

物理化学设计实验教学的实践与体会

淳 远* 高 卫 杨金月

(南京大学化学化工学院, 国家级化学实验示范中心, 南京 210023)

摘要: 介绍了南京大学物理化学实验课程中设计实验的开设情况。在设计实验教学过程中, 通过选取主导仪器、递交初步计划、陈述实验方案和完成设计实验4个环节的训练, 有效促进了学生综合素质和创新能力的培养, 取得了良好的教学效果。

关键词: 物理化学实验; 设计实验; 实践; 经验

中图分类号: G64; O6

Practice and Experience of Teaching Experimental Design in Physical Chemistry Laboratory

CHUN Yuan* GAO Wei YANG Jin-Yue

(National Experimental Teaching Demonstration Center for Chemistry, School of Chemistry and Chemical Engineering, Nanjing University, Nanjing 210023, P. R. China)

Abstract: This paper introduces the recent practice of teaching experimental design in physical chemistry laboratory in the Chemical Experimental Teaching Center of Nanjing University. The design of experiment is organized in four parts: selecting main instruments, submitting a preliminary proposal, making a presentation of the detailed project, and carrying out the designed experiment. The teaching practice proves that it is an effective route to cultivate the comprehensive quality and the independent innovation ability of students.

Key Words: Physical chemistry laboratory; Design of experiment; Practice; Experience

为了培养高水平、创新型人才, 适应当今社会的需求, 高校教育需要转变现有教学思路, 建立“以学生为中心”的教学模式, 给予学生更多的自主学习空间^[1]。在实验教学中, 传统的以验证性实验为主的教学模式已不能满足需要, 大力增加设计性、综合性和研究性实验, 培养学生的创新能力和综合能力已成为现阶段实验教学发展的总体趋势^[2,3]。

1 开设物理化学设计实验的意义和困难

与其他化学类实验不同, 物理化学实验中运用了很多物理化学的原理、方法和仪器设备。例如仅与浓度测定相关的仪器就包括电导率仪、旋光仪、分光光度计、阿贝折光仪、气相色谱仪等等。此外在物理化学实验中还会用到一些大型分析仪器, 如热分析仪、XRD仪、比表面及孔隙分布仪等。由于仪器数量限制, 客观上很难实现所有学生同步完成每一个实验, 因而在物理化学实验教学中国内高

*通讯作者, Email: ychun@nju.edu.cn

基金资助: 江苏高校品牌专业建设工程项目

校大多采用了学生轮换的方式,不同组学生间实验进度会有明显的差别。虽然近年来在高校中设计实验得到了较好的推广^[4-7],但开设物理化学设计实验受到实验条件的限制。由于物理化学实验涉及仪器众多,但每类仪器数量有限,如果不加以限制,难以保证设计实验的正常开展。

为了能兼顾物理化学基本技能的训练和开发学生的自主创新能力,我们曾在验证式物理化学实验教学中引入自主探索时间,进行了验证/探索两段式教学的尝试,并在BZ振荡反应等实验的试点中取得了很好的效果^[8]。这样一种两段式教学模式适应性强、易于实施,并能充分调动学生的积极性,但是毕竟每次实验的时间有限,能够用于自主探索的时间不多;并且由于不少物理化学实验项目本身耗时较长,很难在原有基础上规划出自主探索的时间,因此在物理化学实验课程中开设单独的设计实验对创新型高水平人才的培养仍是非常必要的。

目前一些高校在物理化学实验课程中已开始了设计实验的尝试,主要采用指定课题范围的形式来开展^[9-11]。教师预先提供一些来源于科研、生产或基础实验的课题,学生选取其中一个课题进行设计研究。这样的方式有助于教师对学生的设计方案和所用仪器进行宏观掌控,但是也在一定程度上限制了学生的自主性。

2 物理化学设计实验的实施过程

从2013年开始,我们在物理化学实验教学中增加了一次设计实验。对于实验的设计,我们对学生的基本要求有3点:1)实验内容与物理化学相关;2)可以参考相关教材和文献,但实验设计中要有自己的特色;3)整个实验过程需要独立完成。为了更好地进行实施,我们把整个设计实验过程分为4个阶段:1)选取主导仪器;2)递交初步计划;3)陈述设计方案;4)完成设计实验。其中前两个阶段在课外进行,而后两个阶段分别利用一次实验课时完成,总计课内用时约12学时。

2.1 选取主导仪器

如前所述,开设物理化学设计实验的一个难题是仪器数目的限制。为此,我们事先将主要仪器分类,按所能提供每类仪器的最大数目设计成表格,并在学期初张贴在公告栏中,然后学生根据自己的意愿,在拟选的仪器下填写自己的姓名。比如实验室能够提供10台电导率仪,则在仪器选取表电导率仪一栏中只留出10个空位供学生填写姓名。按照先选先得的原则,如果10个空位均已填满,则不能再选该类仪器。仪器选择过程在2-3周时间内完成。由于仪器的总数不少于学生的人数,这保证每个学生都能独立地使用一台主要仪器来完成设计实验,避免了实验过程中可能发生的仪器冲突。

2.2 递交初步计划

为了防止学生设计的实验偏离物理化学范畴,在仪器选定后,我们要求每个学生在一个月时间内先递交一份初步计划,包括实验题目、目的、所用仪器和方法等,然后主要针对其计划的合理性和可行性进行审核,并将初步修改意见和建议反馈给学生。根据修改意见,学生对设计实验的计划进行修改、补充或者重新设计,再写出一份详细的实验计划。

2.3 陈述设计方案

在正式实验前,学生需要陈述自己的设计方案。我们安排在倒数第二次实验课上进行,用时约6小时。为了保证每个学生都能有充足的时间来陈述,根据所选仪器和研究内容的相关性,事先将学生分为几个大组,每组的14人,各由一位指导教师负责组织陈述。比如有14个学生选择了分光光度计作为主导仪器进行实验设计,他们可被分为一个大组进行实验陈述。每个学生需要将自己设计实验的内容制作成PPT,先在15分钟时间内讲解自己的设计方案,然后由其他学生和指导教师共同对其特色和细节展开讨论,用时5-10分钟。设立陈述设计方案这个环节一方面为了加强对学生文字组织和语言表达能力的训练,另一方面也希望能通过相互交流和讨论来取长补短,进一步完善各自的设计实验方案。

2.4 完成设计实验

最后一次实验课上进行设计实验的动手操作，用时约6小时。为了便于仪器和药品的准备，学生须提前一周递交详细的仪器和药品清单，然后提前一天开始领取仪器和药品。在该环节中，同一大组的学生一般安排在同一个实验室进行实验，学生按照完善后的方案独立完成各自的设计实验，所测得的原始实验数据须经教师签字认可，然后在一周时间内完成并上交设计实验报告。指导教师再根据学生在设计实验中的总体表现，综合评定分数。

3 实施效果和问题改进

对设计实验的开展，学生总体反响非常热烈，超过了我们的预期。学生们实验设计的内容非常丰富，涉及面很广，几乎每个学生设计都具有一定的特色。例如：以分光光度计为主导仪器，学生的设计实验包括不同弱电解质解离常数的测定、不同配合物的组成和稳定常数的测定、各种难溶盐的溶度积和热力学函数的测定、一些液相反应的级数与速率常数的测定、酶催化降解蔗糖速率常数的测定、光催化降解有机污染物速率常数的测定等等；以气相色谱为主导仪器，学生的设计实验包括不同催化剂对醇类脱水反应的影响、有机物蒸气压的测定、 $T-x$ 相图的绘制、无限稀释溶液活度系数的测定、光催化合成有机中间体等等。为了设计出一个满意的方案，很多学生进行了大量的文献调研，并对实验方案进行了反复修改。在陈述设计方案时，学生们主导了整个过程，气氛非常活跃。大部分学生进行了精心的准备，不仅对自己的设计方案作了详细的阐述和分析，还能指出其他学生方案的不足，并提出合理的建议。学生们在设计实验操作过程中也是非常积极和认真，在6小时的实验时间内测定了大量的数据，部分学生还提前到实验室做一些准备工作。在实验报告中，绝大部分学生针对自己的实验结果进行了详细的分析，并结合课本以及文献报道对所采用的方法进行了客观的评价。完成设计实验后，学生们深有感触，认为设计实验提供了一个实现他们自己想法的机会，同时也体会到了科学研究的苦与乐。

在设计实验实施过程中，我们也发现了一些问题：1) 实验误差问题。由于设计实验的不可预见性，少数学生的设计方案在实施时发现并不可行，导致实验结果与预期相差甚大。尽管设计实验我们更关注过程以及对数据结果的分析和讨论，但是由于付出了很多却没有获得良好的结果，学生还是有些失落；2) 药品供应和管理问题。由于设计实验涉及药品众多，很难管理。部分药品用量少但是使用面广，导致药品领取较为混乱。部分药品用量大，又不能重复使用，导致废液量显著增加；3) 仪器交接问题。设计实验的开设极大地增加了实验技术人员的工作量，仪器需要学生自己去领取和保管。由于每个学生所用仪器，特别是玻璃仪器都有所不同，影响了前后两批学生之间的仪器交接；4) 实验中的一些小细节，比如平衡的稳定时间等等学生容易疏忽，影响了实验进程；5) 不少学生把物理化学实验设计成仪器分析实验，整个实验方案需要重新进行设计；6) 有一些学生仅仅从其他学校教科书上去照搬实验项目，并未融入自己的思考……。

这些问题的出现，归根到底还是由于两个原因造成：一是部分学生实验设计能力较弱，二是设计实验的教学和管理还不太完善。由于平时对实验设计的训练较少，部分学生不知道该如何来进行设计。此外，在平时实验时书上有现成的步骤，按部就班即可，一些学生并不太关注为何要这样来操作，轮到自己设计时往往会忽略一些细节，从而影响了实验进程。要解决这些问题，必须在平时实验时加强对实验设计能力的训练；另外，对于设计实验教学，教师一定要给予高度重视。对学生递交的初步计划，教师需要从合理性、可行性进行仔细把关，其中特别要注意计划中涉及到的试剂和药品是否毒性太大或者过于昂贵，如有问题要及时反馈给学生修改；在学生陈述实验详细方案时，除了关注实验设计中的特色和创新外，还要特别注意一些影响实验进程和结果的细节，比如实验用时是否过长、平衡时间是否足够、药品用量是否适当等等，并分析实验中可能出现的一些问题，以帮助学生进

一步完善其设计方案；在设计实验操作过程中要随时关注每个人的进展，当学生遇到困难时，要及时给予帮助，引导学生去分析并解决问题。为了避免药品管理和仪器交接中可能出现的混乱，需要建立一套专门的系统来对设计实验的仪器和药品进行规范化管理。设计实验的仪器和药品的管理工作量很大，如果能借助一些如二维码^[12]等先进的技术手段来进行精细化管理，会大大简化这一过程，对设计实验的顺利开展将起到很好的保障作用。

4 结 语

作为培养创新型人才的重要手段，设计实验的开设是本科实验教学发展的必然趋势。我校物理化学实验课程中开设了设计实验，大大提高了学生对物理化学实验学习的积极性和自主性，取得了良好的教学效果。当然设计实验的开设对学生、教师和实验技术人员都提出了更高的要求，在实施过程中也存在一些问题，有待今后去进一步优化和改进。

参 考 文 献

- [1] 袁贵仁. 中国高等教育, **2012**, No. 2, 4.
- [2] 孙尔康, 邱金恒, 张剑荣, 张家玫, 董 林. 实验技术与管理, **2008**, 25 (8), 22.
- [3] 陈永宝, 瞿学红, 刘淑珍. 大学化学, **2013**, 28 (6), 17.
- [4] 钟国清, 霍冀川, 叶 旭, 张 欢. 大学化学, **2011**, 26 (1), 16.
- [5] 胡万群, 张汉昌, 邵 伟, 柯玉萍, 杨凯平, 罗如莉, 李维维. 实验室研究与探索, **2012**, 31 (7), 317.
- [6] 魏小兰, 邹智毅. 实验技术与管理, **2014**, 31 (5), 214.
- [7] 刘品华, 汪 帆, 杨 芬, 张锡军. 实验科学与技术, **2011**, 9 (2), 115.
- [8] 高 卫, 淳 远. 实验技术与管理, **2014**, 31 (5), 200.
- [9] 夏春兰, 邓立志, 刘欲文, 黄 驰. 实验室研究与探索, **2013**, 32 (8), 181.
- [10] 张国艳, 金为群, 王 岚. 实验室研究与探索, **2013**, 32 (6), 329.
- [11] 陈联群. 大学化学, **2005**, 20 (5), 17.
- [12] 罗咏梅, 金志刚. 实验室研究与探索, **2015**, 34 (9), 98.