实验与实践教学

新工科背景下的能源环境工程专业实验教学改革探索与实践*

张 瑜[1],延 卫[2],王桂芳[1],徐 浩[2],程上方[1]

(西安交通大学 1.能源与动力工程学院国家级实验教学示范中心,
2.能源与动力工程学院环境科学与工程系,陕西 西安 710049)

[摘要]根据新工科人才培养的要求,西安交通大学能源环境工程专业通过构建以优化实验课程结构和丰富教学资源为核心的四层次实验教学体系,完善教学方法和考核评价体系,有效激发了学生对专业实验的兴趣,提高了学生的自主实践能力,培养了适应社会需求的环境类应用型人才。

[关键词]环境工程;新工科;实践能力;教学改革

Exploration and Practice of Experimental Teaching Reform in Environmental Engineering Specialty Based on New Engineering Education

Zhang Yu[1], Yan Wei[2], Wang Guifang[1], Xu Hao[2], Cheng Shangfang[1]

(*1.Experimental Teaching Center of Energy and Power Engineering,*
2.Department of Environmental Science and Engineering,
Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, Shaanxi, China)

Abstract: Based on the request of talent cultivation under new engineering education, in Department of Environmental Science and Engineering of Xi'an Jiaotong University, a four-level teaching system was constructed from curriculum structure and teaching resources, and expeimental teaching methods and evaluation system were adopted in the teaching process. It is helpful for increasing students' interesting in specialty experiments, and training their practice ability autonomously. Applied talents of environmental engineering which meet the needs of society has been cultivated.

Key words: Environmental engineering; New engineering; Practice ability; Teaching reform

[作者简介]张瑜(1984-),女,工程师,硕士。

[通信作者]程上方,E-mail:csf2017@mail.xjtu.edu.cn。

*基金项目:2018年本科实践教学改革研究专项"基于提高学生自主学习能力的实验课程体系探索与实践"(18SJZX31)。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2017年教育部召开的高等工程教育发展战略研讨会上明确提出，新工科背景下的人才培养目标应适应当前我国以新技术、新业态、新产业为特点的新经济发展态势的需求[1-2]，新工科研究和实践活动的本质是培养创新性应用型人才。目前我国已跨入世界工业大国行列，在社会经济快速发展的同时，我国的环境污染、生态破坏、资源短缺等问题也日益严峻[3-4]。这对被列入新工科范畴的环境类学科来说，既是重大机遇也是巨大挑战。如何培养具有环境学科背景且较强创新实践能力的新型人才，满足社会对应用型人才的需求，成为高校亟须解决的大问题[5-6]。

目前，各高校高度重视环境类学科的发展。西安交通大学能源环境专业主动适应经济社会发展动向和自身优势学科专业发展的需要，通过环境与能源学科交叉融合，开展能源开发、转化与利用过程中的“污染预防—绿色生产—污染治理与资源化—环境修复”的系统研究，构建了能源环境工程学科，并在此基础上实现对学生的因材施教[3,7]。多年来，该专业在遵守专业培养规范的基础上，充分发挥学科优势，以培养适应社会发展需要的工程应用型人才为目标，从实验内容、教学方法及考核方式等方面，对实验教学进行了持续性改革，逐步形成了相对完善的实验教学体系，以适应新工科背景下能源环境专业人才培养的需求。

一、实验教学现状

实验教学旨在加深学生对理论知识的理解，增强学生理论联系实际的能力，培养具有研发能力的卓越工程技术人才，使理论与实际应用达到完美的结合[8]。本专业实验课程自开设以来，虽取得了一些成效，但也存在不足，主要表现为：1.专业特色不突出，层次与定位不清，达不到多层次实验教学的要求；2.实验设备功能单一，建立在相应设备上的实验内容较为肤浅，缺少开放性实验和综合创新性实验平台；3.实验教学与工程教育脱节，对学生的工程实践能力培养不足，无法满足社会对新工科人才的能力要求。鉴于此，开展实验教学改革非常必要。

二、实验教学改革举措

(一)重构实验教学体系

1.课程结构的调整与优化

与传统学科相比，环境工程学科的研究对象复杂，学科的交叉性、综合性特征非常鲜明[9]，支撑本学科发展的基础理论宽泛、课程涉及面广，主要包括水污染控制技术，大气污染控制技术，固体废物处理与处置，环境工程原理，环境生态学、环境化学、环境生物学、环境监测、环境质量及评价，环境管理与环境法等。其中，六门课程设置了相应的实验课程(总共约180学时)，在大三的课程体系中占有很大比例。依据高等院校本科环境类专业规范，结合本专业的特色，我们对实验课程结构进行了调整与优化，拓展了实验教学的内涵，构建了“四层次”的实验教学体系，如图1所示。

基础技能性实验教学旨在使学生了解本专业的工程背景和研究对象，以及与能源污染相关的污染指标的监测，如热电厂中的废水、废气、固体废物及噪声污染指标的监测。教学中注重基本操作的规范性、科学习惯的养成及实验结果的真实性。

专业技能性实验教学旨在使学生熟悉水、气、固相关课程的基本规律和科学实验依据，如利用混凝工艺及过滤吸附技术处理混合废水，评价不同工艺对污染物质的处理效果；模拟电厂废气，利用不同的碱性溶液吸收废气中的硫化物，并进行效果评价。教学中注重引导学生加强专业知识和实验技能的结合，加深对重要知识点的理解。

综合设计性实验注重多门课程知识的融合，通过让学生运用所学知识和技能，完成具有一定深度和广度的实验，锻炼和提高学生的综合实践能力。学生要系统、深入地完成实验内容，达到实验教学的要求。如剩余污泥中磷的释放及回收利用实验不仅要求学生熟练掌握污泥中磷不同形态的监测方法，而且要求学生设计不同的预处理工艺磷的释放量，评价是否能够有效回收利用。又如生活污水处理综合实验要求学生掌握各污染指标的监测方法，并了解工艺参数的优化方法。

研究创新性实验教学关注学生的个性化发

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

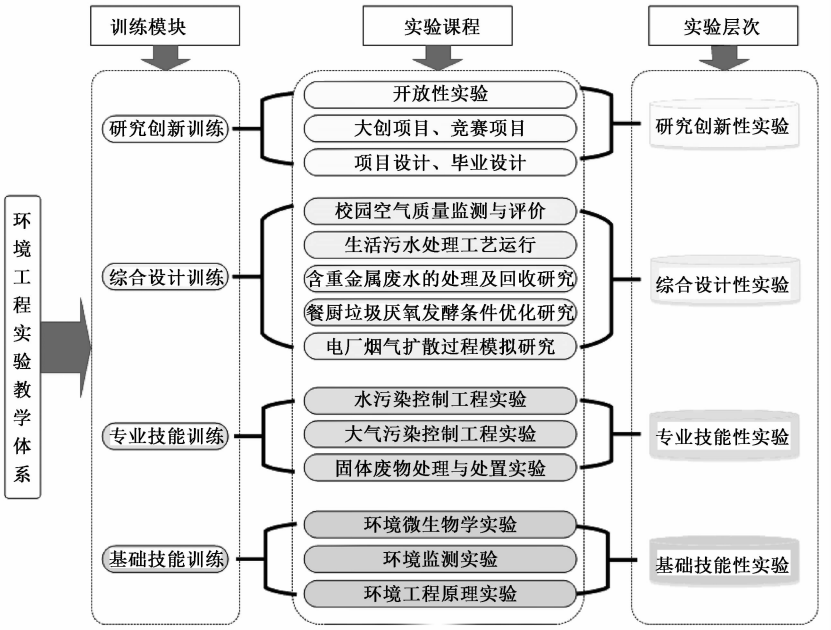

图 1　能源环境工程专业实验教学体系

展，通过让学生主动参与课题研究或自主提出探索性课题，培养学生运用所学专业知识解决实际问题的能力，为其今后从事科研工作打好基础。如学生通过自主设计实验方案并开展实验，探究雾霾对室内空气的影响，进而提出防护措施。

2.教学资源的建设与提升

在学校经费的支持下，本专业建设了三大实验平台，即基础分析实验平台、专业技能实验平台和综合创新实验平台。基础分析实验平台主要用于训练学生的基本操作技能，平台的设备种类多样（包括分光光度计、电子天平、显微镜、COD 快速测定仪等），数量充足，可以保证两人一组。专业技能实验平台拥有针对污染控制的工艺处理装置（如废气净化实验装置、废水处理实验装置、固体废物预处理及厌氧发酵实验台等），满足每三人一组进行操作。综合创新实验平台主要是根据实验研究需要自主搭建的实验装置，如臭氧发生器、超声波粉碎机、催化氧化装置等。这些设备功能拓展性强、自动化程度高，为学生进行探索研究提供了条件，为培养学生的工程实践能力提供了有力保障。

为了改善设备功能单一的状况，课程组成员以现有实验设备为基础，进行了设备功能的改进，以使其更好地用于教学。如自动控制的 SBR 工艺污水处理实验装置能够实现定时取样，从而方便了学生操作；恒压板框过滤装置有助于提高学生的动手能力和实验效率；模块化自主搭建的吸附实验装置提高了设计性实验的自由度。另外，我们还购置了技术先进的二氧化碳吸收与解析装置和有机废气催化降解实验装置，在保证本专业实验教学的同时，可为全校学生开展能源环境类的实践创新项目服务。

（二）改革实验教学方法和考核方式

1.多样化的教学手段

要让实验教学真正发挥作用，激发学生创新的兴趣至关重要[10]。在综合考虑实验性质的差异性的前提下，我们根据学生问卷调查结果，采用了灵活多样的实验教学手段。一是问题引导式教学。在基础技能性实验教学中，教师针对实验内容设置一系列问题，让学生在正确解答这些问题后再开始实验。这种方式能极大地激发学生主动学习的积极性。二是交流式教学。针对轮流进行不同实验操作的专业技能性实验，教师让学生在完成规定的实验操作后，讲述实验过程和要点，加深对实验原理的理解。最后，教师进行必要的补充和纠正。这种方式既能促进学生间的交流和沟

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

通，又能在一定程度上解决实验装置不足的问题。三是讨论式教学。针对综合设计性实验，教师要求学生通过查阅资料，确定可行的实验方案，并针对实验过程中的“新发现”展开讨论，从而加深学生对相关知识的理解，培养学生主动探究的能力。四是任务驱动式教学。在研究性实验过程中，教师通过“任务”来激发学生的动力，使其掌握知识和技能，并提高综合素质。这种方式旨在让学生通过分析、研究和相互讨论，锻炼解决问题的能力和工程实践能力。

2.多环节的考核评价

实验考核是评价学生对实验基本理论和操作技能的掌握程度的重要手段，是教师了解学生的学习态度、分析与解决问题能力的重要途径[11-12]。为此，我们结合学生对考核指标设计的反馈意见，在考查学生对理论知识的掌握程度的前提下，加大实验技能及创新能力的考核权重，构建了一套可量化的实验考核指标体系，使实验教学逐步走上规范化、制度化、定量化的良性轨道。

考核标准结合课程目标设定，主要包括平时过程考核（实验室纪律、实验过程考核）、实验报告和随堂测试评价，其中过程考核由老师评价、同组互评及学生自评三部分组成，具体如表1所示。

表1　实验教学的考核标准

课程目标	一级指标	二级指标	考　查　内　容	评分值
个人及团队	实验室纪律	实验规章制度	听课认真，无开小差、玩手机等行为	3分
		实验室卫生	实验台面、仪器及公共区域的卫生	2分
科学研究及团队协作	实验过程考核	实验预习	预习报告，现场提问	教师评价10分 同组互评10分 学生自评5分
		提问环节	讲述原理，回答问题，提问及思考情况	
		操作能力	独立实验，动手能力，问题处理能力	
		原始数据	记录属实、完整、规范可靠	5分
问题分析	实验报告考查	提交质量	按时提交，基本完整，独立完成	5分
		基本项目	实验名称，实验目的、原理、内容	10分
		原始数据与处理	完整，翔实，合理，详细，正确，有图表	15分
		讨论分析	结果是否正确，是否达到实验目的	10分
		结论	实验误差分析、实际问题回答、实验改进措施、独特见解等	5分
专业知识	实验随堂测试	实验知识要点	回答问题的正确性	25分

3.学生工程实践能力的培养

工程实践能力是本专业毕业生的必备能力[13]，因此加强学生工程实践能力的培养非常重要。我们在实验教学中，注重考核学生提出问题的能力，以及利用所学知识和技能解决问题的能力。实验以小组为单位，以面向工程化思维为基础，主要培养学生的协作沟通能力和项目组织能力。另外，我们还将工程实例引入课堂，在第三、第四层次的实验项目设置中，确保知识点的有效融合，并增加了与工程化结构相近的实验内容。如教师让学生在参观污水处理厂的基础上，结合工业实际，讲解废水三级处理工艺及其他处理单元，再引入工程案例分析，启发学生的思维[14-15]；利用虚拟仿真技术，让学生了解工程上烟气的抬升和扩散状态、固体废物的焚烧及填埋过程，并结合相关实验，加强学

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

生对工程实践概念的认知。

三、教学改革的成效

我们在实验教学中注重对学生工程思维的引导，以培养学生的实践能力和创新能力为导向，形成了多层次的人才培养模式[16]。针对两届学生考核成绩的统计分析表明，实验教学质量得到了明显的改善。与一级考核指标相对应的不同课程目标的达成度如图 2 所示。在个人及团队能力、科学研究及团队协作能力、问题分析能力的培养方面，85 分以上的学生分别占 90%、80%和 76%；而在专业知识的获得和应用方面，达到 80 分的学生占 73%，相比其他三个指标略低。因此，我们在今后的教学中需进一步加强学生知识应用能力的培养。

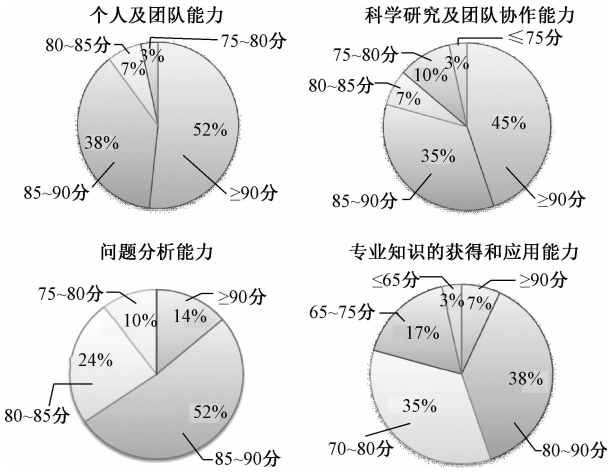

图 2　对课程目标的达成度分析

另外，针对近三年毕业生就业单位的调研发现，本专业毕业生在短时间内就能适应岗位工作，并能很快成为技术骨干。这表明实验教学成效显著，培养的人才符合行业的需求。

四、结束语

通过教学体系的重构、教学方法的改革及实验教学质量监控与评价体系的完善，本专业的实践教学水平上了一个新台阶，满足了新工科背景下的人才培养要求。环境工程实验课程作为一门培养和提升学生综合能力的实践类课程，今后还会持续改进，以更好地适应社会发展的需要。

（文字编辑：孙昌立）

参考文献：

[1] 林健.面向未来的中国新工科建设[J].清华大学教育研究，2017，38(2)：26-35.

[2] 胡波，冯辉，韩伟力，等.加快新工科建设，推进工程教育改革创新——“综合性高校工程教育发展战略研讨会”综述[J].复旦教育论坛，2017，15(2)：20-27.

[3] 刘明华，刘以凡，林春香，等.新形势下环境工程学科的建设与发展[J]. 高教管理，2016(2)：70-72.

[4] 凌胜利.双重协调：中国的周边安全战略构建[J].国际安全研究，2018(1)：29-52，157.

[5] 杜青平，陈浪城，石瑛，等.新工科背景下环境生态工程创新应用人才培养实践[J].实验室研究与探索，2019，38(8)：197-200，223.

[6] 顾佩华.新工科与新范式：概念、框架和实施路径[J].高等工程教育研究，2017(6)：1-13.

[7] 石辉，张承中，赵晓光，等.论环境科学专业的特色建设[J].理工高教研究，2009，28(4)：127-129.

[8] 张文明，邱慧珍，蔡立群，等.农业资源与环境专业实践教学体系构建与优化[J].黑龙江教育，2015(4)：29-30.

[9] 邓军.学科建设与研究生教育[J].中国地质教育，2007(2)：1-4.

[10] 关鹏，徐乐中，费忠民，等.“三注重”教学模式在《水质工程学》课程教学中的应用[J].中国给水排水，2015，31(22)：37-40.

[11] 戴蔚荃，周长江，林锦明，等.基础化学实验课研究性教学考核评价体系构建[J].实验室研究与探索，2012，31(5)：125-127，168.

[12] 叶宏萌，陈培珍，李灵.环境监测实验课程的教学改革探讨——以武夷学院为例[J].武夷学院学报，2014，33(2)：103-106.

[13] 王昌稳，王满堂，沈潺潺，等.以实践能力培养为导向的《水质工程学》课程改革[J].高教学刊，2019(14)：81-83.

[14] 黄方，李晓恩，周恒国，等.环境工程专业实验教学与创新人才培养[J].实验技术与管理，2014，31(8)：174-176.

[15] 唐晓旻，傅敏，谭雪梅，等.环境工程学科工程案例教学改革探究[J].广州化工，2018，46(11)：121-122.

[16] Saguy S, Taoukis P S. From open innovation to enginomics: paradigm shifts [J]. Trends in Food Science & Technology，2017，60(2)：64-70.

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net