

“双碳”背景下化学专门化实验设计 ——以锌-空燃料电池的组装及性能评价为例

毕凤乔¹, 王军^{1,*}, 杨冬梅²

¹ 东北大学理学院化学系, 沈阳 110819

² 东北大学化学实验中心, 沈阳 110819

摘要: 为促进科教融合, 针对能源研究热点, 设计了以协同创新为特征, 兼具安全性和可操作性的化学专门化实验。引导学生从文献调研和实验设计出发, 了解锌-空电池研究进展, 掌握其工作原理、组装技术及性能评估方法。通过模拟科研过程的系统训练, 激发学生在科学领域锐意进取、探索求真的原动力, 逐步培养科学素养、提升实践能力。

关键词: 科教融合; 专门化实验; 锌-空燃料电池; 组装; 性能评价

中图分类号: G64; O6

Specialized Experimental Design for Chemistry Majors in the Context of “Dual Carbon”: Taking the Assembly and Performance Evaluation of Zinc-Air Fuel Batteries as an Example

Fengqiao Bi¹, Jun Wang^{1,*}, Dongmei Yang²

¹ Department of Chemistry, College of Science, Northeastern University, Shenyang 110819, China.

² Laboratory Center of Chemistry, Northeastern University, Shenyang 110819, China.

Abstract: To facilitate the integration of education and science, a specialized experiment has been designed to address the research hotspots in the field of energy. This experiment is characterized by collaborative innovation, ensuring both safety and operability. By starting with literature search and experiment design, students are guided to explore the advancements in zinc-air fuel cells, understand their working principles, assembly techniques, and methods for performance evaluation. Through a systematic training program that simulates the scientific research process, students are encouraged to pursue excellence and seek the truth in the scientific field. This program aims to gradually develop their scientific literacy and enhance their practical skills.

Key Words: Integration of science and education; Specialized experiment; Zinc-air fuel cell; Assembly; Performance evaluation

在稳步推进我国2030年前实现碳达峰和2060年前实现碳中和的“双碳”目标实施以及当前全球能源格局变动的大背景下, 石油、煤炭、天然气等化石能源将逐步退出, 绿色能源正在、并将持续得到快速、多元化发展。作为绿色能源形式, 燃料电池是一种将化学能转化为电能的装置。其工作过程排放的有害物质极少, 而且能量的转换效率不受卡诺定理的约束, 因此成为国际清洁能源研究领域的热点之一^[1]。将现代燃料电池技术前沿领域的研究成果转化为高等院校化学专业的教学资源

收稿: 2023-11-21; 录用: 2024-01-08; 网络发表: 2024-02-01

*通讯作者, Email: wangjun_chem@mail.neu.edu.cn

基金资助: 辽宁省研究生教育教学改革研究资助项目(LNYJG2022111); 辽宁省普通高等教育本科教学改革研究项目(辽教办[2021] 254)

并充分融入实验教学活动^[2], 不仅有助于强化学生对专业知识的理解、提高实践和创新能力, 为综合运用所学知识解决能源领域中的科研和工程实际问题奠定基础^[3], 而且可以拓宽学生的学科视界、深入了解相关学科前沿领域及未来发展趋势, 因此对培养国家经济建设亟需的一流人才、推动高校教育事业的可持续发展具有重要意义^[4,5]。

燃料电池中可使用的燃料包括以氢、锂、钠、钾、铝、镁、锌等为代表的无机类燃料, 以及甲醇、甲烷、天然气等有机类燃料。但有机燃料使用过程中仍存在二氧化碳排放问题, 因此无法摆脱碳排放约束。在常见的几种由无机类燃料与空气(工作物质为空气中的氧气)组成的电池中, 氢-空电池能量转换效率最高, 而且排放的物质为水, 能够实现对环境的零污染^[6]。然而, 氢气的运输、存储和使用过程的安全性至关重要, 使其管理成本居高不下。锂-空电池可以提供最高的金属-空气电池能量密度。然而, 由于具有半开放结构, 暴露在空气中使用时, 包括锂在内的所有碱金属电池都存在安全问题^[7]。镁和铝的还原电位均较低, 会导致镁-空和铝-空水系电池使用中会发生氢析出反应(HER)引起电池的自放电^[7]。而锌-空电池利用金属锌作为阴极材料, 可采用水系电解液, 具有高安全性和稳定性, 且原料储量丰富、制造成本低、环境友好, 目前已应用于医疗、交通、移动工具等设备^[8]。同时, 锌-空电池还具有可再充电性, 在规模化储能领域呈现广阔的应用前景^[9]。因此, 在众多新型态燃料电池中, 锌-空电池更适于设计成专门化实验项目, 在高等院校化学、化工、能源、材料等本科专业的实践教学活动中推广。

锌-空电池在放电时空气阴极发生氧还原反应(Oxygen reduction reaction, ORR), 在充电时则发生ORR的逆过程, 称为氧析出反应(Oxygen evolution reaction, OER)。理想情况下, 这两个反应为可逆过程。由于ORR和OER均为动力学迟缓过程, 为提高电池的充放电效率, 常使用催化剂来加速反应进行。目前, 铂基材料被认为是最为有效的ORR催化剂, 但用于可充电电池时, 其电化学稳定性不佳、催化OER的活性较差。而且由于铂的自然储量低、使用成本高, 严重限制了其规模化应用。因此研究者在发展高效、稳定、价格低廉的ORR催化剂方面, 特别是用于可充电锌-空电池的ORR/OER双功能催化剂方面仍面临巨大挑战^[10]。针对目前这一新能源领域的研究热点, 我们设计了基于锌-空燃料电池ORR过程的“锌-空燃料电池的组装及性能评价”专门化实验。在实验中, 引导学生从文献调研和实验设计出发, 了解锌-空燃料电池的发展现状, 掌握电池的工作原理, 学习电极制备和电池组装技术, 学会利用开路电压、极化曲线、恒电流充放电等多种电化学测试手段评估电池的基本性能。通过模拟科研过程的专业实验实训, 发现有关领域存在重要科学问题, 思考解决问题的方法, 并进一步激发学生主动学习、探索学科前沿、追踪研究热点、攻克科学难题的原动力, 从而培养科学素养、提升实践能力。

1 教学安排及教学要求

该实验设置为8学时。其中, 学生进行实验背景知识的展示需1学时; 材料准备、催化剂制备等实验需2学时; 电池的组装及性能评价实验需5学时。2名学生组成一个实验小组, 每次实验不超过8个小组。

实验开始前, 指导教师预先给学生提出明确的锌-空燃料电池背景知识需求和实验要求, 包括: (1) 电池的基本结构、工作原理; (2) 锌-空燃料电池发展优势, 包括制造成本、能量密度、环境安全、使用安全等; (3) 实际应用的瓶颈问题, 例如锌电极的析氢腐蚀、贵金属类催化剂稀缺、锌枝晶导致的短路、循环稳定性差、功率密度不达预期等; (4) 锌-空燃料电池的性能评价方法^[11]; (5) 关键材料的种类、制备、处理、使用方法, 例如ORR催化剂、锌片、碳纸、Nafion溶液等。按照上述相关要求分小组进行实验前的文献调研^[12], 并将调研结果制作成PPT文档, 在实验开始前在课堂展示, 每小组展示及讨论时长一般不超过6分钟。

实验过程中, 教师实时引导学生思考或注意实验相关问题, 包括: (1) 在电池正极制备过程中, 催化剂层喷涂厚度、喷涂均匀性对电池性能可能产生的影响; (2) 在电池组装完成后, 从保护负极以

及提高电池功率密度的角度理解电解液中加入乙酸锌的目的^[13], 并进一步在课后查阅有关文献以了解目前关于锌-空燃料电池的研究中如何通过电解液的调控来优化电池的性能^[14]; (3) 疏水碳纸的使用方法。在喷涂催化剂时, 应保证其在碳纸上的分布薄而均匀; 在组装电池过程中, 应注意碳纸摆放方向, 未喷涂催化剂的一侧应与空气接触; 由于碳纸易破损, 因此在使用鳄鱼夹将碳纸夹紧时应注意不要撕裂碳纸; (4) 实验过程中使用有酸、碱等腐蚀性化学试剂, 因此实验全程要做好安全防护。

实验结束后, 学生根据测试的实验数据撰写实验研究论文并按时上交, 论文内容包括但不限于中英文标题、作者、摘要、引言、实验预设目标、实验流程和实验方法、结果与讨论、结论以及参考文献等。

2 实验目的

- (1) 深入理解锌-空燃料电池的工作原理;
- (2) 熟练进行锌-空燃料电池的组装;
- (3) 掌握锌-空燃料电池性能评价基本方法;
- (4) 掌握用Origin软件处理实验数据的基本方法。

3 实验部分

3.1 实验原理

锌-空燃料电池放电过程中是通过金属锌与空气中的氧发生如式(1)所示的化学反应, 从而将该反应的化学能转化为电能并对外输出。在碱性电解液中, 金属锌作为电池的负极, 在电极表面发生如式(2)和(3)所示的氧化反应, 所释放出的电子通过外电路转移到电池的空气正极。空气中的氧气作为反应物种, 在电池的正极得到电子, 并发生如式(4)所示的氧的还原反应(ORR)。



锌-空燃料电池的基本性能可以通过开路电位、极化曲线、放电电流密度、功率密度曲线及稳定性测试等实验结果进行评价^[15]。开路电位(OCP)是指电池的外电路断开、流经电池的电流为零的情况下, 电池正极和负极的电势差。极化曲线则展示了电极电位随电流密度的变化关系, 是另一种评价电池输出性能的常用方法^[16]。极化曲线包含充电极化曲线和放电极化曲线两种。放电极化曲线表示随着电池放电电流增加、放电程度加大, 电池输出电压(E)偏离OCP的程度。放电极化曲线的纵坐标为电池两端的电压, 横坐标为放电电流密度。电池放电过程中用所测电路中通过的电流除以电极的电化学活性面积(通常用ECSA表示)即可计算出放电电流密度(j)。电池的功率密度(P)则可以利用极化曲线上的 j 与 E 的乘积计算得到, 如式(5)所示。

$$P = j \times E \quad (5)$$

在电池性能评价方面, 电池的使用稳定性测试也十分重要。电池的稳定性常通过恒定电流下的计时电位法(CP)或恒定电位下的计时电流法(CA)进行测试。其中, CP是一种在电流恒定条件下测试电池电压随时间变化的方法, 本实验所组装的锌-空燃料电池即采用这种方法测量其稳定性。测试过程中, 以一个恒定的电流密度充电足够长时间, 之后再放电同样长时间, 记录充、放电过程电池电压的变化。上述充电与放电过程重复多次, 即可获得在长时间、多次循环、恒电流充、放电条件下电池电压随时间的改变。

3.2 实验材料及试剂

铂-碳粉(Pt-C, 20 wt% Pt)、异丙醇、Nafion溶液(5%)、氢氧化钠水溶液($0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$)、盐酸($0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$)、丙酮、乙醇、去离子水。除特殊标明外, 上述化学试剂及材料均为分析纯。

电解液为 $6.0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 氢氧化钾与 $0.2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙酸锌的混合水溶液。

3片 $4 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$ 的高纯锌片，剪切方式如图1a所示；3片 $4 \text{ cm} \times 8 \text{ cm}$ 的疏水碳纸，剪切方式如图1b所示。

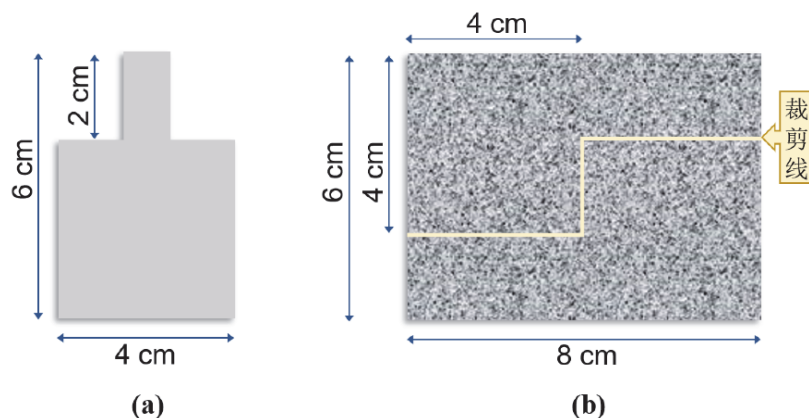


图1 锌片电极(a)和碳纸(b)的剪切方式

3.3 实验仪器和装置

7 mL 锌-空电池模具、管式炉、电化学工作站、电池测试系统、超声波清洗器、电子天平、7 mL 喷枪、小型空气压缩机、烘箱、恒温加热磁力搅拌器、制冰机。图2为电池电化学性能测试装置示意图，图3为组装完成的锌-空燃料单电池。

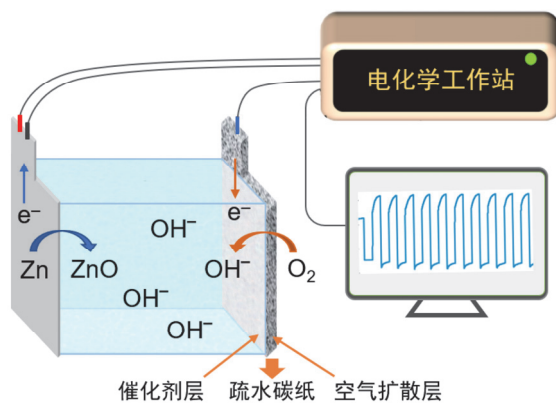


图2 锌-空燃料电池电化学性能测试装置示意图

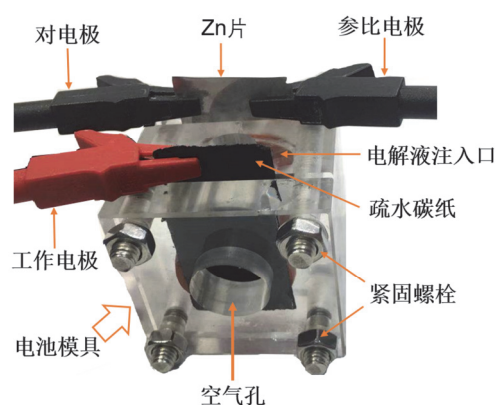


图3 组装的锌-空燃料电池

3.4 实验步骤

3.4.1 催化剂油墨的配制

准确称量6 mg的Pt-C粉于5 mL带盖样品管中，用移液器取500 μL 去离子水加入其中，润湿Pt-C粉后，再用移液器取1460 μL 异丙醇加入其中。将此样品管置于冰水浴中超声1 h后，加入40 μL 的Nafion溶液，继续在此冰水浴中超声1 h，制得催化剂油墨。除加入试剂过程外，上述油墨的制备全程均应盖好样品管盖，并用封口膜封口。

3.4.2 电池空气正极的制备

将喷枪与小型空气泵连接，用生料带缠好连接处。向喷枪的喷壶中加入约3 mL异丙醇，接通空气泵电源，调节气泵排气压力为100 kPa，按动喷枪出液开关，并将其中的异丙醇向回收瓶中喷出，注意应喷出全部异丙醇液体。重复5次，以清洁喷枪。

将裁剪好的单片碳纸固定在模具中，并置于防护罩中。再用移液器移取3.4.1节中制备的1000 μL 催化剂油墨加入到喷枪的喷壶中，调节气泵排气压力为50 kPa，将喷壶中的催化剂油墨喷涂到碳纸表面。注意喷涂过程应缓慢多次进行，保证催化剂层均匀，喷涂时间以3–5 min为宜。喷涂结束后，取出碳纸，40 $^{\circ}\text{C}$ 空气气氛中干燥15 min，即制得锌-空电池的空气正极。该实验项目需制备不少于3个电池正极。在此制备过程中，教师应引导学生思考催化剂层喷涂厚度、喷涂均匀性对电池性能可能产生的影响。

为防止喷枪堵塞，在喷涂结束后，应立即向喷枪的喷壶中再次加入约3 mL异丙醇，接通空气泵电源，在最大出液量下，按动喷枪出液开关，将其中的异丙醇向回收瓶中喷出，注意应喷出全部异丙醇液体。重复清洁喷枪5次，最后用酒精棉仔细清理喷壶内壁和外壁，并常温干燥保存。

3.4.3 锌片负极的处理

将裁剪好的3个锌片用细砂纸打磨，用去离子水洗净、吸干，去除锌表面的氧化层。之后依次在丙酮和乙醇中分别超声清洗5 min，取出后用去离子水洗净、吸干，除去锌片表面的油脂，备用。

3.4.4 锌-空燃料电池组装

在3.4.2节中制备的电池空气正极中，碳纸表面喷涂催化剂的一侧是发生ORR反应的场所。碳纸的另一侧为疏水层，该疏水层有丰富的气体扩散通道，能保证空气能顺利达到催化剂表面，同时也能防止电池中电解液的渗出。因此，在电池组装过程中应注意将空气电极的疏水侧朝向模具开孔处并与空气相通。

组装前需将锌空电池模具用酒精棉清洗干净并在常温下晾干。再将实验步骤3.4.2和3.4.3节制备的1片喷涂有Pt-C催化材料的碳纸正极和1片处理后的锌片负极分别固定在锌-空电池模具的两侧。注意垫好密封圈，拧紧螺母，以保证电解液不泄漏。用滴管在模具空腔中注满3.2节中配制的电解液。将电池的正、负极分别与电化学工作站相连，采用双电极体系进行电池测试。将参比电极和对电极同时与锌片电极相连；将工作电极接头小心夹住碳纸，作为电池正极(应注意碳纸易碎，接线时需十分小心)。在电池组装完成后，教师可以从保护负极以及提高电池功率密度的角度引导学生理解电解液中加入乙酸锌的目的，并引导学生课后查阅有关文献以了解目前关于锌-空燃料电池的研究中如何通过电解液的调控来优化电池的性能^[11]。

3.4.5 OCP及放电极化曲线测试

采用两电极体系，将喷涂有催化剂油墨的碳纸为工作电极、锌片为对电极与电化学工作站相连，锌片同时与参比电极相连。之后开启电化学工作站电源，预热机器。

(1) OCP测试：打开电化学测试软件，在测量方法中选择OCP-time法，运行时间设置为150 s，之后开始测试。待系统停止测试，及时将测试数据保存为txt格式。

(2) 放电极化曲线测试：打开电化学测试软件，在测量方法中选择线性扫描伏安法，初始电压输入上述测试后保持不变的OCP数值，终止电压输入“0”伏，扫描速率设定为10 $\text{mV}\cdot\text{s}^{-1}$ ，灵敏度选择“1.e-002”，其余参数均为测试系统的默认值，之后开始测试。待系统停止测试，及时将测试数据保存为txt格式。

3.4.6 稳定性测试

将所组装的锌-空燃料电池中喷涂有催化剂油墨的碳纸作为正极、锌片作为负极与电池测试系统相接。开启测试系统电源，打开测试软件，确认待测电池的通道，点击启动，进入参数设置区。针对所组装锌-空燃料电池的特性以及该实验项目的时间安排，各种参数的设定区间一般为：电流密度1.0–5.0 $\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ ；充电电压区间1.0–2.5 V；放电电压区间2.0–0 V；保持充电及放电时间相同，可在5–30 min区间选择；完成一次的充电和放电为一个循环，循环次数应不低于5次。在本文中，充放电电流密度均为1.0 $\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ ；充电电压1.2–2.4 V；放电电压1.5–0 V；充、放电时间均为15 min；循环8次以上。上述全部参数设置完成后即可开始测试。待系统停止测试后，及时将测试数据保存为txt格式。

上述3.4.5及3.4.6节的每一项测试均需平行进行三次。全部测试结束后应将全部实验数据拷贝至

优盘。后续的实验数据处理将在预先安装了Origin软件的电脑端完成。实验结束后关闭全部用电设备，切断电源，整理实验仪器设备，清洁实验用品，整理实验台。废弃实验用品和试剂应分类回收处理。

4 结果与讨论

4.1 电池的输出性能

理想情况下，OCP与时间的关系曲线(OCP- t 曲线)非常平稳，电池的OCP为一定值、不随时间变化。但实际情况下，对于不同的电池，随着测试时间延长其OCP值均会有程度不同的改变。根据3.4.5 (1)测试数据绘制的锌-空燃料电池OCP- t 曲线如图4所示。从图4可以看出，在所测试时间范围内，所组装的锌-空燃料电池的OCP值处于1.41–1.42 V。测试28 min以后，电池的OCP恒定在1.42 V。结果说明所组装的锌-空燃料电池的最大输出电位为1.42 V，且稳定性良好。

4.2 电池的极化现象

根据3.4.5 (2)测试数据绘制的锌-空燃料电池放电过程极化曲线如图5中蓝色曲线所示。从此极化曲线可以看出，在该电池放电过程中，当线路中放电电流密度 j 为零时，对应的电压为1.43 V，此值即为电池的OCP，这与图4所示恒电流条件下的OCP- t 曲线测试结果十分接近。因为极化曲线测试属于非稳态法测试，所以从图4中蓝色线获得的1.43 V的OCP值略高于图3中达到稳态时的1.42 V。此外，从图4中还可以看出，随着 j 的增大，由于电池正、负两级的极化现象逐渐增强^[17]，因此电池的输出电压 E 随之降低。

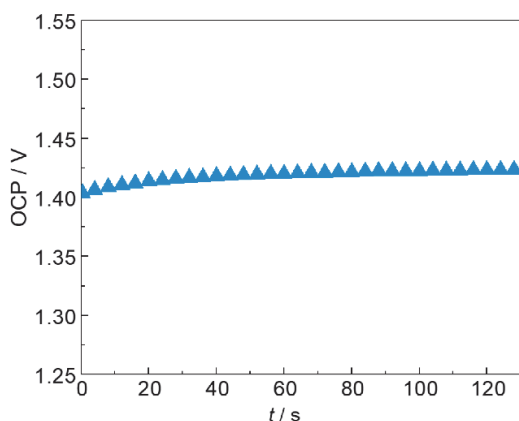


图4 锌-空燃料电池的开路电压-时间(OCP- t)曲线

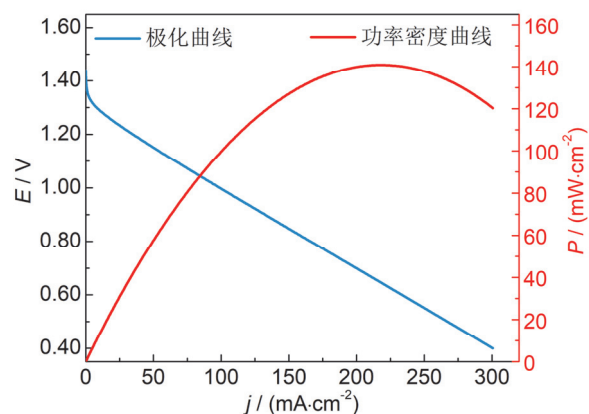


图5 锌-空燃料电池放电过程的极化曲线(E - j 曲线)和输出功率密度曲线(P - j 曲线)

电子版为彩图

4.3 电池功率密度的变化规律

电池放电过程的极化曲线还可进一步用于评价电池输出功率密度 P 的高低。 P 与 j 和 E 的关系如式(5)所示。显然，在 E 相同的条件下， j 越大， P 也越大，电池对外输出电功的能力就越强。因此，通过图5所示的蓝色放电极化曲线上的 j 值与对应的 E 值之积即可以计算出所组装锌-空燃料电池的 P ，从而绘制出输出功率密度-输出电流密度图(也称 P - j 曲线)，如图5上红色曲线所示。显然，该锌-空燃料电池的 P 值随 j 的增大而呈现先增加后减小的趋势。当 j 为241.8 $\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ 时， P 为最高，可达140.9 $\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。通常情况下， P 值越高，说明电池在对应电流密度下可获得的输出功率密度越大。

大量研究表明，电池的极化曲线及功率密度曲线测试结果与电池阴极和阳极的制备过程密切相关，因此在实验中应严格控制实验流程，提升实验结果的重现性。

4.4 电池稳定性测试结果分析

图6是在电流密度恒定为 $1.0 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ 时,所组装锌-空燃料电池循环9次的充、放电曲线。从图中可以看出,在所测试的时间内,电池的充、放电电压基本不随时间变化,表明在所测试条件下该电池的稳定性良好。需要注意的是,为了更准确评估锌-空燃料电池的循环稳定性,恒电流充放电曲线的测试时长通常会持续十余小时,也有测试十余天的研究报道。由于受到教学学时的限制,本项目所设计的测试时间不易过长,重点在于能让学生通过实验操作以及实验数据的处理和分析,掌握电池性能的基本评价方法。此外,在分析实验结果过程中,学生可以在教师指导下查阅近年的相关文献,以深入了解锌-空燃料电池研究领域已取得的成果、目前的研究重点、难点以及未来的发展方向^[18]。

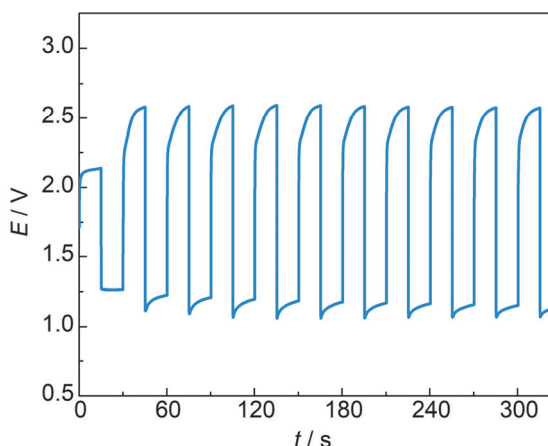


图6 锌-空燃料电池在 $1.0 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ 恒定电流密度下的充、放电曲线

5 结语

锌-空燃料电池具有安全、稳定、低成本等特性,是目前新能源领域的研究热点。本文将该领域的研究成果与实践教学相融合,设计了一个面向高等院校化学、化工、能源、材料等本科专业的专门化实验——“锌-空燃料电池的组装及性能评价”。该实验从电极制备和锌-空单电池的组装入手,通过对电池基本性能的测试和实验结果分析,帮助学生了解了锌-空燃料电池的结构,学习了电池的组装方法,掌握了这类电池的性能评价手段,深入理解了电池的工作原理。本实验的开设有助于学生了解科学研究基本程序、掌握科学研究基本方法、提高实践和创新能力、开阔学科视野,为未来综合运用相关理论和实验技能解决新能源领域的科学难题和生产实践问题奠定了基础。

参 考 文 献

- [1] 庄林. 物理化学学报, 2021, 37 (9), 2101003.
- [2] 教育部关于全面提高高等教育质量的若干意见. [2024-01-31]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201203/t20120316_146673.html
- [3] 王如志, 崔素萍, 聂祚仁. 中国大学教学, 2022, 380 (4), 14.
- [4] 郝芳华. 华中师范大学学报(人文社会科学版), 2023, 62 (1), 1.
- [5] 教育部关于普通高等学校本科教育教学审核评估实施方案(2021-2025). [2024-01-31]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A11/s7057/202102/t20210205_512709.html
- [6] 高助威, 李小高, 刘钟馨, 饶健民. 材料导报, 2022, 36 (14), 74.
- [7] Chen, X.; Zhou, Z.; Karahan, H. E.; Shao, Q.; Wei, L.; Chen, Y. *Small* 2018, 14 (44), 1801929.

- [8] Zhang, J.; Zhou, Q.; Tang, Y.; Zhang, L.; Li, Y. *Chem. Sci.* **2019**, *10* (39), 8924.
- [9] Wang, J.; Zheng, J. *Mater. Today Adv.* **2020**, *7* (9), 100078.
- [10] Liu, L.; Wang, L.; Fu, H. *J. Mater. Chem. A* **2023**, *11* (9), 4400.
- [11] Wu, Z.; Zhao, Y.; Jin, W.; Jia, B.; Wang, J.; Ma, T. *Adv. Funct. Mater.* **2021**, *31* (9), 2009070.
- [12] Sajid, A.; Pervaiz, E.; Ali, H.; Noor, T.; Baig, M. M. *Int. J. Energ. Res.* **2022**, *46* (6), 6953.
- [13] Sun, W.; Küpers, V.; Wang, F.; Bieker, P.; Winter, M. *Angew. Chem. Int. Edit.* **2022**, *61* (38), e202207353.
- [14] Hosseini, S.; Soltani, S. M.; Li, Y. *Chem. Eng. J.* **2021**, *15* (408), 127241.
- [15] 张黎, 许娟. 实验技术与管理, **2022**, *39* (12), 45.
- [16] 刘晓霞, 王军, 何荣桓, 徐君莉. 电化学应用基础. 北京: 科学出版社, 2021: 113–115.
- [17] 邓玲娟. 大学化学, **2022**, *37* (6), 2107049.
- [18] Yadav, S. K.; Deckenbach, D.; Schneider, J. J. *Batteries-Basel* **2022**, *8* (11), 244.