

物理化学理论课与实验课的融合教学模式探索

贾娜尔·吐尔逊*, 王晶晶, 杜光明

新疆农业大学化学化工学院, 乌鲁木齐 830052

摘要: 开展物理化学理论课与实验课相融合的教学。理论课教学过程中找准切入点融入实验原理, 加深学生对知识的理解, 调动学生的学习兴趣和求知欲, 课堂气氛活跃, 学生融入课堂并互动。实验课上引导学生学习实验设计思路与方法, 提出严格的数据记录与处理要求, 学生实验报告的逻辑性增强, 可独立对实验结果进行讨论, 能够正确分析实验误差可能的原因, 对实验方案、方法和仪器可提出改进的意见和建议。通过理论课与实验课融合的教学模式可培养学生的逻辑思维能力和实践能力。该教学模式的实施需要学校和系部强有力的政策保障。

关键词: 物理化学; 理论课; 实验课; 融合教学模式

中图分类号: G64; O6

Synergistic Teaching Methodology for Theoretical and Experimental Courses in Physical Chemistry

Jianaer Tuerxun *, Jingjing Wang, Guangming Du

School of Chemistry and Chemical Engineering, Xinjiang Agriculture University, Urumqi 830052, China.

Abstract: A new teaching methodology was explored to synergistically combine theoretical and experimental courses in physical chemistry. Experimental principles were introduced in the theoretical course by selecting a suitable point of introduction. Students' understanding of the subject was enhanced, and so was their interest in learning and acquiring more knowledge. The class atmosphere was active; the students were better integrated into the classroom environment and interacted better with each other. Teachers should guide students on learning the thought process and methods of designing experiments, and stipulate specific requirements on data recording and processing during experimental courses. The experimental reports of the students were more logical than before. They were able to correctly analyze experimental errors, and could propose suggestions on the experimental approach, experimental method, and instrumentation. Thus, this methodology can foster logical thinking capabilities and nurture the practical abilities of students. The implementation of this teaching methodology requires strong enforcement by the school and the department.

Key Words: Physical chemistry; Theoretical course; Experimental course; Synergistic teaching mode

物理化学是化学的理论基础, 概括地说是用物理的原理和方法来研究化学中最基本的规律和理论, 它所研究的是普遍适用于各个化学分支的理论问题。因此具有理论性强、抽象概念多、公式多、数学推导过程复杂等特点。初学者会对此出现一定的畏惧, 如果教学方法不当, 会影响学生的学习热情和学习信心。为了调动学生的学习兴趣和积极性, 改善教学效果, 很多教师探索了不同的教学方法, 例如, 问题驱动教学法^[1]、案例教学与翻转学习结合的教学法^[2]、任务驱动教学法^[3]、

收稿: 2022-02-08; 录用: 2022-03-21; 网络发表: 2022-04-01

*通讯作者, Email: hozejamar@163.com

基金资助: 新疆维吾尔自治区高校科研计划自然科学基金项目(XJEDU2021Y017)

Sandwich教学法^[4]、问题探究式教学法^[5]、课程论文教学法^[6]等。北京航空航天大学在分子化学^[7]和物理化学^[8]课程中,江西师范大学在分析化学^[9]和仪器分析^[10]课程中,分别探索了理论课与实验课融合的教学模式。

笔者在近几年的教学过程中,同时承担物理化学和物理化学实验课程的教学工作,探索物理化学理论课与实验课融合的教学模式。教学实践证明,该教学模式与传统的教学模式对比,更有助于活跃课堂气氛,让学生深度融入课堂,有助于培养他们的科学思维能力和实践能力。以下详细介绍该教学模式的设计原则、实施过程以及教学效果。

1 物理化学和物理化学实验教学中存在的问题

受很多客观因素的影响,很难做到物理化学和物理化学实验课程内容的同步,理论课教师和实验课教师不是同一个,理论课教师重点讲解实验仪器、操作和数据处理,只简单提及相关知识。以上原因导致理论课和实验课脱节,实验课对理论课的学习没有起到促进的作用。学生在实验课上,只是机械地完成实验步骤,缺少对相关理论知识和实验设计的深入思考,也很难培养好学生的科学思维能力和实践能力。

2 理论课与实验课融合教学模式

2.1 实验原理融入到理论课教学过程

将实验内容融入到理论教学过程中,原则是不去大篇幅地讲实验课内容,而是找准切入点,提出“问题”,让学生在答题的过程中掌握实验原理。下面以“燃烧焓的测定”实验为例,讲述该方法的实施过程。与“燃烧焓的测定”实验有关的理论知识点贯穿于“热力学第一定律”一章的“恒容热、恒压热及焓”“摩尔热容”“化学反应焓”和“标准摩尔反应焓的计算”等节^[11],详见表1。

表1 “燃烧焓的测定实验”与理论教学相融合

章节	切入实验原理的知识点	问题	教学目标
恒容热、恒压热及焓	$Q_V = \Delta U$ (式1) $Q_p = \Delta H$ (式2)	【问题1】如何测定蔗糖的燃烧焓?	掌握公式的含义和应用,领会公式是人们科学地解决问题的工具,培养学生科学思维能力
摩尔热容	$Q_V = \Delta U = nC_{V,m}\Delta T$ (式3) 氧弹式量热计测恒容热的公式: $Q_V \cdot m - Q_{V, \text{燃丝}} = K\Delta T$ (式4) 系统、环境、途径	【问题2】获得恒容热需要测定哪些物理量? 【问题3】仪器的热当量(比热容) K 与 $C_{V,m}$ 的联系与区别 【问题4】蔗糖在氧弹式量热计中燃烧时,哪些是系统,哪些是环境? 此系统属于哪类系统? 【问题5】如何测定(环境的)热当量? 【问题6】系统和环境通过哪些途径进行热交换? 这些热交换对温度差的测量有哪些影响? 【问题7】如何消除系统与环境的熱交换对温度差测量的影响?	掌握公式(3),以及氧弹式量热计设计的原理、构造,雷诺校正图法的原理、 $C_{V,m}$ 的物理意义。培养学生自学能力
化学反应焓	燃烧焓的定义: 1 mol 物质在等温、等压下与氧进行完全氧化反应的焓。定义式: $\Delta_c H_m = Q_{p,m}$ (式5) $Q_{p,m} - Q_{V,m} = \sum [v_{B(g)}]RT$ (式6)	【问题8】实验中如何保证样品完全燃烧? 【问题9】式⑥中,蔗糖燃烧反应的 $\sum v_{B(g)} = ?$, 温度 T 如何测得?	理解“定义式”和“公式”的区别,领会建立“定义式”和“公式”的最终目的均是了解决实际问题。这有助于培养学生的科学思维能力
标准摩尔反应焓的计算	$\Delta_r H_m^\ominus = -\sum [v_B \Delta_c H_m^\ominus(B)]$ (式7)	【问题10】燃烧焓测定的意义是什么? 【问题11】查阅更多燃烧焓测定的方法	培养学生解决问题的能力 and 自学能力

公式1和2是“恒容热、恒压热及焓”一节的重点,它们将状态函数的变化值 ΔU 和 ΔH 分别与可测量的热效应 Q_V 和 Q_P 联系起来,为热力学的研究带来极大的方便。这里第一次引入实验,通过【问题1】让学生领会公式1和2的作用和意义。恒容热的计算公式3是“摩尔热容”一节的重点,介绍氧弹式量热计——测定恒容热的装置,给出实验原理中计算燃烧焓的公式4。通过比较式3和式4,学生可以更好地理解 $C_{V,m}$ 的物理意义和公式3的含义及用途。通过对【问题5-7】的思考,学生不仅可以复习贯穿整个热力学的“系统”“环境”“途径”的概念,并通过量热计的工作原理,加深对这些概念的理解。布置【问题7】,让学生提前学习该实验的数据处理方法——“雷诺校正图法”的原理(图1)。

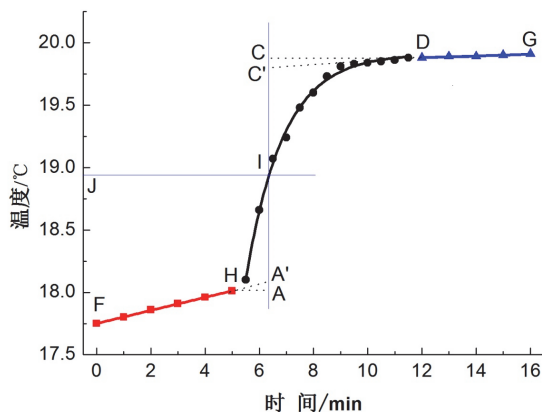


图1 雷诺图解法温差校正图

因受时间限制,“雷诺校正图法”在实验课上只简单讲授,很多学生无法完全掌握,导致在实验过程中较容易犯如下错误。1) 点燃样品前,未将环境的温度(I点的纵坐标)调节到燃烧前的温度(H点的纵坐标)和燃烧后的温度(D点的纵坐标)之间,导致无法用此方法对温度差进行校正。2) FH段和DG段的数据太少而无法外延;3) FH段和DG段外延的方法不正确。因此,“雷诺校正图法”的原理必须在实验课前掌握。

公式5和6为“化学反应焓”一节的重点。讲授燃烧焓的定义,通过【问题8-9】,让学生掌握“燃烧焓”的概念,以及定义中“恒压”和“完全氧化”的含义,掌握燃烧反应方程式的写法。式7为以标准摩尔燃烧焓计算标准摩尔反应焓的公式,是“标准摩尔反应焓的计算”一节的重点。通过“燃烧焓的测定”实验可以测定物质的燃烧焓,将测定值代入式7即可求出指定反应的摩尔反应焓,以便解决更多实际问题。通过该教学模式,学生将更好地理解基础热数据测定的上述重要意义。为拓展学生视野,布置【问题9】,学生通过课下查阅资料回答此问题。

上述实验原理融入到理论课教学过程的授课模式可切实促进学生对理论课知识点的理解和实验原理的掌握。

2.2 引导学生学习实验设计思路与方法

物理化学实验项目内容相对复杂,对实验数据处理的要求较高,其教学目标以培养学生的实验设计能力和动手能力为主。若在做实验前实验原理掌握不好,则学生在实验过程中,无法从实验设计的高度学习实验。只有在课前对实验原理、数据处理方法及原理“胸有成竹”,实验过程中学生才能真正“关注”实验设计。

实验原理中所运用的公式一般都不是理论课上学习的公式原型。如表2所示,“蔗糖水解反应速率常数的测定”和“分光光度法测定弱电解质电离常数”实验中所用公式分别为式9和式11,分别由理论课中的式8和式10演变而来。这些实验根据物理学原理(物质旋光度与浓度的定量关系,物质吸光度与含量的定量关系)和数学推导,将式8和式10分别改写为式9和式11,使实验变得简单易行。用此教学模式可让学生体会到,理论课上学习的公式根据具体实验可灵活运用。

表2 部分实验的实验设计方法

实验题目	实验原理	需要测定的物理量/实际测定物理量	测定方法
蔗糖水解反应速率常数的测定	$\ln C_A = \ln C_{A0} - kt$ (式8) $\lg(\alpha_t - \alpha_\infty) = \lg(\alpha_0 - \alpha_\infty) - kt/2.303$ (式9)	任意时刻蔗糖的含量(C_A)/任意时刻体系的旋光度(α_t)和反应完全时体系的旋光度(α_∞)	将所测旋光度值直接代入公式
分光光度法测定弱电解质电离常数	$K^\ominus = \Pi(C_B/C^\ominus)^{\nu_B} (C^\ominus RT/p^\ominus)^{\Sigma \nu_{B(O)}}$ (式10) $pK = pH - \lg \left[\frac{A_{\lambda_a}^{a+b} - k_{\lambda_a}^a C_a}{k_{\lambda_a}^b} \right] / \left(\frac{k_{\lambda_b}^{a+b} k_{\lambda_a}^b - k_{\lambda_a}^a k_{\lambda_b}^b}{k_{\lambda_b}^a k_{\lambda_a}^b - k_{\lambda_b}^b k_{\lambda_a}^a} \right)$ (式11)	弱电解质碱式结构和酸式结构的含量/混合溶液的吸光度和单组分物质的摩尔吸光系数	分光光度法
二元液系气液平衡相图的绘制	相图的横坐标是溶液的组成, 纵坐标是沸点	组分的含量和沸点/溶液的折光率和沸点	绘制溶液折光率对含量的工作曲线

此外, 三个实验中含量的测定均采用了物理分析法。物理分析法的种类非常多, 具体实验中, 需要根据体系的特点选择。例如, “蔗糖水解反应速率常数的测定” 实验中, 反应物蔗糖、产物果糖和葡萄糖均具有旋光性, 根据旋光度与浓度的定量关系, 可用旋光度法测含量。“二元液系气-液平衡相图的绘制” 实验中, 用折光率来测定含量更方便。公式的灵活运用、含量测定方法的选择等均为实验设计的重要组成部分。实验课程中的实验项目都非常经典, 每一个实验在实验设计上都有各自鲜明的特点。教师在课堂上重点突出实验设计的亮点, 引导学生“欣赏” 实验设计中“独特的美”, 不仅可以培养学生的科学思维能力、实验设计能力, 还能让学生深刻感受科学研究的魅力。

2.3 结合分析化学提出严格的数据处理要求

得到正确的实验结论离不开科学、合理的数据处理方法。通过先修的分析化学理论课和实验课, 学生掌握了基本的误差分析和数据处理方法及原理。物理化学实验中学生需要将这些知识运用于数据处理过程中, 以得到正确的实验结论。为了减少实验误差, “燃烧焓的测定” 实验中用雷诺校正图测定反应前后的温度差, “凝固点降低法测定高聚物摩尔质量” 实验中通过步冷曲线获得凝固点, “分光光度法测定弱电解质电离常数” 实验中通过pH不同的四组溶液获得甲基红的电离常数。具体的数据处理原理如表3所示, 可知不同的实验数据处理方法各不相同, 所遵循的数据处理原理均为校正或避免各类误差。学生只有结合分析化学原理才能掌握好物理化学实验的数据处理方法。教师要做好分析化学原理和物理化学实验的有效衔接, 通过正确引导、课后作业等, 帮助学生在实验过程中正确运用分析化学的原理减少实验误差、避免错误操作、正确处理数据, 以获得正确的实验结论。

表3 若干实验的数据处理方法及其原理

实验题目	公式	需测定数据	数据处理方法	数据处理原理
燃烧焓的测定	$Q_V \cdot m - Q_{V, \text{燃烧}} = K \Delta T$ (式12)	燃烧反应前后的温度差值	雷诺校正图法	校正(搅拌和散热引起的)仪器误差
凝固点降低法测定高聚物摩尔质量	$M_B = K_f \cdot m_B / [(T_f^* - T_f) \cdot m_A]$ (式13)	溶液和溶剂的凝固点	绘制步冷曲线	校正(凝固热引起的方法误差)
分光光度法测定弱电解质电离常数	$pK = pH - \lg(c_b/c_a)$ (式14)	混合溶液的吸光度和pH值	测四个不同溶液的pH值	避免随机误差

对实验报告中的“数据记录与处理”和“实验结果与讨论”部分提出严格的要求。“数据记录与处理”部分要求学生制作简单明了的记录数据表格, 用软件或手动绘制图, 详细记录计算过程等。“实验结果与讨论”部分要求学生将实验值与文献值对比, 对误差来源进行分析, 对实验手段和方

法提出改进意见等。例如,“凝固点降低法测定高聚物摩尔质量”实验所采用的冰点仪,操作难度大,经常会出现测定凝固点过高或过低等情况,对此,学生在实验报告中提出了对冰点仪的改进意见。这对学生创新能力的培养有很大的意义。

2.4 完善制度保障

教学改革的推进不仅需要科学的策略,更需要强有力的政策支持。物理化学和物理化学实验是两门独立的专业课程。理论课与实验课相融合教学模式的推进需要理论课教师与实验课教师之间的紧密配合与合作,需要形成教学团队。学校应以教改项目立项的方式支持试点课程,院系应大力推进教师之间的合作,鼓励教师积极思考融合式教学模式的具体教学实践与深入改革。从教育管理制度上给予教师充分的空间挖掘教学内容、开展教学改革、尝试不同的教学方法和手段,通过奖励制度肯定教学团队及教师对新教学模式的付出和成效。系部应对教学过程进行监督、管理和指导,及时研究分析在教学改革运行过程中得到的师生反馈意见,对有效的意见进行采纳,进一步服务于教育教学。另外,适当增加实验所需仪器设备和常用耗材,以满足学生更好地进行实验课程的学习。

3 理论课与实验课的融合教学模式对教学效果的影响

3.1 加深对知识的理解

物理化学概念大多较抽象,教师若不注重授课方法,学生无法深入理解知识点,只会死记硬背,对提升教学效果非常不利。例如,“燃烧焓的测定”实验涉及到燃烧焓、恒容热、恒压热、摩尔定容热容等较多知识点,且这些知识点的讲授贯穿于整章内容。而实验课一般很难做到理论与实验在时间上的一致性。将实验原理融入到理论教学环节中,精心设计循序渐进的“问题”,不仅可以让学生深入思考概念和公式的含义,避免学生对知识的死记硬背。此外,还可以将抽象的概念和公式具体化,例如,通过量热计的“热当量”学习“定容热容”,将式3演变为式4,采用具体的仪器及其物理参数学习定容热容、恒容热的概念,这非常有助于学生对知识的理解与掌握。

3.2 提高学生的学习兴趣,培养自学能力

理论与实验切入点处,所设计的“问题”不仅符合理论课的逻辑,更是将实验设计思路巧妙地传授于学生,让现阶段的学习过程充满了对后期学习内容的期待。公式的灵活运用,例如,式3、8、9分别演变为式4、9、11;抽象概念的具体化,例如,恒容热用氧弹式量热计测量,均有助于调动学生的学习兴趣。

学生通过深入思考、相互讨论和课下查阅资料等方式回答切入点处的“问题”,对实验原理的学习在一个个“问题”的解答过程中实现。实验课上,教师引导学生以科学辩证的态度看待每一个“实验”,鼓励学生基于自己的认知水平,对实验设计、实验方法提出改进的意见和建议。这些都可以提高学生的自信,培养自学能力。

与往年对比,学生实验报告的逻辑性增强,能够对实验结果进行较深入的讨论,能够正确分析实验误差,甚至对实验方案、方法和仪器提出改进的意见和建议。

3.3 培养学生逻辑思维能力和实践能力

逻辑思维能力是科研能力的重要方面^[12]。实验原理融入理论课的教学模式可以培养学生的逻辑思维能力。例如,“燃烧焓的测定”实验原理的讲授思路如下:式2是解决“如何测定燃烧焓”这一问题的理论模型。通过式3、5、6,可以将这一理论模型用于实际样品燃烧焓的测定。在氧弹式量热计中,为了样品称量方便以及扣除燃烧丝对测定结果的影响,式3改写为式12。根据式7,通过物质的燃烧焓可计算反应的焓变,以解决更多的实际问题。这些知识贯穿于四节教学内容,用理论与实验课相融合的教学模式,教师通过精心设计,将每一个实验“解决问题”的思路均可完美地授予学生,培养学生“实验目的是什么,怎么达到目的,如何达到目的,该实验服务于哪些实际需求”的逻辑思维能力。

实践能力是科研能力的另一重要内容^[13]。理论课与实验课相融合的教学模式可以提升学生的动手操作能力。通过该教学模式,在理论课学习过程中让学生基本掌握实验原理,实际上也是为了在

实验课中避免由于实验原理不清楚而导致的偏离实验目的、盲目操作等。通过在理论课程中学习实验原理,学生在实验前心中构建实验过程的基本“蓝图”,对结果有自己的预想,事先想好实验可能出现的问题及应对措施等,并在实验过程中能够及时发现异常,及时纠正操作方法,获得正确的实验结果。这正是在培养学生的实践能力。

此外,鼓励学生发现实验方法存在的问题并提出改进意见和建议,学生在教师引导和兴趣驱动下的课外学习等,都有助于培养其创新能力^[14,15]。

3.4 教学实践及教学效果评价体系

笔者在2021–2022上学期和2020–2021上学期分别承担应用化学181班和应用化学171班的物理化学I和物理化学实验I课程的讲授。前者采用物理化学理论课与实验课融合的教学模式,而后者采用传统教学模式。表4中对这两个班级的教学实践进行了对比。两个班学生数量和学生水平相近,理论课和实验课的教学周期、学时数、教学大纲、实验项目相同。通过比较学生对课堂的参与度、实验报告完成情况、理论和实验课程考试成绩,以及课上课后与学生交谈等方式得到学生的如下反馈:进行教学改革后,学生对相关理论知识的掌握程度更高,做实验前能够做好充分的准备,实验思路更清晰,能够很好地分析实验误差,少出现操作错误,实验结果合理,讨论更全面。

表4 物理化学理论课与实验课的融合教学模式与普通教学模式教学实践对比

专业班级	课程	教学周期	学生的数量	学生的水平及上课模式	学生的反馈
应用化学 181班	理论课 实验课	1–16周 4–16周	44	统招生,大二下学期,理论课与实验课的融合教学模式	概念、公式、理论理解的更清楚 实验前对实验过程有自己的构思,对实验结果有自己的预期,能够分析实验误差,实验报告中对实验结果能够做出较全面的讨论
应用化学 171班	理论课 实验课	1–16周 4–16周	48	统招生,大二下学期,普通教学模式	有些概念、公式、理论的含义理解的不够深刻 部分学生实验思路不清晰,无法预想可能的实验结果,不能区分错误的实验结果和实验误差,实验报告缺乏对实验结果的讨论或讨论不全面

实验课考核方法如图2所示。平时成绩和期末考试成绩各占总成绩的50%。平时成绩组包括实验操作成绩20%,实验报告册成绩30%,实验报告册成绩中预习题要、数据记录与处理、结果与讨论和思考题分值分别为5%、10%、10%和5%。期末考试试题中实验原理相关的理论知识占20%,实验操作与数据处理相关的知识占30%。对应用化学181班和应用化学171班的物理化学实验I课程成绩进行

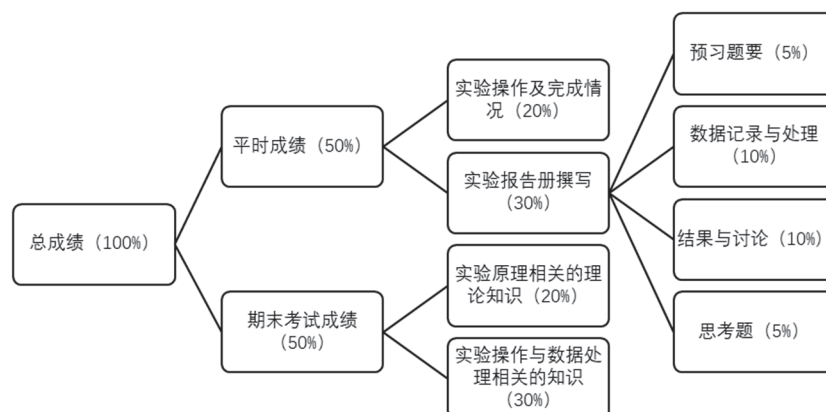


图2 实验课成绩评价方法

了对比。由图3可见,普通课堂学生成绩达标率为94.3%,实施课堂改革的班级成绩达标率达到了100%。传统课堂中仍有5.7%的同学成绩未达标,在改革课堂中,基础薄弱的学生通过实验原理融入理论课堂的教学方式,在实验课前也能够做好充分的准备,实验过程中通过正确的引导使学生对实验的专注度增加,能够较好地完成实验任务,实验报告质量也有明显的提高。此外,成绩在80分以上的学生在普通课堂中占45.2%,在改革课堂中占32.1%,改革后班级成绩显著提高。

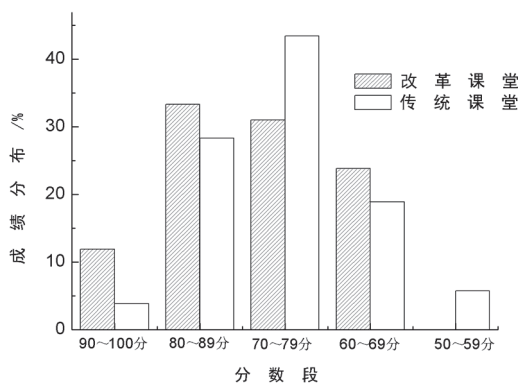


图3 改革课堂与传统课堂的成绩对比图

4 结语

理论课与实验课相融合的教学模式不仅提高了学生的学习兴趣、学习自信,帮助学生克服对课程的畏惧心理,还使课堂气氛变得活跃,让学生参与讨论,主动思考问题,课下主动学习。让学生扎实地掌握基础知识的同时还培养了自学能力。理论知识与实验密切结合的教学模式有助于锻炼学生的科学思维能力,实验教学中对实验设计、实验数据处理原理和方法的重点突出,有助于学生实践能力的培养。学校和系部通过设立教研项目、奖励教师等方式保障新教学模式的顺利进行,并对教学过程进行有效的监督与管理,以便深入进行教学改革。

参考文献

- [1] 王文英. 衡水学院学报, 2014, 16 (4), 94.
- [2] 王建芳, 杨和平, 周春生, 刘永亮, 狄燕清, 元飞. 化学教育(中英文), 2020, 41 (18), 23.
- [3] 刘志明. 教育与教学研究, 2016, 30 (2), 87.
- [4] 赵慧平, 陈嵘. 化学教育(中英文), 2019, 40 (10), 25.
- [5] 丁莉莉. 科技创新导报, 2019, 6 (7), 230.
- [6] 张树永. 化学教育, 2017, 38 (10), 10.
- [7] 王明存, 王红山, 陈贻焱, 朱英. 化学教育(中英文), 2021, 42 (4), 31.
- [8] 王女, 赵勇, 刘兆阅, 田东亮. 大学化学, 2020, 35 (3), 26.
- [9] 古风灵, 宋永海, 汪莉. 山东化工, 2020, 49 (22), 164.
- [10] 彭霞, 汪莉, 宋永海. 广东化工, 2020, 47 (19), 237.
- [11] 天津大学物理化学教研室. 物理化学(上册). 第6版. 北京: 高等教育出版社, 2017.
- [12] 郑阿群, 张军杰, 孙杨, 杜娇娇, 杨国鑫. 实验室科学, 2018, 21 (6), 138.
- [13] 王闻道, 王君丽. 北华航天工业学院学报, 2017, 27 (3), 49.
- [14] 姜晓蕾, 胡芳东. 山东化工, 2021, 50 (13), 198.
- [15] 孙越, 郝强, 周禹希. 辽宁师范大学学报(自然科学版), 2021, 44 (1), 52.