

## 物理化学综合设计实验教学思考与体会

朱万春\*, 周兵, 谢腾峰, 管景奇, 赵旭

吉林大学国家级化学实验教学示范中心, 长春 130012

**摘要:** 分析了近年来物理化学基础实验课程改革实践的状况, 对物理化学基础实验内容改革进行了思考。介绍了物理化学综合设计实验的开设内容并总结了实践成效及发展经验, 提出通过物理化学基础实验课开设综合设计实验, 革新了实验教学内容和教学方法, 对以学生为中心、能力培养为目标的物理化学实验教学体系建设具有重要作用。

**关键词:** 物理化学实验; 综合设计实验; 课程体系; 教学改革

**中图分类号:** G64; O6

## Reflection and Experience on the Teaching of Comprehensive Design Experiments in Physical Chemistry

Wanchun Zhu\*, Bing Zhou, Tengfeng Xie, Jingqi Guan, Xu Zhao

National Experimental Teaching Demonstrating Center of Chemistry, Jilin University, Changchun 130012, China.

**Abstract:** This paper analyzes the recent reforms and practices in the basic experimental courses of physical chemistry and reflects on the content transformation of these experiments. It introduces comprehensive design experiments in physical chemistry and summarizes their practical outcomes and developmental experiences. The paper argues that incorporating comprehensive design experiments into the basic physical chemistry curriculum has improved both the experimental content and teaching methods. This new innovation plays a crucial role in constructing a student-centered, competency-driven experimental teaching system in physical chemistry.

**Key Words:** Physical chemistry experiment; Comprehensive design experiment; Curriculum system; Teaching reform

### 1 引言

化学是一门理论与实验相结合的学科, 物理化学是化学学科重要的组成部分, 物理化学理论与实验是化学及化学相关专业学生必修的课程。现在国内各高校物理化学实验课程基本是独立设课, 实验项目涵盖了化学热力学、化学动力学、电化学、胶体与界面化学、催化化学、光化学、结构化学、理论化学等物理化学主要方向内容, 并涉及到化学学科多种基本的、必须的实验方法和技术。在很长时期里, 物理化学实验课程的教学内容大都为验证性的经典实验, 国内近十年出版的物理化学实验教材的实验内容大同小异, 经典的验证性实验项目占据主要篇幅, 部分教材新增综合设计实验部分, 但其中部分实验是经典实验的改进或再设计, 而新创的具有“高阶性、创新性、挑战度的两性一度”的实验很少。经典的验证性实验内容一定程度上很难以激发学生的实验兴趣和探索欲望, 不利于培养学生的科学探究思维。实验教学内容的创新是物理化学实验课程建设可持续发展的重点

和难点。物理化学实验教学的改革和发展不可能一蹴而就，需要适应时代的发展和变迁，不断面对新的挑战 and 机遇而脚踏实地地逐步前行<sup>[1,2]</sup>。

## 2 物理化学实验教学内容创新改革思考

如何在原有经典实验项目基础上增设一些具有“两性一度”的新创实验？新创实验项目从哪里获取？面对这些问题，我们教学团队对物理化学实验新创教学内容的改革主要经历下面三个阶段：

首先，在教学团队内部进行征集，将教师个人的科研成果结合物理化学实验教学实际需要进行改进，设计成物理化学综合设计实验项目，然后向学院从事物理化学学科方向研究的教师征集科研成果改进的实验项目，把学院科学研究方向相关的课题改造为实验教学项目是具有可行性的，并具有一定的优越性和特色；

其次，教学团队通过查阅文献资料和各新出版的物理化学实验教材，以及通过参加国内高校化学教学会议等途径，收集物理化学实验教学改革方面可借鉴的信息和成果，进行归纳整理，发现文献资料或教材中一些项目符合“两性一度”要求，虽然或许存在实验条件不具备，如缺少相关实验关键仪器设备，或实验时长不合适等问题，但可以通过对实验项目因地制宜地加以改造，使实验室能够满足实验项目开设的条件，实验项目的教学属性如实验时长等也能够达到教学的要求；

再次，2019年起，高等学校化学教学指导委员会和国家级实验教学示范中心联席会依据高等学校化学实验教学发展需要，创立了全国大学生化学实验创新设计大赛，各学校选择符合“新创实验、改进实验或科普实验”赛道要求的作品参赛，优秀的新创实验和改进实验都是适合实验教学使用并且部分作品是经过教学实践过的，因此通过竞赛国家层面开始引导实验教学的发展进程，比赛中产生的优秀作品可借鉴引进作为实验教学项目，丰富实验教学资源，设计出适合物理化学实验课程的创新实验项目<sup>[3]</sup>。

## 3 物理化学实验“三层次”教学体系实践

通过教学团队的研究和讨论，确定建立物理化学基础实验、综合实验、设计实验“三层次”的教学体系，在学习物理化学实验的基本原理、基本方法和基本技能的基础上开设综合、设计实验。基础实验即前面所提到的验证性的经典实验。综合实验，是以跨两个或多个二级学科开设的实验项目，实验内容打破无机化学、分析化学、有机化学、物理化学四大化学学科限制，使学习一改先前的阶段式为连续式，有利于学生对实验内容的理解和掌握。设计实验是将某些科研成果、生产、生活中遇到的实际问题设计成实验，学生根据教师提供的信息或自己通过查阅文献、参考书等完成实验方案设计及实验内容。学生完成实验要充分利用先前学习的四大化学的理论和实验方法及技能，进行实验方案的设计和实验条件的优化，最终才能得到规律性的实验结果或结论。实验方案完全有别于经典实验的照方抓药式，从实验试剂、装置的选择使用，实验条件的优化都要依据参考资料自行选择设计进行，在此过程中实验指导教师对实验原理进行一定程度的介绍并对实验方案的设计及开展进行指导，直至实验完成。设计实验能充分发挥学生们的想象力和聪明才智，有利于培养学生的创新意识和独立的研究能力。

目前面向化学学院化学专业的物理化学实验课程(96学时)在第5、6学期开设，共开设13个经典实验项目(如表1所示)，共计72学时；9个综合设计实验项目(如表2所示)，每个实验项目为24学时。每位学生完成13个经典实验项目后选择完成1个综合设计实验项目。综合设计实验项目涵盖电化学、光化学、催化化学、界面化学、结构化学等方面实验内容。

“碳酸钙纳米颗粒的表面疏水化”这个实验项目是实验团队教师把科研成果和工业生产实际相结合的产物。实验指导教师把“碳酸钙粉体作为塑料、涂料等工业产品填料时对颗粒表面化学性质有特殊的要求，需进行界面修饰”作为切入点，首先向学生介绍碳酸钙粉体的生产工艺及应用领域和作为添加剂使用时对碳酸钙表面进行修饰的目的，要求学生们查阅碳酸钙表面处理的实验方法、

表1 物理化学基础实验内容

实验内容(基础实验)	实验项目	学时数
化学热力学	燃烧热的测定	6
	液体饱和蒸气压的测定	6
	差热分析法	6
化学动力学与非平衡体系	蔗糖水解反应速率常数的测定	6
	丙酮碘化反应速率常数及活化能的测定	6
	B-Z振荡反应	6
电化学	电动势与温度关系的测定	6
	镍在硫酸溶液中的钝化行为	6
胶体与界面	溶胶的制备及电泳	6
	水溶性表面活性剂临界胶束浓度的测定	3
	黏度法测定高分子化合物的摩尔质量	6
结构化学	偶极矩的测定	6
	X射线粉末衍射	3

表2 物理化学综合设计实验内容

实验内容(综合设计实验)	实验项目
电化学	甲醇燃料电池阳极电催化性能的研究
	铜电极材料的制备及电催化性能研究
	析氧催化剂的设计制备及在性能研究
结构化学、光化学	二氧化钛的制备, 结构及其性质表征
光化学、光电化学	染料敏化太阳能电池设计及其性能参数的测定
	光电化学分解水光阳极的构筑与性能
催化化学	磷钨杂多化合物的制备、表征及其催化性能研究
	铜基催化剂的制备及其催化性能研究
界面化学	碳酸钙纳米颗粒的表面疏水化

实验条件及表面性质表征分析方法, 选择合适的表面处理剂, 确立实验装置及实验条件, 考察表面处理剂种类及实验条件对碳酸钙表面疏水化处理效果的影响。学生们按要求完成实验方案, 经指导教师审阅通过后实施, 学生们选择处理剂如硬脂酸、烷基磷酸酯、苯乙烯等, 尝试改变处理温度、表面处理剂加入量等条件考察对碳酸钙表面处理的效果, 通过测定疏水化处理前后样品的红外光谱、接触角等方法, 比较结构性质的变化。同时还拓展以表面处理后的碳酸钙为稳定剂, 考察其固体颗粒对皮克林(Pickering)乳液的影响。实验过程中还指导学生做固体酒精块, 探索乳液条件下引入引发剂的聚合反应等, 提高学生的实验兴趣, 引导学生把界面化学理论与实践相结合, 把微观结构与宏观性质相结合, 由此开阔学生的视野, 对培养创新意识和科学思维具有一定的促进作用(该实验入选“化学化工国家级实验教学示范中心建设成果丛书”的第一册——《化学化工创新性实验》<sup>[4]</sup>。

又如“磷钨杂多酸催化剂的制备、表征及催化性能研究”实验<sup>[5]</sup>, 学生们首先设计制备不同组成、不同结构的磷钨系杂多酸, 通过红外光谱、X射线粉末衍射等手段表征杂多酸的晶体结构和性质; 再将制备的杂多酸设计成不同形式的催化剂, 评价其乙醇催化转化反应性能, 并把杂多酸的性质和催化反应性能相关联, 使学生能够阐明催化反应的基本原理和熟练运用催化反应研究方法和实

验技能,初步认识催化剂的结构、性质及催化反应性能的关系,由此对化学理论知识的学习与实践相结合有深入的体会,这对学生化学专业各方面知识学习的深入和能力的提升大有裨益。在电化学和光电化学方面聚焦“双碳战略”研究和发展热点,如基于催化水分解析氢、析氧反应过程,通过设计制备电催化剂及构筑光电化学体系并探究其水分解反应性能,让学生熟悉学科发展前沿,将物理化学理论及实验方法与科学研究及生活生产实际相结合,对提高学生钻研实验课题的兴趣及实践能力具有促进作用。

#### 4 物理化学综合设计实验教学实践成效

目前在物理化学实验教学体系中,综合设计实验的学时所占的比重约25%,每个学生在完成物理化学基本实验方法技能训练的基础上完成综合设计实验部分内容。有别于基础实验讲义有明确的实验步骤和方法,综合设计实验的实验内容、实验步骤都要自己去思考设计,一些学生开始很不适应,常常需要实验指导教师的点拨才进入状态。实验过程中,大多数学生都相当努力地去做,仔细观察实验现象,有的学生还拿手机或照相机拍下实验装置,拍摄实验过程中的实验现象和实验瞬间,深入和老师讨论实验现象和结果。实验中学生们按照自己设计的实验方案进行实验,可能体会到实验成功的欢欣,也可能遇到实验结果不理想而感到的懊恼。实验结束后,学生们分析总结实验结果并按照科研论文格式撰写实验报告,很多报告图文并茂,现象分析和数据处理很有条理。对物理化学实验综合设计实验的学习很多学生都很有感触,在报告结束部分记下了自己的体会。有学生在实验报告的讨论部分中写了这么一段话:“自主创新实验很有趣,可以大大提高我们的自主创新意识,……,既能开动我们的脑筋,又锻炼了我们自己动手的能力,并能和实际生活相联系。在准备实验过程的阶段,通过查阅文献大大地丰富了我们的知识结构,也让我们对所学知识有了更深层的了解。经过一学期的物理化学实验,让我们学到了很多知识,校正了我们的仪器操作。通过这次自主创新实验,检验了我们这一学期以来对物理化学实验的学习情况,也让我们把学到的知识运用于实际中去,解决我们身边的问题,这对我们来说是一次挑战,更是一种飞跃……”实践表明,通过综合设计实验阶段的学习使学生能够对基本理论、基本方法融会贯通,同时对基础实验方法灵活运用能力的巩固和提高是有益的,并使学生们体会到科研的一般方法和过程,提高创新意识,为创新型人才培养打下基础。

#### 5 物理化学综合设计实验的教学体会

目前所开设的综合设计实验基本是由教师的科研工作转化而来,这些实验项目具有一定的吉林大学化学特色,经过教学实践发现对于培养学生的创新意识、科学的思维方法及提高实践能力具有重要作用,也受到学生们的欢迎,取得了良好的教学效果。

通过物理化学综合设计实验的开设,建立起“多层次”的物理化学实验教学体系。教学团队在实践过程中不断丰富实验教学内容,并以此设计建设的新创实验项目参加“全国大学生化学实验创新设计大赛”,指导学生分别获得第二届和第四届全国大学生化学实验创新设计大赛的特等奖<sup>[6,7]</sup>。全国大学生化学实验创新设计大赛的连续举办也源源不断提供新颖的具有“两性一度”的实验项目,教学团队也会学习借鉴大赛中获奖的实验项目在实验课中开设,如兰州大学的“半导体纳米复合材料的制备及其光电催化CO<sub>2</sub>还原”实验<sup>[8]</sup>,南开大学的“联二炔囊泡的光致聚合、热致变色及应用”实验<sup>[9]</sup>及广西师范大学的“磁性Co/C纳米复合材料的合成及其对水中刚果红吸附性能研究”实验<sup>[10]</sup>等,这些比赛获奖实验项目为物理化学实验创新性实验教学体系的发展助力,为化学专业学生专业素养和创新意识的培养创造条件。

## 6 结语

虽然通过多年对物理化学实验教学体系的改革和实践,建立起以基础实验和综合、设计实验相结合的实验教学体系,一定程度上提升了实验教学内容的“两性一度”,但物理化学实验教学改革和发展还在路上,还有很长的路要走。物理化学实验指导教师们需要继续努力探索创新人才培养的教学模式和途径,完善物理化学基础实验创新教学体系,建设创新实验教学条件、提升仪器设备水平、革新实验教学模式和手段,促进物理化学实验教学的持续发展。

## 参 考 文 献

- [1] 刘永梅, 张晋芬, 孙立森, 戴维林, 李晔飞. *大学化学*, **2018**, *33* (10), 18.
- [2] 张树永, 范楼珍, 淳远, 刘永梅, 田福平, 白云山, 宋淑娥. *大学化学*, **2022**, *37* (6), 2108061.
- [3] 全国大学生化学实验创新设计竞赛专刊. [2025-025-28].  
<https://www.dxxh.pku.edu.cn/CN/subject/listSubjectChapters.do?subjectId=1562656569900>
- [4] 化学化工学科组. 化学化工创新性实验. 南京: 南京大学出版社, 2010: 22–25.
- [5] 朱万春, 张国艳, 李克昌, 徐家宁. 基础化学实验-物理化学实验分册. 第2版. 北京: 高等教育出版社, 2017: 1–437.
- [6] 彭扬超, 胡旺, 刘雨昂, 范勇, 朱万春, 宋志光, 马强, 郭玉鹏. *大学化学*, **2022**, *37* (5), 2111078.
- [7] 江梓键, 刘雨昂, 宗毅健, 范勇, 朱万春, 郭玉鹏. *大学化学*, **2024**, *39* (5), 266.
- [8] 吴宁然, 田恩麟, 赵创源, 沈永雯, 惠新平, 景欢旺. *大学化学*, **2020**, *35* (4), 66.
- [9] 常宇轩, 石麟, 贾敬佩, 李一峻, 郭东升. *大学化学*, **2020**, *35* (4), 96.
- [10] 蔡丹丹, 阮长平, 邱建华, 吴丽芸, 张丛, 张羽真. *大学化学*, **2020**, *35* (12), 212.