

•教育专题•

doi: 10.3866/PKU.DXHX201806022

www.dxhx.pku.edu.cn

物理化学实验内容的探索与实践

刘永梅*, 张晋芬, 孙立森, 戴维林, 李晔飞

复旦大学化学系, 上海 200435

摘要: 为适应时代发展, 切实发挥实验教学对提高大学生培养质量的重要作用, 本课程尝试将科学研究领域的技术和方法引入物理化学实验教学中, 为学生动手能力、科学素养和可持续发展能力的培养提供支撑平台。

关键词: 物理化学实验; 教学内容; 新实验设计

中图分类号: G64; O6

Exploration and Application of Physical Chemistry Laboratory

LIU Yongmei *, ZHANG Jinfen, SUN Lisen, DAI Weilin, LI Yefei

Department of Chemistry, Fudan University, Shanghai 200435, P. R. China.

Abstract: The laboratory teaching plays more important role for improving the students' scientific literacy according to the progress of the modern society. To provide enough scientific training opportunities, the usual technology and methods used in physical chemistry research field were introduced into the physical chemistry laboratory teaching.

Key Words: Physical chemistry laboratory; Teaching content; Design of new experiment

化学是一门实验性学科, 实验教学在化学类专业人才培养过程中有着不可替代的作用, 是培养学生动手能力、科学素养和可持续发展能力的重要依托^[1]。一直以来, 复旦大学化学系有着重视化学实验教学的优良传统。20世纪90年代, 复旦大学化学系对大学本科的化学实验课程体系进行了深入改革, 逐步形成以创新能力培养为核心、以技术要素为主线的实验教学体系及相应的管理机制^[2]。随着时代和学科快速发展, 部分化学实验教学内容不能适应现代化学研究的技术需求。近年来, 我们针对物理化学实验教学中的“实验仪器设备相对落后”“实验教学内容滞后于科学研究发展的步伐”“理论教学与实验教学脱节”等问题, 通过与国内外实验教学内容的比较, 对本系物理化学实验教学内容进行了梳理和更新探索, 以期满足高等教育法中“培养具有创新精神和实践能力的高级专门人才”和新一轮“高等学校化学实验室建设和实验教学改革”对学生培养的要求^[3-7], 并逐步实现“国际领先、国内一流”的课程建设目标。

本课程内容设置充分依托本系学科优势, 突出“衔接前沿、兼顾基础”, 在满足经典传承的基础上, 加大综合性、研究探索性实验的比例, 注重培养学生信息获取和加工能力、实验整体安排和有序操作能力、数据处理和综合分析能力以及团队协作等能力^[8]。希望通过本课程教学的实施, 让学生了解和掌握一定的前沿科学研究技术和方法, 加深对实验原理的理解以及对实际科研工作的指导, 促进学生探索能力、科研创新能力的发展, 提高学生的综合能力, 做好本科学习和研究生培养的衔接。上述理念早在2014年的教学论文里已有阐述^[9], 那时大部分实验内容还处于设想阶段, 经

收稿: 2018-06-19; 录用: 2018-06-25; 网络发表: 2018-07-10

*通讯作者, Email: ymliu@fudan.edu.cn

过几年的努力和实践,我们逐步将设想变为现实。下面结合具体实验案例,谈谈我们在实验教学改革中遇到的问题和解决的思路,希望能给国内同行提供一定的借鉴。

1 经典与现代的融合

差热分析实验是经典物理化学实验内容,大多高校都开设了同类的实验内容。复旦大学化学系最初是通过自制实验装置,对五水硫酸铜加热分解进行跟踪,记录电位-时间曲线,再通过温度-电位工作曲线,将原始数据转化为温差-时间曲线,让学生观察并理解五水硫酸铜加热分解过程中的吸放热变化。随着时代发展及仪器元件老化,导致实验数据的可控性和再现性都不理想,为此我们引入热重-差热分析(TG-DTA)一体化热分析仪,仪器采集数据速度大大提升,原先 6 学时的教学内容,现在 3 学时就可完成。为提高教学效率,克服实验内容相对单薄的问题,我们将升温速率对五水硫酸铜热分解的影响引入教学,考查不同升温速率对样品热分解峰峰顶温度及失重数据的影响,经数据处理,学生可以获得每步热分解过程中的活化能,并直观地理解反应活化能对反应难易程度的影响,进一步拓展了教学内容的深度和广度。

2 教学理念、教学方法的改革

复旦大学化学系每年有学生参加不同国家、地区的学习交流。在学习过程中,学生经常选修物理化学实验课程。比如对比台湾清华大学物理化学实验内容,我们发现两校在教材和实验教学实施上有较大差别。对于仪器操作水平要求较高的实验,台湾清华大学要求学生先要做好课前预习、提出自己的实验方案并与授课教师讨论确认后再进行实验,在实验教学中更注重发挥学生的自主性和主观能动性。受到该经验的启发,我们将“钨镍复合氧化物的制备及其基本性质的表征”实验分为样品制备、粉末衍射图谱扫描、氮气吸脱附测试、数据处理讲解 4 个实验模块。按照常规的实验习惯,先进行样品制备再进行相应性质测试,在一个教学单元内若完成 4 个模块内容,时间远远不够。为了避免这一缺憾,我们将实验顺序进行了调整,每次在实验课堂上,学生先对上一组学生制备好的样品进行预处理,等待样品预处理的过程中,完成样品 X 射线衍射(XRD)图谱的扫描;图谱扫描结束后,再将预处理好的样品转移到氮气吸脱附仪上进行氮气吸脱附性能测试;氮气吸脱附测试的过程中,学生开始样品制备以备下一组学生使用;当样品制备初步完成(后续样品干燥、焙烧由实验室工作人员协助完成)后,再对测试数据处理进行详细讲解,这样学生更容易理解数据处理的原则和目的。采用这种提供现成样品给学生进行实验的安排,大大节省了学生操作的时间,提高了实验效率,而且实验模块间的衔接以及实验进程完全依靠学生的自主安排和规划,这对实验内容预习、思考提出了更高要求,只有非常熟悉内容、清楚每个模块实验的目标才能高效地完成全部实验内容。对学生科学管理和统筹安排实验能力的培养很有帮助。

由于课时限制,每个学生只能完成一个样品的制备及性质表征。而通过单个样品的性质数据分析,学生很难理解样品制备条件对性质的影响,所以我们要求每位学生采用不同的实验条件并进行数据共享,通过数据分析,理解制备条件对样品比表面积、晶化程度等性质的影响。这样的安排,一方面可以促进学生间的团结协作,关心同组成员实验操作的规范性和数据处理的合理性;另一方面还可以引导学生对实验数据进行更深入的分析和讨论,培养学生对数据的分析、思考和挖掘能力,使学生能更好地理解样品性质表征的意义。在这个过程中,教师一直坚持引导学生学习如何对氮气吸附脱附数据进行正确处理,才能获得样品的孔径分布、孔的形状等微观结构性质;引导学生掌握如何分析 XRD 图谱,除获取样品结晶程度外,还可通过精细分析估算出样品的粒径以及晶胞参数等等。此外,在实验课程开设过程中,低年级学生在实验前经常会向高年级的学生请教,探讨实验的重点、难点以及注意事项,会探讨实验数据处理方法和技巧。探讨过后,学生会主动查阅文献,从科研文献中学习对数据分析讨论的方式方法,而学生的实验报告也会启发授课教师更好地把握今后实验内容的讲解,无形中做到教学相长。

课堂教学效果尤其是实验教学效果的提升,不仅局限在课堂上,课前准备或预习以及课后的思

考或讨论对课堂效果的提升同样重要。在这种理念的引导下,我们进行了为期4年的实验改革探索,发现学生实验报告的数据分析与讨论内容越来越丰富,理解越来越深刻。

3 新原理、新实验内容的开发

受实验条件限制等各种因素的影响,新原理、新实验内容的开发更具挑战,既要兼顾原有课程内容的整体布局,又要兼顾实验内容与本科教学特点的相容性。基于以上两点,我们引入了“纳米金催化苯甲醇的选择性氧化”实验。该实验具有以下几个特点:1) 相比于复杂的有机合成,苯甲醇选择性氧化作为简单的有机反应,容易被学生接受;2) 反应本身是一个典型的连续反应,产物选择性的控制与理论课堂教学相互印证、衔接;3) 采用气相色谱定量分析方法跟踪该反应进程,也是采用新的分析手段改革原有物理化学实验教学内容的一个成功尝试。而且该实验的引入将有助于学生对催化原理的理解、催化特点的把握以及催化效果评判的理解。

在实验开展过程中,会遇到一些操作细节问题。比如:1) 液固分离装置的改进。可以采用滤膜与一次性1 mL进样针组成的微过滤系统,既能做到固液相有效分离,又能尽可能降低每次取样量对动力学反应的影响;2) 反应条件的控制。对于苯甲醇选择性氧化反应的探索有大量文献研究报道,氧气做氧化剂是最佳选择。但气、液、固三相反应体系的控制对实验设备和操作的要求相对较高,而用叔丁基过氧化氢替代氧气,可以使实验操作大大简化;3) 动力学数据分析。学生对反应动力学数据分析并不陌生,但对反应级数的判断在实践环节上还有些欠缺。问题解决过程是实验方案不断完善和提升的过程。而在本实验的数据处理时,学生容易关注数据的数字分析,发现反应级数越高,数据拟合的线性越好,实验报告中经常看到对苯甲醇的反应级数是4或者5的结论,这显然与实际化学反应体系不符,而实验报告结果的反馈会促进学生对化学反应动力学的分析及研究方法有更深刻的理解。

在同样的理念下,我们还引入了“TiO₂与Ag₃PO₄光催化降解RhB染料的活性研究”光催化实验与“H₂在Cu表面势能面的构建”量子化学计算实验。

4 结语

在过去几年,为适应新世纪形势的要求,我们在化学系物理化学教学团队和国家条件建设项目的支持下与教育部本科教学工作审核评估等的推动下,以建立有利于培养创新人才的化学实验课程体系和教学模式为目标,一方面不断引入新原理、新技术、新方法和新应用,更新实验内容,将最新科研成果中共性的和基础的内容通过精选和改造转化为实验项目,避免实验内容过专过窄;另一方面将经典实验的研究型改造纳入创新型实验教学建设项目,不断发掘和提升经典实验的教学效果,努力把物理化学实验课改造成培养学生动手能力和科学素质的重要场所,取得了一系列较为成功的经验。

参 考 文 献

- [1] 张树永, 张剑荣, 陈六平. 大学化学, **2016**, 31 (9), 1.
- [2] 徐息良, 吴性良, 姚子鹏, 陆靖. 大学化学, **2001**, 16 (6), 21.
- [3] 张树永, 侯文华, 刁国旺. 大学化学, **2017**, 32 (2), 9.
- [4] 张树永. 中国大学教学, **2015**, No.3, 31.
- [5] 张树永, 张剑荣, 陈六平. 大学化学, **2009**, 24 (4), 24.
- [6] 张树永, 侯文华, 刁国旺. 大学化学, **2017**, 32 (9), 1.
- [7] 淳远, 高卫, 杨金月. 大学化学, **2017**, 32 (7), 33.
- [8] 崔学桂, 张树永, 李建平, 王乃兴, 高峰. 实验技术与管理, **2003**, 2 (2), 120.
- [9] 刘永梅, 张晋芬, 戴维林, 孙立森, 辜敏, 范康年. 中国大学教学, **2014**, No.10, 88.