

多元化教学模式在物理化学教学中的应用研究

刘绪^{1,*}, 刘城芳¹, 黄杰², 李祥春¹, 赖文勇¹

¹南京邮电大学化学与生命科学学院, 南京 210023

²南京工业大学化学与分子工程学院, 南京 210023

摘要: 物理化学是化学、材料及相关专业的专业基础课, 特点是概念抽象、公式繁多, 理论性强、系统性强、逻辑性强。学生普遍感觉概念晦涩难懂, 课堂参与度低, 难以利用知识解决问题, 难以形成物理化学思维。针对本学院本-硕-博贯通培养的特色, 本教学团队通过多元化课程内容互联、多元化教学模式创新和多元化思政元素融入, 形成“科教融合”特色的多元化教学模式, 将抽象知识形象化, 调动学生兴趣、锻炼学生科学思维, 提高学生对科研的兴趣。

关键词: 多元化教学; 物理化学; 本-硕-博贯通; 科教融合

中图分类号: G64; O6

Research on the Application of Diversified Teaching Models in the Teaching of Physical Chemistry

Xu Liu^{1,*}, Chengfang Liu¹, Jie Huang², Xiangchun Li¹, Wenyong Lai¹

¹ School of Chemistry and Life Sciences, Nanjing University of Posts & Telecommunications, Nanjing 210023, China.

² School of Chemistry and Molecular Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing 210023, China.

Abstract: Physical chemistry is a fundamental course in chemistry, materials science, and related fields, characterized by abstract concepts, numerous formulas, theoretical systems, and strong logical foundations. Students generally consider that concepts are obscure and difficult to understand, and the classroom participation is low. Moreover, it is difficult to use knowledge to solve problems, and form general thinking *via* physical chemistry. In response to the characteristics of the bachelor-master-doctor integrated training in our school, we have formed a diversified teaching model that integrates science and teaching through diversified course content interconnection, innovative teaching models, and integration of diverse ideological and political elements. This model visualizes abstract knowledge, stimulates student interest, exercises their scientific thinking, and enhances their interest in scientific research.

Key Words: Diversified teaching; Physical chemistry; Bachelor-master-doctor integrated; Integration of scientific research and teaching

党的二十大强调“实施科教兴国战略, 强化现代化建设人才支撑”。人才支撑的关键在于高等教育。在社会主义现代化发展的征程中, 如何实现高效的人才培养值得探究。课程是人才培养的核心要素, 如何通过多元化教学模式的创新提高高等教育教学质量和教学效果, 是摆在高等教育领域的重要问题。作为基础学科, 化学对于国家科技和经济发展具有至关重要的作用, 通过教学改革提升

收稿: 2024-02-04; 录用: 2024-02-28; 网络发表: 2024-04-03

*通讯作者, Email: iamxliu@njupt.edu.cn

基金资助: 南京邮电大学“课程思政”示范课程建设项目(SFKCJS202305); 南京邮电大学教改项目(JG03021JX42)

化学学科的教育教学水平意义重大。物理化学是化学、材料、药学、食品及环境等领域的一门专业必修课程，该课程存在概念抽象、公式复杂、计算繁多等特点，开展多元化教学模式在物理化学教育中的研究，研究和建立多元化的教学方法，对于化学课程和其他理科课程的学习具有借鉴意义^[1]。

目前，国内开设物理化学课程的专业数量众多，但是由于专业方向不同，其授课侧重点和教学方法也不尽相同^[2]。相关课程的教学团队从思政融入^[3]、科教融合^[4]及多元化教学^[5]等角度开展了系列教学改革研究^[6,7]。本学院是依托有机电子与信息显示国家重点实验室的研究型学院，每年学院有60%以上的学生选择读研深造，所以学院的人才培养模式是进行本-硕-博贯通式培养，注重本科生创新思维、探究意识的培养，鼓励本科生早进实验室开展科学探究，因此仍需要对适合本专业特色及本-硕-博贯通培养模式的物理化学多元化教学模式开展深入研究。由于物理化学的学科特点，以教师为中心的讲授式教学模式存在理论和应用联系不强、知识和思维没有协同培养、评价方式单一、学生参与科研兴趣低等问题。通过对教学内容、教学模式、评价方式等方面的多元化创新，提高学生的学习主动性和科研兴趣、锻炼学生的知识应用能力和探究意识、培养学生的物化科学思维并引导学生参与科学实验，对于鼓励本科生开展科研探究、培养高素质科研后备人才至关重要^[8]。因此，针对物理化学的课程特点和本专业特色，探究如何结合本学院的科研平台和人员优势，通过多元化教学模式创新，服务于本-硕-博贯通式培养，对于本课程教学效果的提高、科研后备人才的培养以及同类型专业的理论课教学创新都具有重要意义。

1 融入科研元素，教学内容互联，打造知识新网络

1.1 综合性场景打破章节限制

物理化学一般按照内容分为热力学、溶液、相平衡、动力学、电化学、表面物理化学等章节^[9]，学生在日常的学习中，忙于各章节基础概念的的记忆和习题的解答，经常忽略该课程的整体知识框架，出现“只见树木、不见森林”的窘境，以至于在处理综合性问题时经常无从下手。而科学研究都是综合性的问题，需要用到各方面的知识去综合分析解决，让学生理解每一个复杂问题背后都包含各个部分的物化知识，对于学生运用整个物理化学知识框架，学会分析解决实际问题具有重要作用。因此，我们采用生活现象中的物理化学、综合问题中的物理化学、科学研究中的物理化学等几种方式贯穿物理化学的所有章节，对物化知识进行整合，加强各章节知识综合运用，提高学生的知识理解(图1)。

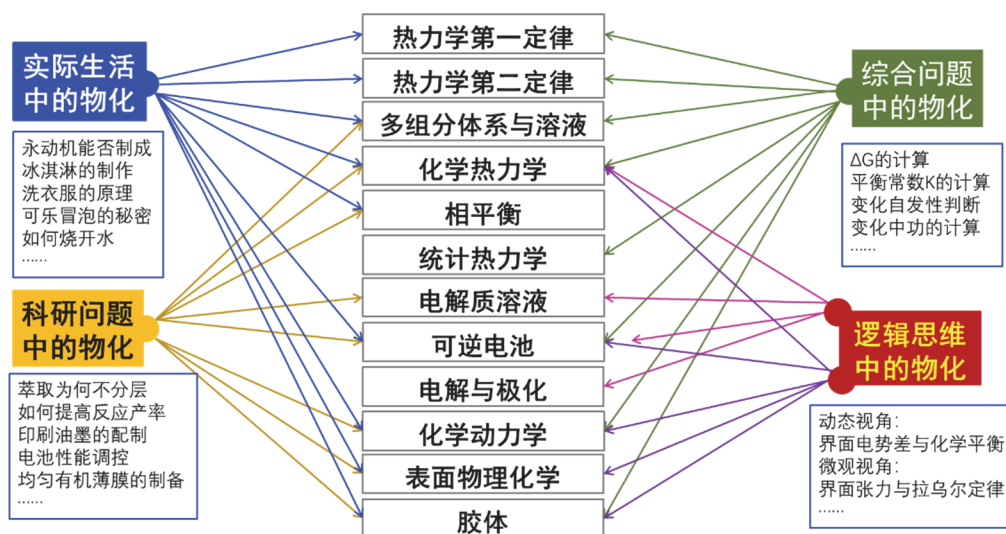


图1 物理化学新网络示例

实际生活中的物理化学主要是提高学生的学习兴趣,将晦涩的物化知识和模型生活化。例如,在物理化学学习的绪论部分,我们让学生思考制作一个冰淇淋需要用到哪些物化知识,要做冰淇淋需要有冰箱,而冰箱的工作原理涉及热力学和相变的知识,而为冰箱供电涉及电化学内容,冰淇淋的制作需要配制溶液和胶体,这就需要溶液和胶体的知识,而冷冻和脱模就要使用相平衡和表面物理化学的知识。通过这个情景问题的设置,提高了课堂的趣味性,学生在第一堂课就认识到物理化学与日常生活息息相关,以及综合利用物化知识可以解决实际问题。在后续的学习过程中,可以通过综合性问题的设置起到承上启下的作用。例如吉布斯自由能(G)的变化值与各种热力学函数、平衡常数、电化学的电动势及表面张力均有关联,且与科学研究中的一些实例应用存在广泛联系,体系的 ΔG 的变化值也可以解释相关科研工作中的一些现象,比如晶体的生长、液滴的铺展以多孔材料的表面吸附等。我们将一些科学论文中通过 G 的计算来预测反应或变化趋势的示例引入习题,通过类似综合问题的设置进一步加深学生对 G 的理解和运用物化知识解决实际问题能力的培养。

1.2 科教融合提高趣味性

物理化学是一门不断发展的、指导实际应用的学科,因此将本学科的科研发展动态与物化知识相结合,对于提高学生的学习主动性和科研兴趣具有推动作用,兴趣培养是综合素质和创新意识教育的前提^[10]。在日常教学中,本教学团队将新发表的有机光电子领域特色的科研论文与物理化学课程的知识点进行结合,讨论科研论文背后的物化知识,让学生了解科研的探究过程以及物理化学知识的应用之处,并鼓励对科研感兴趣的同学进入各课题组开展初步的科研工作,实现教研相长。比如多膜层器件各层之间的相容性问题、钙钛矿薄膜中晶体的形成过程、光电材料合成中的萃取及溶剂蒸馏问题等。

该方法既增加了课堂的趣味性,又加深了学生对物化知识的理解,同时吸引部分同学课余时间走进实验室开展科研工作,起到了一举三得的作用。比如在表面物理化学部分,关于表面张力的应用我们融合了当前喷墨印刷技术在有机发光二极管的电极材料和发光层材料中的应用。我们要调控墨水和基底的表面张力,既要实现墨水在基底上的黏湿,又不能变成铺展,不然会影响印刷图案的精密密度,并简要介绍了在科研工作中我们是如何通过材料设计、墨水调控和基底处理实现高精度印刷图案的制备并展示相关的成果。该部分内容与表面物理化学中液固表面的黏湿、浸湿和铺展内容直接相关,吸引了学生的兴趣并加深了对液固表面模型的理解。后续有多名同学进入实验室开展相关领域的研究工作,参与发表了相关的科研论文并将成果用于各项大学生竞赛活动,并获得第八届中国国际“互联网+”大学生创新创业大赛铜奖、第八届中国国际“互联网+”大学生创新创业大赛选拔赛暨江苏省产业赛道一等奖。将科研内容与物理化学教学相结合,能够显著提升教学效果和人才培养质量。

2 多元化教学模式融合,驱动自主学习

为实现以学生为中心的教学,激发学生的科研兴趣,鼓励学生利用课余时间开展科学研究,本教学团队结合线上优质教学资源开展混合式教学^[11];针对每个章节设置了情景问题,开展基于问题的学习(Problem-based learning, PBL)^[12];引导学生进行分组汇报与总结的翻转课堂^[13];融入探索实验的实践教学以及结合专业特色和科技前沿的启发式教学^[14],形成了以“科教融合”为特色的多元化教学模式(图2)。

2.1 混合式教学

由于本专业物理化学内容较多,需要压缩课时给予学生更多的创新科研空间,同时部分内容在无机化学和分析化学部分有初步涉及,例如热化学、简单的相图及化学平衡等内容,所以我们采用了线上线下混合式的教学模式,通过提供线上资源,让学生带着问题开展线上学习,并提交线上学习的学习记录。目前主要采用中国大学生MOOC网天津大学的物理化学线上课程。除了利用线上MOOC资源进行学习,我们还将与相关章节知识点有关的专家学者的线上报告发给学生,或由优秀

硕博研究生开展线上科普讲座, 让学生了解当前科研领域的发展现状和物理化学知识在科研中的应用, 例如华中科技大学许江平教授关于纳米粒子超晶格薄膜的构筑报告与表面物理化学章节关联较多, 通过听取报告可以加深学生对物化知识应用领域的了解, 培养学生的科研兴趣。



图2 以“科教融合”为特色的多元化教学模式

2.2 基于问题的学习

为了提高学生线上学习的主动性, 针对每堂课设置了具有本专业特色的和与科研相关的情景问题, 如多膜层器件的溶液法制备、高质量有机晶体的生长、如何提高反应的产率并缩短时间、含金属离子废水的处理、荷叶效应的探究、锂电池固态电解质设计制备等, 引导学生带着问题去学习^[15]。通过情景问题的设置, 显著提高了学生的学习主动性和课堂参与度, 既杜绝了学生参与度不高的问题, 又能激发学生的探究主动性、创新性, 引导学生探究物化知识在科研中的应用, 提高学生的科研兴趣。目前每个教学班大约有10名同学利用课余时间参加学院的科研工作, 在读的本科生利用课余时间的科研工作已经发表在*Angew. Chem. Int. Ed.*、*Langmuir*等高水平学术期刊。

2.3 探究式教学

物理化学实验对于培养学生的科研动手能力、提高科研兴趣意义重大^[16]。为了进一步锻炼学生对知识的探究和运用能力, 针对部分章节设置了探究性实验, 由学生针对问题提出实验设想, 教师根据实验的难易程度, 分别采用课堂实验、课下观摩、视频展示等方式引导学生开展探究学习。围绕问题自由设置探究实验, 对于激发学生的科研兴趣、培养学生的探究思维和实验能力作用明显。

探究实验包括简单的演示实验和具有专业特色的科研问题。例如在弯曲表面的附加压力部分, 学生分组设计了毛细管实验、肥皂泡实验等, 毛细管实验安全简易且直观, 由教师带实验器具在课堂演示相关实验, 而肥皂泡实验难度较大, 所以由教师在实验室录制好操作视频, 并在课堂播放。通过相关探究实验的设置, 显著提高了学生对抽象物化模型的理解, 锻炼了探究学习的能力, 加深了对所学理论知识的理解和应用。我们还将与专业特色有关的科学问题, 例如印刷油墨的配制、多膜层器件的制备、水溶性化合物的提纯等入课堂, 启发学生如何利用物化知识解决科研问题、开拓创新科研思路等, 不仅提高了学习的趣味性, 而且锻炼了学生的探究思维, 激发学生的科研热情。

2.4 翻转课堂

翻转课堂(Flipped classroom)是指在教师的引导下, 学生在课下通过查阅资料、相互讨论自主学习, 课上学生进行成果展示、相互质询等方式, 完成知识的吸收内化过程^[17]。为了检测学生的学习

成果, 提高学生的表达能力, 设置情景问题由学生分组进行讨论并形成汇报PPT, 课堂上限定时间由学生分组进行汇报探究学习的过程和结论, 并组织其他小组进行质询和辩论, 培养学生分析问题和解决问题的能力, 提高学生的课堂参与度。通过翻转课堂模式的采用, 充分调动了小组内各同学的学习积极性, 尤其是原来很少参与课堂互动的同学也积极加入了讨论。通过翻转课堂模式的采用, 变学生为中心, 提高了学生的积极性和主动性, 也更便于教师发现学生在学习过程中的难点问题。据学生深造的课题组及企业单位反映, 本专业毕业生在PPT展示及讲解方面表现出相对突出的优势, 证明了翻转课堂对于学生工作展示和口语表达能力的培养作用。

2.5 启发式教学

启发式教学是指教师发挥主导作用, 采用多种方式启发学生的思维, 激发学生学习的主动性和积极性, 增强学生分析问题和解决问题的能力[18]。结合学院的科研优势开展启发式教学, 对于锻炼学生的科研思维、引导学生提前参与科研探索大有裨益。我们结合本专业的科研特色, 将最新的科研成果及科技前沿融合物理化学知识进行讲解, 例如将可拉伸水凝胶的相关工作与胶体内容进行关联, 新型锂电池电极材料的开发与电化学可逆电池进行关联, 新型催化剂的设计制备与固体的表面吸附相关联, 高迁移率晶态薄膜与相图知识相关联等。通过这些问题的引入和知识讲解, 启发了学生利用物理化学知识解决实际科研问题、提高知识应用的能力。既能加深学生对物化知识和物化模型的理解, 又能提高学生的科研兴趣, 本专业培养的优秀毕业生进入中国科学院等高等院校及科研院所深造, 得到导师的一致好评。

2.6 PROBE教学结构

聚焦于创新意识和科学素养的培养, 我们的课堂采用PROBE的探究式教学模式(图3), 包括Problem问题设置-Research探究实验-Object目标明确-Boffin科学家精神-Evaluate评价等环节。在教学过程中教师负责掌控整节课的节奏, 包括分组讨论的时间、探究实验的时间等, 实现整个课堂的有序进行。



图3 PROBE探究式教学结构

结合本专业特色, 为了培养中国有机电子领域的科研后备人才, 本课程综合多种教学模式, 通过设置与科研相关的问题引导学生自学, 结合线上资源和科研讲座开展混合式教学, 启发学生利用实验室资源设置探究实验, 通过翻转课堂锻炼学生的表达能力, 形成了服务于本-硕-博贯通培养的“科教融合”特色的多元化教学模式, 既能提高学生的学习成绩, 又能激发学生的探究意识和科研热情。十余年来为国内外高校、科研院所输送了上千名基础知识扎实、科研素养优良的优秀人才。

3 物化思维培养，实现“思维+思政”润物细无声

科学思维的培养对于理科人才培养至关重要，对于学生后续利用所学知识解决复杂科学问题意义重大，但是在传统教学中学生忙于记忆和解题，忽视了科学思维的养成。此外，思政元素的融入对于人才培养也有重要意义，爱国情怀和科学家精神尤其重要^[19]，但常规的课程思政教学存在思政元素生硬、学生接受度低的问题。针对这一问题，本教学团队在物理化学教学中注重学生物化思维的培养，同时将物理化学科学思维和思政教学相融合，实行双线交织的“思维+思政”培养方法，实现科学思维的培养和“润物细无声”的课程思政教学(图4)。

主要采用双线交织方式，将科学思维培养与思政教学相融合，进行情感融入。例如，课堂教学中，我们以天宫一号空间站中出现的球形悬浮水滴为例展开教学。这个现象背后的知识是水的表面张力，而水为什么存在表面张力，背后的原因通过微观视角可以看到，是由于表层分子的受力不均衡，本教学团队在这里讲解了微观视角的物化思维模式，而天宫一号空间站的设计及建成凝聚着很多的物理化学知识，借此鼓励各位同学努力学习，投身于国家的科技发展，实现思政元素的融入；在界面电势差形成的原理中讲到双电层的形成，背后的机制涉及沉积与溶解的动态电化学平衡，在此处我们融入了动态平衡的科学思维，进而讲到国内电池行业和电动车行业的发展，讲到中国制造到中国智造的变化历程；在超电势的学习环节，利用超电势既有缺点又有优点的特征，提炼事物的两面性的哲学思想，培养学生全面看待问题的科学思维，同时该思想在古代思想中也有体现，这既培养了学生的科学思维，又提高了学生的文化自信。通过科学思维与思政教学的双线交织，既能培养学生的科学思维，又能实现润物细无声的思政教学^[20]。针对科学家精神部分的教学，我们每个学期都邀请团队的黄维院士给本科生讲科研故事，培养学生的科学家精神和爱国情怀，激发学生的科研自信心。

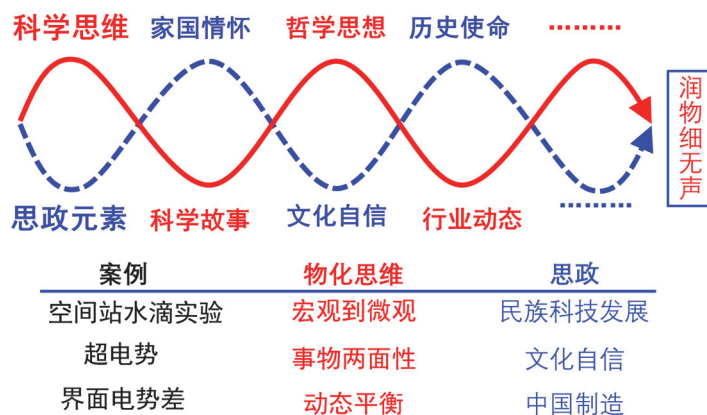


图4 双线交织的“思维+思政”教学示意图

通过多元化教学模式的实施，学生的平均成绩、及格率及课程满意度均有所提高，采用多元化教学模式后，平均成绩提高了约6分，及格率提高了大约7%，且成绩优秀的同学数量有所上升，低分人数有所下降，学生满意度相比于往年也有提升，而且进入实验室参与科研工作的学生人数增长迅速，目前本班级约有5名同学已经参与科研论文发表。

以上数据说明该教学模式的实施对激发学生的学习主动性、实践积极性和科研热情，提高学生的学习成绩均有促进作用。学生利用物化知识在科学研究及各类竞赛中均取得不俗成绩，说明学生运用知识的能力得到培养。该教学团队的工作也获得南京邮电大学教学创新大赛一等奖和思政教学比赛特等奖。通过保研加入本课题组的程涛同学利用物化知识持续调控印刷油墨的特性，发表系列科研论文，最终留校任教并获得2021年教育部高等学校科学研究优秀成果奖一等奖。

4 结语

综上所述,在高等教育“全面提质创新”的时代要求下^[21],我们结合本专业本-硕-博贯通培养模式,依托重点实验室的科研平台,针对物理化学的教学痛点,采用多种方式的教学内容重组、多元化教学模式创新、思维+思政的思政教学方法探索,形成了以“科教融合”为特色的多元化教学模式,激发了学生的学习主动性,提高了学生的学习成绩,培养了学生的科学思维和道德素养,并鼓励学生走进实验室开展科学实验,在人才培养尤其是科研人才培养方面取得系列成果,该多元化的教学模式对于物理化学教学创新,尤其是开展本-硕-博贯通培养的研究型学院的教学,具有借鉴意义。

参 考 文 献

- [1] 肖琦,黄珊. 大学教育, **2012**, 1 (5), 57.
- [2] 张树永,刁国旺,侯文华. 大学化学, **2019**, 34 (11), 74.
- [3] 赵红梅,陆自强,李崧,李兴玉,字成庭,樊兴丽,秦向东. 大学化学, **2024**, 39 (3), 210.
- [4] 张树永,李英,苑世领,郝京诚. 大学化学, **2013**, 28 (2), 11.
- [5] 吴爱芝,邬泉周,卢文彪,雷佳眉,纪禹行. 中国中医药现代远程教育, **2022**, 20 (23), 24.
- [6] 杨威,王辉,陈飞武,袁文霞,范慧俐,韦美菊. 大学化学, **2024**, 39 (1), 73.
- [7] 赵英,董斌,冯志庆,于乃森,董大朋. 化学教育, **2022**, 43 (12), 85.
- [8] 张树永,戚明颖,宋爱新,李英,牛林,苑世领,郝京诚. 大学化学, **2021**, 36 (1), 2008024.
- [9] 张树永,侯文华,刘俊吉,王新平,万坚,原弘,孙宏伟,姚加,王志勇,纪敏,等. 大学化学, **2023**, 38 (6), 115.
- [10] 张树永,宋其圣. 大学化学, **2005**, 20 (4), 14.
- [11] 隋铭悦,谢玉忠,孙光延. 广东化工, **2023**, 50 (21), 183.
- [12] 文进,顾少轩. 高教学刊, **2021**, 22, 122.
- [13] 贾雪平,丁津津,朱玥,缪建文,葛存旺,张跃华,葛明. 大学化学, **2023**, 38 (1), 56.
- [14] 刘霞. 大学化学, **2018**, 33 (1), 21.
- [15] 胡锴,蔡苹,程功臻. 大学化学, **2016**, 31 (7), 20.
- [16] 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.
- [17] 李秋艳,王晓军,朱倩,周颖,钱香芸. 大学化学, **2021**, 36 (7), 2010086.
- [18] 尤慧艳. 大学化学, **2016**, 31 (10), 35.
- [19] 张树永. 大学化学, **2019**, 34 (11), 4.
- [20] 霍甲,李佳,李永军,王玉枝. 大学化学, **2024**, 39 (2), 14.
- [21] 张进,刘利,姚思童,吕丹. 中国现代教育装备, **2021**, No. 17, 68.