

科研型综合化学实验 对学生科技创新能力的 培养探究

陈芳*, 范旭良, 周涛

岭南师范学院化学化工学院, 广东 湛江

收稿日期: 2022年8月31日; 录用日期: 2022年10月11日; 发布日期: 2022年10月19日

摘要

为了培养化学专业本科学生的科研创新能力, 本文基于水系铜硫电池体系, 设计适用于化学专业本科高年级学生的科研型综合化学实验。该实验通过电极材料的制备、表征及电化学性能分析, 帮助学生理解化学基础知识之间的内在联系, 提升学生的科研素养, 锻炼学生的科研创新能力, 激发学生的科研兴趣。这是一个值得进一步推广的科研型综合化学实验。

关键词

铜硫电池, 综合化学实验, 科技创新, 本科教育

Research on the Cultivation of Scientific Innovation Ability by Scientific Comprehensive Chemical Experiment

Fang Chen*, Xuliang Fan, Tao Zhou

School of Chemistry and Chemical Engineering, Lingnan Normal University, Zhanjiang Guangdong

Received: Aug. 31st, 2022; accepted: Oct. 11th, 2022; published: Oct. 19th, 2022

*通讯作者。

文章引用: 陈芳, 范旭良, 周涛. 科研型综合化学实验对学生科技创新能力的培养探究[J]. 创新教育研究, 2022, 10(10): 2431-2436. DOI: 10.12677/ces.2022.1010384

Abstract

In order to cultivate the scientific innovation ability of undergraduate students of chemistry, this paper designs a research-type comprehensive experiment for senior students of chemistry based on the aqueous copper-sulfur battery. Through the preparation, characterization and electrochemical performance analysis of electrode materials, this experiment helps students understand the internal relationship among different basic chemistry knowledge, improves their scientific literacy, exercises their scientific innovation ability, and stimulates their scientific interest. It is a promising research-type comprehensive chemistry experiment for extensive promotion.

Keywords

Copper-Sulfur Battery, Comprehensive Chemistry Experiment, Scientific Innovation, Undergraduate Education

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 实验背景

科技创新是国家强盛之基，民族进步之魂。在新一轮科技和产业革命的背景下，我国社会发展模式发生了根本性的改变，科技创新成为驱动社会发展的核心动力。因此，如何培养学生的科技创新能力，助力社会的高速发展成为目前大学本科教育阶段的重要目标。本文将以化学专业本科学生为例，基于科教融合协同育人的教育模式，通过开展科研型综合化学实验，将科技创新与人才培养有机结合，锻炼学生的科研思维和创新意识，培养创新应用型化学专业人才[1] [2] [3]。

目前，随着社会的快速发展，人类活动对生态环境的干预愈发严重，减少二氧化碳排放，构建“零碳社会”，保护生态环境的可持续发展已经成为社会各界的共识。鉴于此，我国近些年致力于构建以新能源为主体的新型电力系统替代传统化石燃料，减少二氧化碳总排放量，发展低碳绿色经济，提出力争2030年前实现“碳达峰”，2060年前实现“碳中和”的发展目标。在众多新型能源体系中，电池体系因为其高能量密度和功率密度成为科研界和工业界研究的焦点。综合考虑电池的成本及能量密度，笔者选择价格低廉且理论容量高的单质硫作为储能活性材料，开展了一系列高能量密度电池体系的研究[4] [5]。并在以往的科研工作基础上，基于廉价安全的水系电解液体系，设计综合化学实验“CNT/S 复合材料在水系铜硫电池中的应用研究”。该实验操作简单，涉及无机化学、物理化学和分析化学等多学科基础知识，通过本实验的开展可以提高学生的综合化学能力，培养其科研热情和创新思维，是一个值得推广的科研型综合化学实验。

2. 实验目的

- 1) 锻炼学生的文献检索能力，培养其科研兴趣；
- 2) 帮助学生了解常规科研仪器的相关原理和分析方法；
- 3) 锻炼学生综合素质，强化其科研创新能力；
- 4) 熟悉科研作图及论文撰写的相关要求。

3. 实验原理

在众多新型储能体系中，以硫和铜为正负极活性材料，硫酸铜水溶液为电解液的水系铜硫电池因为其成本较低、安全性和理论容量高等优势而备受关注[6] [7]。其充放电过程的具体反应如下：



单质硫作为活性储能材料，在放电过程与电子和二价铜离子结合生成硫化铜(CuS)，并进一步得电子还原生成硫化亚铜(Cu₂S)；充电过程则是 Cu₂S 向单质硫的转变过程。以上连续的四电子存储过程使得单质硫表现出接近 3000 mAh/g 的放电容量，远高于锂硫电池体系中的 1675 mAh/g。在不计算载流子质量的情况下，该结果是迄今为止报道的固态正极材料的最高记录，表明水系铜硫电池是一类极具发展潜力的高能量密度储能体系[8]。

4. 实验原理

试剂材料：硫酸铜(CuSO₄)，硫粉，乙醇(C₂H₅OH)，N-甲基吡咯烷酮(NMP)，碳纳米管(CNT)，聚偏氟乙烯(PVDF)，碳纸，导电炭黑。

实验仪器：高精密度分析天平(BT25S)，电子分析天平(FA224)，超声清洗器(KQ-250DB)，电化学工作站(CH1660E)，真空干燥箱(DZF-6090)，磁力搅拌器(MS-H280-Pro)，玛瑙研钵，扫描电子显微镜(JSM-7610F)。

5. 实验步骤

5.1. CNT/S 复合材料的制备

按照质量比 7:3 称量硫粉和 CNT 溶于乙醇，经过 15 分钟的超声，再持续搅拌 24 小时直至看不见硫粉颗粒，放置自然蒸发 36 小时后变成固体，置于玛瑙研钵中研磨 30 分钟后得到 CNT/S 粉末。将 CNT/S，导电炭黑，PVDF，按照质量比 7:2:1 置于玛瑙研钵中研磨 30 分钟，加入 N-甲基吡咯烷酮使其分散，超声 15 分钟后，持续搅拌 24 小时，得黑色浆体。将浆体均匀涂在碳纸上，保证涂布面积为 1 cm²，置于 50℃ 的真空烘箱中烘干 12 小时，即可得到 CNT/S 复合材料电极。

5.2. 电化学测试

用带有活性物质的碳纸作为工作电极，碳棒作为辅助电极，Ag/AgCl 作为参比电极，用 0.5M 的硫酸铜溶液作为电解液，组装三电极体系，进行循环伏安测试、恒流充放电测试和电化学循环测试。循环伏安法(CV)在 CHI660E 中以 1 mV/s 的扫描速率进行。在 CHI760E 中进行分别以 1000 mAh/g，2000 mAh/g 的电流密度下进行充放电测试，并以 2000 mAh/g 的电流密度进行电化学循环测试。

6. 结果与讨论

6.1. 形貌分析

为研究 CNT/S 颗粒的微观结构，本实验选择扫描电子显微镜(SEM)进行表征，如图 1 所示。由图中可看出，可以看出碳纳米管生长分布均匀，长径比适中的碳纳米管通过管间的自纠缠搭建成了多孔网络结构，且无明显硫颗粒出现。说明本实验方法可以保证碳纳米管有效地与硫相结合，保证电子充放电过程的顺利传导，为 CNT/S 复合材料的良好电化学性能奠定基础。

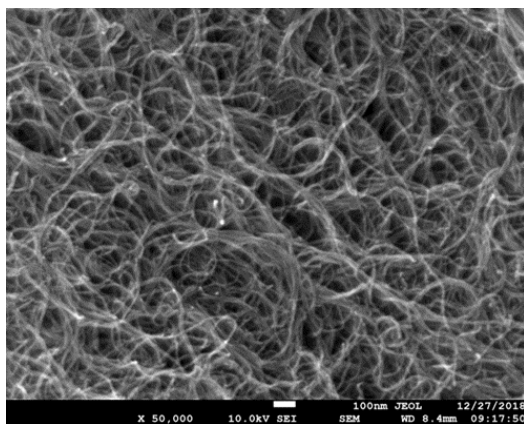


Figure 1. The microstructure of CNT/S

图 1. CNT/S 的微观形貌图

6.2. 电化学性能测试

6.2.1. 伏安法测试(CV)

为研究 CNT/S 复合材料在硫酸铜电解液中的电化学过程, 本实验对其进行了伏安法测试, 如图 2 所示。CNT/S 复合材料在 0.5 M 硫酸铜溶液中, 在 1 mV/s 的扫速下, 在 0.13 V/0.38 V 处出现一组氧化还原峰。对应于硫到硫化亚铜的可逆转变过程, 说明 CNT/S 复合材料是可以实现铜离子的可逆存储。

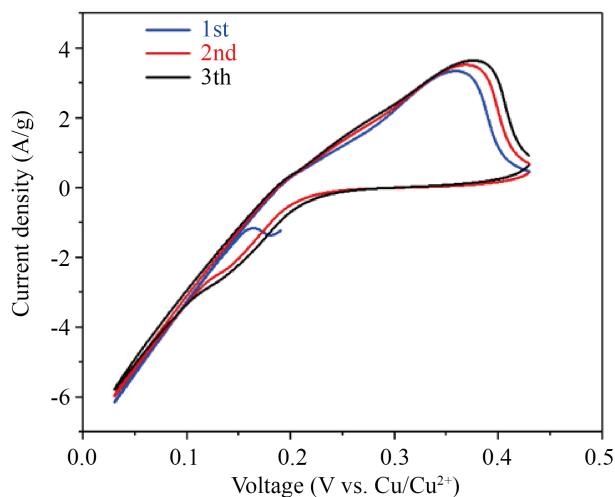


Figure 2. The CV curves at 1 mV/s sweep speed in 0.5 M CuSO₄ solution

图 2. 在 0.5 M 硫酸铜溶液中, 1 mV/s 扫速时的 CV 曲线图

6.2.2. 恒流充放电测试

为了进一步测试 CNT/S 复合材料对铜离子的存储能力, 本实验选择 0.03~0.43 V 的电压窗口, 分别以 1.0 A/g 和 2.0 A/g 的电流密度, 测试了 CNT/S 在硫酸铜电解液中的充放电性能。如图 3 所示, 样品表现出了电化学过程与循环伏安结果相一致。在 0.25 V 左右出现明显的充电平台, 对应于硫化亚铜转变为单质硫; 而 0.1 V 左右出现了明显的放电平台, 表明单质硫转变为硫化亚铜。随着电流密度的增加, 比电容随之降低。这也与绝大多数文献报道结果相一致, 这主要是因为电极极化作用引起的。

在 2.0 A/g 的电流密度下, CNT/S 复合材料的循环稳定性如图 4 所示。经过 100 次循环以后, CNT/S

电极仍然可以保持在 800 mAh/g 的放电容量。说明单质硫在水系铜硫电池体系中可以表现出稳定的存储电子能力，表明该储能体系在高能量密度电池研究领域具有一定的发展前景。

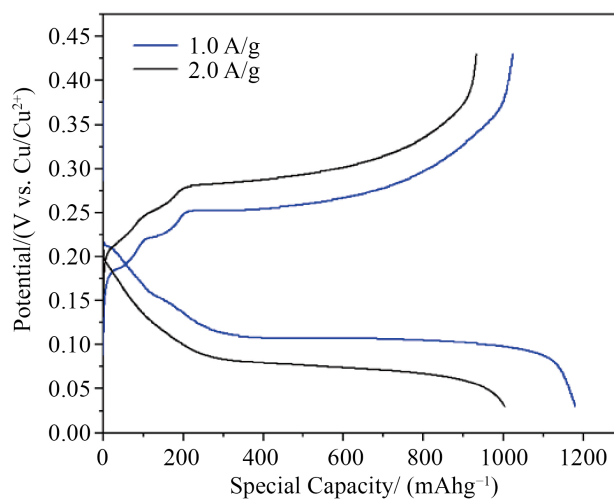


Figure 3. The charge-discharge curves of CNT/S at different current densities

图 3. CNT/S 在不同电流密度下的充放电曲线图

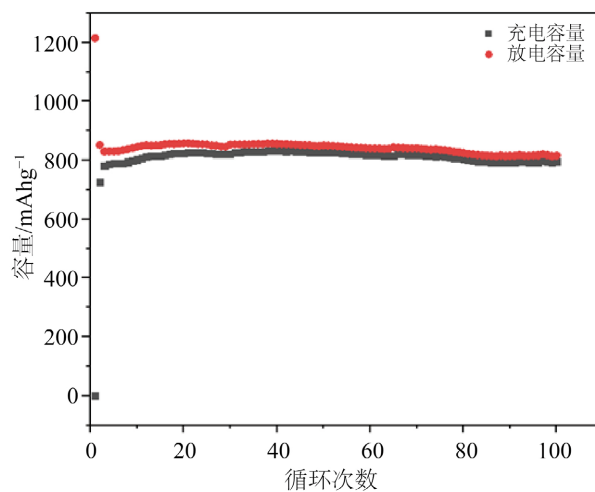


Figure 4. The cycle performance of CNT/S in 0.5 M CuSO_4 solution

图 4. CNT/S 在 0.5 M 硫酸铜溶液中的循环稳定性

6.3. 实验小结

本实验通过简单的方法制备了 CNT/S 复合材料并以金属铜作为负极，在硫酸铜水溶液中测试了 CNT/S 的电化学性能，揭示了单质硫在水系铜硫电池体系中对电子的可逆存储能力，证明了水系铜硫电池的发展前景。

7. 结语

本实验选择水系铜硫电池体系作为研究对象，将纳米材料的合成、制备及电化学性能测试设计整合

成针对高年级化学专业本科生的科研型化学实验,从文献检索、科研兴趣、科研素养、知识框架和数据分析等方面培养学生的科研创新能力,是科教融合、学术育人的典型教学案例。

科研创新能力的培养是本科教育教学过程中的重要环节,针对化学专业学生的自身特点,结合“科教融合,学术育人”的教学理念,本文提出一个操作简单且可行性极高的综合化学实验。该实验内容涉及多学科基础专业知识和实验技能,可以帮助学生理论联系实际,掌握知识的灵活运用,强化其科研创新能力的同时,有利于帮助学生了解科学研究的意义,培养其科研素养和创新思维,是一个具有推广前景的科研型综合化学实验。

基金项目

岭南师范学院人才专项基金(No. ZL2011, No. ZL1906),广东省基础与应用基础研究基金联合基金(2019A1515110826)。

参考文献

- [1] 许光文,李漫红,于三三,金志浩,罗杰,孙吴昉,肖于波,黄孝文,张锁江. 高校与科研院所科教融合协同育人探索[J]. 中国高等教育, 2022(1): 41-43.
- [2] 史西志,孙爱丽,张泽明. 科教融合协同育人机制构建与实践的探索——以宁波大学海洋学院为例[J]. 教育教学论坛, 2022(8): 102-105.
- [3] 章文伟,张晖,奚忠华,孔璇凤. 以“三三制”驱动的综合化学实验课程建设[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(8): 218-220+224.
- [4] 尹肖菊,孙逊,赵程浩,姜波,赵晨阳,张乃庆. 单原子催化剂在锂硫电池中的研究进展[J]. 高等学校化学学报, 2022, 43(5): 188-201.
- [5] 冯阳,汪港,陈君妍,康卫民,邓南平,程博闻. 高性能锂硫电池研究进展与改进策略[J]. 材料导报, 2022, 36(11): 19-32.
- [6] Yang, Z.W., Xu, C.W., Yan, H.H., Liu, Y.W., Yue, C., Zhang, L.Y., Shui, M., Hu, F. and Shu, J. (2021) Laser-Induced Graphene Assisting Self-Conversion Reaction for Sulfur-Free Aqueous Cu-S Battery. *Advanced Functional Materials*, **31**, Article ID: 2103893. <https://doi.org/10.1002/adfm.202103893>
- [7] Xiao, C., Miao, Z.H., Yang, Z.W., Yu, H.X., Yan, L., Zhang, L.Y. and Shu, J. (2022) Building a Robust Sulfur Host for Aqueous Cu-S Battery by Introducing Nitrogen into Carbon Nanotubes. *Scripta Materialia*, **221**, Article ID: 114975. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2022.114975>
- [8] Wu, X.Y., Markir, A., Ma, L., Xu, Y.K., Jiang, H., Leonard, D.P., Shin, W., Wu, T.P., Lu, J. and Ji, X.L. (2019) A Four-Electron Sulfur Electrode Hosting a $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^+$ Redox Charge Carrier. *Angewandte Chemie International Edition*, **58**, 12640-12645. <https://doi.org/10.1002/anie.201905875>