

新工科建设背景下环境工程专业实验教学的优化策略

张 军^{1,2}, 苏含笑^{1,2}, 刘立忠^{1,2*}, 文 刚^{1,2}, 马 强³

¹西安建筑科技大学环境类专业国家级实验教学示范中心, 陕西 西安

²西安建筑科技大学陕西省环境工程重点实验室, 陕西 西安

³西安建筑科技大学实验室与设备管理处, 陕西 西安

收稿日期: 2024年10月13日; 录用日期: 2024年12月3日; 发布日期: 2024年12月10日

摘 要

以“新工科”教育理念和人才培养目标为导向, 从“三层次、四目标”的实验教学体系构建、教学方案设计、教学管理模式规划、教学模式创新等四个方面提出环境工程专业实验教学的优化策略, 为面向未来工程科技需求的双创型、复合型环境人才培养提供思路。

关键词

新工科, 实验教学改革, 环境工程专业

Optimization Strategies for Experimental Teaching in Environmental Engineering under the Background of Emerging Engineering Education Construction

Jun Zhang^{1,2}, Hanxiao Su^{1,2}, Lizhong Liu^{1,2*}, Gang Wen^{1,2}, Qiang Ma³

¹National Demonstration Center for Experimental Environmental Education, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an Shaanxi

²Shaanxi Key Laboratory of Environmental Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an Shaanxi

³Laboratory and Equipment Management Division, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an Shaanxi

*通讯作者。

文章引用: 张军, 苏含笑, 刘立忠, 文刚, 马强. 新工科建设背景下环境工程专业实验教学的优化策略[J]. 创新教育研究, 2024, 12(12): 140-147. DOI: 10.12677/ces.2024.1212871

Received: Oct. 13th, 2024; accepted: Dec. 3rd, 2024; published: Dec. 10th, 2024

Abstract

Guided by the educational philosophy of “Emerging Engineering Education” and talent cultivation goals, this paper proposes optimization strategies for experimental teaching in environmental specialties from four aspects: the construction of a “Three-level, Four-goal” experimental teaching system, teaching plan design, teaching management mode planning, and teaching mode innovation. This provides ideas for the cultivation of innovative and composite environmental talents for future engineering technology needs.

Keywords

Emerging Engineering Education, Experimental Teaching Reform, Environmental Engineering Major

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

新工科是基于国家战略发展新需求、国际竞争新形势、立德树人新要求而提出的我国新时期工程教育的改革方向[1]。其目的在于培养具有较强行业背景知识、工程实践能力、胜任行业发展需求的多元化和创新型卓越工程人才[2]。新工科建设路线中明确提出了重塑教与学的观念和技术体系、完善实践和创新创业人才培养模式的关键任务，强调工程教育的创新与变革对适应科技革命和产业变革的需求的重要性。

实验教学是实践能力培养的重要组成部分，是人才深化知识和综合能力的重要途径，其在工科教学中的地位尤为突出，在培养工科学生专业水平、创新能力和分析问题能力等方面都具有重要的作用[3]。新工科建设背景下，社会对环境工程专业人才复合创新实践能力的需求不断提升，环境类实验教学改革和创新成为紧迫任务。为了提高学生的综合创新和工程实际应用的能力，各高校实验教学体系改革中已有不少积极尝试，例如：武汉大学针对环境类专业的实验设计中存在的创新性不足、应用性不强、系统性和整体性不足等问题，提出了以基础实验、专业实验、创新实践为基础的“科学研究——技术创新——工程应用”的一体化实验教学体系[4]，并做到专业实验内容的理工融合，达到多层次、强应用的人才培养目标；西安交通大学能源环境工程专业强调环境与能源学科交叉融合的特色，围绕能源开发、转化与利用过程中的“污染防治——绿色生产——污染治理与资源化——环境修复”的学科框架，构建了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[5]，并完善教学方法和考核评价体系，提高了学生的自主实践能力；西南民族大学环境工程专业则从“立足区域生态环境实际，保证质量凸显环境治理特色”、“打破学科壁垒，促进工程实验与实践创新”和“促进环境资源信息化及共建共享”的思路出发，针对工程实验平台信息化程度不高、工程实践资源的共建共享薄弱等问题，构建了满足新工科建设背景下跨学科资源整合的教学需求的专业实验教学体系[6]。环境工程专业实验课程建设过程中虽取得了一些成效，但也存在明显的不足，主要表现为：(1) 实验教学内容多以单个实验项目

为基础进行设计，而缺少实验项目之间的交叉渗透、相互融合，实验教学缺乏系统性和整体性，不利于学生专业能力和综合素质的培养；(2) 绿色工程教育理念融入不足，难以满足工程教育专业认证提出的“能够理解和评价针对复杂工程问题的专业工程实践对环境、社会可持续发展的影响”的要求；(3) 实验教学模式丰富度不高，特别是对学生的工程实践能力培养不足，缺少工程应用型的实验装置和指导教师，无法满足社会对新工科人才的能力要求。因此，针对目前环境工程专业教学中仍然存在实验设计中存在的创新性不足、应用性不强、系统性和整体性不足等问题，需要结合专业特点和目标对实验教学体系、教学内容、教学模式等环节进行系统的分析研究，把握实验课程教学的本质特点进行合理设计，充分发挥实验教学对于学生知识运用能力、动手能力和创新能力等方面的塑造[7]，以实现培养具有全球视野、工程伦理意识、创新意识、合作意识等新型工程技术人才的教育目标。

2. 面向新工科教育的实验教学创新策略

环境类学科的复杂性、交叉性、综合性特点，决定了环境工程专业的基础理论和课程的涉及面宽泛，为适应新时代新形态教学深度变革的需求，需要根据高等院校本科环境工程专业规范，结合专业特色对实验教学体系进行总体优化设计，从理念、方法不断丰富实验教学的内涵，将“新工科”教育发展理念与专业实验课程方案设计、管理模式、教学模式等多个方面深度融合，提高人才培养质量。

2.1. 构建具有大工程观的特色实验教学体系

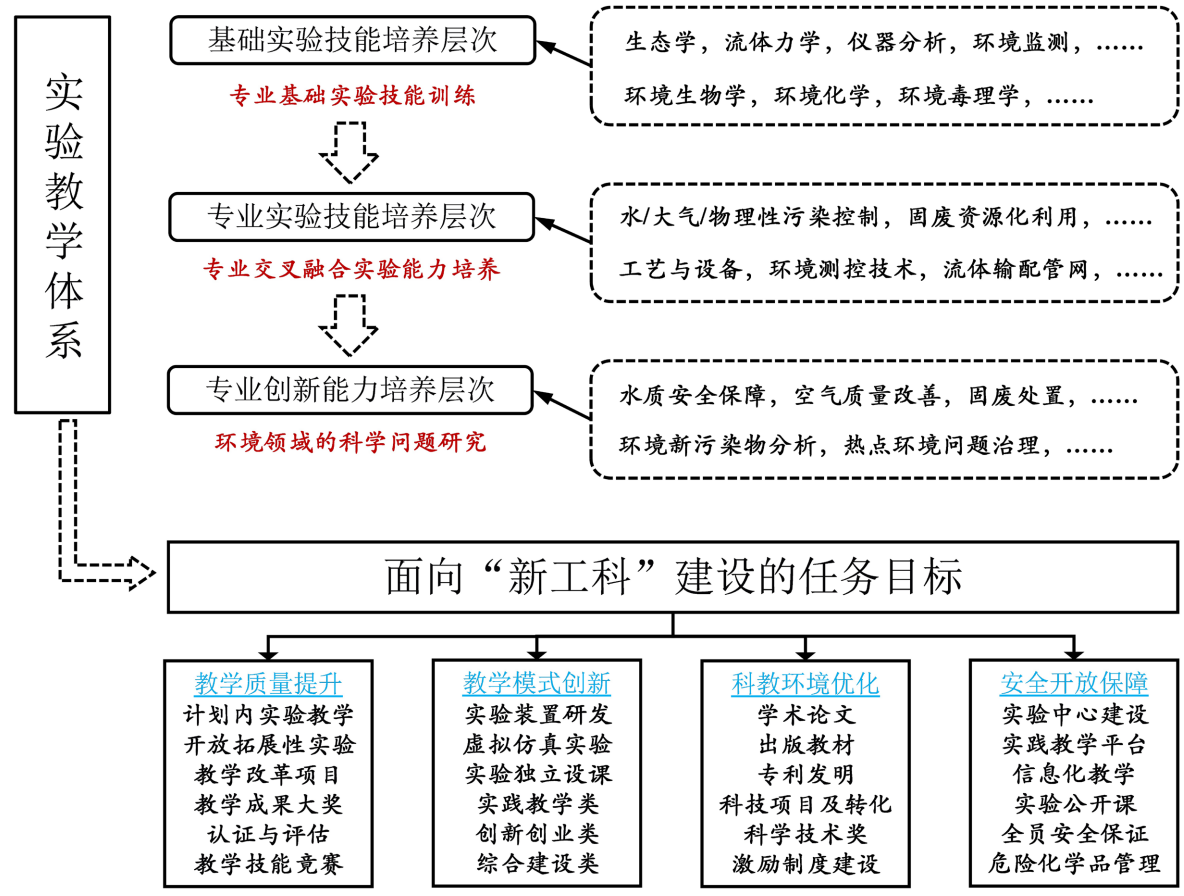


Figure 1. Design of experimental teaching system for emerging engineering education construction
图 1. 面向“新工科”建设的实验教学体系设计

“新工科”教育作为一种强调“大工程观”的新型工程教育理念，不仅要具有服务于产业现实急需和未来新产业经济发展需要的实践性，还要具有跨学科、跨专业交叉融合的综合性[8]。新工科背景下构建特色鲜明、层次合理的实验教学体系对于培养兼具研究创新能力和工程应用能力的卓越技术人才具有重要意义。以《普通高等学校本科专业类教学质量国家标准》专业类人才培养目标原则要求为基准，以具有自主知识产权的全类专业教学实验装置为特色和亮点，依托环境类专业国家级实验教学示范中心和教育部、省级重点实验室的资源，围绕“专业基础实验技能”、“专业方向实验技能”、“专业创新能力”三个阶段性培养目标，构建了以“环境类专业链群”为核心支撑、与高素质创新人才培养计划适配的“三层次、四目标”实验教学体系(见图1)，从而形成将技术创新素养和工程应用能力同步培养的新型实验教学体系。在第一层次上，主要通过专业基础实验技能训练培养学生的基础实验能力和对专业问题的直观认知能力；在第二层次上，主要通过环境工程学与其他理工交叉专业的综合性实验内容丰富学生的专业研究技能，提高学生的专业知识的综合应用能力；在第三层次上，主要通过设计性、研究性实验内容培养学生的应用创新能力。同时，根据三层次培养的环境氛围建设和技术需求出发，从教学质量、教学模式、科教环境和保障体制等四个方面提出实验教学体系的具体建设目标任务，根据分层递进的学生培养模式为不同层次分别搭建实验教学平台，以“工作坊”形式培养教师实验指导能力，并结合实践教学改革项目开展云端虚拟仿真实验、研究型开放实验、“赛教一体”融合实验教学、双创教育实践基地等多类型实践教学活动，努力消除过窄的专业条块分割，营造了综合创新的教学氛围，提升了学生的实验技能等级，符合“新工科”教育对于具备跨界视野和创新实践能力的工程人才培养的目标。

2.2. 面向工程科技人才培养优化实验教学方案

以强化理论课程与配套实验之间的融合度为目的指导实验教学大纲的编制，将实验内容与工程实际工艺流程的对应关系明确下来，不仅能够充分体现实验教学本身的连贯性与系统性，还有助于提升学生对课程核心内容的理解和掌握程度，弥补传统工程教育实践缺乏综合性、复合型能力培养的缺陷，强调实验内容“回归工程设计”，与“新工科”建设中提出的多样化、创新型、卓越工程科技人才培养相吻合。

以环境工程和给水排水工程专业的的水污染控制工程实验为例，传统实验内容一般是按照理论课程讲授次序逐个安排单项实验和单台套仪器设备的操作训练，学生虽然了解了很多污水处理设备工作原理和过程，但是对于污水处理系统的设计和运行流程的规律性认知上仍然较为薄弱，实验教学内容与理论教学知识点之间缺乏系统性支撑，在后续学期的课程设计和毕业设计中埋存隐患。建议将实验课程大纲按照“纵向专业重构 + 横向能力培养”的思路进行优化，包括两个方面：(1) 纵向上梳理实验内容的内在逻辑连贯性，可将实验划分为物理技术处理(自由沉降实验、曝气充氧性能实验、氧转移系数测定实验、颗粒物压滤实验、电渗析处理实验、超滤法处理实验等)、化学技术处理(混凝气浮实验、离子交换法处理实验、活性炭吸附实验、光催化氧化脱色实验等)、生物技术处理(活性污泥沉降性能测定实验、活性污泥比耗氧速率测定实验、间歇式活性污泥法处理实验等)三个实验模块，根据具体培养方向的需求将三个模块进行合理搭配，在方法运用和仪器设备使用上强调实验的综合性属性，在掌握单元实验原理基础上重点考察学生对水处理全流程中的工艺衔接和方法组合的理解深度。(2) 横向上强调单项实验参数比选、实验条件控制等研究设计性属性，在每个工艺单元中增加设计性实验，分别针对不同规格的构筑物、不同型号的处理设备、不同水质等设置三种以上的实验参数选项，让学生通过实验结果对比充分了解不同工艺条件对水处理效果的影响。通过这种纵横交替的实验教学模式，不仅加深学生对基本概念和原理的理解，更能培养学生设计水处理工程可行性方案的能力，使学生通过对实验现象的解释和对实验数据进行综合分析提高创新能力，从而更好地适应工程专业认证提出的“能够解决复杂工程问题”的能力培养要求。

2.3. 建立绿色化实验资源管理模式

党的十九届五中全会明确提出，要促进经济社会发展全面绿色转型，建设人与自然和谐共生的现代化。作为工程科技人才培养主阵地的高校，应该主动探索和实践工程教育绿色发展之路[9]。加强高校绿色工程教育是培养具有可持续发展理念的高素质复合型人才的需要，是落实科学发展观和实施可持续发展战略的必然要求[10]。通过共享优化策略将专业实验仪器设备资源的使用率和效能达到最大化，是实验室管理部门和教学管理部门共同关注的绿色工程教育问题[11][12]。仪器设备效能可以采用年平均使用率和综合效能的指标来衡量，计算方法如下：

$$S = \frac{X_1 + X_2 + \cdots + X_n}{T_n} \times 100\% \quad (\text{式 1})$$

$$W = \frac{H \times S}{Q} \quad (\text{式 2})$$

式中：S 为仪器设备的年平均使用率； $X_1, X_2, \cdots, X_n$ 为 n 台仪器设备的年实际使用学时， h ； T_n 为仪器设备的年核定使用学时(以 40 周 800 学时计)， h ； W 为仪器设备的综合效能； H 为当前可使用的仪器设备数； Q 为需要的仪器设备数。从公式(2)可知， W 值增大表明仪器设备的综合效能的提高，反映仪器设备的利用率更高。在确保实验顺利开展的前提下，通过充分共享仪器设备以减小 Q 值，可以有效提高 W 值，可以充分发挥仪器设备使用价值、减少资金占用和提升管理水平。

Table 1. Annual average utilization rate and comprehensive efficiency of instruments and equipment

表 1. 仪器设备的年平均使用率和综合效能

仪器设备名称	S/%	H	Q		W	
			共享前	共享后	共享前	共享后
六联搅拌器	31.0	8	10	5	24.8	49.6
蠕动泵	34.9	15	18	10	29.1	52.3
隔膜真空泵	42.0	10	12	6	35.0	70.0
恒温水浴槽	14.6	7	8	4	12.8	25.6
低速离心机	33.0	6	8	4	24.8	49.5
高压灭菌器	15.8	4	4	3	15.8	21.0
电热鼓风干燥箱	25.5	5	6	3	21.3	42.5
恒温培养箱	30.0	3	3	2	30.0	45.0
回流消解仪	12.0	4	4	2	12.0	24.0
空气采样器	19.1	16	20	12	15.3	25.5
分析天平	119.5	16	18	12	106.2	159.3
精密 pH 计	39.0	22	24	16	35.8	53.6
光电浊度仪	13.0	8	10	6	10.4	17.3
溶解氧分析仪	22.6	10	12	6	18.9	37.7
紫外/可见光度计	41.6	27	30	21	37.5	53.5

以环境专业的化学类实验室中主要的通用仪器设备为例，根据每台仪器设备的使用情况统计数据，计算了年平均使用率和综合效能(见表 1)。可以看出，各类通用性仪器设备年平均使用率在 14.6%~42%之

间,经共享优化使用后综合效能提升了33%~100%。特别是光电浊度仪、精密pH计、溶解氧分析仪、紫外-可见光度计等价值和维持要求较高的仪器设备采用共享优化策略后,在缩减购置成本、节约经费的同时提高了仪器设备的维护频次,降低了故障率,具有明显的降本增效作用。为了实现提高仪器设备的使用率和综合效能的目标,主要采用的优化策略包括:(1)合理安排实验档期,建立基础仪器设备操作间,统一错峰安排不同类型实验课时,减少了冗余仪器设备购置,节约了宝贵的建设经费;(2)落实仪器设备共享条件。同一类型的仪器设备,指定使用频率较高的实验教师轮流负责协助操作和维护保养,降低操作的失误率和安全风险,缩短了仪器闲置时间和维护间隔期,从而保障了仪器在寿命期内的正常使用;(3)应用模块化设计理念,在自制仪器设备和采购仪器改进中,通过模块化设计提高通用性设备的使用率,通过互换拼接降低设备重复采购率。采用共享策略主导的绿色化实验室建设,为践行节约环保、绿色发展的新工科建设理念、培养学生的可持续发展意识提供了有效途径。

2.4. 探索创新实验教学模式

将实验资源利用的“4R”化(减少危险品、减量使用、循环使用、再生利用)、实验内容及方法的综合化、虚拟仿真平台的利用等原则融入教学模式创新,培养学生综合分析问题的能力,掌握解决环境问题的可持续性方法,并能够将这种能力自觉性地运用到实际生活和工作中[13]。

(1)通过仪器设备升级改造开拓创新能力培养途径。例如,利用申报大学生创新创业训练项目的契机,组织学生深入分析混凝实验和溶气上浮实验这两个验证性实验的原理和实验内容,通过设计通用型的混凝-气浮杯作为系统接口,将多联混凝搅拌机和溶气水泵有机组合起来,在同一个实验中集成了混凝条件选择、气浮条件选择、共凝聚气浮强化效果分析、经济性分析等多个实验参数设计环节和技能考查要点,并辅助以 ζ 电位仪和激光粒度分析仪的测定数据,综合判断污水中物理性污染物的分离去除效率,从而将验证性实验升级为研究设计性实验,不仅提高了实验水平,也锻炼了学生协作创新的能力。

(2)依托虚拟仿真技术设备开发线上线下混合实验项目。例如,依托“环境工程三废处理”仿真实验平台,开设了“生活垃圾蓝色焚烧处理”线上线下混合实验项目,作为高年级学生课程设计和现场实习教学环节的前导课程。垃圾焚烧全流程体系庞大,自垃圾进场入坑、焚烧炉烘炉、入炉焚烧、烟气脱硝脱酸除尘、渗滤液处理、灰渣毒理学评价及最终焚烧结束后高温状态下焚烧炉停炉全过程等耗时长且工艺复杂,以往的碎片化实验教学难以给学生建立起系统工程观念。通过虚拟仿真实验在短时间内展示处理全流程的基础上,结合现有配套线下实体实验(包括:生活垃圾分选实验、垃圾热值测定、烟气脱硝脱酸实验、渗滤液中重金属吸附实验、垃圾焚烧炉渣的综合利用等),侧重于重要步骤和关键参数实验设计(如烟气处理、渗滤液处理),使学生在短时间内完成关键实验内容的实训,有机地串联了废水(渗滤液)、废气(烟气)和毒理(灰渣)相关的3个关键教学重点,搭建“分层次、多模块、系统化”的实验教学体系,充分锻炼了学生的动手能力,拓展了学科视野,训练了学生探究实际工程背后的科学问题的系统性科学素养,“新工科”课程建设中激发创新意识、训练科研思维、培养动手能力的实干型人才的目的。

(3)基于校企合作推动创新创业实验项目的孵化。立足于国家级一流专业建设,发挥实验教学示范中心在人才培养、创新创业、资源整合、开放共享等方面的示范引领作用,通过整合企业与社会资源和校内教学资源,以校企共赢、产教同兴为建设思路创新打造“孵化基地”式实体化教学平台,着重与相关企业合作打造了涉及给水排水、水污染控制工程、大气污染控制工程、固体废物处理工程、钢铁行业污染物控制工程等专业性极强的校外实践实训基地,聘请企业专家导师联合组建实验教学团队,把生产环境与教学实验室合二为一,校企双方共同制定既适应创新人才培养目标要求又符合企业行业标准的教学标准,实现教学场所和工作场所“双场结合”,为学生营造了“求异、创新和探究”的教学氛围,将真实世界的体验融入工程教育,强化实践创新创业能力的培养,致力于培养学生具备从事市政、环境、建筑

和冶金等领域的规划、设计、监测、评价、运行及管理等相关专业相关工作的基本素养，同时能够跟踪本专业及相关领域前沿技术，具备研究开发能力和工程创新能力。

3. 实施效果评价

从实验教学体系优化策略出发，分别设置了目标任务达成度、实验教学方案、实验室资源管理、实验教学模式等四个维度变量表征学生对实验教学满意度，选取 12 个指标变量设计 Likert 五级量表调查问卷，对参加过专业实验课程学习的我校大三、大四年级环境工程专业本科生进行抽样调查，共回收有效样本问卷 218 份，其中男生 131 名，女生 87 名。采用 SPSS22.0 软件进行问卷的信度和效度检验。全维度 Cronbach's α 系数为 $0.895 > 0.7$ ，KMO 值为 $0.903 > 0.8$ ，Bartlett's 球形检验显著性小于 0.01，表明问卷数据具有较高的信度和效度。采用逐步线性多元回归法建立了学生满意度的影响路径图(见图 2)。从结果可知，目标任务达成度、实验教学方案和实验教学模式三个维度变量对学生满意度会产生直接效应，总的贡献率为 78.5%。其中，实验教学模式和实验教学方案的贡献率占主要部分，从调查访谈的反馈中发现学生对灵活多样的教学手段、与工艺流程契合度较高的实验内容、精心设计的试验方案以及教师丰富的实验技巧等直观体验满意度很高，容易激发学生对工程问题的求知欲和浓厚兴趣。而在间接效应中，实验教学方案会对实验教学模式和目标任务达成度产生较大影响，主要是增强教学内容的目的性和实用性前提下，实验教师可以有针对性地选择合适的教学方法来展示实验效果，而且实验计划安排与理论课堂紧密配合，学生通过实验操作流畅性和学以致用用的深入理解形成了较高的满足感。这些教学成效对于提高学生对未来工作岗位适应性和技术研发意愿度都具有很好的促进作用。同时，实验室资源管理维度的效应较弱，学生对实验室资源可利用性、实验室开放度、实验室管理水平等对自主学习和创新研究能力提升具有潜在影响作用的因素关注度仍显不足，需要在后续的优化措施中加大宣传和落实力度，进一步提高实验室资源对新工科卓越人才培养目标的贡献度。

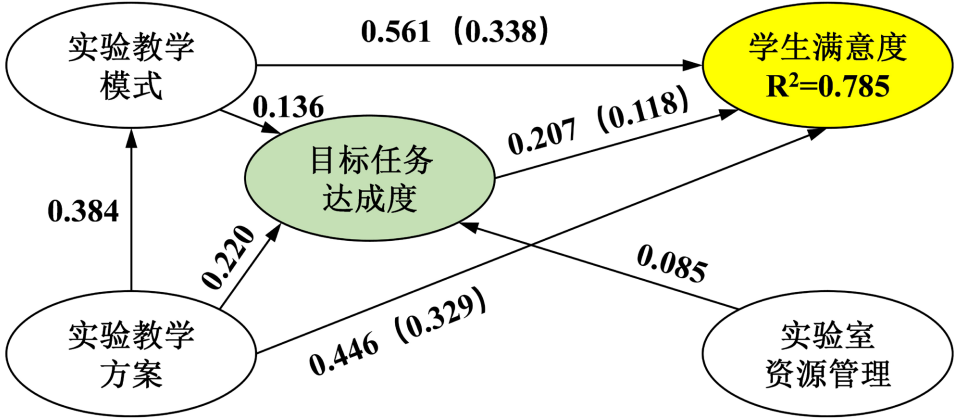


Figure 2. Path diagram of the impact of student satisfaction
图 2. 学生满意度的影响路径图

4. 结语

在新工科建设背景下，环境工程专业实验教学为适应人才综合能力培养和个性化发展提高的要求，在专业实验教学的各个环节提出了多元化创新和改革的策略：(1) 通过构建以优化实验课程结构和教学内容为核心的“三层次、四目标”实验教学体系，提高对培养多样化、创新型工程人才目标的匹配度；(2) 采用纵横交替设计优化实验内容配置，贴近工程结构实际的同时确保知识点的有效融合，基于大工程

观思维培养学生的工程实践能力和项目组织能力；(3) 从实验仪器设备资源的整合方案入手，在学生解决复杂工程问题的过程中引入“绿色工程”思路，从而建立起生态文明意识和可持续发展的责任心；(4) 提出三种不同工程实验教育的应用模式，在“新工科”教育理念的指导下探索实践教学的创新途径。

基金项目

感谢陕西实验教学和教学实验室建设研究项目“驱动力解构视角下的环境类专业三维协同创新实验教学体系构建研究”、陕西省高等教育教学改革研究重点项目(17BZ026)、西安建筑科技大学一流专业建设子项目(YLZY0302Z05)的资助。

参考文献

- [1] 钟登华. 新工科建设的内涵与行动[J]. 高等工程教育研究, 2017(3): 1-6.
- [2] 崔庆玲, 刘善球. 中国新工科建设与发展研究综述[J]. 世界教育信息, 2018(4): 19-26.
- [3] 韩文佳, 杨桂花, 陈嘉川, 孔凡功, 王强. 新工科背景下工科专业实验教学体系的构建与实践[J]. 大学教育, 2018(9): 61-63.
- [4] 胡将军, 刘慧龙, 毛旭辉, 王旭. 新工科背景下环境类一体化实验教学体系构建研究[J]. 山西青年, 2023(8): 111-113.
- [5] 张瑜, 延卫, 王桂芳, 徐浩, 程上方. 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[J]. 化工高等教育, 2021, 38(1): 118-122.
- [6] 柏松. 环境工程专业实验教学体系建设思路与路径[J]. 轻工科技, 2020, 36(2): 168-169.
- [7] 张颖, 刘军山, 宋岩, 曹彪. 基于实验课程基本要素研究的教学设计[J]. 实验技术与管理, 2017, 34(增 1): 103-105, 118.
- [8] 徐惠斌, 胡自成, 葛凤华, 王颖泽, 郭兴龙, 徐荣进. 新工科建设下建筑环境专业实践教学创新初探[J]. 2018(39): 146-147.
- [9] 黄婕, 张帆, 张先梅, 周玲, 辛忠, 王慧锋. 高校绿色工程教育实践路径研究——以华东理工大学为例[J]. 化工高等教育, 2021(3): 17-23, 62.
- [10] 吴金玲. 绿色发展理念下深化高校绿色工程教育的研究与探索[J]. 沈阳工程学院学报(社会科学版), 2023, 19(2): 130-133.
- [11] 叶二妹, 王金明. 高校仪器设备全生命周期利用率最大化的构建[J]. 实验室研究与探索, 2016, 35(7): 284-287.
- [12] 房毅. 面向新工科建设践行绿色工程理念——基于热学课程案例库的教改探索[J]. 物理与工程, 2023, 23(6): 19-24.
- [13] 王梦, 周理安. “新工科”建设背景下工科院校实验室资源优化共享[J]. 西部素质教育, 2023, 9(14): 166-169.