

基于问题导向学习法的分析化学实验与理论知识融合的教学改革——以“水硬度的测定”为例

伍珍, 陈怀侠*

湖北大学化学化工学院, 武汉 430062

摘要: 分析化学实验是一门兼具理论性、实践性和应用性的课程, 主要训练学生规范操作并培养学生运用分析化学理论知识解决实际问题的能力。目前普遍存在着分析化学实验课程教学与理论教学严重脱节的问题, 学生习惯“照方抓药”。本文将问题导向学习法应用于分析化学实验教学, 通过改进教学模式、完善课程内容和优化考核方式开展教学改革, 促进实验与理论教学的有效融合, 充分调动学生的学习自主性, 培养学生观察、思考、分析和解决问题的能力, 有效提高实验课的教学效果。

关键词: 问题导向学习法; 分析化学实验教学; 教学改革

中图分类号: G64; O6

Teaching Reform of Analytical Chemistry Experiment and Theoretical Knowledge Integration Based on Problem-Based Learning: A Case Study of “Determination of Water Hardness”

Zhen Wu, Huaixia Chen *

College of Chemistry and Chemical Engineering, Hubei University, Wuhan 430062, China.

Abstract: An analytical chemistry experimental course should include theoretical, practical, and applicable properties, which mainly trains students to standardize operations and cultivates their ability to apply theoretical knowledge of analytical chemistry to address practical problems. Currently, a serious disconnect between experimental and theoretical knowledge exists as students are used to “taking prescriptions as prescribed”. This study applies a problem-based learning method to the experimental teaching of analytical chemistry. To promote effective integration between experimental and theoretical teaching, teaching reform was performed by improving teaching mode, perfecting course content, and optimizing examination methods. This can completely mobilize students’ learning autonomy and cultivate their abilities to observe, think, analyze, and solve problems. In this manner, the teaching effect of the experimental course was effectively improved.

Key Words: Problem-based learning method; Experimental teaching of analytical chemistry; Teaching reform

分析化学是化学学科重要的二级学科, 也是化学以及化工、生物、材料、环境、药学等相关专业的必修基础课程。与之配套的分析化学实验课的教学目的是培养学生基本的分析化学操作技能, 包括常用分析仪器的规范操作、正确的数据记录与处理方法等。更重要的是在该课程的课堂教学中, 让学生学会运用分析化学理论知识解决相关的化学问题, 培养学生发现问题、分析问题和解决问题

收稿: 2023-01-03; 录用: 2023-03-27; 网络发表: 2023-04-10

*通讯作者, Email: hxch@hubu.edu.cn

基金资助: 湖北省教科研项目(2020309); 湖北大学分析化学系列课程教学团队

的基本科研能力,从而提升学生在未来职业中的发展潜力。分析化学实验是一门单独课程,但也不是完全孤立的,该课程与分析化学理论课程密切相关,即实验内容的基本原理、基本操作和数据处理等都涉及相关的理论知识。同时,实验教学中,学生熟悉了实验项目的基本原理,练习了规范操作和数据记录与处理方法,更加深刻理解分析化学学科“量”的含义,以及误差与偏差的概念,进而主动练习规范操作,为以后的学习和就业打好基础。

在实际的教学安排中,实验课与理论课往往不同步,而且实验课与理论课的授课教师也不一致,即存在实验课与理论课教学脱节的问题。同时,实验项目涉及的理论知识,有的教师不愿意讲或者有的学生不愿意听。大多数学生在做实验时“照方抓药”,不加以思考,只是完成任务而已,实践与理论脱节,严重影响分析化学课程的教学效果^[1]。针对这些问题,我们教学团队在分析化学实验教学中坚持将实验课与理论课知识有机融合,从教学模式、课程内容和考核方式三个方面开展教学改革,充分发挥学生的学习自主性和积极性,锻炼学生理论与实践相结合的基本科研创新能力。

1 改进教学模式

问题导向学习法(problem-based learning, PBL)是强调以学生为中心的授课方法,以师生互动、小组讨论等交互性学习方式,鼓励学生提出学习中所遇到的问题,在指导学生解决问题的过程中让学生加深理解相关的理论知识。问题是打开思维的钥匙、奔向创新的源泉。王玉枝与其合作者^[2,3]将PBL应用于分析化学理论教学,提出教师不仅关注“教”,更应关注“导”,引导学生“先见森林、后见树木”,进而讲好每一门课、每一章节和每一节课。

实验教学是化学及相关专业人才培养的关键环节。相对于理论课学习而言,教师和学生对于实验课的重视程度不高,而且实验课程的教学模式和方法也比较单一和落后^[4]。我们教学团队将PBL有效地运用到分析化学实验教学中,从学习通发布预习题、实验前的课堂讲授和课堂实验指导三个阶段出发,引导学生提出问题、分析问题和解决问题,以更好地掌握每一个实验内容的重难点。其中,在学习通上发布的预习题包括选择、填空、判断和简答等多个题型,要求学生在进实验室上课前完成线上的预习任务。选择题、填空题和判断题都是客观题,可以在学习通上自动给分,教师只需要批改简答题,这不仅节约了时间,还有利于教师及时掌握学生预习题中遇到的难点,也就是答错率高的题目所涉及的知识点。

为了充分发挥预习题的作用,我们按照布鲁姆认知教育目标^[5]的六层次(知道、理解、应用、分析、评估、创造)来设计和发布预习题(以水硬度的测定为例,见表1)。

表1 “水硬度的测定”预习题

布鲁姆认知教育目标	预习测试题
知道	EDTA与Ca ²⁺ 的反应计量比为() A. 1 : 1 B. 1 : 2 C. 2 : 1 D. 无法确定
理解	测定总硬度时,酸度控制应该选择() A. 0.1 mol·L ⁻¹ HCl B. 0.1 mol·L ⁻¹ NaOH C. NH ₃ -NH ₄ Cl D. HAc-NaAc
应用	测定总硬度和钙硬度的指示剂分别是()和() A. 铬黑T B. 二甲酚橙 C. 钙指示剂
分析	配位滴定时,为什么要加入缓冲溶液?
评估	三组平行实验数据的相对平均偏差大于0.2%,可能是什么原因?
创造	请查阅相关资料和文献说明测定水样中钙镁的含量还可以采用什么方法?并设计实验方案和实验步骤

(1) 知道: 指对先前学习过的知识的记忆, 包括具体事实、概念、原理等。滴定分析法是以物质的化学反应及其计量关系为基础的分析方法。配位滴定法通常指EDTA滴定法, EDTA与 Ca^{2+} 的反应计量比是多少? 对于后续定量计算至关重要。

(2) 理解: 指把握知识材料意义的能力。水样总硬度测定时, 需要选择哪一种溶液来控制溶液的酸度? 通过预习问题的设计, 可以让学生在单纯记忆实验步骤之外, 对不同缓冲溶液进行比较, 对相关知识点进行初步总结。

(3) 应用: 把学到的知识应用于解决实际问题的能力。水硬度是表示水质的一个重要指标, 对工业生产及日常生活影响较大。通常, 采用EDTA滴定法实现水硬度的测定。为了降低滴定误差, 提高定量分析的准确性, 需要选择合适的指示剂, 那么水样总硬度和钙硬度测定的指示剂分别是什么?

(4) 分析: 把复杂的知识整体分解为多个组成部分并理解各部分之间联系的能力。运用所学知识解释为什么配位滴定中需要加入缓冲溶液? 该问题的完成, 不仅需要学生了解总硬度测定时加入 $\text{NH}_3\text{-NH}_4\text{Cl}$ 控制酸度的原因, 也需要深入理解配位滴定的基本原理及其应用。

(5) 评估: 指对观点、数据、结果等作价值判断的能力。实验结束后, 需要对数据进行处理和评估, 判断结果的精密度和准确度。通常, 三次平行实验数据的相对平均偏差被用来衡量精密度的高低, 要求学生对相对平均偏差大于0.2%的数据进行判断, 并分析原因是什么? 学生会在头脑里回顾实验过程, 推断误差来源。

(6) 创造: 强调创造、创新以及解决问题的能力。让学生查阅相关资料和文献, 测定水样中钙镁含量还可以采用什么方法? 并要求他们设计实验方案和步骤。通过教学改革与实践, 我们发现学生能够自觉提前预习、熟悉实验内容并及时发现自己有疑惑的知识点, 进而带着问题做实验, 实验结束后能够更深刻地理解相关知识点, 学生的学习自觉性和主动性提高, 而且针对不理解的问题, 学生还能主动查阅理论课本, 从而实现理论指导实践、理论知识与实验内容有机融合的目的。

之后, 在实验前的课堂讲授阶段, 教师在讲授实验目的、原理和步骤等内容时, 不应一味追求“讲透、讲深”^[6], 因为此情况下大多数学生可能不愿意听或者听不懂, 他们要么觉得实验课很简单、没必要讲那么久, 要么觉得实验涉及的知识点太多太深。为了充分调动学生的积极性, 可以采用关键点“留空、提问、互动”的方式, 让学生意识到实验课程学习的乐趣和重要性, 愿意仔细听、努力学并认真思考。此外, 在实验教学过程中, 尝试“观察-分析-解答-验证-归纳”循环教学方法, 反哺理论教学。在水硬度的测定实验课中, 教师事先将实验过程每一步骤的现象与反应机理留空, 在课堂讲授阶段穿插提问, 加强师生之间的互动。比如, 水样总硬度和钙硬度测定的实际意义是什么? 能不能用总硬度减去钙硬度来计算镁硬度? 实验过程中为什么要调节pH? 终点溶液颜色突变的原理是什么? 教师和学生一起结合实验操作演示环节, 针对预习题中错误率高的问题进行讨论、归纳和总结。

最后, 学生进入具体实验操作环节, 通过预习题的测试和实验前的讲授, 学生不仅熟悉了实验流程, 还能带着问题做实验。但是, 由于每个学生学科基础与学习能力不同, 在实验过程中呈现的操作技能和规范度也各不相同。比如, 由于操作不规范, 很多学生三次平行实验结果的相对平均偏差比较大, 实验结果的准确度和精密度都不理想。这就需要教师在实验操作阶段能够迅速把握每个学生的特点, 重点关注操作不规范、实验现象不对的同学。而PBL问题导向学习法, 恰好与实验操作过程中进行个性化指导的目标符合。面对学生的不规范操作, 教师不应该直接告知或亲自动手示范, 而应该通过提问和互动的方式与学生进行快速探讨, 基于授之以“鱼”不如授之以“渔”的目的, 让学生知其然更知其所以然。比如, 有的学生在滴定过程中, 不断问老师: “老师, 我的溶液颜色是终点了吗? 还要不要继续滴?”, 如果教师直接告诉学生是否为滴定终点, 那么很可能下次他还是不会判断。相反, 如果教师以提问模式进行回答: “你得到终点了吗? 如果不确定, 先记一个读数, 再滴一滴或半滴, 看哪个颜色是突变点?” 学生按着教师的提示进行操作和分析, 不仅学会了颜色突变的判断, 还能学习到实验技巧, 这也是实验教学的目的之一。将具有启发式的PBL教学模

式贯穿到实验课的整个教学过程中,学生在动手操作的同时,还能思考每一个步骤背后的理论依据,达到理论指导实践、规范实验操作,而且实验现象和结果反过来支撑理论知识的目的,进而实现实验与理论教学的有机融合。

2 完善课程内容

2.1 实验教学穿插理论知识的讲解

在分析化学实验教学过程中,我们要求学生以理论知识对实验现象和结果进行分析,加强学生对理论知识的掌握,有效培养敏锐的观察能力、求真的科学精神和严谨的学习态度,实现实验内容与理论知识有效融合的目的。

水硬度的测定实验包括总硬度的测定和钙硬度的测定两个指标,即(1)总硬度的测定,先向水样中加入 $\text{NH}_3\text{-NH}_4\text{Cl}$,然后加入铬黑T指示剂,用EDTA滴定至酒红色突变为纯蓝色,记录消耗的体积 V_1 ;(2)钙硬度的测定,先往水样中加入 NaOH 使 Mg^{2+} 沉淀完全,然后加入钙指示剂,用EDTA滴定至酒红色突变为纯蓝色,记录消耗的体积 V_2 。根据配位反应和化学计量比,由EDTA浓度、 V_1 和 V_2 分别计算出水样的总硬度、钙硬度和镁硬度。该实验的步骤比较少,操作也比较简单,包括定量移取水样、溶液酸度调节、酸式滴定管滴定、溶液颜色的观察和数据的记录与处理。在传统的教学过程中,教师直截了当地将所有实验内容和操作要点进行讲解,学生做实验时一字不漏地照着书本或PPT上面的步骤进行实验,缺少分析和思考。例如,钙硬度的测定,需要先加 NaOH 溶液使 Mg^{2+} 沉淀,学生只是按照实验步骤往水样中加入 $2\text{ mL } 6\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ NaOH}$,并没有关注为什么要调节水样的pH?也不思考此时pH到底是多少?长此以往,学生很难运用所学的理论知识解释和判断实验现象的对错与结果的准确性,更不用说提出什么新的发现和创新。

针对分析化学实验与理论教学的脱节问题,我们在实验开始前的课堂讲授阶段穿插讲解相关理论知识(图1),这就需要指导教师愿意讲、学生愿意听。在实验操作前,任课教师都会花时间对实验目的、原理、仪器试剂、步骤、数据记录及处理进行讲解,除此之外,教师要适时穿插讲解相关的理论知识^[7]。以水硬度的测定为例,讲到实验试剂“ $\text{NH}_3\text{-NH}_4\text{Cl}$ ”和“ NaOH ”时,可以让学生思考“调节溶液pH的作用是什么?”,并让学生计算一下两种试剂分别加入溶液后的pH是多少?进而引出理论知识“溶液酸度的计算、EDTA理化性质、副反应与副反应系数”等。讲到“铬黑T”和“钙指示剂”时,可以向学生提问“为什么测定总硬度和钙硬度要用到两种指示剂?选择指示剂的标准是什么?”,从而引导学生回顾“常用的金属离子指示剂、变色原理和突跃范围”等相关理论知识,学生也能明白滴定终点时溶液由红色突变为蓝色的原因,并通过生动有趣的实验现象加强记忆与理解。实验结束后,学生需要对数据进行计算和分析,教师在点评过程中,可以让学生运用“误差、偏差、有效数字”等理论知识对其结果进行判断。在整个实验教学过程中,在合适位置以“留空式提问、师生互动”等方式将理论知识进行穿插性讲解,展示分析化学知识点的逻辑关系^[8],起到理论支撑实验、实验反哺理论的目的。

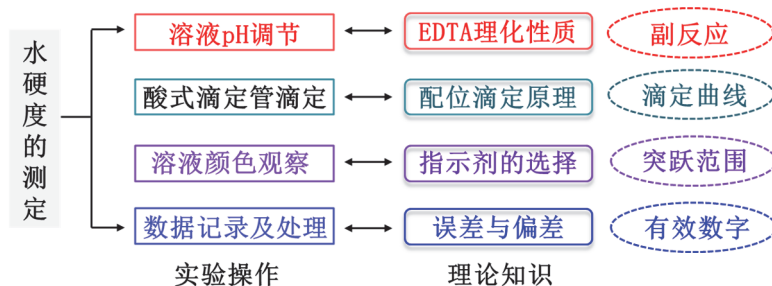


图1 水硬度的测定实验中实验操作与理论知识的融合

2.2 实验内容适用于生活实际

分析化学是一门实践性较强的化学基础课程,感兴趣的学生在学习过程中通常会提出一些问题:分析化学实验课程的学习对生活和社会起到什么作用?相关专业的毕业生能从事哪些工作?如何运用所学知识解决实际生活中遇到的问题?等等。在传统的实验教学过程中,教师习惯性按照课本教学,仅向学生传授实验书上的内容。而学生听完课和做完实验却不知道到底有什么实际用途。所以,在实验课程内容的设计中加入一些新闻中经常报道的实际问题,如备受关注的食品安全问题(孔雀石绿、三聚氰胺奶粉、苏丹红鸭蛋、瘦肉精、工业明胶等),可以让学生掌握如何利用实验课学到的知识分析、鉴定和检测这些有害物质,激发学生的学习兴趣,拓展实验课程在实际生活中的应用。

我们在分析化学实验课中引入日常生活中常见的样品,如水硬度的测定,直接采用实验室的自来水或者让学生自己准备水样进行实验;测定补钙制剂中钙的含量,购买葡萄糖酸钙制剂或让学生自己带上补钙钙片作为实验样品;维生素C的含量测定,以番茄、橙子或橘子等作为检测样品,让学生榨取汁液进行实验。水硬度的测定原理和方法还可以用来监测水环境重金属污染程度,确保用水安全;测定并比较不同奶制品(纯牛奶、酸奶、高钙奶、奶酪等)中钙的含量,为人们挑选合适的奶制品提供依据;实现硅酸盐物料中 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 CaO 、 MgO 的测定,为硅酸盐矿物的存储与利用提供数据参考。学生在实验课中测定生活中常见的样品之后,对实验原理、步骤和结果十分感兴趣,有着更好的参与感和成就感。

在基本理论知识和实验基础上,设计开放实验,可以培养学生分析和解决生活中实际问题的能力。例如,让学生完成“蛋壳中钙含量的测定”,学生通过查阅相关资料,设计实验方案,包括实验目的、实验原理和实验步骤,开展实验,并对实验结果进行分析和讨论,最后完成实验报告。同时,实验课与理论知识有效融合的目的就是让学生能够运用化学理论知识设计实验并研究实际课题。例如,鼓励学生申请大学生创新创业项目。大学生创新创业项目是大学生个人或团队在导师指导下自主完成创新性研究项目的选题、文献综述、实验设计与实施、总结与讨论等,即首先撰写申请书,从拟解决的关键科学问题出发,确定项目名称,阐明项目的目的和意义,进而提出独特的解决思路和策略,设计具体的实施方案。我们提倡的问题导向学习法,正好与项目申请中的提出关键科学问题的目标吻合。此外,独特的解决思路和策略也是项目能否申请成功的关键,这也要求学生的想法足够创新、有特色,最好是尚未见报道。因此,将实验教学改革与大学生创新创业项目结合,有望提高大学生科研创新能力,为今后的升学或就业奠定扎实的基础。

3 优化考核方式

公平、合理的考核方法能够有效激发学生的学习主动性和自觉性。为了客观评价学生的学习效果,激发学生的学习自觉性,我们采用“实验学习前(预习考核)+实验学习中(平时考核)+实验学习后(期末考核)”的多元闭环量化考核方式^[9],并对每个环节的评判标准进行详细的量化(表2)。实验预习考核可以鼓励学生提前熟悉实验原理、关键步骤,明确重点与难点,做到“有备而来”,培养学习的主动性。尽管实验现象丰富多彩,能够引起学生的学习兴趣,但是对于学习自觉性差的学生,不一定能够做到自觉主动完成预习,因此以学习通进行线上预习题的发布和分数的记载可以有效督促学生按时完成每一个实验的预习,进而保证学生实验过程中“心中有数”。

表2 多元闭环量化考核体系

实验学习前 (预习考核)占20%		实验学习中 (平时考核)占40%			实验学习后 (期末考核)占40%	
预习题	预习报告	实验操作	实验结果	讨论	理论考试	操作设计
50%	50%	40%	40%	20%	60%	40%

优化考核方式,增加平时考核的比例,即预习考核和平时考核共占比60%,有助于改变学生的学习习惯,避免期末突击复习、临时抱佛脚。期末考核由理论考试和操作设计两部分组成:理论考试主要考查学生对实验原理、关键步骤、实验现象与数据处理等内容的掌握程度,这些内容正好与分析化学理论知识紧密相关,从而辅助理论教学;操作设计主要考查学生实验方案设计、分析和解决问题的能力。多元闭环量化考核方式可以有效促进学生掌握分析化学实验相关知识点的逻辑性、规律性和系统性,进而提高实验课程的教学质量。

4 实验教学改革成效

4.1 教师成效

授课教师不再单向、直接地传授课程内容,而是通过提问、师生互动、小组讨论等方式,将问题导向学习法灵活地运用到分析化学实验课堂。他们根据授课内容提出有意义、启发性问题,把问题提升到课题的高度,用科学的角度去思考和解决问题。越来越多的教师申报教研项目,在查阅、分析和归纳相关资料的过程中,加深对相关问题的理解,并将教研成果通过论文形式发表和分享。他们还在假期进入企业、工厂进行学习交流,把生活生产中的实例引入教学,提高实践教学能力。结合自己的教学经验和教研项目执行过程中的收获,积极参与到教材编写工作中,把与分析化学相关的前沿科学问题添加到课程内容中,编写出更符合现代学生学习和发展的课本。因此,我院分析化学已经建设成为国家一流课程。

4.2 学生成效

问题导向学习法是以学生为中心的教学模式,提高了教学过程中教与学的交互性,提高了学生掌握知识点的效率,进而培养学生主动思考、独立解决问题的能力。学生成为实验课堂上的中心,更多地关注学习过程,认真做好每一个实验。多年以来,学生的分析化学实验课程的成绩普遍较好,许多学生以分析化学为考研和就业方向。也有一些学生积极参与分析化学专业教师的科研项目研究,本科生每年平均发表SCI论文5篇、申请专利2项,申报大学生创新创业和“互联网+”项目各3项,科研创新能力和专业发展潜力得到有效提升。

5 结语

本文将问题导向学习法应用于分析化学实验课程的课堂教学,从教学模式、课程内容和考核方式三个方面开展教学改革,以促进实验与理论教学的有效融合,提高实验教学效果。不再通过单向讲授的方法“讲透、讲深”课程内容,而是通过关键点“留空、提问”的形式,激发学生自主学习的兴趣;分析化学实验课程内容紧密结合理论知识并引入生活实际样品,达到理论指导实践、规范实验操作,而且以实验现象和结果验证理论的目的,同时让学生深刻理解分析化学学科的重要性;采用“实验学习前(预习考核)+实验学习中(平时考核)+实验学习后(期末考核)”的闭环量化考核方式,充分调动学生的学习自觉性,提高学生创新实践和科研能力,有效提高教学效果。

参 考 文 献

- [1] 古凤灵,宋永海,汪莉. 山东化工, 2020, 49 (22), 164.
- [2] 王玉枝. 大学化学, 2017, 32 (5), 65.
- [3] 王玉枝,李颖,杨屹,宦双燕,吴硕,文志宁,苏星光,张文清. 大学化学, 2019, 34 (4), 39.
- [4] 马伟,顾晶晶,葛笑兰,王利利,沈悦. 广州化工, 2022, 50 (15), 247.
- [5] 刘云凤,阎小青,乔增杰. 大学化学, 2021, 36 (1), 2006046.
- [6] 张卓旻,黄路,李攻科. 大学化学, 2020, 35 (3), 32.
- [7] 尚晓娜,韩生,晏金灿,唐意红,张素霞,蔺华林,李原婷. 广州化工, 2022, 50 (10), 176.
- [8] 陈怀侠,党雪平,葛伊莉,黄建林. 大学化学, 2020, 35 (9), 53.
- [9] 杨绍明,丁绍卿,李玲玲,查文玲. 教育教学论坛, 2016, No. 22, 281.