

Na⁺掺杂 V₂O₅ 电极材料的制备及其储锌性能

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2022.04.005

陈文昊 武目选
颀雨佳 朱裔荣

湖南工业大学
材料与先进制造学院
湖南 株洲 412007

摘要: 针对 V₂O₅ 电子传输慢、离子扩散受阻以及循环性能不稳定等问题, 通过一步水热法制备 Na_{0.4}V₂O₅ 纳米粉体材料, 并作为锌离子电池正极材料。结果表明, Na_{0.4}V₂O₅ 电极的倍率性能和循环稳定性均优于 V₂O₅ 电极。Na⁺ 掺杂通过改变 V₂O₅ 的层状结构, 改善 V₂O₅ 的电子传输和离子扩散, 从而提高电极电导特性和结构稳定性。Na_{0.4}V₂O₅ 电极是倍率性能和循环稳定性优良的电极材料。

关键词: Na_{0.4}V₂O₅; 锌离子电池; Na⁺ 掺杂; 电化学性能

中图分类号: TQ152; TM912

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2022)04-0036-06

引文格式: 陈文昊, 武目选, 颀雨佳, 等. Na⁺ 掺杂 V₂O₅ 电极材料的制备及其储锌性能 [J]. 包装学报, 2022, 14(4): 36-41.

1 研究背景

为解决过度使用化石燃料造成的环境问题和能源危机, 人们开始使用可再生能源, 如太阳能、风能等^[1-3]。然而, 太阳能和风能受气候、纬度位置、地形等自然条件的限制, 不是定期可靠和恒定的。为了有效地利用可再生能源, 开发具有高比能、大功率密度和良好的循环稳定性等特点的大规模电能存储系统迫在眉睫^[4-5]。

锂离子电池作为传统储能装置具有高比能的优势, 但面临安全性低、锂储量低、成本高等问题^[6-9]。在寻找新的储能装置过程中, 与 Li 电化学性质相近的 Al、Mg、Zn 进入了人们视野^[10-12]。Zn 元素在地球储量丰富, 可用于水系电解液二次电池。以 Zn 为负极的锌离子电池的理论比容量高达 820 mA·h/g。其具有以下优势: 1) 相对标准氢电极, Zn 的氧化还原电位较低 (-0.76 V), 有利于提高工作电压窗口范围和能量密度; 2) Zn 的析氢过电位较高, 因而 Zn

在水溶液中的电化学性质稳定; 3) Zn 在氧化还原反应过程中能转移 2 个电子, 相比锂离子电池、钠离子电池具有更高的能量密度^[13-14]。尽管如此, 锌离子电池的进一步发展仍受制于锌离子电池正极有限的比容量和较差的倍率性能^[13, 15]。

钒在地壳中储量丰富, 具有成本低、多种氧化价态以及安全性高等特点, 因而钒基化合物成为了锌离子电池正极材料的研究热点^[16-19]。五氧化二钒 (V₂O₅) 具有层状结构, 适合锌离子的嵌入和脱嵌, 但 V₂O₅ 的电化学活性位点有限以及电导率较低, 导致其能量密度较低和倍率性能较差。目前, 已有大量的研究工作着眼于提高 V₂O₅ 正极材料的电导特性, 如制备碳基复合钒氧化物、阳离子掺杂等。V₂O₅ 具有开放的骨架结构, 通过阳离子掺杂可有效改变 V₂O₅ 晶体几何结构, 如改变层间距或离子重排, 进而改善 V₂O₅ 晶体中电子传导和离子扩散, 提高电化学性能^[21-22]。因此, 选择合适的掺杂离子和便捷的合成方法对于研发高性能 V₂O₅ 锌离子电池正极材

收稿日期: 2022-04-07

作者简介: 陈文昊 (1991-), 女, 湖南邵阳人, 湖南工业大学讲师, 博士, 主要研究方向为电化学储能, 新能源,

E-mail: chenwenhao2022@126.com

料具有重要意义。

Na⁺ 离子具有合适的离子半径, 可将层状结构转为隧道结构, 且该结构更稳定。故本文拟以 Na⁺ 作为掺杂阳离子, 采用一步水热法制备 Na_{0.4}V₂O₅ 纳米粉体, 并用于锌离子电池正极材料, 进行循环伏安 (CV) 测试、交流阻抗 (EIS) 测试, 以期为锌离子电池正极材料改性提供新思路。

2 实验

2.1 试剂与材料

所有试剂均为分析纯。五氧化二钒, 上海阿拉丁化学有限公司; 草酸钠, 广州化学试剂厂; 三氟甲烷磺酸锌 (Zn(CF₃SO₃)₂), 上海毕得医药科技有限公司; 过氧化氢 (质量分数 30%)、无水乙醇, 天津市天力化学试剂有限公司。去离子水为实验室自制。纽扣电池壳, 武汉格瑞斯新能源有限公司; 泡沫镍, 苏州钻五电子科技有限公司; 乙炔黑, 河北墨钰化工有限公司; 不锈钢箔, 东莞市天申金属材料有限公司; 锌片, 深圳市阿满达五金钢材有限公司; 玻璃纸, 济南贝亚特化工科技有限公司。

2.2 仪器与设备

电子天平, FA1204 型, 常州科源电子仪器有限公司; 磁力搅拌器, C-MAG MS 7S25 型, 艾卡 (广州) 仪器设备有限公司; 分析天平, H0503 型, 河北德科机械科技有限公司; 超声波清洗机, XTF-1030 型, 广东顺德先泰超声工程设备有限公司; 鼓风干燥箱 (HG-9035A 型)、真空干燥箱 (DZF-6730A 型), 上海精宏实验设备有限公司; 纽扣电池压片机 (MSK-T-07 型)、涂片机 (AFA-I 型)、切片机 (MSK-T10 型)、封装机 (MSK-110D 型), 深圳科晶智达科技有限公司; X 射线衍射仪, Ultima IV 型, 日本理学株式会社; 电化学工作站, CHI-660F 型, 上海辰华仪器有限公司; 充放电测试仪, BTS-5 V/10 mA, 深圳新威尔电子有限公司。

2.3 实验步骤

1) Na_{0.4}V₂O₅ 纳米棒的制备

采用简单的一步水热合成法制备 Na_{0.4}V₂O₅。将 1 g V₂O₅ 加入到 50 mL 去离子水中, 并加入 10 mL H₂O₂, 磁力搅拌 30 min, 然后加入 0.0737 g Na₂C₂O₄ 继续搅拌 30 min, 将得到的悬浮液转移至聚四氟乙烯不锈钢反应釜中, 并置入电热鼓风干燥箱中 200 °C 恒温 24 h, 待反应釜自然冷却至室温, 将反应所得的

沉淀物真空抽滤并采用去离子水和无水乙醇分别洗涤 3 次, 最后在真空干燥箱 70 °C 干燥 12 h。

2) V₂O₅ 纳米棒的制备

V₂O₅ 纳米棒也采用一步水热合成法制备。首先将 1 g V₂O₅ 加入到 50 mL 去离子水, 再加入 10 mL H₂O₂ 并磁力搅拌 30 min, 将所得溶液转移至聚四氟乙烯不锈钢反应釜中, 并置入电热鼓风干燥箱中 200 °C 恒温反应 24 h, 待反应釜自然冷却至室温, 将反应所得的沉淀物真空抽滤并用去离子水和无水乙醇分别洗 3 次, 最后放置于真空干燥箱 70 °C 干燥 12 h。

3) 电极片的制备

按 $m(\text{活性物质}) : m(\text{导电剂}) : m(\text{黏结剂}) = 6 : 3 : 1$ 制备电极片。将活性物质 (Na_{0.4}V₂O₅ 或 V₂O₅) 和导电剂 (乙炔黑) 置于玛瑙研钵中研磨, 再加入黏结剂聚偏二氟乙烯 (polyvinylidene difluoride, PVDF) 和 N-甲基吡咯烷酮研磨成黑色膏状物质。将研磨后得到的电极材料放在对辊机上, 压制成有一定厚度的电极片, 并将电极片置于 80 °C 真空干燥 12 h, 然后冲成直径 10 mm 的小圆片待用。

2.4 材料表征和电化学测试

采用 X 射线衍射仪表征 Na_{0.4}V₂O₅ 的物相结构。将制备的电极片作为正极, 金属锌作为负极, 电解液为 3 mol/L 的 Zn(CF₃SO₃)₂, 隔膜为玻璃纤维, 集流体为不锈钢箔, 组装成 CR2016 型纽扣电池, 使用电池性能测试仪进行恒电流充放电性能测试。使用电化学工作站进行循环伏安测试和交流阻抗测试, 频率为 (0.1~10⁵) Hz。

3 结果与分析

3.1 Na_{0.4}V₂O₅ 的物相表征

图 1 是 Na_{0.4}V₂O₅ 的 X 射线衍射 (XRD) 图谱。由图 1 可知, Na_{0.4}V₂O₅ 大部分的衍射峰与 V₂O₅ 的标准卡片 PDF 52-0794 一致。其中, 8° 处的衍射峰较为尖锐, 属于 V₂O₅ 的 (001) 晶面衍射峰, 证明用一步水热法制备的 Na_{0.4}V₂O₅ 结晶度较高。Na_{0.4}V₂O₅ 的 (001) 晶面的衍射角度略低于 V₂O₅ 标准卡片, 证明随着 Na 离子掺杂, Na_{0.4}V₂O₅ 的 (001) 晶面间距增大, 更有利于 Zn²⁺ 离子的嵌入和脱嵌^[20, 22]。另外, 47.13°, 50.43° 处衍射峰分别与 Na_{0.33}V₂O₅ (PDF 48-0382) 的 (40-7) 和 (31-7) 对应, 说明 Na 离子除了掺杂进入 V₂O₅ 晶格外还形成了少量其它钒基氧化物相。

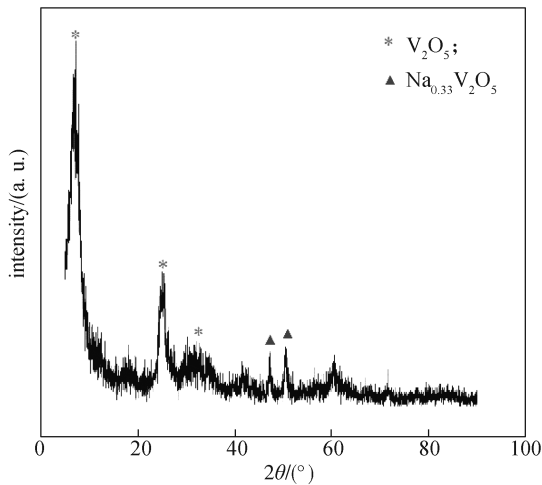


图1 $\text{Na}_{0.4}\text{V}_2\text{O}_5$ 的 XRD 图谱
Fig. 1 XRD pattern of $\text{Na}_{0.4}\text{V}_2\text{O}_5$

3.2 $\text{Na}_{0.4}\text{V}_2\text{O}_5$ 和 V_2O_5 的电化学性能

图2为扫描速率为 $0.1 \text{ mV}\cdot\text{s}^{-1}$ ，电压测试范围为 $0.2\sim 2.0 \text{ V}$ ， $\text{Na}_{0.4}\text{V}_2\text{O}_5$ 和 V_2O_5 电极的循环伏安曲线。

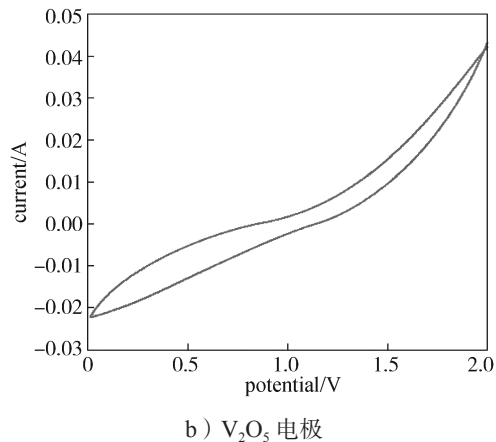
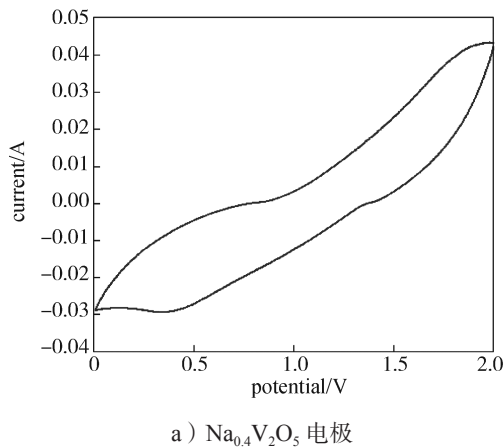


图2 $\text{Na}_{0.4}\text{V}_2\text{O}_5$ 和 V_2O_5 电极的循环伏安曲线
Fig. 2 CV curves of $\text{Na}_{0.4}\text{V}_2\text{O}_5$ and V_2O_5 electrodes

由图2可知：1) $\text{Na}_{0.4}\text{V}_2\text{O}_5$ 的还原峰在 1.7 V 处，对应 Zn^{2+} 嵌入钒基氧化物的隧道结构；在氧化扫描过程中，氧化峰位于 0.6 V 处，对应 Zn^{2+} 的脱嵌^[23]。2) V_2O_5 的氧化还原峰强度较弱。在同样的扫描速率下， $\text{Na}_{0.4}\text{V}_2\text{O}_5$ 的 CV 曲线的积分面积明显大于 V_2O_5 电极的，说明 $\text{Na}_{0.4}\text{V}_2\text{O}_5$ 电极相比 V_2O_5 电极能存储更多的锌离子，比电容更高。

图3为 $\text{Na}_{0.4}\text{V}_2\text{O}_5$ 和 V_2O_5 电极在电流密度为 100 mA/g 下的首次充放电曲线。

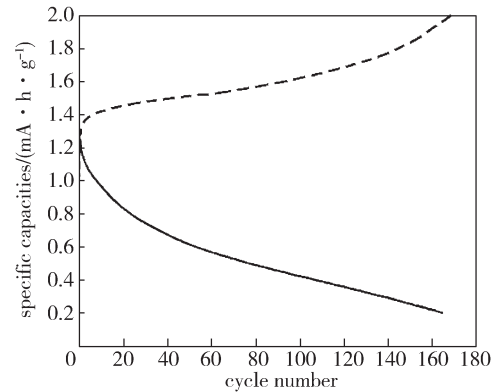
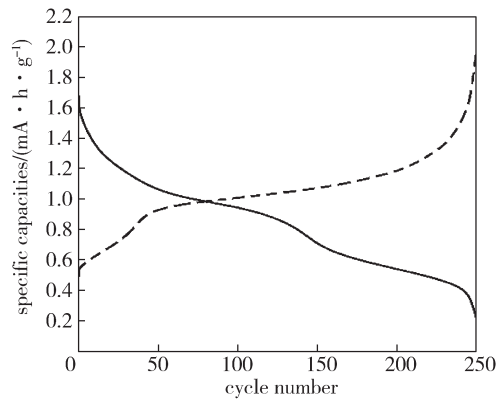


图3 $\text{Na}_{0.4}\text{V}_2\text{O}_5$ 电极和 V_2O_5 电极首次充放电曲线
Fig. 3 First charge-discharge curves of $\text{Na}_{0.4}\text{V}_2\text{O}_5$ and V_2O_5 electrodes

由图3可知，在首次放电曲线中， $\text{Na}_{0.4}\text{V}_2\text{O}_5$ 电极在 $1.5\sim 0.8 \text{ V}$ 处出现斜长放电平台，对应 Zn^{2+} 嵌入 $\text{Na}_{0.4}\text{V}_2\text{O}_5$ 正极材料；在首次充电曲线中， $\text{Na}_{0.4}\text{V}_2\text{O}_5$ 电极的充电平台在 $0.9\sim 1.4 \text{ V}$ 处，对应 Zn^{2+} 脱嵌。充放电曲线中充放电平台电位与 CV 曲线中氧化还原峰电位的差异是由电极在不同电化学反应条件下极化程度不同引起。 V_2O_5 电极的首次充放电容量为 $168 \text{ mA}\cdot\text{h/g}$ ， $\text{Na}_{0.4}\text{V}_2\text{O}_5$ 电极的首次充放电容量为 251

mA·h/g。可见, Na_{0.4}V₂O₅ 电极的首次充放电容量更大, 且充放电平台间的电压差更小, 说明 Na⁺ 掺杂能有效改善 V₂O₅ 的晶体结构和储锌能力。

图 4 为 Na_{0.4}V₂O₅ 和 V₂O₅ 电极的倍率性能测试结果。由图 4 可知, 在 50, 100, 200, 100, 50 mA/g 的电流密度下, V₂O₅ 电极的平均放电比容量分别约为 124, 81, 30, 15, 43 mA·h/g, Na_{0.4}V₂O₅ 电极的平均放电比容量分别为 209, 158, 126, 156, 169 mA·h/g。对比可知, Na_{0.4}V₂O₅ 电极在各电流密度下的放电比容量均高于 V₂O₅ 电极, 且在大电流密度时依然能保持较高的放电比容量, 说明 Na⁺ 掺杂对 V₂O₅ 的储锌倍率性能有所改善。Na⁺ 掺杂可使 V₂O₅ 由层状结构转变为隧道结构, 有利于提高其结构稳定性; 另外, 基于阳离子跃迁等机制, Na⁺ 掺杂可提高 V₂O₅ 的电导特性, 加快电极材料中的电子转移和离子扩散, 有利于提高 Na_{0.4}V₂O₅ 电极的倍率性能^[22-23]。

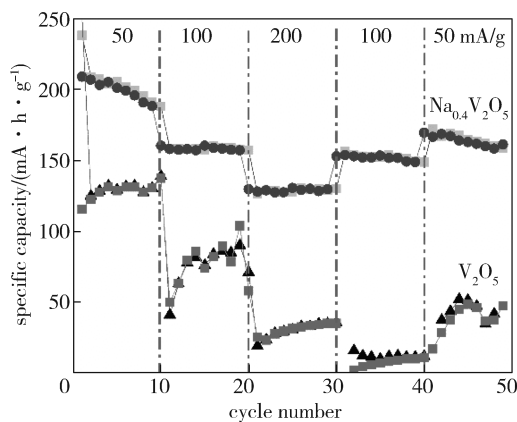


图 4 Na_{0.4}V₂O₅ 和 V₂O₅ 电极的倍率性能

Fig. 4 The rate performance of Na_{0.4}V₂O₅ and V₂O₅ electrodes

图 5 为恒流充放电电流密度为 100 mA/g, Na_{0.4}V₂O₅ 和 V₂O₅ 电极的循环稳定性测试结果。由图 5 可知: V₂O₅ 电极的首次放电比容量约为 280 mAh/g, 由于激活效应, 第二、第三次循环可逆容量略微升高。经 20 个循环后 V₂O₅ 的可逆放电比容量趋于稳定, 经 100 次循环后的放电比容量为 80 mA·h/g, 容量保持率为 28.57%。Na_{0.4}V₂O₅ 电极的首次放电比容量约为 260 mA·h/g。经 100 次循环后, Na_{0.4}V₂O₅ 电极的放电比容量为 125 mA·h/g, 容量保持率为 48.08%。经对比可知, Na_{0.4}V₂O₅ 作为二次锌离子电池正极的循环稳定性更好, 这与 Na⁺ 掺杂提高 V₂O₅ 结构稳定性有关。

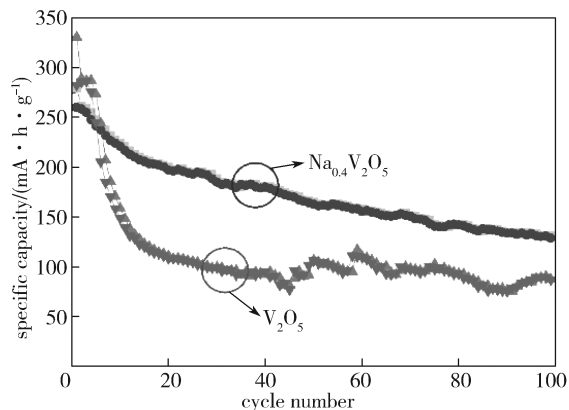
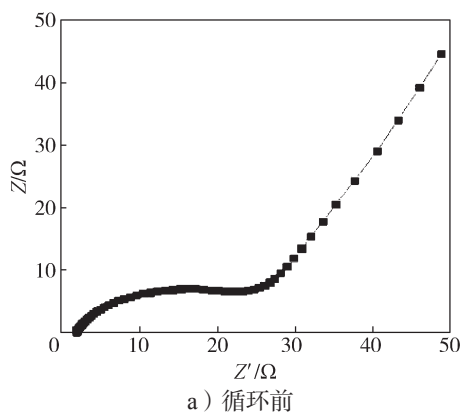


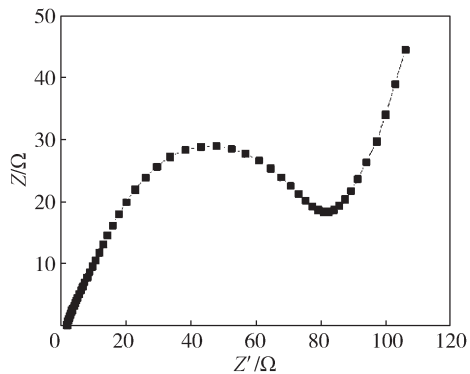
图 5 V₂O₅ 和 Na_{0.4}V₂O₅ 电极在电流密度 100 mA/g 下的循环性能

Fig. 5 The cyclic performance of V₂O₅ and Na_{0.4}V₂O₅ electrodes at current density of 100 mA/g

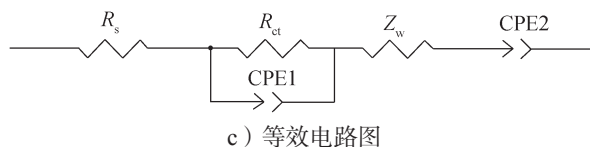
图 6 为 Na_{0.4}V₂O₅ 正极材料循环前后的 EIS 分析结果。



a) 循环前



b) 100 次循环后



c) 等效电路图

图 6 Na_{0.4}V₂O₅ 电极循环前后 EIS 分析

Fig. 6 EIS analysis of Na_{0.4}V₂O₅ electrode before and after cycling

由图6可知, $\text{Na}_{0.4}\text{V}_2\text{O}_5$ 电极循环前后的 Nyquist 曲线均由一段高频区圆弧和一段低频区斜线构成, 高频区圆弧部分与电荷在电极与电解液界面转移有关, 低频区斜线与 Zn^{2+} 在电极内部扩散有关^[24]。通过对比高频区可以看出, $\text{Na}_{0.4}\text{V}_2\text{O}_5$ 循环前后电极的电阻变化较小, 说明 $\text{Na}_{0.4}\text{V}_2\text{O}_5$ 电极在循环过程中能较好地保持结构的稳定性, 有助于锌离子快速扩散, 因而具有比 V_2O_5 电极更好的循环稳定性。在低频区 100 次循环后的 $\text{Na}_{0.4}\text{V}_2\text{O}_5$ 电极与没有经过循环的 $\text{Na}_{0.4}\text{V}_2\text{O}_5$ 电极相比, 斜率更大, 说明经过多次循环, 电极活化, 离子扩散速率提高。

4 结语

钒基氧化物是最具前景的水系锌离子电池正极材料之一。针对其电子传输慢、离子扩散受阻以及循环性能不够稳定等问题, 本文通过一步水热法制备了 $\text{Na}_{0.4}\text{V}_2\text{O}_5$ 纳米粉体材料。利用 XRD 对所制备的粉体材料进行了物相表征, 并进行循环伏安、恒流充放电等电化学性能测试。测试结果表明, $\text{Na}_{0.4}\text{V}_2\text{O}_5$ 电极的首次充放电容量为 251 mA·h/g, 比 V_2O_5 电极高, 且其电极充放电平台间的电压差更小; 不同电流密度下, $\text{Na}_{0.4}\text{V}_2\text{O}_5$ 电极的放电比容量均高于 V_2O_5 电极, 且在大电流密度时仍能保持较高的放电比容量; 经 100 次循环后, $\text{Na}_{0.4}\text{V}_2\text{O}_5$ 电极的放电比容量为 125 mA·h/g, 容量保持率为 48.08%, 其作为二次锌离子电池正极的循环稳定性更好。可见, Na^+ 掺杂能改变 V_2O_5 的层状结构, 有效改善 V_2O_5 的电子传输和离子扩散, 从而提高电极电导特性和结构稳定性。

参考文献:

- [1] PALACÍN M R, DE GUIBERT A. Why Do Batteries Fail?[J]. *Science*, 2016, 351(6273): 1253292.
- [2] 戴宏民, 戴佩华, 周均. 碳减排与绿色包装[J]. *包装学报*, 2010, 2(2): 48-51.
DAI Hongmin, DAI Peihua, ZHOU Jun. Carbon Emission Reduction and Green Packaging[J]. *Packaging Journal*, 2010, 2(2): 48-51.
- [3] 马楠柯, 晋媛. 表面多孔球形 LiFePO_4/C 的制备及其电化学性能[J]. *包装学报*, 2021, 13(4): 1-8.
MA Nanke, JIN Yuan. Preparation and Electrochemical Properties of LiFePO_4/C Porous Spherical Microstructures [J]. *Packaging Journal*, 2021, 13(4): 1-8.
- [4] GÜR T M. Review of Electrical Energy Storage Technologies, Materials and Systems: Challenges and Prospects for Large-Scale Grid Storage[J]. *Energy & Environmental Science*, 2018, 11(10): 2696-2767.
- [5] LARCHER D, TARASCON J M. Towards Greener and more Sustainable Batteries for Electrical Energy Storage[J]. *Nature Chemistry*, 2015, 7(1): 19-29.
- [6] CHOI J W, AURBACH D. Promise and Reality of Post-Lithium-Ion Batteries with High Energy Densities[J]. *Nature Reviews Materials*, 2016, 1: 16013.
- [7] BRUCE P, SCROSATI B, TARASCON J M. Nanomaterials for Rechargeable Lithium Batteries[J]. *Angewandte Chemie International Edition*, 2008, 47(16): 2930-2946.
- [8] LI W, MCKINNON W, DAHN J. Lithium Intercalation from Aqueous Solutions[J]. *Journal of the Electrochemical Society*, 1994, 141: 2310-2316.
- [9] 陈宪宏, 陈丽娟, 陈晗, 等. 空心管状 TiO_2/C 掺硅负极材料的制备及其性能研究[J]. *包装学报*, 2018, 10(5): 1-6.
CHEN Xianhong, CHEN Lijuan, CHEN Han, et al. Preparation and Electrical Properties Investigation of Tubular TiO_2/C -Doped Silicon Anode Material[J]. *Packaging Journal*, 2018, 10(5): 1-6.
- [13] XU C J, LI B H, DU H D, et al. Energetic Zinc Ion Chemistry: The Rechargeable Zinc Ion Battery[J]. *Angewandte Chemie*, 2012, 124(4): 957-959.
- [14] WANG H Y, LIANG M M, GAO J J, et al. Robust Structural Stability of Flower-Like $\delta\text{-MnO}_2$ as Cathode for Aqueous Zinc Ion Battery[J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2022, 643: 128804.
- [15] 陈丽能, 晏梦雨, 梅志文, 等. 水系锌离子电池的研究进展[J]. *无机材料学报*, 2017, 32(3): 225-234.
CHEN Lineng, YAN Mengyu, MEI Zhiwen, et al. Research Progress and Prospect of Aqueous Zinc Ion Battery[J]. *Journal of Inorganic Materials*, 2017, 32(3): 225-234.
- [16] 戴宇航, 甘志伟, 阮雨杉, 等. 水系锌离子电池及关键材料研究进展[J]. *硅酸盐学报*, 2021, 49(7): 1323-1336.
DAI Yuhang, GAN Zhiwei, RUAN Yushan, et al. Research Progress of Aqueous Zinc Ion Batteries and Their Key Materials[J]. *Journal of the Chinese Ceramic Society*, 2021, 49(7): 1323-1336.
- [17] SAMBANDAM B, SOUNDHARRAJAN V, KIM S, et al. Aqueous Rechargeable Zn-Ion Batteries: An Imperishable and High-Energy $\text{Zn}_2\text{V}_2\text{O}_7$ Nanowire

- Cathode through Intercalation Regulation[J]. *Journal of Materials Chemistry A*, 2018, 6(9): 3850–3856.
- [18] 陶斌武, 刘建华, 李松梅, 等. 水相锌二次电池正极材料 V₂O₅/C 的电化学性能研究 [J]. *物理化学学报*, 2005, 21(3): 338–342.
- TAO Binwu, LIU Jianhua, LI Songmei, et al. Electrochemical Properties of a V₂O₅/C Composite in Aqueous Solution Used for Zinc Secondary Battery[J]. *Acta Physico-Chimica Sinica*, 2005, 21(3): 338–342.
- [19] CHEN L N, RUAN Y S, ZHANG G B, et al. Ultrastable and High-Performance Zn/VO₂ Battery Based on a Reversible Single-Phase Reaction[J]. *Chemistry of Materials*, 2019, 31(3): 699–706.
- [20] YOO G, KOO B R, AN H R, et al. Enhanced and Stabilized Charge Transport Boosting by Fe-Doping Effect of V₂O₅ Nanorod for Rechargeable Zn-Ion Battery[J]. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2021, 99: 344–351.
- [21] 孙梦雷, 张达奇, 冯金奎, 等. 钒基电极材料研究进展 [J]. *电化学*, 2019, 25(1): 45–54.
- SUN Menglei, ZHANG Daqi, FENG Jinkui, et al. Recent Progress in Vanadium-Based Electrode Materials[J]. *Journal of Electrochemistry*, 2019, 25(1): 45–54.
- [22] DENG S Y, JIANG Y, HUANG D J, et al. Driving Intercalation Kinetic through Hydrated Na⁺ Insertion in V₂O₅ for High Rate Performance Aqueous Zinc Ion Batteries[J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2022, 891: 161946.
- [23] QIN M L, LIU W M, SHAN L T, et al. Construction of V₂O₅/NaV₆O₁₅ Biphase Composites as Aqueous Zinc-Ion Battery Cathode[J]. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 2019, 847: 113246.
- [24] WANG X W, WANG L Q, ZHANG B, et al. A Flexible Carbon Nanotube@V₂O₅ Film as a High-Capacity and Durable Cathode for Zinc Ion Batteries[J]. *Journal of Energy Chemistry*, 2021, 59: 126–133.

(责任编辑: 邓彬)

Preparation and Zinc Storage Properties of Na⁺-Doped V₂O₅ Electrode Materials

CHEN Wenhao, WU Muxuan, XIE Yujia, ZHU Yirong

(College of Materials and Advanced Manufacturing, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: In order to solve the problems such as sluggish electron transfer, severe concentration polarization and poor cycling performance of V₂O₅, Na_{0.4}V₂O₅ nano-powder materials was prepared by one-step hydrothermal method and used as cathode material of zinc-ion battery. The results reveal that the rate performance and cycle stability of Na_{0.4}V₂O₅ electrode are better than those of V₂O₅ electrode. Na⁺-doped can change the layered structure of V₂O₅ and effectively improve the electron transport and ion diffusion in the solid electrode. Thus, Na_{0.4}V₂O₅ improves the conductivity characteristics and structural stability and is a promising electrode material with excellent rate performance and cycle stability.

Keywords: Na_{0.4}V₂O₅; zinc-ion battery; Na⁺-doped; electrochemical characteristic