



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、钼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
- 2.2.1.10 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 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

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 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 新能源车用碳化钨纳米纤维

15.2.3.6 新能源车用微米碳化钨

15.2.3.7 新能源车用亚微米碳化钨

15.2.3.8 新能源车用纳米碳化钨

15.2.3.9 新能源车用亚纳米碳化钨

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 新能源车用氮化钨量子点

15.3.3.2 新能源车用氮化钨纳米片

15.3.3.3 新能源车用氮化钨纳米簇

15.3.3.4 新能源车用一氮化钨

15.3.3.5 新能源车用六叠氮化钨

15.3.3.6 新能源车用二氮化钨

15.3.3.7 新能源车用氮化二钨

15.3.3.8 新能源车用二氮化三钨

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 新能源车用二硫化钨纳米颗粒

15.4.3.2 新能源车用二硫化钨纳米片

15.4.3.3 新能源车用二硫化钨纳米棒

15.4.3.4 新能源车用二硫化钨纳米花

15.4.3.5 新能源车用二硫化钨纳米纤维

15.4.3.6 新能源车用微米二硫化钨

15.4.3.7 新能源车用亚微米二硫化钨

15.4.3.8 新能源车用纳米二硫化钨

15.4.3.9 新能源车用亚纳米二硫化钨

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 新能源车用二硒化钨纳米颗粒

15.5.3.2 新能源车用二硒化钨纳米片

15.5.3.3 新能源车用二硒化钨纳米棒

15.5.3.4 新能源车用二硒化钨纳米花





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

第七章 钨在锂硫电池中的应用

据中钨在线了解，氧化钨纳米棒、二硫化钨纳米片、二硫化钨量子点、二硒化钨纳米片、氮化钨纳米片及其他钨化合物凭借着良好的物理化学性质，广泛应用于锂硫电池中。钨化合物的引入主要是为了解决锂硫电池中面临的一些关键问题，如多硫化物的溶解和穿梭效应、电极材料的体积变化以及提高电池的电化学性能等。

钨化合物可以作为电极材料的添加剂，用于改善电极材料的导电性和稳定性。钨化合物的高导电性可以促进电子在电极材料中的传输，提高电池的电化学性能。同时，钨化合物的加入还可以增加电极材料的比表面积，提供更多的活性物质接触面积，有利于电解质的浸润和离子的传输。



中钨在线氧化钨

此外，钨可以与多硫化物形成化学键，有效地固定多硫化物，防止其溶解和穿梭到电解质中。这种固定作用可以降低电池的容量衰减，提高电池的循环稳定性和库伦效率。

锂硫电池作为一种新兴的电池技术，具有许多优点，包括更轻、更耐低温、更高的能量密度以及更好的价格竞争力。这些优点使得锂硫电池在某些应用领域具有替代锂离子电池的潜力。值得一提的是，锂硫电池的能量密度是现有锂离子电池的 2 倍左右，这意味着它能够存储更多的能量，从而延长设备的运行时间。另外，锂硫电池不依赖昂贵且难以获取的原材料，这使得它具有更好的价格竞争力，有助于降低终端设备的成本。

据悉，韩国电池制造商 LG 新能源计划在 3 年内开发出锂硫电池并在 2027 年实现商业化，



这将有助于推动锂硫电池的发展和应用。贝哲斯咨询消息显示，2022 年全球锂硫电池市场规模达 7.35 亿元；预测到 2028 年全球锂硫电池市场规模将达 437.19 亿元，2022 至 2028 期间，年复合增长率 CAGR 为 97.56%。

7.1 氧化钨在锂硫电池中的应用

在锂硫电池中，正极活性物质是电池性能的关键因素之一。在锂硫电池的正极材料中，硫的电化学反应过程中会产生多硫化物，这些多硫化物会溶解在有机电解液中，导致活性物质损失和电池性能下降。而氧化钨作为一种新型的正极活性物质，具有高容量、高能量密度、良好的循环性能和无毒性等优点，可以与多硫化物反应生成稳定的钨硫化合物，从而抑制了多硫化物的溶解，提高了锂硫电池的循环稳定性和可逆性。

此外，氧化钨还可以作为锂硫电池的导电添加剂。由于硫的电导率较低，导致锂硫电池的电导率受到限制。而氧化钨具有较高的电导率，可以有效地提高锂硫电池的电导率，从而改善电池的倍率性能和充放电性能。



锂硫电池

隔膜是锂硫电池的重要组成部分之一，它能够阻止正负极之间的短路，保证电池的安全运行。然而，传统的隔膜存在一些问题，如耐腐蚀性差、机械强度低等。为了改善隔膜的性能，人们尝试使用氧化钨对隔膜进行改性。通过在隔膜中添加氧化钨，可以提高隔膜的耐腐蚀性和机械强度，从而提高电池的安全性和稳定性。同时，氧化钨还可以改善隔膜的孔径分布和孔隙率，提高电池的离子传输效率。

总之，氧化钨在锂硫电池中的应用非常广泛，它不仅可以作为正极活性物质和导电添加剂，还可以改性隔膜。这些应用不仅提高了锂硫电池的性能和稳定性，还为锂硫电池的发展提供了新的思路和方法。



7.1.1 锂硫电池正极材料用氧化钨纳米棒

氧化钨纳米棒 (WO_{3-x} 纳米棒) 作为一种过渡金属氧化物, 具有优异的物理化学性质, 如高熔点、高化学活性、良好的导电性和耐腐蚀性等。近年来, 氧化钨在锂硫电池正极材料中的应用受到了广泛关注。

众所周知, 锂硫电池中的穿梭效应是一个常见的问题, 它主要是由于硫正极材料在充放电过程中产生多硫化物溶解在有机电解液中, 并在正负极之间迁移导致的。这种穿梭效应会导致活性物质损失、电池容量下降、充放电效率降低以及自放电增加等问题, 严重影响了锂硫电池的性能和稳定性。

为了解决穿梭效应问题, 研究者们尝试了多种方法, 包括使用新型的硫载体材料、引入催化剂、改变电解液组成等。其中, 使用金属氧化物作为硫载体材料是一种有效的解决方法。



中钨在线氧化钨

金属氧化物具有强极性, 可以提供大量的活性位点吸附多硫化物, 从而抑制其在有机电解液中的溶解和迁移。此外, 金属氧化物还能促进中间产物 LiPS 从导电性差的氧化物表面转移到高导电碳材料表面完成可逆的电化学转化, 实现多硫化物在电极材料表面平稳的“诱捕-扩散-催化转化”过程。这种转化过程有助于控制多硫化物的行为, 提高活性材料的利用率, 并缓解锂硫电池的穿梭效应问题。

常见的金属氧化物有过渡金属氧化钨。研究表明, 通过优化制备工艺和控制合成条件, 可以进一步改善 WO_{3-x} 纳米棒的形貌和结构, 提高其在锂硫电池中的应用性能。同时, 结合其他金属氧化物材料或碳材料等优点, 可以进一步开发出高效、稳定、环保的锂硫电池正极材料, 推动锂硫电池的规模化应用。

首先, 氧化钨纳米棒作为硫正极材料的导电添加剂, 可以有效地提高电极的电导率。由于



氧化钨的高导电性，它可以促进电子的快速传输，从而提高电极的反应动力学。同时， WO_{3-x} 纳米棒还可以作为骨架结构，支撑硫正极材料，防止其在充放电过程中的膨胀和收缩，提高电极的结构稳定性。

其次，氧化钨纳米棒还可以作为多硫化物的吸附剂，抑制多硫化物的溶解和穿梭。由于氧化钨具有强极性，它可以提供大量的活性位点吸附多硫化物，从而限制其在有机电解液中的溶解和迁移。同时，氧化钨还可以促进中间产物 LiPS 从导电性差的氧化物表面转移到高导电碳材料表面完成可逆的电化学转化，从而实现多硫化物在电极材料表面平稳的“诱捕-扩散-催化转化”过程。

此外，氧化钨纳米棒还可以作为自支撑硫正极复合材料的骨架结构。通过将 WO_{3-x} 纳米棒与硫复合，可以制备出具有自支撑结构的硫正极材料。这种自支撑结构可以避免使用导电剂和粘结剂，从而提高了电池的整体能量密度。同时， WO_{3-x} 纳米棒作为骨架结构还可以提供良好的机械强度和稳定性，保证电极在充放电过程中的结构完整性和稳定性。



棒状紫钨

专利号为 CN113972375A 的专利提供了一种多孔碳纤维/氧化钨自支撑锂硫电池正极材料的制备方法：首先将预处理后的碳纤维布通过电沉积得到的表面包覆镍源的碳纤维布，经烘干、高温煅烧和酸洗，获得多孔碳纤维布；进而在其表面生长氧化钨纳米棒前驱体并进行退火处理，获得多孔碳纤维支撑氧化钨纳米棒硫载体，最后将硫载体与活性硫熔融复合，即可获得所需要的产品。本发明自支撑锂硫电池正极材料有机结合了多孔碳纤维的良好机械强度、优异导电性以及氧化钨纳米棒对可溶性多硫化物的吸附-催化作用，不仅实现了硫的高负载，增加整体材料的导电性，而且能够有效抑制“穿梭效应”和缓解电极体积变化，从而有效提高锂硫电池的循环性能。

另外，还有研究表明可以采用黄色氧化钨对锂硫电池正极材料进行表面改性。其正极活性材料层由黄色氧化钨、导电聚合物及单质硫组成，导电聚合物沉积于氧化钨球腔内底部，



单质硫附着于氧化钨球腔内。由于氧化钨具有刚性，因此能提高正极材料的稳定性。

除了金属氧化物之外，其他材料如碳材料、导电聚合物等也具有抑制锂硫电池穿梭效应的潜力。例如，碳材料具有高导电性和良好的化学稳定性，能够提供良好的电子/离子传导通道，并吸附多硫化物。导电聚合物则具有高导电性和化学反应活性，能够提高电极的反应动力学并吸附多硫化物。

7.1.2 锂硫电池负极材料用氧化钨纳米棒

锂硫电池是一种具有高能量密度和环保优势的电池体系，其中负极材料是锂硫电池的重要组成部分之一。传统的负极材料主要包括石墨、硬炭、软炭、合金等，这些材料在锂硫电池中具有不同的优缺点。

石墨作为一种传统的锂硫电池负极材料，具有高导电性、高化学稳定性、低成本等优点。然而，石墨在锂硫电池中存在一些问题，如体积膨胀、嵌锂过程产生固态电解质界面等，这些问题会影响锂硫电池的循环性能和稳定性。



锂硫电池

硬炭和软炭是另外两种常用的锂硫电池负极材料。硬炭具有高比容量和良好的循环性能，但是其制备成本较高且具有较低的电导率。软炭具有低成本和良好的电导率，但是在锂硫电池中存在体积膨胀和容量衰减等问题。

针对上述的问题，研究者常向锂硫电池负极材料中添加适量的氧化钨、氧化钼等过渡金属化合物粉末。例如，将氧化钨与石墨复合的材料可以有效地吸附和转化多硫化物，从而抑制其在有机电解液中的溶解和迁移；可以提高电极的电子/离子传导性，进一步改善锂硫电池的性能和稳定性。



为了进一步研究氧化钨与石墨复合材料在锂硫电池负中的应用，可进行以下方面的研究：

氧化钨与石墨的复合：将氧化钨与石墨进行复合，制备出新型的锂硫电池负极材料。通过优化复合工艺和控制合成条件，可以进一步提高复合材料的性能和稳定性。通过采用合适的溶剂和搅拌时间等手段控制氧化钨和石墨的复合过程，制备出结构稳定、性能优良的负极材料。

氧化钨/石墨复合材料的表征：对制备出的氧化钨/石墨复合材料进行详细的表征，包括形貌、结构、成分、电化学性能等。通过 X 射线衍射、扫描电子显微镜、透射电子显微镜等手段对复合材料的结构、形貌和成分进行表征，并通过电化学测试评估其性能。

氧化钨/石墨复合材料在负极材料中的应用：将制备出的氧化钨/石墨复合材料作为锂硫电池的负极材料，进行详细的电化学性能测试，包括充放电性能、循环稳定性、倍率性能等。通过对比实验和数据分析，评估氧化钨/石墨复合材料在负极材料中的应用效果。通过循环伏安法、计时电位法等手段研究氧化钨/石墨复合材料在锂硫电池中的电化学行为和循环稳定性等性能。



中钨在线氧化钨

氧化钨/石墨复合材料的改性研究：为了进一步提高氧化钨/石墨复合材料在负极材料中的应用效果，可以对氧化钨进行改性处理，如引入其他金属元素、引入碳材料等。通过改性处理，可以改善氧化钨/石墨复合材料的电化学性能和稳定性。通过采用金属掺杂、石墨复合等方法对氧化钨进行改性处理，提高其在负极材料中的电化学活性和稳定性。

实际应用：将改性后的氧化钨/石墨复合材料应用于实际锂硫电池中，进行详细的性能测试和评估。通过对比实验和数据分析，评估氧化钨/石墨复合负极材料的实际应用效果。通过采用合适的电池测试系统和评估指标等方法对实际应用的锂硫电池进行测试和评估。



7.1.3 锂硫电池隔膜用氧化钨

隔膜是位于锂硫电池正负极之间的一层薄膜，其主要作用是使电池的正、负极分隔开来，防止两极接触而短路，同时还需要具有能使电解质离子通过的功能。隔膜的材质通常是不导电的，其物理化学性质对电池的性能有很大的影响。对于锂硫电池来说，由于硫正极材料的多硫化物穿梭效应，隔膜的选择和使用尤为关键。

在锂硫电池中，常见的隔膜有聚丙烯（PP）、聚乙烯（PE）、聚丙烯腈（PAN）等。这些隔膜具有成本低、化学稳定性好、机械强度高优点。然而，它们也存在一些缺点，例如孔径分布宽、孔隙率低等，这些缺点会影响电池的充放电效率和能量密度。



隔膜

为了改善隔膜的性能，研究人员采用了氧化钨改性的方法。专利号为 202110651753 的专利提供了一种用于锂硫电池的氧化钨/黏土矿物纳米材料改性隔膜的制备方法：以氧化钨/黏土矿物纳米材料，导电剂和粘结剂混合，球磨后，加入溶剂调节浆料的粘度至 700~1300 mPas，并搅拌均匀得浆料；然后采用辊涂方法将上述浆料涂覆于商业隔膜单侧，经热固化，得到的改性隔膜中，氧化钨/黏土矿物纳米材料具有强电催化活性和高吸附性能，能有效加速聚硫化物的催化转化反应；高电子导电性的碳材料有助于催化转化过程中电子的快速传递。制备的改性隔膜能有效抑制锂硫电池中聚硫化物穿梭造成的电池低容量，低活性物质利用，缓慢的动力学，较差的倍率性能和循环稳定的问题，从而显著提高电池的 electrochemical performance。

氧化钨改性隔膜的主要优点包括：

(1) 高离子导电性能：氧化钨具有较高的离子导电性能，可以促进锂离子在正负极之间的传输，从而进一步提高锂硫电池的充放电效率、能量密度和功率密度。

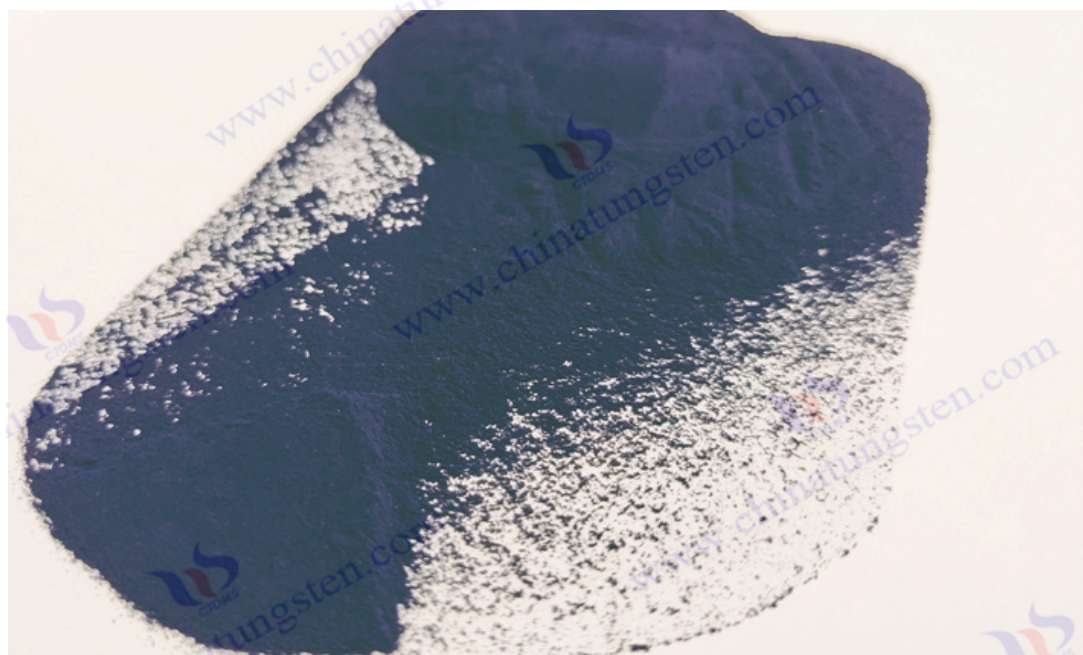


(2) 良好的隔离性能：氧化钨可以有效地隔离正负极之间的电解质，防止电解质中的金属离子直接与电极发生反应。这种良好的隔离性能可以提高锂硫电池的安全性能，防止发生短路和过充等危险情况。

(3) 良好的机械性能：氧化钨具有较好的机械性能，可以抵抗外部压力和挤压，保护电池内部的电解质和电极。这种良好的机械性能可以提高锂硫电池的抗震性能和耐用性。

(4) 轻薄柔性：氧化钨通常采用薄膜结构，具有轻薄柔性的特点，可以使锂硫电池具有较小的体积和重量，提高电池的能量密度和功率密度，适用于各种电子设备和移动设备。

(5) 耐高温性能：氧化钨具有较好的耐高温性能，可以提高锂硫电池在高温环境下的使用寿命和安全性能。



中钨在线紫色氧化钨

7.1.4 锂硫电池用氧化钨的挑战

锂硫电池电极材料用纳米氧化钨存在的问题主要包括以下几个方面：

体积膨胀：锂硫电池在充放电过程中，正极材料中的硫会与锂离子发生反应，生成 Li_2S 等物质。由于 Li_2S 等物质的体积较大，会导致正极材料的体积膨胀，进而影响电池的循环性能和稳定性。

穿梭效应：锂硫电池在充放电过程中，多硫化物会在正负极之间穿梭，导致正负极之间的电压下降，影响电池的充放电效率。

容量衰减：随着充放电次数的增加，锂硫电池的容量会逐渐衰减，这主要是由于正极材料中的活性物质损失、电解液分解等原因引起的。



对于隔膜用氧化钨存在的问题，目前尚未有明确的研究结果。但是，根据其他隔膜材料存在的问题，可以推测氧化钨隔膜可能存在的问题包括：

孔径分布问题：隔膜的孔径分布会影响锂离子的传输效率和电池的充放电性能。如果孔径分布不均匀，会导致锂离子在传输过程中受到阻碍，影响电池的充放电效率。

机械强度问题：隔膜需要具有一定的机械强度，以抵抗外部压力和挤压。如果隔膜的机械强度不足，会导致电池内部短路、漏液等问题，影响电池的安全性能和使用寿命。

热稳定性问题：隔膜需要在高温环境下保持稳定，以防止电池在高温环境下发生热失控等问题。如果隔膜的热稳定性不足，会导致电池在高温环境下发生变形、破裂等问题。



电池爆炸

7.2 二硫化钨在锂硫电池中的应用

二硫化钨 (WS_2) 是一种过渡金属硫化物，具有独特的晶体结构和物理化学性质。在锂硫电池中，二硫化钨的应用主要涉及正极材料和硫载体两个方面。

二硫化钨之所以可以应用在锂硫电池中，主要基于其独特的物理化学性质和结构特点。首先， WS_2 具有较高的导电性和化学稳定性，能够有效地传递电荷和离子，促进锂离子在正极材料中的嵌入和脱出。其次， WS_2 具有较大的比表面积和良好的结构可调性，能够提供更多的活性位点和吸附多硫化物的能力。此外， WS_2 还可以通过调控结构形态和引入其他元素等方式进一步改善其在锂硫电池中的应用效果。这些特点使得 WS_2 成为锂硫电池正极材料和硫载体的理想选择之一。

根据颗粒形貌的不同，二硫化钨可以分为 WS_2 纳米片和 WS_2 量子点，它们在锂硫电池的



应用有着不同的优缺点。

7.2.1 锂硫电池正极材料用二硫化钨纳米片

正极材料是锂硫电池的重要组成部分，其性能直接影响到电池的电化学性能。 WS_2 纳米片作为一种具有优异性能的材料，在锂硫电池正极材料中具有重要的应用价值。

二硫化钨纳米片在正极材料中的应用优势：

(1) 提高正极材料的电化学性能

二硫化钨纳米片具有较高的导电性和化学稳定性，能够有效地传递电荷和离子，促进锂离子在正极材料中的嵌入和脱出。通过将二硫化钨纳米片与硫复合，可以形成稳定的化合物，提高正极材料的结构稳定性和循环寿命。同时， WS_2 纳米片还具有较大的比表面积和良好的表面活性，能够提供更多的活性位点和吸附多硫化物的能力，进一步抑制穿梭效应，提高锂硫电池的循环性能和稳定性。



中钨在线二硫化钨

(2) 优化正极材料的结构形态

二硫化钨纳米片具有较好的结构可调性，可以通过调控结构形态和引入其他元素等方式进一步改善其在锂硫电池中的应用效果。例如，通过控制合成条件和调整结构形态，可以制备出具有特定形貌和尺寸的 WS_2 纳米片，从而改善正极材料的电化学性能。同时，引入其他元素也可以进一步增强 WS_2 纳米片的导电性和稳定性，提高正极材料的性能。

(3) 增强正极材料的抗氧化性能



在锂硫电池充放电过程中，正极材料会受到氧化还原反应的影响，导致材料性能下降。而 WS_2 纳米片具有较强的抗氧化性能，能够有效地抵抗氧化还原反应的侵蚀，保持正极材料的结构和性能稳定。因此，将 WS_2 纳米片作为添加剂引入到正极材料中，可以有效地提高锂硫电池的抗氧化性能和使用寿命。

(4) 提高正极材料的能量密度

二硫化钨纳米片具有较高的理论能量密度，能够提供更多的能量存储空间，从而提高锂硫电池的整体能量密度。

湖北大学提供了一种锂硫电池正极材料脑珊瑚状 WS_2 纳米结构的制备方法：以钨酸钠和硫代乙酰胺为原料，一步水热法来合成脑珊瑚状二硫化钨纳米片（BC- WS_2 ），这种特殊结构由许多 WS_2 纳米片层规整堆叠而成，暴露出众多的边缘活性吸附位点，对多硫化物有较强的吸附能力，能有效地抑制多硫化物地穿梭效应，同时，这种特殊结构也有助于硫的负载和容纳硫的体积变化，载硫后适合用作锂硫电池正极材料。利用液相法负载硫合成得到 BC- WS_2 /S 复合材料。电化学性能结果表明，BC- WS_2 /S 复合材料作为锂硫电池的正极材料，表现出较好倍率性能和循环稳定性。在 0.5C 倍率下，其放电容量稳定维持在 876mAh/g，循环 300 次后其容量保持率达到 97%。此外，该 2C 倍率时循环 500 圈后，放电容量保持在 711mAh/g。



锂硫电池

7.2.2 锂硫电池负极材料用二硫化钨纳米片

锂硫电池是一种具有高能量密度和环保性能的电池技术，然而其在实际应用中仍存在一些 问题，如硫的体积膨胀和穿梭效应等，这些问题限制了锂硫电池的循环寿命和稳定性。负极材料是锂硫电池的重要组成部分，对其性能的提升具有关键作用。 WS_2 纳米片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结构稳定性，因此在锂硫电池负极材



料中具有重要的应用价值。

二硫化钨纳米片作为锂硫电池负极材料的优势：

(1) 良好的导电性和化学稳定性

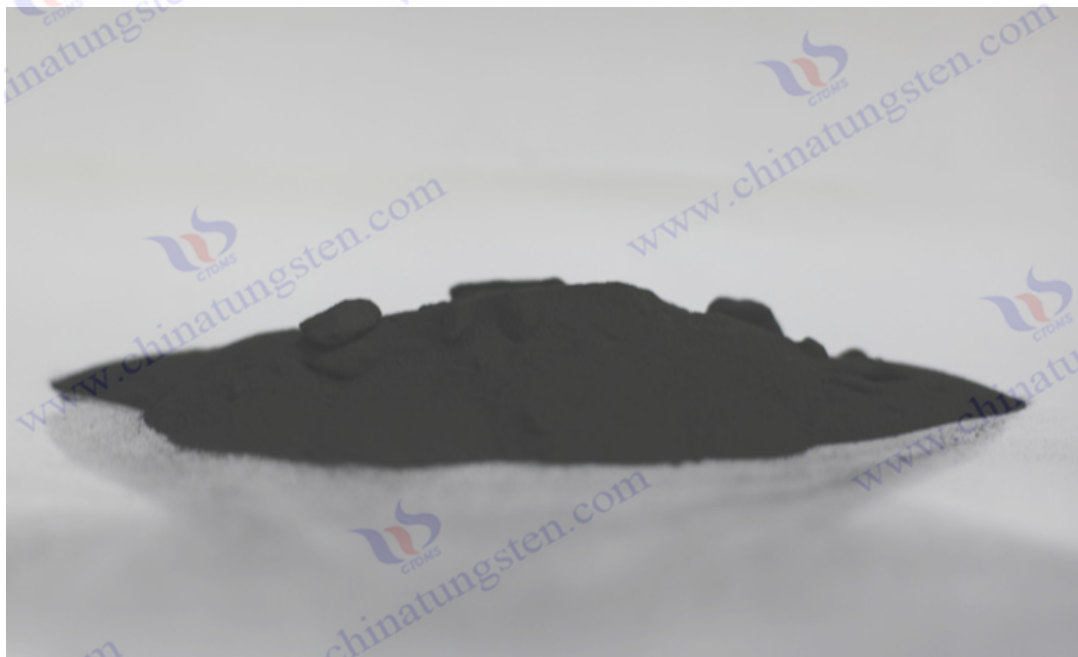
二硫化钨纳米片具有较高的导电性和化学稳定性，能够有效地传递电荷和离子，促进锂离子在负极材料中的嵌入和脱出。同时，在充放电过程中， WS_2 纳米片可以有效地保持结构的稳定性和耐蚀性，从而延长锂硫电池的循环寿命。

(2) 抑制硫的体积膨胀和穿梭效应

WS_2 纳米片具有较大的比表面积和良好的吸附性能，可有效地吸附和固定多硫化物，抑制硫的体积膨胀和穿梭效应。这有助于提高锂硫电池的循环性能和稳定性，延长其使用寿命。

(3) 良好的结构可调性和形貌控制性

通过调控合成条件和结构形态，可以制备出具有特定形貌和尺寸的二硫化钨纳米片，从而改善其在锂硫电池中的应用效果。例如，具有高长径比的 WS_2 纳米片可以提供更多的活性位点和吸附能力，进一步提高锂硫电池的性能。



中钨在线二硫化钨

将二硫化钨纳米片直接用作锂硫电池的负极材料，可以发挥其导电性和化学稳定性等优势，同时利用其吸附性能抑制硫的体积膨胀和穿梭效应。这种应用方式具有简单易行的优点，但需要对 WS_2 纳米片的形貌、尺寸和孔结构等进行精细调控，以实现最佳的电化学性能。



将二硫化钨纳米片与碳材料复合可以进一步提高锂硫电池的性能。碳材料具有良好的导电性和化学稳定性，同时具有较大的比表面积和良好的孔结构，可以提供更多的活性位点和吸附能力。将 WS_2 纳米片与碳材料复合可以发挥两者的优点，提高锂硫电池的循环性能和稳定性。例如，将 WS_2 纳米片与石墨烯复合可以制备出具有优异电化学性能的石墨烯-二硫化钨。

将二硫化钨纳米片用于改性现有负极材料可以提高其电化学性能和稳定性。例如，将 WS_2 纳米片引入到钛基负极材料中可以改善其电化学性能和循环寿命；将 WS_2 纳米片用于修饰硅基负极材料可以增强其循环稳定性和倍率性能。这些改性方法可以利用 WS_2 纳米片的优点改善现有负极材料的性能，提高锂硫电池的整体性能。

二硫化钨纳米片作为一种新型的纳米材料，在锂硫电池负极材料中具有重要的应用价值。其具有优异的导电性和化学稳定性以及良好的结构可调性和吸附性能，可以有效地改善锂硫电池的性能和使用寿命。通过直接用作负极材料、与碳材料复合作为负极材料以及用于改性现有负极材料等方法，可以实现 WS_2 纳米片在锂硫电池中的广泛应用。随着技术的不断进步和应用需求的不断提高， WS_2 纳米片的研究和应用将会更加深入和广泛。



锂硫电池

7.2.3 锂硫电池正极材料用二硫化钨量子点

近年来，随着纳米技术的发展，二硫化钨量子点作为一种新型的纳米材料，在锂硫电池正极材料中得到了广泛的应用。

二硫化钨量子点是一种具有优异物理化学性质和良好结构稳定性的纳米材料。其尺寸较小，具有较高的比表面积和良好的表面活性，能够提供更多的活性位点和吸附能力。同时， WS_2 量子点还具有较高的导电性和化学稳定性，能够有效地传递电荷和离子，促进锂离子在正极材料中的嵌入和脱出。

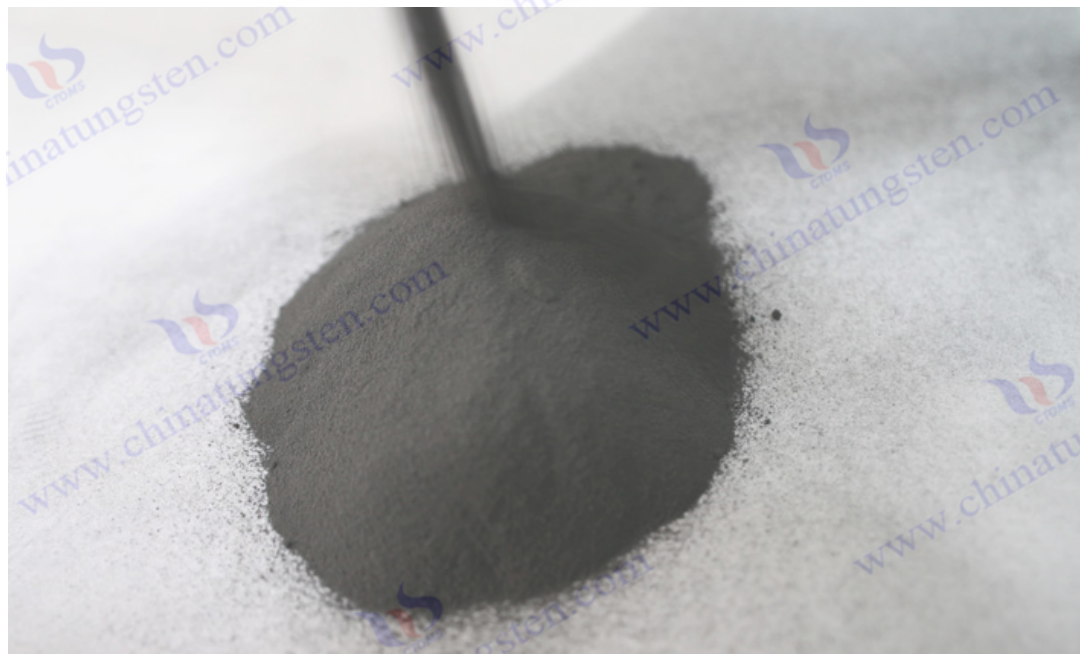


二硫化钨量子点作为一种新型的纳米材料，在正极材料中具有重要的应用价值。其具有优异的导电性和化学稳定性以及良好的结构可调性和吸附性能，可以有效地改善锂硫电池的性能和使用寿命。通过提高正极材料的电化学性能、优化正极材料的结构形态、增强正极材料的抗氧化性能等方法，可以实现二硫化钨量子点在锂硫电池中的广泛应用。随着技术的不断进步和应用需求的不断提高，二硫化钨量子点的研究和应用将会更加深入和广泛。

7.2.4 锂硫电池负极材料用二硫化钨量子点

二硫化钨是由过渡金属钨与非金属硫元素共同组合成的一种黑色粉末，具有较低的摩擦系数，良好的热力学稳定性、催化活性和储荷性能等特点，因而广泛应用于储能电池、石油化工、光电器件及医学生物成像等领域。然而，受本身结构影响，普通 WS_2 材料的实际性能并没有理论性能那么高，但可以通过改善形貌的方式来提高实际性能。

二硫化钨常见的形貌有纳米片和量子点，纳米片属于二维结构，而量子点属于零维结构。由此可知，二硫化钨量子点 (WS_2 QDs) 是一种由钨与硫元素组成的零维材料，具有比 WS_2 纳米片更大的比表面积、更好的热稳定性、更高的理论容量、更佳的倍率性能、更优异的催化活性和荧光特性等优点。



中钨在线二硫化钨

从生产工艺上来看， WS_2 QDs 的制备步骤包括：先称取适量 WS_2 粉末，然后放入研钵里充分研磨，再加入适量的氮甲基吡咯烷酮，并进行超声，最后离心，收集上层棕色澄清溶液即 WS_2 QDs 溶液。 WS_2 QDs 溶液通过旋转蒸发的方式把溶液中的溶质蒸发掉，然后将所得到的干燥物通过超声方式溶解在水中，放入冷冻干燥剂中进行冷冻干燥，得到 WS_2 QDs 粉末。该生产技术具有工艺简单，绿色环保，成本低廉，重复性好，产品质量佳如尺寸均匀和结晶度好等特点。



从用途上来看，二硫化钨量子点可以制作锂硫电池负极材料、光电器件和超级电容器等。研究表明， WS_2 量子点因具有大量作为活性位点的边缘原子和表面缺陷，而容纳诸多的锂离子，适合制作负极材料；因具有良好的生物兼容性和荧光稳定性，而适合制作白光器件。

二硫化钨量子点具有优异的物理化学性质和良好的结构稳定性，可以有效地传递电荷和离子，促进锂离子在负极材料中的嵌入和脱出。同时，二硫化钨量子点还具有较大的比表面积和良好的吸附性能，可以提供更多的活性位点和吸附能力，进一步抑制硫的体积膨胀和穿梭效应，提高锂硫电池的循环性能和稳定性。因此，将二硫化钨量子点用作锂硫电池的负极材料是一种可行的方案。

7.2.5 锂硫电池隔膜用二硫化钨纳米花

随着对可再生能源和高效储能技术的日益增长的需求，锂硫电池作为一种具有潜力的新型电池技术，受到了广泛的关注。而在锂硫电池的研究中，过渡金属硫化物如二硫化钨（ WS_2 ）、二硫化钼（ MoS_2 ）因其独特的电催化特性和极性表面而显得尤为重要。

过渡金属硫化物具有一系列引人注目的物理和化学特性，这些特性使它在锂硫电池中发挥着不可替代的作用。尤其是它们优异的电催化特性，能够加速电池反应中的电荷转移过程，从而提高电池的整体性能。此外，它的极性表面可以有效地吸附和固定多硫化物，这是锂硫电池中一个关键的中间产物，对于提高电池的循环稳定性和能量密度具有重要意义。



隔膜

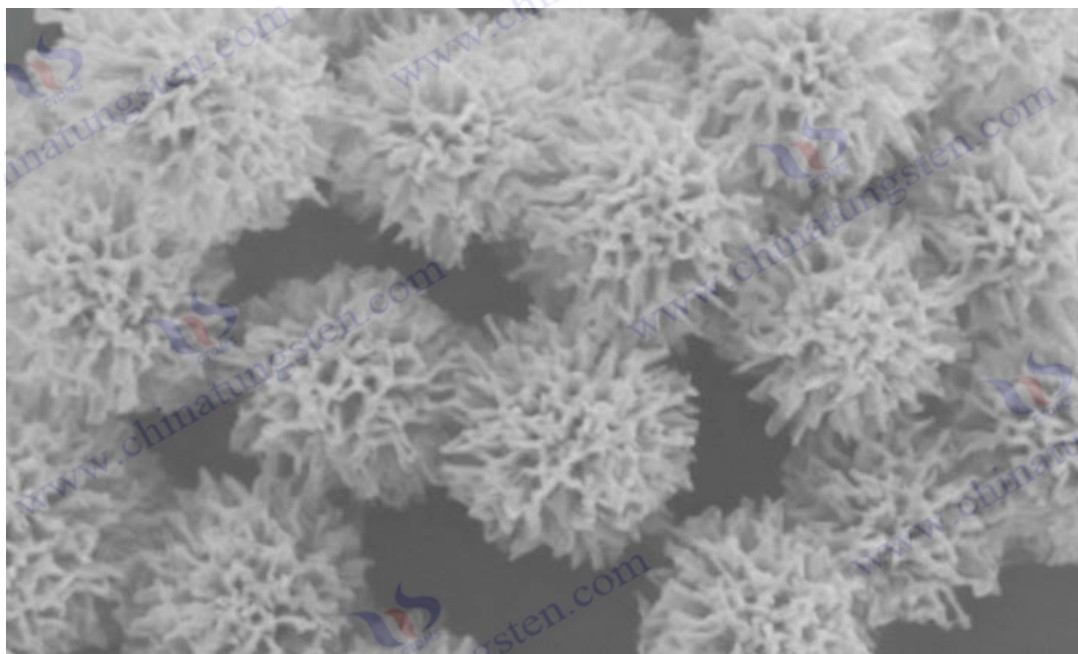
在众多的过渡金属硫化物中， WS_2 因其相对较高的导电性而备受瞩目。高导电性意味着在电池充放电过程中，电子可以更加快速地迁移，从而降低内阻，提高电池的功率密度。同时， WS_2 还具有独特的开放层状结构。这种结构特点为 WS_2 提供了大量的活性位点，使其能够更充分地电解液接触，进而促进电化学反应的进行。



除了开放层状结构带来的优势外， WS_2 的边缘催化选择性也是其作为锂硫电池催化剂的一个显著特点。这种选择性意味着 WS_2 可以更加精准地催化特定的电化学反应步骤，从而提高电池的反应效率和能量转换效率。

二硫化钨纳米花是一种具有三维开放结构的材料，会暴露出很多的有效活性位点，能与碳材料很好地进行机械混合。碳层以一种微小间隔方式，紧密、均匀地包覆于 WS_2 纳米花上，最大程度地实现了化学吸附、电催化与导电性的协同。 WS_2 纳米花在电池的反应过程中，可有效缓解中间产物（可溶性多硫化锂）造成的活性物质损耗与负极腐蚀等弊端，也因三维包覆结构，避免了活性物质在不必要的转移路径（吸附位点至反应活性位点）中的消耗。研究发现，碳层作为一种间隔层，阻止了 WS_2 自然的层间堆叠与团聚，进而得到致密、均匀且稳定的 $WS_2@C$ 复合涂层。

二硫化钨纳米花是一种具有三维开放结构的材料，这种结构特点为其暴露出了大量的有效活性位点。这些活性位点在电化学反应中起着关键作用，能够与碳材料很好地进行机械混合，进一步增强了其电化学性能。当碳层以微小间隔的方式紧密、均匀地包覆在 WS_2 纳米花上时，这种结构实现了化学吸附、电催化与导电性的协同。这种协同作用使得 WS_2 纳米花在电池反应过程中能够更有效地进行电荷转移和物质传输，从而提高电池的效率和稳定性。



二硫化钨纳米花

在电池的反应过程中， WS_2 纳米花能够有效地缓解中间产物（如可溶性多硫化锂）对活性物质的损耗和负极的腐蚀等弊端。这是因为其三维包覆结构避免了活性物质在不必要的转移路径中的消耗，使得活性物质能够更直接地参与到电化学反应中。此外，研究发现，碳层作为一种间隔层，能够阻止 WS_2 自然的层间堆叠与团聚，从而得到致密、均匀且稳定的 $WS_2@C$ 复合涂层。这种复合涂层具有更好的电化学稳定性和循环寿命，为锂硫电池的进一步发展提供了新的可能性。



湖北大学与德国达姆施塔特工业大学研究者合作报道了简单热处理法制备的花瓣状 $WS_2@C$ 复合材料，并将其应用于锂硫电池的隔膜改性。研究表明，以 $WS_2@C-PP$ ($WS_2@C$ 对传统聚丙烯进行改性后的隔膜) 作为隔膜的锂硫电池，在 0.1C 的循环倍率下，拥有 1475mAh/g 的初始放电容量，并在 1C 下的 5000 圈后容量仍可维持在 568 mAh/g 左右，平均每圈容量衰减仅为 0.07%；比较了 $WS_2@C-PP$ 与 C-PP 作为电池隔膜时，在 0.1C 倍率下循环 100 圈后的扫描电镜图像，其中可以明显发现，前者的表面完整、致密、无裂缝，反映了 $WS_2@C$ 涂层优异的长循环稳定性能。

7.2.6 锂硫电池用二硫化钨的挑战

锂硫电池作为新一代最具发展前景的电化学储能设备，具有较高的理论比容量和理论能量密度，以及硫储量丰富、成本低、无毒无害、对环境友好等优点。然而，在锂硫电池商业化发展的道路上仍存在许多挑战和阻碍。

其中，多硫化物的穿梭效应是严重影响锂硫电池电化学性能的主要问题之一。在充放电反应过程中，硫会生成多种可溶性的多硫化物，这些物质可以在电解质中自由穿梭，导致活性物质损失、容量衰减、循环稳定差等问题。此外，多硫化物还可能对电池的电解质和电极材料产生腐蚀作用，进一步降低电池的寿命和稳定性。

除了多硫化物穿梭效应外，硫的导电性差和反应过程中体积变化也是导致锂硫电池性能不佳的重要原因。由于硫的导电性较差，需要大量的导电剂来提高电极的导电性能，但这些导电剂往往会对电池的容量和循环稳定性产生负面影响。同时，硫在反应过程中的体积变化会导致活性物的利用率低，进一步降低电池的容量和循环稳定性。



锂硫电池

为了解决多硫化物穿梭效应问题，研究人员采用了多种方法，如使用特殊的电解质添加剂、改进电极结构、设计新型隔膜等。然而，这些方法往往存在成本高、效果不显著或难以规



模化生产等问题，因此仍需要进一步的研究和探索。

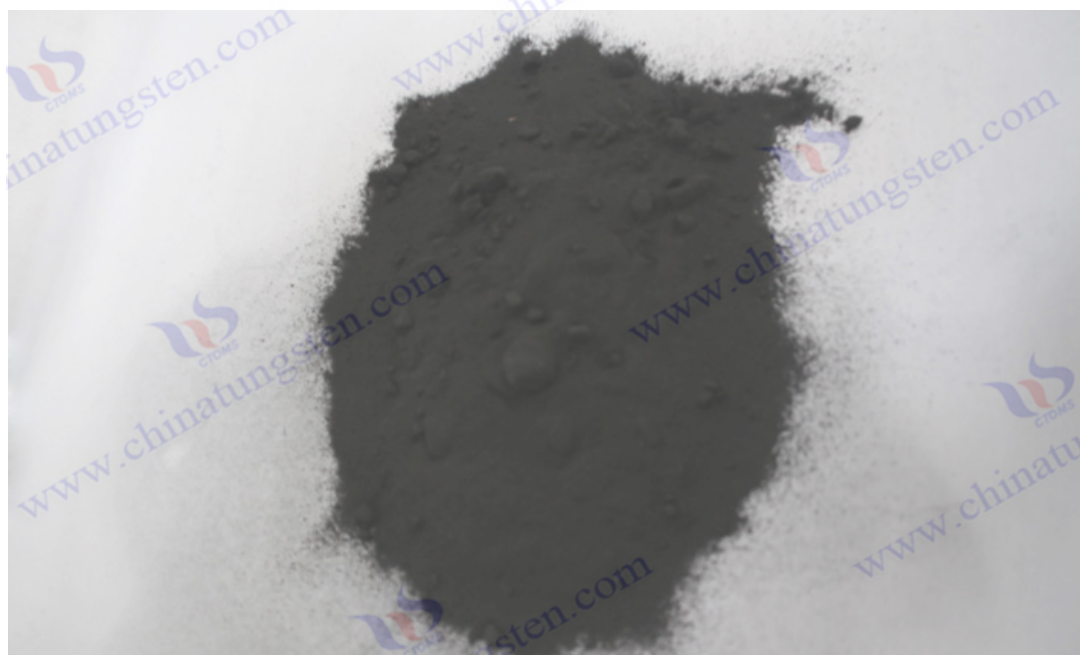
从理论上来说，二硫化钨纳米片、二硫化钨量子点、二硫化钨纳米花及不同形貌的二硫化钨虽然能在很大程度上缓解锂硫电池多硫化物穿梭效应问题，但是它们在改性电极材料或隔膜时仍存在一定的不足。

一、电极材料用 WS_2 纳米片或 WS_2 量子点存在的问题

(1) 电化学反应活性较低： WS_2 纳米片或 WS_2 量子点在电化学反应中的活性较低，这主要是由于它们的尺寸较小，表面能较高，导致电化学反应过程中的活化能较大，反应速率较慢。

(2) 容量衰减较快：在充放电过程中， WS_2 纳米片或 WS_2 量子点可能会发生结构变化或体积膨胀，导致活性物质利用率降低，电池容量衰减较快。此外，它们在循环过程中可能发生破碎或结构变化，进一步加剧容量衰减。

(3) 稳定性不佳： WS_2 纳米片或 WS_2 量子点在循环过程中可能发生团聚、破碎或结构变化等现象，导致电池性能不稳定。



中钨在线二硫化钨

二、隔膜用 WS_2 纳米花存在的问题

(1) 机械强度不足： WS_2 纳米花的机械强度相对较低，可能导致隔膜在电池充放电过程中容易破裂或变形。这可能会影响电池的稳定性 and 安全性。

(2) 透过率较低：由于 WS_2 纳米花的尺寸较大，其透过率可能较低。这可能会影响电池的离子传输和电化学反应，导致电池性能下降。



(3) 稳定性不佳：在电池循环过程中， WS_2 纳米花可能发生结构变化或化学反应，导致隔膜稳定性不佳。这可能会影响电池的寿命和循环稳定性。

三、 WS_2 纳米花与碳复合材料 ($WS_2@C$) 在隔膜应用中的不足

(1) 界面相容性问题：当 WS_2 纳米花与碳材料复合时，两者之间的界面相容性可能是一个问题。不同的材料具有不同的表面能和晶体结构，这可能导致界面处的应力集中和不良的电化学性能。

(2) 导电性挑战：虽然碳材料可以提高整体的导电性，但如果 WS_2 纳米花与碳材料的复合不均匀，可能会导致局部导电性不佳，影响电池的性能。

(3) 机械性能下降：复合材料的机械性能可能会受到 WS_2 纳米花和碳材料之间的相互作用的影响。如果两者的结合不够强，可能会导致复合材料的机械强度下降，从而影响隔膜的耐用性。



隔膜

(4) 制造成本增加：引入碳材料并与 WS_2 纳米花进行复合可能会增加制造成本。这不仅是因为需要额外的原材料，而且还因为可能需要更复杂的工艺步骤来确保两者的均匀复合。

(5) 安全性问题：在电池中，隔膜的主要功能是防止正负极之间的直接接触，从而避免短路。如果 $WS_2@C$ 材料的结构或性能不稳定，可能会增加电池的安全风险。

(6) 离子传输受限：虽然碳材料可以提高导电性，但如果 $WS_2@C$ 材料的结构设计不当，可能会限制离子的传输。这将直接影响电池的电化学性能如容量、倍率性能和循环稳定性。



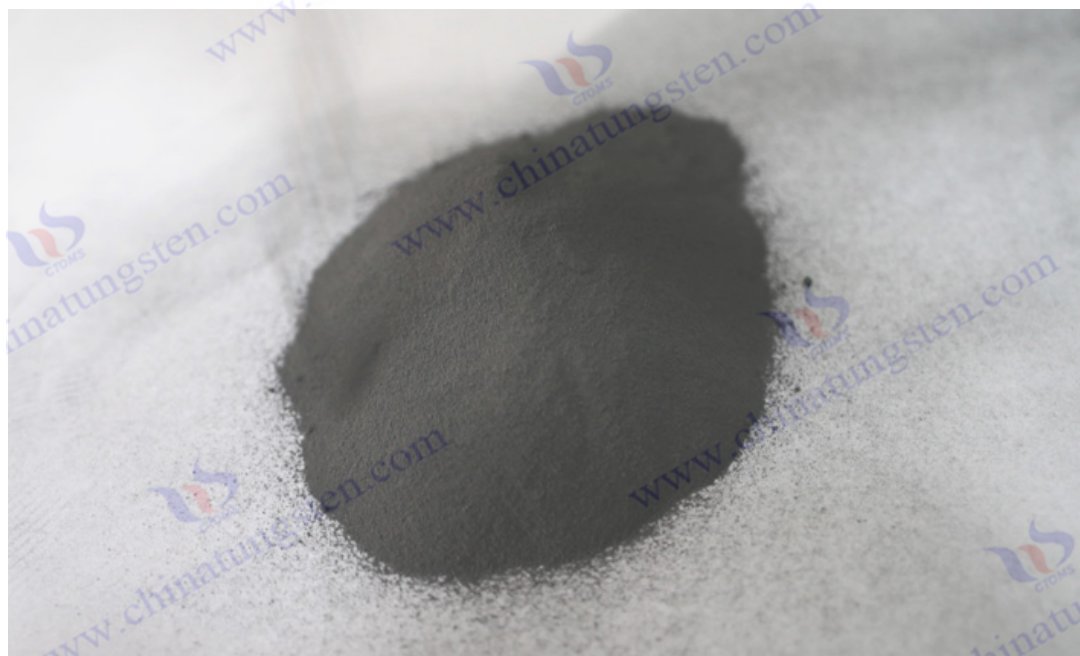
(7) 环境适应性: 在不同的温度和湿度条件下, $WS_2@C$ 复合材料的性能可能会发生变化。这可能会影响电池的可靠性和在不同环境条件下的性能稳定性。

四、生产 WS_2 纳米片、 WS_2 量子点或 WS_2 纳米花的不足

(1) 合成方法复杂: 制备高质量的 WS_2 纳米片、 WS_2 量子点或 WS_2 纳米花需要精确控制合成条件, 如温度、时间、溶剂等。合成方法相对复杂, 需要较高的技术水平和设备支持。

(2) 成本较高: 由于合成方法的复杂性和高要求, 导致 WS_2 纳米片、 WS_2 量子点或 WS_2 纳米花的生产成本较高。这限制了它们在锂硫电池电极材料中的应用。

(3) 产量较低: 目前, WS_2 纳米片、 WS_2 量子点或 WS_2 纳米花的产量较低, 难以满足大规模生产的需求。因此, 提高产量是当前需要解决的重要问题之一。



中钨在线二硫化钨

7.3 二硒化钨在锂硫电池中的应用

二硒化钨 (WSe_2) 是一种具有特殊晶体结构的过渡金属化合物, 因其出色的力学、电学、光学和磁学性能, 广泛应用于多个领域, 如航天航空、军事国防和医疗设备等。

二硒化钨是一种层状结构的无机化合物, 类似于二硫化钼 (MoS_2), 具有六角形结构。每个钨原子与六个硒原子以三棱镜的配位方式键结, 形成紧密的晶体结构。这种结构赋予了二硒化钨独特的物理和化学性质。

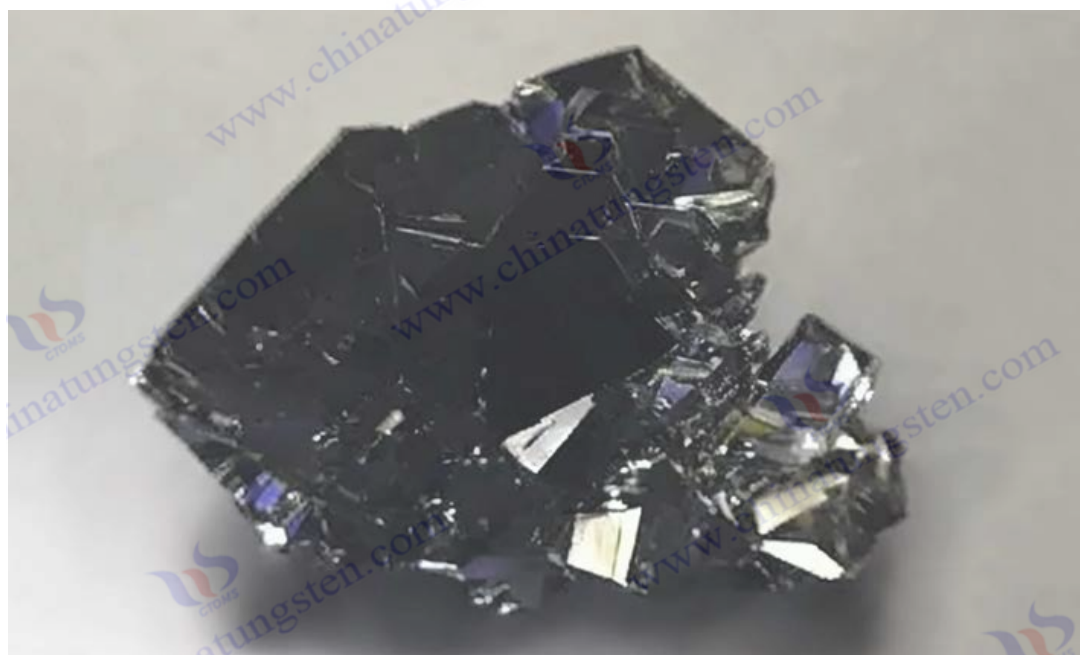
二硒化钨为一种黑色或灰色的固体粉末, 热传导性能较差, 热传导率约为钻石的十万分之一。然而, WSe_2 具有较高的密度和较小的摩擦系数, 可以作为润滑剂的添加剂, 进而有



效地降低摩擦和磨损，提高润滑性能。WSe₂ 有优良的电学和光学性能，以及高量子产率，使其在储能电池、光伏设备和超薄 LED 等领域具有广泛应用。

根据形貌的不同，二硒化钨可以分为 WSe₂ 纳米片、WSe₂ 超点阵、WSe₂ 纳米花等。不同形貌的 WSe₂ 在锂硫电池电极材料的应用效果略有不同。

山东大学研究表明，WSe₂ 电极可以贡献稳定的可逆比容量，并表现出优异的倍率性能，在恒电流下循环 100 圈能够保持较高的比容量 618mAh/g；在 1000mA/g 的大电流下可充放电 1500 圈，表现出超长的循环寿命。值得一提的是，在第一次充放电过程中，山东大学研究者对 WSe₂ 电极片进行了原位 Raman、异位 XRD、异位 TEM 以及电化学交流阻抗谱的表征，结果表明了的储锂机制是可逆的转换反应，总反应式可以归结为：
$$\text{WSe}_2 + 4\text{Li} + 4\text{e}^- \leftrightarrow \text{W} + 2\text{Li}_2\text{Se}$$



二硒化钨晶体结构

7.3.1 锂硫电池正极材料用二硒化钨纳米片

锂硫电池是一种具有高能量密度和低成本的储能器件，被广泛应用于电动汽车、航空航天、国防等领域。正极材料是锂硫电池的核心组件，对于电池性能起着至关重要的作用。近年来，二硒化钨作为一种新型的过渡金属化合物，因其独特的晶体结构和优异的物理化学性质，被广泛关注作为锂硫电池的正极材料。

二硒化钨纳米片具有二维层状结构，层与层之间通过范德华力结合。这种结构使得 WSe₂ 纳米片具有良好的导电性和化学稳定性，同时具有较高的电化学反应活性。此外，WSe₂ 纳米片还具有较高的理论容量和良好的循环稳定性，为锂硫电池的正极材料提供了良好的应用前景。

二硒化钨纳米片作为正极材料，具有较高的理论容量和良好的循环稳定性，可以有效提升

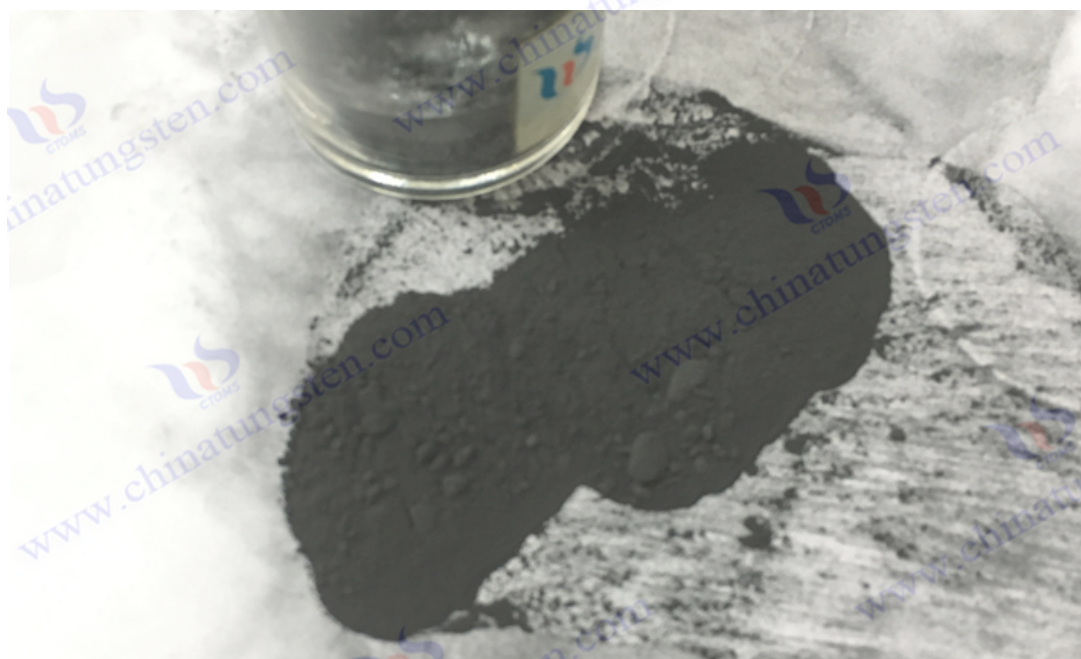


锂硫电池的容量，进而减少电池的体积和重量。通过优化材料结构和制备工艺，可以进一步提高 WSe_2 纳米片的电化学性能，进一步改善锂硫电池的容量和能量密度。

此外，与传统的正极材料相比，二硒化钨纳米片具有较高的热稳定性和化学稳定性，可以有效降低电池在充放电过程中的安全隐患。此外， WSe_2 纳米片还具有良好的电化学稳定性和循环寿命，可以延长电池的使用寿命。

下面主要介绍的是几种常见的二硒化钨纳米片生产方法：

生产方法一：真空高温煅烧法，步骤：（1）准备原料：将化学脱合金化获得的 W 粉与 Se 粉按一定比例在研钵中研磨，混合均匀之后，真空密封于石英管中，备用；（2）加热处理：将混合粉末放入电阻炉中，使融化的液体 Se 扩散至金属 W 的纳米孔中；（3）煅烧：在第一步的基础上煅烧混合粉末，使 W 和 Se 充分反应，生成 WSe_2 纳米片；（4）冷却：将煅烧后的样品自然冷却至室温；（5）取出样品：取出冷却后的样品，并进行后续处理，如洗涤、干燥等。这种方法具有操作简便、制备周期短、成本低等优点，适用于大规模生产。同时，通过调整反应温度、时间等参数，可以进一步优化制备工艺，提高产品质量和产量。



二硒化钨

生产方法二：自上而下的剥离法（液相剥离和锂离子插层剥离）。其中，液相剥离法是将原料粉末分散在含有表面活性剂的溶液中，通过超声剥离、离心、过滤和清洗等步骤，即可获得 WSe_2 纳米片；锂离子插层法是利用含锂溶剂嵌入到层状纳米材料中形成中间化合物，然后超声，最终得到 WSe_2 纳米片。

生产方法三：自下而上的合成法（化学气相沉积法和水热法）。其中，化学气相沉积法是将钨和硫都以气体的形式进行反应生成 WSe_2 纳米片；水热合成法采用钨酸钠和六氯化钨为钨源，以硫脲和硫化钠为硫源，再经过一系列的处理即可获得 WSe_2 纳米片。



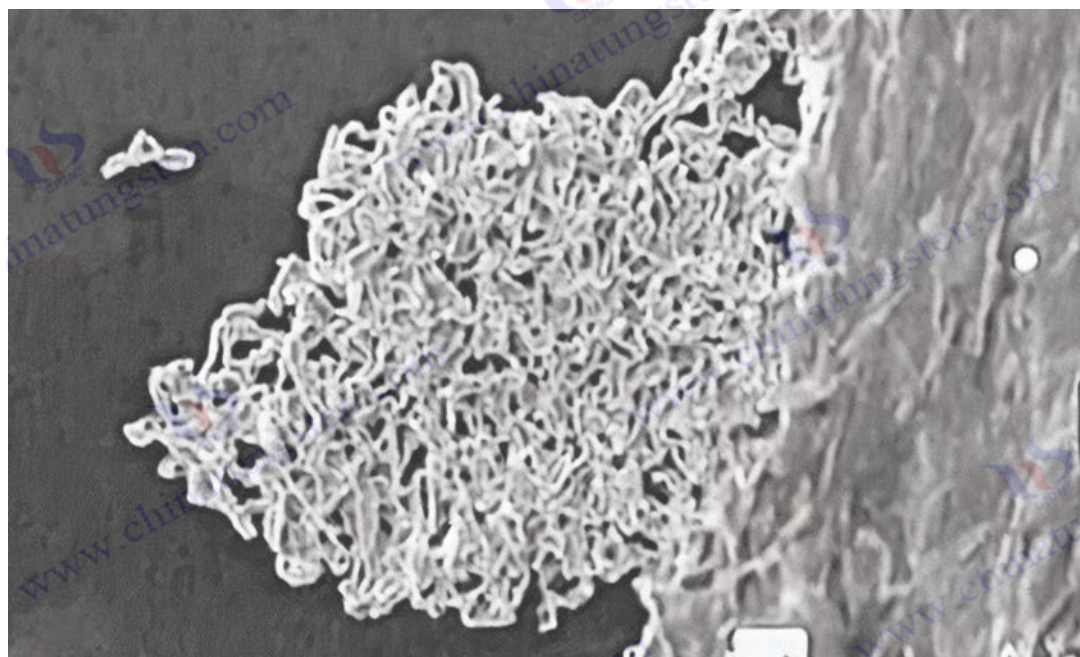
生产方法四：以 WSe_2 粉末为生长源，同时向蓝宝石衬底中通入氩气进行气相沉积，最后冷却至室温即可获得 WSe_2 纳米片。

生产方法五：在隔绝空气的条件下，加热分解四硫代钨酸铵，加热时至 $800\sim 1300^\circ\text{C}$ ，并在此温度下保温数小时后，再降至室温，出料粉碎便可得到 WSe_2 纳米片。

7.3.2 锂硫电池负极材料用二硒化钨纳米片

随着科技的飞速发展，大型机械设备对动力电池性能的需求日益增长，这要求电池具有高能量密度、快速充电能力和长循环寿命等特性。目前，商业化的石墨负极材料由于其较低的理论比容量和倍率性能，已经难以满足这些需求。因此，开发新型的负极材料势在必行。

作为当前锂电池负极材料的主流之一，石墨电极虽然有体积变化小 ($\sim 10\%$)、首次库伦效率高 (90%以上) 和价格低廉等优点，但也存在理论比容量小 (372mAh/g)、工作电压平台低 ($\sim 0.2\text{V}$)、倍率性能较差、易生产锂枝晶等不足。



显微电镜下的锂枝晶

从理论来说，比容量越低，电池的续航性能越差；倍率性能越差，电池越难以进行大电流充放电；而锂枝晶的生产将会严重降低电池的性能，缩短电池使用寿命，甚至刺穿电极之间的隔膜，进而引发电池短路等安全问题。所以，开发具有高比容量和高倍率性能的负极材料迫在眉睫。

过渡金属硫族化合物如二硒化钨、二硫化钼、二硫化钨因有较大的层间距和较高的理论比容量的优点，而被现代的众多储能研究者认为是目前最有希望代替石墨负极的材料。

据中钨在线了解， WS_2 纳米片是一种由元素周期表中第六周期的 VIB 族的元素钨 (W) 和



元素周期表中第三周期 VIA 族的元素硫 (S) 组成的化合物, 是一种类石墨烯的层状过渡金属硫化物, 具有多层夹心结构。其层间作用为较弱的范德华力, 这种特性使得它易于被剥离成横向直径几百纳米, 纵向长度几纳米到十几纳米的纳米级别的片层, 这些片层具有类似于相应的石墨烯纳米片层的功能和特性, 特别是在储能电极材料方面较为良好的电化学性能。

具体来说, WSe_2 纳米片的层间距达到了 0.651nm , 约为石墨层间距的两倍。这种较大的层间距可以容纳更多的带电锂离子, 并有利于锂离子在层间的快速扩散。这意味着 WSe_2 纳米片具有更高的可逆比容量和更优异的倍率性能, 可以满足大电流充放电的需求。

除了层间距的优势外, WSe_2 的大密度 (9.32g/cm^3) 也赋予了它较高的体积比容量。这意味着在相同体积下, WSe_2 纳米片可以存储更多的能量, 从而提高了电池的能量密度。

在循环寿命方面, WSe_2 电极在 1000mA/g 的大电流密度下可充电 1500 圈, 表现出超长的使用寿命。这一特性使得 WSe_2 纳米片在实际应用中具有更高的可靠性。

此外, WSe_2 的储锂机制是可逆的转换反应, 这意味着它在充放电过程中具有良好的结构稳定性和可逆性, 有利于提高电池的循环稳定性和安全性。

综上所述, 二硒化钨纳米片作为一种新型的锂硫电池负极材料, 具有稳定的可逆比容量、优良的倍率性能和较长的循环寿命等优点。它的出现有望满足未来大型机械设备对动力电池性能的需求, 为储能领域带来新的突破。



锂硫电池

7.3.3 锂硫电池正极材料用二硒化钨复合材料

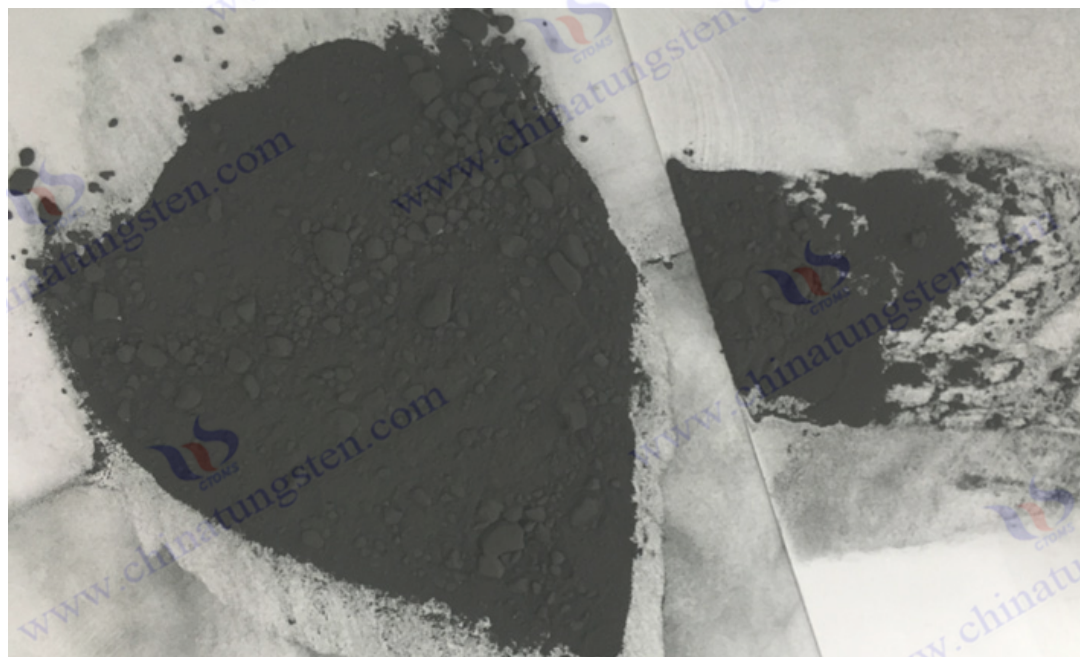
为了制造出综合性能更高的锂硫 (Li-S) 电池, 福州大学与西班牙巴塞罗那大学-加泰罗尼



亚能源研究所的研究者们联手，创新性地开发出了一种具有高电导率特性的二硒化钨复合材料——氮掺杂石墨烯插层的二硒化钨超点阵材料（NG/WSe₂）。这一独特材料在锂硫电池正极反应中的应用，显著提升了正极材料的倍率性能和循环稳定性。

锂硫电池作为理想的下一代电化学能源存储设备之一，其正极材料面临着诸多挑战。首先，活性材料通常具有绝缘性，这增加了电子传导的难度。其次，充放电过程中会生成可溶的聚硫化物（LiPS），导致活性材料的流失和锂负极的腐蚀。此外，固-液-固的反应过程导致电化学氧化还原反应动力学缓慢。最后，循环过程中产生的 80% 体积变化会导致电极结构坍塌。

为了有效解决这些问题，研究者们将二维石墨烯与过渡金属二硒化钨材料相结合，创新制备出 NG/WSe₂ 超点阵材料，并将其作为 Li-S 电池正极的宿主材料。石墨烯能有效提高 S/Li₂S 活性材料的导电性，而 WSe₂ 则能高效促进 LiPS 的转化。研究表明，NG/WSe₂ 超点阵在异质界面处能有效促进锂离子转移，并实现 LiPS 的双效吸附，从而有效加速了 Li-S 反应动力学并抑制穿梭效应。



二硒化钨

在制备 NG/WSe₂ 超点阵材料的过程中，研究者们采用了溶剂热合成法。首先在溶剂热过程中合成了 PVP 插层 WSe₂ 的有机无机超点阵纳米片，然后在随后的煅烧过程中随着 PVP 的热解，获得了具有高电导率特性的氮掺杂石墨烯插层的 NG/WSe₂ 超点阵。这一制备方法不仅有效克服了传统超点阵繁琐和低产率的缺点，还使产品具有优异的电导率和最大化的异质界面效应。

通过创新性的材料设计和制备工艺，福州大学与西班牙巴塞罗那大学-加泰罗尼亚能源研究所的研究者们成功开发出高性能的 NG/WSe₂ 超点阵材料，为锂硫电池正极反应提供了有效的解决方案。这一成果将推动锂硫电池的发展，并为未来的能源储存和转换领域提供更多可能性。



7.3.4 锂硫电池负极材料用二硒化钨复合材料

随着科技的飞速发展，人类对能源的需求日益增长。在电化学储能领域，锂硫电池因其高理论能量密度、低成本和环境友好等优点，被认为是下一代电池技术的有力候选者。然而，锂硫电池在实际应用中仍面临许多挑战，特别是负极材料的选择与优化。

传统的负极材料如石墨等虽然具有一定的导电性和稳定性，但在锂硫电池中存在着诸多问题。例如，石墨负极在充放电过程中容易发生体积膨胀和收缩，导致电极结构破坏和容量衰减。此外，石墨还难以有效吸附和固定多硫化物，导致活性物质流失和电池性能下降。

除了传统的石墨之外，负极材料还有石墨烯。石墨烯负极材料是一种新型的电池负极材料，具有极高的导电性和机械强度，以及良好的化学稳定性和热稳定性。这些特性使得石墨烯在电池领域具有广泛的应用前景。



蓄电池

石墨烯负极材料具有优异的导电性能，可以提高电池的充放电效率；具有大比表面积，可以提供更多的电化学反应场所，从而提高电池的能量密度；具有良好的化学稳定性和热稳定性，能够保证电池在充放电过程中的稳定性，提高电池的安全性。然而，石墨烯负极材料也存在一些缺点：制备成本较高，这限制了其在电池领域的大规模应用；单层石墨烯片层极易堆积，比面积的减少使其丧失了部分高储锂空间；首次库伦效率低：一般低于70%，这是由于大比表面积和丰富的官能团，循环过程中电解质会在石墨烯表面发生分解，形成SEI膜；同时，碳材料表面残余的含氧基团与锂离子发生不可逆副反应，造成可逆容量的进一步下降；石墨烯负极材料时存在电压滞后现象。

针对现有负极材料存在的问题，研究者们开始探索新型材料作为锂硫电池负极的候选者。其中，二硒化钨复合材料如石墨烯插层的二硒化钨超点阵材料因其独特的物理化学性质和



结构特点，展现出了巨大的潜力。

二硒化钨复合材料具有良好的导电性，能够有效提高电极的导电性能，降低内阻，提高电池的充放电效率； WSe_2 复合材料具有良好的热力学性能，能够在充放电过程中保持结构的稳定性，减少体积变化对电极性能的影响； WSe_2 复合材料具有丰富的活性位点，能够有效吸附和固定多硫化物，减少活性物质的流失，提高电池的循环稳定性。

7.3.5 锂硫电池电极材料用二硒化钨的挑战

锂硫电池电极材料用二硒化钨纳米片或氮掺杂石墨烯插层的二硒化钨超点阵材料有很多优势，例如 WSe_2 能有效提高电极的导电性能，降低内阻，从而提高电池的充放电效率； WSe_2 表面具有丰富的活性位点，能有效吸附和固定多硫化物，减少活性物质的流失，从而提高电池的循环稳定性； WSe_2 具有较高的理论比容量，使得锂硫电池具有较高的能量密度，满足高能量储存需求。不过，使用 WSe_2 纳米片或 WSe_2 复合材料作电极材料也存在一定的挑战，这些挑战涵盖了材料合成、性能稳定性、成本效益、环境影响等多个方面。



二硒化钨晶体结构

一、合成与制备

控制形貌与尺寸：合成具有均匀形貌和尺寸的 WSe_2 纳米片是一个技术难题。不同的形貌和尺寸会对材料的电化学性能产生显著影响。

纯度问题：合成过程中可能产生杂质，这些杂质可能会影响材料的导电性和电化学性能。

可扩展性：目前，大多数合成方法都停留在实验室规模，如何实现大规模、低成本的生产是一个重要的挑战。



二、性能稳定性

循环稳定性：在长期的充放电循环中，纯 WSe_2 负极材料可能会发生结构变化或降解，导致电池容量衰减。

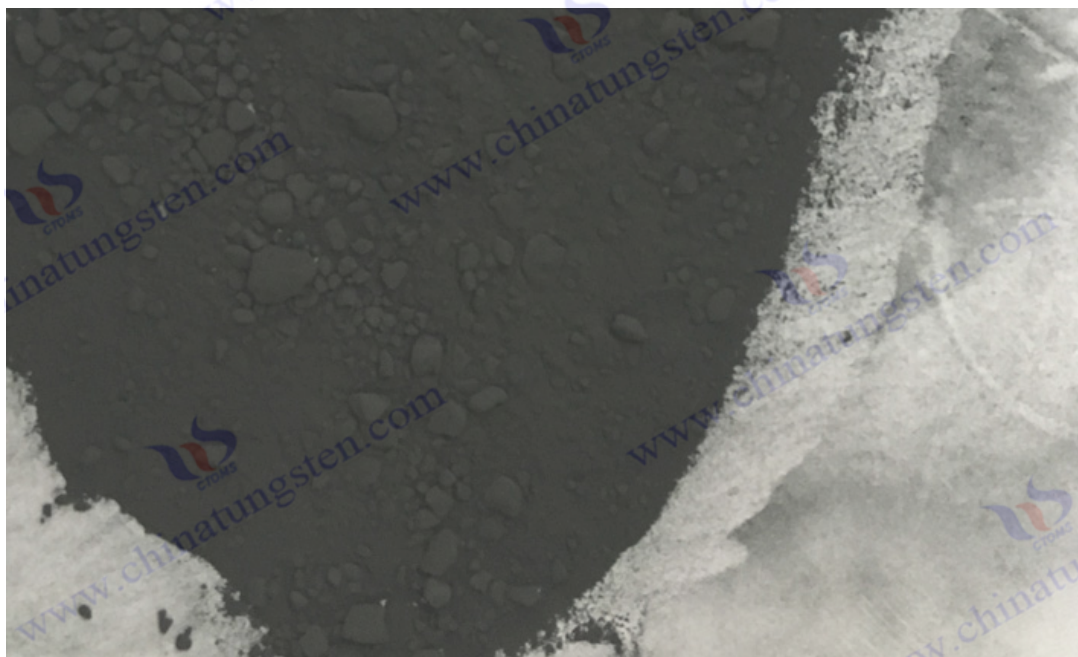
倍率性能：在高倍率充放电条件下，纯 WSe_2 负极材料的性能可能会显著下降。

与电解质的相容性：某些情况下， WSe_2 可能与电解质发生反应，导致电池性能下降。

三、成本效益

原材料成本：W 和 Se 都是相对稀有的元素，因此原材料成本可能较高。

合成与处理成本：合成高质量的 WSe_2 纳米片或 WSe_2 复合材料通常需要复杂的工艺和设备，增加了制造成本。



二硒化钨

四、环境影响

材料毒性：W 和 Se 及其化合物可能对环境 and 人体健康产生一定影响，需要妥善处理废弃物和废液。

能源消耗：合成和处理过程中可能消耗大量能源，这与可持续发展和绿色能源的目标相悖。

五、与其他材料的集成

界面问题：当 WSe_2 与其他材料（如导电添加剂、粘结剂等）集成时，可能会出现界面问



题，影响电极的整体性能。

复合材料的优化：为了克服 WSe_2 的某些固有局限性，可能需要与其他材料进行复合。但如何选择合适的复合材料以及优化其比例是一个复杂的问题。

六、知识产权与商业化

专利问题：关于 WSe_2 纳米片或 WSe_2 复合材料的合成和应用可能存在专利壁垒，限制了其商业化进程。

市场需求：尽管 WSe_2 纳米片或 WSe_2 复合材料具有优异的电化学性能，但其是否能满足不断变化的市场需求仍是一个未知数。



锂硫电池

7.4 氮化钨在锂硫电池中的应用

锂硫电池因其高能量密度和硫的低成本、丰富储量而受到广泛关注。但在实际应用中，锂硫电池面临着循环稳定性差、容量衰减快等问题。为了解决这些问题，研究者们不断探索新的电极材料，其中氮化钨（WN）因其独特的性质而受到了关注。

氮化钨是一种过渡金属氮化物，是一种由钨和氮元素组成的化合物，具有高硬度、高熔点、良好的导电性和化学稳定性。

氮化钨的高导电性可以确保电子在电极材料中的快速传输，有助于提高锂硫电池的电化学性能。氮化钨作为一种稳定的载体材料，可以缓解硫的体积变化，保持电极结构的完整性，从而提高电池的循环稳定性。



氮化钨在电解质中具有良好的化学稳定性，不易被腐蚀或发生不良反应，从而保证了电池的长循环寿命。在锂硫电池中，多硫化物是主要的中间产物，容易溶解在电解质中并导致穿梭效应，造成电池容量衰减。氮化钨具有极性，可以与多硫化物形成化学键，有效地固定多硫化物，防止其溶解和穿梭，从而提高电池的库伦效率和循环稳定性。

7.4.1 锂硫电池正极材料用氮化钨纳米片

锂硫二次电池近年来备受关注，它以质量能量密度高达 2600Wh/kg 的出色表现，超越了传统锂离子电池的能量密度近 5 倍。这一显著优势，结合单质硫的丰富储量、低成本和环境友好特性，使得锂硫电池在能源存储领域具有巨大的应用潜力。

尽管锂硫电池优势明显，但仍存在一些挑战需要克服。其中最主要的问题在于中间产物多硫化物的溶解和穿梭效应。在放电过程中，锂离子从负极迁移到硫正极，将硫单质还原，生成 Li_2S_2 和 Li_2S 。然而，这些中间产物极易溶解在有机电解液中，产生穿梭效应，导致电池的库伦效率降低和可逆容量下降。同时，硫在循环过程中存在巨大的体积变化，体积变化率高达 75%，这给电池的结构稳定性带来了挑战。



蓄电池

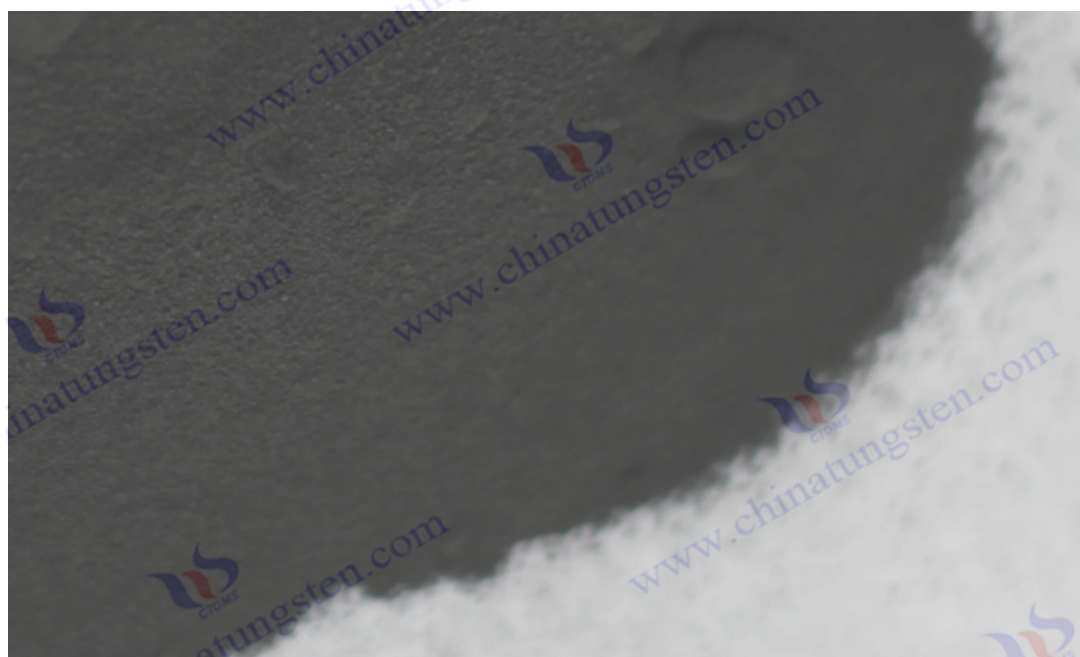
事实上，除了多硫化物的问题，高比容量的金属锂负极在循环中也存在着问题。循环中锂负极巨大的体积变化造成 SEI 膜产生缝隙和裂缝，使得锂负极继续和电解液接触并反应，而且电解液和溶解在其中的多硫化物急剧消耗。这同样造成了锂负极在充电过程中沉降不均匀，产生锂枝晶甚至进一步产生多孔结构。金属锂生成多孔结构的问题非常严重。多孔结构使得锂负极拥有很大的比表面积，加大了 SEI 膜的生成量，严重消耗了电解液和溶解在其中的硫，造成电池容量衰减甚至坏死。

为了解决这些问题，研究者们尝试了各种方法来改善硫正极的性能。其中一种有效的方法是使用高比表面积碳基材料与硫复合，以降低活性硫电极层的厚度，并促进电子和离子的



传输。此外，一些导电性材料也被用于改善硫电极的电子和离子导率。另一种方法是运用特殊结构，如核壳结构或中空结构，来限制硫的体积膨胀，同时防止多硫化物的溶解。还有一些研究利用金属氧化物或金属有机骨架材料作为载体，以增大硫的吸附量并缓解穿梭效应。

针对锂硫电池存在的问题，各种材料被用来改善硫正极的性能，包括高比表面积碳基材料、高分子、金属氧化物以及金属有机骨架材料。硫电极常和高比表面积的材料进行复合，以降低在正极和电解液中活性硫电极层的厚度，促进电子和离子的传输。同时用导电性材料改善硫电极的电子和离子导率。也有一些研究运用核壳结构或中空结构来限制硫的体积膨胀，或是在表面包覆高分子聚合物层来阻止多硫化物的溶解。同样也采用金属氧化物或金属有机骨架材料作为载体以增大硫的吸附量。一些氧化物（如氧化钴、氧化锌、氧化铜等）、氮化物（如氮化钛、氮化钨、氮化钼等）具有极性，可以吸附多硫化物，缓解穿梭效应。



氮化钨

肇庆市华师大光电产业研究院提出一种应用于锂硫电池正极材料的氮化钨/氮掺杂石墨烯/氧化钨复合物的制备方法。氮化钨/氮掺杂石墨烯/氧化钨复合物是通过简单的一步水热法和氨气煅烧法来制备的。通过水热法在石墨烯表面生长氧化钨，能够使得氧化钨的粒径分布更加均匀，且分散性也会相对较好，避免了氧化钨颗粒的沉积，能够更有效地吸附多硫化物，而且能够有效地利用石墨烯导电性好的特点，增加整体材料的导电性。更进一步，通过氮化处理，使得部分氧化钨转化为氮化钨，形成的异质结构能够更有效地吸附多硫化物，同时石墨烯上也会掺杂部分氮原子，提高了空穴导电性的同时，也增强了石墨烯对多硫化物的吸附，抑制穿梭效应，增强正极材料导电性，提高锂硫电池的循环性能。

另外，河南省微电源重点实验室消息显示，物理电子工程学院也提供了一种应用于锂硫电池正极材料的氮化钨纳米阵列结构。通过水热法在碳布上生长氮化钨纳米棒（WN/CC）作为独立的复合插入层，首次用于改善锂硫电池的电化学性能。WN/CC 插入层将物理屏障和化学吸附结合，极大地抑制了多硫化物的穿梭效应，促进了活性物质循环利用，减少

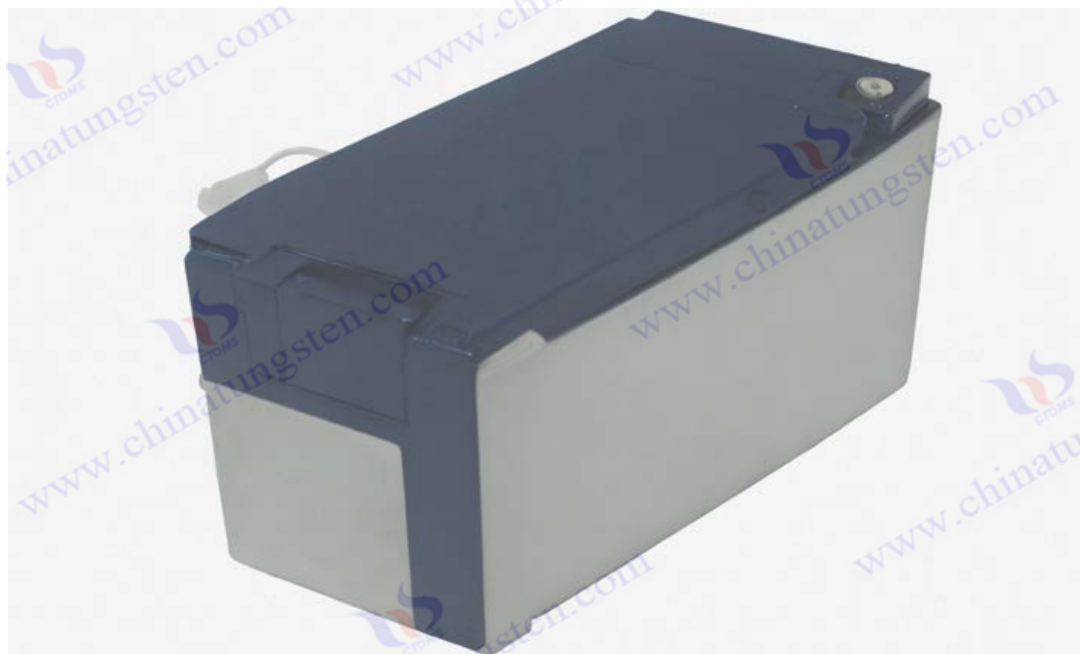


了活性材料的不可逆损失，从而有效地改善了电池的电化学性能。此外，WN 纳米棒和碳布都具有超高金属导电性，可以确保电极具有快速锂离子扩散和电子输运的能力。WN/CC 电池在 100mA/g 和 1000mA/g 电流密度下的放电容量分别为 1337mAh/g 和 738.1mAh/g。在 100mA/g 下 500 次循环后，其剩余容量为 814.2mAh/g。这种性能的提高可以归因于 WN 纳米棒与导电碳布的协同效应，WN/CC 双功能插入层可以有效的抑制多硫化物的穿梭。通过密度泛函理论 (DFT) 计算了 WN(200) 晶面与 Li_2S_x 和 S_8 的吸附能 (3.21-4.67eV)，证明了 WN 在限制多硫化物迁移中发挥了重要作用。这种由 WN/CC 结构制成双功能插入层的概念可能会为设计其他类型的高性能电池电极材料提供新的思路。

7.4.2 锂硫电池负极材料用氮化钨纳米片

氮化钨纳米片作为一种新型的负极材料，在锂硫电池中表现出优异的性能。它的高导电性、大的比表面积、稳定性好、机械强度高优点，能在一定程度上解决锂硫电池多硫化物溶解和穿梭效应问题。

在锂硫电池中，氮化钨纳米片可以作为负极材料，与硫正极配合使用。由于氮化钨纳米片具有高导电性和大的比表面积，它能够提供良好的电子传输通道和电解质离子的吸附/脱附界面。这有助于缓解多硫化物的溶解和穿梭效应，提高电池的循环寿命和可逆容量。



锂硫电池

在充放电过程中，锂离子通过电解质从负极迁移到正极，与硫反应生成多硫化物。由于氮化钨纳米片的稳定性，它们能够有效地固定多硫化物，防止其溶解和穿梭到电解质中。这有助于提高电池的库伦效率和可逆容量。

此外，氮化钨纳米片还具有优异的机械强度和稳定性，能够承受电池循环过程中的体积变化。这有助于提高电池的结构稳定性和循环寿命。



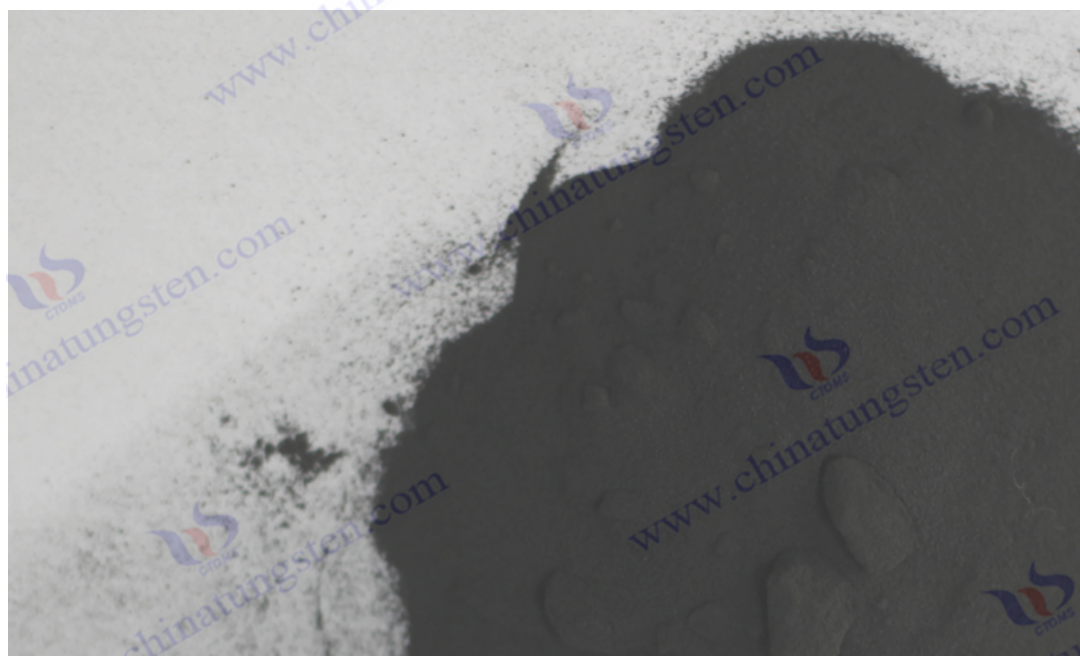
氮化钨是一种环保材料，不会对环境造成污染。此外，氮化钨纳米片的制备过程相对简单，成本较低，有利于大规模生产。

7.4.3 锂硫电池电极材料用氮化钨的挑战

锂硫电池电极材料用氮化钨虽然有很多优势，包括提高电池的电化学性能和可逆容量等，但是也存在一定的不足：

制备难度：氮化钨纳米片的制备需要精确控制反应条件和反应时间，以确保获得高质量的氮化钨纳米片。这需要研发更高效、更稳定的制备方法，以满足大规模生产的需要。

成本问题：虽然氮化钨纳米片的制备成本相对较低，但与其他电极材料相比，其成本仍然较高。因此，需要进一步降低氮化钨纳米片的制备成本，以使其在锂硫电池中更具竞争力。



氮化钨

循环稳定性：虽然氮化钨纳米片具有优异的化学稳定性和机械强度，但在循环过程中仍然存在结构变化和体积变化等问题。这些问题可能导致电池容量的衰减和性能下降。因此，需要进一步优化 WN 纳米片的结构设计和合成方法，以提高其循环稳定性和可逆容量。

多硫化物的固定和穿梭效应：在锂硫电池中，多硫化物是主要的中间产物之一。这些多硫化物可能会溶解到电解质中并穿梭到正极和负极之间，导致电池容量的衰减和性能下降。虽然 WN 纳米片可以有效地固定多硫化物并缓解穿梭效应，但仍需要进一步研究如何更有效地控制多硫化物的生成和传输。

为了克服这些挑战并进一步推动锂硫电池的发展，需要不断加强研究工作，以提高 WN 纳米片的性能和降低成本。同时，也需要深入研究多硫化物的生成和传输机制，以更有效地控制多硫化物的行为并提高锂硫电池的循环稳定性和可逆容量。

