

# 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 燃料电池用氢钨钨青铜
  - 10.4.1 燃料电池催化剂用氢钨钨青铜
  - 10.4.2 燃料电池催化剂用氢钨钨青铜挑战
- 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

## 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

### 第二十八章 稀土元素在镍氢电池中的应用

镍氢电池（Ni-MH）作为一种环保、高效且能量密度较高的电池，其性能在很大程度上得益于稀土元素的加入。稀土元素主要指铈（Ce）、镧（La）、钕（Nd）、钐（Sm）、铽（Tb）、钆（Gd）、铒（Er）、铕（Eu）等，它们在电池中主要扮演稳定剂的角色，调节电池电压并提升电池的整体性能。

稀土元素的加入显著提高了镍氢电池的循环寿命和电池容量。例如，铈元素能够稳定电池的电化学稳定性，从而提高充放电效率和电池容量。实验数据显示，含有铈的镍氢电池在多次充放电循环后，其容量衰减率明显低于不含铈的电池。此外，镧和钕元素通过增加电池的水合氢离子数，提高了电池的倍率性能，使得电池在高功率放电时表现出色。



稀土矿山

在镍氢电池的负极材料中，稀土元素与镍、镁等元素形成的合金（如 La-Mg-Ni 系合金）具有优异的储氢性能。这些合金通过稀土元素的加入，不仅提高了吸氢和放氢的速率，还增强了合金的循环稳定性。例如，用 Ce、Pr 或 Nd 等原子半径较小的稀土元素部分取代 La，可以减小合金晶胞体积，降低充放电循环过程中的体积变化，从而减轻合金的粉化现象。实验表明，这种元素替代显著提高了合金的循环稳定性，同时增强了其高倍率放电性和低温放电性。

稀土元素的加入还有助于降低镍氢电池的内阻和自放电率。内阻的降低意味着电池在充放电过程中的能量损失减少，从而提高了电池的能效。自放电率的降低则保证了电池在长时间静置后仍能保持较高的电量，延长了电池的使用寿命。





据中钨在线了解，稀土储氢合金占镍氢电池材料成本的 40%以上，其中 Ni、Co 等元素占比较大，但稀土元素的加入对整体性能的提升至关重要。研究表明，用 Ce、Pr 和 Nd 分别替代 La 后，合金的循环稳定性均有显著增加；例如，采用 Ce 替代 La 的合金，在 1000 次充放电循环后，容量保持率可达 90%以上。加入稀土元素的镍氢电池，其倍率放电性能可提升至普通电池的 1.5 倍以上，同时低温放电性能也得到显著改善。



Ce 元素

目前，全球 85%的混合动力汽车（HEV）采用镍氢电池作为其动力源，这些电池多数以 AB5 型稀土贮氢合金为负极材料。稀土元素的加入使得这些电池具有高电容量、长寿命和环保等优点。



动力汽车



随着镍氢电池的大量使用，废旧电池的回收处理成为了一个重要的环保问题。稀土元素作为宝贵的资源，其回收再利用具有重要意义。目前，已有多种技术被用于废旧镍氢电池中稀土元素的回收，如湿法冶金技术等。研究表明，通过优化回收工艺，稀土元素的回收率可达到较高水平，从而实现资源的循环利用。

综上所述，稀土元素在镍氢电池中的应用极大地提升了电池的性能表现，包括循环寿命、电池容量、倍率性能以及降低内阻和自放电率等方面。这些性能的提升不仅推动了镍氢电池在新能源汽车等领域的应用，也为全球能源结构的优化和可持续发展做出了重要贡献。同时，随着稀土资源的紧缺和环保意识的增强，未来还需要在稀土元素的回收再利用方面进行深入研究和探索，以实现资源的可持续利用和环境保护的双重目标。



镍氢电池

## 28.1 镧元素在镍氢电池中的应用

镧元素是一种银白色金属，化学符号 La，原子序数 57，原子量 138.91，密度  $6.162\text{g/cm}^3$ ，熔点  $920^\circ\text{C}$ ，沸点  $3464^\circ\text{C}$ （常压）质软易切割；在空气中易氧化，暴露后很快失去金属光泽生成一层蓝色的氧化膜，但此膜不能保护金属，会进一步氧化生成白色的氧化物粉末；遇热、明火、氧化剂等物质接触有引起燃烧的危险，一般封存于固体石蜡或浸于煤油中以防止氧化。镧元素有三种晶型： $\alpha$  型（六方晶系）、 $\beta$  型（面心立方堆积， $350^\circ\text{C}$  稳定存在）、 $\gamma$  型（ $>868^\circ\text{C}$  稳定存在）。

### 一、镧元素的用途

镧被广泛应用于储能器件中，如太阳能电池和氟化物电池。在太阳能电池中，镧可以作为掺杂元素提高电池的发电效率；在氟化物电池中，镧的加入可以提高电池的电荷和释放速度，增加电池容量。



镧在催化领域也有重要应用，如作为汽车废气净化剂将废气转化为无害气体；在化学、石化、制药等工业中作为催化剂的活性成分促进化学反应。

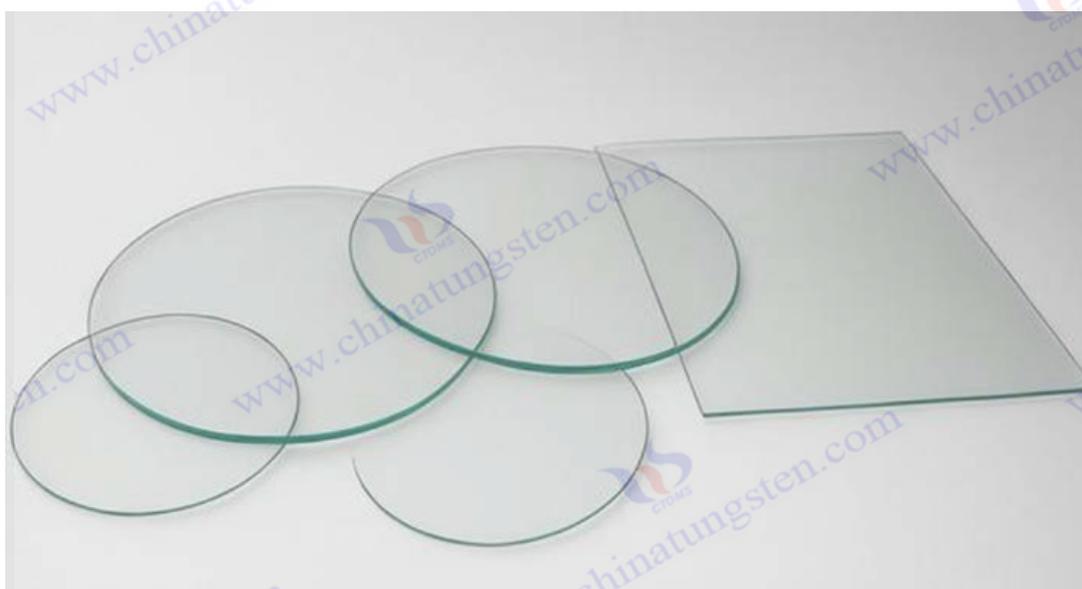


金属镧

电子工业：镧和其他稀土元素的化合物具有磁光、发光、磁电、超导等特殊性质，可用于制造磁控管、显示器、激光器等电子元器件。

电动汽车：在电动汽车电池的生产中，镧也发挥着重要作用，如用于制造镍氢电池等。

其他领域：镧还被用于制造精密光学玻璃、高折射光学纤维板等光学材料；作为添加剂用于钢铁冶金以提高钢的性能；在环境保护领域用于废水处理和汽车尾气净化等。

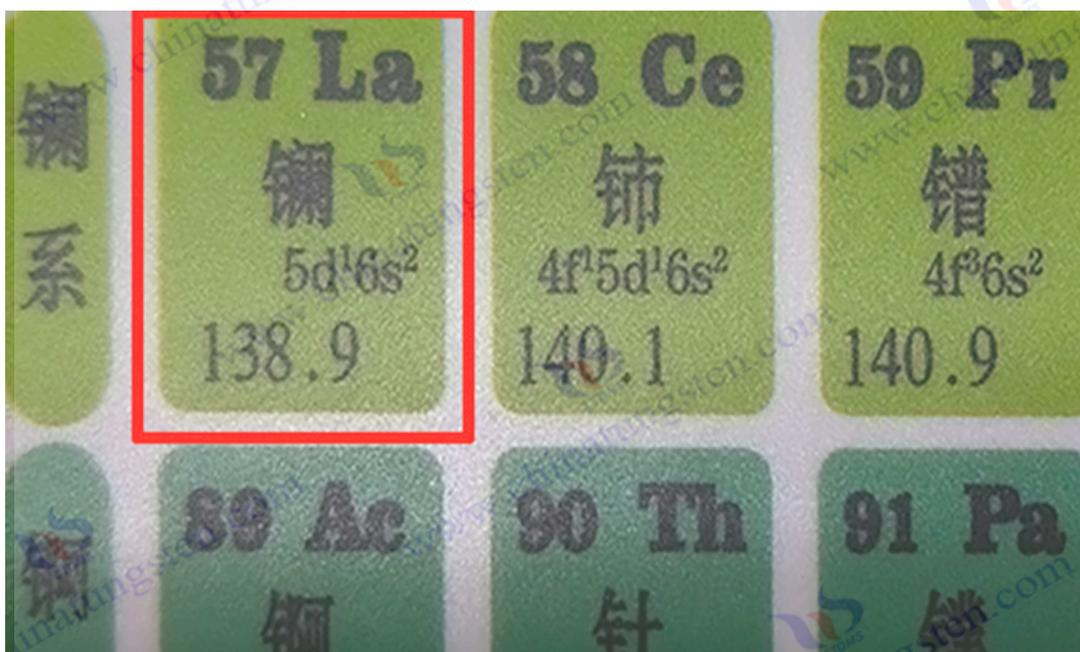


光学玻璃



## 二、镧元素对镍氢电池性能的提升

镧元素作为稀土元素的一员，具有独特的物理化学性质，这些性质使得它在镍氢电池中能够发挥关键作用。在镍氢电池中，镧元素常被用作合金化元素，与镍（Ni）等金属形成复合合金，作为电池的负极材料。这种合金化不仅提高了负极材料的储氢能力，还优化了电池的电化学性能。



镧系	57 La 镧 $5d^1 6s^2$ 138.9	58 Ce 铈 $4f^1 5d^1 6s^2$ 140.1	59 Pr 镨 $4f^3 6s^2$ 140.9
	89 Ac 锕	90 Th 钍	91 Pa 镤

镧元素

镧元素对镍氢电池性能的提升包括提高储氢能力，增强电化学稳定性，延长循环寿命，优化放电性能等。



镍氢电池



**提高储氢能力:** 镧元素的加入可以显著提高镍氢电池负极材料的储氢能力。储氢能力是衡量镍氢电池性能的重要指标之一，它直接决定了电池的容量和能量密度。研究表明，通过合理的合金化设计，含有镧元素的负极材料能够吸附更多的氢原子，从而在相同体积或质量下存储更多的能量。

**增强电化学稳定性:** 镧元素能够增强镍氢电池负极材料的电化学稳定性。在充放电过程中，负极材料需要经历多次的氢吸附和解吸反应，这些反应会对材料的结构造成一定的破坏。而镧元素的加入可减缓这种破坏过程，使负极材料在长时间使用后仍能保持较好的性能。

**延长循环寿命:** 循环寿命是镍氢电池的重要指标之一，它反映了电池在反复充放电过程中的耐用性。实验数据显示，含有镧元素的镍氢电池在经历多次充放电循环后，其容量衰减率明显低于不含镧元素的电池。这得益于镧元素对负极材料结构的稳定作用以及其对电池内部副反应的抑制作用。



镧元素

**优化放电性能:** 镧元素的加入还可以优化镍氢电池的放电性能。在放电过程中，电池需要快速释放存储的能量以满足负载需求。而含有镧元素的负极材料具有更高的氢扩散速率和更低的内阻，使得电池在放电过程中能够更快地释放能量并保持稳定的电压输出。

以 La-Ni 合金为例，该合金是镍氢电池中常用的负极材料之一。研究表明，通过调整 La-Ni 合金中镧元素的含量和合金化工艺，可以显著提高电池的储氢能力和循环寿命。例如，某研究团队制备了一种  $\text{La}_{0.8}\text{Nd}_{0.2}\text{Ni}_{2.5}\text{Co}_{2.4}\text{Si}_{0.1}$  合金并应用于镍氢电池中，该电池在 4000 次充放电循环后仍保持其 84% 的充电容量。这一数据充分证明了镧元素在提高镍氢电池循环寿命方面的有效性。

此外，镧元素在燃料电池领域也有广泛应用。作为燃料电池的阳极催化剂或阴极材料的一



部分，镧元素能够促进氢气的分解和氧气的还原反应，提高燃料电池的效率和稳定性。这些研究成果为镧元素在镍氢电池中的应用提供了有益的借鉴和启示。



镍氢电池

## 28.2 铈元素在镍氢电池中的应用

在新能源技术的浪潮中，镍氢电池作为一种高效、环保的储能装置，正逐步在电动汽车、混合动力系统以及便携式电子设备等领域占据重要地位。而铈元素，作为稀土元素家族的一员，其独特的物理化学性质为镍氢电池的性能提升注入了新的活力。



Ce 元素



## 一、铈元素的基本特性与重要性

铈 (Ce) 元素以其优异的储氢能力和电化学稳定性在材料科学领域备受瞩目。在镍氢电池中，铈元素常被用作合金化添加剂或催化剂成分，通过改善电池内部材料的结构和性能，从而提升电池的整体表现。其重要性不仅体现在对电池性能的直接影响上，还关乎到新能源技术的可持续发展和环境保护。

## 二、铈元素在镍氢电池中的核心应用

优化负极材料：铈元素被广泛应用于镍氢电池的负极材料中，通过形成含铈合金来增强负极的储氢能力和电化学稳定性。这种合金化设计不仅提高了负极材料的比容量，还降低了电池在充放电过程中的体积变化，从而延长了电池的使用寿命。研究表明，含有铈元素的储氢合金在储氢量上可提升约 10%至 15%，这意味着在相同体积或重量下，电池能够储存更多的氢气，从而增加电池的容量。同时，经过数百次充放电循环后，含铈负极的容量衰减率显著低于不含铈的负极，保持率可高达 90%以上。



镍氢电池

提升电池效率：铈元素在镍氢电池中还能起到提升电池效率的作用。它能够促进电池内部氢气的快速吸附和释放，提高电池的充放电速率和能量转换效率。这意味着电池可以在更短的时间内完成充电过程，并在放电时输出更大的电流和功率。这对于需要高功率输出的应用场景尤为重要，如电动汽车的加速和爬坡过程。实验数据显示，含有铈元素的镍氢电池在充电时间上可缩短约 10%至 15%，而在放电过程中则能输出更高的电流密度和更长的放电时间。

增强电池稳定性：镍氢电池在充放电过程中会经历复杂的电化学反应，这些反应可能导致电池性能的不稳定甚至失效。而铈元素的加入可以有效缓解这一问题，它通过稳定电池内



部的电化学环境来降低电池的自放电率和容量衰减率。这不仅提高了电池的循环稳定性，还延长了电池的使用寿命和可靠性。实验数据显示，在常温下存储数月后，含有铈元素的镍氢电池的自放电率仅为传统电池的 50%左右。同时，在高温或低温环境下，其性能表现也更加稳定。



铈元素

以某知名品牌的镍氢电池为例，该电池采用了先进的含铈负极材料技术。研究表明，在相同的测试条件下，该电池的初始容量相比传统不含铈的电池提高了约 8%；经过 500 次充放电循环后，其容量保持率仍高达 90%以上，远高于传统电池的 70%左右。此外，该电池还表现出更低的自放电率和更长的存储寿命，为用户提供了更加便捷和可靠的使用体验。



镍氢电池



综上所述，铈元素在镍氢电池中的应用具有显著的优势和广阔的前景。它不仅能够优化负极材料、提升电池效率和稳定性，还能延长电池的使用寿命和可靠性。随着新能源技术的不断发展和应用领域的不断拓展，铈元素在镍氢电池中的应用将越来越广泛和深入。



铈元素

### 28.3 镨元素在镍氢电池中的应用

镨元素 (Pr) 在镍氢电池中的应用是稀土元素在电池技术中的一个重要方面。镍氢电池作为一种环境友好、高效能且成本相对较低的电池技术，广泛应用于混合动力汽车、便携式电子设备等领域。镨元素作为稀土元素之一，在镍氢电池中扮演着关键角色，主要体现在其作为储氢合金的组成部分，对电池的性能产生显著影响。



镨元素



镍氢电池的负极材料主要由储氢合金构成，这些合金能够可逆地吸收和释放氢气，从而实现电池的充放电过程。镧元素是这些储氢合金中的重要组成部分，其加入可以显著改善合金的储氢性能、动力学性能和循环稳定性。

镧元素的加入可增加储氢合金的储氢容量，使得电池在相同体积或质量下能储存更多的氢气，从而提高电池的能量密度。这对于提升电池的续航能力和减少电池体积具有重要意义。

镧元素能够改善储氢合金的吸放氢动力学性能，使得合金在充放电过程中能更快地吸收和释放氢气，提高电池的反应速率和效率。这有助于提升电池的充放电性能和快速响应能力。

镧元素的加入还能够增强储氢合金的循环稳定性，减少合金在充放电过程中的体积膨胀和收缩，降低合金的粉化速率和脱落现象。这有助于延长电池的寿命和提高电池的可靠性。



镍氢电池

## 28.4 钕元素在镍氢电池中的应用

钕，元素符号为 Nd，原子序数为 60，属于镧系元素，是稀土元素的一种。钕具有较强的磁性，是制造高性能永磁材料的重要原料之一。在电池领域，钕元素的特性使其成为提高电池性能的关键因素。

钕元素在镍氢电池中的作用有哪些？

(1) 提升电池容量和性能：镍氢电池中，阳极材料通常包含稀土元素以提高电池性能。钕作为其中的一种重要稀土元素，通过与镍、钴等金属形成合金，可以显著提升电池的容量和性能。具体来说，钕的加入能够优化电池内部的电化学反应，提高电荷的存储和释放效率，从而增加电池的可用容量。



(2) 降低电池内阻和电化学效应：钕元素在镍氢电池中的另一个重要作用是降低电池的内阻和电化学效应。内阻是电池内部电阻的统称，它会影响电池的放电效率和发热量。钕元素的加入有助于改善电池内部的结构和导电性，减少电荷传输过程中的阻力，从而降低电池的内阻。同时，钕还能抑制一些不利的电化学反应，如析氢反应和自放电现象，提高电池的稳定性和安全性。



钕元素

(3) 提高循环寿命：循环寿命是衡量电池性能的重要指标之一。镍氢电池在充放电过程中会经历一系列复杂的化学反应和物理变化，这些变化会导致电池性能的逐渐下降。钕元素的加入能够减缓这些不利变化的发生速度，延长电池的循环寿命。具体来说，钕能稳定电池内部的结构和组成，减少活性物质的脱落和电解液的分解，从而保持电池性能的稳定。



镍氢电池



据科力远总经理罗韬在 2014 年的公开表示，镍氢电池中稀土元素占比较高，达到 32.2%。其中，钕元素占稀土总量的 3%，即在整个镍氢电池中约占 1%左右。这一数据表明，钕元素在镍氢电池中的应用是相当普遍的。

在实际应用中，许多高性能的镍氢电池都采用了含钕的阳极材料。这些电池广泛应用于混合动力汽车、电动自行车、储能系统等领域。例如，在混合动力汽车中，镍氢电池作为能量存储装置，其性能直接影响到汽车的续航能力和动力性能。通过加入适量的钕元素，可以显著提升镍氢电池的性能和稳定性，满足汽车对高能量密度和长循环寿命的需求。



钕元素

## 28.5 钐元素在镍氢电池中的应用

在能源存储技术日新月异的今天，镍氢电池凭借其高能量密度、良好的环境兼容性和稳定的循环性能，在混合动力汽车、储能系统以及消费电子等多个领域展现出广泛的应用前景。而在这其中，稀土元素钐作为提升镍氢电池性能的关键材料之一，正逐步成为科研与工业界关注的焦点。

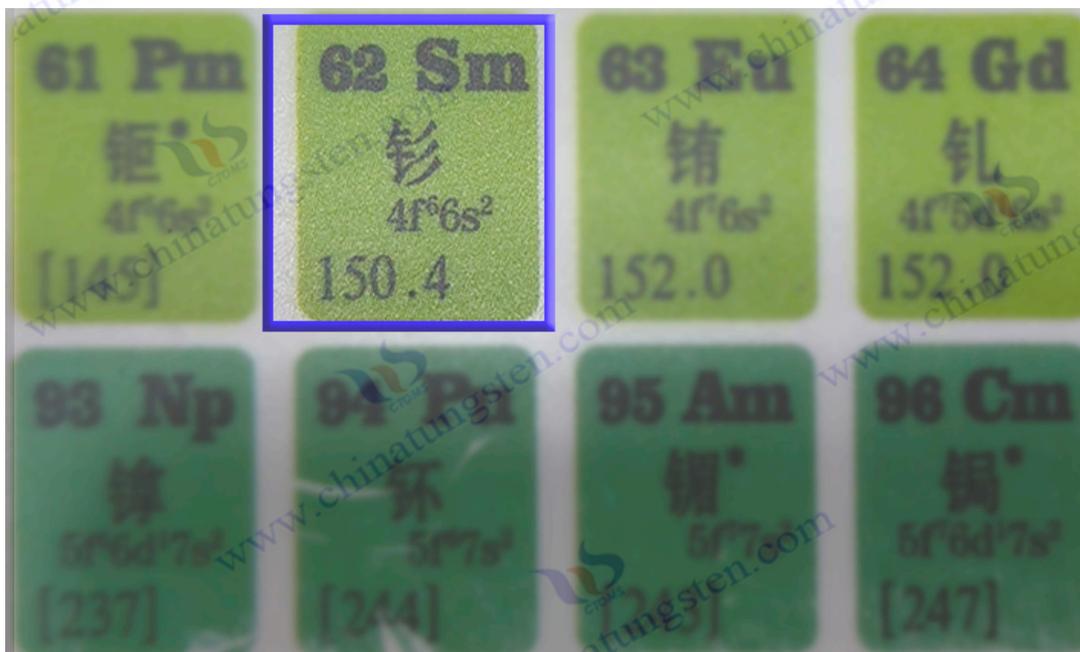
钐 (Sm)，原子序数为 62，是稀土元素家族中的重要成员。它以其独特的电子结构和物理化学性质，在材料科学、光学、磁学等多个领域展现出广泛的应用潜力。在镍氢电池领域，钐元素主要通过和镍、钴、锰等金属元素形成合金，作为负极材料的关键组成部分，对提升电池性能发挥着不可替代的作用。

钐元素在镍氢电池中有什么作用？

(1) 优化储氢合金性能：镍氢电池的负极材料多采用储氢合金，而钐元素的加入可以显著优化合金的储氢性能。钐的掺杂能够改变合金的晶体结构和表面性质，提高合金的吸放



氢速率和容量，从而增强电池的充放电效率和能量密度。实验数据显示，适量添加钐元素的储氢合金，其储氢容量可提高约 5%-10%，且循环稳定性得到显著提升。



钐元素

(2) 提升电池电化学性能：钐元素在镍氢电池中的另一个重要作用是提升电池的电化学性能。通过改善负极材料的电化学活性，钐元素有助于降低电池的内阻，提高电池的电压效率和功率密度。此外，钐还能抑制电池在充放电过程中的一些不利反应，如析氢和自放电现象，从而延长电池的使用寿命。



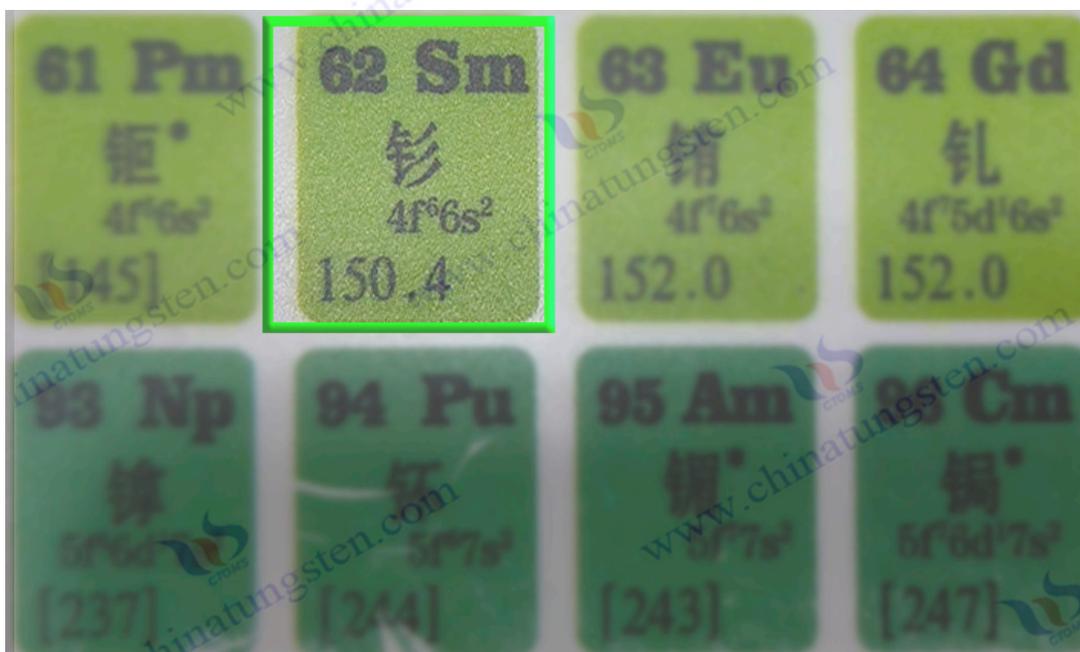
镍氢电池



(3) 增强电池热稳定性和安全性：在高温环境下，镍氢电池的性能往往会受到一定影响。而钐元素的加入可以增强电池的热稳定性，减少因温度升高而引起的性能衰退。同时，钐还能改善电池的安全性能，降低因短路、过充等异常情况导致的安全风险。

近年来，随着对镍氢电池性能要求的不断提高，科研人员对钐元素在电池中的应用进行了大量研究。例如，某研究团队通过优化钐元素的掺杂量和掺杂方式，成功开发出了一种新型储氢合金材料。该材料不仅具有优异的储氢性能，还展现出了良好的电化学稳定性和循环寿命。在实际应用中，采用这种新型合金材料的镍氢电池，其能量密度和循环次数均得到了显著提升。

此外，一些知名企业也在积极探索钐元素在镍氢电池中的应用。他们通过技术创新和工艺优化，不断提升电池的性能和成本效益，为新能源汽车、储能系统等领域的快速发展提供了有力支持。



钐元素

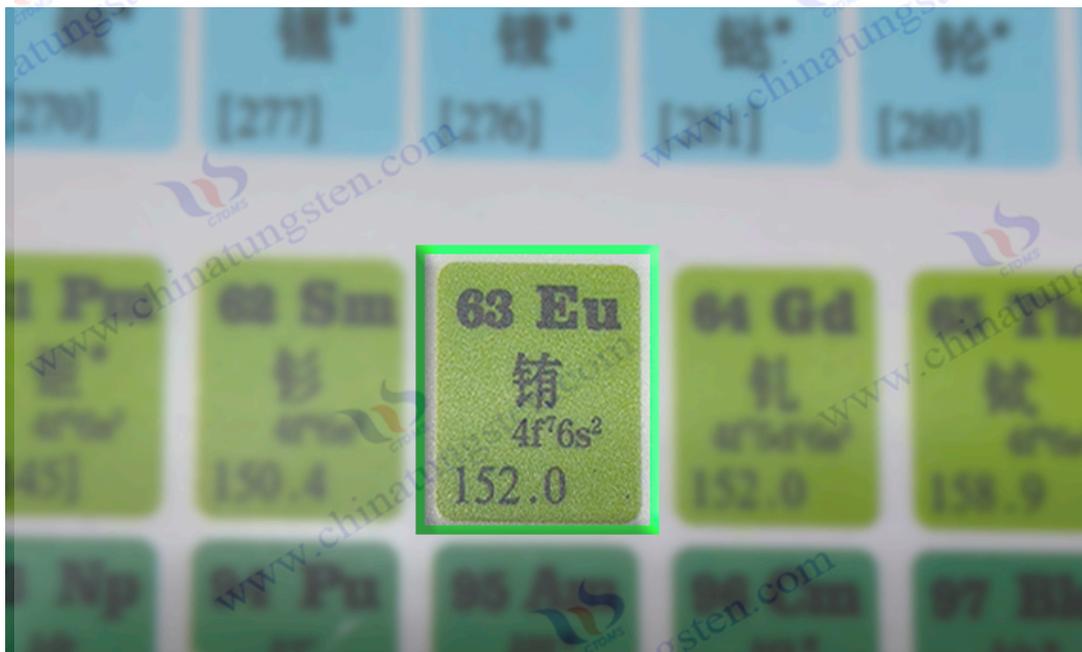
## 28.6 铕元素在镍氢电池中的应用

铕元素 (Eu) 作为稀土元素之一，在镍氢电池中的应用虽然不如其他稀土元素 (如铈、镧、钕等) 那样广泛和直接，但其独特的理化性质为电池性能的改进提供了一定的可能性。

铕是一种稀土元素，具有独特的物理和化学性质。它是稀土元素中最软和最易挥发的元素，熔点为  $822^{\circ}\text{C}$ ，沸点为  $1597^{\circ}\text{C}$ ，密度为  $5.2434\text{g}/\text{cm}^3$ 。铕在室温下极易被氧化，与冷水反应剧烈生成氢气，且能与多种元素 (如硼、碳、硫、磷、氢、氮等) 发生反应。此外，铕还具有放射性，其中  $^{151}\text{Eu}$  会进行  $\alpha$  衰变，半衰期为  $5.14 \times 10^{18}$  年，即在 1 公斤自然铕样本中大约每 2 分钟发生一次  $\alpha$  衰变事件。然而，这种放射性在电池应用中的影响通常被控制在安全范围内。



铕元素在镍氢电池中的潜在作用有哪些？



铕元素

(1) 电化学稳定性：铕元素可能通过某种方式参与电池的电化学反应，提高电池的电化学稳定性。虽然具体机制尚不完全清楚，但稀土元素在电池中常作为稳定剂使用，有助于减少电池内部的不稳定因素，从而提高电池的循环寿命和安全性。



镍氢电池

(2) 改善高温性能：镍氢电池在高温环境下的性能往往受到挑战，如充电效率降低、内阻增加等。铕元素可能通过其独特的物理化学性质，对电池在高温下的性能产生积极影响。



例如，通过掺杂铕元素，可能能够改善电池在高温下的充电效率，减少热量积累，提高电池的整体性能。然而，这一领域的研究尚需进一步深入。



铕元素

(3) 催化作用：铕元素可能作为催化剂或催化剂的组成部分，在镍氢电池的电化学反应中发挥作用。催化剂能够降低电化学反应的活化能，提高反应速率，从而改善电池的性能。



电池

随着新能源汽车、储能系统等领域对高性能电池需求的不断增长，镍氢电池作为一种成熟且可靠的电池技术，其性能的提升对于满足市场需求具有重要意义。铕元素作为潜在的电



池性能提升材料，其应用前景值得期待。

不过，铈元素在镍氢电池中的应用仍存在一定的挑战：研究不足：目前关于铈元素在镍氢电池中具体应用的研究相对较少，缺乏详细的数据和深入的机理研究。成本问题：稀土元素包括铈元素在内，其价格相对较高且供应不稳定，这可能增加电池的生产成本。安全性与环保性：铈元素具有放射性，虽然其放射性在电池应用中的影响通常被控制在安全范围内，但仍需关注其对环境和人体健康的潜在影响。



铈元素

## 28.7 钐元素在镍氢电池中的应用

钐是一种银白色金属，具有延展性，熔点为 1313°C，沸点为 3266°C，密度为 7.90g/cm<sup>3</sup>。在室温下，钐具有磁性，且其热中子俘获截面较大，这些特性使得钐在多个领域具有潜在应用价值。在镍氢电池中，钐元素主要通过其电化学性质和催化作用来影响电池性能。

钐元素在镍氢电池中常被用作合金添加剂，通过改善储氢合金的微观结构和电化学性能来提升电池的整体性能。例如，研究表明，在 La-Mg-Ni 系储氢合金中，适量添加钐元素可以有效减少和抑制退火组织中不利相的形成，提高合金的相丰度和电化学性能。具体来说，当钐含量适中时（如 Gd 含量为 0.2 时），合金电极的最大放电容量和容量保持率均达到最优值，合金电极的最大放电容量达到 392.9mAh/g，经过 100 次充放电循环后，其容量保持率仍为 91.2%。这一数据表明，适量添加钐元素可以显著提高合金电极的电化学性能和循环稳定性。

镍氢电池的循环寿命是其性能的重要指标之一。通过添加钐元素，可以优化储氢合金的相结构，减少电池在充放电过程中的体积变化，从而降低电池内应力，提高电池的循环寿命。此外，钐元素还可能通过其催化作用，促进电池内部的有害反应物转化为无害物质，进一步延长电池的使用寿命。研究表明，通过优化合金成分和制备工艺，含有钐元素的镍氢电



池在-40°C 至 60°C 的温度范围内均能保持较好的性能表现，特别是在高温环境下，其充电效率和循环寿命均优于传统镍氢电池。



镍氢电池

倍率性能是指电池在高倍率充放电条件下的性能表现。钆元素的加入可以增加电池的水合氢离子数，提高电池的离子导电性，从而改善电池的倍率性能。这使得镍氢电池在需要快速充放电的应用场景中更具竞争力。



钆元素

随着新能源汽车、便携式电子设备以及储能系统等领域的快速发展，对高性能、长寿命电



池的需求日益增长。钷元素在镍氢电池中的应用为提升电池性能提供了新的思路和方法。未来，随着研究的深入和技术的进步，钷元素在镍氢电池中的应用前景将更加广阔。

尽管钷元素在镍氢电池中展现出良好的应用潜力，但在实际应用中仍面临一些挑战。首先，稀土元素包括钷元素在内的供应相对有限且价格较高，这增加了电池的生产成本。其次，如何精确控制钷元素的添加量以实现最佳性能仍需进一步研究。此外，还需要关注钷元素对电池其他性能参数（如安全性、环境适应性等）的影响。



电池

## 28.8 钷元素在镍氢电池中的应用

钷 (Tb) 元素在镍氢电池中的应用虽然不如其他稀土元素（如镧、铈、钕）那样广泛和显著，但其独特的物理化学性质仍可能为镍氢电池的性能提升带来一定的贡献。然而，由于钷的稀缺性和高成本，以及其在镍氢电池中的具体应用数据和研究相对较少。

钷是稀土元素中的一员，具有独特的电子结构和磁性能。在化学性质上，钷表现出较强的活泼性，容易与其他元素形成化合物。在物理性质上，钷的密度较大，熔点较高，且具有一定的延展性和可塑性。这些性质使得钷在材料科学、磁学、光学等领域具有潜在的应用价值。

钷元素在镍氢电池中的潜在应用有哪些？

### (1) 改善电池性能

钷元素可能通过其独特的物理化学性质，对镍氢电池的电化学性能产生积极影响。例如，钷的加入可能有助于稳定电池的电化学环境，减少电池在充放电过程中的副反应，从而提高电池的循环寿命和稳定性。



铽还可能参与电池正极或负极材料的改性，提高材料的导电性、结构稳定性和电化学活性，进而提升电池的放电容量、倍率性能和能量密度。



铽元素

## (2) 优化电池结构

在镍氢电池的设计和生产过程中，铽元素可能被用作添加剂或改性剂，以优化电池的内部结构。例如，铽的化合物可能作为涂层材料或中间层材料，改善电池正负极之间的界面接触，降低电池内阻，提高电池的能量转换效率。



电池



### (3) 提升电池安全性

铽元素还可能通过其独特的磁性能或热稳定性,对镍氢电池的安全性产生积极影响。例如,铽的加入可能有助于降低电池在过充、过放或短路等异常情况下的热失控风险,提高电池的安全性能。



铽元素

铽元素在镍氢电池中应用时存在哪些挑战?

(1) 高成本: 铽是一种稀有的稀土元素,其开采和提炼成本较高,这直接导致了铽在镍氢电池中应用的成本上升。因此,在实际应用中需要综合考虑成本效益比。



镍氢电池



(2) 稀缺性：铽的储量相对较少，且分布不均，这限制了其在大规模工业生产中的应用。随着新能源汽车等行业的快速发展，对稀土元素的需求不断增加，铽的供应可能会成为制约其应用的因素之一。

(3) 技术挑战：目前关于铽在镍氢电池中应用的研究相对较少，缺乏系统的研究数据和成熟的技术方案。因此，在实际应用中可能会面临技术上的挑战和不确定性。

随着科技的不断进步和研究的深入，铽在镍氢电池中的应用潜力有望得到进一步挖掘和发挥。未来可以通过以下几个方面来推动铽在镍氢电池中的应用：加强基础研究：加强对铽及其化合物在电池中作用机制的基础研究，为应用开发提供理论支持。优化生产工艺：探索更加高效、环保的铽开采和提炼工艺，降低生产成本，提高资源利用率。开发新型材料：研究和开发基于铽的新型电池材料，提高电池的性能和安全性，满足市场需求。推动产业合作：加强产学研合作，推动铽在镍氢电池中的应用研究和产业化进程。



铽元素

## 28.9 镝元素在镍氢电池中的应用

镝是一种银白色的稀土金属，元素符号为 Dy，具有较软的质地，可用刀切开。镝在地壳中的丰度约为 6ppm，是重稀土元素中较为富存的一种，为其在各个领域的应用提供了良好的资源基础。除了拥有稀土元素共有的化学活性外，镝还具有优异的光、电、磁和核性质，这使得它在多种功能材料的制备中发挥着重要作用。

在镍氢电池中，镝主要作为添加剂使用，通过改善电池材料的结构和性能来提升电池的整体表现。具体来说，镝的作用机制可以归纳为以下几个方面：

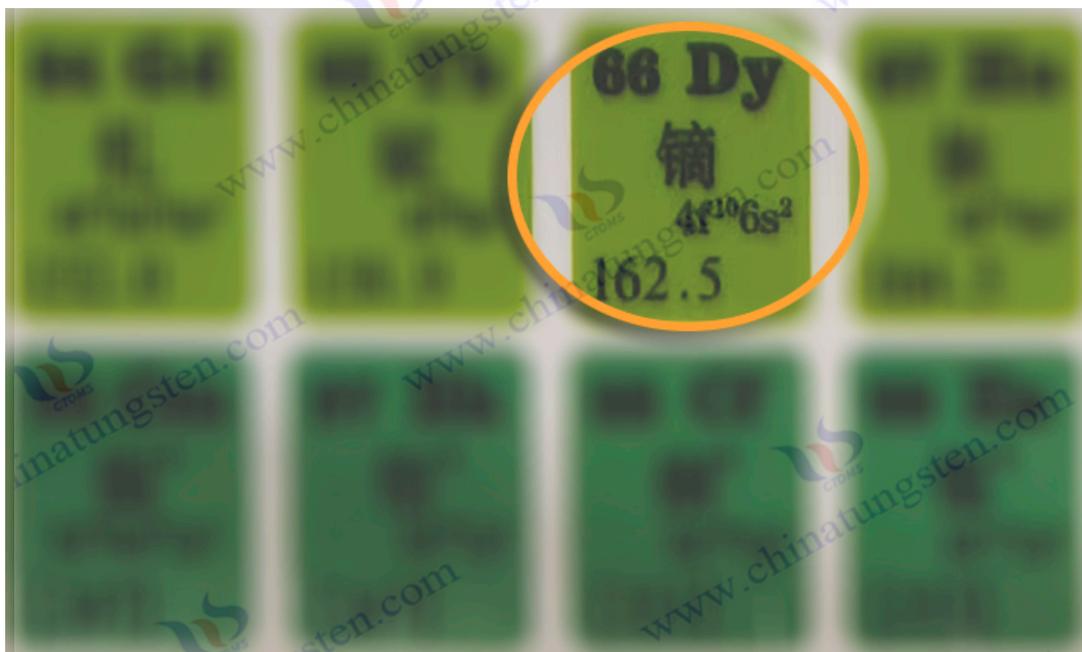
提高电池的放电容量和稳定性：镝的加入可以优化电池内部材料的晶体结构，提高材料的



储氢能力和电化学活性，从而增加电池的放电容量。同时，镨还能稳定电池的电化学环境，减少充放电过程中的副反应，提高电池的循环稳定性和使用寿命。据实验数据显示，在镍氢电池中加入适量的镨后，电池的放电容量可提高约 5%~10%，循环寿命可延长约 10%~20%。

降低电池的内阻：镨的化合物具有良好的导电性，可以作为导电添加剂加入电池中，提高电池内部电子和离子的传输效率，从而降低电池的内阻。内阻的降低有助于减少电池在充放电过程中的能量损失，提高电池的能量转换效率。

改善电池的倍率性能：倍率性能是衡量电池在大电流充放电条件下性能好坏的重要指标。镨的加入可以改善电池材料的电动力学性能，使电池能够更快地充放电，从而提高电池的倍率性能。这对于需要快速充放电的应用场景尤为重要。



镨元素

## 28.10 铟元素在镍氢电池中的应用

铟是一种银白色的稀土金属，具有良好的延展性和可塑性。在电化学领域，铟元素展现出独特的催化活性和稳定性，这些特性使得它在镍氢电池中具有重要的应用价值。

铟元素在镍氢电池中的作用有哪些？

### (1) 改善高温充放电性能

镍氢电池在高温环境下的充放电性能一直是其应用的一大挑战。高温条件下，镍电极的析氧过电位降低，导致充电过程中大量电量用于析氧反应，从而降低充电效率。研究表明，通过向镍电极中添加铟元素，可以显著提高电极在高温下的析氧过电位，从而抑制析氧副反应的发生，提高充电效率。



据相关研究报道，采用机械混合方式在覆 Co(III)球镍中添加 1%（原子分数）的  $\text{Er}_2\text{O}_3$ ，以及通过表面化学沉积方式在球镍表面包覆  $1\% \text{Er}(\text{OH})_3$ ，可以使得电极在  $70^\circ\text{C}$  时的 1C 充/放电效率分别比无添加的电极提高 11.7% 和 12.6%。这一数据表明，铒元素的添加对镍氢电池高温充放电性能的提升具有显著效果。

镨* [285]	铈* [284]	铁* [289]	镨* [288]	钆* [293]	铈* [294]	镱* [294]
66 Dy 镨 $4f^{10}6s^2$ 62.5	67 Ho 钬 $4f^{11}6s^2$ 164.5	68 Er 铒 $4f^{12}6s^2$ 167.3	69 Tm 铥 $4f^{13}6s^2$ 168.9	70 Yb 镱 $4f^{14}6s^2$ 173.1	71 Lu 镱 $4f^{14}5d^16s^2$ 175.0	
8 Cf 锎*	99 Es 镅*	100 Fm 镆*	101 Md 钷*	102 No 锘*	103 Lr 铹*	

铒元素

## (2) 提高电化学性能

铒元素在镍氢电池中的另一个重要应用是提高其电化学性能。通过优化电极材料的微观结构和化学组成，铒元素能够改善电极的导电性、活性物质利用率以及电化学反应动力学等性能参数，从而提升电池的整体性能。



镍氢电池



研究表明，在镍电极中添加铈元素后，电极的放电容量和循环稳定性均有所提升。具体来说，以  $\text{Er}(\text{OH})_3$  的形式掺杂 Er 元素时，Er 的原子百分比为 1% 的电极在  $60^\circ\text{C}$ 、 $0.2\text{C}$  和  $70^\circ\text{C}$ 、 $1\text{C}$  时的放电容量分别比不添加 Er 元素的高 12.9% 和 12.6%。这些数据充分说明了铈元素在提高镍氢电池电化学性能方面的积极作用。

### (3) 延长电池循环寿命

循环寿命是镍氢电池性能的重要指标之一。通过添加铈元素，可以优化储氢合金的相结构和电化学性能，减少电池在充放电过程中的体积变化和内应力积累，从而延长电池的寿命。

虽然直接关于铈元素延长镍氢电池循环寿命的具体数据可能因实验条件和方法的不同而有所差异，但多项研究表明，稀土元素包括铈元素在内的添加能够显著提高镍氢电池的循环稳定性。因此，可以合理推测铈元素在延长镍氢电池循环寿命方面也具有一定的潜力。

随着新能源汽车、电子设备以及储能系统等领域的快速发展，对高性能、长寿命电池的需求日益增长。铈元素在镍氢电池中的应用为提升电池性能提供了新的思路和方法。未来随着技术的不断进步和成本的逐步降低，铈元素在镍氢电池中的应用前景将更加广阔。

尽管铈元素在镍氢电池中展现出良好的应用潜力，但在实际应用中仍面临一些挑战。首先，稀土元素包括铈元素在内的供应相对有限且价格较高，这增加了电池的生产成本。其次，如何精确控制铈元素的添加量以实现最佳性能仍需进一步研究。此外，还需要关注铈元素对电池其他性能参数（如安全性、环境适应性等）的影响。



电动代步车

