

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





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多万名订阅者，该公众号已成为公认的全球最权威、最全面的钨钼行业、产品价格与市场中英文即时信息源。中钨在线的网站和微信获得了在业界首屈一指的上亿人次的访问量。

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

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

©厦门中钨在线科技有限公司
韩斯疆博士 ceo@tungsten.com.cn
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、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、重量轻等优点、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
 - 6.10.1 锂离子电池正极材料用钨酸锂
 - 6.10.2 锂离子电池负极材料用钨酸锂
 - 6.10.3 锂电池电解质用钨酸锂
 - 6.10.4 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片
 - 7.1.2 锂硫电池负极材料用氧化钨纳米片
 - 7.1.3 锂硫电池电极材料用氧化钨的优势



7.1.4 锂硫电池电极材料用氧化钨的挑战

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 锂硫电池电极材料用二硫化钨的优势

7.2.6 锂硫电池电极材料用二硫化钨的挑战

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超点阵

7.3.4 锂硫电池负极材料用二硒化钨超点阵

7.3.5 锂硫电池电极材料用二硒化钨的优势

7.3.6 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优势

7.4.4 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 二硫化钨在钠离子电池中的应用

8.1.1 钠离子电池正极材料用二硫化钨空心球

8.1.2 钠离子电池负极材料用二硫化钨空心球

8.1.3 钠离子电池正极材料用二硫化钨纳米片

8.1.4 钠离子电池负极材料用二硫化钨纳米片

8.1.5 钠离子电池电极材料用二硫化钨的优势

8.1.6 钠离子电池电极材料用二硫化钨的挑战

第九章 钨在锌空电池中的应用

9.1 二硫化钨在锌空电池中的应用

9.1.1 锌空电池催化剂用二硫化钨

9.1.2 锌空电池催化剂用二硫化钨的优势

9.1.3 锌空电池催化剂用二硫化钨的挑战

9.2 钨酸钴在锌空电池中的应用

9.2.1 锌空电池催化剂用钨酸钴

9.2.2 锌空电池催化剂用钨酸钴的优势

9.2.3 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 燃料电池催化剂用氧化钨
- 10.1.2 燃料电池催化剂用氧化钨的优势
- 10.1.3 燃料电池催化剂用氧化钨的挑战

第十一章 钨在太阳能电池中的应用

- 11.1 二硫化钨在太阳能电池中的应用
- 11.2 二硒化钨在太阳能电池中的应用
- 11.3 钨酸镉在太阳能电池中的应用

第十二章 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 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钼纳米纤维
- 15.5.3.6 新能源电池用微米二硒化钼
- 15.5.3.7 新能源电池用亚微米二硒化钼
- 15.5.3.8 新能源电池用纳米二硒化钼
- 15.5.3.9 新能源电池用亚纳米二硒化钼
- 15.5.4 二硒化钼生产方法
- 15.5.5 二硒化钼应用
- 15.6 什么是钼酸盐**
- 15.6.1 钼酸盐结构
- 15.6.2 钼酸盐理化性质
- 15.6.3 钼酸盐分类
- 15.6.3.1 新能源电池用钼酸锂
- 15.6.3.2 新能源电池用钼酸铁
- 15.6.3.3 新能源电池用钼酸铜
- 15.6.3.4 新能源电池用钼酸镍
- 15.6.3.5 新能源电池用钼酸镁
- 15.6.3.6 新能源电池用钼酸锌
- 15.6.3.7 新能源电池用磷钼酸
- 15.6.3.8 新能源电池用七钼酸铵
- 15.6.3.9 新能源电池用钼酸钠
- 15.6.3.10 新能源电池用钼酸钾
- 15.6.4 钼酸盐生产方法
- 15.6.5 钼酸盐应用

第十六章 钼在锂离子电池中的应用

16.1 氧化钼在锂离子电池中的应用

- 16.1.1 锂离子电池负极材料用氧化钼
- 16.1.2 锂离子电池负极材料用氧化钼的优势
- 16.1.3 锂离子电池负极材料用氧化钼的挑战

16.2 氮化钼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钼
- 16.2.2 锂离子电池负极材料用氮化钼的优势
- 16.2.3 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优势
- 16.3.3 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优势
- 16.4.3 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 锂离子电池电极材料用钼酸锂的优势
- 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优势
- 16.5.6 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优势
- 16.6.3 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优势
- 16.7.3 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优势
- 16.8.4 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 氮化钼在锂硫电池中的应用**
- 17.1.1 锂硫电池隔膜用氮化钼量子点
- 17.1.2 锂硫电池隔膜用氮化钼量子点的优势
- 17.1.3 锂硫电池隔膜用氮化钼量子点的挑战
- 17.2 二硫化钼在锂硫电池中的应用**
- 17.2.1 锂硫电池负极材料用二硫化钼纳米片
- 17.2.2 锂硫电池负极材料用二硫化钼纳米片的优势
- 17.2.3 锂硫电池负极材料用二硫化钼纳米片的挑战
- 17.3 二硒化钼在锂硫电池中的应用**
- 17.3.1 锂硫电池负极材料用二硒化钼复合材料
- 17.3.2 锂硫电池负极材料用二硒化钼复合材料的优势
- 17.3.3 锂硫电池负极材料用二硒化钼复合材料的挑战

第十八章 钼在钠离子电池中的应用

- 18.1 二硫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硫化钼复合材料
- 18.1.2 钠离子电池负极材料用二硫化钼复合材料的优势
- 18.1.3 钠离子电池负极材料用二硫化钼复合材料的挑战
- 18.2 二硒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硒化钼复合材料
- 18.2.2 钠离子电池负极材料用二硒化钼复合材料的优势
- 18.2.3 钠离子电池负极材料用二硒化钼复合材料的挑战



18.3 钼酸镍在钠离子电池中的应用

- 18.3.1 钠离子电池阳极材料用钼酸镍
- 18.3.2 钠离子电池电极材料用钼酸镍的优势
- 18.3.3 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 二硫化钼在锌离子电池中的应用

- 19.1.1 锌离子电池负极材料用二硫化钼复合材料
- 19.1.2 锌离子电池负极材料用二硫化钼的优势
- 19.1.3 锌离子电池负极材料用二硫化钼的挑战

19.2 钼酸锌在锌离子电池中的应用

- 19.2.1 锌离子电池锌负极保护层用钼酸锌
- 19.2.2 锌离子电池锌负极保护层用钼酸锌的优势
- 19.2.3 锌离子电池锌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 碳化钼在燃料电池中的应用

- 20.1.1 燃料电池阳极用碳化钼
- 20.1.2 燃料电池阴极用碳化钼
- 20.1.3 燃料电池电极用碳化钼的优势
- 20.1.4 燃料电池电极用碳化钼的挑战

20.2 氮化钼在燃料电池中的应用

- 20.2.1 燃料电池阳极用氮化钼
- 20.2.2 燃料电池阴极用氮化钼
- 20.2.3 燃料电池电极用氮化钼的优势
- 20.2.4 燃料电池电极用氮化钼的挑战

20.3 磷钼酸在燃料电池中的应用

第二十一章 钼在太阳能电池中的应用

第二十二章 钼在电池中的技术挑战与解决方案

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

第二十六章 稀土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

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 II 部分 钨在新能源电池市场的介绍

第六章 钨在锂离子电池中的应用

随着电动汽车、移动设备和储能系统等领域的快速发展，锂离子电池的需求不断增加。锂离子电池具有高能量密度、长寿命、环保等优点，已成为当今主流的电池类型之一。然而，随着人们对电池性能要求的不断提高，锂离子电池的能量密度、安全性和循环寿命等方面仍需不断改进和完善。

钨在锂离子电池中的应用近年来引起了广泛的关注。作为一种具有优异性能的材料，钨基材料如纳米钨酸、纳米三氧化钨、针状紫色氧化钨、二硫化钨纳米片等具有潜在的高能量密度、良好的热化学稳定性和导电性，被认为是下一代锂离子电池的理想电极材料添加剂。



纳米紫色氧化钨

钨基材料作为理想电极材料的原因：一是钨基材料具有较高的能量密度，这意味着可以提供更高的储能密度，从而增加电池的续航能力。二是钨基材料的良好结构稳定性和循环性能，可以延长电池的寿命。三是钨基材料具有较低的膨胀系数和较好的结构稳定性，可以避免电池在使用过程中因体积变化而引起的结构破坏和安全隐患。四是钨基材料具有较高的电导率和良好的电化学稳定性，可以提供更快的充放电速度和更高的能量转换效率。

据中钨在线/中钨智造了解，在“2018 年横滨人车科技展”上，日本东芝展示出了一款使用紫色氧化钨超细粉末生产的负极材料，能使锂离子电池实现超快速充电。2023 年，英国电池初创公司展示了一款基于莲花 Elise 的概念电动车，该电动车采用了新型的钨氧化物电池技术，可以在短短 6 分钟内充满电。



目前,针对钨基电极材料的研究主要集中在制备方法、结构设计和性能优化等方面。其中,纳米结构钨基电极材料的研究是一个热点领域。纳米结构的钨基材料可以提供更高的比表面积和更快的离子传输通道,从而进一步改善电池的性能。此外,研究人员还在探索新型的钨基复合电极材料,如钨碳复合材料、钨氮复合材料等。这些复合材料可以结合不同材料的优点,进一步优化电极的性能。

未来,随着对钨基电极材料的深入研究和新材料的不断涌现,钨基材料在锂离子电池中的应用前景广阔。然而,仍需解决一些关键的科学和技术问题。例如,进一步优化钨基电极材料的制备工艺和降低成本;深入研究电极材料的电化学反应机制和失效机理;提高钨基电极材料的可逆容量和循环寿命等。此外,还需要加强与产业界的合作,推动钨基电极材料的实际应用和产业化进程。

6.1 纳米钨酸在锂离子电池中的应用

纳米钨酸 (H_2WO_4 或 $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 作为一种新型的纳米材料,通常是指三氧化钨和水的比值为 1:1 的一种过渡金属化合物,因其特殊的物理化学性质和优异的性能,在许多领域中得到了广泛的应用。在锂离子电池领域中,纳米钨酸也被认为是一种很有前途的电极材料添加剂。



纳米钨酸

传统的锂电池负极材料主要由石墨等碳材料组成,但是这些材料的容量和充放电效率相对较低。纳米钨酸作为电极材料的添加剂可以增加电极的比表面积,提高电极的容量和充放电效率。同时,纳米 H_2WO_4 还可以通过控制形貌和结构来优化其电化学性能,提高锂离子电池的能量密度和功率密度。

纳米钨酸的尺寸在纳米级别,具有很高的比表面积和良好的电导性。这些性质使得纳米 H_2WO_4 在电化学反应中表现出良好的催化性能和电导性,可以有效地提高锂电池的电化学



性能。

纳米钨酸还具有良好的离子导电性和化学稳定性。在锂离子电池中，离子导电性对于电池的倍率性能和充放电效率具有重要影响。纳米钨酸的高离子导电性可以降低电池的内阻，提高倍率性能和充放电效率。同时，纳米 H_2WO_4 还可以在高温和高电压条件下稳定存在，增加电池的安全性和稳定性。

6.1.1 锂电池正极材料用纳米钨酸

锂离子电池正极材料是电池的核心组件，其性能对电池的整体性能具有重要影响。近年来，纳米材料的应用在电池科学领域取得了很大的进展，其中纳米钨酸就是一种备受关注的新型锂离子电池正极材料。

纳米钨酸具有优异的物理化学性质，如高比表面积、良好的电导性和稳定的化学性质，这些性质使其成为一种很有前途的锂离子电池正极材料。



锂离子电池

在锂离子电池中，正极材料需要能够储存和释放锂离子，同时保持结构的稳定性和良好的电导性。纳米钨酸作为一种新型的正极材料，具有较高的理论容量和良好的电导性。其晶体结构可以容纳锂离子并进行可逆的嵌入和脱出，从而实现能量的储存和释放。

研究表明，纳米钨酸作为锂电池正极材料的性能与其制备方法和形貌结构密切相关。通过调整制备条件，可以控制纳米钨酸的形貌和结构，从而优化其电化学性能。例如，通过控制还原剂的类型和浓度、反应温度和反应时间等参数，可以制备出具有不同形貌和结构的纳米钨酸粒子。

除了制备方法外，纳米钨酸的结构和性能还可以通过掺杂、修饰等方法进行进一步优化。



例如，可以通过掺杂金属离子或非金属元素来提高纳米钨酸的电导性和锂离子扩散能力。此外，还可以通过表面修饰来改善纳米钨酸在电解液中的溶解性和稳定性。

在实际应用中，纳米钨酸作为锂电池正极材料具有以下优点：

(1) 高能量密度：纳米钨酸的理论容量较高，可以提供较高的能量密度，满足人们对便携式电子设备和电动汽车等高能量需求的应用场景的需求。

(2) 良好的循环稳定性：纳米钨酸在充放电过程中结构稳定，可以有效防止容量衰减和粉化现象的出现，提高电池的循环寿命。

(3) 良好的倍率性能：纳米钨酸具有优异的电导性和快速的锂离子扩散能力，可以支持大电流充放电，提高电池的倍率性能。

(4) 安全性好：纳米钨酸在高温下不易产生有害的副反应，不会引起电池的热失控，增加电池的安全性。



电池热失控

6.1.2 锂电池负极材料用纳米钨酸

负极材料是锂离子电池中另一个关键组件，它负责储存和释放锂离子。传统的锂电池负极材料主要包括石墨、钛酸锂和锡基材料等，但是这些材料的性能已经接近其理论极限，因此需要开发新型的负极材料来提高电池的能量密度和循环寿命等性能。纳米钨酸作为一种新型的纳米材料，具有优异的物理化学性质和良好的电化学性能，被认为是一种有前景的负极材料。

锂离子电池负极材料的主要功能是存储和释放锂离子，从而在电池的充放电过程中实现能



量的储存和释放。理想的负极材料应具备的要求包括锂离子插入/脱插的可逆性；高的比容量；良好的电子电导率和离子电导率；良好的化学稳定性；良好的机械稳定性；环境友好性。

研究表明，纳米钨酸作为锂离子电池负极材料的性能优势包括：

(1) 高能量密度：纳米钨酸的理论容量较高，可以达到约 1500mAh/g，这远高于传统的石墨负极材料（约 372mAh/g）。因此，使用纳米钨酸作为负极材料可以提供较高的能量密度，满足人们对便携式电子设备和电动汽车等高能量需求的应用场景的需求。

(2) 良好的循环稳定性：纳米钨酸在充放电过程中结构稳定，可以有效防止容量衰减和粉化现象的出现。这使得含有纳米钨酸的电池具有较长的循环寿命，可以满足实际应用中的长期使用需求。



纳米钨酸

(3) 良好的倍率性能：纳米钨酸具有优异的电导性和快速的锂离子扩散能力，可以支持大电流充放电，提高电池的倍率性能。这意味着纳米钨酸电池可以在短时间内充满电或放完电，适应于需要快速充电的应用场景。

(4) 安全性好：纳米钨酸在高温条件下不易有害的副反应，不会引起电池的热失控，增加电池的安全性。相较于石墨负极材料，纳米钨酸具有更高的热稳定性。

(5) 环保可持续：纳米钨酸制备过程中使用的原料和试剂均为较为环保，同时其废弃物也易于处理，符合当前对环境保护的需求。相较于某些传统电池中使用的重金属元素，纳米钨酸更加环保可持续。

6.1.3 锂电池电极材料用纳米钨酸的挑战



锂离子电池电极材料是电池中的核心部分，直接影响电池的性能和安全性。纳米钨酸作为一种有前途的电极材料，具有许多优点，如高理论容量、良好的电导性和稳定的化学性质。然而，在实际应用中，纳米 H_2WO_4 电极材料仍面临一些挑战。

(1) 体积效应和结构稳定性：在充放电过程中，锂离子嵌入和脱出纳米钨酸电极材料会引起体积变化，进而产生体积效应。这种体积效应可能导致电极材料的结构不稳定和容量衰减。为了解决这个问题，研究者们正在探索通过优化纳米 H_2WO_4 的结构和形貌，以及采用纳米复合材料等方法来提高其结构稳定性和循环性能。

(2) 电导性和界面电阻：纳米钨酸电极材料的电导性受到其尺寸和形貌的影响。由于纳米材料的比表面积较大，界面电阻较高，这会限制电极材料的倍率性能和充放电效率。为了解决这个问题，研究者们正在探索通过掺杂金属离子或非金属元素来提高纳米 H_2WO_4 的电导性。此外，还可以通过优化电极材料的制备工艺和结构，降低界面电阻，提高电导性能。



纳米钨酸

(3) 制备方法和成本：纳米钨酸电极材料的制备方法主要包括化学合成法、物理气相沉积法和电化学沉积法等。这些方法中，化学合成法较为常用，但需要使用大量的有机溶剂和高温反应条件，成本较高。为了降低成本和提高生产效率，研究者们正在探索简便、环保和经济高效的制备方法。例如，采用水热合成法、微波辅助合成法等绿色合成方法来制备纳米 H_2WO_4 电极材料。

(4) 安全性和环保性：纳米钨酸电极材料在高温条件下可能产生有害的副反应，释放有毒气体，对环境和人体健康造成潜在威胁。为了提高纳米钨酸电极材料的安全性和环保性，研究者们正在探索新型的绿色合成方法，减少有机溶剂的使用，并优化电极材料的结构和性能，提高其安全性和环保性。



6.2 纳米黄色氧化钨在锂离子电池中的应用

锂离子电池是一种高能量密度的电池，广泛应用于便携式电子设备、电动汽车等领域。然而，随着应用领域的不断扩大，对锂离子电池的性能要求也越来越高。为了提高锂电池的能量密度、循环寿命和安全性，需要开发新型的电极材料改性剂如纳米黄色氧化钨。

纳米黄色氧化钨又称为纳米三氧化钨 (WO_3)，是钨的氧化物中最稳定的一种，是一种淡黄色的固体粉末，密度为 7.16g/cm^3 ，熔点为 1473°C ，沸点为 1748°C ，不溶于水，但能溶于碱金属和碱土金属的氢氧化物溶液中。纳米 WO_3 是一种重要的化工原料，主要用于生产钨制品和硬质合金；可以用作生产钨粉、碳化钨、合金钢、高速钢、工具钢等的重要原料；可以用于制造光学玻璃、半导体、储能电池等高科技产品。



纳米黄色氧化钨

纳米黄色氧化钨作为一种新型的锂离子电池电极材料，具有以下优点：（1）高能量密度：纳米 WO_3 的理论容量较高，可以达到约 693mAh/g ，这远高于传统的石墨电极材料（约 372mAh/g ）。（2）纳米 WO_3 具有良好的结构稳定性和热化学稳定性，可以有效防止电池容量衰减和热失控现象的出现。（3）纳米 WO_3 具有优异的电导性和快速的锂离子扩散能力，可以提高电池的充放电能力。（4）纳米 WO_3 是一种无机化合物，不含重金属元素，因而对生态环境更加友好。

含有纳米黄色氧化钨的锂离子电池中的应用领域包括：

动力电池领域：电动汽车、电动自行车等需要高能量密度、长循环寿命和安全可靠的电池来提供动力。纳米 WO_3 可以作为动力锂电池的电极材料，提高电池的整体性能和安全性。

储能领域：风力发电、太阳能发电等可再生能源需要储能系统来平衡电网负荷和提高能源



利用效率。纳米 WO_3 可以作为储能锂电池的电极材料，提高电池的能量密度和循环寿命。

消费电子领域：手机、笔记本电脑等便携式电子设备需要高能量密度、轻便和安全的电池来提供电力。纳米 WO_3 可以作为高性能锂电池的电极材料，提高电池的能量密度和循环寿命。



笔记本电脑

6.2.1 锂电池正极材料用纳米黄色氧化钨

随着科技的不断进步，电动汽车、智能手机等设备的普及率越来越高，而支撑这些设备运行的关键组件之一就是锂离子电池。然而，现有的正极材料如磷酸铁锂、钴酸锂和三元材料等存在成本高、性能有限等问题，制约了它们在部分领域中的应用。近年来，纳米黄色氧化钨在锂电池正极材料领域的应用备受关注。

纳米黄色氧化钨在锂电池正极材料中应用的优势包括：

(1) 提高能量密度：能量密度是衡量锂电池性能的重要指标之一。纳米黄色氧化钨具有高比表面积和优异的电化学性能，可以增加电极材料与电解液的接触面积，提高锂离子在电极材料中的扩散速率，从而提高电池的能量密度。

(5) 改善循环性能：循环性能是锂电池使用寿命的关键因素之一。纳米黄色氧化钨具有稳定的晶体结构和优异的电化学性能，可以有效抑制电极材料在充放电过程中的体积效应和结构变化，从而改善电池的循环性能。

(3) 提高安全性能：安全性能是锂离子电池应用中需要重点关注的问题之一。纳米黄色氧化钨具有较好的热稳定性和化学稳定性，不易发生热失控等安全问题。同时，它还可以与电解液形成良好的界面层，抑制电解液的分解和电极材料的腐蚀，进一步提高电池的安全性能。

全性能。

(4) 降低制造成本：制造成本是制约锂离子电池大规模应用的重要因素之一。纳米黄色氧化钨来源广泛，价格相对合理，可以降低正极材料的制造成本。

纳米黄色氧化钨作为一种新型的锂离子电池正极材料，具有许多优势和应用前景。它可以提高锂电池的能量密度、循环性能和安全性能，降低制造成本，有望在大规模应用中发挥重要作用。然而，目前纳米 WO_3 在正极材料中的应用仍处于研究阶段，还需要进一步的研究和优化才能实现其广泛应用。未来随着技术的不断进步和应用需求的不断增长，相信纳米 WO_3 在锂离子电池领域的应用将会得到更广泛的发展。



纳米 WO_3

6.2.2 锂电池负极材料用纳米黄色氧化钨

动力锂电池，这个能源领域的热门话题，正是新能源电动汽车的心脏，占据了整车成本的 3 至 4 成，潜在市场达到数千亿元。它以较小的体积、较高的能量密度、无记忆效应和较长的使用寿命等特点，超越了铅酸电池、镍镉电池和镍氢电池等传统电池。同时，它还符合绿色发展理念，具有环保特性。

然而，动力锂电池的关键组成部分——负极材料，却对锂电池的整体性能起到了至关重要的作用。目前，石墨和改性石墨是已经商用的负极材料，尽管它们在商业化方面具有重要地位，但比容量低（理论容量仅为 372mAh/g ）和倍率性能差等缺陷限制了锂电池的发展。因此，寻找和开发下一代锂电池负极材料成为了当务之急。纳米黄色氧化钨作为一种具有高比容量、良好电化学性能和稳定化学性质的过渡金属氧化物，展现出巨大的潜力。

纳米黄色氧化钨作为一种新型的锂电池负极材料，具有许多优势。首先，它具有较高的比容量，理论上可达 693mAh/g ，远高于石墨和改性石墨的比容量（约 372mAh/g ）。其次，



纳米 WO_3 具有良好的电化学性能，可实现快速充放电，提高电池的功率密度。此外，纳米 WO_3 的化学稳定性好，耐高温，不易发生腐蚀和热失控等问题。更为重要的是，纳米 WO_3 的制造成本相对合理，可满足大规模生产的需求。

不同形貌的纳米黄色氧化钨对电池电极材料性能的影响主要体现在以下几个方面：

(1) 比容量：不同形貌的纳米 WO_3 具有不同的比容量。例如，棒状纳米黄色氧化钨的比容量较高，而球形和片状纳米 WO_3 的比容量相对较低。这是因为棒状颗粒具有较长的轴向尺寸，可以提供较大的表面积，从而增加电极材料的电化学反应活性。

(2) 循环寿命：不同形貌的纳米 WO_3 具有不同的循环寿命。一般来说，球形纳米 WO_3 的循环寿命较长，而棒状和片状纳米 WO_3 的循环寿命相对较短。这是因为球形颗粒具有较好的结构稳定性和较小的体积效应，有利于提高电极材料的循环寿命。

(3) 倍率性能：不同形貌的纳米 WO_3 具有不同的倍率性能。棒状纳米 WO_3 的倍率性能较好，而球形和片状纳米 WO_3 的倍率性能相对较差。这是因为棒状颗粒具有较大的表面积和较长的轴向尺寸，有利于提高电极材料的电化学反应速率。



锂离子电池

6.2.3 锂电池电极材料用纳米黄色氧化钨的挑战

锂离子电池作为现代能源储存和利用的重要形式，已经在便携式电子设备、电动车、大型储能系统等领域得到广泛应用。而随着人们对能源、环保、安全等方面的关注度不断提高，对锂电池的性能要求也更加严格。其中，电极材料是锂离子电池的核心组成部分，其性能直接影响到锂离子电池的能量密度、充放电速率、循环寿命等关键指标。因此，研究和开发具有优异性能的电极材料是提高锂离子电池整体性能的关键。



纳米黄色氧化钨作为一种新型的锂电池负极材料，具有高比容量、良好的电化学性能和稳定的化学性质等优势，备受科研人员和产业界的关注。然而，在实际应用中，纳米 WO_3 还面临着一系列的挑战和问题。

首先，不同形貌的纳米 WO_3 在制备上存在一些困难，主要包括以下几个方面：控制形貌和粒径大小：制备不同形貌的纳米 WO_3 需要精确控制颗粒生长的均匀性和大小，这需要优化制备工艺和反应条件，以确保获得理想的颗粒形貌和粒径大小。提高结晶度和稳定性：纳米 WO_3 的结晶度和稳定性对其电化学性能有重要影响，因此制备过程中需要优化条件以提高颗粒的结晶度和稳定性，从而提高电极材料的性能。



纳米黄色氧化钨

其次，纳米黄色氧化钨的循环寿命有待提高。在充放电过程中，锂离子在电极材料中的嵌入和脱出会导致材料体积的变化，进而影响电极的结构稳定性和循环寿命。虽然纳米 WO_3 具有较高的比容量和良好的电化学性能，但其循环寿命相对较短，需要进行进一步的研究和改进。

此外，纳米黄色氧化钨的倍率性能也需要进一步优化。倍率性能是指电极材料在充放电过程中能够承受的电流密度大小，倍率性能好的电极材料能够支持更高的充放电速率，提高电池的功率密度。然而，目前纳米 WO_3 的倍率性能还有待提高，需要进一步研究和改进。

最后，成本问题。目前来说，纳米黄色氧化钨的成本较高，限制了其在商业化应用中的推广。因此，需要开展低成本、高效的合成方法研究，以降低生产成本并促进其在锂电池电极材料等领域的应用。

针对以上问题，科研人员和产业界正在积极探索和研究新的制备方法和技术，以提高纳米黄色氧化钨的性能和稳定性。例如，通过优化制备工艺和反应条件，降低制备成本；通过掺杂、包覆等改性方法提高纳米黄色氧化钨的循环寿命和倍率性能；同时，也在研究新型

的复合电极材料，以充分发挥纳米 WO_3 的优势。

6.3 纳米紫色氧化钨在锂离子电池中的应用

纳米紫色氧化钨 (Nano Violet Tungsten Oxide, 简称“紫钨”) 是一种呈紫色的纳米级氧化钨粉末, 分子式为 $WO_{2.72}$ 或 $W_{18}O_{49}$ 。这种材料具有较大的表面效应和量子尺寸效应, 化学活性较高, 且具有较强的锂离子扩散能力。这些特性使得纳米 $WO_{2.72}$ 成为一种理想的锂电池电极材料。

根据颗粒形貌的不同, 纳米紫色氧化钨可以分为针状紫钨和棒状紫钨。

制备纳米紫色氧化钨的方法有多种, 如 APT 湿氢直接还原法、钨酸氢还原法、APT 轻度还原法等。这些方法能够在一定程度上制备出高纯度的纳米 $WO_{2.72}$, 但制备过程可能较为复杂, 需要进行优化和改进。



纳米紫色氧化钨

纳米紫色氧化钨作为一种负极材料的重要组成部分, 能够显著提高活性物质占总负极材料的质量比例, 增加储存锂离子的位置, 提高离子在材料内部的脱出与嵌入速度。这些特性使得锂离子电池能够实现更高的容量和更快的充放电速度。

纳米紫色氧化钨还具有较好的结构稳定性和机械性能, 能够明显改善储能材料的结构稳定性, 有效减轻长时间充放电循环或在高温下使用对材料造成的伤害。这使得锂离子电池能够在高温环境下长期稳定运行, 提高了电池的可靠性和寿命。

纳米紫色氧化钨在高温条件下具有良好的热稳定性, 使得锂离子电池在高温环境下使用时更加安全。此外, $WO_{2.72}$ 还具有较好的化学稳定性, 能够抵抗电解液的腐蚀, 保证了电池的化学安全性。

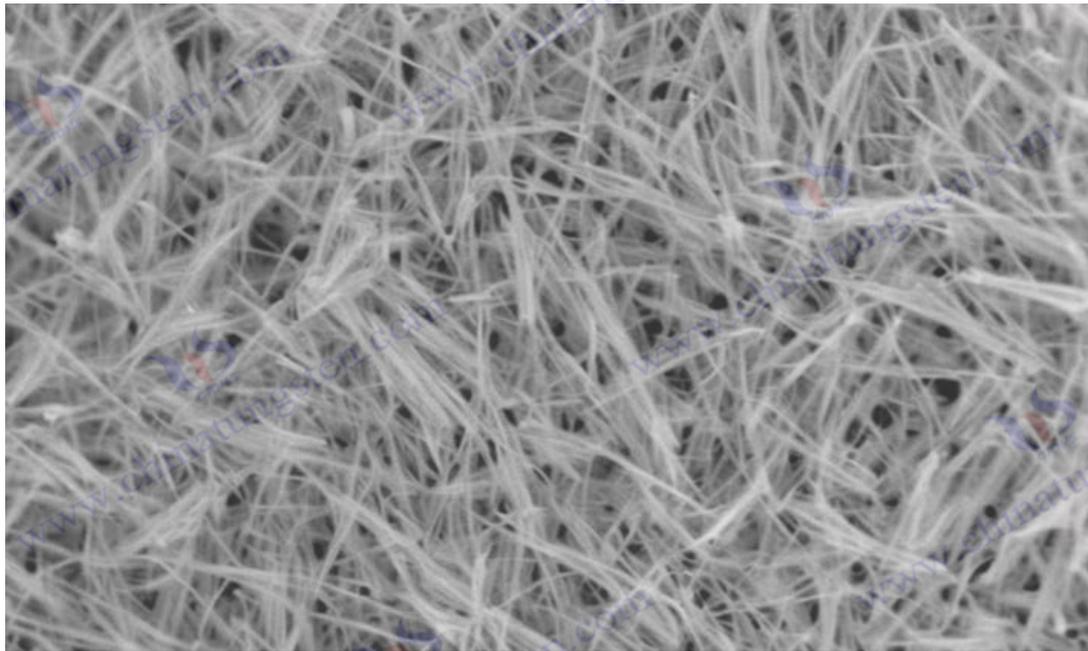


虽然纳米紫色氧化钨的价格相对较高,但是其优秀的性能使得电池制造过程中可以减少其他昂贵材料的用量,从而降低了电池的整体生产成本。此外,纳米紫色氧化钨的优异性能还提高了电池的能量密度和功率密度,进一步降低了电池的使用成本。

总的来说,纳米紫色氧化钨作为一种具有独特物理化学性质的纳米材料,在锂电池电极材料中具有重要的应用价值。其优异的性能能够显著提高电池的容量、充放电速度、结构稳定性和安全性,降低了电池的生产成本和使用成本。然而,目前纳米 $WO_{2.72}$ 的制备方法仍需进一步优化和改进,以提高其制备效率和降低成本,为商业化应用提供可能性。未来,随着纳米技术和材料科学的不断发展,相信纳米 $WO_{2.72}$ 在锂电池领域的应用将会有更广阔的前景。

6.3.1 锂电池正极材料用纳米紫色氧化钨

锂离子电池正极材料使用纳米紫色氧化钨是一种非常具有潜力的选择。纳米紫色氧化钨是一种具有独特物理化学性质的纳米材料,其颗粒形貌的不同可以分为纳米针状紫色氧化钨和棒状紫色氧化钨。这两种不同的形貌对锂离子电池正极材料的影响各有特点。



针状紫钨

首先,纳米针状紫色氧化钨对正极材料的影响主要表现在提高材料的电化学活性和充放电性能。由于其特殊的针状形态,纳米针状 $WO_{2.72}$ 具有较大的比表面积和良好的电子传导性。在电池充放电过程中,这种材料能够提供更快的锂离子嵌入和脱出速度,从而提高了电池的容量和充放电效率。此外,纳米针状 $WO_{2.72}$ 具有较高的化学活性,可以更有效地与电解质进行界面反应,进一步优化电池的充放电性能。

另一方面,棒状紫色氧化钨对电池正极材料的影响主要表现在提供较大的容量和优异的倍率性能。与针状形态相比,棒状形态的纳米 $WO_{2.72}$ 具有更长的轴向尺寸和较少的比表面



积。这使得棒状 $\text{WO}_{2.72}$ 在提供较大容量和优异倍率性能的同时，具有较好的结构稳定性和较低的制造成本。此外，棒状 $\text{WO}_{2.72}$ 的机械稳定性也相对较高，能够更好地承受电池充放电过程中的体积变化，提高电池的循环寿命。

此外，纳米紫色氧化钨还可以通过改善电极材料的结构稳定性和安全性来提高锂电池的性能。由于纳米 $\text{WO}_{2.72}$ 具有优异的热稳定性和化学稳定性，它可以增强电极材料的热稳定性和化学稳定性，从而降低电池在高温或异常情况下的危险性。同时，纳米 $\text{WO}_{2.72}$ 还可以通过提高电极材料的结构完整性来改善电池的循环寿命和容量保持率。

综上所述，纳米针状 $\text{WO}_{2.72}$ 和棒状 $\text{WO}_{2.72}$ 对正极材料的影响各有独特之处。纳米针状 $\text{WO}_{2.72}$ 能够提高材料的电化学反应活性和充放电性能，而棒状 $\text{WO}_{2.72}$ 则能够提供较大的容量和优异的倍率性能，同时具有较好的结构稳定性和较低的制造成本。在选择使用时，需要根据具体的应用场景和需求进行权衡。例如，对于需要高功率、快速充放电的电池应用，纳米针状 $\text{WO}_{2.72}$ 可能更为合适；而对于需要较大容量、结构稳定且成本较低的电池应用，棒状 $\text{WO}_{2.72}$ 可能是更好的选择。



棒状紫钨

然而，目前关于纳米紫钨在正极材料中的应用还存在一些挑战和问题。例如，如何实现大规模、低成本的制备，以及如何更好地理解 and 优化其电化学性能等。未来的研究工作将需要进一步探索这些领域，以实现纳米紫色氧化钨在锂离子电池正极材料中的广泛应用。

最后，值得一提的是，除了纳米紫色氧化钨之外，还有其他许多纳米材料如纳米碳管、纳米金属氧化物等也具有作为正极材料的潜力。这些材料的开发和研究也将对未来锂离子电池的发展和 application 产生重要影响。

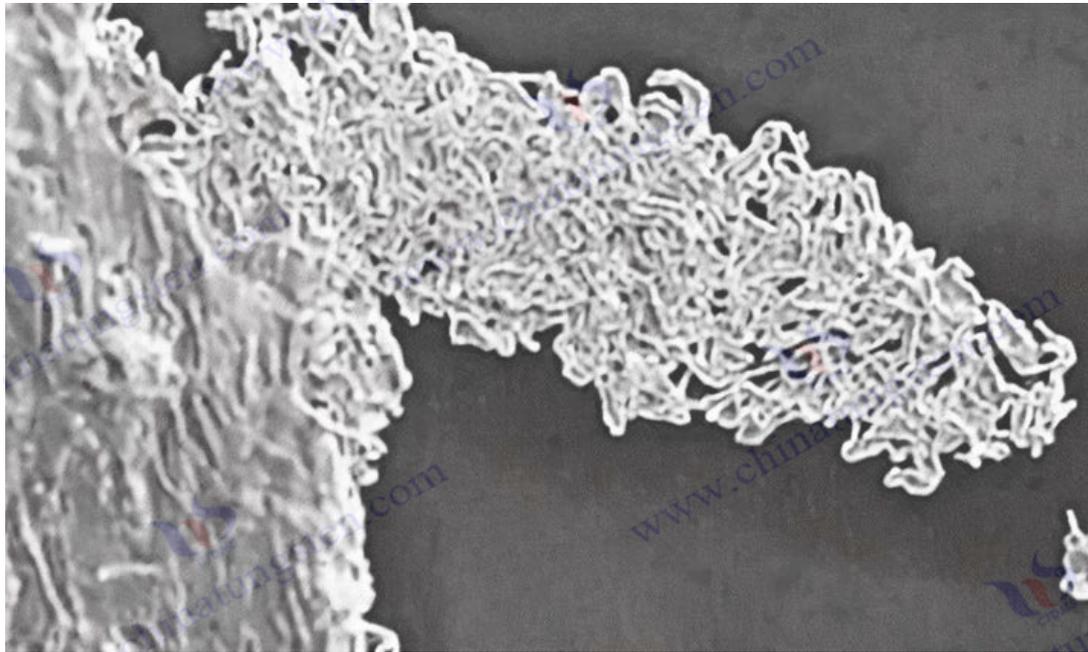
6.3.2 锂电池负极材料用纳米紫色氧化钨



为了延长新型电动车的使用寿命，改良其动力锂电池负极材料的性能是非常关键的。制造商们一直在寻找能够提高负极材料性能的有效物质。在这个过程中，紫色氧化钨超细颗粒成为了一个备受关注的选项。

紫色氧化钨超细颗粒是一种纳米材料，具有颗粒尺寸小、分散均匀、不易团聚、量子尺寸效应、表面效应、小尺寸效应等特点。这种材料在作为锂离子电池负极材料时，具有许多优势。紫色氧化钨的纳米尺寸可以提供更大的比表面积和更快的离子传输通道，进而能够有效地增大材料储存锂离子的空间，加快离子的氧化还原反应速率。这可以缓解锂枝晶的生长问题，降低电池容量的衰减速度。

锂枝晶的生长是锂离子电池中常见的问题之一。当锂离子在迁移到负极表面时，部分锂离子没有进入负极活性物质中形成稳定的化合物，而是获得电子后沉积在负极表面成为金属锂。这些金属锂的沉积会导致电池容量下降，严重时甚至会引起电池短路和爆炸。



显微镜下的锂枝晶

除了以上提到的优点外，紫色氧化钨还具有较高的化学稳定性、良好的电导性和热导性等优点。这些特性使得 $WO_{2.72}$ 可以作为负极材料的添加剂，提高电池的安全性、循环寿命和倍率性能等。

总之，紫色氧化钨超细颗粒具有较大的比表面积和较强的化学扩散性能，因此被认为是制备电池负极材料的优选原料。它可以在一定程度上缓解锂枝晶的生长问题，从而提高电池的循环寿命和安全性。此外，紫色氧化钨还可以改善电池的倍率性能和能量密度，使得电池具有更高的功率输出和更长的续航里程。

然而，虽然紫色氧化钨在负极材料中的应用前景广阔，但目前仍处于研发阶段。未来需要进一步研究其制备工艺、性能优化以及在电池制造中的应用等方面的问题。同时，还需要考虑其与其他材料的兼容性和成本等因素，以实现其在电动车领域的广泛应用。



据中钨在线/中钨智造了解，在“2018 年横滨人车科技展”上，日本东芝展示出了一款使用紫色氧化钨超细粉末生产的负极材料，能使锂离子电池在短时间内快速充电，同时保持长寿命。东芝的这款新锂离子电池除了具有快速充电和长寿命的特点外，还具有较高的能量密度和良好的安全性。这些优点使得这款电池可以用于汽车领域，为电动汽车提供更长的续航里程和更快的充电速度；也可以用于微型/轻度混合动力火车、电梯等领域，提供可靠的能源存储设备；还可以用于不间断电源 UPS 和大电流电源等领域，提供高效、可靠的储能解决方案。

6.3.3 锂电池电极材料用纳米紫色氧化钨的挑战

锂离子电池电极材料使用纳米紫色氧化钨是一种具有潜力的技术，可以改善电池的 electrochemical 性能和安全性。然而，生产高质量的纳米 $WO_{2.72}$ 材料仍然面临一些挑战。

首先，纳米紫色氧化钨材料的制备是一个具有挑战性的问题。这种材料需要采用特殊的合成方法来制备，常用的方法包括气相法、液相法和固相等。这些方法需要精确控制反应条件和参数，如温度、压力、气氛和反应时间等，以确保获得高质量的纳米 $WO_{2.72}$ 材料。此外，这些方法的产量相对较低，生产成本较高，难以实现大规模生产。因此，需要开发更加高效和经济的合成方法，以实现纳米 $WO_{2.72}$ 的大规模生产。



纳米紫色氧化钨材料

其次，纳米紫色氧化钨材料的形貌控制也是一个需要解决的问题。这种材料需要具有特定的形貌和尺寸，以便在锂电池中获得最佳的 electrochemical 性能。纳米针状 $WO_{2.72}$ 和纳米棒状 $WO_{2.72}$ 均具有非常小的颗粒尺寸和特殊的形貌，因此需要采用特殊的合成方法来制备。常用的方法包括气相法、液相法和固相等。这些方法需要精确控制反应条件和参数，如温度、压力、气氛和反应时间等，以确保获得高质量的纳米针状 $WO_{2.72}$ 和纳米棒状 $WO_{2.72}$ 。



另外，纳米紫色氧化钨材料的稳定性也是一个需要解决的问题。由于这种材料具有较小的颗粒尺寸和较大的比表面积，因此容易发生团聚和氧化等问题，这会影响材料的电化学性能和安全性，因此需要采取有效的措施来提高材料的稳定性。常用的方法包括表面改性、包覆保护层、引入稳定剂等。这些方法可以有效地提高纳米 $WO_{2.72}$ 的稳定性，但也会增加生产成本和复杂性。因此，需要在保证材料质量和性能的同时，尽量简化生产过程和提高生产效率。

此外，纳米紫色氧化钨材料的应用也受到其容量特性的限制。虽然这种材料具有较高的能量密度和良好的循环性能，但其容量特性仍然受到限制。在相同体积下，其他电极材料可能具有更高的容量和更好的电化学性能。因此，需要进一步研究和开发新的电极材料，以提高锂离子电池的容量和性能。

总之，锂离子电池电极材料使用纳米紫色氧化钨具有广阔的应用前景和技术潜力。然而，要实现这种材料的广泛应用和商业化生产，仍需解决一系列技术和生产方面的挑战。需要开展深入的研究和技术创新，以提高材料的稳定性、降低生产成本、实现大规模生产等方面的问题。这将有助于推动锂离子电池技术的进一步发展，并为电动汽车、可再生能源存储等领域提供更加高效和可靠的能源解决方案。



电动汽车

6.4 二氧化钨在锂离子电池中的应用

锂离子电池是一种先进的可充电电池，具有高能量密度、长寿命、环保等优点，被广泛应用于电动汽车、电子设备、航空航天等领域。锂电池的工作原理是基于锂离子在正负极之间的迁移和嵌入，从而实现电能的储存和释放。

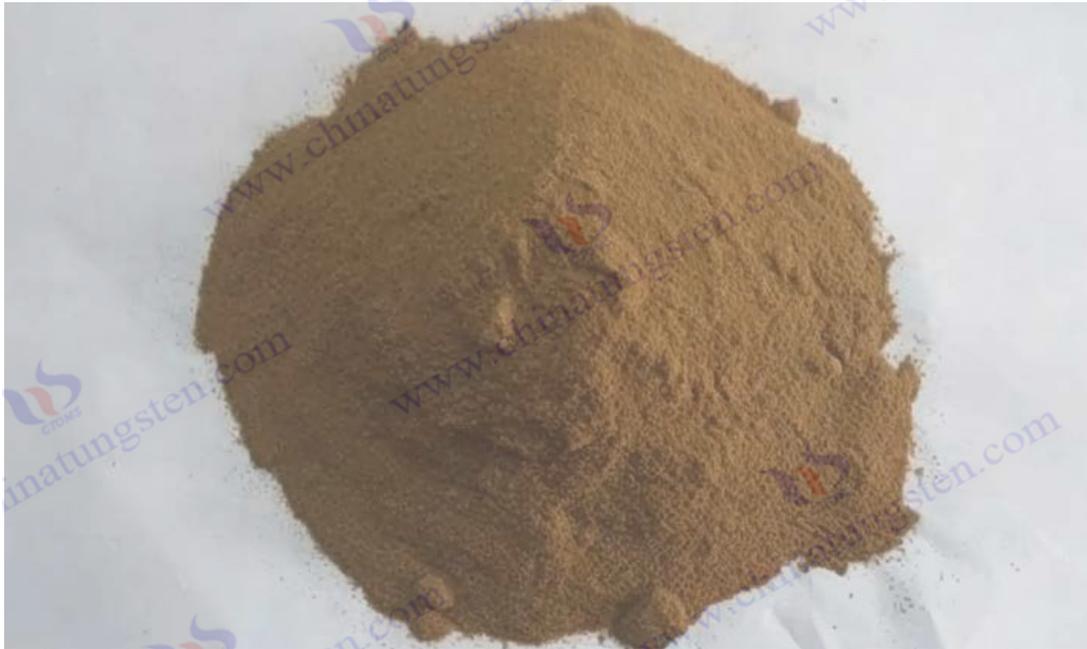
电极材料通常由活性物质、导电剂和粘结剂等组成，是锂离子电池的关键组成部分，直接决定了电池的性能和安全性，因此它需要具有良好的电导率、化学稳定性、结构稳定性和



锂离子可逆性等特性。

二氧化钨 (WO_2) 是一种具有金属电导率的材料，是一种 n 型半导体材料，具有较高的电子迁移率，良好的导电性、化学稳定性和锂离子可逆性等特点，因此在锂离子电池电极材料中具有广阔的应用前景。

在锂离子电池中，二氧化钨可以作为负极材料使用。在充电过程中，锂离子从正极迁移到负极，嵌入到 WO_2 的晶格中，从而储存电能。在放电过程中，锂离子从 WO_2 的晶格中迁移到正极，释放电能。在这个过程中，二氧化钨的结构和化学性质保持稳定，不会发生明显的体积变化或化学反应，因此具有较好的循环性能和稳定性。



二氧化钨

此外，二氧化钨还可以作为正极材料使用。在一些特殊体系中， WO_2 具有较高的能量密度和良好的电化学性能。例如，在富锂正极材料中， WO_2 可以与过渡金属氧化物复合，形成具有高容量的正极材料。这种正极材料具有较高的工作电压和能量密度，同时保持了良好的循环性能和稳定性。

总之，二氧化钨作为一种具有金属电导率的材料，具有高能量密度、长寿命、环保等优点，因而可以作为负极材料或正极材料使用。随着技术的不断进步和应用领域的不断拓展， WO_2 在锂离子电池电极材料中的应用将会有更加广泛的发展前景。

6.4.1 锂电池正极材料用二氧化钨

正极材料是锂离子电池的核心部分，其性能对电池的能量密度、循环寿命、安全性和成本等有直接的影响。目前商业化的正极材料主要包括钴酸锂 (LiCoO_2)、三元材料 (NCA/NMC) 和磷酸铁锂 (LiFePO_4) 等。然而，这些材料存在一些不足之处，如资源稀缺性、高成本、低能量密度等，限制了其在某些领域的应用。因此，开发新型的正极材料对于提高锂电池



的性能和降低成本具有重要意义。

二氧化钨 (WO_2) 是一种具有金属电导率的材料, 具有较高的电子迁移率和优良的锂离子可逆性等优点, 因此很好地应用于锂电池正极材料中。不过, WO_2 的结构可以进一步优化, 通过纳米结构设计、元素掺杂等方法可以实现对锂电池性能的优化。例如, 通过纳米结构设计可以改善 WO_2 的电导率和结构稳定性; 通过与金属氧化物复合可以形成高性能的正极材料; 通过元素掺杂可以调节 WO_2 的电化学性能等。



二氧化钨

与传统的正极材料相比, 二氧化钨复合正极材料具有以下优点:

(1) 高能量密度: 二氧化钨复合材料的理论容量和能量密度较高, 能够提供更多的电能。根据不同的合成方法和结构调控, WO_2 复合材料的容量可以在 150-300 mAh/g 的范围内变化。这比现有的钴酸锂、三元材料和磷酸铁锂等正极材料的能量密度更高。

(2) 长寿命: 二氧化钨复合材料的结构稳定性和化学稳定性好, 能够经历较多的充放电循环, 具有较长的使用寿命。

(3) 高安全性: 二氧化钨复合材料是一种非易燃、无毒的材料, 具有较高的安全性能。

总之, WO_2 复合材料作为一种新型正极材料, 具有高能量密度、长寿命和环保等优点。随着技术的不断进步和应用领域的不断拓展, 二氧化钨在锂离子电池正极材料中的应用将会有更加广泛的发展前景。

6.4.2 锂电池负极材料用二氧化钨

目前, 商业化的锂离子电池负极材料主要包括石墨、硬碳、软碳等, 但它们存在着一些不



足之处，如较低的容量、循环寿命短、倍率性能差等，限制了其在某些领域的应用。而二氧化钨作为一种新型负极材料，具有高容量、长循环寿命、良好的倍率性能和环保等优点，可以有效地提高锂离子电池的性能和降低成本。

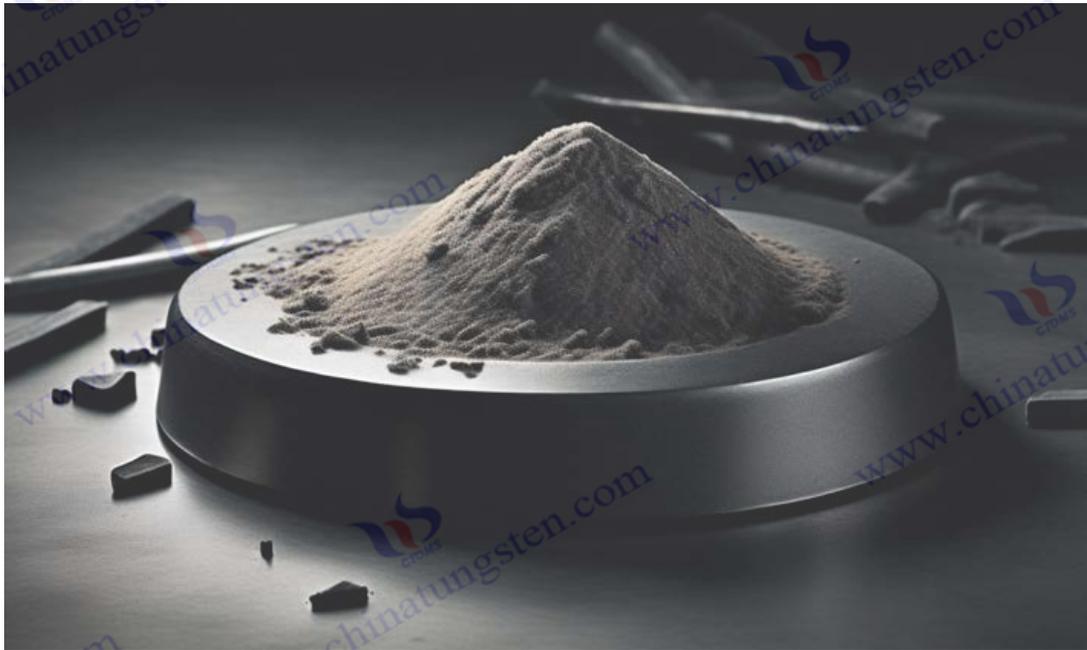
与传统的负极材料相比，二氧化钨复合负极材料具有以下优点：

(1) 高容量：二氧化钨复合材料的理论容量较高，能够提供更多的电能。根据不同的合成方法和结构调控， WO_2 复合材料的容量可以在数百至数千毫安时每克 (mAh/g) 的范围内变化。这比现有的石墨、硬碳和软碳等负极材料的容量更高。这意味着在相同的电量下，使用 WO_2 复合材料作为负极材料的电池可以提供更长的续航时间和更深的充放电深度。

(2) 长循环寿命：在循环过程中，二氧化钨复合材料的结构和化学性质保持稳定，不会发生明显的体积变化或化学反应，因此具有较好的循环性能和稳定性。

(3) 良好的倍率性能：二氧化钨具有较高的电子迁移率和优良的锂离子扩散性能，因此具有良好的倍率性能。这使得 WO_2 复合材料在快速充放电条件下表现出优异的性能，适合于高功率电池的应用。

(4) 高安全性：二氧化钨是一种非易燃、无毒的材料，具有较高的安全性。相比之下，一些传统的负极材料如石墨和硬碳存在易燃等问题，对电池的安全性造成一定隐患。



石墨

研究表明，二氧化钨与三氧化钨或三氧化钼制成的锂电池负极材料具有较高的电化学性能、能量密度、循环使用 and 安全性等特点。

二氧化钨/三氧化钨锂离子电池负极材料的制备方法：先将柠檬酸溶液和钨源溶液混合均匀，然后调节混合溶液的 pH 值在 1~3，再进行均相水热反应，反应结束后冷却至室温，



分离出产物并洗涤干燥即可。

二氧化钨/三氧化钨锂离子电池负极材料的制备方法：先将单糖溶液、钨源溶液和钼源溶液混合均匀，后加入表面活性剂溶液，再调节 pH 值为 0.5~1.5，接着进行均相水热反应，反应结束后冷却至室温，分离出产物并洗涤干燥即可。

6.4.3 锂电池电极材料用二氧化钨的挑战

锂离子电池电极材料用二氧化钨虽然具有许多优点，如具有高容量、长循环寿命、良好的倍率性能和环保等，但在实际应用中仍然面临一些挑战。

(1) 电导率低：二氧化钨是一种半导体材料，其电导率相对较低，这会限制其单纯在锂离子电池中的应用。在充放电过程中，低电导率会导致电池的倍率性能下降，影响其充放电速度和效率。因此，需要探索新的方法来提高 WO_2 的电导率，例如通过添加导电剂或与其他高导电材料复合等方法。



锂离子电池

(2) 体积变化大：在充放电过程中，单纯二氧化钨可能会发生体积变化，这可能会导致电极材料的粉化或脱落，进而影响电池的循环寿命和稳定性。为了解决这个问题，可以探索新的制备方法和结构调控技术，以增强 WO_2 电极的稳定性和耐久性。例如，通过控制 WO_2 的纳米结构或与其他材料复合等方法来减小体积变化。

(3) 容量和倍率性能需进一步提高：尽管普通二氧化钨作为负极材料具有高容量和良好的倍率性能，但还需要进一步提高其性能以满足实际应用的需求。这可以通过优化制备工艺、添加其他元素或进行表面改性等方法来实现。例如，通过控制 WO_2 的晶体结构和缺陷数量来提高其电化学性能。



(4) 成本较高：二氧化钨的合成过程中需要使用钨源，这可能会增加其成本。因此，需要开发低成本、高效的合成方法，以降低其制备成本。例如，探索新的钨源或合成方法，或通过回收和处理废弃物等方法来降低成本。

(5) 循环性能需进一步提高：尽管二氧化钨具有较好的循环性能，但在高循环次数下，其性能可能会下降。这可能是由于材料粉化、容量衰减等问题引起的。因此，需要进一步优化二氧化钨电极的制备和结构调控技术，以提高其循环性能和稳定性。

总之，为了将二氧化钨更好地应用于锂离子电池领域，需要进一步研究和改进，以提高其电导率、稳定性、容量、倍率性能和循环性能，并降低其成本。



二氧化钨

6.5 铌钨氧化物在锂离子电池中的应用

铌钨氧化物 (Niobium Tungsten Oxide, NTO) 是一种由铌 (Nb) 和钨 (W) 与氧 (O) 组合而成的化合物，具有正交相晶体结构，并拥有较大的空位尺寸，被认为是一种潜力巨大的锂离子电池负极材料。

铌钨氧化物作为一种新型的负极材料，具有高容量、长循环寿命和良好的倍率性能等优点，可以有效地提高锂离子电池的性能，如能量密度、循环寿命、安全性等。NTO 材料高容量和长循环寿命主要得益于其稳定的晶体结构和较大的空位尺寸，这使得锂离子在充放电过程中能够快速进出电极材料，并减少了电极材料的粉化或脱落等问题。

IT 之家最新消息显示，英国电池初创公司 (Nyobolt) 近年来展示了一款基于莲花 Elise 的概念电动车，该车采用了新型的铌钨氧化物电池技术，可以在短短 6 分钟内充满电。这一创新技术有望大幅度提升电动车的效率和性能，进而能有效缓解现有电动车充电时间长、续航里程短的问题。



Nyobolt 的铌钨电池技术源自剑桥大学的研究，使用了铌钨氧化物作为锂电池的负极材料。研究表明，铌钨氧化物的电化学性能与其晶体结构、隧道尺寸有着密切关系：五边形 NTO 材料的隧道尺寸较大，因而能使电池拥有良好的倍率性能；四边形 NTO 材料因有独特的开放式晶体，而具有较强的锂离子存储能力，能使电池拥有较高的容量和较好的循环稳定性。另外，多孔微米球结构可以使电解液与 NTO 材料充分接触，增加电解液的渗透能力，减小界面电阻。

总之，铌钨氧化物作为一种新型的锂离子电池负极材料，具有高容量、长循环寿命、良好的倍率性能和环保等优点。随着技术的不断进步和应用领域的不断拓展，铌钨氧化物在锂离子电池负极材料中的应用将会有更加广泛的发展前景。



电动车

6.5.1 锂电池正极材料用铌钨氧化物

铌钨氧化物是一种具有潜在应用价值的锂离子电池正极材料，由铌和钨的氧化物构成，通常具有正交相的晶体结构，这种结构有利于锂离子的嵌入和脱出。

在锂离子电池中，正极材料是电池的重要组成部分，对电池的能量密度、循环寿命、安全性和成本等有直接的影响。目前，商业化的正极材料如钴酸锂 (LiCoO_2)、镍酸锂 (LiNiO_2) 和锰酸锂 (LiMn_2O_4) 等存在容量较低、循环寿命短、倍率性能差等问题，限制了其在某些领域的应用。

铌钨氧化物作为新型正极材料，具有高能量密度、高稳定性等优点，可以有效弥补现有正极材料的不足。其高能量密度主要得益于其较大的理论容量和较高的电子导电性。根据不同的合成方法和结构调控，铌钨氧化物的容量可以在数百至数千毫安时每克 (mAh/g) 的范围内变化。例如，通过固相法合成的 Nb_2O_5 正极材料具有较高的容量，可达到 190mAh/g



左右。

此外，铌钨氧化物还具有高稳定性、长循环寿命和良好的倍率性能等优点。在充放电过程中，NTO 结构稳定，体积变化小，不会出现明显的粉化或脱落等问题。这使得 NTO 在循环过程中保持较好的结构完整性和电化学活性，从而具有较长的寿命和良好的倍率性能。

授权公告号 CN115050946B 的专利摘要显示，所述正极活性材料包括正极活性材料基体和包覆层，所述包覆层包裹在所述正极活性材料基体的外表面；所述正极活性材料基体为高镍材料，所述包覆层包括含碳铌钨氧化物材料，所述含碳铌钨氧化物材料为碳改性的铌钨氧化物，通过该技术可以有效提高电池的循环寿命和充放电性能。

然而，铌钨氧化物也存在一些问题需要解决。例如，其电导率相对较低，需要进一步提高其导电性能；在充放电过程中可能会发生体积变化，需要增强其结构稳定性和耐久性；同时，其容量和倍率性能还需进一步提高以满足实际应用的需求。



锂电池

6.5.2 锂电池负极材料用铌钨氧化物

自石墨/钴酸锂插层材料首次被发现可作为锂离子电池的电极以来，锂离子二次电池已经商业化超过三十年。目前，尽管有许多其他类型的材料被研究并尝试用于锂离子电池，但最先进的锂电池仍然主要使用插层材料。与合金类和转化类材料相比，插层材料具有更小的体积应变力和更长的循环寿命等优点。然而，一个主要的问题是锂离子在石墨中的扩散动力学过程相对缓慢，这限制了锂电池在快速充电领域的发展和应用。

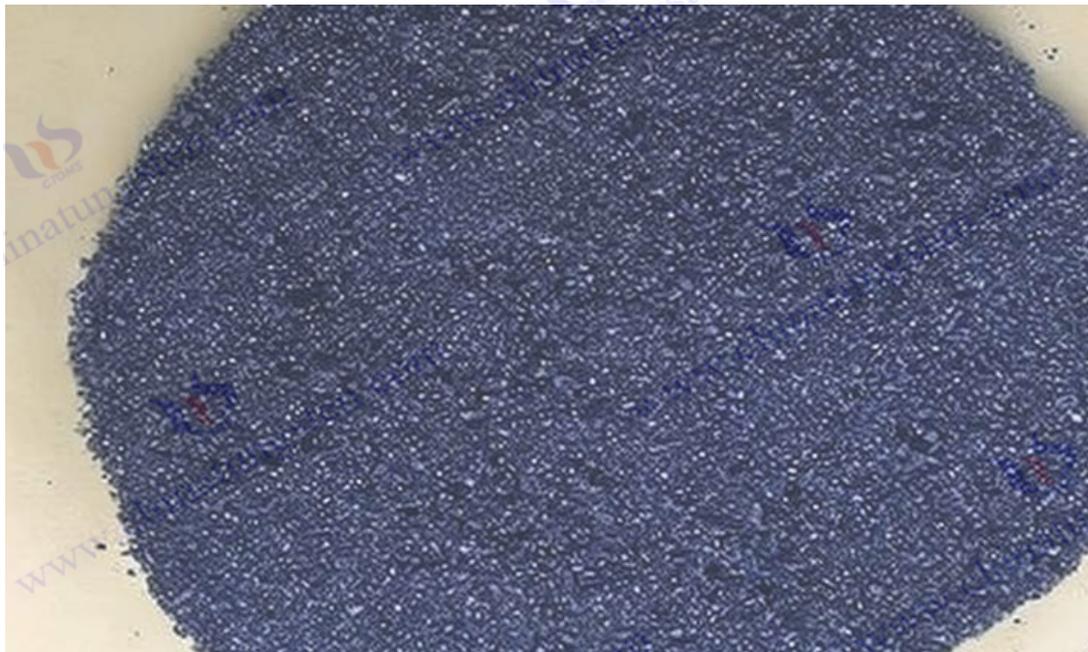
为了克服现有锂电池的这些限制，寻找和开发高性能负极材料变得至关重要。铌基氧化物，如铌钨氧化物，由于在大倍率充放电性能和循环稳定性等方面表现出色，已经引起了储能研究者的浓厚兴趣。在晶体学领域，晶体结构的通道尺寸会直接影响锂离子的运输，从而对电池的容量、电压区间和循环寿命产生显著影响。



通过深入研究和探索，科学家们发现铌钨氧化物具有优异的电化学性能和结构稳定性。这种材料具有较大的隧道尺寸，使得锂离子可以快速地嵌入和脱出，同时保持稳定的晶体结构。这使得 NTO 成为一种极具潜力的锂离子电池负极材料。

此外，研究者们还开发了一种低阻抗的正极材料和先进的电子控制系统，以进一步增强电池的充放电性能和循环稳定性。这些改进使得基于铌钨氧化物的锂电池不仅具有更高的能量密度和更快的充电速度，而且具有更长的使用寿命和更高的安全性。

近几年，清华大学深圳国际研究生院和燕山大学的研究者共同提出了一种基于晶体结构调控的铌钨氧化物的储锂行为的理论。研究者选取了 WNb_2O_8 （四边形）， $\text{W}_3\text{Nb}_{14}\text{O}_{44}$ （四边形）和 $\text{W}_{10.3}\text{Nb}_{6.7}\text{O}_{47}$ （五边形）三种具有代表性的不同隧道开口的钨铌氧化物为原型，系统地研究了晶体结构在铌钨氧化物中对锂离子运输的作用。研究表明， $\text{W}_{10.3}\text{Nb}_{6.7}\text{O}_{47}$ 具有较大的五边形隧道，表现出最佳的倍率性能，这与本身较低的锂离子插层势垒和二维锂离子传输通道有关。 $\text{W}_3\text{Nb}_{14}\text{O}_{44}$ 具有 Wadsley-Roth 相，其比容量和锂离子存储能力最高，因其独特的开放式晶体构造提供丰富的嵌锂点位。



六氯化钨

文档序号为 22551925 的专利研究者提出了一种多孔微米球结构铌钨氧化物电极材料的生产方法，具体步骤如下：（1）将铌盐（如氯化铌或氟化铌）、氢氟酸、异丙醇、钨盐（如氯化钨或氟化钨）在室温下搅拌均匀得到混合溶液；（2）将混合溶液密封加热到 $180-220^\circ\text{C}$ ，保持 12-48 小时，待混合溶液自然冷却后收集粉末，洗涤后烘干；（3）将烘干后的活性物质收集，在空气中加热后退火就可以得到 $\text{W}_6\text{Nb}_{14}\text{O}_{53}$ ；（4）向铌钨氧化物中加入一定量的导电剂乙炔黑和粘结剂聚偏氟乙烯，即可制得锂离子电池负极材料。

6.5.4 锂电池电极材料用铌钨氧化物的挑战

虽然铌钨氧化物作为一种具有潜力的负极材料，展现出优异的电化学性能和结构稳定性，但在实际商业化应用中仍面临一些挑战。

首先，铌钨氧化物负极材料的制备过程相对复杂，成本较高。目前，大多数 NTO 负极材料都是通过固相法合成，需要经过高温、长时间的热处理过程，而且需要使用大量的有机溶剂和表面活性剂等原料，这无疑增加了其制造成本。此外，由于 NTO 负极材料在充放电过程中会发生体积变化，因此需要添加粘结剂和导电剂等成分以保持电极的稳定性和导电性，这也会增加制备的复杂性和成本。

其次，普通的铌钨氧化物负极材料在充放电过程中存在体积变化的问题。由于普通的 NTO 负极材料在充放电过程中会发生体积变化，可能导致电极的粉化、脱落等问题，从而影响电池的循环寿命和稳定性。尽管已经有一些研究在尝试解决这个问题，但仍然需要更多的研究和改进来克服这个挑战。



锂离子电池

另外，普通的铌钨氧化物正极材料也面临着商业化应用的挑战。虽然普通的 NTO 正极材料具有高能量密度、长循环寿命等优点，但在充放电过程中会发生体积变化和结构转变等问题，这可能导致电池性能的衰减和安全隐患。此外，普通的 NTO 正极材料的制备过程也较为复杂，且存在批次差异等问题，这也会影响其商业化的推广和应用。

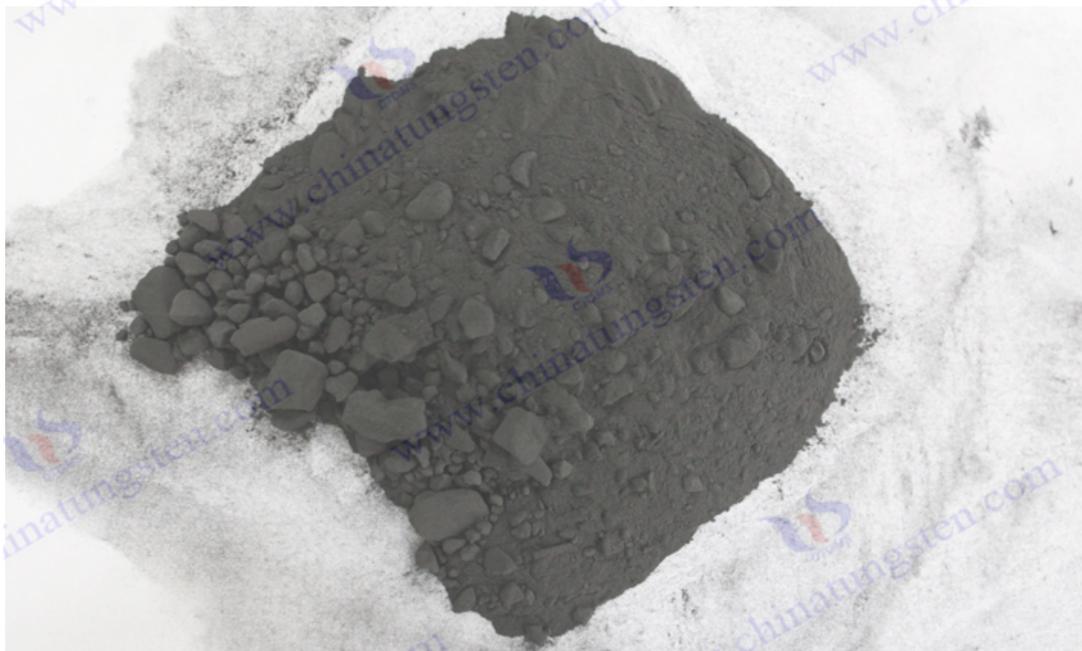
综上所述，虽然铌钨氧化物作为一种具有潜力的锂离子电池电极材料展现出优异的性能，但在实际商业化应用中仍面临制备过程复杂、成本高、体积变化等问题。为了实现 NTO 电极材料的商业化应用，需要进一步研究和改进材料的制备方法、优化电极结构、提高电池性能和稳定性等方面的工作。同时，也需要探索新的材料体系和电池设计理念以进一步推动锂电池技术的发展。

6.6 氮化钨在锂离子电池中的应用



氮化钨 (WN) 是一种由钨和氮元素组成的化合物, 具有优异的物理和化学性能, 如高硬度、耐磨性、抗氧化性和良好的导电性能等。近年来, 氮化钨作为锂离子电池电极材料改性剂的研究引起了广泛关注。

锂离子电池是一种以锂离子在正负极之间迁移和嵌入/脱出实现电能储存和释放的电池, 具有高能量密度、长循环寿命和自放电率低等优点, 被广泛应用于移动电子设备、电动汽车和储能系统等领域。正极材料通常采用含锂过渡金属氧化物或磷酸盐, 而负极材料则采用石墨或非石墨类碳材料。



氮化钨

氮化钨作为电极材料改性剂具有潜在的优势。首先, 氮化钨具有高理论容量和良好的导电性, 能够满足锂离子电池高能量密度的需求。其次, 氮化钨具有稳定的三维隧道结构, 有利于锂离子的嵌入和脱出, 并保持电极材料的结构稳定性。此外, 氮化钨还具有良好的抗氧化性和耐腐蚀性, 能够在高温和高湿度环境下保持稳定性能。

在实际应用中, 氮化钨作为电极材料仍面临一些挑战。首先, 氮化钨的制备成本较高, 需要进一步降低成本以实现商业化应用。其次, 氮化钨在充放电过程中存在体积变化和结构转变等问题, 可能导致电极粉化、脱落等问题, 影响电池的循环寿命和稳定性。此外, 对于氮化钨电极材料的电化学性能和循环特性等方面的研究还需要进一步深入。

6.6.1 锂电池负极材料用氮化钨

氮化钨是一种新型的负极材料添加剂, 结构为六方晶系, 空间群为 $P6_3/mmc$, 晶格常数为 $a=3.117\text{nm}$, $c=5.751\text{nm}$, 特点主要包括高能量密度、高电导率、良好的热化学稳定性等。

由于氮化钨复合材料的理论比容量较高, 因此可以提供较高的能量密度, 使得电池具有更

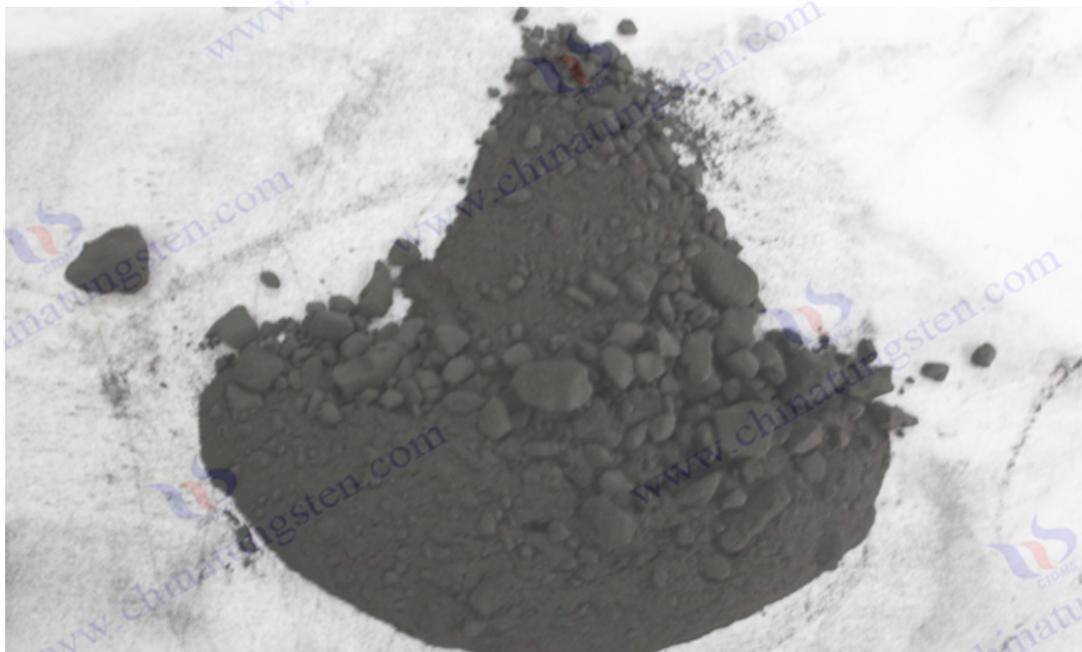


高的储能密度。这使得 WN 复合材料成为一种有潜力替代石墨负极材料的候选者。

氮化钨复合材料具有高电导率。电导率是衡量材料导电性能的重要指标。由于 WN 复合材料具有较高的电导率，因此可以提供良好的电子导电性和离子导电性，从而提高了电池的倍率性能和充放电效率。

此外，氮化钨复合材料还具有长寿命的特点。在循环充放电过程中，石墨负极材料容易发生体积变化和结构破坏，导致电池容量的快速衰减。然而，WN 复合材料在充放电过程中表现出较好的结构稳定性和循环性能，从而延长了电池的使用寿命。

专利号 CN101834293B 的专利摘要显示，氮化钨负极材料为薄膜形式，通过磁控溅射沉积法制备获得。该薄膜制成的电极，具有良好的充放电循环可逆性，由氮化钨薄膜制成的电极的可逆比容量为 410mAh/g 左右，电极经 53 次循环后容量仍有 375mAh/g。氮化钨电极材料化学稳定性好、平台电位高、制备方法简单，适用于锂离子电池。



氮化钨

6.6.2 锂电池电极材料用氮化钨的挑战

氮化钨作为负极材料存在一些不足，主要包括以下几点：

首次充放电效率低：氮化钨的首次充放电效率通常较低，需要经过适当的预处理才能提高其性能。这可能涉及到复杂的制备工艺或额外的处理步骤，增加了生产成本和复杂性。

电化学稳定性差：氮化钨在电化学反应过程中可能会与电解液发生反应，导致电池容量逐渐下降。这可能会限制其在某些应用中的使用寿命。

成本高：氮化钨的制备成本相对较高，可能会增加电池的成本。这可能限制了其在一些低



成本或大规模应用中的使用。

为了解决这些问题，可以采取以下措施：

优化制备方法：通过改进或优化氮化钨的制备方法，提高其质量和性能，降低制备成本。这可能涉及深入研究现有的制备技术，发现更高效、更经济的生产方法。

表面改性：通过表面处理或涂层等方法改变氮化钨的表面结构或性质，提高其电化学稳定性和充放电效率。这可能涉及物理或化学处理技术，以改善氮化钨在电池环境中的性能。

复合材料设计：将氮化钨与其他材料进行复合，以实现优势互补和性能提升。这种策略可以涉及将氮化钨与导电性、稳定性更好的材料相结合，以改善其整体性能。

深入研究电化学机制：通过深入研究和理解氮化钨在电池中的电化学反应机制，针对性地优化材料结构和性质，提高其电化学性能。这可能涉及先进的实验技术和理论模型，以深入洞察材料的性能和反应机制。



电池

6.7 二硫化钨在锂离子电池中的应用

二硫化钨 (WS_2) 是一种具有特殊结构和性质的化合物，其颗粒形貌的不同可以影响其在锂离子电池正极材料或负极材料中的应用。以下是不同形貌的二硫化钨及其在锂离子电池中的应用：

二硫化钨纳米片：具有类似于石墨烯的层状结构，层内共价键强烈，层间范德华力较弱，使得层与层之间容易剥离，因此具有较低的摩擦系数。这种结构特点使得 WS_2 纳米片在作为锂离子电池电极材料时具有一些独特的优势，如高能量密度、长循环寿命、良好的安



全性和稳定性等。

二硫化钨纳米管：具有类似于纳米管的形态，内部具有中空的管状结构，外部覆盖着层状结构。这种结构使得 WS_2 纳米管在作为锂离子电池电极材料时具有较高的比表面积和良好的电导率，有利于提高电池的充放电性能。

二硫化钨纳米线：具有类似于纳米线的形态，长径比大，横向尺寸小。这种结构使得 WS_2 在作为锂离子电池电极材料时具有良好的导电性和稳定性，能够限制电流的过度释放，提高电池的安全性。

二硫化钨量子点：具有类似于量子点的形态，横向尺寸小，表面能高。这种结构使得 WS_2 量子点在作为锂离子电池电极材料时具有较高的比表面积和良好的电化学活性，能够提供更多的活性物质反应位点，提高电池的容量和能量密度。



纳米二硫化钨

二硫化钨纳米花：具有类似于纳米花的形态，由多个小颗粒组成，表面具有丰富的边缘和缺陷。这种结构使得 WS_2 纳米花同样能够为电极材料提供更多的活性物质反应位点，进而提高电池的容量和能量密度。

综上所述，不同形貌的二硫化钨具有不同的结构和性质特点，在作为锂离子电池电极材料时能够发挥不同的优势和作用。对于具体的电池体系和应用场景，可以选择合适的形貌和结构的 WS_2 进行优化和改进，提高电池的性能和安全性。

6.7.1 锂电池正极材料用二硫化钨纳米片

二硫化钨纳米片在锂离子电池正极材料中的应用显示出巨大的潜力。由于其特殊的层状结构和优秀的电化学性能， WS_2 纳米片有望显著提高磷酸铁锂正极材料的性能。



磷酸铁锂是目前商业化锂离子电池中广泛使用的正极材料，具有高安全性和低生产成本等优势。然而，磷酸铁锂也存在一些不足，如导电率低、容量有限和低温性能不佳等问题。为了克服这些缺点，科学家们采用了 WS_2 纳米片作为改性剂，以获得更高导电率、更大容量以及更好低温性能的产品。

二硫化钨纳米片是一种低维度的纳米材料，具有类似于石墨烯的层状结构和大表面积的特性。这些特性使得二硫化钨纳米片在锂离子电池正极材料的制备中具有多种优势。首先， WS_2 纳米片可以提供更多的活性物质反应位点，增加电池的容量和能量密度。其次， WS_2 纳米片的层状结构和良好的电导率有利于提高电池的充放电性能。此外， WS_2 纳米片还能限制电流的过度释放，提高电池的安全性。

在磷酸铁锂正极材料的改性中，二硫化钨纳米片通过改善材料的电化学性能和耐高温性能来增强产品的抗高温性能与抗低温性能。具体来说， WS_2 纳米片可以提供更多的锂离子插层脱嵌通道，提高材料的导电率和容量。同时， WS_2 纳米片的热学性能和力学性能也得到了很好的提升，从而降低了自身发生化学反应的可能性，增强了特种锂电池的安全性。

除了在正极材料中的应用外，二硫化钨纳米片还可以用于制备新型锂电池的负极材料。研究表明， WS_2 纳米片具有较高的理论比容量、良好的循环稳定性和较低的制备成本等优点，有望成为下一代储能负极材料的理想选择。



纳米 WS_2

6.7.2 锂电池正极材料用二硫化钨纳米管

在二硫化钨纳米管的制备过程中，通常采用高温气固反应法、热分解法、水热法等方法。这些方法都需要一定的温度和化学环境条件，以使钨和硫元素能够反应生成 WS_2 纳米管。



二硫化钨纳米管在锂电池正极材料的应用中展现出潜在的优势。由于其特殊的纳米结构和高比表面积， WS_2 纳米管能够提供更多的活性物质反应位点，增加电池的容量和能量密度。同时，它的层状结构和良好的电导率也有利于提高电池的充放电性能。

在正极材料中，二硫化钨纳米管通过改善材料的电化学性能和耐高温性能来增强产品的抗高温性能与抗低温性能。具体来说，二硫化钨纳米管可以提供更多的锂离子插层脱嵌通道，提高材料的电导率和容量。

研究表明，通过使用 Hummers 方法制备氧化石墨烯（GO），然后在水热条件下用适量的十六烷基三甲基溴化铵（CTAB）表面活性剂制备出叶状层状 WS_2 -NG 复合物，作为锂离子电池的阳极，并且能显示出极好的电化学性能。在研究过程中，学者们研究了 CTAB 用量对 WS_2 层数的影响，最佳的复合材料（CTAB/前体比例为 1:1）在电流密度为 100mAh/g 时表现出高达 905mAh/g 的高比容量，优异的循环性（100 次循环平均每个循环容量衰减 0.08%）和良好的速率性能（容量保持率为 80%）。

Huang 等通过水热和硫化物还原反应成功制备了 WS_2 -SuperP 纳米复合材料。SuperP（50nm，无定形碳）作为导电添加剂，有利于减小纳米复合材料的尺寸，提高纳米复合材料的分散性，从而加速 WS_2 -SuperP 纳米复合电极与电解液的嵌入/萃取反应。该材料应用于锂离子电池中，与纯 WS_2 相比， WS_2 -SuperP 纳米复合材料的初始放电容量为 421mAh/g，初始库仑效率高达 81%，电荷转移阻抗低，第 200 次循环后为 389mAh/g。

6.7.3 锂电池负极材料用二硫化钨纳米片

随着电动汽车、电脑等电子产品的普及，锂离子电池作为主要的储能设备，其性能要求也越来越高。传统的石墨负极材料虽然具有较高的容量和循环稳定性，但其倍率性能和安全性有待进一步提高。因此，寻找新型的负极材料成为当前锂离子电池研究的热点之一。



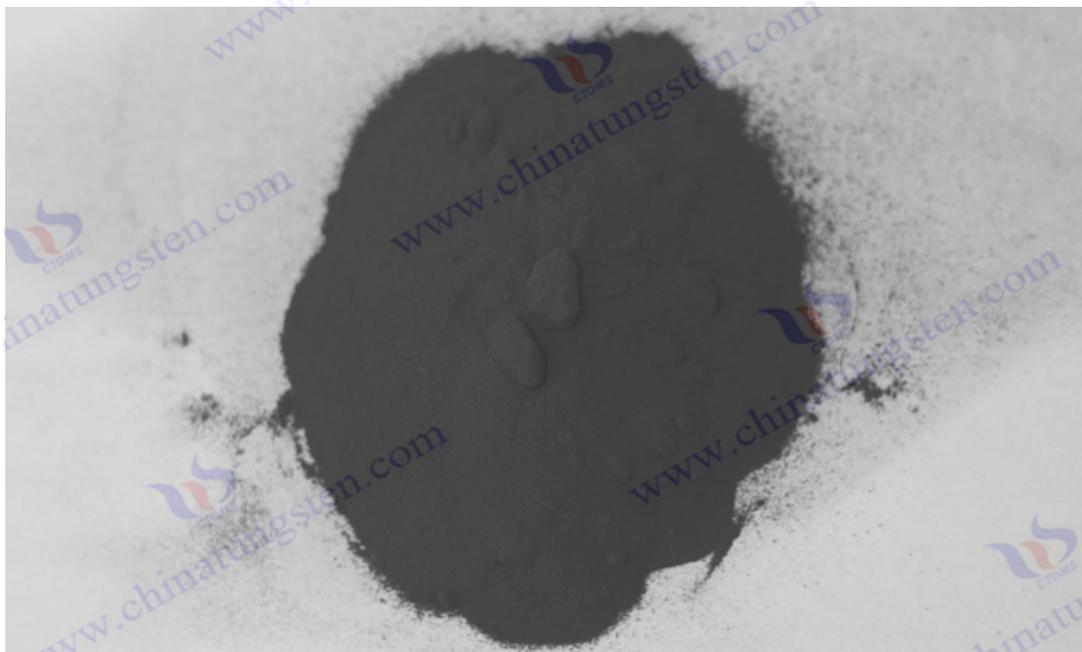
电脑



WS₂ 纳米片是一种具有二维层状结构的纳米材料，由单层或少层的二硫化钨分子组成。这种结构具有高比表面积和良好的导电性能，为能量储存和传输提供了良好的通道。同时，WS₂ 纳米片的层间距较大，有利于锂离子的插层脱嵌，从而提高了材料的电化学性能。

为了探究二硫化钨纳米片作为负极材料的性能，我们进行了实验研究。实验结果表明，WS₂ 纳米片具有较高的初始放电容量和良好的循环性能。具体来说，在 0.1C 的电流密度下，其首次放电容量可达 1200mAh/g，经过 50 次循环后，容量保持率仍高达 85%。此外，在 5C 的大电流密度下，其放电容量仍可达到 500mAh/g，表现出优异的倍率性能。

通过循环伏安测试和电化学阻抗谱测试，我们进一步分析了二硫化钨纳米片的电化学性能。循环伏安测试结果表明，WS₂ 纳米片具有较低的氧化还原电位和较大的可逆容量，说明其作为负极材料具有较高的能量密度和功率密度。电化学阻抗谱测试结果表明，WS₂ 纳米片具有较小的电荷转移电阻和较高的离子扩散系数，说明其作为负极材料具有较快的反应动力学和较高的倍率性能。



纳米二硫化钨

为了探究二硫化钨纳米片的形貌和结构对其电化学性能的影响，我们采用了扫描电子显微镜和透射电子显微镜对其进行表征。结果表明，WS₂ 纳米片呈现出规则的二维层状结构，且层间距较大，有利于锂离子的插层脱嵌。同时，WS₂ 纳米片的表面较为光滑，没有出现明显的团聚和裂纹等现象，说明其具有较好的结构稳定性和循环稳定性。

综上所述，二硫化钨纳米片具有较高的初始放电容量和良好的循环性能，同时表现出优异的倍率性能和电化学性能。这些优点使得 WS₂ 纳米片成为一种潜在的负极材料选择。

二硫化钨纳米片负极材料可以用锂离子插层剥离法来制备。锂离子插层法是利用含锂（如正丁基锂）溶剂嵌入到二维层状纳米材料中，形成中间化合物增大材料的层间间距来减弱层间范德华力，然后超声，最终得到少层甚至单层的纳米片。研究者 Zeng 等用锂箔充当



电池的负极，将 WS_2 与乙炔黑混合而制备为正极，电化学插层使用电流密度为 $0.05mA$ 的恒电流放电，该过程在几个小时内就可完成，而且可以通过检测锂的插入对反应进行很好的控制。

6.7.4 锂电池负极材料用二硫化钨纳米管

随着科技的不断进步，人们对能源的需求日益增长，同时对能源储存和转换技术的要求也越来越高。锂离子电池作为一种主流的能源储存技术，其性能的提升和改进一直是研究的重要方向。负极材料是锂离子电池的关键组成部分，对于提高电池的能量密度和循环寿命具有重要作用。近年来，新型的纳米材料如二硫化钨纳米管和二硫化钨纳米片引起了研究者的广泛关注。

二硫化钨纳米管是由单层或少层的二硫化钨分子卷曲而成的管状结构，具有较大的层间距，有利于锂离子的插层脱嵌，提高了材料的电化学性能；具有较好的结构稳定性、循环稳定性和热稳定性，使其在恶劣环境下仍能保持稳定的性能；具有高的比表面积和良好的导电性能，能够提供更多的反应活性位点，有利于能量的快速储存和释放。



纳米二硫化钨

与二硫化钨纳米片的性能区别：二硫化钨纳米管在层间距、导电性和结构稳定性方面具有更大的优势，因而表现出更高的储锂容量和更好的倍率性能。这主要是由于 WS_2 纳米管是由单层或少层的二硫化钨分子卷曲而成的管状结构，而 WS_2 纳米片是由单层或少层的二硫化钨分子组成的平面结构

结果表明，二硫化钨纳米管具有独特的结构和优异的性能，在能源转换和储存领域具有广泛的应用前景。然而，目前对于二硫化钨纳米管的制备方法和性能优化等方面仍需进一步研究和完善。未来可以通过优化制备条件、引入掺杂元素或复合其他材料等方法来提高其二硫化钨纳米管的电化学性能和循环稳定性等性能表现。同时，也需要关注其在实际应用

中的安全问题和使用寿命等因素的评估与优化。

6.7.5 锂电池电极材料用二硫化钨的挑战

虽然二硫化钨纳米材料作为锂离子电池的正极或负极材料具有很多优点,如高理论容量和良好的电化学性能,但是目前还存在一些问题,导致其难以实现商业化。

(1) 制备成本高昂:目前,制备二硫化钨纳米材料的过程较为复杂,需要使用高端设备和精密的工艺控制,导致制备成本较高。这使得 WS_2 在锂离子电池市场上的竞争力下降,难以大规模应用。

(2) 容量衰减问题:虽然普通的二硫化钨具有较高的初始容量,但在循环过程中容量衰减较快,影响了电池的循环寿命。这主要是由于在充放电过程中, WS_2 的结构容易发生变化,导致容量的损失。

(3) 安全性问题:普通二硫化钨在电池中的使用可能存在一些安全隐患。例如,在高倍率充放电条件下, WS_2 可能会发生锂枝晶的生长,刺破隔膜导致电池短路。此外, WS_2 的导电性较好,可能导致电池在过热时发生热失控。



电池爆炸

实际性能与理论预期差距:虽然从理论上讲,二硫化钨具有很高的储锂容量和优良的电化学性能,但在实际应用中,由于受到制备工艺、电极结构、电解质等因素的影响,其实际性能往往低于理论预期。

以下是针对这些问题的一些可能的解决方案:

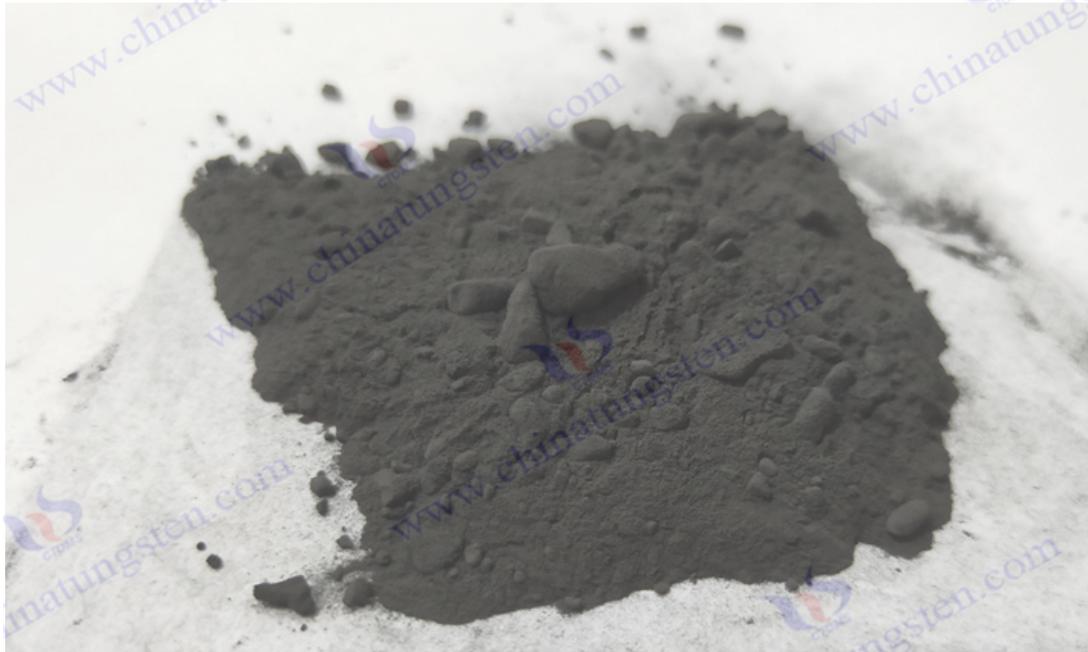
降低制备成本:通过优化制备工艺、开发新型制备技术或寻找更经济的原材料来源,可以



降低二硫化钨的制备成本，提高其商业化应用的可行性。

提高循环稳定性：通过改进电极结构、优化电解质配方或引入掺杂元素等方法，可以提高普通的二硫化钨在充放电过程中的结构稳定性，从而减缓容量衰减的速度。

增强安全性：通过研究新型的隔膜材料、电解质添加剂或设计更安全的电池结构，可以降低普通二硫化钨在电池中使用的安全风险。



二硫化钨

6.8 钨酸钠在锂离子电池中的应用

钨酸钠 (Na_2WO_4) 是一种无机化合物，形态为白色或淡黄色的结晶粉末，具有一些独特的化学和物理性质，使其成为锂电池负极材料的一种潜在选择。 Na_2WO_4 具有较高的理论容量，在电池中有较高的能量储存能力； Na_2WO_4 的电化学性能稳定，能够在高电压下运行，这使得电池具有较高的安全性和稳定性。

在电池充放电过程中，钨酸钠能够可逆地插入和脱出锂离子，实现能量的储存和释放。此外，钨酸钠的导电性能良好，能够满足电池运行的需求。

然而，尽管普通钨酸钠具有这些优点，但在实际应用中仍存在一些挑战。例如， Na_2WO_4 在充放电过程中的体积变化可能会导致电极材料的结构破裂和容量的快速衰减。此外， Na_2WO_4 的电子导电性虽然良好，但仍然比一些商业化的负极材料如石墨和硅碳复合材料逊色。

为了克服这些挑战，研究者们正在探索对钨酸钠进行改性或者复合其他材料的方法，以提高其电化学性能和稳定性。例如，通过纳米结构设计或者掺杂其他元素，可以改善钨酸钠在充放电过程中的体积变化和电子导电性。此外，将钨酸钠与石墨烯、碳纳米管等材料复



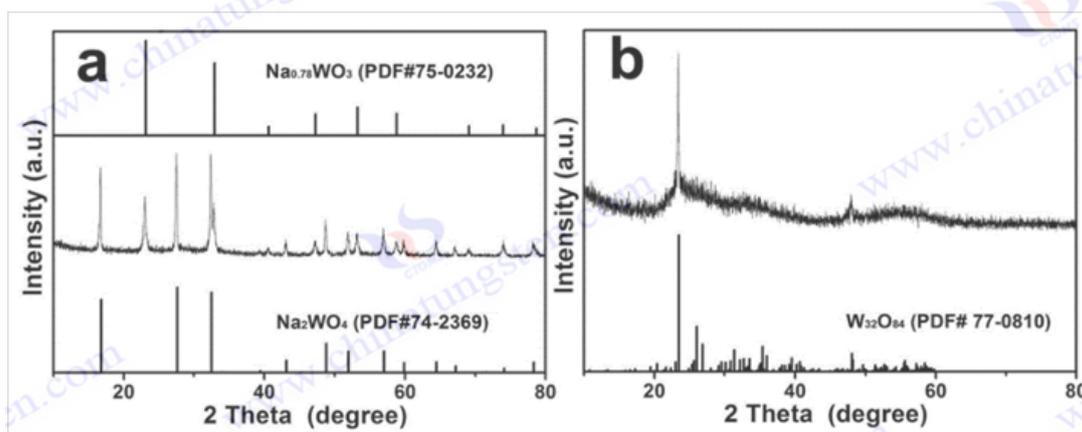
合，也可以提高其电化学性能和稳定性。

6.8.1 锂电池负极材料用钨酸钠

荔枝状钨酸钠是一种具有很大潜力的锂离子电池负极材料，是一种特殊的钨酸钠材料，其结构特点类似于荔枝的微球形貌。这种材料是由纳米级的结晶性次级颗粒自组装而成的微米级球形多级结构，因此被称为荔枝状微球。

在荔枝状钨酸钠中，这些纳米级的结晶性次级颗粒可以缩短锂离子在电极中的传输距离，从而增强电池材料的电化学性能。此外，由于这种材料具有自组装性质，可以避免纳米颗粒的大量聚集和不均匀分布，防止电化学性能的快速衰减。同时，荔枝状自组装体可以为纳米晶体在充放电过程中的体积变化提供充裕的缓冲空间，减少纳米晶体因体积变化而导致的电极结构破损，改善电极的电化学循环稳定性。与传统的氧化物电池材料相比，荔枝状 Na_2WO_4 具有更好的电导率和可逆容量。因此，荔枝状 Na_2WO_4 能弥补传统钨基电极材料电子电导率差的缺陷。

专利号为 CN112864367B 的专利研究者提出了一种无需引入强酸强碱或有毒试剂的荔枝状钨酸钠/氮掺杂碳复合材料 (NaWO-C) 的锂电池负极材料的制备方法：(1) 材料准备：取 cmc (羧甲基纤维素钠) 溶于水中，然后加入可溶性钨酸盐进行溶解，制得含钨酸盐和 cmc 的分散液；取多巴胺溶于去离子水中，得多巴胺溶液；(2) 水热反应：向含钨酸盐和 cmc 的分散液中加入多巴胺溶液：制得混合反应液，搅拌均匀后置于烘箱中进行水热反应，经离心、洗涤、干燥，制得钨和碳前驱体共沉淀；(3) 煅烧：在保护气体氛围下煅烧步骤 (2) 即可获得所需要的产物。本发明通过引入钠离子，使得材料的晶胞体积变大，锂离子传输通道变大，增大了锂离子传输速度，减小了电极材料内离子传输的阻力；通过多巴胺包覆和碳化，在钨酸钠表面进行导电层修饰，提升了材料的电子导电性，从而改善了电池循环寿命和倍率性能，得到了性能优良的 NaWO-C 负极材料。



专利号 CN112864367B 荔枝状 NaWO-C 电化学性能

研究表明，钨酸钠/氮掺杂碳复合结构的锂电池负极材料兼具优良的循环寿命、倍率性能和导电性。在锂电池中，NaWO-C 在 50 和 500mA/g 电流密度下放电比容量分别为 591.7 和 157.2mAh/g，高于氧化钨/氮掺杂碳复合材料 (WO-C) 的 547.6 和 74.7mAh/g。在循环



50 次后, NaWO_4 的比容量仍有 452.1mAh/g, 容量保持率为 74.9%, 与 WO-C 相比有显著提高。

6.8.2 锂电池电极材料用钨酸钠的挑战

电极材料使用普通钨酸钠面临以下问题:

体积变化: 在充放电过程中, 锂离子嵌入和脱出电极材料会引起体积变化, 这可能导致电极材料的结构破裂和容量的快速衰减。由于钨酸钠具有较大的体积变化, 这可能影响其作为电极材料的稳定性和循环寿命。

电子导电性: 电极材料的电子导电性对于电池的倍率和循环性能至关重要。尽管 Na_2WO_4 具有较高的理论容量和良好的电化学性能, 但其电子导电性仍然比一些商业化的负极材料如石墨和硅碳复合材料逊色。这可能限制其在高倍率充放电条件下的应用。

容量衰减: 在循环过程中, 钨酸钠的容量可能会逐渐衰减。这可能是由于纳米颗粒的团聚、体积变化导致的结构破损以及 SEI 膜的形成等因素导致的。为了提高 Na_2WO_4 作为电极材料的使用寿命, 需要研究抑制容量衰减的策略。



钨酸钠

电解质相容性: 钨酸钠与电解质的相容性可能会影响锂离子电池的电化学性能。优化电解质配方和电极材料表面涂层可能是提高 Na_2WO_4 与电解质相容性的有效途径。

制备成本: 虽然钨酸钠的制备方法相对简单, 但大规模生产仍可能面临成本问题。寻找低成本、高效的制备方法对于钨酸钠在锂离子电池电极材料中的应用至关重要。

环保性: 在某些制备钨酸钠的方法中, 使用了硝酸钠等化学试剂, 这可能对环境产生一定



的影响。因此，开发环保、可持续的制备方法对于 Na_2WO_4 的实际应用至关重要。

为了克服这些挑战，研究者正在探索对钨酸钠进行改性或者复合其他材料的方法，以提高其电化学性能和稳定性。例如，通过纳米结构设计或者掺杂其他元素，可以改善 Na_2WO_4 在充放电过程中的体积变化和电子导电性。此外，将钨酸钠与石墨烯、碳纳米管等材料复合，也可以提高其电化学性能和稳定性。同时，进一步研究其大规模制备方法及环保性也是非常重要的研究方向。

值得一提的是，经过改性后的钨酸钠如荔枝状 Na_2WO_4 虽然能很好地用作负极材料，但是现有的生产技术水平仍较低。专利号为 CN112864367B 的专利显示，（1）北京航空航天大学团队合成了荔枝状 $\text{TiO}_2@\text{TiN}$ 微球，并将其应用于锂硫电池中，而这种荔枝状微球的合成需要在氨水精确调节 pH 的碱性环境下进行（doi:10.1039/c9ra09534a）。（2）西南大学团队在水热环境下合成了荔枝状的 $\text{FeS}_2@\text{FeSe}_2$ 微球，并将其应用于钠离子电池中，这种荔枝状微球的合成则需引入具有较大毒性和腐蚀性的水合肼作为还原剂，反应条件较为苛刻，且不利于绿色生产（doi:10.1039/c7ta05931k）。（3）浙江大学团队所得到的荔枝状 $\text{Si}@\text{C}$ 微球，亦是在氨水提供的碱性条件下合成的，并且在合成后还需要采用盐酸和氢氟酸等强腐蚀性试剂进行清洗，合成和处理过程复杂（doi:10.1007/s11581-019-03108-z）。



锂电池

6.9 钨酸锌在锂离子电池中的应用

锂离子电池目前已经在各种便携式电子产品和通讯工具中得到了广泛应用，并且由于其出色的性能，也正在被逐步开发为电动汽车的动力电源。然而，动力电源对电极材料的性能要求非常高，这确实是一个挑战。

已经商品化的锂电池负极材料主要是石墨化碳材料。石墨化碳材料具有良好的结晶导电性，使得电子和锂离子在其中的传输效率较高。但是，作为动力型锂离子电池的负极材料，



石墨化碳材料存在一定的缺陷：

一是石墨化碳材料比容量相对较低。比容量是指单位质量的电极材料能够存储的电量。对于动力型锂电池而言，高比容量是至关重要的，因为它直接影响到电池的续航里程。然而，石墨化碳材料的比容量有限，这限制了它在动力电池中的应用。

二是石墨化碳材料的安全性较差。在高温或高倍率充放电条件下，石墨容易发生锂枝晶的生长，导致电池短路，甚至引发安全事故。这使得石墨化碳材料在动力电池中的应用存在一定的风险。

为了克服这些问题，科研人员一直在积极寻找新型的负极材料。其中，钨酸锌（ $ZnWO_4$ ）等钨基材料被认为是一种具有潜力的替代方案。钨酸锌具有较高的理论比容量和良好的循环性能，并且具有环保无毒等优点。这使得 $ZnWO_4$ 成为一种极具商业化前景的动力型锂电池负极材料。

当然，除了钨酸锌之外，还有其他一些新型负极材料也正在被研究和开发中。例如，硅基负极材料具有高比容量的特点，但也面临着体积效应和导电性差等问题。科研人员正在通过纳米化、合金化等技术手段对其进行改进和优化。



钨酸锌

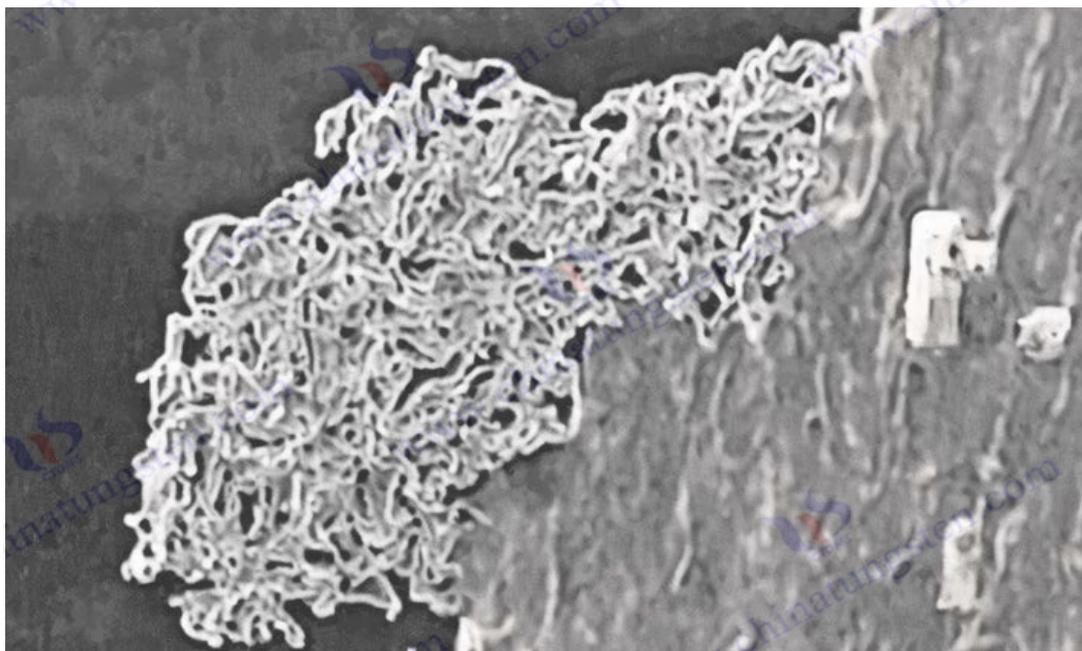
6.9.1 锂电池负极材料用钨酸锌

钨酸锌（ $ZnWO_4$ ）是一种无机化合物，是一种白色粉末，具有黑钨矿型结构。这种结构的特点在于它由锌离子和钨酸根离子交替排列而成，形成了一种三维的框架结构。这种结构中，每个锌离子被四个钨酸根离子包围，每个钨酸根离子也被四个锌离子包围，这种结构特点使得 $ZnWO_4$ 具有良好的电导性和离子导电性。



黑钨矿型结构的 $ZnWO_4$ 材料具有较高的电位和较好的循环性能，其理论比容量为 620mAh/g。在低倍率充放电条件下，其实际比容量可以达到 400mAh/g 左右，这使得钨酸锌具有较高的能量密度和功率密度。

钨酸锌复合材料具有安全无毒的优点。相对于一些商业化的电池负极材料，如石墨化碳材料， $ZnWO_4$ 复合材料的安全性更好。石墨在高温下容易产生锂枝晶，导致电池短路，而 $ZnWO_4$ 复合材料产生类似的问题概率较小。此外，在充放电过程中，钨酸锌的结构稳定，能够保持良好的电化学性能。这使得 $ZnWO_4$ 复合材料作为动力电池电极材料具有很好的应用前景。



显微电镜下的锂枝晶

浙江天能能源科技股份有限公司的专利摘要显示，一种用钨酸锌/石墨烯复合材料制作的负极材料具有良好的循环性能、倍率性能与导电性能，能克服传统石墨碳材料比容量低、安全性较差的问题。一种钨酸锌/石墨烯复合材料的制备方法，包括以下步骤：（1）将氧化石墨烯加入水中得到氧化石墨烯分散液；（2）依次往氧化石墨烯分散液中添加可溶性锌盐、可溶性钨酸盐和乌洛托品得到混合体系，搅拌均匀后进行水热反应，即可得到所需要的复合材料。

6.9.2 锂电池电极材料用钨酸锌的挑战

钨酸锌在改善石墨材料的一些不足时，石墨也能缓解单纯 $ZnWO_4$ 作为负极的一些问题：

第一，钨酸锌的导电性相对较差。与石墨相比，钨酸锌的电子导电性较低，这可能导致电池的内阻增加，影响电池的倍率性能和充放电效率。为了解决这个问题，可以将钨酸锌与石墨进行复合。通过复合，可以利用石墨的高导电性来提高整个复合材料的导电性能，从而使电子更容易在复合材料中传输。



第二，钨酸锌在充放电过程中容易发生体积变化。钨酸锌在嵌入和脱出锂离子的过程中，会引起材料结构的改变和体积的变化，可能导致电极的破裂和容量的快速衰减。与石墨复合可以缓解这个问题。石墨作为一种稳定的材料，具有较小的体积变化，可以提供一定的缓冲作用，减少钨酸锌体积变化对电极结构的影响。

第三，钨酸锌的制备成本较高。钨酸锌的生产成本相对较高，可能会增加电池的成本。通过与石墨进行复合，可以降低整个复合材料的成本。石墨作为一种广泛应用的负极材料，具有较低的成本和丰富的资源，通过复合可以利用石墨的优势来降低整个材料的成本。

需要注意的是，钨酸锌和石墨的复合方法需要进行优化。复合材料的制备方法和工艺条件对于材料的结构和性能具有重要影响。通过调整复合比例、制备温度和时间等参数，可以优化复合材料的结构和性能，使其满足实际应用的要求。



钨酸锌

6.10 钨酸锂在锂离子电池中的应用

钨酸锂（Lithium Tungstate, Li_2WO_4 ）是一种无机化合物，是一种具有特殊晶体结构的无色三角晶，通常分子式为 Li_2WO_4 ，分子量为 261.72，CAS 号为 13568-45-1。钨酸锂可以通过在 LiOH 或 Li_2CO_3 溶液中溶解 WO_3 制得，其密度为 3.71g/mL（25/4℃），易溶于水，在酸中能分解，不溶于乙醇。

钨酸锂主要存在形式有 Li_2WO_4 （三方晶系、四方晶系、单斜晶系）、 $\text{Li}_2\text{W}_2\text{O}_7$ 和 $\text{Li}_6\text{W}_2\text{O}_9$ （立方晶系），其中，通常采用固相法制备立方晶系的 $\text{Li}_6\text{W}_2\text{O}_9$ ，反应温度在 600℃ 以上。

钨酸锂在常温常压下稳定，但仍需要避免明火、高温。需要贮存在常温，密闭，阴凉，通风和干燥的仓库。注意不要吸入粉尘。防止皮肤和眼睛接触。通常对水体稍微有害，不要将未稀释或大量产品接触地下水，水道或污水系统，未经政府许可勿将材料排入周围环境。



从用途上来看，钨酸锂在锂离子电池领域中具有重要的应用价值，被认为是一种极具前景的正极材料。钨酸锂高能量密度是由于锂离子在 Li_2WO_4 晶体中的扩散系数较大，这使得电池具有更高的储能能力。此外，钨酸锂的循环寿命长，能够经受住大量充放电循环的考验，使得电池具有更长的使用寿命。

除了在正极材料方面的应用外，钨酸锂还可以作为负极材料和电解质材料。在负极材料方面，钨酸锂具有较高的理论容量和良好的循环性能，这使得它成为一种有前途的负极材料。在电解质材料方面，钨酸锂具有较高的离子电导率，能够有效地促进离子传输，使得电池具有更高的充放电速率。



钨酸锂

6.10.1 锂电池正极材料用钨酸锂

随着新能源汽车被广泛采用，用户对这类汽车的性能期望也在不断提高。目前，电池的续航和寿命问题成为了新能源汽车发展的主要瓶颈。为了解决这些问题，提高电池的能量密度和循环性能成为了关键的技术挑战。

三元材料作为正极，因其较高的比容量，相较于磷酸铁锂更受汽车行业的青睐。然而，随着镍含量的增加，虽然三元材料的能量密度有所提升，但其循环性能却出现恶化。为解决这一问题，有两种主流方案：采用其他元素掺杂替代过渡金属元素或氧元素来提高材料本身的结构稳定性；采用结构稳定性良好的氧化物或具有快离子导电特性的金属锂盐。

对于第一种方案，通过其他元素的掺杂可以有效地提高材料结构的稳定性，从而改善电池的循环性能。例如，部分元素如铝、硅等可以取代三元材料中的部分金属元素，从而增加材料的稳定性。然而，这种方法的实施需要精确的化学合成和材料工程知识，以确保获得理想的性能。



第二种方案是采用结构稳定性良好的氧化物或具有快离子导电特性的金属锂盐。这些材料可以有效地提高电池的循环性能。例如，具有快离子导电特性的金属锂盐可以包覆在正极材料表面，形成一层保护层，阻挡电解液对正极材料的侵蚀，抑制寄生反应的发生。同时，这层保护层还能阻挡晶格氧的脱出，抑制 SEI 膜的生长，为锂离子的传输提供快速稳定的通道。这些措施对于提高电池的容量发挥和循环性能具有显著改善作用。

研究表明，采用钨酸锂对三元正极材料进行包覆能够有效改善电池的循环稳定性。但是，现有的 Li_2WO_4 的合成方法主要有液相法和高温固相法，固化法需要在高温条件下进行，能耗高，难以实现工业化大批量生产。

为了解决钨酸锂的生产问题，湖南邦普循环科技有限公司研究者提供一种钨酸锂新的制备方法，能实现常温下固相反应制备 Li_2WO_4 。 Li_2WO_4 新制备方法为将氢氧化锂、钨源（钨酸或三氧化钨）和铵盐（为碳酸氢铵、碳酸铵和乙酸铵中的一种）混合球磨，采用固相法反应制备钨酸锂；其中，铵盐的分解温度小于 200°C 。

钨酸锂正极材料的制备方法：将钨酸锂和镍钴锰酸锂正极材料基材混合烧结即可。研究表明，包覆后的镍钴锰酸锂材料的容量、电化学性能和循环稳定性均得到提升。



三氧化钨

6.10.2 锂电池负极材料用钨酸锂

钨酸锂除了可以作为正极材料的改性剂之外，还是一种富有潜力的锂离子电池负极材料。

专利号为 CN106058217A 的专利摘要显示，以碳酸锂、三氧化钨为原料，采用柠檬酸辅助液相合成法，在 $60\sim 80^\circ\text{C}$ 条件下即可生成含有 $\text{Li}_6\text{W}_2\text{O}_9$ 的中间产物，进一步通过热处理，制备纯相 $\text{Li}_6\text{W}_2\text{O}_9$ 和碳包覆 $\text{Li}_6\text{W}_2\text{O}_9$ 材料。 $\text{Li}_6\text{W}_2\text{O}_9$ 材料具有优良的电化学性能和储锂活性；



碳包覆的 $\text{Li}_6\text{W}_2\text{O}_9$ 材在 50mA/g 电流密度下, 100 次充放电循环后, 可逆容量保持 255mAh/g , 相比于目前商业化的钛酸锂 ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) 负极材料具有更高的可逆容量。

专利号为 CN106058217A 的专利摘要显示, 钨酸锂电池的生产: 将活性材料碳包覆钨酸锂材料、导电剂 (SuperP)、粘结剂 (聚偏氟乙烯) 按一定质量比 (8:1:1) 加入溶剂 (1-甲基-2-吡咯烷酮) 中混合成浆料均匀涂于铜箔上, 放置在真空干燥箱中 100°C 干燥 24 小时, 切成直径为 14 毫米的圆片, 称重后在充满氩气的手套箱中组装成 CR2016 型的扣式电池。其中, 金属锂作为对电极, 1 M LiPF₆ 的 EC/DMC (体积比为 1:1) 溶液作为电解液, 采用 Celgard-2300 隔膜。

6.10.3 锂电池电解质用钨酸锂

现今, 随着科技的不断进步, 各类电子产品充斥着人们的生活, 电池作为这些设备的能量来源, 其安全性和性能表现至关重要。电池电解液作为电池的核心组成部分, 直接影响到电池的储能和放电性能。为了进一步提高现有电解液的综合质量, 研究者向其中添加了适量的钨酸锂材料。



钨酸锂材料

中国科学院上海硅酸盐研究所研究员向石榴石型固体电解质 (LLZO) 中掺杂了钨元素和钽元素形成的 LLZT-2LWO, 比 LLZO 具有更好的烧结稳定性、性能一致性以及抑制锂枝晶生长的作用。值得一提的是, 钨酸锂是重要的钨源。研究表明, 加入 Li_2WO_4 后, LLZT-2LWO 的离子电导率为 0.6mS/cm , 相对密度为 98.67% ; LLZT-2LWO 在 0.5mA/cm^2 下实现了 300 小时的长循环稳定性, 表现出优异的枝晶抑制能力。使用 Li_2WO_4 作为 LLZO 添加剂的好处是: 低熔点 Li_2WO_4 可以降低 LLZT 的烧结温度以及改变 LLZO 的晶界移动能力, 避免异常晶粒生长, 从而拓宽烧结温度范围; 可作为烧结助剂, 并提供内部 Li_2O 气氛补。

专利号 CN112864452A 的专利摘要显示, 钨酸锂固态电解质具有高电导率, 宽电化学窗口,



较低的界面阻抗,经济环保等特性,因而可有效提高固态电池的安全稳定性,寿命,电化学性能,且环境友好。钨酸锂固态电解质的制备步骤:获取锂前驱体、钨前驱体和稀土金属前驱体,将锂前驱体、钨前驱体和稀土金属前驱体混合后研磨处理,得到研磨产物;在温度为 700~900℃的保护气体氛围下,对研磨产物煅烧处理 1~5 小时,得到钨酸锂固态电解质。

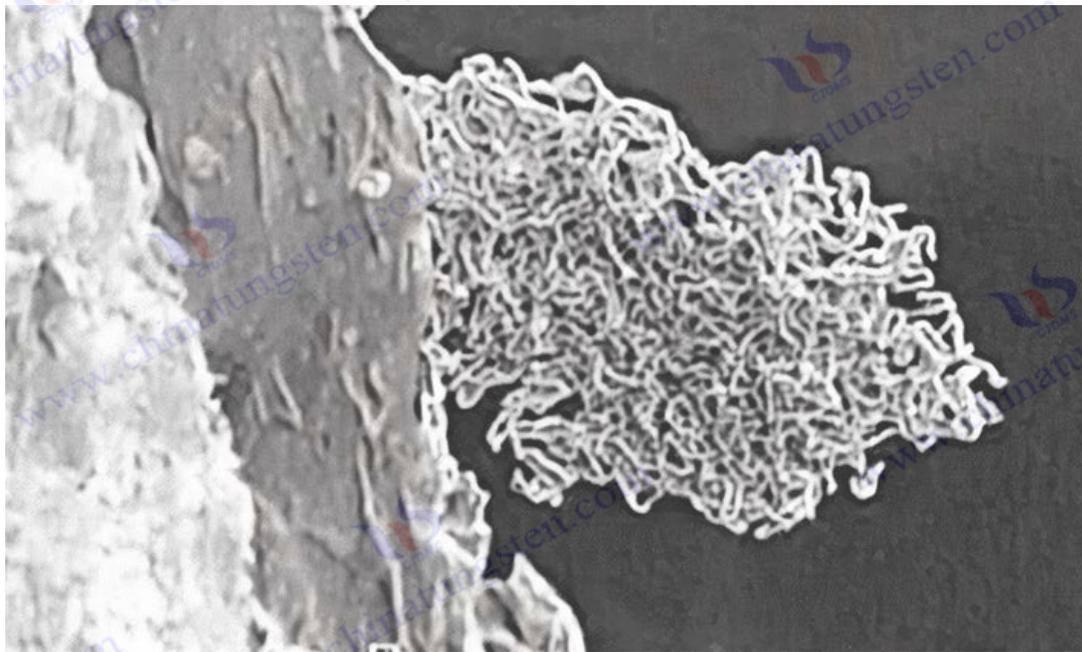
6.10.4 锂电池用钨酸锂的挑战

使用纯钨酸锂作为锂电池的正极材料、负极材料和电解质都面临一些挑战。以下是这些挑战以及可能的解决方法:

一是正负极材料的问题及解决方法:

容量衰减: 在高温或高倍率充放电条件下,纯钨酸锂正极或负极材料的容量可能会发生衰减。解决方法:通过改进材料合成方法,提高钨酸锂的结构稳定性和电化学活性,以增强其循环性能。

锂枝晶: 在某些条件下,锂离子从纯钨酸锂正极或负极材料中析出并形成枝晶,可能导致电池内部短路。解决方法:研究新型钨酸锂正极或负极材料,提高锂离子传输速率和分布均匀性,以抑制枝晶生长。



显微电镜下的锂枝晶

二是电解质材料的问题及解决方法:

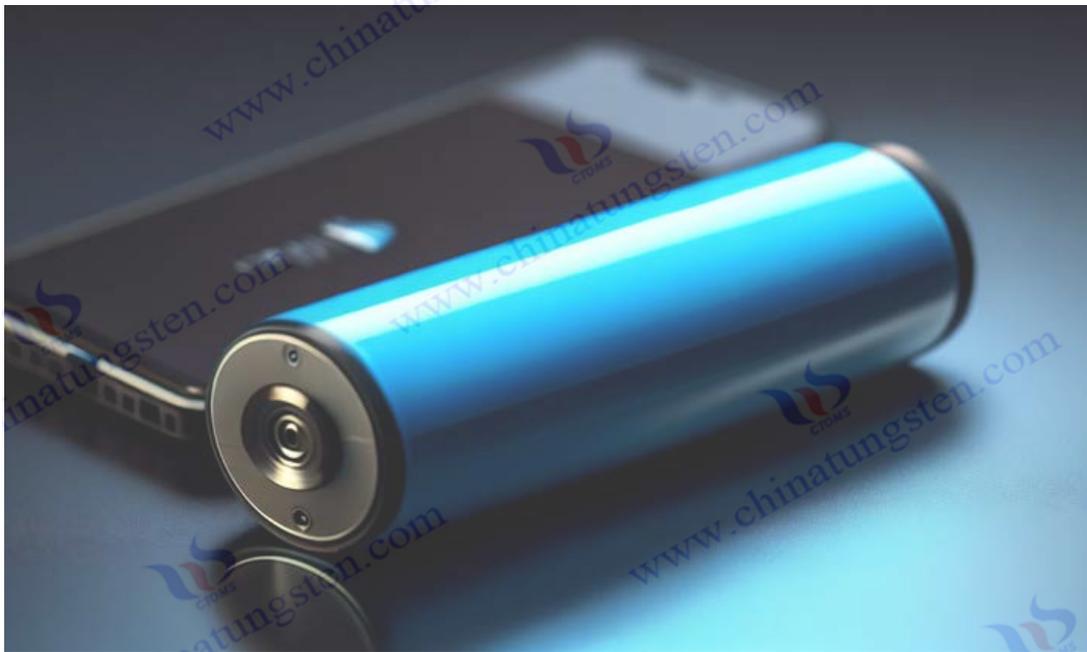
锂离子导电性不足: 纯钨酸锂的离子导电性相对较低,限制了电池的充放电性能。解决方法:通过添加导电剂或开发新型复合材料,提高钨酸锂电解质的离子导电性。



化学稳定性不足：纯钨酸锂可能与电解液或其他电池组件发生反应，导致电池性能下降或安全问题。解决方法：研究新型电解质材料，提高其化学稳定性和耐腐蚀性，以延长电池寿命并提高安全性。

合成难度大、成本高：纳米钨酸锂的合成条件较为苛刻，生产成本较高。解决方法：探索低成本、高效的纳米钨酸锂合成方法，例如溶剂热法、水热法等，以降低生产成本并提高产量。

综上所述，使用纯钨酸锂作为锂电池的正负极材料和电解质都面临一系列挑战。为了克服这些挑战并实现钨酸锂在锂电池中的广泛应用，需要开展深入研究和技术创新。通过改进材料合成方法、优化电池设计和选用合适的电解液等措施，可以逐步解决这些挑战，并推动锂电池技术的进一步发展。



锂电池