

化学实验一流课程建设与评价标准建议

张树永^{1,*}, 姜文凤², 芦昌盛³, 强根荣⁴, 刘永梅⁵, 唐向阳⁶, 刘冬成⁷, 张丽丽⁸

¹ 山东大学化学与化工学院, 济南 250100

² 大连理工大学化学学院, 辽宁 大连 116024

³ 南京大学化学化工学院, 南京 210023

⁴ 浙江工业大学化学工程学院, 杭州 310014

⁵ 复旦大学化学系, 上海 200433

⁶ 天津大学理学院, 天津 300350

⁷ 广西师范大学化学与药学院, 广西 桂林 541001

⁸ 山东农业大学化学与材料科学学院, 山东 泰安 271018

摘要: 为了推进化学实验一流课程建设, 提高实验教学课程建设水平和教学效果, 教育部化学实验教学改革创新研究虚拟教研室开展了实验一流课程建设和评价标准建设。该标准从教学理念、教学内容、课程资源、教学方法和手段、教学评价以及特色建设等方面提出了一流课程建设和评价的标准, 对推进实验教学改革与建设具有一定的指导意义。

关键词: 化学实验; 一流实验课程; 建设标准; 评价标准

中图分类号: G64; O6

Suggestions on Construction and Evaluation Standards for First-Class Chemical Experiment Teaching

Shuyong Zhang^{1,*}, Wenfeng Jiang², Changsheng Lu³, Genrong Qiang⁴, Yongmei Liu⁵, Xiangyang Tang⁶, Dongcheng Liu⁷, Lili Zhang⁸

¹ School of Chemistry and Chemical Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China.

² College of Chemistry, Dalian Institute of Science and Technology, Dalian 116024, Liaoning Province, China.

³ School of Chemistry and Chemical Engineering, Nanjing University, Nanjing 210023, China.

⁴ College of Chemical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China.

⁵ Department of Chemistry, Fudan University, Shanghai 200433, China.

⁶ College of Science, Tianjin University, Tianjin 300350, China.

⁷ School of Chemistry and Pharmaceutical Sciences, Guangxi Normal University, Guilin 541001, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China.

⁸ College of Chemistry and Material Science, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong Province, China.

Abstract: In order to promote the construction of the first-class course of chemical experiment and improve the construction level and teaching effectiveness of the experimental teaching, the virtual teaching and research office of the Reform Research of Chemical Experiment Teaching of the Ministry of Education decided to give suggestions on standards for the construction and evaluation of the first-class course of chemical experiment teaching. The standard

收稿: 2025-02-24; 录用: 2025-03-13; 网络发表: 2025-04-08

*通讯作者, Email: syzhang@sdu.edu.cn

基金资助: 教育部化学实验教学改革创新研究虚拟教研室项目

suggestions which mainly concerns teaching concept, contents, resources, methods and means, evaluation and characteristic construction have certain guiding significance for promoting the reform and construction of experimental teaching.

Key Words: Chemical experiment; First-class lab teaching; Construction standard; Evaluation standard

1 引言

课程建设是高等学校教学改革与建设的基础性工程。教育部历来重视课程建设,从20世纪90年代启动“基础科学研究与教学人才培养基地”优质课程建设以来,先后推出精品课、精品视频公开课、精品资源共享课等课程建设计划。2013年慕课元年之后,信息化给教育教学带来深刻变革。为了推动教育与互联网、大数据、人工智能等信息技术的深度融合,2017年教育部又启动了国家精品在线开放课程建设,2018年启动国家虚拟仿真实验教学项目建设。在前期建设的基础上,2019年正式提出建设“一流课程”(亦称“金课”),推动建设线下、线上、线上线下混合式、虚拟仿真和社会实践五类金课。为了引导各高校开展一流课程建设,教育部明确提出了金课建设“两性一度”标准^[1]。截止2024年,教育部已经遴选了两批金课,其中共有17门化学实验课程入选。

相较于理论课程,化学实验课程改革与建设的复杂性和挑战性更大,因此化学实验课程入选一流课程的数量和占比相对偏低。而化学实验课程在培养化学类专业学生的基本技能、科研素养和创新能力方面发挥着至关重要的作用,推进化学实验课程按照一流课程的理念和标准进行建设,是提升实验教学水平,达成育人目标的必然要求。但目前尚缺乏系统的一流实验课程建设和评价的标准,导致很多高校在推进化学实验一流课程建设时存在缺漏甚至偏差。为了解决这一问题,教育部化学实验教学改革创新虚拟教研室组建了一流课程建设教研组,将研制一流化学实验课程建设和评价标准以及推广一流课程建设经验作为该教研组的核心理念。经过近两年的研讨和编制,教研组完成了“化学实验一流实验课程建设和评价标准建议”(以下简称标准建议),并在此基础上形成本文,希望对各高校开展实验一流课程建设发挥借鉴作用。

2 研制说明

2.1 研制参考标准

实验一流课程建设标准必须与一流课程“两性一度”标准、国家标准和相关规范相衔接^[1,2]。在研制本标准建议的过程中,教研组主要参考了《化学类专业教学质量国家标准》^[3]、教育部高等学校化学类专业教学指导委员会(以下简称化学教指委)制订的《化学类专业化学实验教学建议内容》^[4]、相关专业认证或者评价标准^[5-7],以及对一流课程建设标准的认识^[2]。根据上述标准并参考部分一流课程建设经验^[8-10],一流课程建设和评价标准应主要关注教学理念、教学内容、课程资源、教学方法和手段、教学评价以及特色建设等内容,故设置了6个一级指标(见表1)。

表1 一流实验课程建设和评价标准建议

一级指标	二级指标	三级指标(核验点)
1 课程/实验教学目标: 理念先进,体现高阶性、 创新性和挑战度	1.1 教学理念	1.1.1 体现目标导向,能够落实毕业要求
		1.1.2 体现学生中心、产出导向理念
	1.2 高阶培养	1.2.1 体现分析、综合、评价、设计能力培养
		1.2.2 体现课程思政育人要求
		1.2.3 体现批判性思考和创新能力培养
	1.3 安全环保	1.3.1 明确相关法律法规要求
		1.3.2 有明确的安全和环保要求
		1.3.3 落实安全意识和自我防护能力

(待续)

(续表1)

一级指标	二级指标	三级指标(核验点)
2 课程/实验教学内容: 综合性和创新性强	2.1 层次递进	2.1.1 课程包含基础-综合-设计三层次实验内容且比例适当
		2.1.2 体现方案设计和评价能力培养
	2.2 内容更新	2.2.1 注重对经典实验内容的挖掘和拓展
		2.2.2 内容更新及时, 与学科前沿或者生产实际相衔接, 体现“四个面向”要求
	2.3 数智赋能	2.3.1 将信息技术与实验深度融合, 提升实验效果
		2.3.2 能够强化学生的信息能力培养
3 课程资源 课程资源丰富, 使用效果好	3.1 教材	3.1.1 主编或者采用高水平教材
	3.2 课程资源	3.2.1 文本资源(课程教学大纲、教案、典型实验教学设计、课程思政案例等)丰富、规范
		3.2.2 数字化资源丰富(包括慕课、微课、虚拟仿真), 使用效果好
		3.2.3 资源更新及时
	3.3 教学团队	3.3.1 基层教学组织健全, 工作规范, 效果好
		3.3.2 教学团队结构合理, 教师热心投入教学, 教学效果好, 能够持续发展
4 教学方法手段 教学方法和技术先进	4.1 教学方法	4.1.1 教学方法先进, 体现学生中心、产出导向, 能够充分调动学生的积极性和主动性
		4.1.2 对实验教学进行系统设计, 教学环节清晰
		4.1.3 强调学生能够独立设计和完成实验
		4.1.4 积极推进多参数实验和团队实验
		4.1.5 积极引导学生进行应用拓展
	4.2 教学技术	4.2.1 积极采用数智技术改进实验教学, 提升教学效果
5 课程评价 体现达成度考核, 强化过程性评价和量化评价	5.1 过程评价	5.1.1 建立基于产出的评价机制
		5.1.2 强化过程考核, 覆盖实验教学各环节
		5.1.3 实验教学目标达成度高
	5.2 量化考核	5.2.1 明确各环节质量标准
		5.2.2 制订各环节评价量表, 提升评价的科学性
6 课程特色	课程建设特色鲜明, 具有开拓性和创新性	
7 示范引领	课程建设形成可复制的经验, 具有示范性和引领性, 有利于推广应用	

以下对各一级标准的内涵和要求进行说明。

2.2 教学理念

一流课程建设必须以一流的教育教学理念为指引。现代教学理念的核心是学生中心、目标导向、产出导向和持续改进。基于目标导向要求, 在确定实验课程教学目标时, 必须明确其需支撑的毕业要求, 并制订落实课程教学目标的路径和考察目标达成度的方法。这就要求在确定教学目标时要体现高阶性, 并按照产出导向的方式进行表述和落实^[2]。

我国的实验教学目标经历了3个发展阶段^[11], 第一阶段为知识与技能导向型教育阶段, 主要强调了解实验基本概念、基本原理和基本操作; 第二阶段为素质与能力导向型教育阶段, 强调通过综合实验强化学生分析和解决复杂问题能力的培养; 强调通过设计实验, 突破唯专业的局限, 在设计和评价实验方案时要综合考虑政治、道德、法律、伦理、社会、文化、经济、环保、绿色和可持续发展的要求, 能够正确评价和选择实验方案。这一要求也与课程思政教育的要求相一致; 第三个阶段为批判和创新导向型的教育, 强调让学生对现有原理和方法进行批判性思考, 能够突破现有原理和方法的局限, 形成创新意识, 发展创新能力, 以便满足国家培养一大批拔尖创新人才的时代需要。其中, 第二、第三阶段的人才培养均体现了对创新性和高阶性的要求, 即符合一流课程建设要求。

考虑上述要求及教学理念的引领作用,在一流实验课程建设标准中设置了教学理念一级指标,包括了教学理念、高阶培养和安全环保3个二级指标和8个三级指标,其中二级指标1.1.1和1.1.2体现了目标导向和学生中心、产出导向的要求;1.2.1–1.2.3指标强调了目标的高阶性和课程思政育人要求;指标1.3.1–1.3.3强化了法律法规教育、安全环保教育和自我防护意识的培养。其中高阶培养和安全环保均属于实验教学目标的范畴,为了使教学目标体现高阶性从而引导实验教学提升水平和效果,近年来化学教指委推动建设了部分教学内容与教学要求建议^[12,13],可以作为实验一流课程建设的重要参考。

2.3 教学内容

教学内容是实现知识、能力和素质培养的载体。只有内容体现高阶性和创新性,才有可能支撑高阶培养目标的实现。

在教学内容的安排上,应首先考虑学生实验和创新能力形成和发展的规律,安排层次化的实验教学内容,在强化实验基础知识、基本原理和基本操作的基础性和规范性的同时,推进学生由“照方抓药”式的简单模仿和重复训练,上升到可以对复杂问题进行分析和综合,对实验原理和方法可以进行有效组合,从而形成解决复杂问题的能力(综合实验),并能够根据项目或者任务要求,自行设计实验方案、搭建实验装置、完成实验任务(设计实验),最终能够从生产生活和科学研究中发现问题的,进行创新性思考和设计,以解决实际科学和技术问题为导向,相对独立地完成具有研究性质的实验(创新实验)。这就要求一流实验课程必须在课程内部构建基础–综合–设计–创新实验内容体系^[11,14]。因此,标准建议在2.1.1指标中建议一流课程建立基础–综合–设计三层次实验教学体系,保持适当比例,并在实验过程中培养学生的方案设计与评价能力(指标2.1.2)。

如何使实验内容与学科前沿、行业发展和日常生活相衔接,解决实验内容陈旧、与科技前沿和产业发展脱节、以及实验技能不能与时俱进的问题,是一流实验课程建设面临的重要挑战。因此,标准建议一方面强调对经典内容进行挖掘、延伸和拓展,发现其与科技前沿和生产实际的联系(指标2.2.1),即对经典实验进行创新设计和改造;另一方面要求及时更新实验教学内容,将最新的科技成果和重大应用引入本科实验,推进新创实验建设(指标2.2.2)。当前,人类已经进入数智时代,OpenAI和DeepSeek等生成式人工智能大模型必将对教育教学产生革命性的影响。提升学生的信息素养和使用信息化、智能化手段分析和解决问题的能力,已成为当前实验教学改革与建设的重要内容。因此,标准建议还从数智技术与实验教学深度融合,从而提升实验教学效果(指标2.3.1)和学生数智素养(指标2.3.2)两个方面提出了要求。

2.4 课程资源

一流课程的重要特征之一就是具有丰富的教学资源。实验课程资源包括纸质和网络资源。纸质资源包括实验教材、参考书、相关常数手册、使用说明书、操作规范、安全手册、各类规章制度和安全提醒等,也包括实验课程教学大纲、教案、教学日历(教学安排),还包括拓展学习资源如相关应用案例、课程思政教学案例等。首先,教材应体现高阶性和创新性,体现信息技术与教育教学的深度融合,所以,推进新形态教材建设,推进课程与教材的深度融合是必然要求。其次是资源的数字化、网络化建设应达到较高水平,可以支撑学生突破时间和空间的限制,方便地获取相关资源(可及性)以开展自主学习,并利用数智化手段赋能深度学习,构建个性化的学习空间和学习路径。因此,本标准建议的课程资源指标对3.1教材和3.2课程资源建设丰富性和可及性以及更新的及时性提出了明确要求。

此外,实验教师队伍的数量和结构以及教学投入是提升实验教学质量的根本保障。故标准建议将3.3.2师资队伍和3.3.1教研机制建设纳入资源建设指标,建立了涉及队伍的数量和结构、教研机制、教学投入和教学效果等方面的建设和评价标准。

2.5 教学方法和手段

同样的实验教学队伍和教学内容,采用不同的教学理念和教学方法,可能产生完全不同的教学

效果。采用先进的教学方法和手段，目的是更好地落实学生中心理念，调动学生全面参与实验教学的各个环节，积极思考，主动提升。教学方法和手段可以根据课前、课中和课后的不同要求因地制宜。

课前可以以问题为牵引，引导学生了解实验的原理以及实验原理和技术的最新进展，利用网络教学资源开展自主学习，掌握实验流程和操作关键点，并发现和评价实验过程中可能涉及的安全与环保风险，制订相关方案，规避安全隐患，保证实验安全。对于综合实验和设计实验，可以引导学生以小组为单位，对实验方案和实验环节进行批判性思考，发现问题，并通过研讨、相互学习和相互借鉴，综合各方信息和意见，对方案进行完善，并对优化后的方案进行批判性思考，分析其优势与不足，明确个人的责任与义务。在进行信息收集、方案制订和方案评价的过程中，可以安排学生以小组为单位，强化数智技术的应用，对实验过程和结果进行模拟或预测，做到对实验胸有成竹；在此过程中，学生可以相互学习，共同提升数智化素养和能力。课前，通过强化实验预习和准备，可以全面提升学生获取信息的能力、分析问题的能力、综合设计方案的能力、方案评价能力、识别和防范安全和环保隐患的能力、师生和生生间交流合作的能力，提升实验教学的高阶性。

在实验过程中，强调学生相对独立地完成实验操作，独立思考和解决实验过程中出现的问题，细致观察和规范记录实验现象和数据，养成规范、严谨、科学、自主的实验习惯，不断提升研究素养。教师也可以推广团队实验和多参数实验，对学生进行分组，安排学生合理分工，使每位学生完成不同的实验内容并共享实验结果，提升实验的探究性^[15]。通过团队实验，可以促进学生相互学习和借鉴，可以较好地解决学生操作不规范、记录不完善、抄袭他人数据、篡改甚至编造实验结果等问题，可以更好地强化学术道德和学术规范。通过团队实验和分析最终数据，学生可以发现个人实验操作存在的问题并分析原因，并对实验过程进行自我评价和团队评价，可以增强过程评价的多元化和有效性。

实验结束后，通过学生共享数据，可以获得各种因素对实验结果的影响，自行归纳规律，分析变化趋势和影响因素，使实验更具研究属性。在此基础上，还可以方便地采用论文方式替代简单的实验报告，提升学生科研思维能力、培养科研论文写作习惯和遵守学术规范的能力。课后可以组织学生实验原理的应用进行拓展，而采用团队形式，通过小组研讨的方式，完成一些更具难度和挑战性的问题，可以提升学生的能力和素质水平，拓展视野，增强学以致用能力。

因此，“4 教学方法手段”指标强调了实验“教学方法和技术”的先进性，共设置了6个二级指标，引导实验课程采用先进的方法和手段。主要包括教师要对实验教学进行系统设计(4.1.1、4.1.2)，积极推进多参数实验和团队实验(4.1.4)，采用数智技术改进实验教学(4.2.1)，充分调动学生的积极性和主动性(4.1.1)，能够独立设计和完成实验(4.1.3)并积极进行应用拓展(4.1.5)，从而全面提升实验教学的层次和效果^[1,11]。

2.6 教学评价

在评价实验教学效果时，最关键的要求是体现达成度评价理念，强化过程性评价和开展定量化评价。

评价的关键在于落实基于产出的评价(outcomes-based evaluation, OBE)理念。OBE评价具有确定的流程，主要包括明确评价目标(知识、能力和素质培养要求)–选择指标(可以考核达成度的评价方式)–确定预期值(希望多少学生达到什么程度，常用分数和百分数表示)–完成任务并收集产出数据–计算达成度五步。可见，要落实OBE评价理念，必须对评价过程进行系统设计。例如，要考核学生“发现和辨别实验过程中可能涉及的安全与环保隐患，制订相关方案，做到防患未然”能力目标的达成情况，就可以让学生在实验预习报告或者实验预习测试中指出本实验使用的试剂和装备是否存在有毒、腐蚀或者易燃易爆等风险，列出危险的类型和等级，说明试剂取用和回收的方法以及仪器设备使用的注意事项，而后根据学生发现的隐患是否全面、分类是否准确、取用和回收以及仪器设备使用是否符合规范等进行评价，计算有多少学生可以达到安全要求(比如要求错误率不超过10%，或者分数超过90

分,且关键问题未出现错误的学生达到100%),从而计算达成度。显然,不同的实验教学目标需要设置不同的考核方式,因此实验教学目标达成度评价考核必然是多元的,也更强调过程性。

在“5 课程评价”指标下共设置了5个二级指标,分别涉及建立系统性的评价机制(5.1.1)、强化过程性评价(5.1.2)、注重按照OBE理念并采用定量或者半定量方法计算达成度(5.1.3),以及明确各环节评价标准(5.2.1),制订相关评价量表(5.2.2),以确保实验教学评价的科学、可信。

2.7 特色建设

国家建设一流课程的主要目的之一就是要建设一批标杆性课程,以发挥示范和引领作用。这必然要求一流课程建设要突出特色和优势,形成系统的、可借鉴的经验。

基础性、规范性、安全性和良好的再现性是本科实验的基本属性,但只有强调特色性,才能够避免不同学校开设的实验项目千篇一律、内容陈旧并缺乏吸引力等问题,也才能推动实验内容的更新和教学效果的提升。因此,强化特色建设是建设一流实验课程的必然要求。

实验课程的特色性则主要体现在地域、行业、学科、应用、发展和综合等方面。近年来,以特色建设为引领推进实验内容更新取得了一些进展,形成了一些具有良好示范作用的实验项目^[16-18],但总体而言,具有特色优势的实验项目的数量还不多,推广的力度和效果还不够理想。这也是化学“101计划”强化实验创新建设的重要原因^[11,14]。

如前所述,国家建设一流课程的目的是要打造一批样板,能够示范和引领所有课程按照一流的理念和标准开展建设,以课程建设的“小切口”,带动人才培养理念和模式的“大变革”。这也是设置实验一流课程建设的第7个一级指标“示范引领”的原因。

3 结语

本文介绍了“化学实验一流课程建设和评价标准建议”,该标准建议共设置了7个一级指标、13个二级指标和31个三级指标,涵盖了实验一流课程建设的各个方面。论文还对设置这些指标的原因,建设与考核的重点等进行了说明。该标准建议对化学实验一流课程建设具有较高的参考价值。

参 考 文 献

- [1] 张树永,朱亚先,张剑荣. 大学化学, **2018**, *33* (10), 1.
- [2] 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.
- [3] 教育部化学类专业教学指导委员会. 普通高等学校本科专业类教学质量国家标准. 北京: 高等教育出版社, 2018: 130-137.
- [4] 2013-2017年教育部高等学校化学类专业教学指导委员会. 大学化学, **2017**, *32* (8), 1.
- [5] 孙悦竹,张树永. 理科高等教育, **2023**, No. 3, 99.
- [6] 张树永,王玉枝,朱亚先. 中国大学教学, **2017**, No. 4, 51.
- [7] 中国工程教育专业认证协会. 工程教育认证标准. 北京: 中国标准出版社, 2022: 7.
- [8] 李文艺,许志锋,孙俊彬,毛芳芳,陈满生,卢伟红,刘洋,黄耿. 大学化学, **2024**, *39* (10), 389.
- [9] 田东亮. 大学化学, **2018**, *33* (3), 17.
- [10] 张永民,郭爽,朱明月,刘梦辉,李思依. 大学化学, **2024**, *39* (2), 21.
- [11] 张树永. 中国大学教学, **2023**, No. 10, 8.
- [12] 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.
- [13] 章文伟,任艳平,李维红,邱晓航,石梅,刘欲文,王志林. 大学化学, **2025**, *40* (5), 23.
- [14] 俞寿云,章文伟,邓顺柳,李维红,任艳平,李一峻,淳远,李厚金,马荔,赵发琼,等. 大学化学, **2024**, *39* (10), 52.
- [15] 张树永,宋淑娥. 大学化学, **2024**, *39* (2), 57.
- [16] 戴春爱,韩永生,颜鲁婷,李振,曹莹泽. 大学化学, **2024**, *39* (2), 34.
- [17] 黄玉梓,江茂生,林月绪. 大学化学, **2021**, *36* (8), 2011034.
- [18] 高海燕,董玉明,杜佳琼,宁峥雯,陈雯清. 大学化学, **2023**, *38* (1), 180.