

储能科学与工程电化学类新形态立体化教材建设与实践 ——以《电化学基础教程》为例

朱永明, 胡会利, 于元春, 李旭东, 高鹏*

哈尔滨工业大学(威海)应用化学系, 山东 威海 264209

摘要: 随着现代信息技术的发展, 运用互联思维打造立体化教材已经成为高校教材改革的趋势。储能科学与工程作为新兴专业, 面临着紧迫的教材体系建设任务。本文以《电化学基础教程》立体化教材的设计与实施为例, 从解决教学问题的方法入手, 提出了新形态立体化教材的建设路径和一些行之有效的建设方法。希望能为新形态教材改革提供有益思路。

关键词: 储能科学与工程; 教材建设; 新形态教材; 立体化教材; 电化学

中图分类号: G64; O6

Construction and Practice on New Form Stereoscopic Textbook of Electrochemistry for Energy Storage Science and Engineering: Taking *Basic Course of Electrochemistry* as an Example

Yongming Zhu, Huili Hu, Yuanchun Yu, Xudong Li, Peng Gao *

Department of Applied Chemistry, Harbin Institute of Technology at Weihai, Weihai 264209, Shandong Province, China.

Abstract: With the development of modern information technology, the use of interconnected thinking to create stereoscopic textbooks has become a trend in the reform of university textbooks. Energy storage science and engineering, as an emerging profession, is facing an urgent task of constructing a textbook system. This article takes the design and implementation of the stereoscopic textbook *Basic Course of Electrochemistry* as an example, starting from the methods of solving teaching problems, proposes the construction path of a new form of stereoscopic textbook, and proposes some effective construction methods. And we hope to provide useful ideas for the reform of new form textbooks.

Key Words: Energy storage science and engineering; Textbook construction; New form stereoscopic textbook; Stereoscopic textbook; Electrochemistry

当前, 全球新一轮科技革命和产业变革蓬勃发展, 新能源汽车融汇新能源、新材料和互联网、大数据、人工智能等多种变革性技术, 已成为全球汽车产业转型发展的主要方向和促进世界经济持续增长的重要引擎。发展新能源汽车也成为我国从汽车大国迈向汽车强国的必由之路, 是我国应对气候变化、推动绿色发展的战略举措。2020年, 教育部公布“储能科学与工程”为我国高校新设置的本科专业, 专业代码为080504T, 学位授予门类为工学。该专业的建立和发展可深化多学科人才交叉培养, 培养创新型工程领军人才, 推动人才培养与产业发展有机结合。截止目前, 包括哈尔滨

收稿: 2023-12-26; 录用: 2024-02-19; 网络发表: 2024-02-21

*通讯作者, Email: gaofei5075@sina.com

基金资助: 哈尔滨工业大学本科教育教学改革研究项目(XJG2022006); 哈尔滨工业大学(威海)课程思政教育教学改革项目(WH2023SZJG007)

工业大学在内全国已有63所高校新增“储能科学与工程”专业^[1]。

教材对于专业与课程来说是核心，更是教授学生的思想导向。2023年，教育部发布了《开展战略性新兴产业领域“十四五”高等教育教材体系建设工作的通知》，决定组织开展战略性新兴产业领域“十四五”高等教育教材体系建设工作。电化学是储能科学与工程的基础，是推动新能源电动汽车产业发展不可或缺的技术支撑，因此，电化学教材在储能科学与工程人才的培养中处于中流砥柱的地位。哈尔滨工业大学作为国内最早创建电化专业的高校之一，在教材建设方面一直保持着优良的传统。本教材建设团队近年来出版了两部电化教材《电化基础教程》和《电化测量》，这两部教材建设的总体思路是在强化基本理论和基础知识的基础上，重点加强对学生电化实验技能的培养，以及解决实际工程问题的能力，为后续工艺类课程打下坚实的基础。正因为本教材体系具备重实验和重实践的特点，出版5年来已经被国内几十所高校选用。本文以《电化基础教程》为例，总结了我们在教材建设方面的一些创新与实践，希望能为同行提供借鉴。

1 电化原理教材现状分析

储能科学与工程作为战略性新兴产业之一，面临着紧迫的教材体系建设任务，其中电化原理就是一门重要的课程。电化原理课程主要介绍电化热力学及动力学的理论基础和研究方法，以及这些原理与方法的实际应用，是后续学习电化储能器件尤其是化学电源课程的基础，是储能科学与工程专业的基础课程。但电化原理尤其是动力学理论比较艰深，部分概念过于抽象，不易理解，学生在理论知识的掌握上存在较大难度，难以用之于实践，因此，建设高水平的电化原理课程教材尤为迫切。目前国内适合作为电化原理课程的教材较少，具体分析如下。

武汉大学已故查全性院士的《电极过程动力学导论》^[2]是国内很早的经典电化原理教材，第三版出版于2002年。该教材是国内较权威的教材，但其内容繁杂，理论较深，且没有电化热力学部分，更适于作为研究生教材。天津大学郭鹤桐先生编著的《电化教程》^[3]出版于2000年，难度适中，适于本科生学习，但内容已经陈旧，急需更新修订。北京航空航天大学李获教授的《电化原理》(第四版)^[4]出版于2021年，但主体内容与2008年的第三版变化不大。国外的权威教材 *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications* ^[5]出版于2001年，较全面地介绍了电化原理与方法，但该书多达114万字，较多地突出数学理论，只适于作为研究生教材，不适于作本科生教材。

总体来说，近20年来电化发展迅速，这些教材无法充分反映最新的前沿性内容。另外，随着国内高等教育教学模式的不断创新，运用互联思维打造立体化教材已经成为高校教材改革的趋势^[6-8]，上述教材也都没有这方面的创新。由于电化原理这门课程学习难度较大，教学过程中如果仅依靠传统的纸质教材，学生理解起来很困难。基于此，本教材建设团队在2013年出版的《电化基础教程》第一版的基础上，进行了纸质教材与移动学习相结合的立体化教材建设的探索，实现了教材内容和教学体系的创新，于2019年出版了《电化基础教程》第二版，出版至今已经发行12000册，被全国40多所高校采用，获得了广泛好评，并于2020年被评为中国石油和化学工业优秀教材一等奖，形成了特色教材。

2 立体化教材的设计与实施

在《电化基础教程》第二版的立项与编撰过程中，我们本着“互联网+移动学习”的理念，使教学内容立体化呈现，在此基础上，重点加强讲述电化原理在实际领域中的应用，以及解决实际问题的思路与应用。具体设计与实施方案包括以下几个方面。

(1) 纸质教材与移动学习相结合，解决当前电化原理教材不够生动，枯燥乏味的问题。

当代大学生是伴随移动终端成长的一代，以手机、平板电脑为媒介的数字学习模式是他们喜欢的方式。把握当代大学生心理，设计具有移动化、互动化特点的教材是本成果的重要考量。因此，我们将演示实验视频、辅助图文素材通过扫描二维码的方式呈现到读者手机端(图1)。俗话说，百闻

不如一见，实验配合理论，可以使读者更直观地了解各种测试手段，本书设计了Tafel曲线测量、稳态浓度极化曲线测量、电势阶跃法、循环伏安法、电化学阻抗谱、电解水、电镀、钝化曲线的测量等演示实验，分布在各相关章节。图文内容则融入了课程思政元素，介绍了国内外著名的电化学科学家以及工业企业的发展，同时还能将课本难以展示的彩色图片展示出来，更利于学习。近20个图文和视频素材使用手机扫一扫即可轻松观看。尤其是十个演示实验，与相关教学内容相得益彰，既可提高学生的学习兴趣和学习效果，也有利于教学内容的理解与应用。通过本教材的建设，彻底实现数字化、移动化的新型教材与教学方案一体化建设，有利于人才培养。



图1 二维码图文和视频示例

(2) 紧跟学科领域前沿，更新教材内容，解决当前电化学原理教材中教学内容老化的问题。

针对培养基础知识宽厚，素质、能力协调发展，且具有国际视野和持久竞争力的目标要求，团队不断结合学科前沿更新教材。在第二版教材中参考了《电化学》《纳米电化学》《分析电化学》《电化学阻抗谱》等国外多部最新教材和专著，以及一些最新的综述性论文，相比第一版教材，新增了固态电解质、聚合物电解质、循环伏安法、电化学阻抗谱、实际电化学装置设计等章节，新增了一些重要概念和方法在工程应用中的作用，以提升对抽象概念的理解，提高学生的创造性思维能力。例如增加了锌锰电池与碱锰电池在结构设计方面的对比，帮助学生理解电化学极化和浓度极化对电池性能的影响；增加了燃料电池催化剂设计，帮助学生理解反应可逆性与交换电流密度之间的关系；增加了动力锂离子电池结构设计，帮助学生了解工程设计与原电池原理的联系与区别；增加了镀铬电镀槽和铝电解槽的设计，帮助学生了解工程设计与电解池原理的联系与区别。通过这些新增的教学内容，培养学生工程推理、整体性、系统性思考和解决问题的能力。

在后续第三版的出版计划中，我们还将根据固态电池的发展增加固态电解质的最新内容，并针对“碳达峰”和“碳中和”这一问题，增加“CO₂的电化学还原过程”小节，针对新能源锂离子电池，增加“嵌入型电极过程”一节，以及增加几个典型的氧化还原电极过程，增强学生对知识应用的把握能力，让学生在逐渐深化的学习中具备研究能力和解决实际工程问题的能力。

(3) 加强讲述电化学原理在工程领域中的应用，解决当前教材中存在的教与学脱节的弊病。

本课程理论性较强，本教材注重理论知识与实际应用相结合、抽象概念与具体图像相结合，在各章节中都穿插了相关应用内容，并在最后一章“实际电极过程”中专门论述了电化学原理在电催化、电池、电镀、电解、金属腐蚀等实际电极过程中的应用方法和手段。例如氢电极和氧电极过程在燃料电池和电解水工程中的应用、电解法制备金属粉末、金属电解加工与抛光、铝合金微弧氧化技术、钢铁的腐蚀原理与防护技术，等等。学生在了解基础理论之后再理解应用实例，增强了学生对知识应用的把握能力，让学生在逐渐深化的学习中具备研究能力和解决实际工程问题的能力，非常适合培养专业的工程人才。

(4) 对教材的章节编排进行了优化，解决长期以来学生普遍反映本课程难学难懂的问题。

电化学原理这门课程学时数多，内容繁杂，难度较大，学生普遍反映本课程难学难懂。团队成员在电化学原理课程十几轮的讲授过程中，潜心分析学生的认知规律和常见的疑点、难点，经过多年摸索，对国内常规教材采用的编排进行了优化，采用了逻辑性更强的顺序进行章节编排。例如增

加了“电化学动力学概论”一章；“双电层”和“电化学极化”两章采用逻辑性更强的顺序编排；将常规教材采用的混在“浓度极化”一章中的暂态测量方法分离出来，等等。从而使本门课程逻辑更清晰，学起来更有条理，易教易学。

本课程学生学习较吃力的另一原因是各种教材阐述冗长，层次不清，因此本教材将大段论述分成几个相互联系的专门小节，做到授课层次分明，逻辑顺序流畅，使学生对基本概念有明确的认识，从而有利于理解吸收。另外，本教材注重物理化学与电化学的衔接，从课程涉及到的物理化学基础知识开始进行阐述，从最基本的化学和物理原理出发引出电化学的相关概念，使学生对基本概念有明确的认识。达到既适于教学，又利于学生自学的目的。

例如电子转移步骤动力学是本门课程中公认的重点与难点^[9]，在教材编排上，我们首先介绍了物理化学中一般化学动力学的基础知识，然后按照科学发展的时间顺序介绍了电极反应动力学公式的发现过程，最后才讲解Butler-Volmer公式的推导。由于这个推导极为复杂，我们首先介绍了其逻辑思路：通过 $j = zFv$ 将电流密度 j 与反应速率 v 联系起来， v 通过质量作用定律与速率常数 k 联系起来， k 通过过渡态理论的速率常数表达式与活化自由能联系起来，再通过 $\Delta G = -nFE$ 将活化自由能与过电势 $\Delta\phi$ 联系起来，最终得到电流密度 j 与电极电势 ϕ 的关系。这样学生一下子就会有一个清晰的逻辑。接下来我们将推导过程分成四部分阐述：① 电流密度与活化自由能的关系；② 电极电势对活化自由能的影响；③ 电极电势与电流密度的特征关系式；④ 电流密度-过电势公式。通过这样的编排设计，使原来让学生望而生畏的Butler-Volmer公式的推导变得逻辑清晰、易学易懂，有助于学习效果的提升和科学思维的锻炼。

3 结语

在立体化教材的建设中，团队始终围绕一个中心思想，那就是建设立体化教材的目的是为学生服务的，所以一定要避免华而不实，不但使用起来要方便快捷，而且要使学生切实获得书面材料无法获得的帮助。事实证明我们的做法是成功的，学生的学习效率与理解程度明显得到了提升。后续版本我们希望进一步增加微课视频以及动画视频，更全面地让教材内容立体生动起来，最大限度地满足学生学习的需要。进一步希望利用化学工业出版社的Rays平台^[10]进行资源整合，形成基于Rays平台的现代纸书，实现手机端的随时学习和个性化学习。另外，我们将根据新时代课程思政的育人要求^[11]，结合电化学原理课程的特点，在后续版本中进一步强化立德树人的理念，将家国情怀、科技创新和产业报国等思政元素融入课本中。总之，教材的立体化建设是互联时代的大势所趋，作为高校教师，应该积极探索立体化教材的建设手段，为提高人才培养质量做出贡献。

参 考 文 献

- [1] 饶中浩, 刘新健, 刘臣臻, 王坤, 李孟涵, 田亮. 储能科学与技术, **2023**, *13* (3), 1083.
- [2] 查全性. 电极过程动力学导论. 第3版. 北京: 科学出版社, 2002.
- [3] 郭鹤桐, 覃奇贤. 电化学教程. 天津: 天津大学出版社, 2000.
- [4] 李荻, 李松梅. 电化学原理. 第4版. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2021.
- [5] Bard, A. J.; Faulkner, L. R. *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*, 2nd ed.; John Wiley & Sons, Inc.: New York, USA, 2001.
- [6] 田曦, 李红艳, 刘红波, 李森, 张海罡, 李鹏程. 互联网周刊, **2023**, *23* (12), 48.
- [7] 谭文芳. 科技与出版, **2022**, *19* (9), 86.
- [8] 王莉, 张丽荣, 范勇, 徐家宁, 宋天佑. 大学化学, **2023**, *38* (6), 52.
- [9] 马金福, 卢辉, 吴建栋, 邹忠利. 大学化学, **2024**, *39* (3), 174.
- [10] 李琰, 宋林青. 大学化学, **2023**, *38* (6), 21.
- [11] 陶磊明, 乔杨, 韩嘉达. 高教学刊, **2023**, *9* (11), 129.