

提升教育功能的“氧化还原反应与电化学应用”教学新策略

王红艳^{1,*}, 刘季铨², 李成博², 刘志宏^{1,*}

¹ 陕西师范大学化学化工学院, 西安 710119

² 西北大学化学与材料科学学院, 西安 710119

摘要: 针对以往无机化学“氧化还原反应与电化学应用”章节教学设计教育功能不足问题, 我们将教学内容进行重构, 在保持基础框架的前提下, 凸显本章核心内容和前沿发展, 结合线上线下教学模式, 渗透创新思维和科学研究方法, 提出新的教学策略。意在通过教学新策略实现“两性一度”的一流课程标准, 体现教育铸人、铸魂的本质价值。

关键词: 氧化还原反应; 电化学应用; 提升教育功能; 两性一度; 教学新策略; 内容重构

中图分类号: G64; O6

New Teaching Strategy for Promoting Educational Function in “Redox Reaction and Electrochemical Application”

Hongyan Wang^{1,*}, Jiquan Liu², Chengbo Li², Zhihong Liu^{1,*}

¹ School of Chemistry and Chemical Engineering, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China.

² College of Chemistry & Materials Science, Northwest University, Xi'an 710119, China.

Abstract: In view of the insufficient educational function in the previous teaching design for “redox reaction and electrochemical application” in inorganic chemistry, we reconstructed the teaching content, which kept the previous framework and highlighted the core content and cutting-edge development of redox reaction and electrochemical applications. Assisted by online and traditional teaching modes, a new teaching strategy was established, which can well infiltrate innovative thinking and scientific research methods to the students. In such a new system, the new teaching strategy can hopefully realize “Two properties and One Degree” of the first class curriculum standards and achieve the essential value of education in casting people and souls.

Key Words: Redox reaction; Electrochemical application; Improvement in educational function; Two properties and one degree; New teaching strategy; Content re-construction

2020年, 党的十九届五中全会明确指出“十四五”时期要“建设高质量教育体系”, 充分发挥教育的先导、引领和教育功能。教学作为教育的主要途径, 不仅在于让学生掌握基本知识、方法和技巧, 培养学生观察、分析和解决问题的能力, 更重要的是培养学生严谨的科学思维, 满足时代需求的综合能力, 以及适应科技进步的创新能力^[1]。近年来, 笔者所在的无机化学教研室不断实践高等无机教材改革, 同时针对课程建设进行了大胆的创新和尝试, 以真正体现“两性一度”即“高阶性、创新性和挑战度”的金课标准^[2]。笔者以“氧化还原反应与电化学应用”章节为例, 在内容上进行重

收稿: 2022-12-27; 录用: 2023-02-17; 网络发表: 2023-04-03

*通讯作者, Emails: hongyan-wang@snnu.edu.cn (王红艳); liuzh@snnu.edu.cn (刘志宏)

基金资助: 陕西高等教育教学改革项目(19BZ014); 陕西师范大学教学改革项目(21JG03); 陕西师范大学2021年“教师教学模式创新与实践研究”专项基金项目(JSJX2021Z23)

构,在教学上进行重新设计,以期在知识层面和学生能力培养方面提升教学的教育功能,取得了一定的效果。

1 对“氧化还原反应与电化学应用”章节的认识及提升教学设计教育功能的必要性

氧化还原反应与路易斯酸碱反应和自由基反应并称为化学反应中的三大基本反应,且广泛存在于自然界,与人类社会的生产生活息息相关。经过两个多世纪的探索实践,从物质与氧反应的发现^[3]、化合价与氧化数概念的提出和形成^[4-13],到成键电子理论^[14]的建立等,氧化还原反应的本质逐步被认知^[15]。基于其基本原理建立的电化学也逐渐发展为一门独立的学科,涵盖电池与电解两大方面,涉及化学电源、电化学合成、电化学催化等内容。高中教材已初步涉及氧化还原反应的基本概念、配平以及原电池和电解池的基本原理,然而对氧化还原反应实质的理解仍处于初级阶段,甚少涉及电池热力学相关知识、电解相关的定量计算及电化学应用,因此在大一的基础无机化学课程中,构建了“氧化还原反应与电化学应用”章节^[16]。作为高中知识的衔接、延伸和升华,体现大学授课的“两性一度”,内容上不仅需要包含丰富的基础理论与概念,同时应兼具较强的应用性,且须紧密联系电化学水分解、光电催化等科技前沿,渗透我国提倡的绿色可持续发展的理念,及“碳达峰”“碳中和”的重要国策。同时,在教学设计上不仅需要包含基础知识的系统传授,穿插化学史知识,更要展示电化学领域的新进展和新成就,以期激发学生的学习兴趣、感知能力和创造能力,真正体现教学的教育功能。纵观过往本章节设置,主要不足之处有:

(1) 知识层面。① 部分知识点低阶、陈旧,与高中内容几乎重合,甚至出现错误。如化合价、氧化数等重要概念没有辨析,且有些教材中将其与形式电荷等同^[17];氧化还原反应的实质理解不深刻,仍沿用高中教学中的以化合价升降定义氧化还原反应或简单的引入氧化数定义氧化还原反应的方式等;② 整体设计框架较为固定、保守,只介绍电池,将电解作为附带,更无元素的电化学提取、电化学腐蚀与防护、电催化等应用介绍,教材内容覆盖面严重不足;③ 知识体系明显滞后于学科发展。例如化学电源简介部分只介绍一般原理,未涉及电极材料发展及提高电池性能参数的途径和方法等。

(2) 能力培养。① 能力培养仅停留在高中阶段以培养观察力、记忆力、想象力和注意力等普通能力为目标的“证据推理与模型认知”维度^[18],未能有效突出创新思维培养和科学研究方法训练,激发学生学习积极性和主动性的效力不足,致使“知识-能力-素养”的教学目标难以实现;② 不能有效地将原理、概念和基础知识与实际应用关联,突出应用性不够。无法体现所学知识“学以致用”的要求。

(3) 素质培养。① 前沿研究科技成果介绍严重匮乏,教学辅助信息量小,无法有效发挥引导学生自主探究的作用;② 缺乏必要的化学史知识,挖掘课程中思政教育元素、宣扬科学家献身精神、赞扬中国科学家对世界科学进展的巨大贡献不够强烈。即体现“专业与思政同向同行”理念不够深入^[19]。

2 “氧化还原反应与电化学应用”教学课程新体系的探索

2.1 “氧化还原反应与电化学应用”课程设计重构

突出大学课程的“两性一度”,结合大学启发式的教学模式,在知识和能力培养方面提升教育功能是我们在新教学策略设计过程中的指导思想。电化学应用涉及科技前沿最为热门的研究方向,需要引入大量最新科研成果,把控内容的深度和广度也是慎之又慎的问题。基于这些思考,我们以知识回顾、理论探究、实践应用为主线,打破传统教材体系,区分氧化还原反应的理论层面、应用层面,在理论上重点介绍氧化还原反应与电化学的构效关系;在应用上整合多项研究成果,主要关注化学电源电极材料发展、电化学元素提取、电化学防腐、电化学合成、电催化和光电催化等前沿领域,务求理论与应用相统一,力求深度和广度兼融合。同时采用线下讲解与线上自学相结合的混合教学模式,在授课策略上进行了较大幅度的调整,安排为6个模块单元讲授(表1)。

表1 “氧化还原反应及电化学应用”的教学新策略

模块名称	内容(总学时10)	讲授设计策略	主要设计特点
1. 氧化还原的基础知识 (0.5学时)	1.1 对氧化还原反应本质认识的演变 1.1.1 认识在逐步明确 1.1.2 氧化还原反应的定义 1.2 氧化还原反应的相关基本概念 1.2.1 化合价与氧化数 1.2.2 氧化还原电对 1.2.3 氧化还原反应发生的基本规律 1.2.4 氧化还原反应的离子方程式 专题讲座与沙龙1: 形式电荷的概念与应用	(1) 线上Blackboard教学平台提供氧化还原反应概念的发展历史以及与氧化数相关的教学论文 (2) 1.2节内容是重点, 采用线下课堂讲授。通过对比和类比法, 重点讲解化合价与氧化数的区别和联系, 揭示氧化还原反应的本质和规律, 以及自氧化还原反应和歧化反应的异同点 (3) 其他内容通过布置相关问题和任务引导学生自主探究, 在辅导课上探讨 线上Blackboard平台提供素材, 自学。辅导课上重点讲解	(1) 回顾了氧化还原反应发展的几个阶段 (2) 梳理了化合价、氧化数概念发展的历程及确定规则 (1) 完善知识体系, 扩大内容覆盖面, 利于提高学生自主学习能力 (2) 引入形式电荷, 深入探究化合价、氧化数和形式电荷的区别与联系, 系统分析电荷概念的三个层次
2. 氧化还原反应方程式的配平 (1学时)	2.1 氧化还原反应配平的基本方法 2.1.1 氧化还原反应配平的基本原则 2.1.2 氧化数法 2.1.3 离子-电子法 2.2 氧化还原反应方程式的配平技巧 2.2.1 加和法 2.2.2 氧化数差值法 2.2.3 奇偶数配平法 2.2.4 待定系数法 2.2.5 左右同时配平法 2.2.6 元素消去法 2.2.7 平均氧化数法 2.2.8 逆向配平法 2.2.9 零数法 2.2.10 矩阵法	(1) 氧化数法在中学有一定基础, 可通过3个有难度的举例进行复习 (2) 重点讲解离子-电子法, 指出该方法只适用于溶液体系 ^[20] , 且是原电池电极反应和电池反应的基础。配平时对非氧化还原组分, 通过观察法先配平H、O以外的原子数, 然后再配平H、O原子数并提出在酸性或碱性介质中配平H、O的技巧 (2) 布置课后任务: 针对反应类型, 总结其他配平方法和技巧	(1) 完善了氧化数法和离子-电子法的配平思路 and 具体步骤, 特别针对不同介质的配平提出了具体步骤 (2) 详细归纳了多种常用的氧化还原反应配平技巧, 如加和法 ^[21] 、氧化数差值法 ^[22] 、奇偶数配平法 ^[23] 、待定系数法 ^[24] 、左右同时配平法 ^[25] 、元素消去法 ^[26] 、平均氧化数法 ^[27] 、逆向配平法 ^[28] 和零数法 ^[29] 等, 通过比较各种配平技巧的特点, 总结其优缺点及适用范围 (3) 引出了矩阵法配平 ^[30,31] , 作为扩充知识, 引导学生自主查阅相关资料
3. 氧化还原反应与原电池 (5学时)	3.1 原电池 3.1.1 原电池的原理 3.1.2 电极反应与电池反应 3.1.3 电极的分类	(1) 线上Blackboard平台提供学习视频: 原电池的工作原理; 原电池相关教学论文	(1) 在电池反应热力学部分增加了标准电极电势的热力学说明 ^[32] 及适用范围 ^[33,34] , 避免了不适当的扩大其应用范围导致的某些问题

(待续)

(续表1)

模块名称	内容(总学时10)	讲授设计策略	主要设计特点
3. 氧化还原反应与原电池 (5学时)	3.1.4 原电池的表示方法	(2) 线下课堂: 鉴于高中已学习原电池定义、构成、原理、电极反应与电池反应, 可通过提问方式复习。详细讲解原电池的表示方法、盐桥作用、电极类型、电极电势与电池的电动势及其应用, 能斯特方程及其应用, 并进行举例和课堂练习	(2) 详述Latimer图 ^[35] 、Froster图 ^[36] 及Pourbaix图 ^[37,38] 三大电极电势图的绘制、特点和应用, 展示了Froster图在解释同族或同周期元素氧化还原性递变规律中的作用, 特别介绍了利用广义氧化还原反应绘制Pourbaix图的方法 ^[39]
	3.1.5 电极电势与电池的电动势		
	3.2 电池反应的热力学		
	3.2.1 可逆电池电动势与电池反应吉布斯自由能的关系		
	3.2.2 能斯特方程		
	3.2.3 电动势与电池反应平衡常数的关系	(3) 电池反应的热力学是本章的重点和难点内容。详讲	
	3.2.4 通过电动势 E 及其温度系数计算反应的 $\Delta_r H_m$ 和 $\Delta_r S_m$	(4) 三大电极电势图属于知识扩充, 有一定难度。建议线下课堂重点讲解三大图的概念及应用, 重点掌握Latimer图。至于相关绘图在本课程中不要求掌握, 主要供有兴趣的同学拓展自学	(3) 结合最新研究成果、科学发展和理论知识, 介绍了电化学热力学知识在能源、环境、生物医药等方面的应用
	3.2.5 可逆电池的热效应		
	3.2.6 影响电极电势和电动势的因素		
	3.2.7 电极电势的应用		
	3.2.8 标准电极电势表的适用范围		
	3.3 电极电势的图解法表示		
	3.3.1 Latimer图		
	3.3.2 Froster图		
	3.3.3 Pourbaix图		
4. 电解与电分析 法简介 (1学时)	4.1 电解与电镀	(1) 线上Blackboard平台提供电解和电镀方面的示例和应用场景学习视频。针对高中阶段电解和电镀方面的基础, 可通过提问方式复习	(1) 增加了电解相关的研究进展和应用中存在的问题
	4.1.1 电解		
	4.1.2 电镀		(2) 渗透了将动力学因素表征为热力学数据校正值的思想 ^[40]
	4.2 电分析方法简介		
	4.2.1 电解分析法	(2) 重点: 电解定律和电流效率	
	4.2.2 电解定律和电流效率	(3) 详细讲解放电顺序、分解电压、超电势及电解的相关计算等	
	4.2.3 库仑分析法		
5. 化学电源简介 (1学时)	5.1 化学电源基本概念	(1) 线上Blackboard平台提供若干实用电池介绍相关的视频	(1) 系统阐述了实现化学能向电能转变必须满足的条件以及如何按照工作性质和储存方式对化学电源进行分类
	5.1.1 化学电源的工作原理和组成		
	5.1.2 化学电源的分类	(2) 熟悉化学电源的基本原理, 了解化学电源的分类	
	5.1.3 化学电源的性能指标		
	5.2 锌-锰电池	(3) 线下课堂重点讲解锂离子电池和燃料电池	(2) 注重归纳整合, 从化学电源的各性能参数诸如电池内阻、开路电压、工作电压、电池容量、电池功率、储存性能、电池寿命等有序介绍各种电池 ^[41] , 帮助学生了解电池的性能和指标, 便于类比和对比, 明确每种电池的优缺点
	5.2.1 概述		
	5.2.2 锌-锰电池的电极反应	(4) 本部分内容整体属于知识扩充。课后安排引导学生自主学习, 并在辅导课上汇报进行问题研讨和交流展示	
	5.2.3 碱性锌-锰电池		
	5.2.4 锌-锰电池研究进展		
	5.3 铅酸电池		
	5.3.1 概述		
	5.3.2 铅酸电池的电极反应		
	5.3.3 铅酸电池研究进展		(3) 集结了电池材料的最新研究成果, 特别突出了我国科学家的贡献
	5.4 H_2 -Ni电池		
	5.4.1 概述		

(待续)

(续表1)

模块名称	内容(总学时10)	讲授设计策略	主要设计特点
5. 化学电源简介 (1学时)	5.4.2 H ₂ -Ni电池的电极反应 5.4.3 H ₂ -Ni电池的结构特点 5.4.4 H ₂ -Ni电池研究现状 5.5 锂离子电池 5.5.1 锂离子电池的工作原理及性能特点 5.5.2 锂离子电池的结构及材料 5.5.3 聚合物锂离子电池 5.6 燃料电池 5.6.1 燃料电池概述 5.6.2 燃料电池的特点及分类 5.6.3 燃料电池的关键材料与部件 5.6.4 质子交换膜燃料电池 5.6.5 其他燃料电池体系简介 5.6.6 燃料电池新研究 专题讲座与沙龙2: “解密”2019年诺贝尔化学奖——锂电池 与锂离子电池的前世今生	(1) 线上Blackboard平台提供素材自学。 可作为学生课后研究小论文的选题素材: 新能源与锂离子电池 (2) 课堂适当融入	(1) 完善知识体系, 扩大学生的知识面 (2) 凸显最新前沿
6. 电化学应用简介 (1.5学时)	6.1 元素的电化学提取 6.1.1 非金属元素的提取 6.1.2 金属元素的提取 6.2 电化学腐蚀与防护 6.2.1 腐蚀的倾向和腐蚀电池 6.2.2 电化学保护和应用 6.3 电化学有机合成 6.3.1 电化学有机合成的反应 6.3.2 电化学有机合成的技术 6.4 电催化和光电催化基础 6.4.1 电催化基础 6.4.2 光电催化基础 专题讲座与沙龙3: 电解水析氢反应的原理、测试和性能	(1) 线上Blackboard平台提供学习视频: 电催化分解水、电化学提取元素、电化学腐蚀与防护的示例和应用场景 (2) 线下课堂: 电催化和光电催化属于知识扩充, 知识范围跨度宽。重点讲授相关概念, 电化学在元素提取、防腐和电催化分解水的应用等原理和应用举例 (3) 课后安排与基本概念有关的问题, 引导学生自主学习。并在辅导课上进行交流展示 线上Blackboard平台提供参考资料, 课堂融入原理。辅导课上重点讲解测试和性能描述	(1) 扩充电解在工业领域应用中存在的问题, 并在此基础上归纳其共性问题 (2) 增加了金属纯化和富集 (3) 加固了电化学腐蚀和防腐的基础知识, 增加了应用场景和案例 (4) 在电催化有机合成的反应基础上 ^[42] , 增加了合成技术和思路(此部分涉及有机化学知识, 可供感兴趣的学生课外阅读) (5) 将光电催化和电催化 ^[43,44] 的知识进行融合讲解 结合电催化和光电催化相关内容阐述“碳达峰”和“碳中和”的时代背景、指导意义和未来框架
其他教学环节	实验: 原电池的组装以及电极电势的影响因素(Mlabs移动虚拟实验室+线下) 辅导课第1学时: 重点讲解形式电荷的概念与应用 辅导课第2学时: 氢燃料电池发展与研究进展、常见电池电极材料的发展等进行问题研讨和交流展示 辅导课第3学时: 学生分组进行课程小论文“新能源与锂离子电池”汇报展示 辅导课第4学时: 专题讲座与沙龙: 电催化水分解析氢反应的原理、测试和性能 辅导课第5学时: 课后习题处理、问题分析与研讨 课外要求: 绘制本章思维导图		

2.2 重构后在教学内容上教育功能提升的具体体现

具体授课内容设计策略见表1,可概况为以下几个方面。

(1) 概念的准确性和延伸。对化合价、氧化数概念的区别和联系,相信很多读者甚至化学教育工作者都未曾认真思考过,有时甚至会将二者等同或稍加区别。也有学者认为氧化数是一种形式电荷或表观电荷^[17,45]。依据文献事实,我们明确了化合价与氧化数的概念及区别,即化合价表示元素原子能够化合或置换一价原子或一价基团的数目,以及以什么手段结合成键和成键数目为多少等三个涵义^[45-47],因而是整数;而氧化数是量子力学中出现的高阶性名词,指以一定方式将化合物键合电子分配给各原子时,该元素原子所带电荷的一个数值,具有人为指定性^[48-54],因此可为正数、负数、整数或者分数,这显然更符合IUPAC规则的习惯规定^[55]。在专题部分,进一步介绍了形式电荷的概念和计算方法^[56,57],将其与化合价和氧化数进行详细区分^[58]。以此说明化合价表示化合物原子之间的成键情况,氧化数和形式电荷在更大程度上倾向于反映化合物中的电荷分布。进而引出电荷概念的三个层次,即表观电荷分布,基于量化计算的电荷在原子上布居(图1)和原子之间的重叠布居以及全空间的电子云密度分布^[59-61]。这些概念的明确是理解氧化还原反应实质的基础。

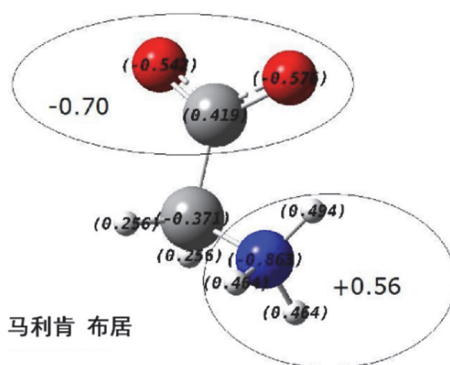


图1 基于量化计算(马利肯布居)得到的甘氨酸各部分的电荷分布

O为红色, C为灰色, N为蓝色, H为白色, 数字代表每个原子所带电荷, 负值表示负电中心, 正值表示正电中心

电子版为彩图

(2) 在氧化数法和离子-电子法的配平基础上, 结合教学论文, 归纳总结了多种氧化还原反应方程式的配平技巧^[21-29], 更包括矩阵法配平^[30,31], 供有兴趣的学生自学。旨在使学生掌握配平方法的同时, 理解氧化还原反应特点、电子转移规律、物种因参与氧化还原反应而引起的化学键重组等, 利于与元素章节相结合, 明确元素的反应性质。

(3) 第三部分氧化还原反应和原电池是本章的重点和难点。相比以往教学设计, 更注重知识的连贯与循序渐进, 更关注科研成果的渗透。主要特点如下:

① 凸显电化学基础知识在科技前沿的应用, 让学生深切感受基础知识在研究前沿中的指导意义。引入大量科研事实, 彰显基础知识的魅力。如在讲解氧化还原反应自发性判据时, 引入陕西师范大学杨鹏等的工作^[62]。半胱氨酸与天然溶菌酶的二硫键可发生硫醇-二硫键交换反应, 进而连接到溶菌酶的巯基上。他们发现只有某一物种二硫键的氧化还原电势高于半胱氨酸的氧化还原电势 $E = 160 \text{ mV}$ 时, 上述反应才能发生, 而溶菌酶中只有Cys6-Cys127二硫键的氧化还原电势高于 160 mV , 因此只有Cys6-Cys127基团可与半胱氨酸成键。此结论也与实验事实相吻合。

② 三大电极电势图解法的系统讲解。电极电势图Latimer图^[35](元素电势图, 图2)、Froster图^[36](吉布斯自由能-氧化态图, 图3)以及Pourbaix图^[37,38](电势-pH图, 图4)是三大电极电势图, 在国内基础教材中对Latimer图讲解较多, Froster图和Pourbaix图介绍很少, 包括国外教材对三者介绍都不系统全面。元素电势数据关联元素的氧化态——电势电位——溶液的酸碱性——氧化还原行为, 基于文献

事实, 我们在新的教学设计中围绕图形构筑、性质特点、影响因素、图形应用以及应用中的若干问题等, 详细介绍和总结了三大电极电势图, 明确了三者之间的区别和联系、适用范围及局限性, 特别引入了其发展现状以及在科技前沿^[63-67]与工业生产领域^[68-70]中的应用。

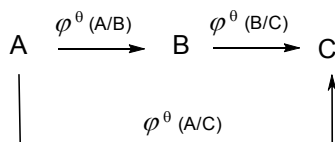


图2 元素Latimer示意图

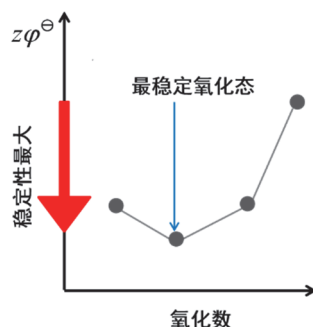


图3 元素的Froster示意图

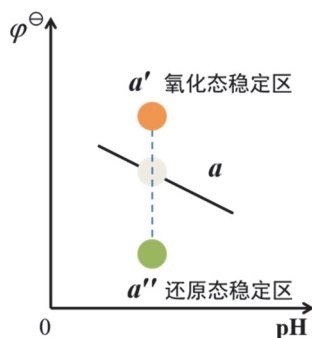


图4 元素的Pourbaix图以及离子的稳定区

(4) 引入解密2019年诺贝尔化学奖、电解水体系的构筑、测试和性能评价等相关专题, 旨在彰显科学魅力, 引领学生聚焦科研动态, 凸显激发学生兴趣和创新思维以及提升教育功能的设计初衷。

(5) 彰显中国科学家的研究成果对世界科学发展所做出的重要贡献。无论过去还是现在, 无论理论研究还是实际应用, 中国科学家的贡献都举足轻重。因此在内容上引入大量中国科学家的工作, 旨在让学生了解相关领域科研进展的同时, 明确中国科学家的贡献, 体会我国科学研究在世界领域处于的地位, 有利于培养学生的科研兴趣, 激发他们的爱国热情。

(6) 结合电化学应用, 深入阐述“碳达峰”和“碳中和”的时代背景、指导意义和未来框架等, 旨在将基础教育与国家重大发展战略相关联, 提升学生对时政的关注, 提升学生对国家方针政策的理解和认知, 突出提升教学的教育功能就是要培养学生满足时代需求的综合能力和适应科技进步的创新能力的宗旨和初衷。

2.3 全方位打造线上线下相融合, 创建高效课堂

除了在内容上进行重构, 我们在讲授设计方面也进行了革新和尝试(表1), 可概况为以下三方面:

(1) 依托自建Blackboard教学平台,开展线上线下混合式教学。

教师课前通过QQ或微信群及Blackboard平台发布线上学习任务,学生线上自主学习或预习,课中教师采用精讲+探究-研讨+启发式等多种教学方法的组合,对重、难点问题进行详细讲解和研讨,发掘出内容之间的内在逻辑联系、科学思想及其育人作用,与学生互动交流,达成高阶教学目标。充分发挥Blackboard平台在课前预习、课后复习和拓展知识学习过程中的作用。将课前线上、课中线下和课后辅导有机融合,解决了课程内容多、课时少的问题,同时增强了学生的自主学习能力,培养了学生独立发现问题、分析问题和解决问题的习惯。

(2) 将“思政育人”与专业教育有机融合,让专业课成为铸魂育人的课堂。如讲氧化还原反应发展史时,引入“氧化学说奠基人”拉瓦锡的故事,让学生感悟他在宗教思想占统治地位的时代敢于挑战权威、坚持追求真理的科学精神^[71];讲电化学部分时,引入“电学之父”和“交流电之父”法拉第的故事,讲解他如何从学徒自学成为伟大的科学家,让学生体会科学家坚韧不拔的毅力和勤奋不懈的钻研精神^[72];讲解电池部分时,引入“我国锂电池之父”吴浩青的故事^[73],讲他利用微分电容电势曲线确定锑的零电荷电势,校正了文献数据并得到国际公认,解决了电化学中的关键难题,打破了中国科学家在现代电化学知识体系无建树的谬论。同时展示他在高能锂电池研究中提出的颇有创见的嵌入反应机理。这些典型事例的引入有助于培养学生科学的马克思主义世界观(唯物论)和方法论(辩证法),有助于塑造他们的批判性思维和坚持追求真理的科学精神。同时彰显我国科学家自强不息的创新精神,有利于培养学生的爱国情怀,树立民族自豪感。

(3) 着力培养科学素养与师范素质。结合教学内容,安排课程小论文1-2篇,学生通过讨论、汇报和师评,提升学生科学素养和教师的教学能力。并通过章节思维导图,提升归纳总结能力。学生对某些知识产生疑问或奇特观点,到开放实验室进行验证,以培养创造思维能力。

2.4 增加问题教学,突出学生的主体作用

问题教学法可有效引发学生思考,调动其学习兴趣和主观能动性,让他们有更多机会体验探究过程,在知识的形成、联系、应用过程中养成科学的态度,获得科学的方法^[74]。我们在新策略中通过问题的提出、归纳与总结,突出学生的主体作用,以提升教学的教育功能,具体体现在以下几个方面。

(1) 让知识和规律在问题引导中获得。

例如,氧化还原的定义和本质认识部分我们设计了以下问题。

问题1: 氧化还原反应的本质是什么?

问题2: 氧化还原反应与Lewis酸碱反应能否对照相关联?

设计目的: 对氧化还原反应的定义和本质认识是逐步发展起来的。在板演分析的过程中,可将其大体分为以下几个阶段,用图5简单表示。

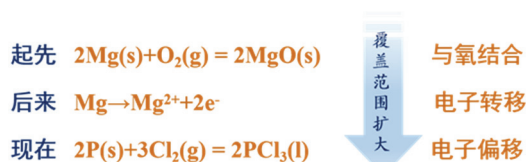


图5 氧化还原反应概念的演变示意图

由此,学生可知中学阶段所学的利用与氧结合以及是否有电子转移来定义和理解氧化还原反应本质的内容只处于初级阶段,而近代化学研究发现氧化还原反应中的许多共价物种电子转移的程度很小,不像酸碱反应中的质子转移那样完全,因此分析氧化还原反应时不能总是考虑电子的实际转移,而更多见到的只是电子偏移(图6)^[75]。进一步结合文献可知,这种偏移的实际是价电子在空间出现的概率发生改变。结合酸碱反应章节的学习,学生知道Lewis酸/碱是能接受/给出电子对的分子、

离子或原子团, Lewis酸碱反应是电子对给出和接受的反应, 那么反应过程中价电子在核外的概率分布必然发生改变, 因此Lewis酸碱反应也可以理解为广义氧化还原反应^[76]。这种引导可让学生梳理概念发展的脉络和过程, 了解准确定义的来源, 有利于他们抓住抽象概念的本质, 掌握概念的内涵。

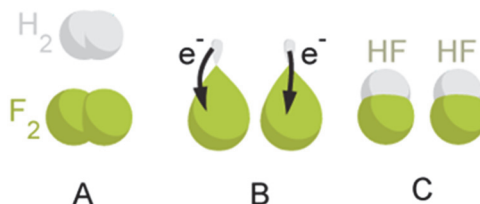


图6 氧化还原中的电子的偏移

(2) 实验与理论结合, 引发探究。

例如, 在电极电势应用部分, 我们设计了以下问题。

问题1: 为什么 Co^{3+} 能将水氧化放出氧气, 而 $\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{3+}$ 却不能?

问题2: 在定量分析中, 为了消除干扰离子的干扰, 常加掩蔽剂使之形成稳定的配合物而获得精确的测定结果, 如用碘量法测定铜含量时, 常常存在 Fe^{3+} 的干扰, 为了消除 Fe^{3+} 干扰, 常加 KF 或 NH_4F , 为什么?

设计目的: 实验能激发学生兴趣, 满足学生好奇心, 如果将实验教学和理论知识相结合提出问题, 能让学生通过对反应现象的观察、分析, 将抽象理解与感性认知相互转化, 此举有利于激发学生主动探究的本领。我们考虑到 $\text{Co}(\text{NH}_3)_6\text{Cl}_3$ 的制备是无机化学基础实验之一, 而碘量法也是分析实验中的常见实验, 于是设置了以上问题。由于 Co^{3+} 转化为 $\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{3+}$ 后, 电极电势会降低, 因此不能氧化水, 同样的道理, 在碘量法中加入 F^- , 由于生成了 FeF_6^{3-} 络合物, $\text{FeF}_6^{3-}/\text{FeF}_6^{4-}$ 电极电势与 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 之间存在差异, 因此消除了对碘量法的干扰。

(3) 把所学知识与生活实际紧密联系。

例如, 在化学电源部分, 我们设置了如下问题。

问题1: 锂离子电池为什么称为“摇椅电池”?

问题2: 给电子产品充电的过程中应注意哪些问题?

设计目的: 现代生活离不开电子设备, 而锂电池和锂离子电池是目前电子设备的主要动力源, 这些与日常生活紧密相关的问题有利于学生了解化学电源的构成、性能和原理。我们利用课程小论文或辅导课对问题答案进行考查, 让学生自由讨论, 集思广益, 有利于加深学生通过所学知识指导日常生活实践的意识。

(4) 围绕科技前沿引发思考, 提升科研兴趣。

例如, 在化学电源以及电化学应用部分, 我们设置了如下问题。

问题1: 锂电池材料有哪些研究进展?

问题2: 电化学有哪些应用? 目前有哪些发展?

设计目的: 锂电池材料的设计和制备一直是科技前沿问题, 电化学应用中元素的电化学提取、电化学腐蚀与防护等内容虽有部分内容已应用于生产生活实践, 但仍处于新兴发展阶段, 而电化学合成、电催化和光电催化涉及的 CO_2 还原、水分解、 N_2 还原等更是当前科学研究的热点, 这些问题的设置利于引发学生的科研兴趣, 同时树立科技报国志向, 进一步彰显“课程思政”内涵。

2.5 学生对新课程设计的感受

新的课程设计对于教师和学生来说均是一项全新的挑战, 为了确保教学效果, 为无机化学建设和改革做好准备, 笔者针对学生对新课程设计的感受在实验班进行了调研, 问题与结果如图7所示。问题一调查了学生对各章节教学内容的学习倾向性, 有67.7%的学生选择了第五节内容“化学电源简

介”，有75.3%选择了第六节“电化学应用简介”，充分说明学生已不满足于目前教学内容中只介绍一般原理但涉及应用较少的现状，对“学以致用”的应用型知识的需求非常迫切和强烈，同时也证实这些内容的增加是及时和必要的。问题二设置了学生对新增3个专题学习兴趣的调查，每个专题都有近三分之二的学生选择，其中专题1“形式电荷的概念与应用”和专题2“‘解密’2019年诺贝尔化学奖——锂电池与锂离子电池的前世今生”的内容有超过70%的学生选择，说明学生们迫切需要正确概念的引导，同时对前沿科学充满兴趣，也证实了这3个专题的内容选择恰当，设置合理，一些重点知识的专题延伸能起到升华学习内容的目的。问题三对教学模式的有效性进行了调查，大部分学生还是比较认同传统课堂教学模式，对于Blackboard平台发布拓展内容以及开展学习沙龙的新形式充满期待。问题四调查了学生对新课程设计的感受，大部分学生对新内容充满期待，但仍有小部分学生(17.1%)在认可新内容的同时感觉内容太多，学不过来，无所适从。

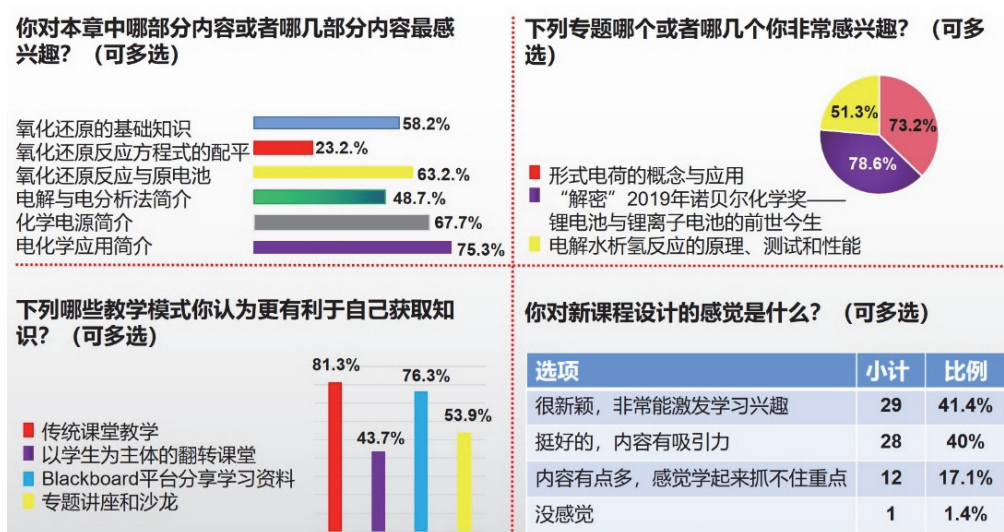


图7 面向学生的课程设计调查问卷结果统计图

以上调研可看出，总体上学生对于新课程设计以及教学模式是比较认可的，同时对于新内容和新教学手段充满了期待。但我们也清晰地认识到，在教学过程中不可面面俱到，要做到重点突出和详略得当，避免学生因感到内容太多心生畏惧，抓不住重点，反而影响教学效果。同时教师应在教学过程中培养学生的自学能力，只有这样才能充分体现和提升新教学设计的教育功能。

3 结语

为提升“氧化还原反应与电化学应用”章节的教育功能，我们在内容上“求准”：剔除错误认知，通过类比和对比，明确概念的区别和联系，确保理论的精准和结论的严谨；“求新”：适时、适当、适度地将新学术思想、内容、方法和应用等及时纳入教学，以适用科学技术发展的需要，具备重基础、知识面广、教师好教学、学生好自学的特点；“求精”：在融会贯通知识的基础上，保证以最基本的内容、方法及典型应用充实教学内容，实现经典理论与科学前沿的自然结合。在这样的内容引领下，我们在设计过程中巧妙地融合和渗透人文情怀和“思政”理念，使其教育功能得以充分的发挥。事实也证明，这种尝试和创新受到了广大师生的认可。且以这样的教学策略编写的《氧化还原反应与电化学应用》教材，已作为“无机化学探索式丛书”一个分册正式出版。

参 考 文 献

- [1] 王飞. 教学论与课程论关系研究[博士学位论文]. 北京: 首都师范大学, 2013.
- [2] 吴岩. 打造“金专”“金课”, 锻造中国“金师”. [2022-08-08]. http://www.moe.gov.cn/jyb_xwfb/s5147/202208/t20220808_651488.html
- [3] 李良助. 大学化学, **1987**, 2 (4), 57.
- [4] Frankland, E. *Phil. Trans. R* **1852**, 142, 417.
- [5] Kekulé, A. *Ann. Chem. Soc.* **1855**, 7, 3.
- [6] Kekulé, A. *Ann. Chem. Phar.* **1857**, 104 (2), 129.
- [7] Kekulé, A. *Ann. Chem. Phar.* **1858**, 106 (2), 129.
- [8] Glasstone, S. *J. Chem. Educ.* **1948**, 25 (5), 278.
- [9] Pauling, L.; Pauling, P. *Chemistry*. W. H. Freeman Company: San Francisco, CA, USA, 1975.
- [10] ПолинтЛ. *ОбщаяХимия*. Изд. Мир: Москва, Россия, 1964.
- [11] 桐山良一. 構造無機化学I. バージョン. 共立社: 东京, 日本, 1952.
- [12] Pueker, J. E.; Woodgate, S. D. *J. Chem. Educ.* **1991**, 68 (6), 456.
- [13] Haenish, E. L.; Quan, G. N. *Basic General Chemistry, in Outline Form; Illustrative Examples, Recitation Questions and Problems*. Burgess Publishing Co.: Minneapolis, MN, USA, 1953.
- [14] 党民团, 文青. 渭南师专学报(自然科学版), **1998**, 13 (5), 5.
- [15] 龚兆胜, 赵正平. 化学通报, **2002**, 65 (8), 567.
- [16] 唐晓琳. 广州化工, **2014**, 42 (12), 254.
- [17] 张颖, 张国艳, 权新军. 大学化学, **2021**, 36 (2), 202.
- [18] 成迎春. 化学教与学, **2020**, No. 2, 45.
- [19] 张树永. 中国大学教学, **2021**, No. 8, 42.
- [20] 张建东. 数理化学学习, **2013**, No. 12, 45.
- [21] 朱云, 刘瑞, 廖荣宝, 崔玉明. 淮北师范大学学报(自然科学版), **2011**, 32 (2), 41.
- [22] 王桂红. 中学化学教学参考, **2019**, No. 10, 57.
- [23] 田永报. 中学化学教学参考, **2017**, No. 14, 63.
- [24] 张伟路. 贵州师范大学学报(自然科学版), **1998**, No. 4, 92.
- [25] 张吉良, 孙德慧, 张吉林. 辽阳石油化工高等专科学校学报, **2000**, No. 3, 12.
- [26] 沈永红. 中学化学教学参考, **2014**, No. 4, 52.
- [27] 徐珑迪. 化学教学, **2015**, No. 10, 88.
- [28] 孙天山. 考试, **2001**, No. Z1, 96.
- [29] 赵菁, 华祺年, 杜萍, 杜建华. 化学教育, **2012**, No. 9, 68.
- [30] 耿济. 海南大学学报(自然科学版), **2003**, 21 (1), 11.
- [31] 耿济. 海南大学学报(自然科学版), **2003**, 21 (4), 319.
- [32] Weller, M.; Overton, T.; Rourke, J.; Armstrong, F. 无机化学. 第6版. 雷依波, 刘斌, 王文渊, 曾凡龙, 译. 北京: 高等教育出版社, 2018.
- [33] 胡武亭. 化学教育, **1998**, No. 3, 32.
- [34] 鲁梅. 化学通报, **1978**, No. 4, 46.
- [35] Latimer, W. M. *The Oxidation State of the Elements and Their Potential in Aqueous Solution*. Prentice-Hall: New York, NY, USA, 1952.
- [36] Frost, A. A. *J. Am. Chem. Soc.* **1951**, 73 (6), 2680.
- [37] Pourbaix, M. *Atlas d'Equilibres-electrochimiques*. Ganthier-Villars: Paris, France, 1963.
- [38] Pourbaix, M. *J. Electrochem. Soc.* **1976**, 123 (2), 25.
- [39] 龚兆胜, 赵正平. 化学通报, **2002**, 65 (8), 567.
- [40] 施志斌. 化学教学, **2017**, No. 9, 84.

- [41] 郭炳焜, 李新海, 杨松青. 化学电源-电池原理及制造技术. 长沙: 中南工业大学出版社, 2000.
- [42] 马淳安. 有机电化学合成导论. 北京: 科学出版社, 2002.
- [43] 孙世刚, 陈胜利. 电催化. 北京: 化学工业出版社, 2013.
- [44] 刘守新, 刘鸿. 光催化及光电催化基础与应用. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [45] Seel, F. J. *Chem. Educ.* **1972**, *49* (11), 657.
- [46] Sisler, H. H.; Vanderwerf, C. A.; Davidson, A. W. *General Chemistry: A Systematic Approach*. Macmillan Co.: New York, NY, USA, 1949.
- [47] 丁永霞. 中学化学教学参考, **2021**, No. 23, 17.
- [48] 廖代正. 化学通报, **1979**, *42* (6), 62.
- [49] 金其镛. 化学教学, **1981**, No. 1, 24.
- [50] 唐瑞娟, 王立芄. 化学教学, **1983**, No. 4, 16.
- [51] 戚冠发. 辽宁师范大学学报(自然科学版), **1983**, No. 3, 65.
- [52] 贺传正. 沈阳大学学报, **1992**, No. 4, 1.
- [53] 严宣申. 化学教育, **2011**, *32* (9), 85.
- [54] 李彬. 化学教学, **1982**, No. 1, 3.
- [55] International Union of Pure and Applied Chemistry. *Commission on Nomenclature of Inorganic Chemistry*. Pergamon Press: Oxford, UK, 1971.
- [56] DeWit, D. G. J. *Chem. Educ.* **1994**, *71* (9), 750.
- [57] Pardo, J. Q. J. *Chem. Educ.* **1989**, *66* (6), 456.
- [58] Pueker, J. E.; Woodgate, S. D. J. *Chem. Educ.* **1991**, *68* (6), 456.
- [59] 荣成, 蒋疆. 化学教育(中英文), **2017**, *38* (12), 72.
- [60] 周光耀. 物理化学进展, **2018**, *7* (1), 9.
- [61] 高孝恢, 杨频, 温元凯. 山西大学学报(自然科学版), **1970**, No.1, 88.
- [62] Xu, Y.; Liu, Y.; Hu, X.; Qin, R.; Su, H.; Li, J.; Yang, P. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2020**, *59* (7), 2850.
- [63] Agarwal, H.; Florian, J.; Goldsmith, B. R.; Singh, N. *ACS Energy Lett.* **2019**, *4* (10), 2368.
- [64] Zhao, Y.; Gu, S.; Gong, K.; Zheng, J.; Wang, J.; Yan, Y. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2017**, *56* (36), 10735.
- [65] Gao, Y.; Yang, H.; Bai, Y.; Wu, C. *J. Mater. Chem. A* **2021**, *9* (19), 11472.
- [66] Qu, J.; Urban, A. *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2020**, *12* (46), 52125.
- [67] Toma, F. M.; Copper, J. K.; Kunzelmann, V.; McDowell, M. T.; Yu, J.; Larson, D. M.; Borys, N. J.; Abelyan, C.; Beeman, J. W.; Yu, K. M. *et al. Nat. Commun.* **2016**, *7* (1), 12012.
- [68] 陈小文, 白新德, 邓平晔, 彭德全, 刘晓阳. 稀有金属材料与工程, **2004**, *33* (7), 710.
- [69] 梁成浩, 黄乃宝, 扈显琦. 腐蚀科学与防护技术, **2006**, *18* (3), 157.
- [70] 陈白珍, 唐仁衡, 龚竹青, 仇勇海. 中国有色金属学报, **2001**, *11* (3), 510.
- [71] 周雁翎. 科学学与科学技术管理, **1999**, *48* (7), 47.
- [72] 周奇. 大学物理, **1991**, No. 12, 36.
- [73] 余爱水. 电化学, **2010**, *16* (1), 1.
- [74] 康旭彤. 文学教育(下), **2010**, No. 5, 13.
- [75] Lewis, G. N. *J. Am. Chem. Soc.* **1916**, *38* (4), 762.
- [76] 龚兆胜, 赵正平. 化学通报, **2002**, *65* (8), 567.