

基于理论 - 实验有机融合的物理化学课程思考和探索

——以原电池电动势测定为例

邵蒙蒙* 陈 敏 郝世吉



[摘要] 数字经济时代,高校教育教学迎来了更高的要求,教学亟待改革和创新。物理化学课程是化工类、材料类及化学类等专业的必修课,涵盖理论课程和实验课程。近几年,相关学者对该课程的授课及教改进行探索,提出了理论和实验有机结合的教学创新,即在理论教学中融入实验,在实验教学中引入设计性实验,强化学生对理论知识的运用,促使学生深化基础知识、培养科学思维、提高综合分析解决问题能力,提高教学效果。

[关键词] 物理化学教学;理论;实验;有机融合;电动势

高

等教育发展及区域发展是相互依存、共生共荣的。高等教育应把握好“属地性”,承担起服务区域发展的重要职责,对人才培养、科学研究、社会服务等多方面进行谋划,融入区域发展布局。以一所省市共建的新型理工科院校为例,其地处粤港澳大湾区核心地段,周边汇聚了大量新材料、新能源、电子信息、生物医药等新兴产业。针对地区产业特色和发展,学校需着力培养具有良好自然科学和人文科学素养、具备较强专业实践能力与工程创新精神、敢于超越的高素质应用创新型人才。

物理化学是高校化工类、材料类及化学类相关专业的基础必修课,其以丰富的化学现象和体系为对象,采纳物理学的理论成就与实验技术,探索、归纳和研究化学的基本规律和理论,对高素质应用创新型人才的培养发挥着重要作用。

Q 物理化学课程特点及教学问题

物理化学课程主要内容包括:热力学、化学和相平衡、电化学、化学动力学、表面和胶体化学、量子力学和统计热力学。其中,量子力学和统计热力学相对独立且内容较深奥,大部分学时较少的专业一般不涉及。课程的学习要求学生系统掌握物理化学的基础知识和基本原理,加深对自然现象普遍规律及其本质的认识和理解;学会物理化学的科学思维方法,即从实验现象和结果出发,通过归纳和演绎,最终得出具有普遍意义的理论;掌握理论联系实际、分析和解决具体问题的方法。然而,物理化学课程内容较多,所学

基本理论和知识大都涉及公式推导,各知识点间的逻辑性强。这使学生要有较好的数理基础才能理解并掌握相关概念,导致学生学习热情普遍不高,学习效果不佳。

除理论教学外,物理化学实验也是物理化学课程的重要组成部分。其要求学生运用物理化学中基本的物理方法和技能,设计科学的实验方法,巩固学生对基本理论和知识的理解,培养学生科学思维和综合分析解决问题的能力。目前,某校开设的实验主要围绕热力学、动力学、电化学、界面化学这四部分,实验项目类型多为验证性,操作简单难度小。并且,相同的实验内容和条件,存在实验结果相近情况,不利于学生创新思维、分析问题、解决问题能力的培养。

基于此,学校的课程团队经过多年的物理化学课程讲授,在物理化学的教学内容和方法上进行了一些探索和改革:(1)充分利用多媒体资源,在理论教学中融入实验和相关科研知识,加强学生对物理化学基本概念的理解和掌握,引导学生自主学习;(2)在实验教学中,增加设计性或综合性实验占比,要求学生自行设计实验步骤,充分发挥学生的主体作用。

Q 基于理论 - 实验有机融合的物理化学教学探索

(一) 理论教学融入实验内容的实践

物理化学理论课涉及的基本原理、公式繁多,其中不少理论来源于大量实验的统计结果,或是前人科学实验研究演

绎、归纳、总结而来,具有显著的“实践性”。然而,某校理论课安排在大二下学期,实验课安排在大三上学期,学生难以深化理论课程中的知识。为提高物理化学理论课程教学质量,笔者尝试在讲授理论知识的同时适时地引入一些实验视频和科研实验,以加深学生对基本概念、原理等知识的掌握。下文以电化学中原电池电动势的测定和计算为例,阐述理论教学融入实验的实践。

原电池是利用化学反应来产生电能,是电化学的重点部分。在教学原电池内容时,教师应重点介绍丹聂尔电池,以该电池为切入点,讲授原电池电动势的通用计算公式。理论教学实施过程:首先,介绍丹聂尔电池是一种铜-锌双液的典型原电池,电池的阴阳两极分别由铜电极和锌电极组成。然后,播放丹聂尔电池工作的相关视频资料,让学生充分了解原电池的结构及工作原理;要求学生根据视频演示书写该电池的电极和电池反应,讲授 IUPAC 规定的电池书写图式法;让学生自行检查书写是否规范,强化电极和电池反应的标准书写。极限情况下由电池图式中(如下所示)右侧的电极电势 $E_{\text{右}}$ 减去左侧的电极电势 $E_{\text{左}}$,即 $E = E_{\text{右}} - E_{\text{左}}$,由此引出原电池电动势的通用计算公式。

丹聂尔电池的图式为: $\text{Zn} | \text{ZnSO}_4(\text{aq}) || \text{CuSO}_4(\text{aq}) | \text{Cu}$

在此基础上,教师可以介绍电池电动势的实验测定方法——波根多夫对消法。传统的伏特计不能直接用来测量电池电动势,因为用伏特计测量电池电动势时,整个电池电路上会有一定电流通过。此时电池内部会因存在内阻而产生电位降,导致电动势数值不稳定。对消法则是用一个方向相反但数值相同的外加电压,对抗待测电池的电动势。整个电路中没有电流通过,电动势测定准确。在对消法测定电动势的电路时,需要加入一个稳定的标准电池做对比,常用的是韦斯顿标准电池。教师可以介绍韦斯顿标准电池的组成结构和装置,要求学生根据该标准电池图式,写出对应的电极和电池反应式,深入理解并掌握原电池阴阳两极化学反应的相关知识,并能够正确书写。

在讲授完原电池电动势的理论计算公式及电动势测定方法和原理等基本知识后,教师可以进一步介绍实验上测定电动势的装置——电位差计。学生在观看完电位差计使用的步骤后,需要思考电位差计的工作原理,例如,如何使用对消法来进行测试、其涉及的内标法和外标法有何区别、作为对比的标准电池在电位差计里以何种形式存在、其跟教材里面的对消法原理图如何对应。紧接着,教师可以再穿插一个利用电位差计测定丹聂尔电池电动势的实验视频(视频来源于某校物理化学实验课的录制),记录实验条件下测定的电动势数值,并要求学生根据已知条件,计算电动势的理论值。再引导学生将其与实验结果进行对比,讨论误差来源,总结实验测定的要点和注意事项,帮助学生加深对理论

知识的理解掌握。另外,作为课程的补充内容,教师可以让学生了解理论知识在前沿科学研究中的应用,适时介绍锂离子电池、燃料电池的原理、结构、应用场景及研究现状。并要求学生课后进一步查阅相关文献资料,撰写锂电池、燃料电池或其他新型电池的学习报告,深化基础知识,强化知识拓展。

在理论教学过程中,通过融入相关实验和前沿研究,可以使相对抽象的知识和原理具体化,让电化学基础理论从实践中来到实践中去,提高学生课堂参与度,使课堂由原先以教师为主导的“教”转变为以教师引领为主的“学”。

(二)设计性实验深化理论知识的实践

物理化学实验是物理化学理论课的重要补充。通过实验课程学习,学生可以系统地了解 and 掌握基本物理化学实验方法和技能,加深对一些重要基本理论、概念、原理的理解。然而,物理化学实验主要以验证性为主,如大部分电动势的测定实验,主要是利用电位差计直接测定几个常见电池的电动势,然后将实验结果与理论值进行比较。这种做法虽能一定程度上加强学生对电化学基础知识的掌握,但其实验内容相对固定,深度不够,缺乏对学生创新思维的培养。因此,在物理化学实验教学中,以电动势测定实验为例,可以将其由原先的验证性实验改为设计性实验。引导学生课前主动预习相关理论知识,将实验原理、步骤、注意事项提前弄懂,并自行设计合理可行的实验过程,提高学生综合分析解决问题的能力。具体实践过程如下文。

物理化学中的电化学主要是用热力学的方法来研究化学能和电能之间相互转换的规律。在电动势测定的实验中,可以利用电动势和各热力学函数之间的关系,用电化学的方法实验测量热力学函数。根据热力学第二定律可知,电池反应中的摩尔吉布斯函数变($\Delta_r G_m$)、摩尔熵变($\Delta_r S_m$),摩尔焓变($\Delta_r H_m$)及反应热($Q_{r,m}$)分别如下。

$$\Delta_r G_m = -zFE \quad (1)$$

$$\Delta_r S_m = zF \left(\frac{\partial E}{\partial T} \right)_p \quad (2)$$

$$\Delta_r H_m = zFE + zFT \left(\frac{\partial E}{\partial T} \right)_p \quad (3)$$

$$Q_{r,m} = zFT \left(\frac{\partial E}{\partial T} \right)_p \quad (4)$$

式中的 $(\partial E / \partial T)_p$ 称为原电池电动势的温度系数,它表示恒压下电动势随温度的变化率,单位为 V/K,其值可通过测定一系列不同温度下的电动势求得。从以上 4 个式子可以看出,只要测出电池的电动势 E 及其温度系数 $(\partial E / \partial T)_p$,就可算出相应的热力学函数。

根据上述关系,以丹聂尔电池(铜锌原电池)为实验对象设计实验,步骤如下:给出具体的电解质溶液浓度(如 0.1 mol/kg 的硫酸铜和硫酸锌),要求学生在 20~65℃ 的温度

范围内,自行选取至少5个温度,通过对消法测量不同温度下的电池电动势 E ;以 E 对 T 作图,可得一条曲线,曲线上某点的斜率即为对应温度下的 $(\partial E/\partial T)_p$ 值;要求学生计算25℃时的理论 E 值,将其与实验测量值对比,分析计算实验误差,再利用 $(\partial E/\partial T)_p$ 值,计算 $\Delta_r G_m(298.15\text{K})$ 、 $\Delta_r S_m(298.15\text{K})$ 、 $\Delta_r H_m(298.15\text{K})$ 和 $Q_{r,m}(298.15\text{K})$ 。

实验准备的仪器与试剂包括:电位差计,Zn电极、Cu电极,U形玻璃管,100mL烧杯若干,硫酸铜,硫酸锌,氯化钾,琼脂。学生需要自行制作盐桥、配置电解质溶液、打磨电极,然后正确组装丹聂尔电池用于电动势的测定。对于电位差计的原理和使用步骤,教师可以在课前以视频资料的形式发给学生提前学习,课堂上仅讲授重要注意事项。整个实验过程中,教师主要以指导形式对学生不当的实验操作进行纠正,引导学生主动发现问题并及时改正,减少学生对教师的依赖性,充分发挥学生的主体作用。

实验结束后,学生需要当场处理、分析实验数据,计算实验条件下的丹聂尔电池电动势,并与实验测量结果进行对比,确定是否有误,是否需要重新进行测量。若存在误差较大的情况,学生需要检查实验过程中是否存在不正确操作,并进行纠正。其中,理论数值的计算需要学生对电动势的计算公式有较好掌握,常用的方法有2种:一种是利用电极的能斯特方程(5),分别计算阴阳两极(铜锌两极)电极电势 $E_{\pm}$ 和 $E_{\mp}$,然后按照(6)式计算电池的电动势 E ;另一种是计算电池的标准电动势 $E^{\ominus}$ (7),然后按电池的能斯特方程(8)计算电池的电动势 E 。

$$E(\text{电极})=E^{\ominus}(\text{电极})-\frac{RT}{zF}\ln\frac{[a(\text{R})]^{\nu_{\text{R}}}}{[a(\text{O})]^{\nu_{\text{O}}}} \quad (5)$$

$$E=E_{\text{右}}-E_{\text{左}} \quad (6)$$

$$E^{\ominus}=E_{\text{右}}^{\ominus}-E_{\text{左}}^{\ominus} \quad (7)$$

$$E=E^{\ominus}-\frac{RT}{zF}\ln\prod_B a_B^{\nu_B} \quad (8)$$

针对实验条件,可利用方法二进行电动势的理论值计算。先写出电极和电池反应,具体如下。

阳极: $\text{Zn}\rightarrow\text{Zn}^{2+}+2\text{e}^{-}$

阴极: $\text{Cu}^{2+}+2\text{e}^{-}\rightarrow\text{Cu}$

电池反应: $\text{Zn}+\text{Cu}^{2+}=\text{Zn}^{2+}+\text{Cu}$

根据电动势的计算公式(8),纯固体的活度为1,离子活度按 $a_{\pm}=\gamma_{\pm}(b_{\pm}/b^{\ominus})$ 计算,其中单个离子活度因子 $\gamma_{\pm}$ 一般近似用平均活度因子 $\gamma_{\pm}$ 代替。通过查表,可得25℃下0.1mol/kg的 CuSO_4 溶液的 $\gamma_{\pm}=0.16$,0.1mol/kg的 ZnSO_4 溶液的 $\gamma_{\pm}=0.148$ 。两极的标准电极电势,通过查表获得, $E_{\text{右}}^{\ominus}(\text{Cu}^{2+}|\text{Cu})=0.337\text{V}$, $E_{\text{左}}^{\ominus}(\text{Zn}^{2+}|\text{Zn})=-0.762\text{V}$ 。

利用式(7)计算电池的标准电动势,具体如下。

$$E^{\ominus}=E_{\text{右}}^{\ominus}(\text{Cu}^{2+}|\text{Cu})-E_{\text{左}}^{\ominus}(\text{Zn}^{2+}|\text{Zn})=0.337\text{V}-(-0.762\text{V})=1.099\text{V}$$

利用式(8)计算电池的理论电动势,具体如下。

$$\begin{aligned} E &= E^{\ominus} - \frac{RT}{zF} \ln \prod_B a_B^{\nu_B} \\ &= 1.099\text{V} - [(8.314 \times 298.15 \div 2 \div 96500) \times \ln(\gamma_{\pm,\text{Zn}^{2+}} \times b_{\text{Zn}^{2+}} / \gamma_{\pm,\text{Cu}^{2+}} / b_{\text{Cu}^{2+}})] \text{V} \\ &= 1.099\text{V} - [0.0128 \times \ln(0.148 \times 0.1 / 0.16 / 0.1)] \text{V} \\ &= 1.1\text{V} \end{aligned}$$

最后得,实验条件下丹聂尔电池的理论电动势为1.1V。

此电动势测定的设计实验,联系了电化学和热力学的相关知识,要求学生在给定的温度范围内,自行选择不同的温度来测定电动势,得出电动势温度系数 $(\partial E/\partial T)_p$,计算电池反应的各热力学函数。另外,为验证电动势测量的准确性,该实验还要求学生计算理论电动势值,使学生重新回顾相关的基础知识,进一步深化对基础知识的运用,培养学生理论联系实际的能力。

Q 结束语

综上所述,本文有机融合了理论知识和实验内容,对物理化学课程教学的改革进行了探索。理论课堂上,学生可以借助实验视频来理解理论知识;实验课堂上,学生可以通过对实验的设计和理论值的计算,进一步掌握相关知识,充分发挥学生的主体作用。本文的教学实践以期为物理化学课程改革提供借鉴,为物理化学教学培养高素质应用创新型人才方面提供理论参考。

参考文献

- [1]李政,王树军,符文淇,等.有机化学理论课与实验课的融合教学模式探索[J].云南化工,2023,50(05):163-166.
- [2]吴振玉,赵辰妍,李晓宇,等.“原电池电动势的测定”实验的改进与拓展设计[J].长春师范大学学报,2023,42(02):143-150.
- [3]陈义刚.引导启发式混合教学在物理化学实验中的探索——以电极制备及电池电动势的测定为例[J].广州化工,2021,49(24):96-97,114.

作者简介:

陈敏(1993—),女,汉族,湖北黄石人,博士,副研究员,东莞理工学院材料科学与工程学院,研究方向:新型锂硫电池。

郝世吉(1987—),男,汉族,黑龙江佳木斯人,博士,讲师,东莞理工学院材料科学与工程学院,研究方向:锂电负极材料。

通讯作者:

邵蒙蒙(1991—),女,汉族,浙江温州人,博士,讲师,东莞理工学院材料科学与工程学院,研究方向:光电催化。