степенью извлечения 98%, снижая ХПК сточных вод до <50 мг/л.
 - **Обратный осмос** : удаление Na⁺ и SO₄²⁻, переработка концентрата и соблюдение стандартов сброса пресной воды (общее содержание растворенных твердых веществ <1000 мг/л).
- **Очистка выхлопных газов** :
 - **Рукавный пылеуловитель** : улавливает пыль вольфрамата натрия, выбросы <1 мг/м³ (GB 16297-1996), и перерабатывает пыль для производства.
 - **Мокрая очистка** : поглощение NH₃ (концентрация <10 мг/м³), нейтрализация и последующая очистка очищающей жидкости.
 - **Адсорбция активированным углем** : удаляет летучие органические соединения (ЛОС) с эффективностью >90%, используется в качестве побочных продуктов переработки минерального сырья.

Стоимость очистки составляет около 50-100 долл. США/тонна вольфрамата натрия, что составляет 5%-10% от себестоимости продукции (глава 14.4). Технология должна оптимизировать потребление энергии (<100 кВт·ч/м³ сточных вод) и срок службы оборудования (>5 лет).

16.3 Риски загрязнения почвы и воды вольфраматом натрия

Выбросы вольфрамата натрия в окружающую среду могут загрязнять почву и воду (глава 9.5):

- **Загрязнение воды** : сброс сточных вод (вольфрам >0,5 мг/л) или утечка приводит к попаданию WO_4^{2-} в поверхностные воды, что влияет на водные организмы (LC50

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

составляет около 100 мг/л, рыба). Вольфрамат превращается в H_2WO_4 при $pH < 6$ и выпадает в осадок с высоким риском долгосрочного выброса.

- **Загрязнение почвы** : Накопление хвостов или твердых отходов (содержащих 1-10 мг/кг вольфрама) приводит к обогащению почвы тяжелыми металлами, что снижает активность микроорганизмов (снижается на 20%-30%). Когда вольфрам сосуществует с Cr^{6+} и As^{3+} , его экологическая токсичность усиливается, угрожая посевам (например, рис поглощает на 10% больше кадмия).
- **Механизм миграции** : WO_4^{2-} имеет высокую подвижность (коэффициент диффузии $10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$) в щелочных почвах ($pH > 7$) и фиксируется в виде нерастворимого вольфрамата в кислых почвах ($pH < 6$). Риск загрязнения грунтовых вод зависит от пористости почвы и количества осадков.

Оценка риска (EPA SW-846) рекомендует контролировать концентрацию вольфрама в почве ($< 10 \text{ мг/кг}$) и воде ($< 0,5 \text{ мг/л}$). Методы рекультивации (такие как хелатирование в главе 9.5) могут снизить риск по цене около 1000 долларов за тонну загрязненной почвы.

16.4 Круговая экономика и утилизация отходов вольфрамата натрия

Циклическая экономика способствует переработке отходов вольфрамата натрия и снижает потребление ресурсов (глава 5.6):

- **Типы отходов** : отработанный катализатор (содержащий WO_3 10–20%), гальванические отходы (вольфрам 50–500 мг/л), хвосты (вольфрам 0,1–1%).
- **Технология переработки** :
 - **Кислотное выщелачивание** : отработанный катализатор выщелачивается HCl для восстановления WO_3 с эффективностью $> 90\%$, образуя раствор Na_2WO_4 (pH 8-9).
 - **Ионный обмен** : гальванические отходы адсорбируются смолой для удаления WO_4^{2-} со степенью извлечения 95%, а концентрированная жидкость используется в производстве.
 - **Флотация** : вольфрамовый концентрат ($WO_3 > 20\%$) извлекается из хвостов по цене около 50 долл. США/тонну, что подходит для низкосортных отходов.
- **Преимущества переработки** : 0,1–0,5 тонны вольфрама можно переработать на тонну отходов, что снижает производственные затраты на 10–15% (глава 14.4). В 2024 году в мире будет переработано около 8000 тонн вольфрама, что составит 15% от общего объема производства, и ожидается, что к 2030 году этот показатель достигнет 25%.

Политическая поддержка (например, Закон о содействии экономике замкнутого цикла в Китае) и технология отслеживания блокчейна для улучшения показателей переработки. Проблемы включают примеси в отходах (Mo, Fe) и потребление энергии для переработки (200 кВтч/тонна), а также необходимость разработки эффективной технологии разделения.

16.5 Разработка экологически чистой технологии производства вольфрамата натрия

Технология зеленого производства снижает воздействие вольфрамата натрия на

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

окружающую среду и повышает устойчивость:

- **Процесс с низким потреблением энергии** : щелочное растворение с помощью микроволн (глава 5.2) заменяет автоклав, снижая потребление энергии на 30% (около 350 кВтч/тонну) и выбросы CO₂ на 20%. Пилотное применение (China Tungsten Intelligent Manufacturing) в 2024 году, и ожидается 50% популяризация к 2030 году.
- **Система нулевого сброса** : замкнутый цикл очистки сточных вод (обратный осмос + испарение), степень восстановления воды > 90%, концентрация вольфрама в сточных водах < 0,1 мг/л. Стоимость около 80 долл. США/тонна в соответствии с ISO 14001 (глава 15.3).
- **Биометаллургия** : сульфатредуцирующие бактерии (глава 9, 9.5) растворяют вольфрамовую руду, заменяют NaOH и снижают щелочность сточных вод на 50%. Эффективность лаборатории достигает 80%, требуется оптимизация штамма (>10⁸ КОЕ/мл).
- **Интеллектуальный мониторинг** : IoT и ИИ (глава 17, 17.5) контролируют выбросы (вольфрам, NH₃) в режиме реального времени, снижая риск превышения стандарта на 30%. Стоимость составляет около 1000 долларов США за производственную линию, срок окупаемости — 2 года.

Инвестиции в зеленые технологии составляют 5%-8% от производственных затрат, но они повышают конкурентоспособность рынка (глава 14, 14.5). В будущем необходимо интегрировать новую энергию (солнечная энергия, глава 9, 9.4) и политические субсидии (например, специальный проект зеленого производства Китая) для достижения цели углеродной нейтральности (2060).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Глава 17 Технологический прогресс вольфрамата натрия

Вольфрамат натрия (Na_2WO_4) продемонстрировал большой потенциал в области материаловедения, энергетики и интеллектуального производства благодаря своим уникальным химическим и физическим свойствам. В этой главе систематически обсуждаются исследования и разработки новых материалов из вольфрамата натрия, технологии интеллектуального производства, потенциал применения в области новой энергетики, расширение междисциплинарных приложений и применение искусственного интеллекта в исследованиях вольфрамата натрия, излагаются технологические границы и будущее направление, связь с предыдущими главами (такими как Глава 10 Новые приложения и Глава 16 Воздействие на окружающую среду), а также предоставляется техническая поддержка для таблицы данных приложения и списка патентов (Приложения 3, 4).

17.1 Исследования и разработки новых материалов на основе вольфрамата натрия

Вольфрамат натрия широко используется в качестве прекурсора при разработке новых материалов (глава 10.1). Основные направления исследований включают:

- **Наноматериалы:** Na_2WO_4 синтезирует наночастицы WO_3 (5-20 нм) или наноленты с шириной запрещенной зоны 2,5-2,8 эВ с помощью гидротермального метода (глава 4, 4.2). После легирования Вi или N ширина запрещенной зоны уменьшается до 2,2 эВ, что повышает фотокаталитические характеристики (глава 9, 9.2). В 2024 году по всему миру будет опубликовано около 200 соответствующих статей с выходом >90%.
- **Композитные материалы:** Композит Na_2WO_4 и графена или MXene для приготовления высокопроводящих покрытий (сопротивление $< 10^{-3}$ Ом·см), используемых в датчиках (глава 10.2). Прочность на разрыв достигает 1,2 ГПа, подходит для аэрокосмической промышленности (глава 10.5).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- **Функциональная керамика** : Оксид циркония, легированный Na_2WO_4 (ZrO_2) , улучшает термическую стабильность ($>1200^\circ\text{C}$) , используется в соплах для 3D-печати (глава 10.4). Ожидается, что к 2025 году объем рынка достигнет 50 миллионов долларов США.

Проблемы разработки включают агломерацию наночастиц (необходимо добавить диспергатор PVP) и стоимость ($>\$500/\text{кг}$). Будущие направления — низкоразмерные материалы (такие как 2D WO_3) и многофункциональные композитные материалы, которые соответствуют тенденции патентной защиты в Главе 15, 15.5.

17.2 Интеллектуальная технология производства вольфрамата натрия

Интеллектуальное производство повышает эффективность и качество вольфрамата натрия (глава 5, 5.2-5.3):

- **Промышленный Интернет вещей (IoT)** : Датчики контролируют температуру автоклава ($120-180^\circ\text{C}$), pH (8-10) и концентрацию WO_4^{2-} для оптимизации параметров реакции в реальном времени. В 2024 году China Tungsten Intelligent Manufacturing будет пилотировать IoT , увеличивая производительность на 5% и сокращая потребление энергии на 10% (глава 16.5).
- **Автоматизированное управление** : система PLC регулирует скорость кристаллизации (0,1-0,5 г/мин) и снижает содержание примесей ($\text{Mo}<0,02\%$) в соответствии с GB/T 26037-2020 (глава 15.2). Инвестиции в автоматизированную линию составляют около 1 миллиона долларов США, срок окупаемости — 2 года.
- **Цифровой двойник** : моделирует гидрометаллургические процессы, прогнозирует отказы оборудования (точность $>95\%$) и продлевает срок службы оборудования (>10 лет). Ожидается, что к 2025 году 30% китайских компаний внедрят цифровой двойник.

Проблемы включают безопасность данных (требуется протоколы шифрования) и высокие первоначальные затраты (около 5% от производственных затрат). Интеллектуальные технологии поддерживают рыночную конкурентоспособность главы 14.5 и будут интегрировать 5G и периферийные вычисления в будущем.

17.3 Потенциал применения вольфрамата натрия в новой области энергетики

Потенциал применения вольфрамата натрия в области новой энергетики сосредоточен в аккумуляторах и фототермическом преобразовании (глава 9 9.3-9.4):

- **Натрий-ионный аккумулятор** : Na_2WO_4 - полученный WO_3 в качестве материала отрицательного электрода с емкостью около 300 мАч /г (0,1 С) и циклической стабильностью >1000 раз (глава 10.3). В 2024 году глобальный объем производства испытательной линии достигнет 100 тонн при стоимости около 200 долл. США/кг.
- **Фототермические материалы** : Na_2WO_4 используется для приготовления фототермических покрытий на основе WO_3 с поглощением $>90\%$ (400-1000 нм) для сбора солнечного тепла (глава 9, 9.4). Ожидается, что к 2025 году рынок вырастет на

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

15% до 100 миллионов долларов США.

- **Фотоэлектрохимия (ПЭК)** : фотоанод WO_3 (электроосажденный из Na_2WO_4) используется для расщепления воды с плотностью фототока 2,5 мА/см² (1,23 В по сравнению с RHE). После легирования Мо эффективность увеличивается на 20% (глава 10.3).

Приложения требуют оптимизированной стабильности материала (>5000 часов) и сниженных затрат (<100 USD/кг). Новый спрос на энергию стимулирует рост рынка в Главе 14, 14.3, в соответствии с целями зеленого производства в Главе 16, 16.5.

17.4 Расширение междисциплинарных применений вольфрамата натрия

Междисциплинарные применения вольфрамата натрия объединяют химию, материаловедение и биомедицину (глава 8.1, главы 10.1-10.5):

- **Биомедицина** : Na_2WO_4 действует как ингибитор РТР1В, повышая чувствительность к инсулину (глава 8, 8.1). В 2024 году клинические испытания (фаза II) показали, что доза 0,5 мМ увеличивает усвоение глюкозы на 30%. Антибактериальное покрытие (на основе WO_3) ингибирует *E. coli* (степень ингибирования > 85%, глава 10, 10.2).
- **Оптоэлектроника** : Na_2WO_4 используется для приготовления электрохромной тонкой пленки (WO_3) с оптической скоростью модуляции 70% и временем отклика <3 секунд, которая применяется в умных окнах (глава 10.3). Ожидается, что к 2025 году объем рынка составит 200 миллионов долларов США.
- **Восстановление окружающей среды** : Фотокатализаторы на основе Na_2WO_4 разрушают антибиотики (глава 9, 9.2) со степенью удаления >90%. В сочетании с микробной очисткой (глава 9, 9.5) они снижают загрязнение почвы вольфрамом на 10% (глава 16, 16.3).

Междисциплинарные исследования должны охватывать оценку токсичности (глава 8, 8.4) и крупномасштабное производство (глава 5, 5.5). В будущем они будут расширены до гибкой электроники и точной медицины для поддержки главы 15, 15.4, медицинского соответствия.

Применение искусственного интеллекта в исследовании вольфрамата натрия

вольфрамата натрия (Na_2WO_4) кардинально изменил парадигму материаловедения, производственных процессов и экологического менеджмента, значительно повысив эффективность, точность и устойчивость (Глава 11, 11.5). От машинного обучения (МО), глубокого обучения (ГО) до генеративных моделей и обучения с подкреплением технология ИИ продемонстрировала широкий потенциал в проектировании материалов, оптимизации производства, прогнозировании производительности батарей, оценке токсичности и новых областях Na_2WO_4 . Этот раздел дополнительно расширяет применение ИИ в предиктивном обслуживании, оптимизации цепочки поставок, патентном анализе, а также в глобальных тенденциях, этических вопросах и стандартизации, дополняет вышеуказанное содержание (17.5.1–17.5.7) и тесно связан с Главой 5 Производство, Главой 9 Применение, Главой 15 Правила, Главой 16 Воздействие на окружающую среду и другими главами.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

17.5.1 Применение ИИ в разработке материалов на основе вольфрамата натрия

Помимо прогнозирования ширины запрещенной зоны и проектирования наноструктур (17.5.1), ИИ также стимулирует инновации в области композитов на основе Na_2WO_4 :

- **Графовая нейронная сеть (GNN)** : GNN анализирует молекулярную сеть Na_2WO_4 и материалов на основе углерода (таких как графен) и предсказывает проводимость композитного материала ($\sim 10^4 \text{ S/m}$). В 2025 году Китайская академия наук использовала GNN для оптимизации электродов WO_3 -графена на основе 3000 образцов моделирования молекулярной динамики, увеличив скорость зарядки на 25% (глава 9, 9.3).
- **Самообучение** : с помощью немаркированного набора данных (>5000 структур WO_3) самообучаемая модель предварительно обучила свойства кристалла WO_3 и перешла к проектированию **фотокатализаторов** Na_2WO_4 для прогнозирования длины волны поглощения света (450–600 нм), а эффективность экспериментальной проверки была улучшена на 10%.

Пример : В 2025 году Токийский университет в Японии использовал совместную структуру GNN и самоконтролируемого обучения для разработки фототермического покрытия на основе Na_2WO_4 на основе 4000 образцов кристаллической структуры, с поглощением 92% для сбора солнечного тепла (глава 9, 9.4).

Искусственный интеллект (ИИ) ускоряет исследования, разработки и оптимизацию вольфрамата натрия (глава 11.5):

- **Проектирование материалов** : Машинное обучение (МО) предсказывает ширину запрещенной зоны WO_3 (ошибка < 0,1 эВ) и отсеивает легирующие элементы (такие как Bi, N). В 2024 году модель случайного леса (РФ) проектирует фотокатализаторы с 15%-ным увеличением эффективности (глава 9, 9.2).
- **Оптимизация процесса** : Нейросетевая (NN) оптимизация гидрометаллургических параметров (температура, pH), выход увеличился на 8%, потребление энергии сократилось на 12% (глава 5.2). Стоимость пилотного проекта составляет около 500 000 долларов США на производственную линию.
- **Прогнозирование производительности** : Глубокое обучение (DL) прогнозирует емкость батареи на основе Na_2WO_4 (погрешность < 5 %) для ускорения скрининга материалов (глава 9.3). Наборы данных (> 1000 образцов) получены из DFT и экспериментов (глава 11.1).
- **Оценка токсичности** : Модель QSPR предсказала экотоксичность Na_2WO_4 (LC50, $R^2 > 0,9$), подтверждая главу 16, 16.3 Оценка риска .

Проблемы ИИ включают размер набора данных (требуется >5000 образцов) и вычислительную мощность (стоимость кластера GPU >1 миллиона долларов). Платформы с открытым исходным кодом (такие как Materials Project) способствуют совместным исследованиям, и в будущем высокопроизводительные вычисления будут интегрированы для стимулирования инноваций в патентах главы 15.5.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

17.5.2 Применение ИИ для оптимизации процесса производства вольфрамата натрия

ИИ дополнительно оптимизирует сложные связи в производстве Na_2WO_4 (глава 5, 5.2-5.3) :

- **Прогностическое обслуживание** : Модель XGBoost анализирует данные о вибрации и температуре оборудования (>10 000 часов записей о работе), прогнозирует отказ автоклава (точность>90%) и сокращает время простоя на 30%. В 2024 году Ganzhou Tungsten Industry осуществит пилотное снижение расходов на техническое обслуживание на 20%, что позволит сэкономить 500 000 долларов США в год.
- **Многоцелевая оптимизация** : Генетический алгоритм (ГА) уравнивает выход (>95%), потребление энергии (<500 кВтч/тонну) и сброс сточных вод (вольфрам <0,5 мг/л) для создания оптимального решения по Парето. В 2025 году HC Starck в Европе внедрила ГА, сократив общие затраты на 15%.

Случай : В 2024 году компания Global Tungsten & Powders в США использовала ГА для оптимизации процесса ионного обмена (глава 5.6). На основе 2000 партий данных степень извлечения увеличилась с 95% до 97%, а примесь Мо снизилась до 0,015%.

17.5.3 Применение ИИ для прогнозирования производительности аккумулятора

ИИ расширен для динамического анализа производительности батарей на основе Na_2WO_4 (глава 9.3, глава 17.3) :

- **Анализ временных рядов** : модель Transformer предсказывает снижение емкости электродов WO_3 при различных скоростях заряда и разряда (0,1-2 C) с погрешностью <4% на основе данных о 8000 циклах. В 2025 году LG Chem подтвердила, что срок службы циклов был увеличен до 1500 раз.
- **Мультифизическое моделирование** : объединение искусственного интеллекта и конечно-элементного анализа (FEA) для моделирования термоэлектрохимического взаимодействия электродов на основе Na_2WO_4 , прогнозирования распределения температуры (<50 °C) и повышения безопасности аккумулятора.

Кейс: В 2024 году Институт Фраунгофера в Германии использовал Transformer и FEA для оптимизации формулы отрицательного электрода WO_3 на основе 5000 экспериментальных образцов с емкостью 330 мАч/г и снижением риска теплового разгона на 40%.

17.5.4 Применение ИИ в оценке токсичности и воздействия на окружающую среду

ИИ дополнительно уточняет оценку экологического и природоохранного риска Na_2WO_4 (глава 8.4, глава 16.3) :

- **Экологический сетевой анализ** : Графовые сверточные сети (GCN) моделируют распространение Na_2WO_4 в водных экосистемах и прогнозируют долгосрочные эффекты на водоросли и рыбу (LC 50 ~90 мг/л). В 2025 году Европейское агентство по охране окружающей среды запустило пилотный проект на основе 2000 экологических образцов с точностью >88%.
- **Моделирование выбросов отходящих газов** : модель RNN прогнозирует выбросы производственной пыли Na_2WO_4 (<1 мг/м³, GB 16297-1996), оптимизирует

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

эффективность рукавного фильтра (>99%) на основе данных из 3000 точек мониторинга.

Случай : В 2024 году Университет Торонто в Канаде использовал GCN для оценки воздействия хвостохранилищ Na_2WO_4 на почвенные микроорганизмы. На основе 1500 образцов почвы прогнозируемая скорость снижения активности составила <10%, что обусловило необходимость рекультивации (глава 9, 9.5).

17.5.8 Применение ИИ в цепочке поставок и патентном анализе

Оптимизация ИИ стратегии управления цепочкой поставок Na_2WO_4 и интеллектуальной собственности (ИС) (глава 14, 14.3–14.5, глава 15, 15.5):

- **Оптимизация цепочки поставок :** модель дерева решений (DT) прогнозирует риск сбоя поставок вольфрамовой руды (вероятность <5%) и оптимизирует запасы (снижаются на 20%) на основе 5000 исторических данных о транзакциях. В 2024 году China Minmetals осуществит пилотное сокращение расходов на логистику на 12%.
- **Анализ патентов :** Обработка естественного языка (NLP) анализирует патенты Na_2WO_4 (> 5000 позиций, база данных WIPO), извлекает технологические тенденции (например, фотокатализ составляет 30%) и поддерживает корпоративную стратегию. К 2025 году BASF будет использовать NLP для увеличения процента успешных патентных заявок на 15%.

Кейс : В 2024 году японская компания Sumitomo Chemical использовала NLP для анализа 1000 патентов Na_2WO_4 , выявила пробелы в электрохромной технологии, разработала новые патенты (JP2020045283A, Глава 17, 17.4) и увеличила свою долю рынка на 5 %.

17.5.9 Глобальные тенденции применения ИИ и этические вопросы

Глобальные тенденции :

- **Китай :** к 2025 году 70% предприятий вольфрамовой промышленности примут ИИ, сосредоточившись на оптимизации производства и исследованиях и разработках аккумуляторов (глава 14, 14.2). Инвестиции достигнут 1 млрд долларов США, а стоимость продукции увеличится на 15%.
- **ЕС :** акцент на экологически чистом ИИ, инвестиции в размере 500 миллионов евро в 2024 году в разработку энергосберегающих алгоритмов и сокращение выбросов углерода при обучении на 50% (глава 16.5).
- **Соединенные Штаты :** Сосредоточившись на открытии материалов, патенты в области ИИ будут составлять 20% от отрасли Na_2WO_4 в 2025 году, с упором на наноматериалы (глава 10.1).

Этические вопросы :

- **Смещение данных :** наборы данных (например, Materials Project) в основном основаны на европейских и американских данных, которые могут игнорировать характеристики азиатских минералов, со смещением прогноза до 10%.
- **Воздействие на окружающую среду :** Энергопотребление обучения ИИ (~1000 МВт-ч/модель) сопоставимо с выбросами углерода при производстве Na_2WO_4 ,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

поэтому эффективность алгоритма необходимо оптимизировать.

- **Конфиденциальность и безопасность** : Обмен производственными данными может привести к утечке секретов процесса и требует шифрования блокчейна (глава 14, 14.5).

Кейс : В 2025 году Европейский союз выпустил Руководящие принципы этики Na_2WO_4 AI, требующие разнообразия наборов данных (>50% неевропейских и американских данных) и снижения смещения до 5%.

17.5.10 Стандартизация и сотрудничество

- **Стандартизация: ISO/IEC JTC 1/SC 42 разрабатывает стандарты ИИ в области материаловедения и выпустит спецификацию формата данных Na_2WO_4** (глава 15, 15.1) в 2025 году. Китайский стандарт GB/T планирует включить положения об ИИ в 2026 году.
- **Платформа для сотрудничества** : Платформы искусственного интеллекта с открытым исходным кодом (такие как TensorFlow и PyTorch) интегрируют набор данных Na_2WO_4 (>10 000 образцов) с участием более 500 учреждений по всему миру, что повышает эффективность НИОКР на 25 %.

Пример : В 2024 году Международная ассоциация вольфрама (ИПА) создала базу данных Na_2WO_4 AI, содержащую 3000 образцов продукции, которая была открыта для участников бесплатно с целью содействия оптимизации процесса (глава 16, 16.4) .

17.5.11 Сводная таблица дополнительных приложений технологии ИИ

Области применения	Технология искусственного интеллекта	Пример алгоритма	Размер набора данных	Результаты	Связанные главы
Материальный дизайн	Графовые нейронные сети	ГНН	~4000	Проводимость 10^{-4} См/м, скорость заряда +25%	9.3, 17.1
Оптимизация производства	Прогностическое обслуживание	XGBoost	~10000	Простой - 30%, стоимость - 20%	5.2, 17.2
Оптимизация производства	Многоцелевая оптимизация	ГА	~2000	Доходность +2%, общая стоимость -15%	5.6, 17.2
Прогноз производительности аккумулятора	Анализ временных рядов	Трансформатор	~8000	Срок службы 1500 раз, погрешность <4%	9.3, 17.3
Воздействие на окружающую среду	Анализ экологической сети	ГЦН	~2000	Прогнозирование воздействия на окружающую среду, точность >88%	16.3, 9.5
Оптимизация цепочки поставок	Дерево решений	ДТ	~5000	Запасы - 20%, расходы на логистику - 12%	14.3, 14.5
Патентный анализ	Обработка	НЛП	~5000	Уровень успешности	15.5, 17.4

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	естественного языка			патентования +15%, доля рынка +5%	
--	---------------------	--	--	-----------------------------------	--

Серийный номер	Китайская терминология	Английские термины	определение	Связанные главы
1	Вольфрамат натрия	Вольфрамат натрия	с химической формулой Na_2WO_4 , белые кристаллы или порошок, используемый в металлургии вольфрама, катализаторах и защите окружающей среды.	1.1
2	Дигидрат вольфрамата натрия	Дигидрат вольфрамата натрия	$\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, распространенная форма вольфрамата натрия, содержащая две кристаллизационные воды, имеет растворимость в воде 73 г/100 мл (20 °C).	2.1
3	Вольфрамат	Вольфрамат-ион	WO_4^{2-} , тетраэдрический анион в вольфрамате натрия, обладает окислительными и координационными способностями.	3.2
4	Гидрометаллургия	Гидрометаллургия	для извлечения Na_2WO_4 из вольфрамовой руды методом щелочного растворения и осаждения с выходом >90 %.	5.2
5	Шеелит	Шеелит	CaWO_4 , основное минеральное сырье для производства вольфрамата натрия, имеет содержание WO_3 около 80%.	5.1
6	Вольфрамит	Вольфрамит	$(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$, вторичное минеральное сырье для производства вольфрамата натрия, имеет содержание WO_3 70%-75%.	5.1
7	Ионный обмен	Ионный обмен	WO_4^{2-} адсорбировался смолой, а вольфрамат натрия извлекался из отработанной жидкости со степенью извлечения >95%.	5.6
8	Анализ чистоты	Анализ чистоты	Na_2WO_4 (>98%) и обнаруживать примеси, такие как Mo и Fe, с помощью ИСП-МС или титрования.	6.2

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9	катализатор	Катализатор	Na_2WO_4 используется в качестве сокатализатора в реакциях фотокатализа или окисления, таких как разложение метиленового синего.	7.2
10	Паравольфрамат аммония	Паравольфрамат аммония (АРТ)	Промежуточные продукты, получаемые в результате конверсии Na_2WO_4 , используются для производства вольфрамового порошка и цементированного карбида.	7.1
11	Антимикробная активность	Антибактериальная активность	Na_2WO_4 подавляет бактерии (например, <i>E. coli</i>) посредством окисления со степенью ингибирования >80 %.	8.2
12	Ингибиторы РТР1В	Ингибитор РТР1В	Na_2WO_4 ингибирует протеинтирозинфосфатазу, повышает чувствительность к инсулину и используется в исследованиях диабета.	8.1
13	Адсорбция тяжелых металлов	Адсорбция тяжелых металлов	Na_2WO_4 образует PbWO_4 и другие осадки, которые адсорбируют Pb^{2+} в сточных водах со степенью удаления >99%.	9.1
14	Фотокатализ	Фотокатализ	Na_2WO_4 , разрушает загрязняющие вещества, такие как фенол, под воздействием светового облучения с эффективностью удаления >85 %.	9.2
15	Натрий-ионные аккумуляторы	Натрий-ионный аккумулятор	Na_2WO_4 , с емкостью приблизительно 300 мАч /г и сроком службы более 1000 циклов.	9.3
16	Наноматериалы	Наноматериал	Na_2WO_4 наночастицы (5-20 нм), синтезированные из Na_2WO_4 , используются для фотокатализа или сенсоров.	10.1
17	Электрохромный	Электрохромизм	Na_2WO_4 используется для приготовления тонкой пленки WO_3 со степенью затемнения 70%, которая применяется в умных окнах.	10.3
18	Теория функционала	Теория функционала	Теоретические методы расчета	11.1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	плотности	плотности (DFT)	электронной структуры и механизма реакции Na_2WO_4 .	
19	Кристаллическая структура	Кристаллическая структура	$\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ — орторомбическая кристаллическая система (Pnma) с параметром элементарной ячейки $a=5,27 \text{ \AA}$.	2.2
20	Рентгеновская дифракция	Рентгеновская дифракция (XRD)	для анализа кристаллической структуры и фазовой чистоты Na_2WO_4 , обнаружения пика WO_3 .	12.1
двадцать один	Фурье-преобразование инфракрасной спектроскопии	ИК-Фурье спектроскопия	Обнаружение связей WO в Na_2WO_4 ($830 - 850 \text{ см}^{-1}$) и кристаллизационной воде (3400 см^{-1}).	12.1
двадцать два	Пределы профессионального воздействия	Предел воздействия на рабочем месте	соединений вольфрама (таких как Na_2WO_4) составляет 5 мг/м^3 (GBZ 2.1-2019).	13.2
двадцать три	Паспорта безопасности материалов	Паспорт безопасности материала (MSDS)	предоставление информации о безопасности, обращении и чрезвычайных ситуациях Na_2WO_4 в соответствии со стандартами GHS.	15.6
двадцать четыре	Регламент REACH	Регламент REACH	Правила ЕС по регистрации химических веществ требуют, чтобы Na_2WO_4 регистрировал данные о токсичности (EC 1907/2006).	15.3
25	Директива RoHS	Директива RoHS	Ограничить содержание тяжелого металла Na_2WO_4 в электронном оборудовании ($<0,1\%$ по весу, 2011/65/EU).	15.3
26	Китайская фармакопея	Китайская фармакопея	фармацевтического класса Na_2WO_4 должен быть $> 99,9\%$, а содержание тяжелых металлов $<10 \text{ ppm}$.	15.4
27	Патентная защита	Патентная защита	Na_2WO_4 защищен РСТ и ТРИПС сроком на 20 лет.	15.5
28	Экологический след	Экологический след	CO_2 /тонна при производстве Na_2WO_4 .	16.1
29	Очистка сточных вод	Очистка сточных вод	Нейтрализовать Na_2WO_4 отработанную жидкость (pH 6-8), осадить H_2WO_4 , вольфрам $< 0,5 \text{ мг/л}$.	16.2
30	Круговая экономика	Круговая экономика	Вольфрамат натрия можно	16.4

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

			повторно использовать путем переработки отработанного катализатора и отработанной жидкости со степенью извлечения >15%.	
31	Экологичное производство	Экологичное производство	производстве Na_2WO_4 используются процессы с низким потреблением энергии (например, щелочное растворение в микроволновом излучении).	16.5
32	Интеллектуальное производство	Интеллектуальное производство	Производство Na_2WO_4 с использованием ИИТ и PLC, увеличение выхода на 5 %.	17.2
33	ИИ	Искусственный интеллект (ИИ)	Машинное обучение предсказывает свойства материала Na_2WO_4 , такие как ширина запрещенной зоны (погрешность < 0,1 эВ).	17.5
34	Твердый сплав	Твердый сплав	Материалы на основе WC, изготовленные из вольфрамовых порошков, полученных из Na_2WO_4 , с твердостью > 1500 HV.	7.1
35	Гальваническое покрытие	Гальваническое покрытие	Na_2WO_4 и NiSO_4 используются для получения покрытия Ni-W с твердостью 700 HV и содержанием W 15%.	7.5
36	Огнезащитные составы	Огнестойкий	Na_2WO_4 улучшает огнестойкость текстильных изделий, LOI>28 %.	7.3
37	Фототермическое преобразование	Фототермическое преобразование	Na_2WO_4 , с поглощающей способностью >90% используется для сбора солнечного тепла.	9.4
38	датчик	Датчик	Na_2WO_4 используется в газовых датчиках для обнаружения NO_2 (чувствительность >50).	10.2
39	3D-печать	3D-печать	Na_2WO_4 , используется для высокотемпературных сопел с температурной стойкостью >1200° C.	10.4
40	Кинетический анализ	Кинетический анализ	Реакция, катализируемая Na_2WO_4 , изучалась при константе $k=0,02 \text{ мин}^{-1}$ (кинетика первого порядка).	12.2
41	Циклическая	Циклическая	Испытайте электрод на основе	12.3

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	вольтамперометрия	вольтамперометрия (CV)	Na ₂ WO ₄ для введения/извлечения Na ⁺ с пиковым потенциалом -0,2 В.	
42	Острая токсичность	Острая токсичность	Пероральная LD50 Na ₂ WO ₄ составляет около 1,4–2,0 г/кг (мышь), токсичность низкая.	13.1
43	Очистка отходящих газов	Очистка отходящих газов	Рукавный фильтр улавливает пыль Na ₂ WO ₄ с выбросами <1 мг/м ³ (GB 16297-1996).	16.2
44	Загрязнение почвы	Загрязнение почвы	Na ₂ WO ₄ приводят к обогащению почвы вольфрамом (>10 мг/кг) и снижению микробной активности.	16.3
45	Биометаллургия	Биомайнинг	вольфрамовая руда, снижающая образование щелочных отходов из Na ₂ WO ₄ на 50 %.	16.5
46	Композитные Материалы	Композитный материал	Na ₂ WO ₄ и графена для получения высокопроводящего покрытия (удельное сопротивление < 10 ⁻³ Ом·см).	17.1
47	Фотоэлектрохимия	Фотоэлектрохимический (ПЭК)	Na ₂ WO ₄ , с фототоком 2,5 мА/см ² .	17.3
48	Цифровой близнец	Цифровой близнец	Моделировать процесс производства Na ₂ WO ₄ и прогнозировать отказ оборудования (точность>95%).	17.2
49	Междисциплинарные приложения	Междисциплинарное применение	Na ₂ WO ₄ в биомедицине, оптоэлектронике и восстановлении окружающей среды.	17.4
50	Модель QSPR	Модель QSPR	Спрогнозировать экотоксичность Na ₂ WO ₄ (LC 50, R ² >0,9) для оценки риска.	17.5

Серийный номер	Китайская терминология	Английские термины	определение	Связанные главы
51	Оценка жизненного цикла	Оценка жизненного цикла (LCA)	для оценки воздействия на окружающую среду производства Na ₂ WO ₄ , от добычи до переработки отходов (ISO 14040).	16.1
52	Выбросы углерода	Выбросы углерода	Na ₂ WO ₄ выделяет около 0,3–0,5 тонн CO ₂ на тонну, в основном за счет потребления	16.1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			энергии.	
53	Хвосты	Хвосты	содержащий вольфрам (0,1 %-1%) при производстве Na_2WO_4 , необходимо хранить безопасно, чтобы предотвратить загрязнение почвы.	16.3
54	Кислотное выщелачивание	Кислотное выщелачивание	WO_3 извлекается путем выщелачивания отработанного катализатора HCl с получением раствора Na_2WO_4 с эффективностью >90 %.	16.4
55	Флотация	Флотация	Вольфрамовый концентрат ($\text{WO}_3 > 20\%$) из хвостов стоит около 50 долларов США/тонна.	16.4
56	Нулевые выбросы	Нулевой уровень выбросов	Замкнутый цикл очистки сточных вод, степень извлечения Na_2WO_4 из производственной воды >90%, вольфрам <0,1 мг/л.	16.5
57	Микроволновая печь	Микроволновая печь	Микроволновый нагрев щелочерастворенной вольфрамовой руды может снизить энергопотребление при производстве Na_2WO_4 на 30%.	16.5
58	Функциональная керамика	Функциональная керамика	Керамика ZrO_2 , легированная Na_2WO_4 , устойчива к температурам >1200 °C, используется для сопел 3D-печати.	17.1
59	Ширина запрещенной зоны	Ширина запрещенной зоны	Разница WO_3 (полученная из Na_2WO_4), около 2,5-2,8 эВ, влияет на фотокаталитические характеристики.	17.1
60	допинг	допинг	N в Na_2WO_4 - производный WO_3 может уменьшить	17.1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			ширину запрещенной зоны до 2,2 эВ и улучшить поглощение света.	
61	Промышленный Интернет вещей	Промышленный Интернет вещей (IoT)	Датчик контролирует параметры производства Na_2WO_4 (такие как pH 8-10) и оптимизирует выход на 5 %.	17.2
62	Программируемый логический контроллер	Программируемый логический контроллер (ПЛК)	Автоматически регулирует скорость кристаллизации Na_2WO_4 (0,1–0,5 г/ мин) для снижения содержания примесей.	17.2
63	Плотность фототока	Плотность фототока	фотоанода WO_3 , полученного из Na_2WO_4 , 2,5 mA/cm^2 (1,23 В относительно RHE).	17.3
64	Умное Окно	Умное Окно	Na_2WO_4 , степень затемнения 70%, время отклика <3 секунд.	17.4
65	Машинное обучение	Машинное обучение (МО)	Прогнозировать ширину запрещенной зоны материалов на основе Na_2WO_4 (погрешность < 0,1 эВ) для ускорения проектирования материалов.	17.5
66	Случайный лес	Случайный лес (RF)	Алгоритм МО оптимизирует фотокатализатор Na_2WO_4 , увеличивая его эффективность на 15%.	17.5
67	Нейронные сети	Нейронная сеть (НС)	Оптимизация параметров производства Na_2WO_4 (температура, pH) увеличила выход на 8 %.	17.5
68	Растворимость	Растворимость	Концентрация Na_2WO_4 в воде составляет 73 г/100 мл (20°C), и он нерастворим в этаноле.	2.1
69	Температура разложения	Температура разложения	Na_2WO_4 разлагается на WO_3 и Na_2O при температуре 698° C, выделяя раздражающие газы.	2.3
70	координационная химия	Координационная химия	WO_4^{2-} образует координационные соединения с ионами металлов (таких как	3.3

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			Fe ³⁺) и используется в разработке катализаторов.	
71	Растворение щелочи	Щелочное выщелачивание	Используйте NaOH для растворения шеелита и получите раствор Na ₂ WO ₄ , pH 12-13, выход >95%.	5.2
72	Кристаллизационная очистка	Кристаллизация Очистка	При испарении раствора Na ₂ WO ₄ образуются кристаллы (>98%) с контролируемым размером частиц 50-200 мкм.	5.3
73	Контроль качества	Контроль качества (КК)	Убедитесь, что Na ₂ WO ₄ соответствует GB/T 26037-2020 и определите содержание WO ₃ > 59%.	6.5
74	пигмент	Пигмент	Вольфраматы, полученные из Na ₂ WO ₄ , используются для окрашивания керамики и покрытий, обладают термостойкостью >500° C.	7.3
75	Тестирование токсичности	Тестирование на токсичность	Оценка острой токсичности Na ₂ WO ₄ (LD 50 1,4-2,0 г/кг, мышь) в соответствии с ISO 10993-5.	8.4
76	Рекультивация почвы	Рекультивация почвы	Na ₂ WO ₄ закрепили Cr ⁶⁺ в почве и снизили его подвижность на 50 %.	9.5
77	Высокопроизводительные вычисления	Высокопроизводительные вычисления	Скрининг фотокаталитических составов на основе Na ₂ WO ₄ для ускорения НИОКР (>1000 образцов).	11.2
78	Рамановская спектроскопия	Рамановская спектроскопия	Для проверки структуры была обнаружена вибрация связи WO в Na ₂ WO ₄ (900 см ⁻¹).	12.1
79	Средства индивидуальной защиты	Средства индивидуальной защиты (СИЗ)	При работе с Na ₂ WO ₄ надевайте маску N95, защитные очки и нитриловые перчатки.	13.2
80	Разделение отходов	Классификация отходов	Отходы Na ₂ WO ₄ являются опасными отходами (HW 48) и	13.5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			должны обрабатываться в соответствии с Законом о предотвращении и контроле загрязнения окружающей среды твердыми отходами.	
81	Стандарты ИСО	Стандарт ИСО	ISO 6353-3 определяет метод анализа Na_2WO_4 с содержанием $\text{WO}_3 > 59,5 \%$.	15.1
82	Стандарты ASTM	Стандарт ASTM	ASTM E1447-09 Определение чистоты $\text{Na}_2\text{WO}_4 (> 98 \%)$, метод XRF.	15.1
83	Стандарты GMP	Надлежащая производственная практика (GMP)	фармацевтического класса Na_2WO_4 должен соответствовать GMP, с содержанием тяжелых металлов $<10 \text{ ppm}$.	15.4
84	Отслеживаемость блокчейна	Отслеживаемость блокчейна	Отслеживайте цепочку поставок Na_2WO_4 , чтобы гарантировать устойчивость сырья.	14.5
85	Конкурентоспособность рынка	Конкурентоспособность рынка	Na_2WO_4 увеличивают свою долю рынка за счет технологических инноваций и зеленой сертификации.	14.5
86	Пределные значения выбросов	Предел выбросов	Вольфрам в сточных водах $\text{Na}_2\text{WO}_4 < 0,5 \text{ мг/л}$ (GB 8978-1996).	16.2
87	Загрязнение воды	Загрязнение воды	Жидкие отходы $\text{Na}_2\text{WO}_4 (> 0,5 \text{ мг/л})$ воздействуют на водные организмы, при этом LC50 составляет приблизительно 100 мг/л.	16.3
88	обратный осмос	Обратный осмос	Удаляет Na^+ и SO_4^{2-} из сточных вод Na_2WO_4 со степенью восстановления воды $>90 \%$.	16.2
89	Замкнутый цикл	Замкнутый цикл переработки	Сточные воды, образующиеся в результате работы Na_2WO_4 , перерабатываются, что позволяет сократить выбросы на 50 %.	16.5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

90	Биосовместимость	Биосовместимость	Na ₂ WO ₄ используется в медицинских целях, жизнеспособность клеток составляет >90% (ISO 10993-5).	8.4
91	Термодинамический анализ	Термодинамический анализ	Рассчитайте изменение энтальпии реакции Na ₂ WO ₄ (например, щелочное растворение ΔH < 0) и оптимизируйте процесс.	12.2
92	Электроосаждение	Электроосаждение	Тонкие пленки осаждались из раствора Na ₂ WO ₄ толщиной 1-5 мкм и плотностью тока 10 мА/см ² .	7.5
93	антиоксидант	Антиоксидантные свойства	Na ₂ WO ₄ подавляет клеточный окислительный стресс и защищает клетки поджелудочной железы.	8.3
94	Риски цепочки поставок	Риск цепочки поставок	Na ₂ WO ₄ влияет на нехватку вольфрамовой руды и экспортная квота (42 000 тонн WO ₃).	14.3
95	Потребление энергии	Потребление энергии	Na ₂ WO ₄ потребляет около 500-600 кВтч/тонну электроэнергии и 2 ГДж/тонну тепловой энергии.	16.1
96	Осадок	Осадок	H ₂ WO ₄ осаждается в сточной жидкости Na ₂ WO ₄ , выделяя вольфрам в водоем на длительное время.	16.3
97	Низкоразмерные материалы	Низкоразмерный материал	з (толщина < 5 нм), синтезированный из Na ₂ WO ₄ для использования в оптоэлектронных устройствах.	17.1
98	Периферийные вычисления	Периферийные вычисления	Обработка данных о производстве Na ₂ WO ₄ в режиме реального времени снижает частоту отказов оборудования на 30 %.	17.2
99	Гибкая электроника	Гибкая электроника	Na ₂ WO ₄ используется в	17.4

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			носимых датчиках с радиусом изгиба <5 мм.	
100	Набор данных	Набор данных	Na ₂ WO ₄ (> 1000 образцов) для обучения модели ИИ.	17.5

Приложение 2: Ссылки на вольфрамат натрия

Серийный номер	категория	Название/Описание	Источник/Информация о публикации	Связанные главы
1	Стандартные документы	ISO 6353-3:1987 - Реагенты для химического анализа - Вольфраматы	Международная организация по стандартизации	15.1
2	Стандартные документы	ASTM E1447-09 — Стандартный метод испытаний для определения содержания вольфрама	Международное АСТМ	15.1
3	Стандартные документы	GB/T 26037-2020 — Технические условия на вольфрамат натрия	Национальные стандарты Китая	15.2
4	Стандартные документы	GB/T 30810-2014 — Методы химического анализа соединений вольфрама	Национальные стандарты Китая	15.2
5	Стандартные документы	ISO 14040:2006 — Экологический менеджмент — Оценка жизненного цикла	Международная организация по стандартизации	16.1
6	Научные статьи	Синтез наночастиц WO_3 из Na_2WO_4 для фотокатализа	Журнал химии материалов А, 2023, 11(5)	9.2, 17.1
7	Научные статьи	Вольфрамат натрия как ингибитор РТР1В для лечения диабета	Исследования диабета и клиническая практика, 2022, 180	8.1, 17.4
8	Научные статьи	Na_2WO_4 -производный WO_3 для анодов натрий-ионных аккумуляторов	Современные энергетические материалы, 2024, 14(12)	9.3, 17.3
9	Научные статьи	Удаление тяжелых металлов с использованием Na_2WO_4 при очистке сточных вод	Экологическая наука и технологии, 2023, 57(8)	9.1, 16.2
10	Научные статьи	Исследование DFT электронной структуры и каталитических свойств Na_2WO_4	Журнал физической химии С, 2024, 128(15)	11.1
11	Отчет по отрасли	Прогноз мирового рынка вольфрама на 2024–2030 гг.	Информационные услуги Роскилл, 2024 г.	14.1-14.5
12	Отчет по отрасли	Влияние производства вольфрама в Китае на окружающую среду	Ассоциация цветной металлургии Китая, 2023 г.	16.1-16.3

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

13	Отчет по отрасли	Анализ рынка вольфрамата натрия для применения в катализе	Фрост и Салливан, 2024	7.2, 14.3
14	Отчет по отрасли	Круговая экономика в переработке вольфрама	Международная ассоциация вольфрамовой промышленности, 2024 г.	16.4
15	Отчет по отрасли	Тенденции зеленого производства вольфрамовых химикатов	McKinsey & Company, 2023	16.5
16	Инструменты анализа	Анализ содержания вольфрама в Na ₂ WO ₄ методом ИСП-МС	Thermo Fisher Scientific, Руководство пользователя iCAP RQ, 2023 г.	6.2, 12.1
17	Инструменты анализа	Анализ РФА для определения чистоты вольфрамата натрия	Bruker, Руководство пользователя S8 TIGER, 2024 г.	6.2, 15.1
18	Инструменты анализа	База данных проекта материалов для вычислительных исследований Na ₂ WO ₄	Проект «Материалы», https://materialsproject.org , 2024	11.2, 17.5
19	Инструменты анализа	Программное обеспечение VASP для DFT-расчетов свойств Na ₂ WO ₄	Руководство VASP, версия 6.4, 2024 г.	11.1
20	Инструменты анализа	OriginPro для кинетического анализа реакций Na ₂ WO ₄	OriginLab, Руководство пользователя, 2024	12.2
двадцать один	Стандартные документы	GB/T 31906-2015 — Спецификация упаковки для вольфрамовых химикатов	Национальные стандарты Китая	13.3, 15.2
двадцать два	Стандартные документы	Китайская фармакопея 2020 г. — Вольфрамат натрия для фармацевтического использования	Фармакопейная комиссия Китая	15.4
двадцать три	Научные статьи	Электрохромные пленки WO ₃ из Na ₂ WO ₄ для умных окон	ACS Прикладные материалы и интерфейсы, 2024, 16(10)	10.3, 17.4
двадцать четыре	Научные статьи	Машинное обучение для проектирования фотокатализатора на основе Na ₂ WO ₄	Вычислительное материаловедение, 2024, 230	17.5
25	Научные статьи	Оценка токсичности Na ₂ WO ₄ в водных системах	Экотоксикология и экологическая безопасность, 2023, 245	8.4, 16.3

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

26	Отчет по отрасли	Патентные тенденции в области применения вольфрамата натрия	ВОИС, Глобальный патентный отчет, 2024 г.	15.5
27	Отчет по отрасли	Риски в цепочке поставок вольфрамовых химикатов в 2024 году	Argus Media, Отчет о рынке вольфрама, 2024 г.	14.4
28	Инструменты анализа	MATLAB для оптимизации процесса производства Na_2WO_4	MathWorks, Документация MATLAB R2024a, 2024	17.2
29	Инструменты анализа	Гауссиан 16 для Na_2WO_4 Молекулярное моделирование	Gaussian Inc., Руководство пользователя, 2024 г.	11.1
30	Инструменты анализа	LabVIEW для автоматизации и мониторинга производства Na_2WO_4	NI, Руководство пользователя LabVIEW 2024, 2024	17.2

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Приложение 3: Паспорт вольфрамата натрия

3.1 Физические и химические свойства вольфрамата натрия

свойство	Параметр	Значение	единица	Метод испытания	Связанные главы
Химическая формула	$\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		-	-	2.1
Молекулярный вес		329,85	г/моль	вычислить	2.1
Появление		Белые или слегка желтоватые кристаллы	-	Визуальный	2.1
Растворимость (20°C)		73	г/100 мл	ГБ/Т 30810-2014	2.1
Температура плавления (разложения)		698	°C	ДСК	2.3
плотность		4.18	г/см ³	Гравитационный метод	2.2
рН (10% раствор)		8-9	-	рН-метр	2.3

3.2 Параметры процесса производства вольфрамата натрия

параметр	Параметр	единица	Стадия процесса	Связанные главы
	Значение			
Температура растворения щелочи	120-180	°C	Щелочной раствор высокого давления	5.2
Концентрация NaOH	20-30	% по массе	Растворение щелочи	5.2
Время реакции	2-4	Час	Растворение щелочи	5.2
Скорость кристаллизации	0,1-0,5	г/мин	Кристаллизация испарением	5.3
Потребление энергии	500-600	кВтч/тонна	Гидрометаллургия	16.1
Коэффициент извлечения вольфрама	>95	%	Ионный обмен	5.6
Концентрация вольфрама в сточных водах	<0,5	мг/л	Нейтрализация осадков	16.2

Сравнительная таблица характеристик областей применения вольфрамата натрия

Области применения	Ключевые показатели	Параметр	единица	Метод испытания	Связанные главы
		Значение			
Фотокатализ (WO ₃)	Скорость разложения	>85	%	УФ-видимая спектроскопия	9.2

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	загрязняющих веществ (метиленовый синий)				
Натрий-ионный аккумулятор (WO ₃)	емкость	300	мАч/г	Заряд и разряд постоянным током	9.3
Электрохромный (WO ₃)	Скорость оптической модуляции	70	%	УФ-видимая спектроскопия	10.3
Адсорбция тяжелых металлов	Скорость удаления Pb ²⁺	>99	%	ИСП-МС	9.1
Антимикробное покрытие	Скорость ингибирования кишечной палочки	>80	%	Количество колоний	8.2
Твердый сплав (АРТ)	твердость	>1500	ВВ	Испытание на твердость Виккерсу	7.1

3.4 Статистика мирового рынка вольфрамата натрия

индекс	Параметр Значение	единица	годы	источник	Связанные главы
Мировое производство	5.2	10 000 тонн	2024	Оценки отрасли	14.1
Доля производства Китая	75	%	2024	Отчет по отрасли	14.2
Мировое потребление	4.9	10 000 тонн	2024	Анализ рынка	14.1
Цена промышленного класса	22,000-26,000	долл. США/тонна	2024	Статистика торговли	14.4
Цена аналитической степени чистоты	32,000	долл. США/тонна	2024	Статистика торговли	14.4
Среднегодовой темп роста рынка	4	%	2025-2030	предсказывать	14.1
Коэффициент использования переработанного вольфрама	15	%	2024	Отчет по отрасли	16.4

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

Sodium Tungstate (Na₂WO₄) Product Introduction

1. Sodium Tungstate Overview

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

2. Sodium Tungstate Features

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

3. Product Specifications

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

4. Packaging and Quality Assurance

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

5. Procurement Information

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT