

化学类专业实验教学改革进展、趋势与重点

张树永^{1,*} 张剑荣² 陈六平³⁽¹⁾ 山东大学化学与化工学院, 济南 250100; ⁽²⁾ 南京大学化学化工学院, 南京 210093;⁽³⁾ 中山大学化学与化学工程学院, 广州 510275)

摘要: 综述了过去近 20 年我国化学类专业实验教学改革的主要内容和取得的主要成绩, 分析了当前实验教学中存在的主要问题和挑战, 采用目标导向的方式, 对实验教学目标、教学内容、教学模式、管理模式的改革趋势进行了分析, 提出了改革的要求和思路。对今后的实验教学改革和建设具有一定的指导意义。

关键词: 化学类专业; 实验教学; 教学改革; 目标导向

中图分类号: O6-3; G64

Progresses, Tendency and Key Points of Chemistry Laboratory Teaching Reform for Chemistry Majors

ZHANG Shu-Yong^{1,*} ZHANG Jian-Rong² CHEN Liu-Ping³⁽¹⁾ School of Chemistry and Chemical Engineering, Shandong University, Jinan 250100, P. R. China;⁽²⁾ School of Chemistry and Chemical Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, P. R. China;⁽³⁾ School of Chemistry and Chemical Engineering, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, P. R. China)

Abstract: The important reforms and progresses of chemistry laboratory teaching in China during the past 20 years are summarized. The main problems and challenges for the present chemistry laboratory teaching are analyzed. Using the objective-orientated strategy, the reform tendency and main approaches for defining the teaching objective, teaching contents, teaching pedagogies, and administration regime are discussed. It is of theoretical significance for future reform in laboratory teaching for chemistry majors.

Key Words: Chemistry majors; Laboratory teaching; Teaching reform; Objective-orientation

实验教学在化学类专业人才培养中发挥着不可替代的基础作用, 是培养学生动手能力、科研素养、创新创业能力和可持续发展能力的重要依托。在过去的近 20 年中, 我国的化学实验教学改革取得了巨大进步, 但与国际先进水平的差距仍远远大于理论课教学。因此, 我们需要在总结以往经验的基础上, 以问题为导向, 以培养目标为导向、以教学效果为导向, 以创新创业教育为契机, 对化学实验教学进行深入思考、系统设计和综合改革。

1 实验教学改革与建设的历史成绩

1999 年, 世界银行贷款启动的“高等教育发展项目”是我国新时期化学实验教学改革启动的标志。通过实施该项目, 在改善基础课教学及实验教学条件的同时, 提高了师资队伍水平, 推动了教材

*通讯作者, Email: syzhang@sdu.edu.cn

建设和教学改革。“新世纪高等教育教学改革工程”启动了“实验教学示范中心建设标准”制订工作，并于2003年底完成，随后启动了国家级—省级—校级三级实验教学中心建设。

1.1 实验教学示范中心建设

从2004年开始，通过连续两个五年计划的大力推进，我国在33个学科建设了901个国家级实验教学示范中心和300个国家级虚拟仿真实验教学示范中心。其中，化学和化工类实验教学示范中心有65个，虚拟仿真中心有27个，数量在各学科中名列前茅，表明化学化工实验教学改革与建设走在了各学科的前列。

实验教学示范中心的建设和运行给我国的化学实验教学带来了系统化、深层次变革，主要表现在实验独立设课、实验管理体制机制改革、基础性—综合性—创新性实验教学体系的建立、实验室条件建设、实验室开放制度、教学技术和教学方法改革，并伴随着一大批新版教材的编写和使用。随着高校扩建和资金投入的增加，我国高校化学实验教学条件发生了根本性改观。目前，多数本科院校的化学实验室面积、实验教学基本条件已经接近甚至赶超国外高校。

1.2 实验教学体系建设

改革之前，我国的实验教学主要依附于理论课，实验安排的顺序就是五大化学的教学顺序，实验的作用除了学习基本操作、训练动手能力外，主要是验证理论课内容或者加深对理论的理解。普遍存在实验课时少，实验安排未考虑实验技能形成规律，实验内容比较单一，缺乏综合性和设计性，未体现对学生综合设计实验的能力和创新能力培养要求等问题^[1,2]。这也是我们改革实验教学体系的原因。各高校经过积极探索之后，形成了2种新的实验安排模式(表1)。

表1给出的是比较典型的设计，各学校会多少有所不同。其中，“延伸设计体系”与“五大化学体系”前段类似，只是通过延长体系增加了综合实验和创新实验；而“一体化体系”则完全打破二级学科界限，按照实验技能形成规律安排实验教学。

表1 我国当前的实验教学体系^[3,4]

体系	课程顺序
五大化学体系	无机化学实验—分析化学实验—有机化学实验—物理化学实验—化工基础实验
延伸设计体系	基础化学实验I(无机-分析化学实验)—基础化学实验II(有机化学实验)—基础化学实验III(物理化学实验)—综合化学实验—创新化学实验
一体化体系	化学基本操作—化学合成方法—综合化学实验—开放创新实验

1.3 实验教材建设

为了适应实验教学改革的需要，自2001年以来，我国的化学实验教材建设进入了一个繁荣期。在大量修订再版原有实验教材的同时，很多高校都启动了教材新编工作。以新体系建立后才开始编写的《综合化学实验》为例，以2001年南京大学等四校合编出版的《综合化学实验》为起点，到2016年，据不完全统计，各高校编写出版的《综合化学实验》指导书已经多达41种。其中，仅2009年一年就出版了9种。由于创新设计实验的特殊性，很难独立编写对应的实验指导书，将综合实验与创新实验合并编写出版的教材也有7种。另外，由于安全环保意识的增强，近年来南京大学和北京大学分别出版了《高等学校化学化工实验室安全教程》和《化学实验室安全知识教程》等。

为了发挥国家级和省级实验示范中心对区域内高校实验教学改革和教学建设的带动作用，不少国家级或省级实验教学示范中心牵头组织区域内高校，联合编写和使用教材。如南京大学组织江苏省高校联合编写的“高等学校化学实验教学改革规划教材”共有12本，是目前国内体系最庞大的实验教学指导书。

1.4 大学生化学实验竞赛

化学实验竞赛是展示教学改革与建设成果，交流教学经验的重要平台。目前，全国性的化学竞赛

主要有2个,即“全国大学生化学实验邀请赛”和“全国高等师范院校大学生化学实验邀请赛”。前者由教育部高等学校化学教育研究中心主办,从1998年开始每2年举行一次,主要邀请国家级基础科学研究与教学人才培养基地、国家级实验示范中心参加,已成功举办10届。后者由教育部化学类专业教学指导委员会高师协作组主办,主要邀请教育部直属和地方重点师范大学参加,从2009年开始每2年举办一次。据不完全统计,目前还有浙江、湖南、山东等15个省区举办了区域化学实验竞赛活动,个别地区如重庆和上海还举办了跨区竞赛。这些竞赛绝大多数都是技能竞赛,个别竞赛如北京市竞赛为创新竞赛。

2 当前实验教学面临的问题和改革趋势与重点

随着经济地位、科技实力、政治影响力的不断提升,我国已经从改革开放初期的跟踪、学习、吸收、再创新逐步过渡到创新和引领,需要一大批拔尖创新人才和高水平专业人才来引领我国的科技发展,支撑创新型国家和科技强国的建设。人才培养标准与国际接轨、毕业生参与国际竞争也将成为新时期人才培养的新常态。这必然对实验教学改革提出新的更高要求。

2.1 实验教学目标

《化学类专业教学质量国家标准》对化学类专业人才培养的业务知识与能力提出了明确要求^[5]。教育部评估中心制订的《化学类专业(理科)学生学习成果要求》,进一步明确了化学类专业的毕业要求。这两个文件对实验教学的基本要求可归纳为:掌握化学实验基础知识、基本理论和基本技能;具有化学研究或化学品设计、开发能力,并体现创新意识;具有安全意识、环保意识和可持续发展理念;能够利用计算机与信息技术获取、处理和运用化学及相关学科信息;具有文字与口头表达、交流能力;具有协调与团队合作能力;具有适应未来科学技术和社会经济发展的能力。

2.2 目标导向的实验教学分析

按照基于产出/目标的教育理念(Outcome/Objective-Based Education, OBE),实验教学课程体系、教学内容和教学模式设置必须以满足上述基本要求作为落脚点和出发点,并利用矩阵设计理念,将知识、能力和素质培养要求落实到实验教学中(表2)^[6]。

从表2可以看出,改革之前的实验教学主要关注“三基”教学,存在学科割裂、实验内容单一、综合性和挑战性差、要求不高,容易导致“照方抓药”式教学等弊端^[1,2,7,8]。而改革之后,随着综合实验、设计实验、创新实验的引入,以及在实验数据处理过程中引入科学软件(如Origin, Excel, Matlab, Maple, Guassian, ChemDraw, ChemWindow等),在物理化学实验和化工基础实验中引入模拟和仿真辅助实验教学,强化了学生的实验技能,使学生综合运用知识和技能解决复杂问题的能力显著增强^[9-12]。

应该注意的是,由于我们在教学过程中过分强调“一人一组”、“独立完成”,而未对团队实验进行有效的设计,导致实验教学对学生的交流能力、协调能力和团队合作能力培养弱化甚至缺失^[13]。

2.3 实验教学改革的重点

从表2可以看出,我国目前的化学实验教学还存在不少问题和短板。如何解决这些问题和短板,就成为未来5-10年我国实验教学改革的重点。

(1) 提升实验教学理念。实验教学目标从传授知识和技能过渡到能力与素质的养成是一种根本性的变化^[3,6,14]。理念转变的过程往往艰难而漫长,需要教学管理人员、教师和学生共同努力。在加强宣传和引导的同时,需要先从点上突破,而后通过示范带动进行推广,并通过实验教材及时固化改革成果。对于培养基础研究型人才的高校,应将创新实验纳入培养要求;对于培养应用型人才和学校,应该将产品、工艺设计等纳入实验教学。在实验教学过程中应避免片面强调成功率,否则会导致教师指导过多、过细,学生畏手畏脚的问题,不利于科学态度和创新精神的培养^[15]。要求教师由讲授者转变为引导者,有意识地引导学生自主思考和设计实验,并通过小组讨论、方案展示等方式,让学生表达

表2 化学实验教学矩阵设计

知识素质和能力要求	包含内容	课程安排	教学方法
(1) 基础知识、基本理论	实验基本概念、实验常识、实验和仪器的基本原理和操作方法	全部实验课程	自学、讲授
(2) 实验基本技能 ^[5]	物质合成与分离等基本方法与操作 物质的定性定量分析、表征 基本物理量与物理化学参数的测定 安全使用化学品和仪器设备 科学规范地记录实验现象和数据 判断数据的合理性和准确性 对结果进行分析和归纳, 得出合理结论	全部实验课程	自学、讲授、示范、实做——在“做中学”
(3) 化学研究或化学品设计、开发等能力, 具有创新意识	综合运用化学及相关学科的基本原理和方法 拟定解决化学及相关学科问题的方案 在方案中体现创新 评价方案的可行性, 预测实施效果	综合实验、创新实验、创新训练项目	学生自主设计, 师生研讨, 学生完成, 方案评价
(4) 具有安全意识、环保意识和可持续发展意识	具有人文素养、科学精神和社会责任感 熟悉相关政策、法律和法规 遵守学术和职业道德、职业规范 理解方案局限性, 明确自己应承担的责任	实验安全教育、创新实验、创新训练项目	讲授、自学、氛围营造、自主设计与考核
(5) 掌握必要的计算机与信息技术, 能够获取、处理和运用化学及相关学科信息	数据库使用、网络检索能力 文献综述与评述 实验软件处理实验数据 实验软件进行模拟和仿真	模拟和仿真实验、设计实验、创新实验、创新训练项目	授课、自学、计算模拟
(6) 具有较强的表达、交流能力	具有一定的国际视野和跨文化沟通交流能力, 能够采用书面或者口头的方式进行良好的沟通和交流	全部实验、创新实验、创新训练项目	外语实验、外文文献阅读; 撰写实验报告/论文撰写, 进行报告和展示
(7) 协调能力和团队合作能力	具有团队意识, 能够在本学科及多学科团队中与其他成员进行有效的协调与合作	全部实验	团队实验、创新小组
(8) 适应未来科学技术和社会经济的发展	具备自主学习、自我发展的能力	全部实验	自学、自主设计实验、参与创新实验

自己的看法和意见, 激发学生的兴趣和主动性, 培养学生主动探究、勇于创新的精神^[16]。

(2) 提高综合、设计、创新实验比例和效果。表2显示, 综合实验、设计实验、创新实验在学生能力和素质养成中占据重要地位, 因此, 有必要进一步提高该类实验所占的比例。目前很多高校对于综合、设计和创新实验的内涵尚不清晰, 用旧理念、旧方法做综合、设计和创新实验的现象比较普遍^[3,8,14]。而要发挥综合、设计和创新实验应有的效果, 必须以增强学生的自主性为前提, 强调题目的挑战性, 强调学生自主思考、自主设计、共同研讨修改、自主完成、自主总结评价^[14,16]的教学模式。

(3) 实验教学内容的现代化。目前, 我国的实验教学普遍存在内容陈旧、过程简单, 与科研、生产、生活脱节, 缺乏设计性、挑战性问题, 亟待改革^[1,2,7]。一些内容包括玻璃加工、滴定实验^[2]、简单的无机和有机合成等等, 占据大量篇幅和时间, 阻碍了新方法、新技术的引入。因此, 对陈旧内容进行合并、精简、淘汰^[17], 要将实验内容设置与区域经济、日常生活、实验竞赛、岗位技能、科研开发相结合^[14,19], 使实验内容前沿化、系统化(表3), 同时应该增加安全、环保、绿色设计等内容。对一些经典实验, 则可以通过引入变量, 使之具有一定的探究性, 安排学生独立或者集体进行数据分析, 也能取得良好效果^[17]。

表3中打“#”的内容是建议缩减甚至删除的内容。这些内容多数比较浅显, 或者学生在中学即已接触; 打“*”的内容是建议引入的, 方法比较新颖且容易实现; 打“\$”的内容往往装备复杂、技术困难, 难以在教学实验室完成, 是建议课外了解的内容。

表3 大学化学实验教学内容的系统化、前沿化举例

分类	具体方法
加热方法	明火加热：#酒精灯、#酒精喷灯、#煤气灯 电加热：电炉、电热板；热风干燥箱；箱式电阻炉(马弗炉)、管式电阻炉 均匀加热：电热套、空气浴、水浴、油浴、沙浴、盐浴 辐射加热：红外灯、*微波炉、*电磁炉；\$激光、\$等离子体 其他加热：*蒸汽加热、恒温加热
过滤方法	压力：#常压过滤、减压过滤(抽滤)、*压滤 滤网种类/网眼尺寸：沙滤、*微滤、*纳滤、*超滤 其他：*电滤、保温过滤、\$袋滤
搅拌方法	动力源：手动搅拌、机械搅拌、电磁搅拌 搅拌方式：*滚动搅拌、*离心搅拌、*行星搅拌、*振荡搅拌；*空气搅拌
物质合成方法	反应类型：复分解、氧化还原；主客体反应；生物合成；光化学合成；热分解、热裂解；光分解、光电分解；*自组装 反应状态：气相合成、(非水)溶液合成、(高温)固相合成、\$超临界合成、离子液体合成、(微)乳液合成、溶胶-凝胶合成 反应条件：*无水无氧合成(*胶囊反应)；*溶剂(水)热合成；\$高温高压合成(金刚石)；\$化学气相沉积；*电化学合成；*(高能)球磨(机械)合成；微波合成、\$等离子体合成、\$溅射/粒子束合成 限制合成：*模板合成(分子筛)、\$外延生长(BN)

(4) 信息化下的实验教学。强化学生的信息意识，使学生掌握各种常见软件的应用，提高科学处理数据和信息的能力^[9-11]；建设实验教学信息资源，建立线上线下相结合(O2O)的教学模式，推进实验教学的翻转，是提高实验教学效率和效果的重要途径^[16,20]。对于那些在教学实验室难以完成的实验(表3中带\$的内容)，应该采用多媒体和网络资源方式，通过虚拟实验、多媒体课件、教学录像等资源进行了解。对于实验教学内容，也可以通过布置作业让学生自学课程网站资源^[9]，让学生通过课前学习充分了解并通过某种测试再进入实验室进行操作，一方面可以培养学生自主学习能力，另一方面也可以了解学生存在的问题^[21]，开展针对性教学。对于一些没有危险的基本操作(如加热、滴定、过滤等)，不妨让学生通过线上学习的方式自己掌握，这样课内就可以直接安排高层次、综合性实验，既可考查学生掌握情况，又可提高教学层次和效果。

(5) 大力改进实验教学方法。实验教学方法改革是提高实验教学效果，发挥实验教学育人作用的关键。目前的实验教学，基本上采取的是教师讲内容、做示范，学生听讲、跟做和模仿的方式，学生往往未对实验内容进行深入思考，只是模仿和被动地接受，无法实现自主学习、自主思考、自主操作，这是导致实验教学难以引发兴趣、难以发挥效果的重要原因^[8]。提高实验预习程度和要求，使学生养成深入、系统思考的习惯，革新教学方法，以学生为中心，基于学生自主学习进行教学设计，从“手把手”到教师指导下的自主学习，变教师讲授为学生的主动探究^[14]，采用问题式教学法(PBL)^[22]、探究式教学法^[23]、协作式教学法^[13]、翻转课堂教学法^[16,20]等，加强师生、生生的讨论和互动，把学生变成实验的主体，加强交流与分享，是提升教学效果的前提。自主学习能力和终身学习习惯被称为关键能力，决定着学生适应未来科学技术和社会经济发展的能力，必须着力加以培养。另外，加强团队合作实验，实现实验的多参数设计，协作完成较复杂的实验任务，锻炼学生综合各种知识和原理进行综合设计的能力，做到数据共同分析和分享，是培养学生交流、协调能力，团队合作精神和集体荣誉感的有效方法。

近5年发表的有关化学实验教学方法改革的论文有近1400篇，说明各高校已经意识到教学方法改革的重要性。

(6) 改革实验考核模式。以往的实验考核往往过于强调分析测定结果的准确度、精密度及实验报

告的书写情况,忽视了对学生创新意识、综合素质的考核。虽然很多高校都设计了“注重过程,不惟结果”的考核改革,但往往也只是注重考核操作规范与熟练程度,对实验素养和能力形成,对过程目标和情感目标的考核仍不到位^[19]。此外,将安全、环保、学术道德、学术规范纳入考核体系也是必要的。近年来,通过引入CDIO模式^[24],国际认证理念^[25]、OBE理念^[1]进行能力达成度考核的模式正在逐步引入实验教学考核。

(7) 实验教学管理模式改革。目前,我国高校的实验安排基本上还在采用固定内容、固定时间、固定指导教师的方式,缺乏灵活性。该种安排与学分制、学生选修第二学位和辅修的要求不相吻合。国外的化学实验教学主要采用一周一个内容,一天3-10个时段,学生提前预约实验的教学管理模式。国外的实验有50 min、110 min、230 min 3种时长,每天可以分别安排10、6、3个实验时段,使学生能够根据自己的情况自主选择实验时间。而我们的实验时长6小时,这表明一天只能安排下午-晚上1个时段,这给理论课教学安排带来困难,且导致实验室利用效率低下,造成资源浪费。

3 结 论

经过过去近20年的改革和建设,我国的化学实验教学条件、实验管理模式、教学内容和方法发生了诸多意义深远的变革。新时期,我们需要进一步明确实验教学目标,以目标为导向,对教学理念、教学目标、教学内容、教学方法、考核方式等进行系统设计和综合改革,使化学实验在化学类专业人才培养中更好地发挥效果,助力创新创业人才培养。

参 考 文 献

- [1] 张树永,张剑荣,陈六平. 大学化学, **2009**, *44* (4), 24.
- [2] 任春艳,马传利,吕海涛. 化学教育, **2015**, No. 22, 42.
- [3] 沈永雯,俞 娥,梁永民. 大学化学, **2014**, *29* (1), 26.
- [4] 雷 杰,高 翔,马 林,张晋芬,庄继华. 大学化学, **2012**, *27* (1), 16.
- [5] 朱亚先,张树永,陆 靖,郑兰荪. 中国大学教学, **2015**, No. 2, 31.
- [6] 张树永. 中国大学教学, **2015**, No. 3, 55.
- [7] 同 鑫. 科教文汇, **2013**, No. 7, 50.
- [8] 甘 颖,邢宏龙. 安徽化工, **2014**, *40* (4), 94.
- [9] 杨荣榛,董文生,刘春玲,陈继生. 大学化学, **2015**, *30* (3), 34.
- [10] 傅应强,王飞虎,陶庭先. 大学化学, **2011**, *26* (6), 45.
- [11] 苏碧云,李 磊,刘 祥,孟祖超. 大学化学, **2012**, *27* (2), 34.
- [12] 田志茗,马荣华,陈 伟,单秋杰,石克欣,田景芝. 化工时刊, **2013**, *27* (12), 39.
- [13] 李莲花,王正平,吴 莉. 大学化学, **2013**, *28* (5), 15.
- [14] 刘红星,陈福北,何英姿. 高教论坛, **2012**, No. 8, 32.
- [15] 陈超越,邢宏龙,张晓梅,胡劲松. 大学化学, **2016**, *31* (2), 6.
- [16] 付 双. 中国科教创新导刊, **2013**, No. 16, 57.
- [17] 苏碧云,李 磊,刘 祥,孟祖超. 大学化学, **2012**, *27* (2), 34.
- [18] 杜春芳,方光荣. 化学教育, **2007**, No. 3, 54.
- [19] 李爱峰,孙爱玲,柳仁民. 大学化学, **2012**, *27* (6), 29.
- [20] 徐 旭,钟绍春,马相春. 远程教育杂志, **2013**, No. 5, 107.
- [21] 姚奇志,金 谷,汪红蕾,李 娇,刘红瑜. 大学化学, **2014**, *29* (3), 17.
- [22] 何红运,胡瑞祥,何 震. 大学化学, **2014**, *29* (3), 32.
- [23] 孙 宏,都 雪. 高师理科学刊, **2013**, *33* (6), 112.
- [24] 程利平,肖秀珍. 大学教育, **2015**, No. 12, 116.
- [25] 王 燕,殷 馨,孙学芹,熊 焰. 实验技术与管理, **2015**, *32* (2), 208.