

化学“101计划”化学测量学实验课程设计

吴伟泰¹, 张来英¹, 淳远², 乔亮³, 任斌^{1,*}

¹厦门大学化学化工学院, 化学国家级实验教学示范中心(厦门大学), 福建 厦门 361005

²南京大学化学化工学院, 化学国家级实验教学示范中心(南京大学), 南京 210023

³复旦大学化学系, 上海 200433

摘要: “化学测量学实验”是教育部化学“101计划”4门核心实验课程之一。本文详细介绍该课程定位、课程目标、课程设计思路、课程模块、课程知识点和教学内容等。并介绍如何针对各自学校特色利用该课程提供的不同级次的实验进行重组和设计。旨在通过化学测量学实验推动拔尖基地高校和相关高校的化学实验教学的改革与创新, 提升拔尖创新人才的培养质量。

关键词: 化学“101计划”; 化学测量学实验; 课程设计; 教学改革

中图分类号: G64; O6

Course Design of Chemical Measurement Experiments in Chemistry “101 Plan”

Weitai Wu¹, Laiying Zhang¹, Yuan Chun², Liang Qiao³, Bin Ren^{1,*}

¹ National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education (Xiamen University), College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian Province, China.

² National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education (Nanjing University), School of Chemistry and Chemical Engineering, Nanjing University, Nanjing 210023, China.

³ Department of Chemistry, Fudan University, Shanghai 200433, China.

Abstract: Chemical measurement experiments are one of the four core experimental courses of the chemistry “101 Plan” of the Ministry of Education. This paper provides an in-depth introduction to main ideas in designing the course, including the positioning, objectives, designing strategy, modules, knowledge points and contents of the chemical measurement experiments course. We also give suggestion on how to make full use of this course and refine the course to exert the advantage of the respective university. The main purpose of this article is to promote the reform and innovation of experimental teaching in universities involved in national basic subject talent training plan and other key universities through this course, and to improve the cultivation quality of top-notch innovative talents.

Key Words: Chemistry “101 Plan”; Chemical measurement experiment; Course design; Teaching reform

为满足基础学科拔尖创新人才培养的要求, 教育部启动了基础学科教育教学改革试点计划(即“101计划”)。“化学测量学实验”是教育部化学“101计划”的12门核心课程之一, 牵头专家为厦门大学的任斌教授, 厦门大学、复旦大学和南京大学共同为牵头高校, 指导专家为厦门大学的田中群院士、吉林大学的张希院士和湖南大学的谭蔚泓院士。30所“化学拔尖学生培养计划2.0基地”获批

收稿: 2024-09-06; 录用: 2024-09-11; 网络发表: 2024-09-25

*通讯作者, Email: bren@xmu.edu.cn

基金资助: 高等教育质量保障专项(化学“101计划”专项); 教育部化学“101计划”——化学测量学实验课程建设项目; 教育部第三批虚拟教研室建设试点——“101计划”化学测量学实验课程虚拟教研室; 基础学科拔尖学生培养计划研究课题(20232024)

高校和部分重点院校共同参与建设该课程^[1,2]。

“化学测量学实验”作为化学“101计划”中的一门全新实验课程，其内容涉及传统的分析化学实验、仪器分析实验、物理化学实验、高分子物理实验以及部分的综合化学实验，跨越多个二级学科、多种仪器方法和多种实验对象。如何在消化、吸收、融合传统实验精华的基础上进行实验创新极具挑战。在课程中应前瞻性地部署在传统化学实验中尚未涉及、但是其影响却日显重要的计算化学和人工智能辅助的化学计量学等内容，从而构建出一个创新且前沿的实验课程。未来该课程不仅可以传授学生基本实验技能与知识，还能有足够的开放度和包容性以接纳前沿的科学研究成果向实验教学的转化，推动交叉学科知识的融会贯通，从而有助于培养学生的分析问题、解决问题、批判性思维和创新创造等能力。为此，本课程将全面探索化学实验教学的新理念、新内容、新模式，以期助力高等学校化学实验教学的整体提升。

1 课程定位和意义

化学测量学实验课程的定位是一门以化学为基础，融合化学、物理学、数学、计算机科学、精密仪器制造科学、信息科学、大数据科学、智能科学等多学科知识的实验课程。本课程主要面向化学、材料、信息、能源、环境、生命、医学和药学等多个应用领域，旨在培养具有较强实践动手能力的应用型、复合型或创新型人才，以满足我国应对新一轮科技革命与产业变革的战略需求^[1]。

在我国化学学科本科生实验教学中，通常按照无机化学实验、分析化学实验、仪器分析实验、物理化学实验、高分子化学与物理实验、综合化学实验、化学生物学等进行课程设置。在这些课程中，对于涉及仪器测量的实验，往往仅要求学生了解仪器方法的基本原理，验证化学的经典结论，或者是利用商品化仪器分析实验对象。在这种教学模式下，仪器的内部构造对学生而言往往是一个“黑箱”，使得学生难以深入理解仪器的具体工作原理，更不用说探究其设计制造原理。为了改变化学实验教学现状，新成立的化学测量学实验课程尝试将分析化学实验、仪器分析实验、物理化学实验、高分子物理实验以及部分综合化学实验等课程的内容有机融合，根据学生认知规律设计梯次性的实验，从测量技术和仪器的基本原理出发，先通过基础的原理性验证实验来引导学生掌握仪器方法，进而根据兴趣选择前沿的实验内容进行综合运用，最终尝试自主设计和搭建仪器，并在自搭建的仪器上开展相关测量和实践。同时，还将引导学生通过理论计算来深入理解实验数据，并借助人工智能技术来提升对测试数据的综合分析能力。由此，通过本课程的训练，学生不仅可以深入理解化学基本原理，还能掌握仪器设计与制造的知识，对于提升我国青年人才的创新创造等能力具有重大的意义。

2 课程建设目标与思路^[1]

2.1 课程建设目标

化学测量学实验课程以化学为基础，强调学以致用，以解决问题、拓展应用为导向，培养学生掌握化学基础知识、基本原理、基本仪器操作技能，进而培养学生从事物质化学组成、结构和性质的测量及仪器设备开发、制造和使用的能力为主要目标，具体包括：

(1) 掌握常用化学测量策略、原理、方法与技术，理解各种检测信号的产生原理，并强化图、谱的获得、显示和解析能力。

(2) 掌握原子、分子、化学键、物质结构和物性的基本测量方法，理解原子和分子结构、化学键等与激励源的作用，并能够针对特定需求综合应用多种化学测量方法及仪器。

(3) 培养能够针对特定需求，开发仪器测量新原理和新方法、设计制造新型仪器设备，高效使用仪器设备和提供相关服务的能力和素质。

2.2 课程建设思路

化学测量学实验课程涵盖面广，突破了传统分类，将原有的分析化学实验、仪器分析实验、物

理化学实验、高分子物理实验和综合化学实验进行有机融合，按层次及应用特点——“测试原理和仪器认识→仪器综合应用→仪器搭建”设计实验内容。如把同一体系的实验整合成一条线，每条线分不同层次搭建框架；如在某个或多个知识点(或仪器)下，编写多个并行或者梯次实验，各个高校可以针对学生的特点和学校的特色选择不同实验，实现不同的教学需求；又或根据学生的认知规律，以合成为切入点，通过“样品→结构(晶体、形貌等)→性质(元素性质、基本参数的测定等)→性能(活性等)”进阶式地设计实验，以更好地教授原理和应用，甚至自搭建仪器和应用，构建完整的实验教学体系。

课程按以下三个层次进行创新设计：

(1) 创新内容：加强前沿研究向教学的转化，巧妙融入科研前沿内容，承载化学测量学新原理、新仪器、新方法、新技术。

(2) 创新载体：以新载体承载传统的实验原理、方法及仪器。

(3) 创新教学方法：自行搭建仪器，深入认识仪器设计、结构、工作原理。

3 课程模块^[1]

化学测量学实验包含电化学实验、原子光谱实验、电子光谱实验、振动光谱实验、质谱实验、色谱实验、先进表征技术实验、计算化学实验、人工智能辅助的化学计量学实验、物理化学测量实验和高分子物理实验11个模块，涵盖了与化学测量相关的策略、原理、方法与技术，包含电化学、原子光谱、电子光谱、质谱、色谱、扫描电镜、透射电镜、X射线光电子能谱、X射线衍射技术、核磁共振波谱分析、热分析、表面分析、成像分析、分析联用技术等检测技术，包含计算化学、人工智能辅助化学测量等学科新的发展动向，还涉及热力学性质、动力学性质、胶体与表界面性质、分子结构性质等物理化学实验内容以及借助物质的光、电、热、力、流体等性质来获取高分子理化性质的高分子物理实验内容。在强化化学测量学的基本原理、熟知化学原理和化学操作规范的基础上，融入质谱、原子光谱、拉曼光谱、离子色谱、电化学工作站等仪器设计、搭建、使用和维护相关的实验，或者通过虚拟仿真、微视频等教学方式，让学生深入认识信号发生系统、检测系统、系统集成等部分，帮助学生实现“仪器认识”到“仪器综合应用”再到“仪器搭建”的跃升。

各模块建设以仪器方法为核心内容，包括：

(1) 测量原理、仪器构造与功能、仪器各部件作用、仪器操作、模块化的仪器搭建；

(2) 样品处理和制备、测试条件优化、定性分析、定量测量(工作曲线绘制)；

(3) 综合应用实验、拓展实验；

(4) 数据分析和处理。

化学测量学实验课程知识模块关系如图1所示。

4 课程知识点和内容

现有化学实验教学体系多以二级学科为基础，已不能适应多学科交叉的时代发展需要。为了解决此问题，本课程以化学“101计划”的总体规划为指引，以打造化学测量学实验核心内容为建设目标，突破传统，深度凝练课程的核心要素和前沿要素，形成全新的化学测量学实验教学理念，充分挖掘课程核心知识点，将原来的分析化学实验、仪器分析实验、物理化学实验、高分子物理实验和综合化学实验有机融合起来，特别是增加计算化学与人工智能辅助的化学测量，使实验教学与科技前沿紧密结合，从而构建起完整的实验教学体系，建设世界一流、中国特色、101风格的化学测量学实验。

化学测量学实验课程包括76个知识点，共设计了205个实验项目。考虑到各高校课程开设需求的差异，课程提供基础实验，各个高校都可以选用。同时对于应用类和前沿类的实验，在多个模块中，设计了较多的平行实验，各高校可根据各自实际情况选择平行实验中的一个实验项目来开设。其中

A类必修256学时, 8学分, 分别在大二上、下和大三上、下学期开课。为满足个性化教学需求, 课程还设计了B类限制性选修122学时和C类选修110学时的实验时数, 见表1。

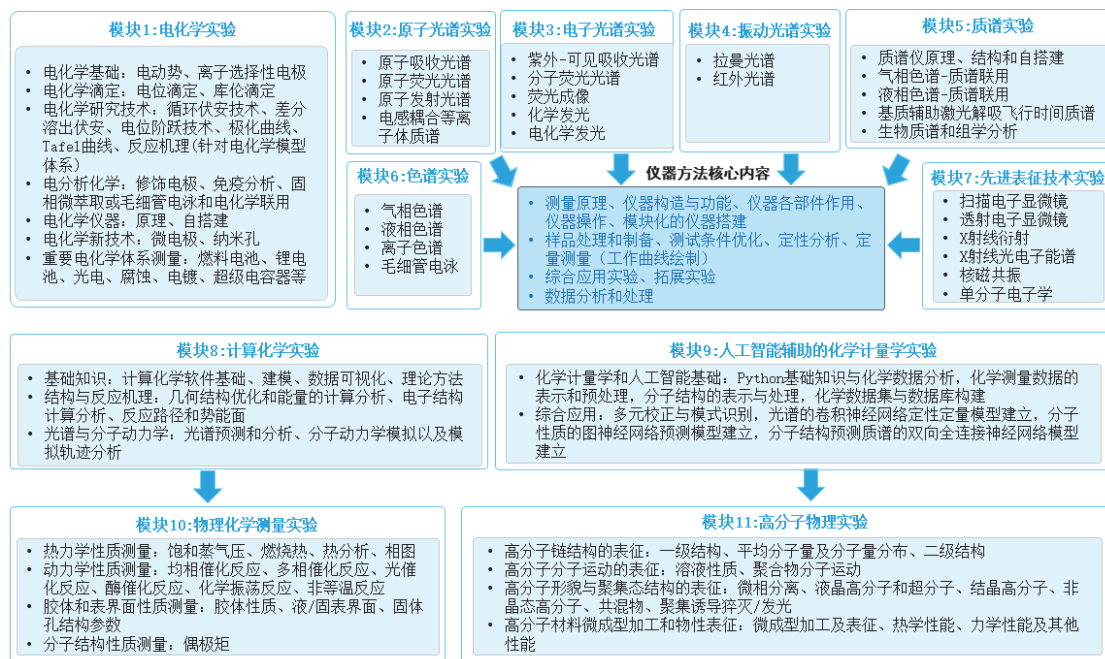


图1 化学测量学实验课程知识模块关系图

表1 化学测量学实验课程知识内容体系

模块名称	知识点数	实验个数	A类必修学时数	B类限制性选修学时数	C类选修学时数
电化学实验	10	28	36	14	18
质谱实验	5	15	12	16	14
原子光谱实验	4	15	12	6	6
电子光谱实验	4	13	12	6	6
振动光谱实验	2	12	12	6	18
先进表征技术实验	6	9	12	8	0
色谱实验	4	30	12	8	6
计算化学实验	7	12	18	12	0
人工智能辅助的化学计量学实验	8	13	16	16	0
物理化学测量实验	14	25	54	18	24
高分子物理实验	12	33	60	12	18
总数	76	205	256	122	110

本课程主要包括:

(1) 分析化学和仪器分析中涉及与化学相关的测量策略、原理、方法与技术, 以及光谱分析、色谱、质谱、电化学分析、核磁共振波谱分析、X射线分析、显微分析、热分析、表面分析、成像分析、分析联用技术等相关分析仪器、装置与软件的实验。

(2) 物理化学中涉及离子活度计、电导率仪、电位差计、电池、量热计、粒度仪等仪器操作和热力学、动力学、电化学、表界面与胶体等物性测量的实验。

(3) 高分子物理中以化学为基础,借助物质的光学性质、电学性质、热学性质、力学性质、磁学性质、流体性质等化学、物理及物理化学性质,结合虚拟仿真手段,精准获取物质组成、分布、结构与性质的时空变化规律的实验。

(4) 在强化化学测量学的基本原理、熟知化学原理和化学操作规范的基础上,融入仪器设计、搭建及使用与维护相关的实验,主要涉及信号发生系统、检测系统、系统集成等部分,帮助学生实现“仪器认识→仪器综合应用→仪器搭建”的跃升。

(5) 在科研实验室依赖计算化学解析实验数据已经成为研究的常规,急需在化学测量学课程中包含相关的内容。在该课程中将引入计算化学模块,在理解计算化学软件基础、建模、数据可视化、理论方法结构与反应机理的基础上,进行几何结构优化和能量的计算、电子结构计算、反应路径和势能面光谱与分子动力学解析,进而进行光谱预测和分析、分子动力学模拟及模拟轨迹分析。

(6) 人工智能的兴起及其在化学计量学中的应用,显著提升了相关的化学测量方法的性能和数据解析能力。该课程先设计了化学计量学和人工智能模块,将重点介绍Python与化学数据分析、数据表示和预处理、分子结构表示与处理、数据集与数据库构建等基础模块。然后,开展多元校正与模式识别和各类神经网络的构建和应用^[1]。

5 结语

自2023年4月化学“101计划”启动以来,化学测量学实验课程稳步推进课程建设,完成了从课程体系顶层设计,到覆盖76个知识点的205个实验项目的课程建设。未来将重点进行化学测量学实验课程的课堂提升和推广应用工作,从而将该课程的建设成果真正落地并在众多重点高校得到应用,从而为国家培养更多优秀、创新型的化学人才做出应有的贡献。

致谢: 首先,感谢教育部领导和化学“101计划”秘书组,以上工作的完成离不开他们的领导和协调。其次,感谢所有参与化学“101计划”化学测量学实验课程建设的老师们和他们所在院校领导的支持,他们始终坚持教书育人的第一要务,付出了大量的时间和精力,由于文章篇幅所限,无法逐一列出,深表歉意!

参 考 文 献

[1] 高松,苏成勇.高等学校化学类专业人才培养战略研究报告暨核心课程体系.北京:高等教育出版社,2024.

[2] 教育部高等教育司关于做好基础学科相关领域本科教育教学改革试点工作(系列“101计划”)的通知.教高司函〔2022〕12号.