

# 钨钼稀土 在新能源电池领域的应用与市场研究

DR. HANNS

©CHINATUNGSTEN ONLINE

XIAMEN CHINA, NOV.01,2023

韩斯疆博士

中钨在线®

中国厦门 2023.11.01

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

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



## 著作权、法律责任声明

■本文作者对本文所涉及政治、军事事件、人物等持中立态度；所涉及经济概念、事件、现象描述仅为了说明钨制品市场相关性及其影响，理论使用、论证未必正确，亦不代表作者立场。如有错漏及与读者立场不同，敬请理解。

■囿于知识和能力，错漏在所难免；如有发现任何问题，请及时联系，任何斧正无任欢迎。

■除非无法确认，我们都已标明作者及出处，如有侵权烦请告知我们，我们会立即删除并在此表示歉意。

■本文所有信息由中钨在线®韩斯疆博士及其团队编写。未经中钨在线及韩斯疆博士授权，不得对文件所载内容进行使用、披露、分发或变更。尽管我们努力提供可靠、准确和完整的信息，但我们无法保证此类信息的准确性或完整性，本文作者对任何错误或遗漏不承担任何责任亦没有义务补充、修订或更正文中的任何信息。本文中提供的信息仅供参考，不应被视为投资说明书、购买或出售任何投资的招揽文件、或作为参与任何特定交易策略的推荐。本文也不得用作任何投资决策的依据，或作为道德、法律依据或证据。无论是否已在本文片中明确或隐含地描述，本文不附带任何形式的担保。中钨在线及韩斯疆博士对使用本文相关信息造成的任何利润或损失概不负责。

■本文英文版本由百度自动翻译工具翻译，本网站、中文作者均无法对其准确性负责。

■如有需要我们的中文和/或英文版本，欢迎直接发邮件索取。

©中钨在线科技有限公司  
韩斯疆博士  
中钨在线®  
中国厦门 2023.11.01  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)



## LEGAL LIABILITY STATEMENT

■The author holds a neutral attitude towards the any political events and military issues involved in this paper. The description of the person(s), company(ies) and events involved are only to explain the economic phenomena related to the tungsten product market. The theories and facts may not be correct, nor does it represent the author's position. Please understand and forgive any mistakes, omissions and different positions from the readers.

■Unless it cannot be confirmed, we will indicate the author and source. If there is any infringement, please inform us, and we will delete it immediately and apologize.

■The information contained in this article is compiled & edited by Dr. Hanns and his team from China Tungsten Online (CTOMS). Any further reference, disclosure, distribution or editing is strictly restricted unless authorized by both Dr. Hanns and CTOMS. Although we endeavor to provide reliable, accurate and complete information, there can't be guaranteed that such information is accurate or complete and CTOMS assumes no responsibility for any errors or omissions. CTOMS is not obligated to supplement, amend, or correct any information in it. The information provided in it is for reference only and should not be construed as a prospectus; a solicitation to buy or sell any investment; or any other recommendation to participate in any particular trading strategy. Neither shall it be used as a basis for making any investment decision; or as a moral, liable or legal basis or evidence, nor is it accompanied by any form of guarantee, whether it has been explicitly or implicitly described in. CTOMS is not responsible for any profit or loss associated with using information.

■The English Version of this article is translated from Chinese Version by Baidu.com's automatic translation tool. Neither the website nor the author of the Chinese text can be responsible for its accuracy.

■Any requiring of the Chinese and/or English version of this paper may send us an email for it directly.

DR. HANNS

©CHINATUNGSTEN ONLINE

XIAMEN CHINA, NOV.01,2023

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

[ceo@tungsten.com.cn](mailto:ceo@tungsten.com.cn)



## COPYRIGHT

- This article only briefly describes the theory and market factors, holds a neutral view on market and price changes, and is not responsible for any or misleading to the market.
- This article was originally created by China Tungsten Online (中钨在线®). Mistakes and omissions are inevitable. If you find anything, please don't hesitate to contact us at any time.
- There's any reference or excerpt of any copyrighted information in this article, please make a statement or claim, and the author will correct it immediately.
- All rights reserved by China Tungsten Online (CTOMS)
- Any use of any content and form must be authorized in writing by Dr. Hanns.
- For more detailed market information, data and analysis, please contact the author directly through email at [sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com).

DR. HANNS

©CHINATUNGSTEN ONLINE  
XIAMEN CHINA, NOV.01,2023

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

[ceo@tungsten.com.cn](mailto:ceo@tungsten.com.cn)



## 作者简介

厦门中钨在线科技有限公司，简称“中钨在线”，是中国第一家钨、钼、稀土行业的电子商务公司，1997年9月以我国第一家顶级钨制品网站 [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com) 为基础在厦门设立。中钨在线以其在钨钼制品领域几十年积累的信息数据和专业经验为基础的设计、制造，卓越的商业信誉和优质服务闻名全球业界，使其成为钨钼稀土，特别是钨化学品、金属钨、硬质合金、高比重合金、钨及钼合金领域的最佳综合应用解决方案提供商。

自2000年起中钨在线以 [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn) 为基础创建了超过100万个钨、钼、稀土新闻、价格、市场调查分析的网页；2013年以来，以“中钨在线”为名的公司微信公众号制作了近几十万条微信信息每日送达近十多万名订阅者，该公众号已成为公认的全球最权威、最全面的钨钼行业、产品价格与市场中英文即时信息源。中钨在线的网站和微信获得了在业界首屈一指的上亿人次的访问量。

中钨在线的主要产品业务是与客户共同完成产品性能、定型、尺寸公差的研发设计和定制，并为客户提供配套的加工、改制、包装、文件和交运等综合集成服务。在过去的近30年中，中钨在线为全球十几万家客户提供了超过数十万种不同类型的钨、钼和稀土产品研发生产及后续服务；多年的经验和技術积累，也奠定了中钨在线客制化产品的柔性化和智能化制造集成能力和基础。

中钨在线的专业研究文章和报告由韩斯疆博士及其团队撰写。韩斯疆博士是中钨在线主要的市场和技术研究专家，自1990年代初期开始从事钨钼制品的电子商务和国际贸易、硬质合金和高比重钨合金的生产制造，是有着30多年经验，业内知名钨钼制品的电子商务、钨制品设计、加工和市场研究专家。

©厦门中钨在线科技有限公司  
韩斯疆博士 [ceo@tungsten.com.cn](mailto:ceo@tungsten.com.cn)  
中钨在线® [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)  
中国 厦门



## BRIEF INTRODUCTION TO THE AUTHOR

As the 1st E-commerce company of Tungsten (W), Molybdenum (Mo), Rare Earth (RE) in China, China Tungsten Online Manu. & Sales (CTOMS) was founded in 1997 based on China's the 1st and top tungsten website [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com). As its specialized design, professional manufacturing, excellent service and powerful information database, CTOMS is not only the most authoritative information source of Chinese and English information of W Mo and RE products globally, but also the best comprehensive application solution provider of W, Mo and RE, both chemical materials and machined products, such as tungsten oxide, metal, cemented carbide and heavy alloys.

CTOMS has been created more than 1 million web pages and WeChat information message of W, Mo and RE news, price and market research, analysis. The web [news.chinatungsten.com](http://news.chinatungsten.com), [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn) are the world's top index websites of tungsten which have received 1 billion visits from 1997.

The major business of CTOMS is to complete product design, R & D with customers and provide customers with processing and integration services. In the past 2 decades, it has provided more than 100,000 different types of W, Mo & RE products to more than 10,000 customers all over the world. Years experience and technology accumulation have laid a foundation for promoting the flexible and intelligent manufacturing of customized products.

The professional research articles and reports of CTOMS are written by Dr. Hanns and its marketing team. Dr. Hanns is an expert of the main market and technical research of CTOMS has been engaged in e-commerce and international trade of tungsten and molybdenum products, production and manufacturing of cemented carbide and high specific gravity tungsten alloy since the early 1990s. He is a well-known expert in e-commerce, tungsten product design, processing and Market Research of tungsten and molybdenum products in the industry with more than 30 years of experience.

DR. HANNS

©CHINATUNGSTEN ONLINE  
XIAMEN CHINA, NOV.01,2023

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

[ceo@tungsten.com.cn](mailto:ceo@tungsten.com.cn)



## 钨钼稀土市场的新蓝海

### ——《钨钼稀土在新能源电池领域的应用与市场研究》内容简介

中钨在线是一家在钨钼稀土制品行业拥有几十年经验的企业，深刻了解钨钼稀土制品在电池领域的应用潜力和机遇。自 2020 年起，我们积极研究并与纳米氧化钨、纳米二硫化钨、纳米二硫化钼等钨钼化工产品的生产企业建立了紧密合作关系，从而既深入了解这些产品的微观结构、理化性质、生产技术、生产成本和应用领域，又为市场提供专业信息和见解。

今年以来，中钨在线钨钼稀土团队深入研究了新能源、电池和汽车行业，着重关注了钨化合物、钼化合物和稀土化合物在新能源电池电极材料中的应用，同时分析了它们在市场中的优势、挑战和前景，最终形成了包括钨钼稀土电池行业相关标准在内的近 100 万字《钨钼稀土在新能源电池领域的应用与市场研究》报告。本研究报告大量借鉴了新能源和电池行业的信息，并深度参考了钨钼稀土企业的技术发展和现状，以便清晰地理解钨钼稀土制品在电池市场中的应用逻辑，以及分析未来的发展趋势和局限性。后续我们将就其中的部分内容在“中钨在线”微信公众号及其网站（[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)）公开放送，如果您对此感兴趣或需要获取完整的报告，请联系我们 [info@chinatungsten.com](mailto:info@chinatungsten.com)。

钨是一种过渡金属元素，位于元素周期表第六周期的 VIB 族，具有高熔点、高硬度、高强度、低蒸气压、低蒸发速度、良好化学稳定性等特点，广泛引用于电池、汽车、航天航空、医疗等领域中。在电池领域，纳米钨酸、纳米三氧化钨、针状紫色氧化钨、钨钼氧化物、二硫化钨纳米片、二硒化钨纳米片、钨酸盐等钨化合物凭借着良好的物理化学性质，广泛应用于各种电池如锂离子电池、锂硫电池、钠离子电池等的电极材料中，进而能有效弥补传统电极材料低能量密度、大体积效应等不足。

钼是一种难熔金属元素，是人体和动植物必需的一种微量元素，位于元素周期表第五周期第 VIB 族，具有较高的密度、较高的硬度、较高的热传导率、较低的热膨胀系数、较低的电阻率、良好热化学稳定性等特点，在电池、汽车、电子、光学、化工、建筑、医疗、航空航天等领域中具有广泛的应用。在电池领域，纳米二硫化钼、纳米二硒化钼、氧化钼、氮化钼、碳化钼、钼酸盐等钼化合物由于具有较高的理论比容量、良好的热化学稳定性和较低的还原电位等特点，而广泛用作各种电池如锂电池、钠电池、锌离子电池、锌锰电池等的电极材料，能有效提高正负极材料的容量、倍率性能、循环寿命等性能。

稀土元素是元素周期表中的镧系元素和钪、钇共十七种金属元素的总称，这些元素由于原子序数、原子量和化学性质等方面不同，所以在自然界中呈现出多样性。稀土元素的原子结构比较复杂，电子排布有一定的特殊性，因此在化学反应中表现出较高的化学活性，能够与其他元素形成多种化合物，这使得稀土元素具有广泛的应用前景，比如可以生产优良的电池正负极材料、化工催化剂、荧光粉、永磁材料、激光材料等。

钨、钼和稀土元素虽然在电池应用中具有广泛的前景，但是在应用过程中也面临着诸多挑战：一是生产符合电极材料应用的钨化合物、钼化合物、稀土制品的生产技术难度较高以及生产成本较大，因此研究人员正在研究新的合成方法，以降低钨化合物、钼化合物、稀土制品的制造成本，并提高相应材料的储荷能力和热化学稳定性等性能，同时研究人员也



在探索钨、钼、稀土元素与其他材料的复合应用，以实现更高效的电池性能；二是由于钨、钼、稀土矿的开采、加工难度较大以及资源稀缺性，导致钨价、钼价和稀土价格较高，限制了它们在电池领域的大规模应用；三是钨、钼、稀土矿的开采和加工过程会对生态环境造成一定的影响，然而，随着环境保护要求不断的提高，矿山企业面临越来越严格的生产标准和监管。

锂离子电池是目前应用最广泛的一种新能源电池，具有高能量密度、小自放电、无记忆效应、长使用寿命、绿色环保、轻量化等优点、广泛应用于新能源汽车、3C 电子产品、智能家电、风光储能、通信储能、家用储能等领域。

工信部官网消息显示，2022 年中国的锂离子电池行业积极推进供给侧结构性改革，加速技术创新和升级转型，持续提高先进产品的供应能力，整体保持了快速增长的态势。根据行业规范公告企业信息及研究机构测算，2022 年全国锂离子电池产量达 750GWh，同比增长超过 130%，其中储能型锂电产量突破 100GWh；正极材料、负极材料、隔膜、电解液等锂电一阶材料产量分别约为 185 万吨、140 万吨、130 亿平方米、85 万吨，同比增长均达 60%以上；产业规模进一步扩大，行业总产值突破 1.2 万亿元。据测算，2026 年年底，全球 46 家动力（储能）电池企业的规划合计产能将达到 6730.0GWh，相比 2023 年上半年的实际产能增长了 182.3%；从实际需求来看，预计 2023 年和 2026 年全球动力（储能）电池的需求量将分别为 1096.5GWh 和 2614.6GWh，全行业的名义产能利用率将从 2023 年的 46.0%下降到 2026 年的 38.8%。

研究机构 EV Tank 预计，到 2025 年和 2030 年，全球锂离子电池的出货量将分别达到 2211.8GWh 和 6080.4GWh，其复合增长率将达到 22.8%。起点研究院（SPIR）预计 2030 年全球锂电池出货量将达到 7290GWh，相比 2022 年增长 664.2%，2022-2030 年均复合增速达 28.9%，全球锂电池出货量将保持快速增长。

钠离子电池亦是一种非常受人们欢迎的新能源电池，具有低成本、高能量密度、长寿命、绿色环保等优点，因而在储能、电动汽车等领域具有潜在的应用价值。另外，钠离子电池的资源丰富，易于获取，这有助于降低生产成本并提高市场竞争力，是锂电池理想的替代品。然而，钠离子电池的发展仍需克服一些技术难题，例如提高能量密度和循环寿命、降低生产成本、优化材料体系等；另外，钠离子电池还需要在生产、应用和维护等方面建立完善的产业链和规范标准体系。

研究机构 EVTank《中国钠离子电池行业发展白皮书（2023 年）》显示，截止到 2023 年 6 月底，全国已经投产的钠离子电池专用产能达到 10GWh，相比 2022 年年底增长 8GWh；预计到 2023 年年底全国或将形成 39.7GWh 的钠离子电池专用量产线；预计到 2025 年中国钠离子电池全行业规划产能或达到 275.8GWh。中商情报网消息显示，预计 2025 年我国钠离子电池市场规模可增至 28.2GWh；到 2026 年，全球钠离子电池需求将达 116GWh，其中储能领域应用占比最高，达 71.2%；到 2030 年，全球钠离子电池需求将增长至 526GWh。

经过深入的研究和精心撰写，上述内容即为中钨在线关于《钨钼稀土在新能源电池领域的应用与市场研究》一文的核心要点和基本架构。后续，我们将陆续在“中钨在线”微信公众号中分享这份报告的部分内容，以回馈各位尊敬的关注者。



## 目 录

### 第 I 部分 电池、钨、钼和稀土的介绍

#### 第一章 电池、钨、钼和稀土的基本概念

##### 1.1 蓄电池

###### 1.1.1 蓄电池基本结构

###### 1.1.1.1 正极材料

###### 1.1.1.2 负极材料

###### 1.1.1.3 电解液

###### 1.1.1.4 隔膜

###### 1.1.2 蓄电池工作原理

###### 1.1.3 蓄电池分类

###### 1.1.3.1 传统电池

###### 1.1.3.2 新能源电池

###### 1.1.3.3 动力电池

###### 1.1.3.4 储能电池

###### 1.1.3.5 圆柱电池

###### 1.1.3.6 方形电池

###### 1.1.3.7 软包电池

###### 1.1.4 新能源电池的发展历程

###### 1.1.5 新能源电池应用领域

###### 1.1.6 新能源电池市场趋势和前景

###### 1.1.6.1 新能源电池行业发展现状

###### 1.1.6.2 新能源电池行业发展前景

##### 1.2 金属钨

###### 1.2.1 钨的理化性质

###### 1.2.2 钨的发展历史

###### 1.2.3 钨的用途

##### 1.3 金属钼

###### 1.3.1 钼的理化性质

###### 1.3.2 钼的发展历史

###### 1.3.3 钼的用途

##### 1.4 稀土元素

###### 1.4.1 稀土用途

#### 第二章 常见电池的介绍

##### 2.1 铅酸电池

###### 2.1.1 铅酸电池基本结构

###### 2.1.1.1 铅酸电池正极材料

###### 2.1.1.2 铅酸电池负极材料





- 2.1.1.3 铅酸电池隔板
- 2.1.1.4 铅酸电池电解液
- 2.1.2 铅酸电池工作原理
- 2.1.3 铅酸电池主要特性
- 2.1.4 铅酸电池生产工序
- 2.1.5 铅酸电池性能的影响因素
  - 2.1.5.1 正极材料对铅酸电池性能的影响
  - 2.1.5.2 负极材料对铅酸电池性能的影响
  - 2.1.5.3 隔膜对铅酸电池性能的影响
  - 2.1.5.4 电解液对铅酸电池性能的影响
  - 2.1.5.5 放电深度对铅酸电池性能的影响
  - 2.1.5.6 过充电程度对铅酸电池性能的影响
  - 2.1.5.7 工作温度对铅酸电池性能的影响
  - 2.1.5.8 浮充电压对铅酸电池性能的影响
  - 2.1.5.9 保养不到位对铅酸电池性能的影响
- 2.1.6 铅酸电池技术指标
- 2.1.7 铅酸电池使用注意事项
- 2.1.8 铅酸电池的应用
- 2.1.9 铅酸电池的发展状况
- 2.1.10 铅酸电池的发展瓶颈
- 2.1.11 铅酸电池的发展前景

## 2.2 锂离子电池

- 2.2.1 锂离子电池基本结构
  - 2.2.1.1 锂离子电池正极材料
    - 2.2.1.1.1 磷酸铁锂正极材料
    - 2.2.1.1.2 三元锂材料
    - 2.2.1.1.3 钴酸锂正极材料
    - 2.2.1.1.4 锰酸锂正极材料
  - 2.2.1.2 锂离子电池负极材料
    - 2.2.1.2.1 锂离子电池碳负极材料
      - a. 锂离子电池石墨化碳负极材料
      - b. 锂离子电池无定形碳负极材料
    - 2.2.1.2.2 锂离子电池非碳负极材料
      - a. 锂离子电池钨基非碳负极材料
      - b. 锂离子电池钼基非碳负极材料
      - c. 锂离子电池硅基非碳负极材料
      - d. 锂离子电池钛基非碳负极材料
      - e. 锂离子电池锡基非碳负极材料
      - f. 锂离子电池合金负极材料
  - 2.2.1.3 锂离子电池隔膜
    - 2.2.1.3.1 锂离子电池聚乙烯隔膜
    - 2.2.1.3.2 锂离子电池聚丙烯隔膜
  - 2.2.1.4 锂离子电池电解液
    - 2.2.1.4.1 锂离子电池液态电解质





- 2.2.1.4.2 锂离子电池固态电解质
- 2.2.1.5 锂离子电池工作原理
- 2.2.1.6 锂离子电池主要特性
  - 2.2.1.6.1 锂离子电池的能量密度
  - 2.2.1.6.2 锂离子电池的续航时间
  - 2.2.1.6.3 锂离子电池的使用寿命
  - 2.2.1.6.4 锂离子电池的充电性能
  - 2.2.1.6.5 锂离子电池的安全性
- 2.2.1.7 锂离子电池分类
  - 2.2.1.7.1 磷酸铁锂电池
  - 2.2.1.7.2 三元锂电池
  - 2.2.1.7.3 钴酸锂电池
  - 2.2.1.7.4 锰酸锂电池
  - 2.2.1.7.5 液态锂离子电池
  - 2.2.1.7.6 固态锂离子电池
  - 2.2.1.7.7 圆柱锂离子电池
  - 2.2.1.7.8 方形锂离子电池
  - 2.2.1.7.9 软包锂离子电池
    - a. 软包锂电池的基本结构
    - b. 软包锂电池与硬包锂电池区别
    - c. 软包锂电池为什么会胀气
    - d. 软包锂电池的生产流程
  - 2.2.1.7.10 耐高温锂离子电池
  - 2.2.1.7.11 耐低温锂离子电池
- 2.2.1.8 锂离子电池生产工序
- 2.2.1.9 锂离子电池性能的影响因素
  - 2.2.1.9.1 正极材料对锂离子电池性能的影响
  - 2.2.1.9.2 负极材料对锂离子电池性能的影响
  - 2.2.1.9.3 隔膜对锂离子电池性能的影响
  - 2.2.1.9.4 电解液对锂离子电池性能的影响
  - 2.2.1.9.5 放电深度对锂离子电池性能的影响
  - 2.2.1.9.6 过充电程度对锂离子电池性能的影响
  - 2.2.1.9.7 工作温度对锂离子电池性能的影响
  - 2.2.1.9.8 放电电流密度对锂离子电池性能的影响
- 2.2.1.10 锂离子电池对正极材料的要求
- 2.2.1.11 锂离子电池对负极材料的要求
- 2.2.1.12 锂离子电池对隔膜的要求
- 2.2.1.13 锂离子电池对电解液的要求
- 2.2.1.14 锂离子电池技术指标
- 2.2.1.15 锂离子电池使用注意事项
- 2.2.1.16 锂离子电池的应用
- 2.2.1.17 锂离子电池的发展状况
- 2.2.1.18 锂离子电池的发展瓶颈
- 2.2.1.19 锂离子电池的发展前景





## 2.3 磷酸铁锂电池

- 2.3.1 磷酸铁锂电池基本结构
- 2.3.2 磷酸铁锂电池工作原理
- 2.3.3 磷酸铁锂电池主要特性
- 2.3.4 磷酸铁锂电池的应用
- 2.3.5 磷酸铁锂电池的发展现状
- 2.3.6 磷酸铁锂电池的发展前景
- 2.3.7 磷酸铁锂电池的发展瓶颈

## 2.4 三元电池

- 2.4.1 三元电池基本结构
- 2.4.2 三元电池分类
  - 2.4.2.1 镍钴锰三元电池
  - 2.4.2.2 镍钴铝三元电池
- 2.4.3 三元电池工作原理
- 2.4.4 三元电池主要特性
- 2.4.5 三元电池的应用
- 2.4.6 三元电池的发展现状
- 2.4.7 三元电池的发展前景
- 2.4.8 三元电池的发展瓶颈

## 2.5 钴酸锂电池

- 2.5.1 钴酸锂电池基本结构
- 2.5.2 钴酸锂电池工作原理
- 2.5.3 钴酸锂电池主要特性
- 2.5.4 钴酸锂电池的应用
- 2.5.5 钴酸锂电池的发展现状
- 2.5.6 钴酸锂电池的发展前景
- 2.5.7 钴酸锂电池的发展瓶颈

## 2.6 锰酸锂电池

- 2.6.1 锰酸锂电池基本结构
- 2.6.2 锰酸锂电池工作原理
- 2.6.3 锰酸锂电池主要特性
- 2.6.4 锰酸锂电池的应用
- 2.6.5 锰酸锂电池的发展现状
- 2.6.6 锰酸锂电池的发展前景
- 2.6.7 锰酸锂电池的发展瓶颈

## 2.7 无钴电池

- 2.7.1 无钴电池基本结构
- 2.7.2 无钴电池工作原理
- 2.7.3 无钴电池主要特性
- 2.7.4 无钴电池的应用
- 2.7.5 无钴电池的发展现状
- 2.7.6 无钴电池的发展前景
- 2.7.7 无钴电池的发展瓶颈

## 2.8 锂硫电池



- 2.8.1 锂硫电池基本结构
  - 2.8.1.1 锂硫电池正极材料
    - 2.8.1.1.1 锂硫电池正极材料的种类
    - 2.8.1.1.2 锂硫电池正极材料的制备方法
  - 2.8.1.2 锂硫电池负极材料
    - 2.8.1.2.1 锂硫电池负极材料的种类
    - 2.8.1.2.2 锂硫电池负极材料的制备方法
    - 2.8.1.2.3 锂硫电池负极材料的研究进展
  - 2.8.1.3 锂硫电池隔膜
    - 2.8.1.3.1 锂硫电池隔膜的种类
    - 2.8.1.3.2 锂硫电池隔膜的制备方法
  - 2.8.1.4 锂硫电池电解液
    - 2.8.1.4.1 锂硫电池电解液的种类
    - 2.8.1.4.2 锂硫电池电解液的制备方法
- 2.8.2 锂硫电池工作原理
- 2.8.3 锂硫电池主要特性
- 2.8.4 锂硫电池性能的影响因素
  - 2.8.4.1 正极材料对锂硫电池性能的影响
  - 2.8.4.2 负极材料对锂硫电池性能的影响
  - 2.8.4.3 隔膜对锂硫电池性能的影响
  - 2.8.4.4 电解液对锂硫电池性能的影响
  - 2.8.4.5 放电深度对锂硫电池寿命的影响
  - 2.8.4.6 过充电程度对锂硫电池寿命的影响
  - 2.8.4.7 温度对锂硫电池寿命的影响
  - 2.8.4.8 放电电流密度对锂硫电池寿命的影响
- 2.8.5 锂硫电池技术指标
- 2.8.6 锂硫电池使用注意事项
- 2.8.7 锂硫电池的应用
- 2.8.8 锂硫电池的发展现状
- 2.8.9 锂硫电池的发展前景
- 2.8.10 锂硫电池的发展瓶颈

## 2.9 钠离子电池

- 2.9.1 钠离子电池基本结构
  - 2.9.1.1 钠离子电池正极材料
    - 2.9.1.1.1 钠电池层状氧化物正极材料
    - 2.9.1.1.2 钠电池普鲁士蓝正极材料
    - 2.9.1.1.3 钠电池聚阴离子化合物正极材料
  - 2.9.1.2 钠离子电池负极材料
    - 2.9.1.2.1 钠电池碳负极材料
    - 2.9.1.2.2 钠电池钨基负极材料
    - 2.9.1.2.4 钠电池合金负极材料
  - 2.9.1.3 钠离子电池隔膜
  - 2.9.1.4 钠离子电池电解液
- 2.9.2 钠离子电池工作原理



- 2.9.3 钠离子电池主要特性
- 2.9.4 钠离子电池生产工序
- 2.9.5 钠离子电池性能的影响因素
  - 2.9.5.1 正极材料对钠离子电池性能的影响
  - 2.9.5.2 负极材料对钠离子电池性能的影响
  - 2.9.5.3 隔膜对钠离子电池性能的影响
  - 2.9.5.4 电解液对钠离子电池性能的影响
  - 2.9.5.5 放电深度对钠离子电池寿命的影响
  - 2.9.5.6 过充电程度对钠离子电池寿命的影响
  - 2.9.5.7 温度对钠离子电池寿命的影响
  - 2.9.5.8 放电电流密度对钠离子电池寿命的影响
- 2.9.6 钠离子电池技术指标
- 2.9.7 钠离子电池使用注意事项
- 2.9.8 钠离子电池的应用
- 2.9.9 钠离子电池的发展现状
- 2.9.10 钠离子电池的发展前景
- 2.9.11 钠离子电池的发展瓶颈
- 2.10 锌离子电池**
  - 2.10.1 锌离子电池基本结构
    - 2.10.1.1 锌离子电池正极材料
      - 2.10.1.1.1 锌电池正极材料的种类
      - 2.10.1.1.2 锌电池正极材料的制备方法
    - 2.10.1.2 锌离子电池负极材料
      - 2.10.1.2.1 锌电池负极材料的种类
    - 2.10.1.3 锌离子电池隔膜
      - 2.10.1.3.1 锌电池聚合物材料的选择
      - 2.10.1.3.2 锌电池聚合物材料的优化
    - 2.10.1.4 锌离子电池电解液
      - 2.10.1.4.1 锌电池水系电解液
      - 2.10.1.4.2 锌电池非水系电解液
      - 2.10.1.4.3 锌电池混合电解液
  - 2.10.2 锌离子电池工作原理
  - 2.10.3 锌离子电池主要特性
  - 2.10.4 锌离子电池生产工序
  - 2.10.5 锌离子电池性能的影响因素
    - 2.10.5.1 正极材料对锌离子电池性能的影响
    - 2.10.5.2 负极材料对锌离子电池性能的影响
    - 2.10.5.3 隔膜对锌离子电池性能的影响
    - 2.10.5.4 电解液对锌离子电池性能的影响
    - 2.10.5.5 放电深度对锌离子电池寿命的影响
    - 2.10.5.6 过充电程度对锌离子电池寿命的影响
    - 2.10.5.7 工作温度对锌离子电池寿命的影响
    - 2.10.5.8 放电电流密度对锌离子电池寿命的影响
  - 2.10.6 锌离子电池技术指标



#### 2.10.7 锌离子电池使用注意事项

#### 2.10.8 锌离子电池的应用

#### 2.10.9 锌离子电池的发展现状

#### 2.10.10 锌离子电池的发展前景

#### 2.10.11 锌离子电池的发展瓶颈

### 2.11 镍氢电池

#### 2.11.1 镍氢电池基本结构

##### 2.11.1.1 镍氢电池正极材料

##### 2.11.1.2 镍氢电池负极材料

##### 2.11.1.3 镍氢电池隔膜

##### 2.11.1.4 镍氢电池电解液

#### 2.11.2 镍氢电池工作原理

#### 2.11.3 镍氢电池主要特性

#### 2.11.4 镍氢电池生产工序

#### 2.11.5 镍氢电池性能的影响因素

##### 2.11.5.1 正极材料对镍氢电池性能的影响

##### 2.11.5.2 负极材料对镍氢电池性能的影响

##### 2.11.5.3 隔膜对镍氢电池性能的影响

##### 2.11.5.4 电解液对镍氢电池性能的影响

##### 2.11.5.5 放电深度对镍氢电池寿命的影响

##### 2.11.5.6 过充电程度对镍氢电池寿命的影响

##### 2.11.5.7 工作温度对镍氢电池寿命的影响

##### 2.11.5.8 放电电流密度对镍氢电池寿命的影响

#### 2.11.6 镍氢电池技术指标

#### 2.11.7 镍氢电池使用注意事项

#### 2.11.8 镍氢电池的应用

#### 2.11.9 镍氢电池的发展现状

#### 2.11.10 镍氢电池的发展前景

#### 2.11.11 镍氢电池的发展瓶颈

### 2.12 燃料电池

#### 2.12.1 燃料电池基本结构

##### 2.12.1.1 燃料电池阳极材料

##### 2.12.1.2 燃料电池阴极材料

##### 2.12.1.3 燃料电池隔膜

##### 2.12.1.4 燃料电池电解质

##### 2.12.1.5 燃料电池催化剂

##### 2.12.1.6 燃料电池集电器

#### 2.12.2 燃料电池工作原理

#### 2.12.3 燃料电池主要特性

#### 2.12.4 燃料电池生产工序

#### 2.12.5 燃料电池性能的影响因素

##### 2.12.5.1 阳极材料对燃料电池性能的影响

##### 2.12.5.2 阴极材料对燃料电池性能的影响

##### 2.12.5.3 催化剂对燃料电池性能的影响





- 2.12.5.4 隔膜对燃料电池性能的影响
- 2.12.5.5 电解质对燃料电池性能的影响
- 2.12.5.6 集电器对燃料电池性能的影响
- 2.12.5.7 工作温度对燃料电池寿命的影响
- 2.12.5.8 工作压力对燃料电池寿命的影响
- 2.12.5.9 电流密度对燃料电池寿命的影响
- 2.12.6 燃料电池技术指标
- 2.12.7 燃料电池使用注意事项
- 2.12.8 燃料电池的应用
- 2.12.9 燃料电池的发展现状
- 2.12.10 燃料电池的发展前景
- 2.12.11 燃料电池的发展瓶颈
- 2.13 太阳能电池**
  - 2.13.1 太阳能电池基本组成
    - 2.13.1.1 太阳能电池 PN 结
    - 2.13.1.2 太阳能电池金属电极
    - 2.13.1.3 太阳能电池透明导电膜
    - 2.13.1.4 太阳能电池硅片
  - 2.13.2 太阳能电池工作原理
  - 2.13.3 太阳能电池主要特性
  - 2.13.4 太阳能电池生产工序
  - 2.13.5 太阳能电池性能的影响因素
    - 2.13.5.1 硅片质量对太阳能电池性能的影响
    - 2.13.5.2 硅片厚度对太阳能电池性能的影响
    - 2.13.5.3 光照强度对太阳能电池性能的影响
    - 2.13.5.4 工作温度对太阳能电池性能的影响
  - 2.13.6 太阳能电池技术指标
  - 2.13.7 太阳能电池使用注意事项
  - 2.13.8 太阳能电池的应用
  - 2.13.9 太阳能电池的发展现状
  - 2.13.10 太阳能电池的发展前景
  - 2.13.11 太阳能电池的发展瓶颈

### 第三章 电池性能的检测

#### 3.1 电池的主要性能

- 3.1.1 电池的电动势
- 3.1.2 电池的额定容量
- 3.1.3 电池的额定电压
- 3.1.4 电池的开路电压
- 3.1.5 电池的充放电速率
- 3.1.6 电池的自放电率
- 3.1.7 电池的阻抗
- 3.1.8 电池的寿命



## 3.2 电池性能的检测

### 3.2.1 电池电动势的测试

#### 3.2.1.1 电池电动势测试的目的

#### 3.2.1.2 电池电动势测试的原理

#### 3.2.1.3 电池电动势测试的方法

#### 3.2.1.4 电池电动势测试的优势

#### 3.2.1.5 电池电动势测试的注意事项

### 3.2.2 电池容量的测试

#### 3.2.2.1 电池容量测试的目的

#### 3.2.2.2 电池容量测试的原理

#### 3.2.2.3 电池容量测试的方法

#### 3.2.2.4 电池容量测试的优势

#### 3.2.2.5 电池容量测试的注意事项

### 3.2.3 电池内阻的测试

#### 3.2.3.1 电池内阻测试的目的

#### 3.2.3.2 电池内阻测试的原理

#### 3.2.3.3 电池内阻测试的方法

#### 3.2.3.4 电池内阻测试的优势

#### 3.2.3.5 电池内阻测试的注意事项

### 3.2.4 电池循环寿命的测试

#### 3.2.4.1 电池循环寿命测试的目的

#### 3.2.4.2 电池循环寿命测试的原理

#### 3.2.4.3 电池循环寿命测试的方法

#### 3.2.4.4 电池循环寿命测试的优势

#### 3.2.4.5 电池循环寿命测试的注意事项

### 3.2.5 电池静态容量的测试

#### 3.2.5.1 电池静态容量测试的目的

#### 3.2.5.2 电池静态容量测试的原理

#### 3.2.5.3 电池静态容量测试的方法

#### 3.2.5.4 电池静态容量测试的优势

#### 3.2.5.5 电池静态容量测试的注意事项

### 3.2.6 电池充放电性能的测试

#### 3.2.6.1 电池充放电性能测试的目的

#### 3.2.6.2 电池充放电性能测试的原理

#### 3.2.6.3 电池充放电性能测试的方法

#### 3.2.6.4 电池充放电性能测试的优势

#### 3.2.6.5 电池充放电性能测试的注意事项

### 3.2.7 电池循环次数的测试

#### 3.2.7.1 电池循环次数测试的目的

#### 3.2.7.2 电池循环次数测试的原理

#### 3.2.7.3 电池循环次数测试的方法

#### 3.2.7.4 电池循环次数测试的优势

#### 3.2.7.5 电池循环次数测试的注意事项

### 3.2.8 电池过充电保护的测试



- 3.2.8.1 电池过充电保护测试的目的
- 3.2.8.2 电池过充电保护测试的原理
- 3.2.8.3 电池过充电保护测试的方法
- 3.2.8.4 电池过充电保护测试的优势
- 3.2.8.5 电池过充电保护测试的注意事项
- 3.2.9 电池开路电压的测试
  - 3.2.9.1 电池开路电压测试的目的
  - 3.2.9.2 电池开路电压测试的原理
  - 3.2.9.3 电池开路电压测试的方法
  - 3.2.9.4 电池开路电压测试的优势
  - 3.2.9.5 电池开路电压测试的注意事项
- 3.2.10 电池温度的测试
  - 3.2.10.1 电池温度测试的目的
  - 3.2.10.2 电池温度测试的原理
  - 3.2.10.3 电池温度测试的方法
  - 3.2.10.4 电池温度测试的优势
  - 3.2.10.5 电池温度测试的注意事项
- 3.2.11 电池 ESD 的测试
  - 3.2.11.1 电池 ESD 测试的目的
  - 3.2.11.2 电池 ESD 测试的原理
  - 3.2.11.3 电池 ESD 测试的方法
  - 3.2.11.4 电池 ESD 测试的优势
  - 3.2.11.5 电池 ESD 测试的注意事项

## 第四章 蓄电池应用领域概览

### 4.1 交通工具用蓄电池

- 4.1.1 电动汽车用蓄电池
- 4.1.3 电动自行车用蓄电池
- 4.1.4 电动摩托车用蓄电池
- 4.1.5 电动船舶用蓄电池
- 4.1.6 电动飞机用蓄电池
- 4.1.7 电动航空器用蓄电池

### 4.2 电子产品用蓄电池

- 4.2.1 手机用蓄电池
- 4.2.2 电脑用蓄电池
- 4.2.3 智能手表用蓄电池
- 4.2.4 游戏机用蓄电池
- 4.2.5 移动电源用蓄电池
- 4.2.6 无人机用蓄电池

### 4.3 智能家电用蓄电池

- 4.3.1 智能扫地机用蓄电池
- 4.3.2 智能门锁用蓄电池
- 4.3.3 智能吸尘器用蓄电池





4.3.4 智能窗帘用蓄电池

4.3.5 智能夜灯用蓄电池

4.3.6 智能音箱用蓄电池

4.3.7 智能马桶用蓄电池

#### 4.4 航空器用蓄电池

4.4.1 卫星用蓄电池

4.4.2 火箭推进系统用蓄电池

4.4.3 军事设备用蓄电池

#### 4.5 电力系统用蓄电池

#### 4.6 医疗设备用蓄电池

4.6.1 电子体温计用蓄电池

4.6.2 呼吸机用蓄电池

4.6.3 便携式心电图机用蓄电池

4.6.4 移动式超声设备用蓄电池

4.6.5 除颤仪用蓄电池

#### 4.7 电动工具用蓄电池

4.7.1 电钻用蓄电池

4.7.2 电锤用蓄电池

4.7.3 电锯用蓄电池

4.7.4 角磨机用蓄电池

4.7.5 电剪用蓄电池

#### 4.8 农业设备用蓄电池

4.8.1 收割机用蓄电池

4.8.2 播种机用蓄电池

4.8.3 喷灌机用蓄电池

4.8.4 饲料投喂器用蓄电池

## 第 II 部分 钨在新能源电池市场的介绍

### 第五章 新能源电池中的钨化合物介绍

#### 5.1 什么是钨酸

5.1.1 钨酸理化性质

5.1.2 钨酸分类

5.1.2.1 新能源电池用黄钨酸

5.1.2.2 新能源电池用白钨酸

5.1.2.3 新能源电池用偏钨酸

5.1.3 钨酸生产方法

5.1.3.1 黄钨酸生产方法

5.1.3.2 白钨酸生产方法

5.1.3.3 偏钨酸生产方法

5.1.4 钨酸应用

#### 5.2 什么是氧化钨

5.2.1 氧化钨理化性质





5.2.1.1 什么是氧化钨的氧化还原性

5.2.1.2 什么是氧化钨的电致变色

5.2.1.3 什么是氧化钨的光致变色

5.2.1.4 什么是氧化钨的气敏性

5.2.1.5 什么是氧化钨的能量密度

5.2.3 氧化钨分类

5.2.3.1 新能源电池用氧化钨纳米颗粒

5.2.3.2 新能源电池用氧化钨纳米片

5.2.3.3 新能源电池用氧化钨纳米线

5.2.3.4 新能源电池用氧化钨纳米棒

5.2.3.5 新能源电池用氧化钨纳米花

5.2.3.6 新能源电池用黄色氧化钨

5.2.3.7 新能源电池用蓝色氧化钨

5.2.3.8 新能源电池用紫色氧化钨

5.2.3.9 新能源电池用白色氧化钨

5.2.3.10 新能源电池用二氧化钨

5.2.4 氧化钨生产方法

5.2.4.1 热分解法制备氧化钨

5.2.4.2 水热合成法制备氧化钨

5.2.4.3 溶胶凝胶法制备氧化钨

5.2.4.4 电化学氧化法制备氧化钨

5.2.5 氧化钨应用

**5.3 什么是黄色氧化钨**

5.3.1 黄色氧化钨结构

5.3.2 黄色氧化钨理化性质

5.3.2.1 什么是黄色氧化钨的密度

5.3.2.2 什么是黄色氧化钨的松装密度

5.3.2.3 什么是黄色氧化钨的氧化性

5.3.2.4 什么是黄色氧化钨的电致变色

5.3.2.5 什么是黄色氧化钨的气敏性

5.3.3 黄色氧化钨分类

5.3.3.1 新能源电池用黄色氧化钨纳米颗粒

5.3.3.2 新能源电池用黄色氧化钨纳米片

5.3.3.3 新能源电池用黄色氧化钨纳米线

5.3.3.4 新能源电池用黄色氧化钨纳米棒

5.3.3.5 新能源电池用黄色氧化钨纳米花

5.3.3.6 新能源电池用微米黄色氧化钨

5.3.3.7 新能源电池用亚微米黄色氧化钨

5.3.3.8 新能源电池用纳米黄色氧化钨

5.3.3.9 新能源电池用亚纳米黄色氧化钨

5.3.4 黄色氧化钨生产方法

5.3.5 黄色氧化钨应用

**5.4 什么是紫色氧化钨**

5.4.1 紫色氧化钨结构





- 5.4.2 紫色氧化钨理化性质
- 5.4.3 紫色氧化钨分类
  - 5.4.3.1 新能源电池用针状紫色氧化钨
  - 5.4.3.2 新能源电池用棒状紫色氧化钨
  - 5.4.3.3 新能源电池用微米紫色氧化钨
  - 5.4.3.4 新能源电池用亚微米紫色氧化钨
  - 5.4.3.5 新能源电池用纳米紫色氧化钨
  - 5.4.3.6 新能源电池用亚纳米紫色氧化钨
- 5.4.4 紫色氧化钨生产方法
- 5.4.5 紫色氧化钨应用

## 5.5 什么是二氧化钨

- 5.5.1 二氧化钨结构
- 5.5.2 二氧化钨理化性质
- 5.5.3 二氧化钨分类
  - 5.5.3.1 新能源电池用二氧化钨纳米颗粒
  - 5.5.3.2 新能源电池用二氧化钨纳米片
  - 5.5.3.3 新能源电池用二氧化钨纳米线
  - 5.5.3.4 新能源电池用二氧化钨纳米棒
  - 5.5.3.5 新能源电池用二氧化钨纳米花
  - 5.5.3.6 新能源电池用微米二氧化钨
  - 5.5.3.7 新能源电池用亚微米二氧化钨
  - 5.5.3.8 新能源电池用纳米二氧化钨
  - 5.5.3.9 新能源电池用亚纳米二氧化钨
- 5.5.4 二氧化钨生产方法
- 5.5.5 二氧化钨应用

## 5.6 什么是铌钨氧化物

- 5.6.1 铌钨氧化物结构
- 5.6.2 铌钨氧化物理化性质
- 5.6.3 铌钨氧化物生产方法
- 5.6.4 铌钨氧化物应用

## 5.7 什么是氮化钨

- 5.7.1 氮化钨结构
- 5.7.2 氮化钨理化性质
- 5.7.3 氮化钨分类
  - 5.7.3.1 新能源电池用六叠氮化钨
  - 5.7.3.2 新能源电池用二氮化钨
  - 5.7.3.3 新能源电池用氮化二钨
- 5.7.4 氮化钨生产方法
- 5.7.5 氮化钨应用

## 5.8 什么是硼化钨

- 5.8.1 硼化钨结构
- 5.8.2 硼化钨理化性质
- 5.8.3 硼化钨分类
  - 5.8.3.1 新能源电池用一硼化钨



- 5.8.3.2 新能源电池用二硼化钨
- 5.8.3.3 新能源电池用硼化二钨
- 5.8.3.4 新能源电池用四硼化钨
- 5.8.3.5 新能源电池用五硼化二钨
- 5.8.4 硼化钨生产方法
- 5.8.5 硼化钨应用

## 5.9 什么是二硫化钨

- 5.9.1 二硫化钨结构
- 5.9.2 二硫化钨理化性质
- 5.9.3 二硫化钨分类
  - 5.9.3.1 新能源电池用二硫化钨纳米颗粒
  - 5.9.3.2 新能源电池用二硫化钨纳米片
  - 5.9.3.3 新能源电池用二硫化钨纳米线
  - 5.9.3.4 新能源电池用二硫化钨纳米棒
  - 5.9.3.5 新能源电池用二硫化钨纳米花
  - 5.9.3.6 新能源电池用二硫化钨量子点
- 5.9.4 二硫化钨生产方法
- 5.9.5 二硫化钨应用

## 5.10 什么是二硒化钨

- 5.10.1 二硒化钨结构
- 5.10.2 二硒化钨理化性质
- 5.10.3 二硒化钨分类
  - 5.10.3.1 新能源电池用二硒化钨纳米颗粒
  - 5.10.3.2 新能源电池用二硒化钨纳米片
  - 5.10.3.3 新能源电池用二硒化钨纳米线
  - 5.10.3.4 新能源电池用二硒化钨纳米棒
  - 5.10.3.5 新能源电池用二硒化钨纳米花
- 5.10.4 二硒化钨生产方法
- 5.10.5 二硒化钨应用

## 5.11 什么是钨酸盐

- 5.11.1 钨酸盐结构
- 5.11.2 钨酸盐理化性质
- 5.11.3 钨酸盐分类
  - 5.11.3.1 新能源电池用钨酸钠
  - 5.11.3.2 新能源电池用钨酸锌
  - 5.11.3.3 新能源电池用钨酸钴
- 5.11.4 钨酸盐生产方法
- 5.11.5 钨酸盐应用

## 第六章 钨在锂离子电池中的应用

### 6.1 纳米钨酸在锂离子电池中的应用

- 6.1.1 锂电池正极材料用纳米钨酸
- 6.1.2 锂电池负极材料用纳米钨酸





- 6.1.3 锂电池电极材料用纳米钨酸的挑战
- 6.2 纳米黄色氧化钨在锂离子电池中的应用
  - 6.2.1 锂电池正极材料用纳米黄色氧化钨
  - 6.2.2 锂电池负极材料用纳米黄色氧化钨
  - 6.2.3 锂电池电极材料用纳米黄色氧化钨的挑战
- 6.3 纳米紫色氧化钨在锂离子电池中的应用
  - 6.3.1 锂电池正极材料用纳米紫色氧化钨
  - 6.3.2 锂电池负极材料用纳米紫色氧化钨
  - 6.3.3 锂电池电极材料用纳米紫色氧化钨的挑战
- 6.4 二氧化钨在锂离子电池中的应用
  - 6.4.1 锂电池正极材料用二氧化钨
  - 6.4.2 锂电池负极材料用二氧化钨
  - 6.4.3 锂电池电极材料用二氧化钨的挑战
- 6.5 铌钨氧化物在锂离子电池中的应用
  - 6.5.1 锂电池正极材料用铌钨氧化物
  - 6.5.2 锂电池负极材料用铌钨氧化物
  - 6.5.3 锂电池电极材料用铌钨氧化物的挑战
- 6.6 氮化钨在锂离子电池中的应用
  - 6.6.1 锂电池负极材料用氮化钨
  - 6.6.2 锂电池电极材料用氮化钨的挑战
- 6.7 二硫化钨在磷酸铁锂中的应用
  - 6.7.1 锂电池正极材料用二硫化钨纳米片
  - 6.7.2 锂电池正极材料用二硫化钨纳米管
  - 6.7.3 锂电池负极材料用二硫化钨纳米片
  - 6.7.4 锂电池负极材料用二硫化钨纳米管
  - 6.7.5 锂电池电极材料用二硫化钨的挑战
- 6.8 钨酸钠在锂离子电池中的应用
  - 6.8.1 锂电池负极材料用钨酸钠
  - 6.8.2 锂电池电极材料用钨酸钠的挑战
- 6.9 钨酸锌在锂离子电池中的应用
  - 6.9.1 锂电池负极材料用钨酸锌
  - 6.9.2 锂电池电极材料用钨酸锌的挑战
- 6.10 钨酸锂在锂离子电池中的应用
  - 6.9.1 锂离子电池正极材料用钨酸锂
  - 6.9.2 锂离子电池负极材料用钨酸锂
  - 6.9.3 锂电池电解质用钨酸锂
  - 6.9.4 锂电池用钨酸锂的挑战

## 第七章 钨在锂硫电池中的应用

- 7.1 氧化钨在锂硫电池中的应用
  - 7.1.1 锂硫电池正极材料用氧化钨纳米棒
  - 7.1.2 锂硫电池负极材料用氧化钨纳米棒
  - 7.1.3 锂硫电池隔膜用氧化钨





- 7.1.4 锂硫电池用氧化钨的挑战
- 7.2 二硫化钨在锂硫电池中的应用
  - 7.2.1 锂硫电池正极材料用二硫化钨纳米片
  - 7.2.2 锂硫电池负极材料用二硫化钨纳米片
  - 7.2.3 锂硫电池正极材料用二硫化钨量子点
  - 7.2.4 锂硫电池负极材料用二硫化钨量子点
  - 7.2.5 锂硫电池隔膜用二硫化钨纳米花
  - 7.2.6 锂硫电池用二硫化钨的挑战
- 7.3 二硒化钨在锂硫电池中的应用
  - 7.3.1 锂硫电池正极材料用二硒化钨纳米片
  - 7.3.2 锂硫电池负极材料用二硒化钨纳米片
  - 7.3.3 锂硫电池正极材料用二硒化钨复合材料
  - 7.3.4 锂硫电池负极材料用二硒化钨复合材料
  - 7.3.5 锂硫电池电极材料用二硒化钨的挑战
- 7.4 氮化钨在锂硫电池中的应用
  - 7.4.1 锂硫电池正极材料用氮化钨纳米片
  - 7.4.2 锂硫电池负极材料用氮化钨纳米片
  - 7.4.3 锂硫电池电极材料用氮化钨的挑战

## 第八章 钨在钠离子电池中的应用

- 8.1 氧化钨在钠离子电池中的应用
  - 8.1.1 钠电池正极材料用黄色氧化钨
  - 8.1.2 钠电池负极材料用黄色氧化钨
  - 8.1.3 钠电池正极材料用紫色氧化钨
  - 8.1.4 钠电池负极材料用紫色氧化钨
  - 8.1.5 钠电池电极材料用氧化钨的挑战
- 8.2 二硫化钨在钠离子电池中的应用
  - 8.2.1 钠电池正极材料用二硫化钨空心球
  - 8.2.2 钠电池负极材料用二硫化钨空心球
  - 8.2.3 钠电池正极材料用二硫化钨纳米片
  - 8.2.4 钠电池负极材料用二硫化钨纳米片
  - 8.2.5 钠电池负极材料用二硫化钨纳米管
  - 8.2.6 钠电池电极材料用二硫化钨的挑战
- 8.3 二硒化钨在钠离子电池中的应用
  - 8.3.1 钠电池正极材料用二硒化钨
  - 8.3.2 钠电池负极材料用二硒化钨
  - 8.3.3 钠电池电极材料用二硒化钨的挑战
- 8.4 纳米钨酸在钠离子电池中的应用
  - 8.4.1 钠电池正极材料用纳米钨酸
  - 8.4.2 钠电池负极材料用纳米钨酸
  - 8.4.3 钠电池电极材料用纳米钨酸的挑战
- 8.5 氮化钨在钠离子电池中的应用
  - 8.5.1 钠电池正极材料用纳米氮化钨纳米



- 8.5.2 钠电池负极材料用纳米氮化钨纳米
- 8.5.3 钠电池电极材料用纳米氮化钨的挑战
- 8.6 钨酸钠在钠离子电池中的应用
  - 8.6.1 钠电池负极材料用纳米钨酸钠
  - 8.6.2 钠电池电极材料用纳米钨酸钠的挑战
- 8.7 钨酸锌在钠离子电池中的应用
  - 8.7.1 钠电池负极材料用钨酸锌
  - 8.7.2 钠电池电极材料用钨酸锌的挑战

## 第九章 钨在锌空电池中的应用

- 9.1 氧化钨在锌空电池中的应用
  - 9.1.1 锌空电池催化剂用黄色氧化钨复合材料
  - 9.1.2 锌空电池催化剂用紫色氧化钨复合材料
  - 9.1.3 锌空电池催化剂用氧化钨的挑战
- 9.2 二硫化钨在锌空电池中的应用
  - 9.2.1 锌空电池催化剂用纳米二硫化钨
  - 9.1.2 锌空电池催化剂用纳米二硫化钨的挑战
- 9.3 钨酸钴在锌空电池中的应用
  - 9.3.1 锌空电池催化剂用钨酸钴复合材料
  - 9.3.2 锌空电池催化剂用钨酸钴的挑战

## 第十章 钨在燃料电池中的应用

- 10.1 氧化钨在燃料电池中的应用
  - 10.1.1 燃料电池催化剂用纳米三氧化钨
  - 10.1.2 燃料电池屏蔽层用三氧化钨涂层
  - 10.1.3 燃料电池催化剂用氧化钨的挑战
- 10.2 二硫化钨燃料电池中的应用
  - 10.2.1 燃料电池催化剂用纳米二硫化钨
  - 10.2.2 燃料电池催化剂用二硫化钨的挑战
- 10.3 磷钨酸燃料电池中的应用
  - 10.3.1 燃料电池催化剂用磷钨酸
  - 10.3.2 燃料电池质子交换膜用磷钨酸
  - 10.3.4 燃料电池用磷钨酸的挑战
- 10.4 燃料电池用氢钨青铜
  - 10.4.1 燃料电池催化剂用氢钨青铜
  - 10.4.2 燃料电池催化剂用氢钨青铜挑战
- 10.5 燃料电池用碳化钨粉末
  - 10.5.2 燃料电池催化剂用碳化钨粉末
  - 10.5.3 燃料电池用碳化钨粉末的挑战

## 第十一章 钨在太阳能电池中的应用





## 11.1 氧化钨在太阳能电池中的应用

11.1.1 太阳能电池正面银浆用三氧化钨

11.1.2 太阳能电池用氧化钨薄膜

11.1.3 太阳能电池用氧化钨的挑战

## 11.2 二硫化钨在太阳能电池中的应用

11.2.1 太阳能电池光活性层用二硫化钨

11.2.2 太阳能电池空穴传输层用二硫化钨纳米膜

11.2.3 太阳能电池用二硫化钨的挑战

## 11.3 二硒化钨在太阳能电池中的应用

11.3.1 太阳能电池导电层用二硒化钨

11.3.2 太阳能电池用二硒化钨的挑战

## 11.4 钨酸镉在太阳能电池中的应用

11.4.1 太阳能电池用钨酸镉

11.4.2 太阳能电池用钨酸镉的挑战

## 第十二章 钨在电池中的技术挑战与解决方案

12.1 纳米钨酸在电池中的技术挑战与解决方法

12.2 纳米三氧化钨在电池中的技术挑战与解决方法

12.3 纳米紫色氧化钨在电池中的技术挑战与解决方法

12.4 钨钨氧化物在电池中的技术挑战与解决方法

12.5 纳米二硫化钨在电池中的技术挑战与解决方法

12.6 纳米二硒化钨在电池中的技术挑战与解决方法

12.7 纳米氮化钨在电池中的技术挑战与解决方法

## 第十三章 钨基电池的生产成本

## 第十四章 钨在电池中的潜在价值与应用前景

## 第 III 部分 钨在新能源电池市场的介绍

## 第十五章 新能源电池中的钨化合物介绍

### 15.1 什么是氧化钨

15.1.1 氧化钨结构

15.1.2 氧化钨理化性质

15.1.3 氧化钨分类

15.1.3.1 新能源电池用三氧化钨

15.1.3.2 新能源电池用二氧化钨

15.1.3.3 新能源电池用氧化钨纳米线

15.1.3.4 新能源电池用氧化钨纳米棒

15.1.3.5 新能源电池用氧化钨纳米纤维

15.1.3.6 新能源电池用微米氧化钨

15.1.3.7 新能源电池用亚微米氧化钨





- 15.1.3.8 新能源电池用纳米氧化钨
- 15.1.3.9 新能源电池用亚纳米氧化钨
- 15.1.4 氧化钨生产方法
- 15.1.5 氧化钨应用
- 15.2 什么是碳化钨**
  - 15.2.1 碳化钨结构
  - 15.2.2 碳化钨理化性质
  - 15.2.3 碳化钨分类
    - 15.2.3.1 新能源电池用碳化钨纳米管
    - 15.2.3.2 新能源电池用碳化钨纳米片
    - 15.2.3.3 新能源电池用碳化钨纳米线
    - 15.2.3.4 新能源电池用碳化钨纳米棒
    - 15.2.3.5 新能源电池用碳化钨纳米纤维
    - 15.2.3.6 新能源电池用微米碳化钨
    - 15.2.3.7 新能源电池用亚微米碳化钨
    - 15.2.3.8 新能源电池用纳米碳化钨
    - 15.2.3.9 新能源电池用亚纳米碳化钨
  - 15.2.4 碳化钨生产方法
  - 15.2.5 碳化钨应用
- 15.3 什么是氮化钨**
  - 15.3.1 氧化钨结构
  - 15.3.2 氮化钨理化性质
  - 15.3.3 氮化钨分类
    - 15.3.3.1 新能源电池用氮化钨量子点
    - 15.3.3.2 新能源电池用氮化钨纳米片
    - 15.3.3.3 新能源电池用氮化钨纳米簇
    - 15.3.3.4 新能源电池用一氮化钨
    - 15.3.3.5 新能源电池用六叠氮化钨
    - 15.3.3.6 新能源电池用二氮化钨
    - 15.3.3.7 新能源电池用氮化二钨
    - 15.3.3.8 新能源电池用二氮化三钨
  - 15.3.4 氮化钨生产方法
  - 15.3.5 氮化钨应用
- 15.4 什么是二硫化钨**
  - 15.4.1 二硫化钨结构
  - 15.4.2 二硫化钨理化性质
  - 15.4.3 二硫化钨分类
    - 15.4.3.1 新能源电池用二硫化钨纳米颗粒
    - 15.4.3.2 新能源电池用二硫化钨纳米片
    - 15.4.3.3 新能源电池用二硫化钨纳米棒
    - 15.4.3.4 新能源电池用二硫化钨纳米花
    - 15.4.3.5 新能源电池用二硫化钨纳米纤维
    - 15.4.3.6 新能源电池用微米二硫化钨
    - 15.4.3.7 新能源电池用亚微米二硫化钨



- 15.4.3.8 新能源电池用纳米二硫化钨
- 15.4.3.9 新能源电池用亚纳米二硫化钨
- 15.4.4 二硫化钨生产方法
- 15.4.5 二硫化钨应用
- 15.5 什么是二硒化钨
- 15.5.1 二硒化钨结构
- 15.5.2 二硒化钨理化性质
- 15.5.3 二硒化钨分类
- 15.5.3.1 新能源电池用二硒化钨纳米颗粒
- 15.5.3.2 新能源电池用二硒化钨纳米片
- 15.5.3.3 新能源电池用二硒化钨纳米棒
- 15.5.3.4 新能源电池用二硒化钨纳米花
- 15.5.3.5 新能源电池用二硒化钨纳米纤维
- 15.5.3.6 新能源电池用微米二硒化钨
- 15.5.3.7 新能源电池用亚微米二硒化钨
- 15.5.3.8 新能源电池用纳米二硒化钨
- 15.5.3.9 新能源电池用亚纳米二硒化钨
- 15.5.4 二硒化钨生产方法
- 15.5.5 二硒化钨应用
- 15.6 什么是钨酸盐
- 15.6.1 钨酸盐结构
- 15.6.2 钨酸盐理化性质
- 15.6.3 钨酸盐分类
- 15.6.3.1 新能源电池用钨酸锂
- 15.6.3.2 新能源电池用钨酸铁
- 15.6.3.3 新能源电池用钨酸铜
- 15.6.3.4 新能源电池用钨酸镍
- 15.6.3.5 新能源电池用钨酸镁
- 15.6.3.6 新能源电池用钨酸锌
- 15.6.3.7 新能源电池用磷钨酸
- 15.6.3.8 新能源电池用七钨酸铵
- 15.6.3.9 新能源电池用钨酸钠
- 15.6.3.10 新能源电池用钨酸钾
- 15.6.4 钨酸盐生产方法
- 15.6.5 钨酸盐应用

## 第十六章 钨在锂离子电池中的应用

### 16.1 氧化钨在锂离子电池中的应用

- 16.1.1 锂离子电池负极材料用二氧化钨
- 16.1.2 锂离子电池负极材料用三氧化钨
- 16.1.3 锂离子电池负极材料用氧化钨的挑战

### 16.2 氮化钨在锂离子电池中的应用

- 16.2.1 锂离子电池负极材料用氮化钨复合材料





- 16.2.2 锂离子电池负极材料用氮化钨的挑战
- 16.3 二硫化钨在锂离子电池中的应用
  - 16.3.1 锂离子电池负极材料用二硫化钨
  - 16.3.2 锂离子电池负极材料用二硫化钨的挑战
- 16.4 二硒化钨在锂离子电池中的应用
  - 16.4.1 锂离子电池负极材料用二硒化钨
  - 16.4.2 锂离子电池负极材料用二硒化钨的挑战
- 16.5 钨酸锂在锂离子电池中的应用
  - 16.5.1 锂离子电池正极材料用钨酸锂
  - 16.5.2 锂离子电池负极材料用钨酸锂
  - 16.5.3 锂离子电池电极材料用钨酸锂的挑战
  - 16.5.4 锂离子电池电解液用钨酸锂
  - 16.5.5 锂离子电池电解液用钨酸锂的挑战
- 16.6 钨酸铁在锂离子电池中的应用
  - 16.6.1 锂离子电池负极材料用纳米棒状钨酸铁
  - 16.6.2 锂离子电池电极材料用纳米棒状钨酸铁的挑战
- 16.7 钨酸铜在锂离子电池中的应用
  - 16.7.1 锂离子电池负极材料用钨酸铜
  - 16.7.2 锂离子电池电极材料用钨酸铜的挑战
- 16.8 钨酸镍在锂离子电池中的应用
  - 16.8.1 锂离子电池正极材料用钨酸镍
  - 16.8.2 锂离子电池负极材料用钨酸镍
  - 16.8.3 锂离子电池电极材料用钨酸镍的挑战

## 第十七章 钨在锂硫电池中的应用

- 17.1 碳化钨在锂硫电池中的应用
  - 17.1.1 锂硫电池正极材料用碳化钨复合材料
  - 17.1.2 锂硫电池集流体材料用碳化钨纳米纤维
  - 17.1.3 锂硫电池用碳化钨的挑战
- 17.2 氮化钨在锂硫电池中的应用
  - 17.2.1 锂硫电池正极材料用二氮化三钨
  - 17.2.2 锂硫电池电极材料用氮化钨复合材料
  - 17.2.3 锂硫电池隔膜用氮化钨量子点
  - 17.2.4 锂硫电池中间层用氮化钨纳米片
  - 17.2.5 锂硫电池用氮化钨的挑战
- 17.3 二硫化钨在锂硫电池中的应用
  - 17.3.1 锂硫电池正极材料用二硫化钨纳米片
  - 17.3.2 锂硫电池负极材料用二硫化钨复合材料
  - 17.3.3 锂硫电池电极材料用二硫化钨的挑战
- 17.4 三硫化钨在锂硫电池中的应用
  - 17.4.1 锂硫电池正极材料用非晶相三硫化钨
  - 17.4.2 锂硫电池负极材料用三硫化钨纳米片
  - 17.4.3 锂硫电池电极材料用三硫化钨的挑战





## 17.5 二硒化钨在锂硫电池中的应用

- 17.5.1 锂硫电池正极材料用二硒化钨复合材料
- 17.5.2 锂硫电池负极材料用二硒化钨复合材料
- 17.5.3 锂硫电池电极材料用二硒化钨的挑战

## 第十八章 钨在钠离子电池中的应用

### 18.1 氧化钨在钠离子电池中的应用

- 18.1.1 钠离子电池负极材料用二氧化钨
- 18.1.2 钠离子电池负极材料用三氧化钨
- 18.1.3 钠离子电池负极材料用氧化钨的挑战

### 18.2 二硫化钨在钠离子电池中的应用

- 18.2.1 钠离子电池负极材料用二硫化钨复合材料
- 18.2.2 钠离子电池负极材料用二硫化钨的挑战

### 18.3 二硒化钨在钠离子电池中的应用

- 18.3.1 钠离子电池负极材料用二硒化钨复合材料
- 18.3.2 钠离子电池负极材料用二硒化钨的挑战

### 18.4 钨酸锂在钠离子电池中的应用

- 18.4.1 钠离子电池负极材料用钨酸锂
- 18.4.2 钠离子电池负极材料用钨酸锂的挑战

### 18.5 钨酸铁在钠离子电池中的应用

- 18.5.1 钠离子电池负极材料用钨酸铁
- 18.5.2 钠离子电池负极材料用钨酸铁的挑战

### 18.6 钨酸镍在钠离子电池中的应用

- 18.6.1 钠离子电池负极材料用钨酸镍
- 18.6.2 钠离子电池电极材料用钨酸镍的挑战

## 第十九章 钨在锌离子电池中的应用

### 19.1 氧化钨在锌离子电池中的应用

- 19.1.1 锌离子电池正极材料用二氧化钨
- 19.1.2 锌离子电池负极材料用二氧化钨
- 19.1.3 锌离子电池正极材料用三氧化钨
- 19.1.4 锌离子电池负极材料用三氧化钨
- 19.1.5 锌离子电池电极材料用氧化钨的挑战

### 19.2 二硫化钨在锌离子电池中的应用

- 19.2.1 锌离子电池正极材料用二硫化钨
- 19.2.2 锌离子电池正极材料用二硫化钨纳米片
- 19.2.3 锌离子电池负极材料用二硫化钨纳米片
- 19.2.4 锌离子电池负极材料用二硫化钨复合材料
- 19.2.5 锌离子电池电极材料用二硫化钨的挑战

### 19.3 钨钒氧化物在锌离子电池中的应用

- 19.3.1 锌离子电池电极材料用钨钒氧化物
- 19.3.2 锌离子电池电极材料用钨钒氧化物的挑战





## 19.4 钼酸锌在锌离子电池中的应用

- 19.4.1 锌离子电池负极保护层用钼酸锌
- 19.4.2 锌离子电池负极保护层用钼酸锌的挑战

## 第二十章 钼在燃料电池中的应用

### 20.1 金属钼在燃料电池中的应用

- 20.1.1 燃料电池催化剂用金属钼
- 20.1.2 燃料电池电极用金属钼
- 20.1.3 燃料电池用金属钼的挑战

### 20.2 三氧化钼纳米线在燃料电池中的应用

- 20.2.1 燃料电池阳极用三氧化钼纳米线
- 20.2.2 燃料电池阳极用三氧化钼纳米线的挑战

### 20.3 碳化钼在燃料电池中的应用

- 20.3.1 燃料电池阳极材料用碳化钼
- 20.3.2 燃料电池阴极材料用碳化钼
- 20.3.3 燃料电池催化剂用碳化钼
- 20.3.4 燃料电池用碳化钼的挑战

### 20.4 氮化钼在燃料电池中的应用

- 20.4.1 燃料电池阳极材料用氮化钼
- 20.4.2 燃料电池阴极材料用氮化钼
- 20.4.3 燃料电池电极用氮化钼的挑战

### 20.5 磷钼酸在燃料电池中的应用

- 20.5.1 燃料电池催化剂用磷钼酸
- 20.5.2 燃料电池碳间接电氧化介质用磷钼酸
- 20.5.3 燃料电池用磷钼酸的挑战

### 20.6 钼酸镧在燃料电池中的应用

- 20.6.1 燃料电池电解质用钼酸镧
- 20.6.2 燃料电池电解质用钼酸镧的挑战

### 20.7 镍钼合金在燃料电池中的应用

- 20.7.1 燃料电池催化剂用镍钼合金
- 20.7.2 燃料电池催化剂用镍钼合金的挑战

### 20.8 铂铜钼三元合金在燃料电池中的应用

- 20.8.1 燃料电池催化剂用铂铜钼三元合金
- 20.8.2 燃料电池催化剂用铂铜钼三元合金的挑战

## 第二十一章 钼在太阳能电池中的应用

### 21.1 硫化钼在太阳能电池中的应用

- 21.1.1 硫化钼薄膜异质结太阳能电池
- 21.1.2 硫化钼薄膜异质结太阳能电池的创新研究
- 21.1.3 太阳能电池用硫化钼的挑战

### 21.2 硒化钼在太阳能电池中的应用

- 21.2.1 什么是硒化钼/硅异质结太阳能电池



- 21.2.2 钛矿太阳能电池用二硒化钼
- 21.2.3 太阳能电池用二硒化钼复合材料
- 21.2.4 太阳能电池用硒化钼的挑战
- 21.3 钼酸锌在太阳能电池中的应用
- 21.3.1 太阳能电池对电极用钼酸锌复合材料
- 21.3.2 太阳能电池用钼酸锌的挑战

## 第二十二章 钼在电池中的技术挑战与解决方案

- 22.1 氧化钼在电池中的挑战与解决方案
- 22.2 碳化钼在电池中的挑战与解决方案
- 22.3 氮化钼在电池中的挑战与解决方案
- 22.4 二硫化钼在电池中的挑战与解决方案
- 22.5 二硒化钼在电池中的挑战与解决方案
- 22.6 钼酸盐在电池中的挑战与解决方案

## 第二十三章 钼基电池的生产成本

## 第二十四章 钼在电池中的潜在价值与应用前景

## 第 IV 部分 稀土在新能源电池市场的介绍

## 第二十五章 新能源电池中的稀土元素介绍

- 25.1 镧元素
- 25.2 铈元素
- 25.3 镨元素
- 25.4 钕元素
- 25.5 钐元素
- 25.6 铈元素
- 25.7 钐元素
- 25.8 铈元素
- 25.9 铈元素
- 25.10 铈元素
- 25.11 镧元素
- 25.12 钕元素
- 25.13 钐元素

## 第二十六章 稀土元素在锂离子电池中的应用

- 26.1 镧元素在锂离子电池中的应用
- 26.2 铈元素在锂离子电池中的应用
- 26.3 钕元素在锂离子电池中的应用
- 26.4 镨元素在锂离子电池中的应用
- 26.5 钐元素在锂离子电池中的应用



- 26.6 铈元素在锂离子电池中的应用
- 26.7 钪元素在锂离子电池中的应用
- 26.8 钛元素在锂离子电池中的应用
- 26.9 钒元素在锂离子电池中的应用
- 26.10 铬元素在锂离子电池中的应用
- 26.11 锰元素在锂离子电池中的应用
- 26.12 钴元素在锂离子电池中的应用
- 26.13 镍元素在锂离子电池中的应用

## 第二十七章 稀土元素在钠离子电池中的应用

- 27.1 镧元素在钠离子电池中的应用
- 27.2 铈元素在钠离子电池中的应用
- 27.3 钪元素在钠离子电池中的应用
- 27.4 铈元素在钠离子电池中的应用
- 27.5 钪元素在钠离子电池中的应用
- 27.6 钛元素在钠离子电池中的应用
- 27.7 钒元素在钠离子电池中的应用
- 27.8 铬元素在钠离子电池中的应用
- 27.9 锰元素在钠离子电池中的应用
- 27.10 钴元素在钠离子电池中的应用
- 27.11 镍元素在钠离子电池中的应用

## 第二十八章 稀土元素在镍氢电池中的应用

- 28.1 镧元素在镍氢电池中的应用
- 28.2 铈元素在镍氢电池中的应用
- 28.3 镨元素在镍氢电池中的应用
- 28.4 钕元素在镍氢电池中的应用
- 28.5 钐元素在镍氢电池中的应用
- 28.6 铈元素在镍氢电池中的应用
- 28.7 钪元素在镍氢电池中的应用
- 28.8 铽元素在镍氢电池中的应用
- 28.9 镱元素在镍氢电池中的应用
- 28.10 铟元素在镍氢电池中的应用

## 第二十九章 稀土元素在太阳能电池中的应用

- 29.1 镧元素在太阳能电池中的应用
- 29.2 铈元素在太阳能电池中的应用
- 29.3 镨元素在太阳能电池中的应用
- 29.4 钕元素在太阳能电池中的应用
- 29.5 铈元素在太阳能电池中的应用
- 29.6 钪元素在太阳能电池中的应用



- 29.7 铯元素在太阳能电池中的应用
- 29.8 镉元素在太阳能电池中的应用
- 29.9 钇元素在太阳能电池中的应用
- 29.10 铕元素在太阳能电池中的应用

## 第三十章 稀土元素在电池中的技术挑战与解决方案

## 第三十一章 稀土基电池的生产成本

## 第三十二章 稀土元素在电池中的潜在价值与应用前景

## 第 V 部分 电池、钨、钼和稀土企业介绍

## 第三十三章 主要电池生产企业概览

- 33.1 国内主要电池正极生产企业
- 33.2 国内主要电池负极生产企业
- 33.3 国内主要电池隔膜生产企业
- 33.4 国内主要电池电解液生产企业
- 33.5 国外主要电池生产企业

## 第三十四章 主要钨、钼和稀土企业概览

- 34.1 国内主要钨、钼和稀土生产企业
- 34.2 国外主要钨、钼和稀土生产企业

## 附录 1: 电池行业相关标准

## 附录 2: 电池专有名词解释

## 附录 3: 钨钼稀土行业相关标准

## 附录 4: 钨钼稀土专有名词解释



## 第 IV 部分 稀土在新能源电池市场的介绍

### 第二十九章 稀土元素在太阳能电池中的应用

稀土元素在太阳能电池中的应用是一个活跃且充满潜力的研究领域。这些元素以其独特的光电特性、电子传导能力和稳定性，在提升太阳能电池的效率、稳定性和寿命方面发挥着重要作用。

稀土元素 (Rare Earth Elements, REEs) 是一组具有相似化学性质的元素，包括镧系元素 (从镧到镥的 15 个元素) 以及钪和钇。这些元素在自然界中通常以矿物形式存在，并因其独特的电子排布而展现出多种物理和化学性质。在太阳能电池领域，稀土元素主要通过掺杂、涂层或作为功能性材料等方式发挥作用。



太阳能电池

光电转换效率是太阳能电池性能的关键指标之一。稀土元素具有较高的光吸收能力和宽带隙特性，能有效促进光的吸收和电子的迁移，从而提高太阳能电池的光电转换效率。例如，氧化铈 ( $\text{CeO}_2$ )、钇铁石榴石 (YIG) 等稀土材料的掺杂可显著提高太阳能电池的光电转换效率。研究表明，适量的稀土掺杂可优化太阳能电池的光学性能和电学性能，使得光生载流子的分离和传输更加高效 (参考文献: 稀土材料在太阳能电池中的应用与发展)。某些实验表明，通过稀土掺杂，太阳能电池的光电转换效率可以提升数个百分点。虽然具体提升幅度因稀土元素种类、掺杂浓度和太阳能电池结构等因素而异，但这一趋势是明确的。

能带结构是影响太阳能电池性能的重要因素。稀土元素的引入可以调整太阳能电池的能带结构，使得其更加有利于光生载流子的分离和传输。例如，在钙钛矿太阳能电池中，稀土元素的掺杂可以调控其价带和导带的位置和宽度，从而优化其光电性能。此外，稀土元素



还可以作为敏化剂或激活剂，在太阳能电池中引入新的能级或光学跃迁过程，提高其对光的吸收和利用效率（参考文献：稀土掺杂在钙钛矿太阳能电池中的应用研究）。在钙钛矿太阳能电池中，稀土掺杂已成为提高光电转换效率的重要手段之一。通过优化稀土元素的种类和掺杂浓度，研究人员已经成功制备出光电转换效率超过 25% 的钙钛矿太阳能电池（参考文献：钙钛矿太阳能电池研究进展及产业化应用前景）。

太阳能电池在运行过程中常会受到环境因素的影响，如温度、湿度、紫外线辐射等。这些因素可能导致太阳能电池材料的性能退化甚至失效。稀土元素的添加可以增强太阳能电池的耐腐蚀性和稳定性，提高其抗老化能力。例如，稀土氧化物可以作为保护涂层或缓冲层，有效隔绝环境因素对太阳能电池材料的侵蚀。此外，稀土元素还可以通过调控其电子结构和化学性质，改善太阳能电池材料与电极或基底的界面结合力，从而提高其整体稳定性（参考文献：稀土材料在光伏领域的应用前景与挑战）。有研究表明，通过稀土元素的添加，太阳能电池在紫外线辐射下的稳定性显著提高。在连续光照下工作数百小时后，其光电转换效率仅略有下降。这表明稀土元素在提高太阳能电池稳定性方面具有显著效果。



稀土矿山

除了上述直接应用于太阳能电池材料的稀土元素外，还有一些稀土元素在太阳能电池的其他组成部分中发挥着重要作用。例如，稀土元素可以用于制备高效的电极材料、集流体或反光镜等组件，以进一步提高太阳能电池的性能。此外，稀土元素还可以作为催化剂或添加剂，在太阳能电池的制备过程中改善材料的加工性能和微观结构（参考文献：稀土元素有哪些神奇应用）。

尽管稀土元素在太阳能电池中的应用展现出巨大的潜力，但仍面临一些挑战。首先，稀土元素的资源有限且分布不均，这限制了其在太阳能电池中的大规模应用。其次，稀土元素的提取和加工成本较高，且部分稀土元素具有毒性或放射性，这对其在太阳能电池中的广泛应用提出了更高要求。



为了克服这些挑战并推动稀土元素在太阳能电池中的广泛应用，未来的研究将重点集中在以下几个方面：一是开发新型稀土材料和技术以降低其成本并提高资源利用率；二是研究稀土元素在太阳能电池中的作用机制以优化其性能；三是探索稀土元素与其他材料的复合或协同作用以制备高性能的太阳能电池；四是加强环保意识和监管力度以确保稀土元素的可持续利用和安全性。



太阳能电池

## 29.1 镧元素在太阳能电池中的应用

镧元素（La），作为稀土元素的一种，在太阳能电池领域的应用日益广泛且重要。其独特的物理化学性质，使得镧在提升太阳能电池效率、稳定性和降低成本方面发挥着关键作用。



镧元素



镧是一种银白色的金属元素，位于元素周期表的第六周期、第 IIIB 族，原子序数为 57，是稀土元素中最轻的成员之一。镧具有良好的延展性和可塑性，能与其他金属形成合金，同时其化合物在光学、电学、磁学等领域展现出优异的性能。



镧元素

## 一、镧元素在太阳能电池中的作用

### (1) 提高发电效率

掺杂效应：在太阳能电池中，镧常被用作掺杂元素。例如，在有机太阳能电池（OSCs）中，北京化工大学李韦伟课题组的研究表明，通过低温溶液加工钴-镧空穴传输层（HTL），可以显著提升 OSCs 的光电转换效率（PCE）。该研究指出，基于 Co-La50% HTL 的 OSCs 器件获得了 18.82% 的最佳 PCE，远高于基于传统 PEDOT:PSS 的器件（18.03%）。这一成果不仅展示了镧在提高 OSCs 效率方面的潜力，还为未来大规模商业化应用提供了可能（数据来源于《有机光电材料，OPV,OLED,OFET 南京知研科技有限公司》）。



太阳能电池



钙钛矿太阳能电池：此外，镧系稀土离子（包括  $\text{La}^{3+}$ ）也被用于掺杂全无机钙钛矿太阳能电池中的  $\text{CsPbBr}_3$  材料。研究表明，镧系稀土离子的掺杂可以在钙钛矿结构中引入中间能级，优化光生电子的传输路径，延长光生电子寿命，从而减少电子复合反应，提高光电转换效率。通过多步液相旋涂技术，基于镧系稀土离子掺杂的  $\text{CsPbBr}_3$  全无机钙钛矿太阳能电池的光电转换效率可达 10% 以上，且在不同湿度和温度条件下表现出良好的稳定性（数据来源于《江都区全球专利搜索平台》）。



太阳能电池

### (2) 改善稳定性

除了提高效率外，镧元素还有助于改善太阳能电池的稳定性。以有机太阳能电池为例，基于 Co-La50% HTL 的 OSCs 器件在不同条件下（如充满氮气的手套箱中储存、环境湿度和连续照明）均表现出优异的长期稳定性。这种稳定性的提升对于太阳能电池的商业化应用具有重要意义，因为稳定性是影响太阳能电池使用寿命和性能的关键因素之一。

### (3) 降低成本

在太阳能电池的生产过程中，降低成本是提高其竞争力的关键。镧元素的应用可以在一定程度上帮助降低生产成本。例如，在全无机钙钛矿太阳能电池中，采用碳作为背电极材料，避免了昂贵的空穴传输材料以及贵金属背电极的使用，从而降低了生产成本。此外，镧系稀土离子通过简单的多步液相旋涂法进行掺杂，制备方式简单，也为降低成本提供了可能。

## 二、镧元素在太阳能电池中的应用实例

实例一：有机太阳能电池

材料：钴-镧空穴传输层（Co-La HTL）



效率：基于 Co-La50% HTL 的 OSCs 器件获得了 18.82%的最佳 PCE，远高于基于 PEDOT:PSS 的器件（18.03%）。

稳定性：在不同条件下均表现出优异的长期稳定性。



镧元素

实例二：全无机钙钛矿太阳能电池

材料：CsPbBr<sub>3</sub> 掺杂 La<sup>3+</sup>

效率：光电转换效率可达 10%以上。

稳定性：在湿度为 60~90%的环境下连续测试 110 天，在湿度为 0%的 80 度环境下连续测试 60 天，电池效率无明显衰减。



太阳能电池



## 29.2 铈元素在太阳能电池中的应用

铈是一种稀土元素，具有独特的电子结构和化学性质。在太阳能电池领域，铈元素主要以氧化铈（ $\text{CeO}_2$ ）的形式被广泛应用。氧化铈具有高介电常数、良好的热稳定性和化学稳定性，以及优异的电子传输性能，这些特性使其成为太阳能电池中重要的功能材料。



铈元素

### 一、氧化铈基本信息

氧化铈是一种淡黄或黄褐色的粉末，纯品为白色粉末或立方体结晶，不纯品可能呈现浅黄色甚至粉红色至红棕色，这是由于其中含有微量的镧、镨等元素。其密度约为  $7.13\text{g}/\text{cm}^3$ ，熔点高达  $2397^\circ\text{C}$ （也有资料指出熔点为  $1950^\circ\text{C}$  或  $2600^\circ\text{C}$ ），沸点为  $3500^\circ\text{C}$ 。氧化铈不溶于水和碱，微溶于酸，具有较高的化学稳定性。

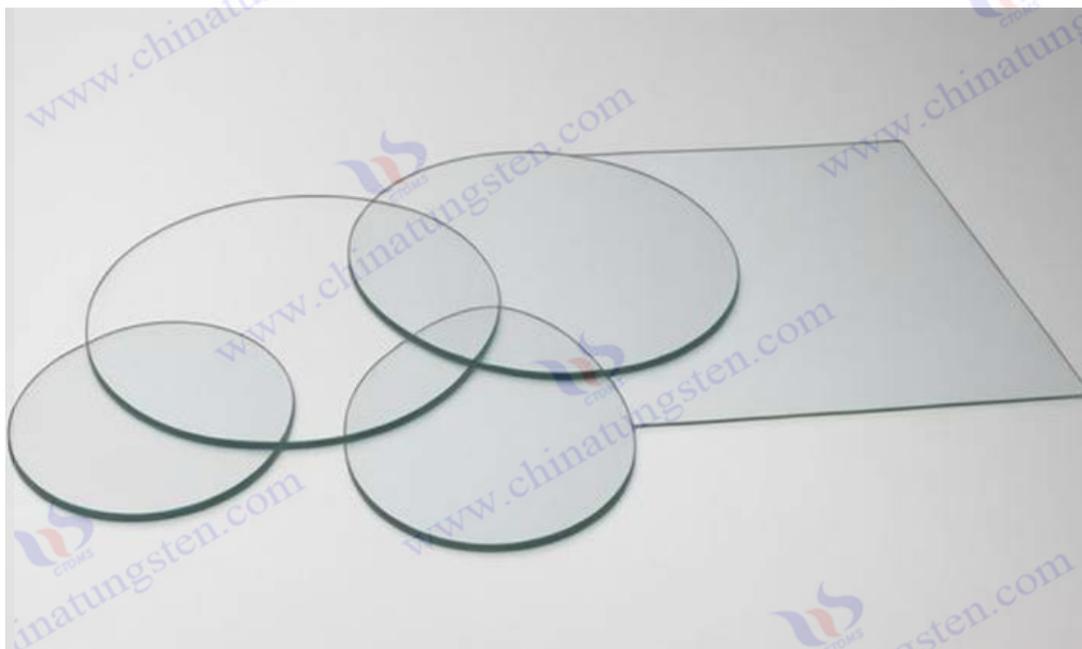


氧化铈



(1) 氧化铈的用途有哪些？

抛光材料：氧化铈是优质的抛光材料，常用于玻璃、陶瓷、宝石等材料的抛光打磨。由于其抛光速度快、光洁度高和使用寿命长的优点，被广泛应用于照相机、摄影机镜头、电视显像管、眼镜片等产品的抛光过程中。与传统抛光粉如铁红粉相比， $\text{CeO}_2$ 抛光粉不污染环境，易于从沾着物上除去，且抛光效率高。



光学玻璃

催化剂及其载体：氧化铈还是一种高效的催化剂及其载体，广泛应用于化学反应中。它可以作为催化剂参与多种有机反应，促进反应速率和转化率。同时，由于其高比表面积和均一的晶体结构， $\text{CeO}_2$ 也被用作催化剂的载体，增强催化剂的稳定性和活性。



氧化铈



紫外线吸收剂：氧化铈对紫外线有很好的吸收性，因此被用作紫外线吸收剂，保护人体皮肤免受紫外线伤害。在化妆品中， $CeO_2$ 可以与其他成分结合，起到防晒和美白的作用。

玻璃工业添加剂：在玻璃工业中，氧化铈作为添加剂，具有脱色、澄清、增强玻璃强度和耐热性等作用。它还可减少紫外线的透光率，提高玻璃的抗紫外线性能。在制备无色玻璃瓶时， $CeO_2$ 作为澄清剂，能够清除气泡和微量带色元素，使成品晶莹洁白、透明度好。

此外，氧化铈还用于燃料电池电解质、汽车尾气吸收剂、电子陶瓷、储氢材料等领域。在稀土发光材料中，高纯氧化铈也扮演着重要角色。



铈元素

## (2) 氧化铈的生产方法

氧化铈的生产方法多种多样，其中常见的包括溶胶-凝胶法、共沉淀法和水热法等。

溶胶-凝胶法是一种常用的制备氧化铈纳米材料的方法。该方法通过溶胶和凝胶的形成过程，获得高纯度和均一分散的纳米材料。具体操作包括溶解铈盐、溶胶化处理、热处理形成凝胶、干燥和煅烧等步骤。

共沉淀法是一种常用的大尺寸氧化铈材料的合成方法。通过将铈盐和碱金属盐同时加入到适当的溶液中，调节溶液的 pH 值，使得两种金属离子共沉淀形成氢氧化铈沉淀物。然后经过干燥和煅烧处理，得到氧化铈材料。

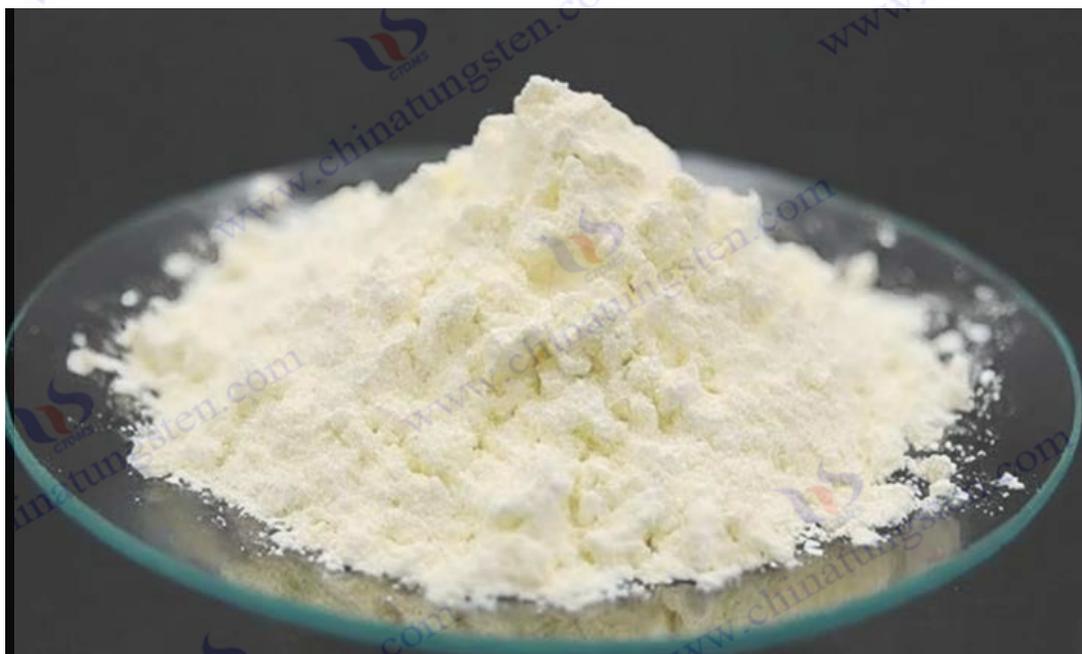
水热法利用高温和高压的水环境，使金属离子在水热过程中反应生成氧化铈。该方法简便且常用，通过超声处理使金属离子充分分散在溶液中，然后在高温高压条件下进行水热反应，最后干燥和煅烧得到氧化铈材料。



### (3) 氧化铈的毒性及安全信息

氧化铈对人体有毒性，属于非危险物质但需注意安全防护。稀土元素的盐能降低凝血酶原的含量，使其失活，并抑制凝血活素的生成，使纤维蛋白原沉淀，催化分解磷酸化合物。稀土元素的毒性随原子量增加而减弱。吸入含有铈粉尘可能导致职业性尘肺，其氯化物对皮肤有损伤，能刺激眼睛的黏膜。

在工作环境中，氧化铈的最高容许浓度为  $5 \text{ mg/m}^3$ （也有资料指出为氢氧化铈  $5 \text{ mg/m}^3$ ）。工作时应戴防毒口罩，如有放射性要进行特殊的防护，对粉尘应防止散落。



氧化铈

## 二、铈元素在太阳能电池中的应用

### (1) 作为电子传输层材料

在钙钛矿太阳能电池中，电子传输层是电池结构的关键组成部分，对电池的光电转换效率和稳定性具有重要影响。传统的电子传输层材料如二氧化钛（ $\text{TiO}_2$ ）存在需要高温处理、紫外光下不稳定等缺点。而氧化铈作为一种新型电子传输层材料，具有低温可处理、稳定性好等优势。例如，某研究团队制备了一种基于氧化铈电子传输层的钙钛矿太阳能电池，其光电转换效率达到了 22.1%，并且在连续光照下表现出良好的稳定性。

氧化铈作为电荷传输层材料，其高导电性和优异的电子传输性能有助于促进光生电子在太阳能电池中的有效传输。通过引入氧化铈，可以使电池内部的能级排列更加匹配，减少能量损失，从而提高光电转换效率。研究表明，采用氧化铈作为电子传输层的钙钛矿太阳能电池，其光电转换效率可达到 14.78% 以上。通过进一步优化  $\text{CeO}_2$  前驱体溶液的浓度和界面修饰，电池的光电转换效率可进一步提高至 17.30%。



相比传统材料如二氧化钛，氧化铈在湿度、温度和紫外光照等恶劣环境下表现出更高的稳定性。这主要得益于其良好的化学稳定性和热稳定性。因此，使用氧化铈作为电荷传输层材料，可以显著提高太阳能电池的长期稳定性和使用寿命。



太阳能电池

## (2) 作为介孔层材料

在钙钛矿太阳能电池中，介孔层材料对于钙钛矿层的形貌和结晶质量具有重要影响。传统上，二氧化钛常被用作介孔层材料，但其存在需要高温处理、紫外光下不稳定等缺点。而氧化铈作为一种新型介孔层材料，具有低温可处理性和良好的稳定性。通过制备  $\text{CeO}_2$  浆料来替代传统商用  $\text{TiO}_2$  浆料，可以简化制备工艺并提升电池性能。



氧化铈



氧化铈的高电荷迁移率和高导电性有助于优化太阳能电池中的电荷传输过程。使用氧化铈作为介孔层材料，可以促进光生电子从钙钛矿层向电子传输层的传输，并减少电荷复合过程，从而提高电池的光电转换效率。



太阳能电池

研究表明，使用氧化铈浆料替代传统商用二氧化钛浆料作为介孔层材料制备的钙钛矿太阳能电池，其最优光电转换效率可达 19.0%。此外，该电池在湿度、温度和紫外光照等恶劣环境下的稳定性也得到了显著提升。



铈元素



(2) 改善电池界面性能

氧化铈的引入还能有效改善太阳能电池各层之间的界面性能，减少界面复合，提高电荷传输效率。例如，在钙钛矿太阳能电池中，氧化铈可以修饰钙钛矿层与电子传输层之间的界面，促进光生电子的有效传输和收集。



氧化铈

紫外光是导致太阳能电池性能衰减的主要因素之一。通过在太阳能电池中引入氧化铈界面层，可以有效提高电池对紫外光的稳定性。氧化铈能够吸收和散射紫外光，减少紫外光对电池内部结构的破坏作用，从而延长电池的使用寿命。



太阳能电池



研究表明，引入氧化铈后，钙钛矿太阳能电池在连续光照下的稳定性显著提高。在 AM1.5G, 100mW/cm<sup>2</sup> 的模拟太阳光下连续光照 300 分钟后，基于氧化铈的器件仍保持初始效率的 85%，而基于二氧化钛的器件效率则衰减到初始效率的 35%。



氧化铈

### 三、铈元素在太阳能电池中的优势与挑战

#### (1) 铈元素在太阳能电池中的优势

低温可处理性: 氧化铈可在较低的温度下进行处理, 有利于在柔性衬底上制备太阳能电池。



铈元素



良好的稳定性：氧化铈在紫外光和高温环境下表现出良好的稳定性，有助于提高太阳能电池的长期使用寿命。

优异的电子传输性能：氧化铈具有优异的电子传输性能，有助于提升太阳能电池的光电转换效率。

## (2) 铈元素在太阳能电池中的挑战

成本问题：稀土元素铈的开采和提纯成本相对较高，可能增加太阳能电池的生产成本。

技术成熟度：相比传统材料如二氧化钛等，氧化铈在太阳能电池中的应用技术还不够成熟，需要进一步的研究和优化。



铈元素

随着科技的进步和研究的深入，铈元素在太阳能电池中的应用前景将更加广阔。未来，可以通过优化氧化铈的制备工艺、改进电池结构设计以及探索与其他材料的复合应用等方式，进一步提升太阳能电池的性能和稳定性。同时，随着对清洁能源需求的不断增长和环保意识的提高，铈元素在太阳能电池中的应用也将得到更多的关注和支持。

## 29.3 镨元素在太阳能电池中的应用

镨是一种银白色的金属元素，化学符号为 Pr，原子序数为 59，位于元素周期表的第六周期、第 IIIB 族。镨具有良好的光学和电学性能，特别是其氧化物（如镨钕氧化物 PNO）在太阳能电池领域具有广泛的应用前景。

### 一、镨元素在太阳能电池中的作用



### (1) 提高光电转换效率

镨元素在太阳能电池中常被用作光敏电极材料。研究表明，将镨元素或其化合物（如镨钨氧化物 PNO）作为光敏电极材料，可以大幅度提高太阳能电池的能量转化效率。PNO 具有较高的光吸收率和光电转换效率，能够更有效地将太阳能转化为电能。具体来说，PNO 作为光敏电极材料时，能够捕获更多的光子并转化为电子，从而增加电流密度和输出电压，提高整体的光电转换效率。



镨元素

此外，镨元素还可以作为掺杂剂用于改善太阳能电池的性能。例如，在钙钛矿太阳能电池中，镨掺杂的致密二氧化钛薄膜可以改善电子传输层的性质和导电性能。与未掺杂的致密二氧化钛基钙钛矿太阳能电池相比，镨掺杂的太阳能电池表现出更高的功率转换效率（PCE）。具体来说，某项研究表明，镨掺杂致密二氧化钛薄膜基钙钛矿太阳能电池的 PCE 从 14.64% 提高到 15.17%。这一数据表明，镨元素作为掺杂剂在提升太阳能电池性能方面具有显著效果。

### (2) 改善稳定性和耐久性

除了提高光电转换效率外，镨元素的应用还有助于改善太阳能电池的稳定性和耐久性。镨元素及其化合物具有良好的热稳定性和化学稳定性，能够在恶劣的工作环境下保持稳定的性能。这对于延长太阳能电池的使用寿命和提高其可靠性具有重要意义。例如，在聚合物太阳能电池中，使用镨元素或其化合物作为功能层材料可以显著提高电池的稳定性，减少因光致衰减和化学反应等因素导致的性能下降。

## 一、镨元素在太阳能电池中的应用实例





实例一：锆钨氧化物在太阳能电池中的应用

材料：锆钨氧化物（PNO）

应用：作为太阳能电池的光敏电极材料

效果：显著提高太阳能电池的光电转换效率，具体提升幅度因实验条件和材料配方而异。



太阳能电池

实例二：锆掺杂致密二氧化钛薄膜在钙钛矿太阳能电池中的应用

材料：锆掺杂致密二氧化钛薄膜

应用：改善钙钛矿太阳能电池的电子传输层性能和导电性能

数据：与未掺杂的致密二氧化钛基钙钛矿太阳能电池相比，锆掺杂的太阳能电池 PCE 从 14.64% 提高到 15.17%。



锆元素



## 29.4 钕元素在太阳能电池中的应用

钕 (Nd) 是一种银白色的金属元素，原子序数为 60，位于元素周期表的第六周期、第 III B 族。钕具有良好的延展性和导电性，同时也是一种重要的永磁材料。其化合物在光学、电学、磁学等领域具有广泛的应用，特别是在太阳能电池领域，钕的应用研究正不断深入。



钕元素

### 一、钕元素在太阳能电池中的作用

#### (1) 提高光电转换效率

在太阳能电池系统中，发电机是关键的能量转换部件。钕铁硼 (NdFeB) 作为高性能的永磁材料，被广泛应用于太阳能发电系统中的发电机中。通过优化发电机的转速和转矩，可以最大限度地提高太阳能电池的效率。这是因为太阳能电池的效率不仅取决于光电转换层的光吸收和转换能力，还受到发电机转换电能效率的影响。钕铁硼永磁体的使用，使得发电机能够更高效地转换机械能为电能，从而提升了整个太阳能发电系统的效率。



永磁材料



尽管具体的效率提升数据可能因系统设计和材料配方而异，但一般来说，使用钨铁硼永磁体的太阳能发电系统能够比传统系统更高效地转换太阳能为电能。例如，在某些研究中，通过优化发电机设计和使用高性能永磁材料，太阳能电池的发电效率得到了显著提升。

此外，钨还被用于增强钙钛矿太阳能电池的性能。研究人员发现，在钙钛矿分子中掺入钨离子可以显著提高太阳能电池的光电转换效率和稳定性。例如，在每 10000 个钙钛矿分子中加入约 8 个钨离子后，太阳能电池在最大功率下工作并在连续光照下超过 1000 小时，保持了约 93% 的光转换效率。相比之下，使用标准钙钛矿的太阳能电池在相同条件下经过 300 小时后失去了一半的电力转换效率。这一数据表明，钨元素的掺杂对于提高钙钛矿太阳能电池的性能具有显著效果。



太阳能电池

### (2) 改善稳定性和耐久性

太阳能发电系统的发电量会受到气候、天气等因素的影响，而钨铁硼永磁体的稳定性能非常好，可以帮助太阳能发电系统更好地应对工作环境和气候变化，保证其正常稳定地运行。此外，在钙钛矿太阳能电池中掺入钨元素也能显著提高电池的稳定性。例如，在没有任何设备取电的情况下对太阳能电池进行连续照射，加速了钙钛矿的降解。然而，使用含钨钙钛矿的设备在超过 2000 小时后仍保留了 84% 的电力转换效率，而使用标准钙钛矿的设备在该时间后直接无法使用。这一数据充分证明了钨元素在改善太阳能电池稳定性和耐久性方面的重要作用。

### (3) 降低成本和环保性

虽然钨元素本身属于稀土元素，资源相对有限且价格较高，但在太阳能电池中的应用可以通过提高效率和稳定性来降低整体系统的成本。高效的太阳能电池系统可以减少对太阳能电池板面积和数量的需求，从而降低材料成本和安装成本。此外，随着技术的进步和稀土



资源的回收利用，钕元素在太阳能电池中的应用也将变得更加环保和可持续。



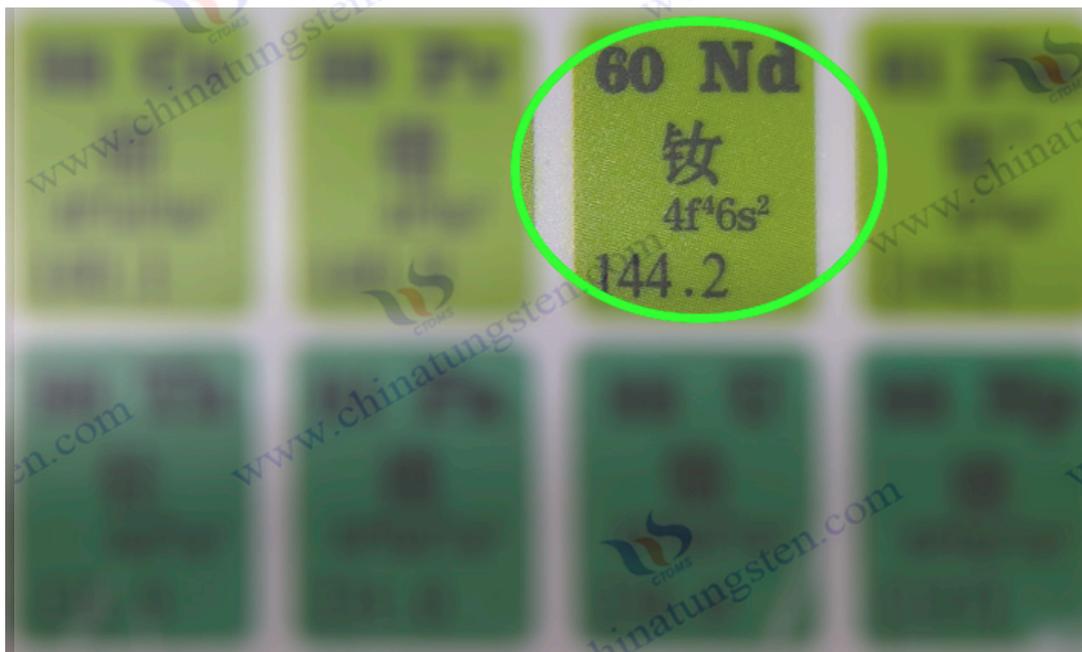
太阳能电池

## 二、钕元素在太阳能电池中的应用实例

实例一：钕铁硼永磁体在太阳能发电机中的应用

材料：钕铁硼永磁体

效果：通过优化发电机的转速和转矩，提高太阳能电池的发电效率。具体效率提升数据因系统设计和材料配方而异，但一般来说能够显著提升系统性能。



钕元素



实例二：钹掺杂钙钛矿太阳能电池

材料：含钹钙钛矿

效率：在最大功率下工作并在连续光照下超过 1000 小时，保持了约 93% 的光转换效率。

稳定性：在没有任何设备取电的情况下连续照射超过 2000 小时后，保留了 84% 的电力转换效率。



太阳能电池

## 29.5 铕元素在太阳能电池中的应用

铕是一种具有自然放射性的金属元素，化学符号为 Eu，原子序数为 63，原子量约为 152.00。它存在于许多矿物和矿石中，是稀土元素中较为常见的一种。铕的物理化学性质相对稳定，但其发光特性尤为突出。在一定条件下，铕可以发出红色的光，这种红光的主要波长在 600-650nm 之间，通常被称为“铕红”。铕的发光效率较高，同时还具有较好的光稳定性和耐热性，这些特性使得它在光电材料中的应用备受关注。



铕元素



钨元素可以应用在钙钛矿太阳能电池和量子点太阳能电池中。

## 一、太阳能电池的基本介绍

### (1) 钙钛矿太阳能电池

钙钛矿太阳能电池是一种利用钙钛矿型的有机金属卤化物半导体作为吸光材料的太阳能电池，属于第三代太阳能电池，也称作新概念太阳能电池。钙钛矿太阳能电池自 2009 年面世以来，以其高光电转换效率、低制备成本、易于制备等优点迅速成为光伏领域的研究热点。其光电转换效率在短短十几年内从 3.8% 提升到了 25.7%，展现了巨大的应用潜力。

钙钛矿太阳能电池的工作原理主要基于光电效应。当太阳光照在钙钛矿材料的 p-n 结区上，会激发形成空穴-电子对（激子）。在 p-n 结电场的作用下，激子被分离成电子与空穴，并分别向阴极和阳极输运，从而产生电流。这一过程中，钙钛矿材料作为吸光层，吸收太阳光并产生电子-空穴对，是电池的核心部分。



太阳能电池

钙钛矿太阳能电池主要由钙钛矿吸光层、电子传输材料、电极和导电质子解耦结构等组成。其中，钙钛矿吸光层是电池的核心，负责吸收太阳光并产生电子-空穴对；电子传输材料则负责将电子从吸光层传输到电极；电极则用于收集电子和空穴，形成电流；导电质子解耦结构则有助于提高电池的稳定性和效率。

钙钛矿太阳能电池的性能优势：  
高光电转换效率：钙钛矿太阳能电池的理论极限效率为 33%，远高于晶硅电池的 29.4%。通过优化电池的组分、微观结构、制备工艺等，实验室中制备的钙钛矿电池效率屡创新高。  
低成本：钙钛矿材料的制备成本相对较低，且制备工艺相对简单，有利于降低太阳能电池的制造成本。  
带隙可调：钙钛矿材料的带隙可以通过调



节其组分和微观结构来改变，从而适应不同波长的太阳光，提高电池的光谱响应范围。轻薄柔性：钙钛矿太阳能电池属于薄膜组件，具有轻薄柔性的特点，便于在可穿戴设备、建筑等领域应用。



太阳能电池

尽管钙钛矿太阳能电池具有诸多优势，但其在实际应用中仍面临一些挑战：稳定性问题：钙钛矿太阳能电池在长时间服役过程中，易受水汽、高温、紫外线等外界条件影响而发生降解，导致性能衰减。大面积制备难题：目前大面积钙钛矿薄膜的沉积设备和工艺水平受限，难以制备出高效、稳定的大面积钙钛矿太阳能电池。封装技术：钙钛矿太阳能电池的封装材料和封装工艺需进一步优化，以提高其在恶劣环境下的稳定性和耐久性。



太阳能电池



## (2) 量子点太阳能电池

量子点太阳能电池是一种利用量子点光电转换材料作为能量转换器的新型太阳能电池，它属于第三代太阳能光伏电池，是目前最新、最尖端的太阳能电池之一。



太阳能电池

量子点太阳能电池是一种利用量子点材料的光电效应将太阳能转化为电能的装置。量子点是一种尺度介于宏观固体与微观原子、分子之间的纳米材料，其典型尺寸为1至10纳米，包含几个到几十个原子。根据使用材料的不同，量子点太阳能电池可以分为多种类型，如PbS（硫化铅）、CdS（硫化镉）、InGaN（铟镓氮）等量子点太阳能电池。



太阳能电池



量子点太阳能电池的工作原理基于光电效应和量子尺寸效应。当光照射到量子点电极上时，光子能量被吸收，并将激发电子从价带跃迁到导带。由于量子点的特殊结构，电子在空间限制下运动，增加了光电转换效率。这些电子随后通过导电材料传输到电池电极，从而产生电流。

量子点太阳能电池的优势：**高光电转换效率**：量子点材料具有量子限制效应，能够有效利用光能，提高光电转换效率。与目前的多晶硅太阳能电池相比，量子点太阳能电池的光电效率可增加 50%至 1 倍以上。**宽光谱响应**：量子点太阳能电池对太阳光谱的各个波段都有良好的响应能力，可以更全面地利用光能。**调控带隙**：通过控制量子点的尺寸和组成，可以调节其带隙，以适应不同光谱条件下的光吸收和光电转换。**高稳定性**：量子点材料具有良好的光稳定性和抗光热退化性能，可以有效延长电池的使用寿命。**生产成本低**：量子点材料可以使用低成本和可扩展的基于溶液的方法进行合成，适合大规模生产。



太阳能电池

量子点太阳能电池具有广泛的应用前景，包括但不限于以下几个方面：**光伏发电**：量子点太阳能电池可用于太阳能发电站、屋顶光伏系统等大型光伏发电项目。**柔性电子产品**：由于量子点材料的灵活性和轻便性，量子点太阳能电池可轻松集成到柔性电子产品中，如可穿戴设备、便携式充电器等。**光催化**：量子点材料在光催化领域也展现出巨大潜力，可用于水分解制氢、空气净化等环保领域。**光电子器件**：量子点太阳能电池还可用于光电子器件的制造，如光电探测器、光电传感器等。

## 二、钨元素在太阳能电池中的应用

### (1) 钨元素在钙钛矿太阳能电池中的应用

钙钛矿太阳能电池作为新型光伏技术，具有高光电转换效率、低制备成本、易于制备等优点。然而，其稳定性问题一直是制约其产业化的关键因素。钨元素在钙钛矿太阳能电池中



的应用，为解决这一问题提供了新的思路。



铕元素

掺杂改性：铕掺杂钙钛矿太阳能电池可以显著改善其光电性能和稳定性。研究表明，通过掺杂铕元素，可以调节钙钛矿材料的光吸收特性，提高其光电转换效率。例如，武汉理工大学的研究团队发现，基于铕掺杂的  $\text{CsPbI}_2\text{Br}$  全无机钙钛矿材料在相对湿度低于 40% 的条件下可以稳定存在 6 个月以上，并且其光电转换效率达到了 13.71%。此外，铕的掺杂还可以抑制钙钛矿薄膜内部的非辐射复合，从而提高开路电压和器件的稳定性。



太阳能电池



提升稳定性：铕离子对在钙钛矿太阳能电池中还可以作为“氧化还原梭”，同时消除 PbO 和 I<sub>0</sub> 缺陷，进而大幅提升器件的使用寿命。北京大学的研究团队发现，通过在钙钛矿活性层中引入铕离子对 (Eu<sup>3+</sup>/Eu<sup>2+</sup>)，可以显著提高器件的热稳定性和光稳定性。在连续太阳光照或 85° C 加热 1000 小时后，器件仍可分别保持原有效率的 91% 和 89%。这一发现为解决钙钛矿太阳能电池中的稳定性问题提供了重要的理论依据和实验支持。



铕元素

## (2) 铕元素在量子点太阳能电池中的应用

量子点是一种具有优异光电性能和微观尺度效应的纳米材料，在太阳能电池领域具有广泛的应用前景。铕掺杂量子点可以显著提高其荧光和光电转换性能，从而增强量子点太阳能电池的性能。



太阳能电池



提高荧光性能：铕掺杂可以显著改善量子点的荧光性能。具体来说，铕掺杂可以提高量子点的白磷荧光和红色荧光，并且可以提高量子点的量子效率和较长的荧光寿命。这些特性使得铕掺杂的量子点在荧光显示、生物成像等领域具有广泛的应用前景。同时，在量子点太阳能电池中，铕掺杂量子点作为光吸收层或敏化层，可以拓宽光谱响应范围，提高电池的光电转换效率。

优化光电性能：通过优化铕的掺杂浓度和制备方法，可以进一步提高铕掺杂量子点太阳能电池的光电性能。例如，采用高温热注入法优化稀土铕对铅的替代比例，可以制备出具有高量子产率和优异光电性能的铕掺杂钙钛矿发光量子点。当铕和铅的替代比例为 42.3%时，铕掺杂钙钛矿发光量子点的量子产率约 90%，表现出优异的光电性能。



铕元素

### 三、铕元素在太阳能电池中的应用挑战

铕元素在太阳能电池中的应用前景广阔，但仍面临一些挑战。一方面，铕的掺杂过程可能会引起钙钛矿太阳能电池或量子点中可能的缺陷或离子上转、退火等现象，对光电性能造成影响。因此，需要进一步优化掺杂比例和工艺条件，以减少这些不利因素。另一方面，铕掺杂材料在实际应用中的稳定性和毒性等问题尚需进一步研究和解决。例如，一些研究表明铕掺杂材料中可能含有有毒元素如镉、铜等，需要开发更加环保的铕掺杂材料以满足未来社会对环保型材料的需求。

此外，随着科技的不断发展和研究的深入，铕元素在太阳能电池中的应用将能得到更进一步的发展。例如，通过开发新的合成方法和应用控制技术，可以进一步提高铕掺杂材料的稳定性和光电性能；通过深入研究铕掺杂材料的电子能带结构、能级跃迁等方面的相关性质，可以更好地理解其发光机制和光电转换机制；同时，将铕掺杂材料与其他新型光电材料相结合，可以开发出具有更高光电转换效率和更好稳定性的太阳能电池系统。



## 29.6 钆元素在太阳能电池中的应用

钆 (Gd) 是一种银白色的金属元素，原子序数为 64，原子量为 157.25。它在地壳中的含量相对较少，约为 0.000636%，主要存在于独居石和氟碳铈矿等稀土矿物中。钆具有良好的物理和化学性质，如高熔点 (1313° C)、高沸点 (3266° C)、良好的延展性和磁性等。此外，钆还具有较高的热中子俘获截面，这一特性使其在核反应堆控制材料、防护材料以及磁制冷等领域具有广泛应用。



钆的提取通常涉及从稀土矿藏中综合回收伴生的钆。采集到的矿石经过破碎、磨矿、浸出、沉淀与分离、纯化和提纯等步骤后，得到高纯度的钆物质。



稀土矿



## 一、钷元素在太阳能电池中的基本应用

### (1) 减反射层

在太阳能电池中，减反射层是一个重要的组成部分，它能够减少光线在电池表面的反射损失，提高光的吸收效率。研究表明，氧化钷 ( $Gd_2O_3$ ) 作为一种优良的减反射材料，具有与硅晶格失配率低、禁带宽度大、折射率高以及稳定性好等优点。通过有机化学气相沉积等方法在太阳能电池表面沉积一层氧化钷减反射层，并进行适当的退火处理，可以在减反射层与电池层之间形成  $SiO_2$  缓冲层，从而有效减少光线的反射损失。这种方法不仅能够提高太阳能电池的光电转换效率，还能增强其稳定性和耐久性。



氧化钷

### (2) 电子传输层优化

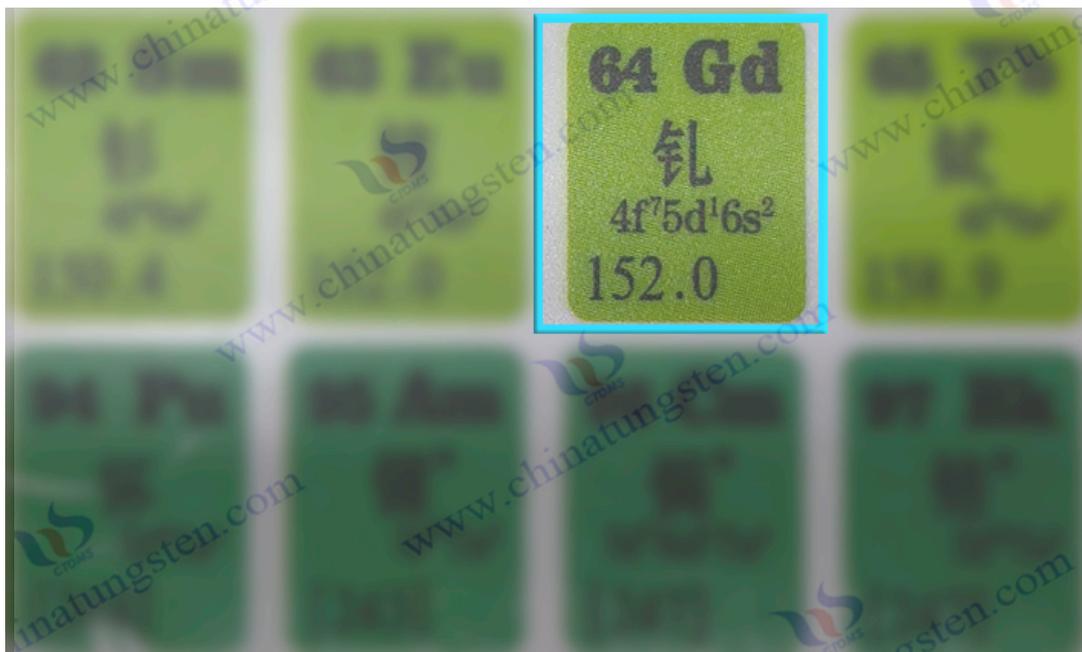
在钙钛矿太阳能电池 (PSC) 中，电子传输层的质量对电池的性能具有重要影响。二氧化锡 ( $SnO_2$ ) 作为常用的电子传输层材料，具有低迟滞、低温制备和高紫外稳定性等优点。然而， $SnO_2$  表面存在大量的锡悬挂键和氧空位缺陷，这些缺陷会导致严重的电荷复合并加剧界面的不稳定性。

为了优化  $SnO_2$  与钙钛矿层之间的界面，研究人员将钷元素引入到基于  $SnO_2$  的平面 PSC 中。实验结果显示，钷元素的引入有利于  $SnO_2$  与钙钛矿层之间形成更好的能带匹配，促进电子的传输和收集。同时，钷元素还能够有效钝化  $SnO_2$  的界面缺陷，减少电荷复合，并降低表面能，进一步提高钙钛矿薄膜的质量和 PSC 的光电转换效率 (PCE)。据报道，基于钷掺杂的 PSC 呈现出高达 22.40% 的最优 PCE 和 21.95% 的认证效率，显示出稀土元素钷掺杂在提高 PSC 光伏性能方面的巨大潜力。



### (3) 其他潜在应用

虽然目前钷元素在太阳能电池中的直接应用主要集中在减反射层和电子传输层优化方面，但随着研究的深入和技术的进步，钷元素在太阳能电池领域的应用前景将更加广阔。例如，钷元素及其化合物可能在太阳能电池的新型光电材料、电池结构设计以及能量转换效率提升等方面发挥重要作用。此外，钷元素在太阳能电池的稳定性和耐久性提升方面也具有潜在的应用价值。



钷元素

## 29.7 钷元素在太阳能电池中的应用

钷 (Tb) 是一种银白色的金属元素，原子序数为 65，位于元素周期表的第六周期、第 IIIIB 族。钷的化合物在光学、电学、磁学等领域具有优异的性能，特别是在光电转换和能量传输方面表现突出。钷元素独特的物理和化学性质，如良好的光学和电学性能，使得其在提高太阳能电池的光电转换效率、稳定性和延长使用寿命方面展现出巨大的潜力。

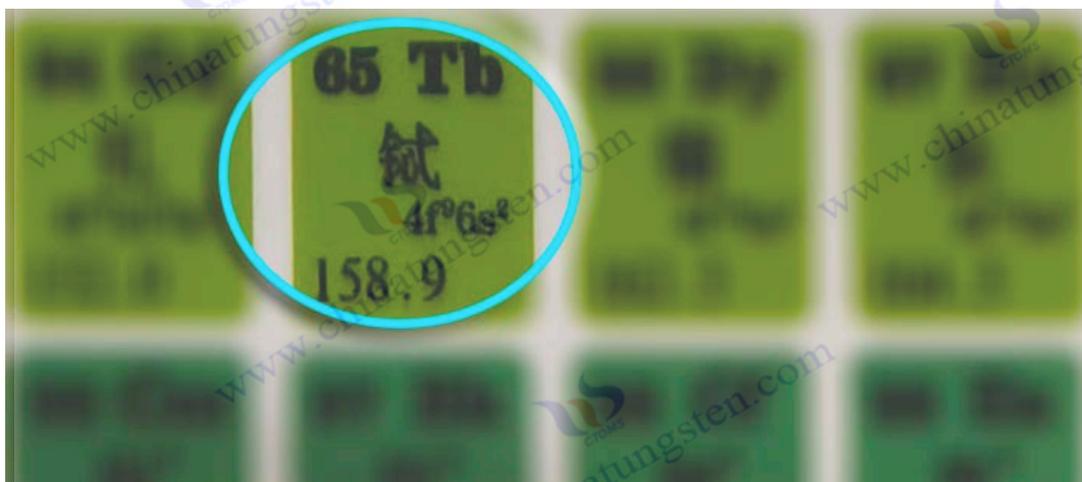
### 一、钷元素在太阳能电池中的作用

#### (1) 提高光电转换效率

光电转换层材料：在太阳能电池中，光电转换层是负责将光能转化为电能的关键组件。钷元素因其较高的光吸收能力和光电转换效率，常被用作光电转换层材料。研究表明，氧化钷 ( $Tb_4O_7$ ) 作为光电转换层材料时，能够有效地吸收太阳光谱中的可见光和红外光，并将其转化为电子能量，从而提高太阳能电池的光电转换效率。例如，在某些基于氧化钷的太阳能电池中，光电转换效率得到了显著提升，具体数值虽因实验条件和材料配方而异，但普遍表现出优于传统材料的性能。



掺杂效应：除了直接作为光电转换层材料外，铽元素还可以通过掺杂的方式改善太阳能电池的性能。例如，在全无机钙钛矿太阳能电池中，铽离子（ $Tb^{3+}$ ）的掺杂可以引入中间能级，优化光生电子的传输路径，减少电子复合反应，从而提高光电转换效率。研究表明，基于铽掺杂的  $CsPbI_3$  钙钛矿太阳能电池在环境条件下保持了光活性  $\gamma$  相，并具有显著提高的操作稳定性。在特定条件下，其功率转换效率（PCE）可达到 19% 以上，这一数值远高于未掺杂的同类电池。



铽元素

## (2) 改善稳定性

稳定性是太阳能电池商业化应用中的重要考量因素。铽元素的应用有助于提升太阳能电池的稳定性。一方面，铽化合物具有良好的耐腐蚀性和稳定性，能够保护太阳能电池中的其他材料免受外界环境的影响，延长电池的使用寿命。另一方面，通过掺杂铽元素，可优化太阳能电池的内部结构，减少缺陷和杂质对电池性能的影响，从而提高电池的长期稳定性。



太阳能电池



### (3) 减反射和光波转换

除了提高光电转换效率和稳定性外，铽元素还可以用于制备减反射和光波转换薄膜。这类薄膜能够减少太阳光在太阳能电池表面的反射损失，并将紫外光和部分可见光转换为太阳能电池能够更好吸收的光波，从而提高太阳能电池的发电能力。例如，采用凝胶溶胶法在玻璃片上镀制稀土铽掺杂的  $\text{SiO}_2$  薄膜，当稀土  $\text{Tb}^{3+}$  和金属  $\text{Zn}^{2+}$  的掺杂量均为 0.4% 时，薄膜样品的发光及太阳能输出功率最高，太阳能电池转换效率提高了 6.25%，实现了减少反射和紫外可见光波转换的双重功能。



铽元素

## 二、铽元素在太阳能电池中的应用实例

实例一：基于铽掺杂的  $\text{CsPbI}_3$  钙钛矿太阳能电池

材料： $\text{CsPb}_{1-x}\text{Tb}_x\text{I}_3$

效率：在环境条件下，基于该材料的太阳能电池获得了 19.01% 的功率转换效率（PCE），且在在大面积模块上实现了 10.94% 的效率。

稳定性：在苛刻环境条件下运行 600 小时后，保持超过 90% 的初始效率。



太阳能电池



实例二：稀土铽掺杂二氧化硅减反射和光波转换薄膜

材料：稀土铽掺杂的  $\text{SiO}_2$  薄膜

掺杂量：稀土  $\text{Tb}^{3+}$  和金属  $\text{Zn}^{2+}$  的掺杂量均为 0.4%

效果：薄膜样品的发光及太阳能输出功率最高，太阳能电池转换效率提高了 6.25%。



太阳能电池

## 29.8 镝元素在太阳能电池中的应用

镝 (Dysprosium, Dy) 是一种银白色的稀土金属元素，具有高熔点 ( $1412^\circ\text{C}$ )、高沸点 ( $2562^\circ\text{C}$ ) 和较高的密度 ( $8.55\text{g}/\text{cm}^3$ )。镝在空气中相当稳定，但在高温下易被空气和水氧化，生成氧化镝。此外，镝还具有优异的光、电、磁和核性质，这些性质使其在多个高技术领域中发挥着重要作用。



镝元素



在太阳能电池中，电子传输层是影响光电转换效率的关键因素之一。通过掺杂镱元素，可优化电子传输层的性能，减少界面缺陷，提高导电性，从而提升太阳能电池的效率。例如，有研究提出将镱掺杂到氧化锡（ $\text{SnO}_2$ ）中，形成镱掺杂氧化锡（ $\text{Dy:SnO}_2$ ）作为电子传输层材料。这种材料具有更高的电子迁移率和更低的电阻率，有利于电子的快速传输和收集。

在某项研究中，采用镱掺杂氧化锡作为电子传输层的钙钛矿太阳能电池，其光电转换效率相比未掺杂的太阳能电池有显著提升。具体提升幅度取决于掺杂浓度和太阳能电池的整体设计。

除了直接掺杂外，镱元素还可以与其他元素结合形成化合物或复合材料，用于太阳能电池的特定功能层。例如，镱的氧化物或含镱的复合材料可能具有独特的光学或电学性质，能够用于太阳能电池的光吸收层、缓冲层或保护层等。然而，目前关于镱基材料在太阳能电池中的具体应用研究还相对较少，需要进一步探索和验证。



氧化镱

## 29.9 钇元素在太阳能电池中的应用

钇元素（Yttrium, Y）在太阳能电池中的应用正逐渐受到科研界和工业界的关注。其独特的物理和化学性质，如优异的热稳定性、光学特性以及良好的电子传输性能，使得钇元素在提升太阳能电池效率和稳定性方面展现出巨大潜力。

钇是一种稀土元素，位于元素周期表的镧系元素中。它具有良好的热稳定性和化学稳定性，能够在高温和恶劣环境下保持稳定的性能。此外，钇还具有优异的光学特性，如较高的光吸收能力和良好的透光性，这些特性使得钇元素在太阳能电池领域具有广泛的应用前景。

### 一、钇元素在太阳能电池中的应用



### (1) 作为吸收层材料

钇元素被用于开发新型太阳能电池吸收层材料  $\text{CuYSe}_2$ 。 $\text{CuYSe}_2$  具有高光吸收系数和可调节的带隙，非常适合用于太阳能电池。与传统的  $\text{CuYSe}_2$  (CIS) 材料相比， $\text{CuYSe}_2$  具有更高的地壳丰度和更低的成本，这对于降低太阳能电池的生产成本具有重要意义。研究表明， $\text{CuYSe}_2$  作为吸收层材料的太阳能电池具有潜在的高效性和稳定性。

科研人员通过第一性原理计算和自蔓延高温合成法制备了  $\text{CuYSe}_2$  粉体及其薄膜，并研究了其作为太阳能电池吸收层材料的性能。实验结果表明， $\text{CuYSe}_2$  在可见光和近红外光区域具有优异的光吸收能力，且其能带结构适合光生电子的传输和分离。



钇元素

### (2) 掺杂改性

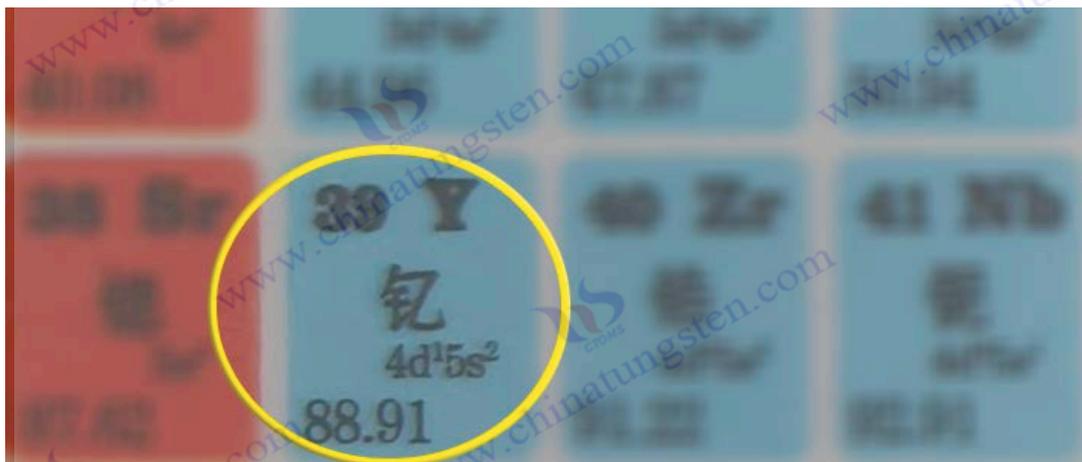
钇元素掺杂被用于改善钙钛矿太阳能电池的性能。研究表明，钇掺杂可以增加二氧化钛致密层的透过率和导电性，并提高其导带底位置，从而降低钙钛矿与电子传输层之间的界面能量势垒。这有助于提高光生电子从钙钛矿到电子传输层的传输效率，并减少界面电荷累积和电容响应。实验数据显示，具有钇掺杂电子传输层的钙钛矿太阳能电池的平均效率可由 16.38% 提高到 18.82%，最高效率可达 19.99%。

铜锌锡硫硒 (CZTSSe) 薄膜太阳能电池：钇被用于掺杂 CZTSSe 薄膜材料，以提升其性能和稳定性。CZTSSe 是一种具有高光吸收系数、可调节带隙和良好抗光衰减性能的薄膜材料，但其晶体质量差和存在大量缺陷限制了其转换效率的提高。研究表明，钇掺杂可以有效地钝化 CZTSSe 晶界和表面的缺陷，降低开路电压亏损，并提升电池的光伏性能。实验数据显示，适量的钇掺杂可以使 CZTSSe 太阳能电池的光电转换效率从 2.65% 提高到 5.67%。



### (3) 作为保护层或界面层

钇元素还可以作为保护层或界面层材料应用于太阳能电池中。由于其良好的热稳定性和光学特性，钇基材料可以有效地阻隔电池中的湿氧和有害物质，从而延长电池的使用寿命。此外，钇基材料还可以提供额外的防腐蚀和防蚀功能，使得电池在恶劣环境中表现出更好的耐久性。例如，在晶体硅太阳能电池的表面引入钇基下转移材料（如 YAG:Ce），可以通过吸收紫外光和蓝光并重新发射可见光或近红外光来提高电池的光谱响应和转换效率。实验结果显示，引入钇基下转移材料可以使电池效率从 16.64% 提高到 17.47%。



钇元素

### (4) 作为光催化剂

钇化合物，如钇铝石榴石（YAG）等，被用作太阳能电池和燃料电池中的光催化剂。光催化剂在太阳能电池中能够吸收光能并促进光生电子-空穴对的产生和分离，从而提高能量转化效率。钇铝石榴石等钇基光催化剂因其优异的稳定性和催化活性，在太阳能电池的能量转换过程中发挥着重要作用。



太阳能电池



#### (5) 作为电解质材料

在染料敏化太阳能电池（DSSC）等特定类型的太阳能电池中，钇元素可能被用作电解质材料的一部分。电解质在 DSSC 中负责传输电荷，即将光阳极产生的电子传递到对电极，同时传输对电极上的空穴。虽然钇元素直接作为电解质材料的例子较少，但其在电解质中的添加或改性可能有助于提升 DSSC 的性能。



钇元素

### 三、钇元素在太阳能电池中的优势与挑战

#### (1) 钇元素在太阳能电池中的优势

**提升效率和稳定性：**钇元素的引入可以显著提升太阳能电池的光电转换效率和稳定性，这对于推动太阳能电池的商业化应用具有重要意义。

**降低成本：**钇元素在地壳中的丰度较高且价格相对较低，这有助于降低太阳能电池的生产成本。

**多功能性：**钇元素在太阳能电池中可以发挥多种作用，如作为吸收层材料、掺杂改性剂以及保护层或界面层材料等。

#### (2) 钇元素在太阳能电池中的挑战

**技术成熟度：**相比传统材料和技术，钇元素在太阳能电池中的应用技术还不够成熟，需要进一步的研究和优化。



材料制备：钇基材料的制备工艺相对复杂且成本较高，需要探索更加高效、低成本的制备方法。



稀土矿山

环境影响：稀土元素的开采和提纯过程可能对环境造成一定影响，需要关注其环保性和可持续性。

### 三、钇元素在太阳能电池中的未来展望

随着科技的不断进步和研究的深入，钇元素在太阳能电池中的应用前景将更加广阔。未来可以期待在以下几个方面取得突破：



太阳能电池



技术优化：通过优化钇基材料的制备工艺和太阳能电池的结构设计，进一步提升其性能和稳定性。新材料开发：探索更多基于钇元素的新型太阳能电池材料，如新型吸收层材料、电子传输层材料等。商业化应用：推动钇元素在太阳能电池中的商业化应用进程，降低生产成本并提高市场竞争力。



钇元素

### 29.10 钪元素在太阳能电池中的应用

钪 (Sc) 是一种柔软的银白色过渡金属，原子序数是 21。在地壳中的含量非常低，约为 0.0005%，常与其他稀土元素如钇、铪等混合存在。尽管产量稀少，但钪因其卓越的性能，在多个高科技领域得到了广泛应用。



钪元素

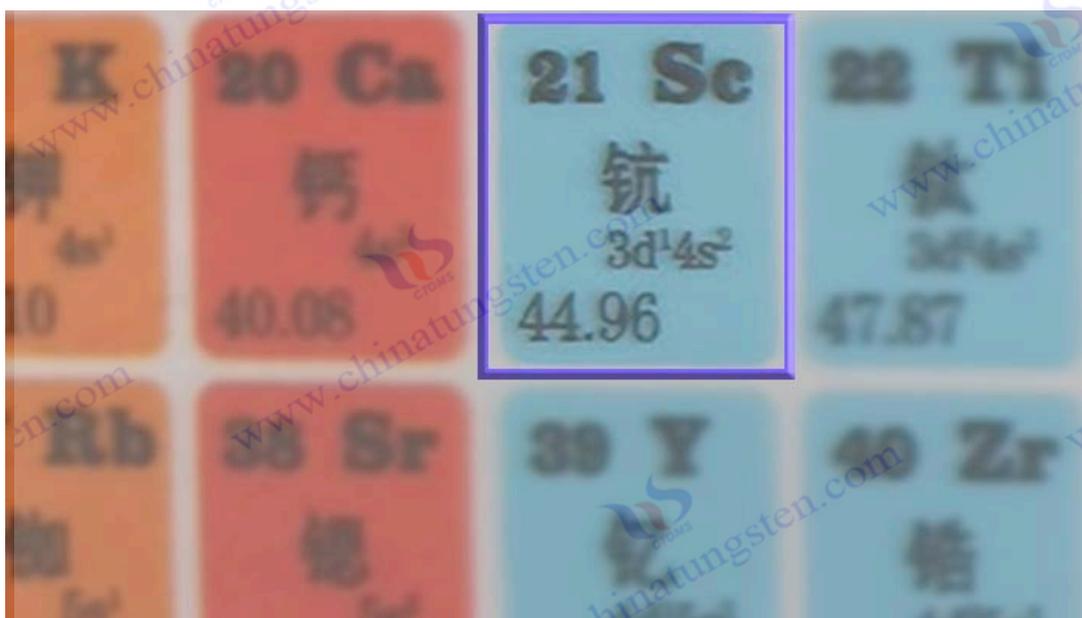


钪可以与热水反应生成氢气，因此在保存时通常需要密封在瓶子里，并用氩气等惰性气体加以保护，以防止其迅速氧化。钪的氧化物如氧化钪，具有优异的物理和化学性质，例如，其碱性强于氧化铝但弱于氧化钇和氧化铕，且不与某些化学物质如氯化铵反应。



氧化钪

钪的主要化合价为+3价，易溶于水，并可与热水发生作用。在空气中，钪容易变暗，生成氧化物。然而，在强酸中，钪的表面会形成一个不渗透的钝化层，从而阻止进一步的化学反应。钪盐通常是无色的，但与氢氧化钾和碳酸钠等化合物反应时，会形成胶体沉淀。这些盐类在结晶方面也存在一定的困难。



钪元素



钨的发现相对较晚，主要是由于其在地壳中的含量极低且分离困难。十九世纪晚期，随着对稀土元素研究的深入，钨逐渐被科学家发现并确认。钨的提取通常涉及复杂的化学过程，包括从稀土矿藏中综合回收伴生的钨。现代工业中，已经发展出了多种成熟的工艺流程来提纯钨的化合物，并最终通过电解等方法制得金属钨。



稀土矿山

由于钨具有独特的物理和化学性质，它在多个领域都有着广泛的应用。例如，在照明行业中，钨被用于制造高效、节能的钨钠灯；在合金工业中，钨的添加可以显著改善铝合金等金属材料的性能；此外，钨还在太阳能电池、化工、医疗、电子、汽车制造等领域发挥着重要作用。



汽车



钨元素在太阳能电池中的应用优势有哪些呢？

(1) 提高光电转换效率：太阳能电池的效率很大程度上取决于材料的光吸收和载流子传输性能。钨材料因其宽带隙和高光吸收系数，能够有效地吸收太阳光谱中的可见光和红外光，从而提高太阳能电池的光电转化效率。具体来说，钨可以与其他材料如硅等进行复合，形成异质结构，这种结构有助于更好地分离光生电子和空穴，减少复合损失，进而提升电池性能。

(2) 作为阻挡金属：在金属-绝缘体-半导体硅光电池和太阳能电池中，钨是最好的阻挡金属之一。它能够有效地阻止载流子的反向扩散，减少能量损失，从而提高电池的整体效率。这一特性使得钨在太阳能电池中的应用尤为重要。

(3) 促进材料改性：钨还可以用于太阳能电池的材料改性。例如，将钨掺杂到某些半导体材料中，可以改变材料的能带结构，提高其光电性能。此外，钨还可以与其他元素形成化合物，这些化合物在太阳能电池中也可能发挥重要作用。



太阳能电池

