

以“学”为中心的问题式实验教学改革

宰建陶, 陈虹锦, 魏霄, 张利, 马荔, 钱雪峰*

上海交通大学化学化工学院, 上海 200240

摘要: 基础化学实验不仅可以验证化学理论和训练实验技能, 更应注重学生分析问题、解决问题能力的提升。针对基础学科拔尖学生的培养, 我们本着因材施教的理念, 开展了基础化学实验课程的教学内容、知识体系、教学方法的改革和实践。通过构建以“学”为中心、问题为导向的教学模式, 系统提升实验教学在人才培养中的效果和作用。

关键词: 探究式课题研究; 创新能力培养; 基础化学实验

中图分类号: G64; O6

The Learning-Centered Problem-Oriented Experimental Teaching

Jiantao Zai, Hongjin Chen, Xiao Wei, Li Zhang, Li Ma, Xuefeng Qian *

School of Chemistry and Chemical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China.

Abstract: The basic chemistry experiments not only serve to validate chemical theories and train experimental skills, but also focus on enhancing students' analytical and problem-solving abilities. In order to cultivate outstanding students in the basic discipline, we have carried out reforms and practices in the teaching content, knowledge system, and teaching methods of the basic chemistry laboratory course, guided by the principle of individualized instruction. By constructing a student-centered and problem-oriented teaching model, we aim to systematically improve the effectiveness and impact of experimental teaching in talent cultivation.

Key Words: Inquiry-based project research; Cultivation of innovative ability; Basic chemistry experiment

化学学科的研究和发展一直以实证为依据^[1]。实验技能的培养和方法论的建立是基础化学教学在专业人才培养体系中承担的重要任务^[2,3]。如何在培养学生实验技能的基础上帮助他们建立科学的思维和方法, 如何培养学生的创新能力与科研素养, 是基础化学实验课程, 尤其是拔尖计划从教者应该重视、思考和研究的问题。

“基础学科拔尖学生培养试验计划”由教育部联合中组部、财政部于2009年启动, 是国家为回应“钱学森之问”而推出的一项人才培养计划, 旨在培养中国自己的学术大师。自2013年起, 上海交通大学依托基础学科拔尖人才培养计划开设致远化学班, 致力于培养具有批判性思维能力、知识整合能力、沟通协作能力、多元文化理解和全球化视野的创新型领袖人才。我们团队承担了基础学科拔尖人才培养计划上海交通大学致远化学班一年级基础实验课程的教学任务。通过多年的教学实践, 我们发现实验教学中存在以下需要解决的问题:

(1) 如何针对不同学生群体开展因材施教? 基础学科拔尖人才培养计划(上海交通大学致远荣誉计划化学方向, 以下简称“致远化学”)学生的基础好、求知欲高、学习积极性和学习风气较好。但

是由于各地高考政策不同等原因，同学们的化学理论知识储备、实验基础参差不齐。如何在这样的学情背景下贯彻实施高起点、高要求、高进阶的教学目标？

(2) 如何解决当前理论课与实践教学脱节的问题？由于理论与实践课程分别独立开课，难以在时间上进行有效配合，影响了实验教学作用的发挥。因此打破理论课和实验课脱节的壁垒，建立“知行合一、理论与实践相结合”的教学体系，是夯实学生专业基础、发挥实验教学重要作用的必要举措。

(3) 如何培养学生发现问题、分析问题、解决问题的综合能力和创新思维？传统的实验教学选择的教学内容大多是“按方抓药”式的，实验方案成熟，实验现象已知，强调重现性。对于实验过程中没有预料到的现象，缺乏必要的分析、判断和研究环节，不利于培养学生的创新能力。

(4) 传统的实验教材内容较陈旧，且教学体系彼此基本没有关联，缺乏系统性和应用性。无法激发学生的学习兴趣 and 课外投入，无法适应致远化学以培养学生科学思维为目的的培养目标。

为了解决上述问题，我们决定改变传统的以教材、指导教师和实验室为中心的教学模式，以“问题式教学”为抓手，开展了以激发学生自主学习、自主设计研究为目的的实验教学改革。问题学习法^[4] (Problem-Based Learning, PBL) 强调问题在教学中的重要性，要求学习围绕复杂的真实的任务或问题展开，从而激发学生的高水平思维，鼓励学生自主探究以及对学习内容和过程的反思。其目标是学生通过解决问题而巩固学科知识，自主学习新知识，提高探究能力，强化协作意识^[5]。学生是问题式教学模式中最活跃的因素，也是教学活动中的直接受益者。在整个问题式教学过程中，教师的角色应从主角逐渐过渡到配角，从学习的主导者转变为引导者。作者团队自2016年起在致远化学班“化学原理及分析化学实验”与“无机与分析化学实验(拔尖-强基)”的教学过程中，开展了以问题为导向、学习为中心的实验教学改革与研究。通过在教学理念、教学内容、教学手段上的创新与改革，激发学生的内生动力，使学生成为教学活动的“主角”，激发其兴趣，丰富其收获。同时，以优化考核评价机制为手段，建立以问题为导向的“类科研”实验教学系统，发挥以“学”为中心的优势，重点培养学生的思维方法和创新能力，增强团队协作精神，对标“拔尖计划”人才培养目标。

1 教学改革措施

针对以上对课程及实施情况的分析，遵从以学生为本、因材施教的教学理念，以拔尖计划的人才培养目标为导向，重新设定基础实验课程的课程目标，并对教学内容、教学手段等方面进行了多维度的改革。

1.1 梳理知识体系，优化教学内容

我们遵从以学生为本的因材施教的教学理念，以拔尖计划的人才培养目标为导向，重新设定基础实验课程的课程目标，并对教学内容、教学手段等方面进行了多维度的改革。

将原本孤立的实验内容(表1)进行分解与整合，以模块化形式开展(表2)，加强实验体系到实验方法之间的关联和衔接。具体措施包含如下几个方面：

1) 侧重教学内容之间的内在联系。四个实验模块各有教学侧重点，以实验设计为载体、学生为中心，始终围绕“提高学生发现和解决问题的创新能力，培养科学素养”这一核心课程目标展开。

2) 建立基本实验技能训练+设计性实验+探究式课题研究的进阶式学习框架，逐步增加设计性环节的比重。首先在基本实验技能训练环节，剖析并强调操作规范和经典实验方案背后的化学原理，掌握实验技能的同时学习设计实验的方法。在基本原理模块，让学生在验证四大平衡化学原理的基础上，鼓励学生改变实验条件、考察其对实验现象与结果的影响，初步分析和思考其背后的化学原理。进一步以原理清晰、数据与现象可预测性强的混酸实验为样板，引导学生从反应原理、分析化学原则和实验精度等多维度、全方位思考地设计和讨论实验方案，在实践中对比考察不同方案的特点，总结汇报实验结果，初步掌握设计实验能力。最终以铁含量测定方法的探究课题让学生自主设计铁的常量与微量测定方案，并对方法的可靠性进行分析与讨论，撰写项目论文。通过逐步增加实

验内容中的设计性环节(表3), 从侧重实验操作培训到侧重发现、解决问题能力和创新能力的培育。

3) 在实践过程中强化科学思维的建立和科学方法的运用, 将理论课程中学习到的正交实验设计、数据处理等方法与实验内容进行有机结合, 真正做到知行合一。

表1 2016级致远化学基础化学实验教学内容

编号	教学内容	学时	重点
1	绪论(课堂讲座)	4	安全教育+如何做好化学实验
2	混合碱的测定(双指示剂法)	4	滴定分析实验操作
3	乙酸电离常数和电离度的测定	4	pH计的使用, 数据处理
4-5	水合BaCl ₂ 中Ba ²⁺ 含量的测定	8	溶解、加热、过滤、称量等基本操作, 重量分析法
6	酸碱平衡和沉淀平衡、配位平衡	4	化学基本原理的实验证明
7	氧化还原反应与电化学	4	化学基本原理的实验证明
8	磺基水杨酸合铜配合物的组成及稳定常数的测定	4	化学反应速率原理的应用
9	化学反应速率和活化能的测定	4	配合物平衡常数测定方法
10	纯水制备及其纯度检验、水的总硬度测定	4	学习搭装置, 配位滴定原理的应用
11	水中化学需氧量的测定	4	KMnO ₄ 法原理, 设计思路
12	邻二氮菲测定铁	8	分光光度计的使用, 数据处理
13	草酸亚铁制备+讨论测定方案	4	实验设计基本原则
14	草酸亚铁组成的测定	4	氧化还原滴定, 实际样品
15	总结和讨论实验方案		设计实验思路+方案确定
16	设计实验: 混和酸(HCl + NH ₄ Cl)的测定	4	考试

表2 改革后“无机与分析化学实验(拔尖-强基)”课程实验教学大纲

实验模块/教学目标	教学内容/实验名称	重点/难点	能力培养/科研素养
模块一:	绪论(课堂讲座)	如何做好化学实验	化学实验安全意识教育
基本制备与分析操作训练	氯化钠的提纯	无机制备实验基本操作	化学实验操作技能与规则培训
	混合碱的测定(双指示剂法)	分析实验操作	学习科学的记录与分析数据
	乙酸电离常数和电离度的测定	pH计使用, 数据处理	学习小型仪器使用
模块二:	酸碱平衡和沉淀平衡, 配位平衡	化学基本原理的实验证明	加深对基础化学原理的理解
基本原理	氧化还原反应与电化学	化学反应速率的应用	学习实验验证原理与假设和用实验证实假设的能力
	化学反应速率和活化能的测定		会运用化学原理解释实验现象的能力
模块三:	实验设计概论	实验设计原则与方法	了解实验设计的方法与原则
设计性实验	混合弱酸测定	初步学习实验方案的设计	初步学习设计实验方案
			强化基本实验操作训练
模块四:	邻二氮菲测铁	分光光度法、运用正交分析法寻找最佳实验条件	知晓正交分析与单因素变量的异同
综合设计(铁系列实验)	铁的常量测定	氧化还原滴定、配位滴定、	会用分光光度法进行测定
	实验结果汇报与讨论	实际样品、数据处理	综合考虑问题, 设计实验方案的能力
	方案改进、完善实验		锻炼发现和解决问题的能力
			能够合理利用文献资料解决问题
			培养批判思维和创新的能力

表3 致远化学基础化学实验教学模式演变

授课年级		2013-2015	2016	当前方案
教学内容	总学时数	96	64	64
	基本理论与训练	60.4%	68.8%	31.3%
	部分设计实验方案	22.9%	12.4%	18.8%
	设计性综合实验	16.7%	18.8%	50.0%
教学实践	分组	1-2人	1-2人	4人团队
	教材情况	实验化学(上)	实验化学(上)	新编新形式实验教材 ^[6] ; 文献
	设计要求	指定内容设计方案	指定内容设计方案	自主选题, 设计内容和方案
	实施与验证	个人方案 ↓ 完成实验	个人方案 ↓ 完成实验	个人方案 → 小组方案 ↓ 实验验证 答辩讨论 完成实验 ← 最终方案
考核形式	实验报告	实验结束完成	实验结束完成	设计实验提交两次方案和报告
	汇报讨论	课前讲解讨论	课前讲解讨论	课前讲解讨论+课题答辩
	课程论文	混合酸数据分析	混合酸数据分析	根据实验结果撰写

4) 帮助学生建立化学实验普遍联系和抓主要矛盾的方法论。铁系列实验中影响因素多, 需要学生全方位地运用氧化还原、酸碱、配位、沉淀平衡等多种化学原理, 综合考虑热力学和动力学因素, 考察所设计实验方案的科学性与可行性。学生在制定方案时往往更多地考虑热力学因素, 忽略了动力学因素对滴定终点判定的影响。通过安排学生预实验, 引导学生思考无滴定突越、变色不灵敏、重现性差等问题产生的原因, 强化学生对实验动力学因素的理解, 最终提出可行的实验方案(或说明方法不可行的科学原理), 展示了科学研究的微过程和全过程。

1.2 改变教学模式, 使学生成为主角

以往的实验教学内容与步骤多为教材上或教师设计好的内容, 在部分学生中间会存在“照葫芦画瓢”的现象。在探究式课题实验教学中, 以目标为导向, 引导学生查找资料、参考后自主完成实验方案设计、试剂准备、方案实施、纠错与优化、总结报告等一系列实验活动, 教师只起到一个指导、被咨询的角色(图1)。另外, 如表3所示, 以学生为主的设计性内容逐渐增加, 实践过程中的研讨和团队协作越来越多, 对学生的要求越来越接近真实的科研情境。通过多年的实践, 我们探索并总结了一些特色举措:

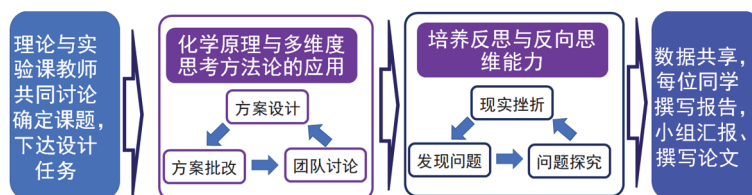


图1 探究式课题的实验教学环节

1) 设置纠错环节。传统实验教学的目的大多是基本技能的训练和化学原理的展示, 学生只要按照既定步骤基本都能成功地完成实验。然而在真正的科学研究中, 无法获得理想的实验结果是常态。因此, 在实验方案设计的基础上, 增加纠错与优化环节是十分必要的。通过这一过程, 可以培养学生发现、分析和解决问题的综合能力, 并最大程度地体现了理论和实践的对立和统一。

2) 建立“科研实训”情境。学生的综合性实验环节就犹如一个小而完整的科研课题研究，给予了学生完整的科研训练。其整个流程为：给出课题→学生概念设计→教师指导批阅→学生修改完善→小组讨论制定可行性方案→实施发现问题→综合运用化学原理与文献，讨论并实施新方案→汇报讨论→完成实验→撰写报告、论文。

3) 系统化训练。在教师和助教的全程指导下，学生全程参与从订购试剂、配制溶液、处理样品、预实验(初步验证方法可行性)、正式实验(系统完成计划实验内容)与补充实验(在汇报讨论基础上修正实验方案，并验证实施)等环节，完成课题研究的全过程。尽管学生在实验过程中会错误百出、感到挫折和沮丧，但是学生受到了系统全面的训练，记忆深刻，有效避免了实际科研中更大的损失。在这一过程中教师和助教需要全程跟踪，有选择地及时制止学生的错误行为，避免浪费试剂和时间；同时引导学生掌握开展新实验的基本流程：查阅手册和文献，通过预实验熟悉药品与操作特征，验证可行性后再正式大量配制溶液，开始正式实验。

4) 不断地探究前进与学习。初步得到结果后分析数据，进行答辩和讨论，然后结合理论课程和实验中的现象，提出问题和改进的措施。再根据提出的改进措施回到实验室再实践，完成可靠实验数据的采集。

5) 归纳总结和辨析创新。对选择过程中发现的或者想拓展的问题进行讨论，通过再实验补充支撑数据和撰写论文，完成课题研究的全过程。

在整个教学活动中充分强调学生的主体作用，学生成为了教学活动的主导者，而教师则变成了协助者，提供必要的指导和咨询。随着学生自主设计性内容的增加，同学们越来越多地进行小组研讨或团队合作，不仅培养了学生的团队合作意识和精神，也越来越向真实的科研情境过渡，有利于拔尖计划对科研领军人才的培养。

1.3 对标培养目标，注重创新能力和科学素养的培养

拔尖计划的培养目标是培养具有批判性思维能力、知识整合能力、沟通协作能力、多元文化理解和全球化视野的创新型领袖人才。但是，创新能力的培养不是一蹴而就的，实验教学恰好是进行创新能力和科研素养培养的重要阵地。我们在课程建设过程中将创新能力培养贯穿到实验教学的全过程(图2)，突出设计性实验在这一目标中的作用，由局部到全体，由小到大，体验科研全过程。最主要的是认识到理论设计与真正实施之间的差异。我们设计步骤大致如下：

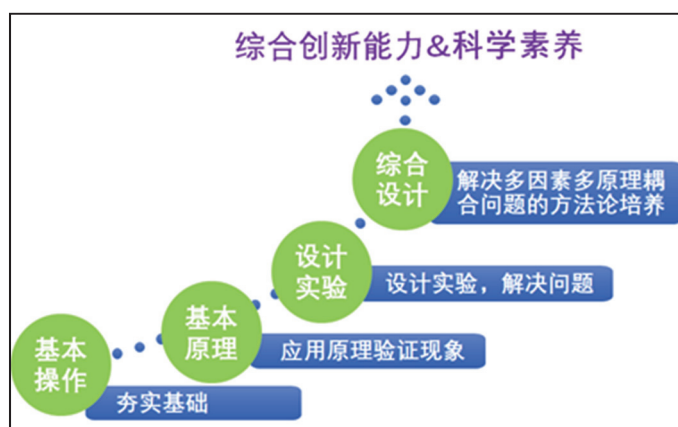


图2 循序渐进的创新能力和科学素养培养

1) 通过基本操作和基本原理模块夯实学生的理论基础和基本实验技能，训练实验记录和数据处理的规范性。

2) 在基本原理与性质实验模块加入少量设计性环节，初步锻炼学生运用基本原理设计简单实验

解决问题的能力。以分光光度法测微量铁实验为平台，增加正交分析法的训练，培养学生的多维度思维和设计能力。

3) 以铁含量的测定为综合设计实验课题，通过文献资料调研、小组讨论、方案设计等活动的开展，锻炼学生综合运用多种化学原理、多种方法论解决实际问题的能力。

4) 通过实验过程中的失败，培养学生发现问题、分析问题、解决问题的科学素养。在一定程度上锻炼了学生的抗挫折能力，体会失败的沮丧和经过努力之后又获得成功的幸福和喜悦。

通过全过程的创新能力培养目标设定和相应的举措，学生不仅奠定了扎实理论和实验基础，还能够体验到科学研究的魅力，树立投身科研的远大志向。

1.4 针对学生特点，开展因材施教

致远班的学生普遍化学基础好，学习积极性高且态度认真，在高标准的人才培养目标指导下，实验教学课程针对学生特点开展因材施教，以实现拔尖人才的培养目标。

以学生的发展为目的，针对致远化学(拔尖计划)学生的需求和特点，我们改变了传统的验证式实验教学模式，为学生科研素养的养成、团队协作精神的达成和表达能力的培养做出了很好的尝试：

1) 科研素养的培养与训练。传统的教学实验都是由实验室教师提前做好准备，并经过预实验确保成功率的填鸭式教学。而在我们的实践中，实验室仅提供学生需要的原装化学药品，由学生独立完成实验的准备、实施和废液处置等全过程。虽然探究式实验教学比一般的教学实验遇到更多的困难和窘境，但该过程能使学生树立正确的挫折观，并在克服困难的过程中强化对相关化学知识的认知和培养其综合能力。

2) 团队协作精神的养成。在设计性任务中，制定小组实验方案、实验实践、讨论研究和汇报演讲、论文撰写等均以小组为单位完成，记团队成绩。使他们体会到团队分工合作的重要，也为今后的深造和学习过程打下与他人合作的基础。

3) 注重培养学生的表达和思辨能力。宣讲和论文是表达学术思想的两种主要手段，将实验教学与理论课教学互相结合，开展课题答辩，不仅可以锻炼学生利用多媒体技术阐述学术思想和回应质疑的能力，还可以在讨论中加深学生对原理的理解、加强探究，增强其理论联系实际的能力；小论文的撰写可以进一步增强学生的思辨和总结能力。

除了教学内容与教学手段的革新，我们还针对致远化学班的学生特点采取了以下区别于普通班学生的特殊措施：

1) 多形式的因材施教。致远班的学生化学基础好，学习积极性高且态度认真，但是也经常有自满、自负的情绪表现。所以，本改革立足于一个高的起点，突出对学生的高要求和高难度的尝试以达到高的进阶层次。如提出课前思考题，通过预习，不允许带实验讲义而是带着自己的设计方案进实验室；实验前由学生自己组织讨论；实验数据共享，根据数据结果撰写相关的实验论文等。

2) 理论课程与实验的协同教学。同学们在分析化学理论课堂上运用学到的原理开展指定的实验问题的设计性大作业，通过批改和分组讨论，形成可以实际操作的实验方案，然后在实验课堂上进行实际操作。以小组团队的形式分工合作，自学理论知识和查阅文献资料来解决实际操作中碰到的各种问题和难题。然后在理论课堂上进行课题汇报与讨论，最后总结实验结果、完成最终的实验操作细则、报告与论文。通过协同操作，学生不仅加强了对理论知识的理解还有效锻炼了分析解决问题的能力 and 创新思维。

3) 广泛开展问题式教学。在教学过程中，不断提出问题，要求学生自己想方法去解决，一起在课堂上讨论；继而要求他们通过实验尝试提出问题，再讨论。如元素性质实验，在过程中针对各种实验现象让学生提出问题进行讨论，有冲突的就再去做实验再讨论验证。

4) 改变传统的考核评价方式，开展设计、操作、报告、汇报、讨论等多环节评价方法；除传统的教师评价外，引入学生团队间和团队内互评，在增强团队意识的同时减少“搭便车”现象。

2 教学改革的成效

从2016年开始,我们在实验内容、教学方法、与理论课程结合、科研小论文指导写作、课程考核与评价等方面做了积极的尝试,并取得了一定的成效。其中,铁含量测定实验是在改革中增加的设计实验特色模块的代表性实验。该系列实验的开展充分体现了全新教学实验的特点:

1) 教学目标不再局限于掌握知识点和验证理论,而以能力培养为核心目标。强化设计与创新能力培养,拓展学生的创新能力及培养学生发现、分析,解决问题的能力;

2) 以学生为中心进行课程的设计和实验,教师只担任协助者;通过角色互换,变传统的灌输式教学为以学生的研究、自学、讨论、总结为主的问题学习法,提高学生的主观能动性和探究问题的积极性,让学生有满满的收获感;

3) 开放实验室,在保证安全的前提下鼓励学生多次尝试,从多次的失败中寻找和发现问题,进一步查证资料、确定新方案和并予以实施;

4) 将质疑精神与创新能力的培养贯穿到实验教学的全过程。以科研式课题研究为实践准绳,培养学生的批判性思维,带着问题学习和研究并实践,提高学生的科学素养。

经过五轮的改革和建设,上述改革举措不断得到优化,在学生中也得到了比较好的反响和积极的反馈。每年我们都依托上海交通大学教学发展中心开展中期学生反馈调研(表4),历年的调查结果显示,修读本门课程的同学几乎100%同意本课程达到了预期的教学目标;其中2021级受访同学对本课程的评价为:

- 1) 最终的考核实验富有挑战,有趣味性并锻炼了综合能力;
- 2) 老师与助教会耐心指导和提供帮助,操作不当及时指出;
- 3) 锻炼了实验能力和数据处理能力;
- 4) 在课前各个小组对实验进行了较充分准备的汇报,要总结操作的要点,可能使实验失败的点等等;
- 5) 很有利于实验原理的熟练和对步骤的把控,养成在实验前想清楚的习惯;
- 6) 实验种类丰富有趣、实验课氛围好;
- 7) 两位老师很有教学经验,并启发大家思考,也尽可能提供了良好的实验条件;
- 8) 学习环境公平自由。

表4 2021级教学效果调查结果表。

问题	非常同意	同意	基本同意	不同意	非常不同意
1. 实验室安全措施到位	19	1	1		
2. 实验室整洁,设备状态良好	15	5	1		
3. 实验内容涵盖课程大纲主要内容	19	1	1		
4. 实验时间长短安排适当	14	6	1	1	
5. 实验报告内容要求适当	17	2	2		
6. 课程考核方式合理准确反映教学内容	16	4	1		
7. 实验条理逻辑清楚,难点重点清楚	16	4	1		
8. 老师敬业,及时提供实验技能指导	19	1	1		
9. 老师维持良好的实验室秩序和学风	20		1		
10. 老师营造了公平自由的学习环境	19	2			

基于本次实验课程的改革和探索,不仅提升了致远化学班的基础教学实验教学效果,对整个人才培养体系完善、同类型课程建设等方面也有一定的推动作用。

(1) 辐射和带动效应:以小映大,积累经验,有利于量大面广的实验教学的改革和教学效果的提

升：优化后的模块化教学内容已推广应用到上海交通大学自然科学试验班平台的无机与分析化学实验中，受益学生近300人/年。

(2) 新型教材的编写和建设^[6]：在多年教学探索和实践的基础上，推动全新的实验教学教材的编写和出版。杜绝以往实验教材内容陈旧、雷同性大等问题，并将验证性实验和探究性实验进行有效组合，使教材适配多阶教学目标，有效推动因材施教的开展。

(3) 促进优秀学生的培养：在新的实验教学模式下，具有优异基础和能力的学生更容易脱颖而出，非常有利于对学生的合理选拔、定向培养，对于拔尖人才培养学术领军人才的培养目标具有积极的推动作用。

当然，在改革实践过程中，仍然存在一些亟需解决的问题，如师资力量有待加强。为了改革计划的顺利实施，确保在设计实验环节为学生们提供充足的时间和试剂原料，也为了保证实验过程的安全，教师和助教投入的工作时长大大增加。同时，改革不仅激发了学生学习的内生动力，也深刻改变了教师的教学理念。在团队研讨、预实验等课程准备环节，也需要教师和助教投入大量的精力和时间。因此，如果想更好地开展实验教学的改革，师资力量的补充是十分必须的。此外，硬件资源需进一步完善：由于学院承担了大量量大面广的基础实验教学任务，因此往往无法及时为本门课程提供充足的实验室资源，在时间和空间上都具有一定的局限性；同时实验室资源的匮乏也会影响教学安排的设计和执行，如无法保证学生有充足的基本实验技能训练时间，存在教学进度集中、过快等问题。

3 结语

通过在拔尖计划学生中开展以问题为导向、学生为中心的教学改革，激发了学生的学习兴趣 and 积极性，取得了较好的效果，得到了同学的认可。同时有效引领学生对科学的热爱，积极参与科学研究的教学、教改的进行，为优质精英人才培养模式的探索做出了自己的贡献。也为拔尖计划学生基础化学实验教学的进一步改革和推广奠定了基础。这种以学为中心的、模块化的问题式教学法经过实验内容和难度的调整后，也可以推广到化学类相关专业其他基础与综合化学实验课程教学中。

参 考 文 献

- [1] 魏霄, 王开学, 宰建陶, 王冲, 颜徐州, 梁晶, 钱雪峰. *大学化学*, **2021**, *36* (11), 2108090.
- [2] 梅新兰, 谢文娟, 尹智敏, 杨金凤. *大学化学*, **2019**, *34* (9), 64.
- [3] 赵影, 李敬慈, 王俊敏, 刘伟华, 周欣, 唐然肖. *教育现代化*, **2018**, *5* (41), 96.
- [4] 郝文武. *课程·教材·教法*, **2009**, *29* (9), 27.
- [5] 程敬泉. *广州化工*, **2020**, *48* (4), 111.
- [6] 马荔, 陈虹锦. *无机与分析化学实验*. 北京: 化学工业出版社, 2020: 9.