



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

www.chinatungsten.com

电话/TEL: 0086 592 512 9696/512 9595

传真/FAX: 0086 592 512 9797

邮箱/Email sales@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



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

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.

DR. HANNS

©CHINATUNGSTEN ONLINE

XIAMEN CHINA, NOV.01,2023

www.ctia.com.cn

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 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 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；多年的经验和技术积累，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
中钨在线® 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. 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, 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

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）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。

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、铌钨氧化物、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、轻重量等优点、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%；从实际需求量来看，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
 - 2.2.1.9.9 锂离子电池对正极材料的要求
 - 2.2.1.9.10 锂离子电池对负极材料的要求
 - 2.2.1.9.11 锂离子电池对隔膜的要求
 - 2.2.1.9.12 锂离子电池对电解液的要求
- 2.2.1.10 锂离子电池技术指标
- 2.2.1.11 锂离子电池使用注意事项
- 2.2.1.12 锂离子电池的应用
- 2.2.1.13 锂离子电池的发展状况
- 2.2.1.14 锂离子电池的发展瓶颈
- 2.2.1.15 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 锂硫电池隔膜的種類
 - 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 锂离子电池使用注意事项

2.10.8 锂离子电池的应用

2.10.9 锂离子电池的发展现状

2.10.10 锂离子电池的发展前景

2.10.11 锂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案

12.2 纳米三氧化钨在电池中的技术挑战与解决方案

12.3 纳米紫色氧化在电池中的技术挑战与解决方案

12.4 铌钨氧化物在电池中的技术挑战与解决方案

12.5 纳米二硫化钨在电池中的技术挑战与解决方案

12.6 纳米二硒化钨在电池中的技术挑战与解决方案

12.7 纳米氮化钨在电池中的技术挑战与解决方案

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 钼在新能源电池市场的介绍

第十五章 新能源电池中的钼化合物介绍

15.1 什么是氧化钼

15.1.1 氧化钼结构

15.1.2 氧化钼理化性质

15.1.3 氧化钼分类

15.1.3.1 新能源电池用三氧化钼

15.1.3.2 新能源电池用二氧化钼

15.1.3.3 新能源电池用氧化钼纳米线

15.1.3.4 新能源电池用氧化钼纳米棒

15.1.3.5 新能源电池用氧化钼纳米纤维

15.1.3.6 新能源电池用微米氧化钼

15.1.3.7 新能源电池用亚微米氧化钼





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钼的挑战
- 16.3 二硫化钼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钼
 - 16.3.2 锂离子电池负极材料用二硫化钼的挑战
- 16.4 二硒化钼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钼
 - 16.4.2 锂离子电池负极材料用二硒化钼的挑战
- 16.5 钼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钼酸锂
 - 16.5.2 锂离子电池负极材料用钼酸锂
 - 16.5.3 锂离子电池电极材料用钼酸锂的挑战
 - 16.5.4 锂离子电池电解液用钼酸锂
 - 16.5.5 锂离子电池电解液用钼酸锂的挑战
- 16.6 钼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钼酸铁
 - 16.6.2 锂离子电池电极材料用纳米棒状钼酸铁的挑战
- 16.7 钼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钼酸铜
 - 16.7.2 锂离子电池电极材料用钼酸铜的挑战
- 16.8 钼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钼酸镍
 - 16.8.2 锂离子电池负极材料用钼酸镍
 - 16.8.3 锂离子电池电极材料用钼酸镍的挑战

第十七章 钼在锂硫电池中的应用

- 17.1 碳化钼在锂硫电池中的应用
 - 17.1.1 锂硫电池正极材料用碳化钼复合材料
 - 17.1.2 锂硫电池集流体材料用碳化钼纳米纤维
 - 17.1.3 锂硫电池用碳化钼的挑战
- 17.2 氮化钼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钼
 - 17.2.2 锂硫电池电极材料用氮化钼复合材料
 - 17.2.3 锂硫电池隔膜用氮化钼量子点
 - 17.2.4 锂硫电池中间层用氮化钼纳米片
 - 17.2.5 锂硫电池用氮化钼的挑战
- 17.3 二硫化钼在锂硫电池中的应用
 - 17.3.1 锂硫电池正极材料用二硫化钼纳米片
 - 17.3.2 锂硫电池负极材料用二硫化钼复合材料
 - 17.3.3 锂硫电池电极材料用二硫化钼的挑战
- 17.4 三硫化钼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钼
 - 17.4.2 锂硫电池负极材料用三硫化钼纳米片
 - 17.4.3 锂硫电池电极材料用三硫化钼的挑战





17.5 二硒化钼在锂硫电池中的应用

- 17.5.1 锂硫电池正极材料用二硒化钼复合材料
- 17.5.2 锂硫电池负极材料用二硒化钼复合材料
- 17.5.3 锂硫电池电极材料用二硒化钼的挑战

第十八章 钼在钠离子电池中的应用

18.1 氧化钼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钼
- 18.1.2 钠离子电池负极材料用三氧化钼
- 18.1.3 钠离子电池负极材料用氧化钼的挑战

18.2 二硫化钼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钼复合材料
- 18.2.2 钠离子电池负极材料用二硫化钼的挑战

18.3 二硒化钼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钼复合材料
- 18.3.2 钠离子电池负极材料用二硒化钼的挑战

18.4 钼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钼酸锂
- 18.4.2 钠离子电池负极材料用钼酸锂的挑战

18.5 钼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钼酸铁
- 18.5.2 钠离子电池负极材料用钼酸铁的挑战

18.6 钼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钼酸镍
- 18.6.2 钠离子电池电极材料用钼酸镍的挑战

第十九章 钼在锌离子电池中的应用

19.1 氧化钼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钼
- 19.1.2 锌离子电池负极材料用二氧化钼
- 19.1.3 锌离子电池正极材料用三氧化钼
- 19.1.4 锌离子电池负极材料用三氧化钼
- 19.1.5 锌离子电池电极材料用氧化钼的挑战

19.2 二硫化钼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钼
- 19.2.2 锌离子电池正极材料用二硫化钼纳米片
- 19.2.3 锌离子电池负极材料用二硫化钼纳米片
- 19.2.4 锌离子电池负极材料用二硫化钼复合材料
- 19.2.5 锌离子电池电极材料用二硫化钼的挑战

19.3 钼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钼钒氧化物
- 19.3.2 锌离子电池电极材料用钼钒氧化物的挑战





19.4 钼酸锌在锂离子电池中的应用

19.4.1 锂离子电池负极保护层用钼酸锌

19.4.2 锂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 钼酸钬在燃料电池中的应用

20.6.1 燃料电池电解质用钼酸钬

20.6.2 燃料电池电解质用钼酸钬的挑战

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 铕元素
- 25.7 钆元素
- 25.8 铽元素
- 25.9 镱元素
- 25.10 镱元素
- 25.11 镱元素
- 25.12 铪元素
- 25.13 铪元素

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 钨元素在锂离子电池中的应用
- 26.7 钼元素在锂离子电池中的应用
- 26.8 钽元素在锂离子电池中的应用
- 26.9 铌元素在锂离子电池中的应用
- 26.10 镱元素在锂离子电池中的应用
- 26.11 镱元素在锂离子电池中的应用
- 26.12 钇元素在锂离子电池中的应用
- 26.13 铈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 钕元素在钠离子电池中的应用
- 27.4 钐元素在钠离子电池中的应用
- 27.5 钐元素在钠离子电池中的应用
- 27.6 钐元素在钠离子电池中的应用
- 27.7 铈元素在钠离子电池中的应用
- 27.8 镱元素在钠离子电池中的应用
- 27.9 镱元素在钠离子电池中的应用
- 27.10 钇元素在钠离子电池中的应用
- 27.11 铈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

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

第二十七章 稀土元素在钠离子电池中的应用

钠离子电池作为一种潜力巨大的储能技术,近年来受到广泛关注。与传统锂离子电池相比,钠离子电池具有成本低、资源丰富、安全性高等显著优势。然而,钠电池在能量密度、循环寿命和充放电速率等方面仍需进一步改进。在这一背景下,稀土元素作为一类具有独特物理化学性质的元素,被广泛应用于钠电池的正负极材料中,以提升其综合性能。



稀土矿山

一、稀土元素在钠电池正极材料中的应用

(1) 镧和其他稀土元素的掺杂

镧(La)是稀土元素中的代表性成员,其掺杂可以显著改善正极材料的晶体结构和电化学性能。例如,将镧引入磷酸钒钠(NVP)正极材料中,可以通过稳定晶体结构、扩大层间距和提高离子电导率来提升材料的循环稳定性和倍率性能。这种掺杂效应使得 NVP 正极材料在钠离子电池中表现出更高的能量密度和更长的循环寿命。此外,其他稀土元素如铈(Ce)、钕(Nd)等也被广泛应用于正极材料的掺杂改性中,以提高材料的综合性能。

(2) 含稀土元素的层状氧化物

层状氧化物是钠离子电池正极材料的重要类别之一,而稀土元素的引入可以进一步优化其性能。例如,NaLuO₂作为一种含稀土元素的层状氧化物正极材料,表现出独特的充放电特性。研究发现,以 NaLuO₂为正极材料的钠离子电池在充放电循环过程中,比容量会规



律性地出现“突升”现象，并在随后的循环中稳定在一个较高的水平。这种独特的性能使得 NaLuO_2 在延长电池寿命方面具有显著优势。此外，科研人员还在不断探索其他含稀土元素的层状氧化物正极材料，以期进一步提升钠电池的性能。



NaLuO_2

(3) 聚阴离子型正极材料

聚阴离子型正极材料以其低成本、高循环稳定性和良好的安全性在钠离子电池中受到青睐。稀土元素的引入可以进一步提升这类材料的性能。例如，将稀土元素掺杂到磷酸盐、硫酸盐等聚阴离子型正极材料中，可以通过改变材料的晶体结构、提高离子电导率和降低电荷转移电阻来提升材料的电化学性能。这种改性策略使得聚阴离子型正极材料在钠电池中表现出更高的能量密度和更长的循环寿命。



钠离子电池



二、稀土元素在钠电池负极材料中的应用

(1) 合金类负极材料

合金类负极材料因其高理论容量而在钠离子电池中受到关注。然而，这类材料在充放电过程中容易发生体积膨胀和粉化，导致循环稳定性差。稀土元素的引入可以通过与合金元素形成稳定的化合物来抑制体积膨胀，提高材料的循环稳定性。例如，钪（Sc）的引入可以稳定 ScP/C 负极材料的结构，防止在充放电过程中发生严重的体积变化。此外，稀土元素还可以改善合金类负极材料的电导率和离子扩散速率，从而提升其倍率性能。

K 钾 4s ¹ 19	20 Ca 钙 4s ² 40.08	21 Sc 钪 3d ¹ 4s ² 44.96	22 Ti 钛 3d ² 4s ² 47.87
Rb 铷 5s ¹ 85.47	38 Sr 锶 5s ² 87.62	39 Y 钇 4d ¹ 5s ² 88.91	40 Zr 锆 4d ² 5s ² 91.22

钪元素

(2) 碳基负极材料

碳基负极材料因其成本低、资源丰富而在钠电池中得到广泛应用。然而，碳基材料的储钠容量相对较低。稀土元素的引入可以通过与碳材料形成复合材料或对其进行掺杂改性来提升其储钠性能。例如，将稀土元素与石墨烯或碳纳米管等纳米碳材料复合，可以构建具有优异导电性和机械性能的复合负极材料。这种复合材料在钠电池中表现出更高的比容量和更长的循环寿命。

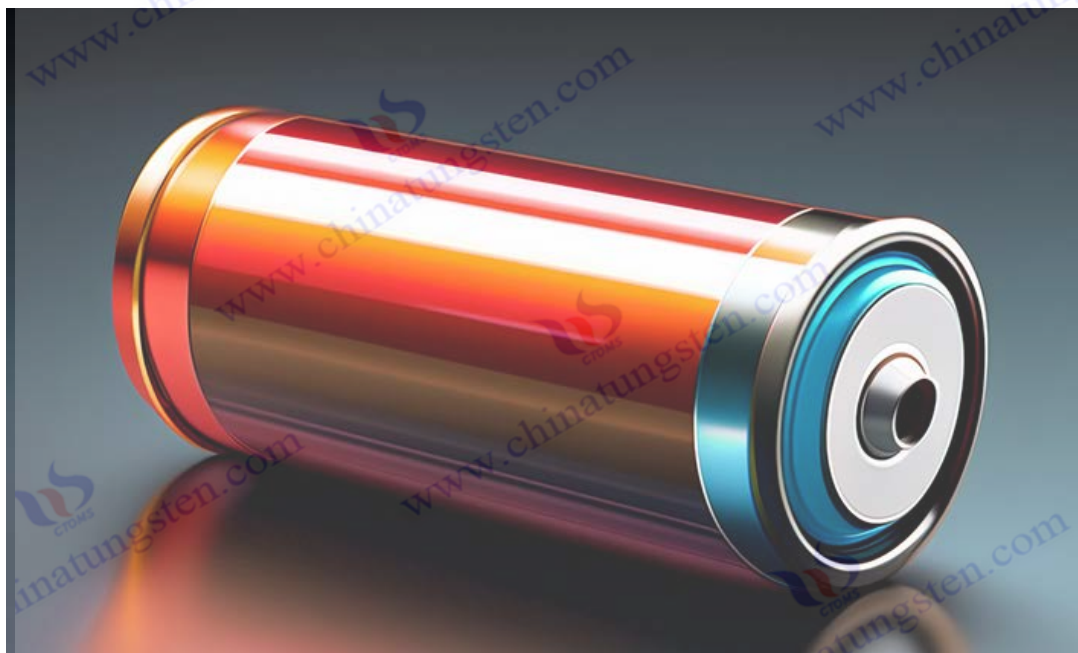
(3) 新兴负极材料

近年来，科研人员还开发了多种新型负极材料以提高钠离子电池的性能。其中，含稀土元素的硫化物负极材料因其高理论容量和良好的电化学性能而受到关注。例如，德国基尔大学的学者采用高温合成法制备的含稀土元素的高结晶 CuFeS_2 作为钠离子电池的负极材料，表现出优异的电化学性能。这种材料在充放电过程中能够保持良好的结晶性，从而实现高比容量和长期稳定性。



三、稀土元素在钠电池中的商业化进展

随着科研技术的不断进步和商业化需求的增加，稀土元素在钠离子电池中的应用已经取得了一定的进展。一些大型能源企业和科研机构已经开始进行钠电池的量产和推广。例如，中国的新能源企业宁德时代已经成功开发出了具有自主知识产权的钠离子电池，并计划在未来几年内实现量产。此外，一些国际知名科研机构 and 高校也在积极开展钠离子电池的研究和开发工作，为未来的能源存储技术发展奠定了基础。



钠离子电池

在商业化进程中，稀土元素的应用为钠离子电池提供了更多可能性。通过优化稀土元素的掺杂量、选择合适的复合材料和开发新型电极结构等措施，可以进一步提升钠电池的能量密度、循环寿命和安全性等关键指标。这些努力将推动钠电池在电动汽车、储能系统和电力系统备用电源等领域的广泛应用。



稀土矿山



稀土元素在钠离子电池中的应用不仅限于提升正极和负极材料的性能，还涉及到材料的制备工艺、结构优化以及与其他材料的复合等多个方面。不过，稀土元素在钠离子电池中的应用仍面临一些挑战：

成本问题：稀土元素相对稀缺且价格较高，如何在保证性能的前提下降低材料成本是亟待解决的问题。

制备工艺复杂：稀土元素的掺杂和复合往往需要复杂的制备工艺和精确的控制条件，这增加了生产和加工的难度。

循环稳定性需提升：尽管稀土元素的引入可以提升钠离子电池的循环稳定性，但仍需进一步优化材料结构和制备工艺以满足实际应用需求。



钠离子电池

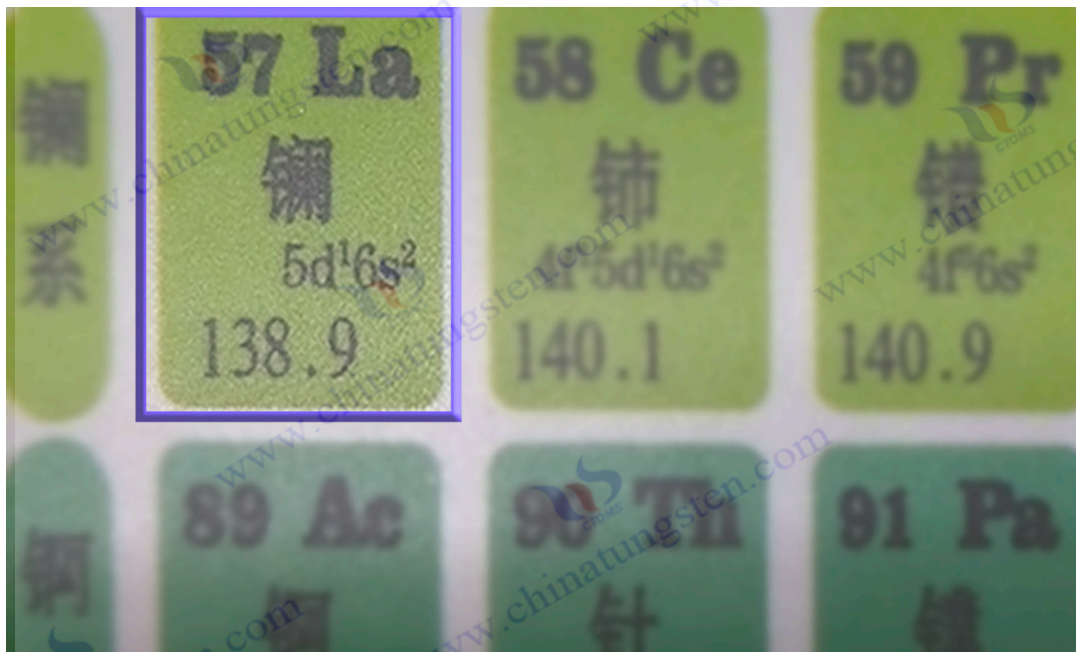
27.1 镧元素在钠离子电池中的应用

随着全球对可再生能源和储能技术的需求日益增长，钠离子电池作为一种低成本、高安全性的储能技术，近年来受到了广泛的关注和研究。在钠离子电池的众多正极材料中，层状氧化物、聚阴离子型化合物等因其独特的结构特性和电化学性能而被视为潜在的候选材料。然而，这些材料往往存在电子电导率低、离子扩散速率慢等问题，限制了钠离子电池的整体性能。为了克服这些挑战，研究者们不断探索各种改性方法，其中，镧元素的掺杂被证明是一种有效手段。

镧（La）作为稀土元素之一，具有较大的离子半径和较强的氧键能，这些特性使其在材料改性中展现出独特的优势。在钠电池正极材料中掺杂镧元素，主要可以通过以下几个方面提升材料的性能：



(1) 稳定晶体结构：镧元素的掺杂可以稳定材料的晶体结构，减少充放电过程中的相变，从而提高材料的循环稳定性。例如，在磷酸钒钠（NVP）中掺杂镧元素，可以显著抑制充放电过程中的不良相变，提高材料的循环寿命。



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

(2) 增大晶面间距：镧具有较大的离子半径，掺杂后可以增大材料的晶面间距，有利于钠离子的嵌入和脱出，从而提高材料的倍率性能。这一效应在层状氧化物材料中尤为明显。



金属镧



(3) 提升电子电导率：通过与其他高导电性材料（如碳纳米纤维）的协同作用，铟掺杂还可以间接提升材料的电子电导率，降低电化学极化，进一步改善电池性能。

一、铟在钠电池正极材料应用的案例

(1) 磷酸钒钠中的铟掺杂

Bi 等人利用稀土元素铟对磷酸钒钠进行了离子掺杂，通过溶胶-凝胶法结合高温热处理，制备了铟掺杂的磷酸钒钠复合材料。实验结果表明，适量的铟掺杂可以显著提高材料的循环稳定性。例如，当铟的掺杂量达到一定比例时（如 $x=0.15$ ），样品的首圈放电比容量可达 102.81mAh/g ，经过 100 圈循环后，容量保持率仍高达 91.85% 。这一数据明显优于未掺杂的样品，证明了铟掺杂在提升磷酸钒钠性能方面的有效性。



磷酸钒钠

(2) 层状氧化物正极材料中的铟掺杂

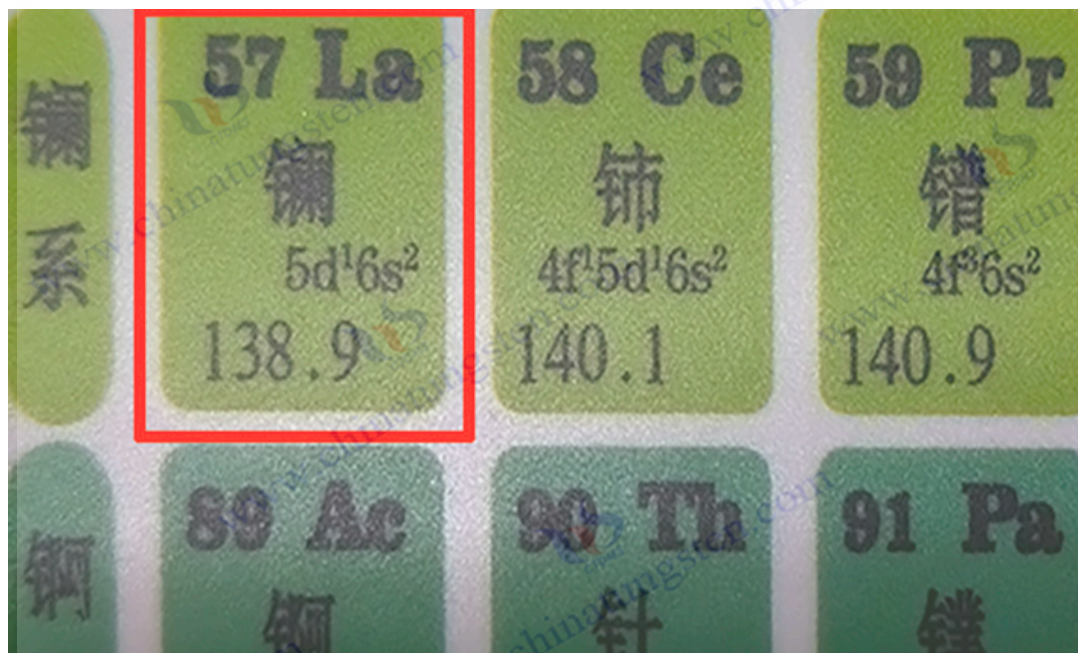
在层状氧化物正极材料如 $\text{Na}(\text{Ni}_{0.33}\text{Fe}_{0.33}\text{Mn}_{0.33})\text{O}_2$ 中，铟掺杂同样展现出了显著的效果。研究人员通过溶胶-凝胶法将铟元素掺杂到该材料中，制备了 $\text{Na}(\text{Ni}_{0.33}\text{Fe}_{0.33}\text{Mn}_{0.33})_{1-x}\text{La}_x\text{O}_2$ （ x 为铟的掺杂量）正极材料。实验结果显示，当 x 取值为 0.02 时，材料在 0.1C 条件下的放电容量可达 193mAh/g ，即使在 8C 的高速率下也能保持 70mAh/g 的容量。此外，该材料在 100 次循环后的容量保持率为 74.7% ，表明铟掺杂有效提升了材料的倍率性能和循环稳定性。

(3) 铟掺杂与碳纳米纤维的协同作用

为了进一步提升材料的性能，研究者还探索了铟掺杂与碳纳米纤维（CNT）的协同作用。Chen 等人通过引入具有高电子电导率的碳纳米纤维对磷酸钒钠进行了修饰，制备了具有



3D 碳网络结构的 NVP/C 复合材料。实验结果表明，这种复合材料不仅有效降低了材料的电化学极化，还显著提高了电池的倍率性能。同时，镧掺杂与碳纳米纤维的协同作用进一步增强了材料的结构稳定性和循环性能。



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

二、镧掺杂钠电池正极材料的制备方法

镧掺杂钠离子电池正极材料的制备方法多种多样，但溶胶-凝胶法因其操作简便、重复性好等优点而被广泛应用。具体步骤如下：

步骤一：原料准备：将可溶性镍盐、铁盐、锰盐、镧盐、钠盐等按一定比例溶于去离子水中，搅拌溶解均匀。

步骤二：络合反应：向混合盐溶液中加入柠檬酸水溶液，在中温水浴下反应一定时间。柠檬酸作为络合剂，可以与金属阳离子形成均匀交联网状结构。

步骤三：调节 pH 值：加入氨水调节溶液的 pH 值至适宜范围（如 5.5~6.0），以促进络合反应的进行。

步骤四：高温反应与干燥：将反应液在高温水浴下继续反应一定时间，得到湿凝胶（前驱体凝胶）。然后将湿凝胶进行干燥处理，除去水分和有机杂质。

步骤五：烧结成型：将干燥后的粉末在高温下进行烧结处理，以形成稳定的晶体结构。烧结温度和时间根据具体材料而定。

27.2 钪元素在钠离子电池中的应用



铈 (Ce)，属于稀土元素，第六周期系第 I I I B 族镧系元素，单质为银灰色的活泼金属，粉末在空气中易自燃，易溶于酸，还原剂。铈元素在钠离子电池中的应用主要体现在对正极材料的改性上，通过掺杂铈元素，可以有效提升钠离子电池的能量密度、循环稳定性和倍率性能。



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	60 Nd 钕 $4f^4 6s^2$ 144.2
锕系	89 Ac 锕 $6d^1 7s^2$ [227]	90 Th 钍 $6d^2 7s^2$ 232.0	91 Pa 镤 $5f^2 6d^1 7s^2$ 231.0	92 U 铀 $5f^3 6d^1 7s^2$ 238.0

铈元素

一、铈元素掺杂的作用机理

(1) 稳定晶体结构：铈元素的掺杂可以稳定正极材料的晶体结构，减少充放电过程中的结构变化，从而提高材料的循环稳定性。铈离子（如 Ce^{4+} ）取代部分过渡金属离子后，可以增加过渡金属层的无序性，阻止钠离子/空位的有序化，有助于维持结构的稳定性。



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	60 Nd 钕 $4f^4 6s^2$ 144.2
锕系	89 Ac 锕 $6d^1 7s^2$ [227]	90 Th 钍 $6d^2 7s^2$ 232.0	91 Pa 镤 $5f^2 6d^1 7s^2$ 231.0	92 U 铀 $5f^3 6d^1 7s^2$ 238.0

铈元素



(2) 增大层间距：由于铈离子的半径较大，掺杂后可以增大正极材料的层间距，为钠离子的嵌入和脱出提供更多的通道，从而提高钠离子的扩散速率和材料的动力学性能。

(3) 提升电化学性能：铈元素的掺杂还可以改善正极材料的电化学性能，如提高放电容量、降低极化等。这有助于提升钠离子电池的整体性能，如能量密度和倍率性能。



钠离子电池

二、铈在钠电池正极材料应用的案例

(1) 铈改性 $\text{NaNi}_{1/3}\text{Fe}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ 正极材料

材料制备：通过固相烧结法将铈元素以掺杂形式引入 $\text{NaNi}_{1/3}\text{Fe}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ 正极材料中，制备出铈改性的 $\text{NaNi}_{1/3}\text{Fe}_{1/3}\text{Mn}_{1/3-x}\text{Ce}_x\text{O}_2$ ($0 < x \leq 0.05$) 正极材料。

性能提升：实验结果表明，适量的铈掺杂可以显著提高 $\text{NaNi}_{1/3}\text{Fe}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ 正极材料的能量密度、循环稳定性和倍率性能。例如，当 $x=0.03$ 时，材料的放电容量可达 130mAh/g (0.1C)，且在循环过程中表现出良好的稳定性。此外，铈掺杂还改善了材料的倍率性能，使得材料在高倍率充放电条件下仍能保持较高的容量。

(2) 其他铈掺杂钠离子电池正极材料

除了 $\text{NaNi}_{1/3}\text{Fe}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ 外，铈元素还被广泛应用于其他类型的钠离子电池正极材料的改性中。例如，铈掺杂的磷酸钒钠 (NVP)、层状氧化物等材料均表现出优异的电化学性能。这些研究不仅验证了铈元素在正极材料改性中的有效性，还为后续的研究提供了宝贵的经验和数据支持。



三、铈掺杂钠电池正极材料的制备方法

铈掺杂钠电池正极材料的制备方法多种多样，但通常包括以下几个步骤：

步骤一：原料准备：按照化学计量比称取钠源、过渡金属源（如镍源、铁源、锰源）和铈源等原料。

步骤二：混合球磨：将原料加入球磨罐中，并加入适量的溶剂和球磨珠进行球磨混合，得到混合均匀的浆料。

步骤三：前驱体制备：通过干燥等处理将浆料转化为粉状前驱体。

步骤四：煅烧成型：将前驱体置于煅烧炉中在一定温度下煅烧一定时间，得到最终的铈掺杂钠离子电池正极材料。



铈元素

27.3 钐元素在钠离子电池中的应用

钐是一种稀土元素，具有独特的电子排布和物理化学性质。在电池材料领域，稀土元素常被用于改善材料的晶体结构、提高电化学性能以及增强循环稳定性。钐元素同样可能具备这些优势，尽管其具体在钠电池中的应用数据较为有限。

一、钐元素在钠电池中的潜在应用

(1) 正极材料改性

稳定晶体结构：钐元素的掺杂可能有助于稳定正极材料的晶体结构。在充放电过程中，正

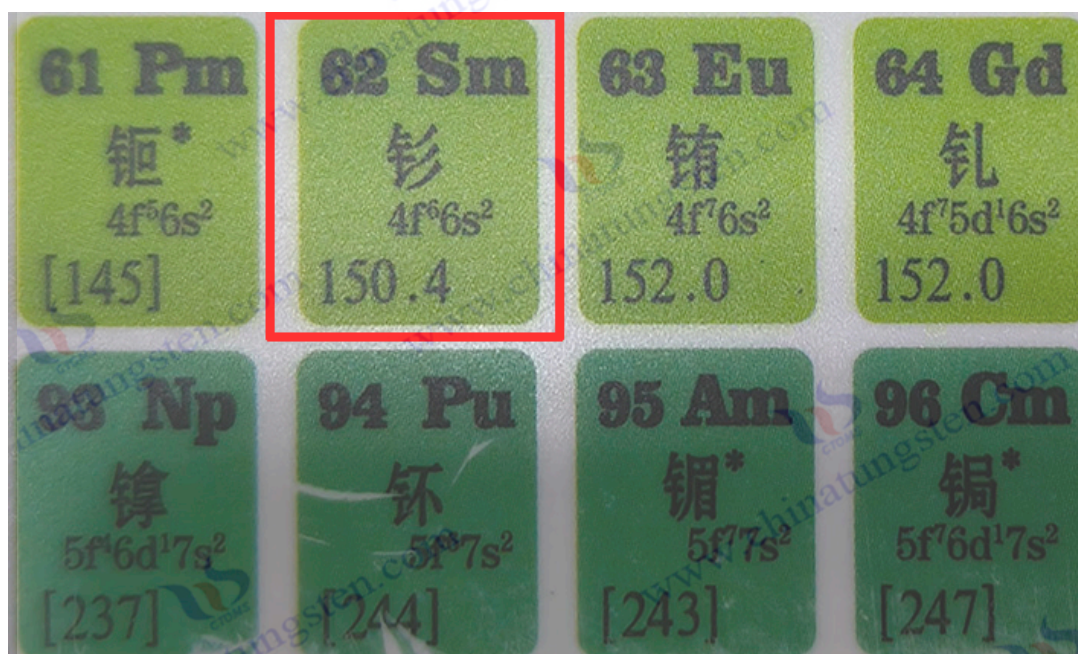


极材料的结构变化是导致性能衰减的主要原因之一。钐离子可能通过取代部分过渡金属离子，增强晶体结构的稳定性，从而延长电池的循环寿命。

提升电化学性能：钐元素的引入还可能改善正极材料的电化学性能。例如，提高材料的放电容量、降低极化电阻、加快离子扩散速率等。这些改善有助于提升钠电池的能量密度和倍率性能。

(2) 复合正极材料

钐元素可以与其他金属元素或化合物复合形成新型正极材料。这些复合正极材料可能具备更高的能量密度、更好的循环稳定性和倍率性能。例如，钐与锰、钴、镍等过渡金属元素的复合可能形成具有优异性能的正极材料。



61 Pm 钷* $4f^56s^2$ [145]	62 Sm 钐 $4f^66s^2$ 150.4	63 Eu 铕 $4f^76s^2$ 152.0	64 Gd 钆 $4f^75d^16s^2$ 152.0
93 Np 镎 $5f^66d^17s^2$ [237]	94 Pu 钷 $5f^67s^2$ [244]	95 Am 镅* $5f^77s^2$ [243]	96 Cm 锔* $5f^76d^17s^2$ [247]

钐元素

(3) 电解质添加剂

钐元素或其化合物可能通过改善电解质的离子传导性、提高电解质的热稳定性和化学稳定性等方式，间接提升钠离子电池的性能。

目前，关于钐元素在钠离子电池中具体应用的研究相对较少。未来，随着钠离子电池技术的不断发展和对高性能电池材料需求的增加，钐元素在钠电池中的应用有望得到更多关注和研究。未来研究可以重点关注以下几个方面：

深入探究钐元素的作用机理：通过实验和理论计算等手段，深入探究钐元素在钠电池正极材料中的具体作用机理和贡献。开发新型复合正极材料：将钐元素与其他金属元素或化合物复合形成新型正极材料，并优化其合成工艺和性能表征方法。降低生产成本：探索低成本、高效率的稀土元素提取和回收技术，降低钐元素在电池材料中的应用成本。



27.4 铕元素在钠离子电池中的应用

铕（Europium, Eu）是一种稀土元素，原子序数为 63，位于元素周期表的镧系元素中。铕是一种银白色的金属，熔点为 822°C，沸点为 1597°C，密度为 5.24g/cm³。铕是稀土元素中最软和最易挥发的元素之一，其化学性质非常活泼，室温下在空气中会迅速失去金属光泽并被氧化成粉末。此外，铕还能与硼、碳、硫、磷、氢、氮等多种元素反应，形成稳定的化合物。

[270]	[277]	[276]	[281]	[280]
61 Pm 钷* 4f ⁶ 6s ² [45]	62 Sm 钐 4f ⁶ 6s ² 150.4	63 Eu 铕 4f ⁷ 6s ² 152.0	64 Gd 钆 4f ⁷ 5d ¹ 6s ² 152.0	65 Tb 铽 4f ⁹ 6s ² 158.9
88 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk

铕元素

铕在地壳中的含量相对较低，仅为 1.1ppm，是一种较为稀有的金属元素。尽管如此，由于其独特的物理化学性质，铕在多个领域都有重要的应用，如电池、反应堆控制材料、中子防护材料、彩色电视机的荧光粉以及激光材料等。



电脑显示器



在钠离子电池正极材料的研究中,将铈元素引入正极活性材料以形成复合材料是一种有效的策略。这种复合材料通常具有核壳结构,其中核层为正极活性材料(如过渡金属氧化物、普鲁士蓝类材料等),壳层则包含铈的氧化物或含铈化合物。通过混合研磨和烧结等工艺步骤,可以将铈盐(如醋酸盐、碳酸盐或磷酸盐)与正极活性材料结合,形成所需的复合材料。

例如,研究人员可以将铈盐与层状过渡金属氧化物(如 NaFeO_2 、 NaMnO_2 等)混合,在高温下烧结得到具有铈氧化物壳层的复合材料。烧结过程中,铈盐会分解并在正极活性材料表面形成一层致密的铈氧化物薄膜,从而改善材料的电化学性能。



铈氧化物

一、铈元素对钠离子电池性能的影响

(1) 循环稳定性: 铈氧化物的引入可以显著提高钠离子电池正极材料的循环稳定性。铈氧化物薄膜作为保护层,可以有效防止正极活性材料在充放电过程中的结构破坏和活性物质脱落,从而延长电池的使用寿命。实验数据表明,采用铈基复合材料的钠离子电池在多次充放电循环后仍能保持较高的容量保持率。

(2) 容量提升: 虽然铈元素本身并不直接贡献容量,但通过与正极活性材料的协同作用,可以间接提高电池的整体容量。铈氧化物的存在可能改善了正极材料的电子导电性和离子传输性能,使得更多的活性物质能够参与电化学反应,从而提高电池的容量。

(3) 安全性: 钠离子电池的安全性是其相对于锂离子电池的一大优势。铈元素的引入可能进一步增强这种安全性。由于铈氧化物的物理化学性质稳定,不易发生热失控等安全问题,因此采用铈基复合材料的钠离子电池在过充、过放、短路等极端条件下可能表现出更高的稳定性。

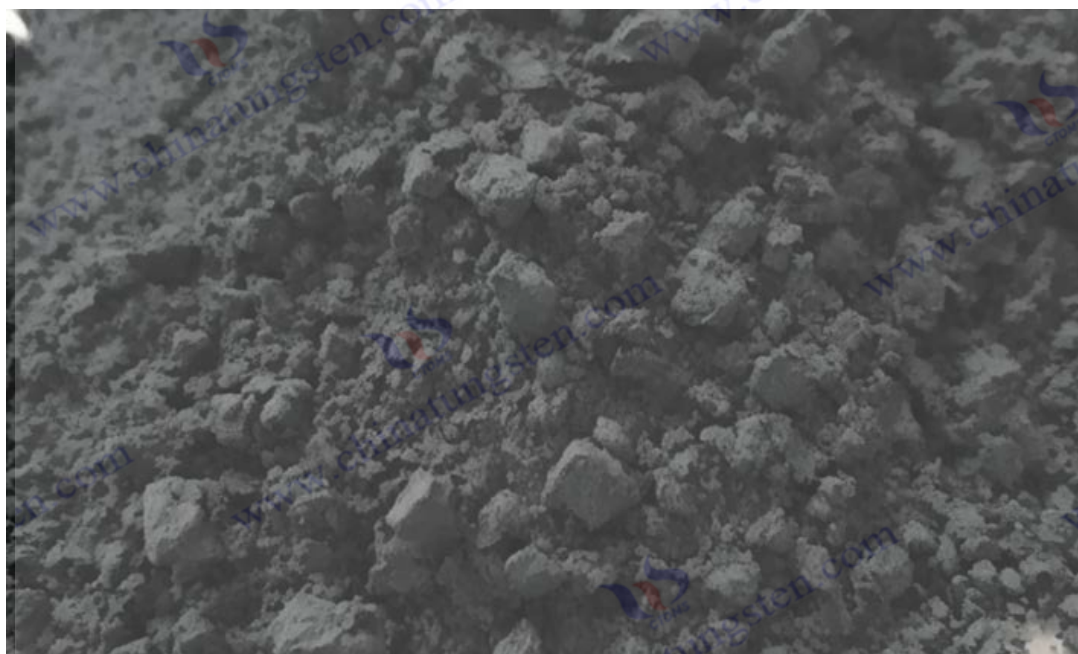


(4) 低温性能：钠离子电池在低温环境下的性能表现优于锂离子电池。铈元素的引入可能有助于进一步提升电池的低温性能。铈氧化物薄膜可能作为一层保温层，减少低温下电池内部热量的散失，从而提高电池的容量保持率和放电效率。



钠离子电池

为了验证铈元素在钠离子电池正极材料中的应用效果，研究人员进行了大量的实验研究。以下是一些典型的实验数据和分析：



正极材料

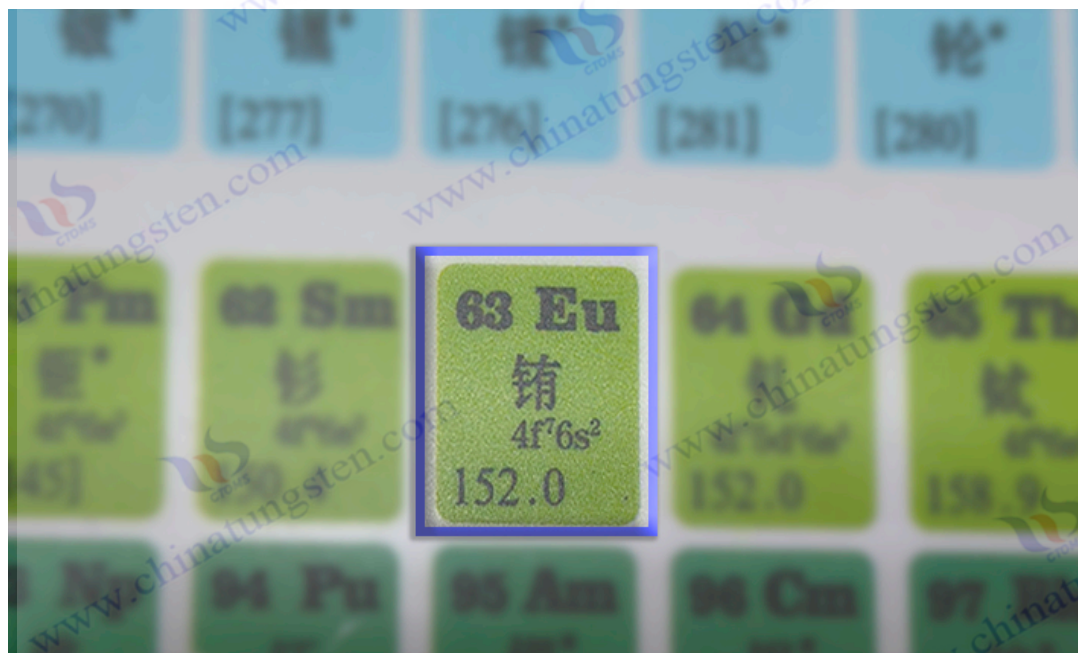


循环稳定性测试：采用钨基复合材料的钠离子电池在 0.1C 倍率下循环 100 次后，容量保持率可达到 90%以上，显著高于未添加钨元素的对照组电池。这表明钨氧化物的引入显著提高了电池的循环稳定性。

容量测试：在相同的测试条件下，采用钨基复合材料的钠离子电池表现出更高的初始容量和更稳定的容量衰减趋势。例如，在 1C 倍率下充放电时，钨基复合材料的初始容量可达 120mAh/g 以上，且经过多次循环后容量衰减较小。

安全性测试：通过过充、过放、短路等安全性测试发现，采用钨基复合材料的钠离子电池在极端条件下均未发生热失控、起火或爆炸等安全问题。这表明钨元素的引入增强了电池的安全性。

低温性能测试：在 -20℃ 的低温环境下测试发现，采用钨基复合材料的钠离子电池仍能保持较高的容量保持率和放电效率。相比之下，未添加钨元素的对照组电池在低温下的性能表现较差。



钨元素

27.5 钨元素在钠离子电池中的应用

钨是一种银白色的金属，具有较高的密度（约 7.90g/cm³）和熔点（约 1313℃）。在化学性质上，钨表现出较强的活泼性，能与多种元素形成稳定的化合物。此外，钨还具有独特的磁学性质，是制造高性能永磁材料的重要原料之一。

一、钨元素在钠电池中的应用

（1）作为电极材料



虽然直接将钆金属用作钠电池的电极材料较少见，但钆的化合物或合金却可能展现出优异的电化学性能。例如，钆铁合金作为一种潜在的负极材料，因其高的钠离子嵌入/脱嵌容量和优异的循环稳定性而受到关注。研究表明，通过合理的改变合金中的元素配比和微观结构，可以进一步优化其电化学性能，提高钠电池的能量密度和循环寿命。然而，需要注意的是，目前关于钆铁合金或其他钆基合金在钠电池中具体应用的数据仍较为有限。



钆铁合金

(2) 作为掺杂剂

在正极材料中引入钆元素作为掺杂剂，是一种更为常见的应用方式。掺杂适量的钆元素可以显著改善正极材料的晶体结构稳定性和电化学性能。例如，南京大学现代工学院的研究团队通过引入 Fe 作为钉扎点，并通过可控调控 Fe 钉扎点的含量来优化层状正极材料的结构稳定性和电化学性能。在这一过程中，虽然未直接提及钆元素，但类似的方法可能也适用于钆元素的掺杂。通过掺杂钆元素，可以抑制正极材料在充放电过程中的结构重排和体积变化，从而提高电池的循环寿命和能量密度。



钆元素



(3) 作为电解质添加剂

虽然关于钆元素直接作为钠离子电池电解质添加剂的研究较少报道,但稀土元素在电解质中的应用已有一定基础。稀土元素可以通过改善电解质的离子传导性、提高电解质的热稳定性和化学稳定性等方式,间接提升钠离子电池的性能。因此,钆元素作为电解质添加剂的可能性也值得进一步探索。通过添加适量的钆化合物或离子到电解质中,可能有助于优化电解质的组成和性质,从而提升钠离子电池的综合性能。



钆元素

27.6 钆元素在钠离子电池中的应用

钆是一种银白色的稀土金属,化学符号为 Gd,原子序数为 64,位于元素周期表的镧系元素中。钆具有较高的熔点(约 1474°C)和沸点(约 2695°C),密度约为 8.79g/cm³。在常温下,钆具有较好的延展性和可塑性,但在潮湿空气或高温下易被氧化。钆最显著的特点是其强大的磁性,是制造永磁材料的重要原料之一。此外,钆还具有独特的光谱特性,在光学仪器和光纤通信等领域也有应用。

一、钆元素在钠电池中的应用潜力

作为掺杂剂:钆元素可以作为掺杂剂引入钠电池的正极材料中,通过改变材料的晶体结构和电子排布,从而优化其电化学性能。掺杂适量的钆元素可能有助于提高正极材料的离子导电性、电子导电性和结构稳定性,进而提升电池的能量密度、循环寿命和安全性能。例如,某些层状氧化物或普鲁士蓝类正极材料在掺杂钆元素后可能表现出更好的倍率性能和循环稳定性。

作为电解质添加剂:虽然直接作为电解质添加剂的研究较少,但钆元素或其化合物可能通



过改善电解质的离子传导性、提高电解质的热稳定性和化学稳定性等方式，间接提升钠电池的性能。例如，铟离子可能作为电解质中的路易斯酸位点，促进钠离子的传输和反应动力学。然而，这方面的研究仍需进一步深入探索。

新型正极材料的开发：随着材料科学的不断发展，新型正极材料的开发成为提高钠离子电池性能的重要途径之一。铟元素可能与其他元素结合形成具有优异电化学性能的新型化合物或复合材料，作为钠电池的正极材料。这些新型材料可能具有更高的比容量、更好的循环稳定性和更快的充放电速率等优点。



钠离子电池

27.7 铕元素在钠离子电池中的应用

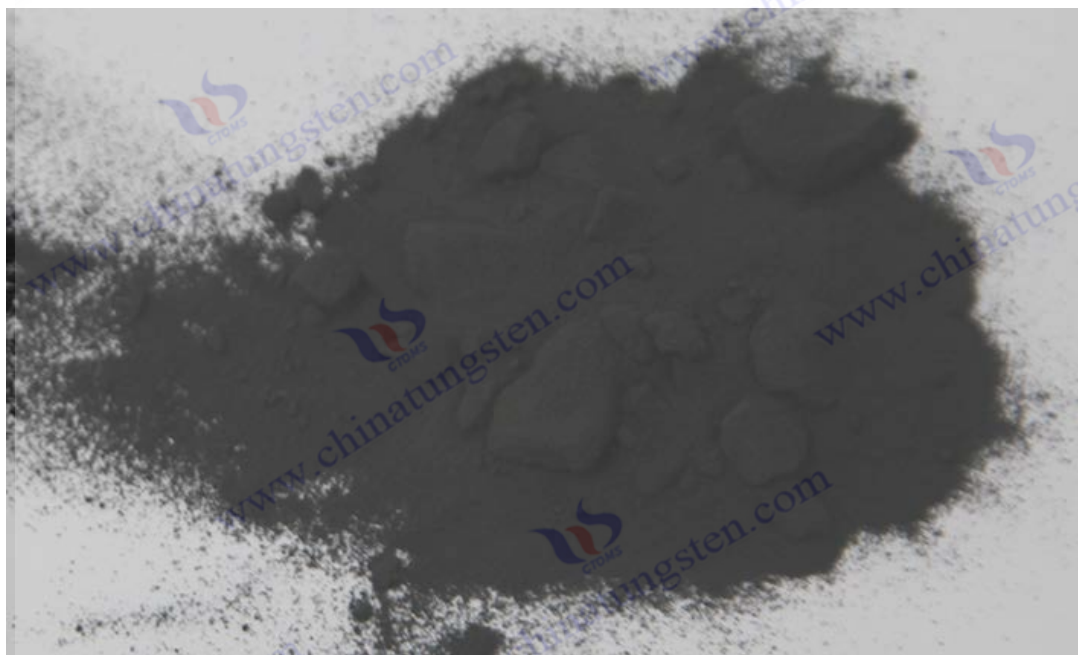
铕是一种银白色的稀土金属，化学符号为 Tm，原子序数为 69，位于元素周期表的镧系元素中。铕具有高密度（约 9.32g/cm^3 ）、高熔点（约 1545°C ）和高沸点（约 3017°C ）等特性。在常温下，铕金属相对稳定，但在高温或潮湿环境中易氧化。铕元素最显著的特点之一是其强磁性，是制造高性能永磁材料的重要成分之一。此外，铕还具有独特的光谱特性，在激光技术、光纤通信等领域也有广泛应用。然而，关于铕元素直接应用于钠离子电池正极材料的研究相对较少，其潜在价值有待进一步挖掘。

作为掺杂剂提升材料性能：铕元素可以作为掺杂剂引入正极材料中，通过改变材料的晶体结构、电子排布和离子传输特性，从而提升材料的电化学性能。掺杂适量的铕元素可能有助于提高正极材料的离子导电性、电子导电性和结构稳定性，进而提升钠电池的能量密度、循环寿命和安全性能。例如，在某些层状氧化物或普鲁士蓝类正极材料中掺杂铕元素后，可能观察到更好的倍率性能和循环稳定性。

促进新型正极材料的开发：随着材料科学的不断进步，新型正极材料的开发成为提高钠电池性能的重要途径之一。铕元素可能与其他元素结合形成具有优异电化学性能的新型化合物



物或复合材料，作为正极材料。这些新型材料可能具备更高的比容量、更好的循环稳定性和更快的充放电速率等优点。通过深入研究铥元素在新型正极材料中的作用机制，可以为其在钠离子电池中的应用提供理论依据和实验支持。



正极材料

尽管铥元素在钠离子电池中具有潜在的应用前景，但其实际应用仍面临一些挑战：

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 镥 $4f^{14}5d^1 6s^2$ 175.0
100 Fm 镭* $5f^{12}7s^2$ [257]	101 Md 钔* $(5f^{13}7s^2)$ [258]	102 No 锘* $(5f^{14}7s^2)$ [259]	103 Lr 铷* $(5f^{14}6d^1 7s^2)$ [262]

铥元素

成本问题：稀土元素包括铥元素在内，其开采和提炼成本相对较高。这可能会增加钠电池的生产成本，限制其大规模商业化应用。因此，需要探索低成本、高效率的稀土元素提取



和纯化技术，以降低生产成本。

技术成熟度：目前关于铥元素在钠电池中应用的研究仍处于起步阶段，技术成熟度相对较低。需要进一步开展深入的研究工作，优化材料性能和生产工艺，提高技术的可靠性和稳定性。

市场竞争：随着钠电池技术的不断发展，市场竞争将日益激烈。铥元素作为新型添加剂或材料成分，需要与其他材料竞争以获得市场份额。因此，需要加强技术创新和品牌建设，提高产品的竞争力和市场占有率。



钠电池

27.8 铥元素在钠离子电池中的应用

铥是一种银白色的金属元素，化学符号为 Yb，原子序数为 70，位于元素周期表的镧系元素中。铥具有相对较低的密度(约 6.965g/cm^3)和熔点(约 824°C)，但沸点较高(约 1466°C)。铥在常温下相对稳定，但在高温或特定条件下可以与其他元素形成化合物。在材料科学领域，铥因其独特的电子排布和磁学性质而受到关注，常被用于制备高性能磁性材料、光学材料等。

铥元素可作为添加剂引入钠电池的正极材料中，通过改变材料的晶体结构、电子排布和离子传输特性，从而提升材料的电化学性能。例如，有研究表明，将铥元素掺杂到层状氧化物正极材料中，可提高材料的离子导电性和结构稳定性，进而提升钠离子电池的能量密度和循环寿命。然而，具体的掺杂比例和效果需要根据不同的材料体系进行实验验证和优化。

随着材料科学的不断发展，新型正极材料的开发成为钠离子电池领域的研究热点之一。铥元素可能与其他元素结合形成具有优异电化学性能的新型化合物或复合材料，作为钠电池的正极材料。这些新型材料可能具备更高的比容量、更好的循环稳定性和更快的充放电速



率等优点。然而，目前关于镱元素直接作为钠离子电池正极材料的研究相对较少，需要进一步深入探索。

稀土元素虽然在地壳中的含量相对较低，但镱元素作为稀土元素之一，其资源相对丰富。随着开采和提炼技术的不断进步，镱元素的成本有望进一步降低，为钠电池的大规模商业化应用提供有力支持。

钠离子电池本身具有环境友好的特点，而镱元素作为添加剂或材料成分，在制备和使用过程中对环境的影响较小。因此，将镱元素应用于钠离子电池中，有助于推动绿色能源的发展和应用。



钠离子电池

27.9 镱元素在钠离子电池中的应用

镱（Lu）是一种银白色的金属元素，原子序数为 71，位于元素周期表的镧系元素中。镱是稀土元素中最硬和最致密的金属之一，具有高熔点（约 1663℃）和高沸点（约 3395℃）。在常温下，镱金属相对稳定，但在高温或潮湿环境中易氧化。镱元素因其独特的电子结构和磁学性质，在材料科学领域具有广泛的应用潜力，包括在电池材料、催化、光学以及磁学等方面。

镱元素可以与其他元素结合形成具有层状结构的化合物，如 NaLuO_2 ，这种结构类似于已广泛应用的锂离子电池正极材料如钴酸锂的 $\alpha\text{-NaFeO}_2$ 构型。研究表明， NaLuO_2 具有作为钠离子电池正极材料的潜力，其晶体结构和电子结构优势有助于提升电池的电化学性能。例如，有研究发现， NaLuO_2 正极材料在充放电循环中表现出较高的比容量和较好的循环稳定性。

镱元素还可以作为掺杂剂引入钠电池的正极材料中，通过改变材料的晶体结构、电子排布

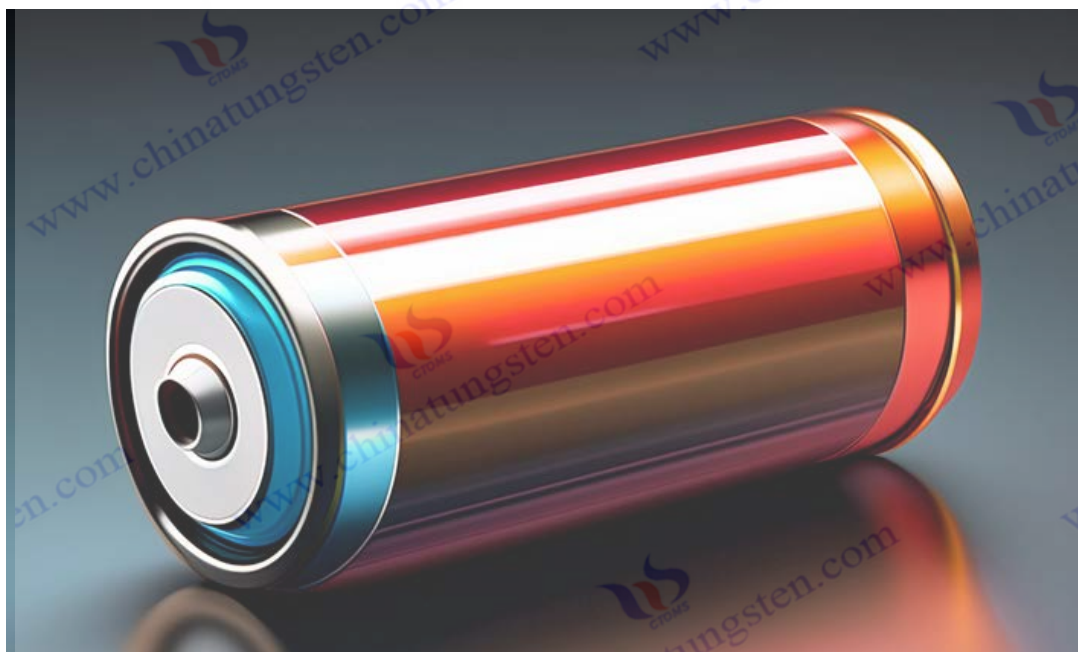


和离子传输特性，从而提升材料的电化学性能。掺杂适量的镨元素可能有助于提高正极材料的离子导电性、电子导电性和结构稳定性，进而提升钠电池的能量密度、循环寿命和安全性能。然而，具体的掺杂比例和效果需要通过实验来验证和优化。

68 Er 铒 $4f^{10}6s^2$ 167.3	69 Tm 铥 $4f^{13}6s^2$ 168.9	70 Yb 镱 $4f^{14}6s^2$ 173.1	71 Lu 镥 $4f^{14}5d^1 6s^2$ 175.0
100 Fm 镆* $5f^{12}7s^2$ [257]	101 Md 钔* $(5f^{13}7s^2)$ [258]	102 No 锘* $(5f^{14}7s^2)$ [259]	103 Lr 铹* $(5f^{14}6d^1 7s^2)$ [262]

镥元素

钠电池的一个显著优势在于其原料丰富且成本低廉。镥元素作为稀土元素之一，虽然在地壳中的含量较低，但相比于锂等稀有金属而言，其资源相对丰富。随着开采和提炼技术的不断进步，镥元素的成本有望进一步降低，为钠电池的大规模商业化应用提供有力支持。



钠电池



钠离子电池及含镨正极材料在制备和使用过程中对环境的影响较小。钠离子电池本身不含重金属元素，且其电解液和电极材料多为无毒或低毒物质。因此，将镨元素应用于钠离子电池中，有助于推动绿色能源的发展和应用。

27.10 钇元素在钠离子电池中的应用

钇（Y）是一种银白色或灰黑色的金属元素，位于周期表的第五周期第 IIIB 族，是一种稀土元素。钇具有较高的熔点和密度，分别为 920°C 和 6.162g/cm³。其化学性质活泼，易与其他元素形成化合物，并在空气中迅速氧化生成一层蓝色的氧化膜。钇在地壳中的含量虽然不高，但其在工业和科技领域的应用却非常广泛，包括电池材料、合金添加剂、核能和电子等。

20 Ca 钙 4s² 40.08	21 Sc 钪 3d¹4s² 44.96	22 Ti 钛 3d²4s² 47.87	23 V 钒 3d³4s² 50.94
38 Sr 锶 5s² 87.62	39 Y 钇 4d¹5s² 88.91	40 Zr 锆 4d²5s² 91.22	41 Nb 铌 4d⁴5s¹ 92.91

钇元素

一、钇在钠电池正极材料中的应用

（1）锂钇共掺杂 P2 型层状过渡金属氧化物

研究表明，通过锂钇共掺杂 P2 型层状过渡金属氧化物，可以显著提升钠离子电池正极材料的性能。例如，东华理工大学的研究团队开发了一种化学式为 $\text{Na}_x\text{Fe}_a\text{Mn}_b\text{Li}_c\text{Y}_d\text{O}_2$ （其中 $0.6 \leq x \leq 0.7$, $0.075 \leq a \leq 0.27$, $0.62 \leq b \leq 0.75$, $0.11 \leq c \leq 0.175$, $0 \leq d \leq 0.1$ ）的正极材料。这种材料利用湿式球磨法制备前驱体，再通过中低温固相烧结法合成。实验结果显示，该材料的首次可逆容量可达 200~220mAh/g，且具有高工作电压、高能量密度和良好的结构稳定性。

（2）单原子钇在钠硫电池中的应用

清华大学李亚栋院士等人的研究进一步探索了钇在钠硫电池中的应用潜力。他们通过金属-有机骨架（MOF）制备了单原子杂化物 Y-SAs/NC，其中 Y 单原子被并入掺杂氮的菱形十二



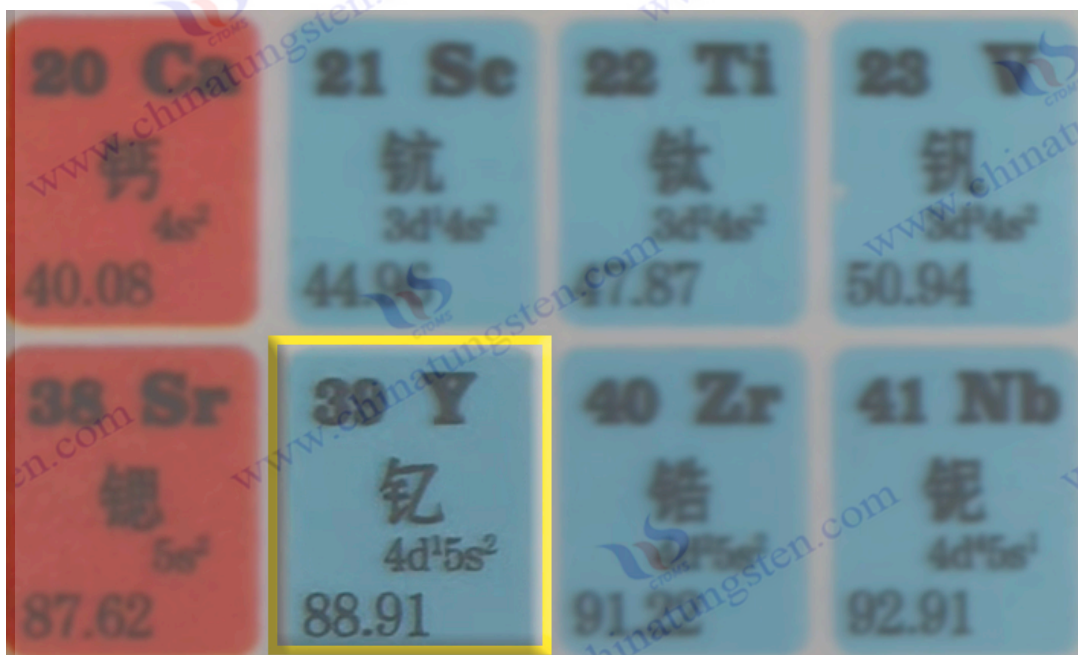
面体碳主体中。这种材料在用作钠硫电池的负极和正极主体时，表现出了优异的电化学性能，包括高达 822mAh/g 的容量和在 5A/g 电流密度下 1000 次循环后 97.5%的容量保持率。这些结果证明了钪在提高钠硫电池性能方面的巨大潜力。



钠离子电池

二、钪在钠电池负极材料中的应用

虽然钪直接作为钠离子电池负极材料的研究相对较少，但其在改善负极材料性能方面的作用不容忽视。例如，通过合理的结构设计，将钪元素引入负极材料中，可以提高材料的亲钠性，促进钠离子的均匀沉积和抑制枝晶生长，从而提高电池的循环稳定性和安全性。



20 Ca 钙 4s ² 40.08	21 Sc 钪 3d ¹ 4s ² 44.96	22 Ti 钛 3d ² 4s ² 47.87	23 V 钒 3d ³ 4s ² 50.94
38 Sr 锶 5s ² 87.62	39 Y 钇 4d ¹ 5s ² 88.91	40 Zr 锆 4d ² 5s ² 91.22	41 Nb 铌 4d ⁴ 5s ¹ 92.91

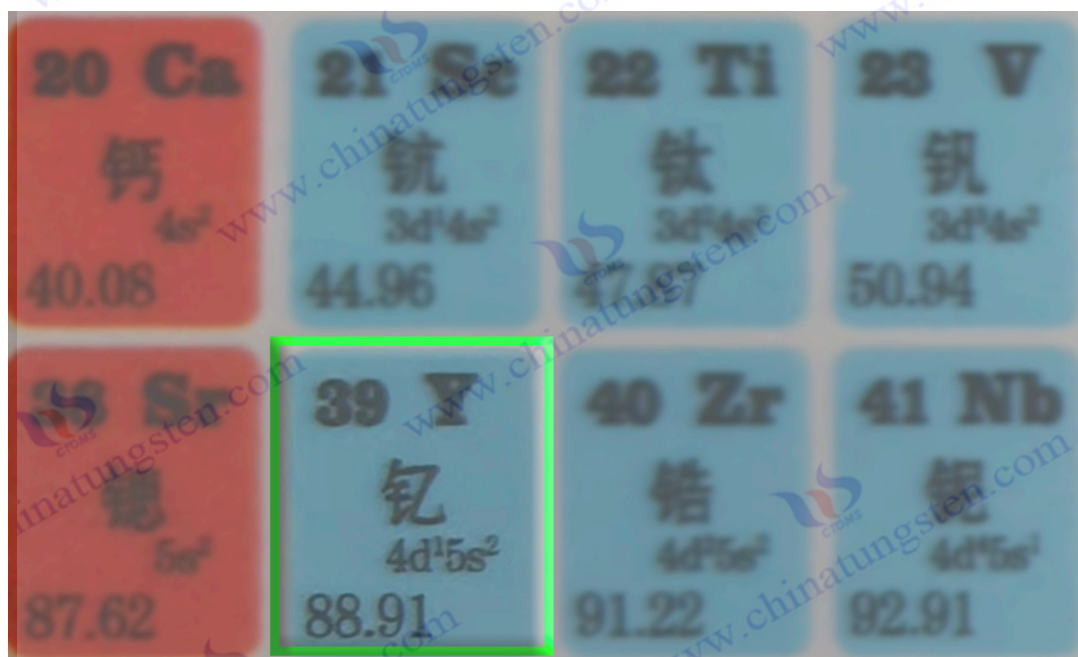
钪元素



三、钇在钠电池电解质中的应用

虽然目前关于钇在钠电池电解质中直接应用的研究较少,但考虑到钇的化学性质及其与其他元素的良好相容性,未来钇有可能被用于开发新型电解质材料。例如,通过钇的掺杂或复合,可以改善电解质的离子导电性、化学稳定性和热稳定性,从而提升电池的整体性能。

综上所述,通过合理的材料设计和制备工艺,将钇元素引入钠离子电池的正极、负极或电解质材料中,可以显著提升电池的能量密度、循环寿命和安全性能。随着研究的深入和技术的不断成熟,钇元素有望在钠离子电池的产业化进程中发挥更加重要的作用。



20 Ca 钙 4s ² 40.08	21 Sc 钪 3d ¹ 4s ² 44.96	22 Ti 钛 3d ² 4s ² 47.87	23 V 钒 3d ³ 4s ² 50.94
38 Sr 锶 5s ² 87.62	39 Y 钇 4d ¹ 5s ² 88.91	40 Zr 锆 4d ² 5s ² 91.22	41 Nb 铌 4d ⁴ 5s ¹ 92.91

钇元素

27.11 钪元素在钠离子电池中的应用

钪 (Sc) 是一种轻质稀土金属元素, 位于周期表的第四周期第 IIIB 族。它具有高熔点 (1541°C)、低密度 (2.989g/cm³) 和良好的热稳定性。钪的离子半径较小, 与锂离子相近, 这使得它在电池材料中能够表现出良好的离子迁移性能。此外, 钪元素与其他元素形成的化合物往往具有稳定的晶体结构和优异的电化学性能, 这为其在钠离子电池中的应用提供了理论基础。

一、钪在钠电池正极材料中的应用

(1) 钪掺杂层状过渡金属氧化物

层状过渡金属氧化物是正极材料的重要研究方向之一。通过钪元素的掺杂, 可以有效改善正极材料的结构稳定性和电化学性能。例如, 研究表明, 将钪掺杂到 Na_xMnO₂ 层状氧化物中, 可以显著提高材料的循环稳定性和倍率性能。具体而言, 掺杂后的材料在充放电过



程中能够保持更稳定的晶体结构，减少相变的发生，从而提高电池的循环寿命。此外，钪的掺杂还能增加材料的离子导电性，加快钠离子的迁移速率，提升电池的倍率性能。据实验数据显示，钪掺杂后的 Na_xMnO_2 正极材料在 1C 倍率下循环 100 次后，容量保持率可达 90% 以上。

(2) 钪基复合正极材料

除了直接掺杂外，钪元素还可以与其他元素或化合物结合形成复合正极材料。例如，研究人员开发了一种 ScPO_4/C 复合正极材料，该材料通过将钪磷酸盐与碳材料复合，不仅提高了材料的导电性，还增强了结构的稳定性。实验结果表明，该复合正极材料在钠离子电池中表现出优异的循环稳定性和高比容量。在 0.1C 倍率下首次放电比容量可达 150mAh/g 以上，且在 5C 倍率下循环 1000 次后容量保持率仍高于 80%。



24.31	3	4	5
20 Ca 钙 4s ² 40.08	21 Sc 钪 3d ¹ 4s ² 44.96	22 Ti 钛 3d ² 4s ² 47.87	23 V 钒 3d ³ 4s ² 50.94
38 Sr 锶 5s ² 87.62	39 Y 钇 4d ¹ 5s ² 88.91	40 Zr 锆 4d ² 5s ² 91.22	41 Nb 铌 4d ⁴ 5s ¹ 92.91

钪元素

二、钪在钠电池负极材料中的应用

在钠电池负极材料方面，钪元素的应用相对较少，但已有研究表明其具有一定的潜力。例如，有研究人员提出了一种含钪的钠电池负极材料 ScP/C 的制备方法。该方法通过将钪源和碳源混合烧结得到 Sc/C 复合物，再与磷源混合烧结得到 ScP/C 负极材料。实验结果显示，该负极材料具有高的可逆容量和倍率性能，在充放电过程中表现出优异的稳定性和较好的快充快放能力。具体数据方面，该负极材料在 0.1C 倍率下的首次放电比容量可达 300mAh/g 以上，且在 5C 倍率下循环 500 次后容量保持率仍高于 70%。

