

应用型本科环境工程专业+X跨学科复合培养模式的探索研究

曹莹 刘廷凤 胡志新

南京工程学院 环境工程学院 江苏南京 211167

摘要: 随着“双碳”战略实施与第四次工业革命深度融合, 环保产业呈现“数字化、系统化、服务化”转型趋势。传统环境工程专业因课程体系僵化、产教协同断层、交叉能力培养缺失等问题, 导致人才供给与智慧水务、碳资产管理等新兴岗位需求存在结构性矛盾。本研究构建应用型本科“环境工程+X”跨学科复合培养模式, 以产业链需求推动教学改革, 基于T型人才理论, 横向打通环境科学与信息科学、管理学的学科壁垒, 纵向构建“基础技能-专项能力-综合创新”三阶培养体系。以南京工程学院环境工程专业为例, 探索其与本校特色强势专业间跨学科复合培养的模式。并通过“环境+AI”、“环境+碳金融”等高校案例表明, 该模式使毕业生行业适配度得到明显提升, 跨界项目完成率显著提高。最后提出了环境工程专业跨学科复合培养模式的保障机制与推广建议。

关键词: 应用型本科; 环境工程专业; 跨学科; 复合培养

一、研究背景与问题分析

(一) 环境工程人才培养的转型需求

根据《“十四五”生态环境领域科技创新专项规划》, 构建“智慧环保技术体系”, 要求从业人员具备数据分析、系统集成等跨领域能力^[1]。据中国环保产业协会2023年统计, 环境监测运维工程师岗位中, 具备物联网技术的复合型人才薪资溢价率达45%, 但相关人才缺口超过12万人^[2]。传统环境工程专业培养模式的存在以下困境: 1) 学科壁垒突出: 87%高校课程设置局限于水/气/固废处理技术, 缺乏与信息技术、管理学的交叉融合; 2) 实践能力薄弱: 企业反馈显示, 毕业生设备操作、工艺设计等工程应用能力达标率不足60%; 3) 产教协同不足: 仅34%的高校建立稳定校企合作基地, 导致教学内容滞后产业技术发展^{[3][4]}。

面对上述诸多困境, 探寻一种能够有效改善现状、推动人才培养符合新时代产业需求的创新路径迫在眉睫。

基金项目:

南京工程学院校级科研基金项目 (ZKJ201908)

作者简介:

- 曹莹 (1982.10-), 女, 汉, 江苏省南京市, 博士研究生, 讲师, 研究方向: 水污染控制及生态修复。
- 刘廷凤 (1974.12-), 女, 汉, 江西省南昌市, 研究生, 副教授, 研究方向: 环境工程, 水污染控制技术研究。
- 胡志新 (1980.11-), 男, 汉, 湖北省武汉市, 研究生, 副教授, 研究方向: 水体污染控制。

“X”跨学科要素的引入或许正是解决这些问题的关键所在, 本文将对“X”要素的内涵解构与理论依据展开深入探讨, 探索环境工程专业跨学科复合培养推动人才培养的新模式。

(二) “X”要素的内涵解构与理论依据

基于T型人才理论, 构建“环境工程纵轴+X能力横轴”的复合结构, 如图1所示。其中纵轴为环境工程技术核心能力, 例如污染控制、环境影响评价、环境监测等专业核心技能。横轴包括:

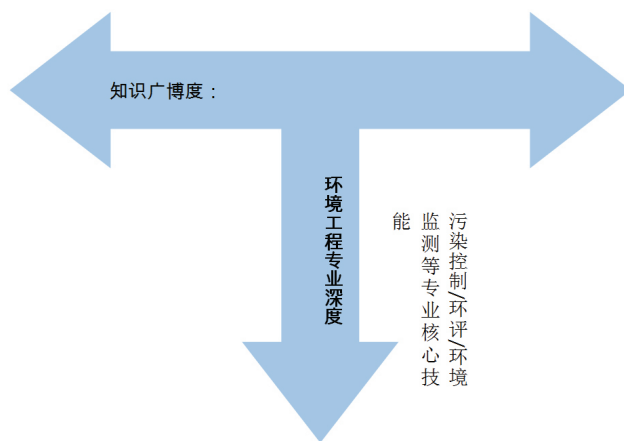


图1 基于T型人才理论的环境工程复合人才培养结构

- 1) 技术增强型X: 大数据分析、智能传感等跨专业技术能力, 可为智慧环保服务。
- 2) 管理融合型X: 例如碳交易、ESG管理等, 可为双碳经济服务。
- 3) 学科交叉型X: 例如超导电子学、纳米材料等,

驱动技术创新。如新型材料和通讯技术在环境测量中的应用。

二、“环境工程+X”跨学科复合培养模式构建路径

(一) 基于OBE的三维度融合模型的课程体系重构

以成果导向教育(OBE)理念为指导,构建“基础夯实-方向拓展-实践赋能”动态课程体系^[5],建立每2年对接环保产业人才需求图谱的课程更新机制。例如:

- 基础模块:保留《环境化学》《环境微生物学》《环境监测》《水污染控制工程》《大气污染控制工程》等核心课程,但通过“微课+虚拟仿真”压缩理论课时至45%(参照工程教育认证标准);新增《环境系统工程导论》强化系统思维;

- 方向模块:按产业需求动态调整“X”选修包。如:

- X=碳管理:响应双碳战略,增设《碳足迹核算与核查》《CCUS技术工程案例》等;

- X=环境法务:填补环境工程+法学交叉空白,开设《环境诉讼证据实务》《排污许可合规管理》等;

- 实践模块:推行“1+1+1”进阶训练,配套开发《环保设备AR操作手册》等12个虚拟仿真项目。

(二) 产基于PDCA循环的深度耦合的教协同机制

在实施与质量监控方面,可构建“计划-执行-检查-改进”(PDCA)闭环协同机制^[6]:

- 双导师制升级:企业导师不仅指导毕业设计,更深度参与《环保设施运行管理》等课程开发。如福建工程学院组建由5名注册环保工程师和3名教授构成的混编团队,带领学生完成的12项横向课题中,有3项技术方案被企业直接采用;

- 产业学院共建:沈阳科技学院“智慧环境产业学院”引入企业真实数据,开发基于数字孪生的污水处理厂运维沙盘系统。学生通过AR模拟异常工况处置,操作失误率降低67%^[3];

- 认证衔接创新:将注册环保工程师考试大纲拆解为54个知识点,与《水污染控制工程》等课程建立映射关系。试点班级职业资格考试通过率较传统模式提高22个百分点。

(三) 三螺旋协同驱动平台的创新能力培养

构建“学科-产业-竞赛”三螺旋创新生态完善平台运行机制与成果转化:

- 竞赛驱动:建立“课赛融通”机制,将全国大学生环保创新竞赛要求转化为《环境工程设计》课程考核指标。湖北大学团队开发的“基于MBBR的农村污水模块化装备”不仅获专利授权,更被湖北科苑生物科技公

司以技术入股形式产业化;

- 跨学科实验室:建设“环境-材料-人工智能”联合实验室,设立开放性创新基金。例如常州大学团队在实验室支持下,研发的TiO₂/石墨烯光催化材料对VOCs的降解效率达92%,相关成果发表于《Journal of Hazardous Materials》(IF=14.2);

- 成果孵化器:与环保科技园区共建“青创空间”,提供从技术验证到商业计划书打磨的全链条服务。苏州科技大学学生创立的“智环云控”团队,凭借污水厂智能加药系统获千万级天使投资。

三、南京工程学院环境工程专业跨专业复合培养方式探索

(一) 培养方式探索

以应用型本科院校南京工程学院为例,其较强特色专业包括自动化、电气工程及其自动化、热能与动力工程、机械设计制造及其自动化、材料科学与工程、能源与动力工程、电子信息工程、市场营销和产品设计等。环境工程学院环境工程专业如与这些优势专业进行跨专业复合培养,主要有技术融合、管理交叉、系统集成三个方面的复合培养方式:

1. 技术融合类

(1) 环境工程+人工智能

例如以《环境物联网系统设计》等核心课程为基础,系统融入人工智能算法开发与工程应用模块,开设《环境大数据分析建模》课程,重点强化污染监测数据清洗算法、基于深度学习的污染物迁移预测模型等技能训练。学生可交叉选修软件工程专业的《Python环境算法开发》《边缘计算与智能传感》,以及机器人工程专业的《环保机器人路径规划》《无人机生态巡检系统开发》,掌握SLAM算法在污染源动态定位、多模态环境监测网络部署等前沿技术。

也可开发基于强化学习的污水处理工艺优化系统,通过动态调整曝气量与药剂投放参数实现能耗降低,构建融合3D地质建模与遗传算法的土壤修复数字孪生平台,实现污染物迁移路径可视化预测。同时搭建融合气象卫星数据、地面传感器及社交舆情数据的Transformer预警模型,形成覆盖“监测-分析-治理”全链条的智慧环保解决方案。

(2) 环境工程+材料科学

以《环境功能材料设计》《污染控制材料学》等核心课程为基础,系统整合材料科学领域的《纳米材料制备技术》《电化学催化原理》等专业课程,重点培养学生

开发新型环境功能材料的核心能力。例如，通过《环境催化材料工程》课程强化纳米吸附剂孔道结构设计、光催化材料能带调控等关键技术训练，结合材料表征实验模块掌握X射线衍射、扫描电镜等材料分析技术。例如景德镇陶瓷大学通过将陶瓷材料学科优势融入环境工程，开发出系列工业废水处理功能陶瓷滤料；湖南人文科技学院则构建了覆盖材料计算模拟、绿色合成到工程伦理的跨学科培养链，其研发的复合光催化材料在娄底钢铁企业烟气治理中实现产业化应用。

2. 管理交叉类

(3) 环境工程+碳资产管理

有机结合本校经济管理类专业，重点复合培养资源与环境经济学方向，如融入碳足迹核算、碳交易机制等课程，培养“双碳”政策下的环境经济复合人才。以碳足迹全生命周期核算、碳交易市场机制设计、低碳技术经济评价等为核心课程模块，深度融合环境工程领域的污染物治理技术（如污水处理的纳米吸附剂开发、固废资源化的光催化材料研发）与碳资产管理的市场化工具。例如，通过“碳金融与绿色技术创新”课程，引导学生将材料科学专业的光催化材料研发成果，量化其碳减排潜力并设计CCER（国家核证自愿减排量）开发路径。

(4) 环境工程+国际工程管理

通过整合国际工程管理方法论与环境治理技术体系，重点强化跨国环境治理项目的全流程管理能力及国际环境法规合规性实践。在课程体系中融入FIDIC（国际咨询工程师联合会）合同条款、国际环境公约（如《巴黎协定》履约机制）、跨境污染治理项目管理等核心内容，同步引入欧盟工业排放指令（IED）、世界银行环境与社会框架（ESF）等国际规则案例教学。依托校企共建的“一带一路”环境治理联合实验室，设计覆盖东南亚污水处理、中亚生态修复等典型项目的沙盘推演课程，培养学生从技术方案设计、国际招标采购到跨国环境争端解决的全链条实战能力，从而构建兼具环境工程技术硬实力与国际工程管理软实力的复合型人才体系。

3. 系统集成类

(5) 环境工程+能源系统工程

以能源系统效率提升与环境治理协同为目标，整合两大学科核心课程模块。在环境工程模块中强化《固体废物处理工程》《大气污染控制工程》等污染治理技术课程，同时在能源系统工程方向增设《生物质能源工程》《太阳能利用原理与技术》等清洁能源课程。通过《能源与环境系统工程基础》《热力系统工程与仿真》等交叉

课程，建立“污染物-能源转化”的系统认知框架。聚焦生物质能协同治理场景，构建“废弃生物质热解气-合成清洁能源-污染物协同处置”的技术链条。例如在建筑环境领域，将沼气净化技术与暖通系统结合，形成《热力环境控制》课程中的分布式能源案例。实践环节依托能源动力实验室、环境监测中心等平台，开展工业余热回收与VOCs治理的集成化实训。也可通过“环境风险评估师+能源管理师”双证书培养体系，增强毕业生在工业园区循环化改造、新能源环保装备设计等领域的就业竞争力。

(二) 实施难点与应对建议

课程体系冲突主要表现为以下方面：其一，课程时间安排存在重叠现象，导致必修课与选修课、理论课与实践课在时序上无法有效衔接；其二，课程内容存在重复交叉，相近学科领域的课程未形成知识梯度，造成教学资源浪费；其三，学分结构失衡，通识课程与专业课程的学分配比、理论学分与实践学分的转化机制存在制度性缺陷；其四，课程层级关系混乱，缺乏递进式培养路径，先修课程与后续高阶课程未形成逻辑链条；其五，课程评价体系割裂，过程性考核与终结性考核标准不统一，跨学科课程的考核维度缺乏兼容性。这些系统性冲突不仅影响教学计划的实施效率，还可能导致人才培养目标与课程供给之间的结构性错位，亟需通过动态调整机制进行课程生态重构。

四、实施成效与典型案例

(一) 沈阳科技学院“环境工程+IT”模式

在传统培养模式下，2018年数据显示，该校环境工程专业毕业生的就业对口率为68%，企业对毕业生的满意度得分71分。在校生每年获得的奖项平均3项。自实施“环境工程+IT”跨专业复合培养模式后，到2023年，该数据分别提升至92%，89分和15项。这一模式将环境工程专业知识与IT技术深度融合。学生不仅掌握了扎实的环境工程专业技能，还具备了运用信息技术解决环境问题的能力，如利用大数据分析环境监测数据、通过人工智能技术优化环境治理方案等。“环境工程+IT”的知识结构使学生在面对涉及多学科知识的跨界项目时，能够整合资源，发挥专业优势，高效完成项目任务。

(二) 福建工程学院“环境+碳金融”模式

福建工程学院构建了“环境工程+碳金融”双轨课程模块，除《环境资产证券化》外，增设《碳市场机制与交易实务》《环境经济政策分析》等交叉课程，形成“污染治理技术-碳核算方法-金融工具应用”知识链

条。通过模拟碳配额交易系统、环境PPP项目案例分析等实践环节，培养学生碳足迹核算与绿色金融产品设计能力。实施“双证书+双资质”培养路径，毕业生可同步考取注册环保工程师（环境工程核心资质）与碳资产管理师（碳金融专项资质）。据校方统计，2024届参与该项目的毕业生中，双证持有率达78%，就业竞争力显著高于传统专业（平均起薪溢价率45%）。

五、保障机制与推广建议

（一）构建政策支持体系

教育部门需制定《新工科跨学科专业建设指南》，明确环境工程与新兴技术（如IT、大数据、人工智能）融合的专业认证标准。建立跨院系课程共享平台，制定《复合型课程学分互认管理办法》，允许信息技术、工程管理等学科课程学分按比例置换环境工程专业选修学分。设立“新工科复合型人才培养基金”，对校企共建实验室、交叉学科竞赛等给予定向支持。

（二）师资优化，打造产教融合型教学团队

例如要求教师逐级完成相应学时信息技术应用培训，企业挂职，参与横向课题，主导开发跨学科课程模块，并获行业专家评审认证^[7]。推行“双聘工程师”制度，企业技术骨干承担实践课程教学，学校教师深度参与企业研发项目。将横向课题成果（如专利转化、技术标准制定）纳入职称评审核心指标。建立“教学-产业”双轨晋升通道，允许企业专家通过代表作评审获聘教授级高级工程师等。

（三）建立动态调整机制

对毕业生就业质量（对口率、薪酬涨幅）、企业满意度（技术应用能力、跨界协作评分）、竞赛成果（国家级奖项数）等核心指标，构建“人才培养质量雷达图”。引入机器学习算法，实现培养方案缺陷的智能诊断。组建由行业专家、高校教授、毕业生代表构成的专业委员会，及时修订《跨界培养方向清单》。

通过上述机制，可系统性解决传统培养模式中存在的学科壁垒、师资单一、响应滞后等问题，为环境工程复合型人才培养提供可复制的实施框架。

结语

“应用型本科环境工程专业+X跨学科复合培养模式”的探索实践，标志着新工科教育改革向纵深发展的

重要突破。通过探索南京工程学院环境工程专业与本校其他优势专业的复合培养有机结合模式，以及“环境工程+IT”等典型模式的实践案例，跨学科融合不仅显著提升了毕业生的行业适配性和创新能力，更验证了应用型人才培养从单一技术型向复合能力型转型的必要性与可行性。

未来，此类模式可进一步在学科融合广度与深度，企业需求、技术趋势的快速响应以及借鉴西方高校模块化教学、ABET认证等经验等方向进一步深入探索。

总之，跨学科复合培养模式为应用型高校提供了可复制的改革范式，其核心在于打破学科壁垒、重塑教育生态，最终培养出既能扎根环境工程专业领域，又能驾驭技术跨界融合的高素质应用型人才，为国家生态文明建设与绿色产业发展提供可持续的人才支撑。

参考文献

- [1] 姚新, 刘锐, 孙世友, 等. 智慧环保体系建设与实践[M]. 科学出版社, 2023.
- [2] 武汉市生态环境局. 探索生态环境保护数字化转型构建智慧高效信息化体系[EB/OL]. (2023-08-23) [2025-03-19]. http://hbj.wuhan.gov.cn/gzdt/202308/t20230823_2251375.html
- [3] 明皓, 孔俊嘉, 刘长风, 等. 应用型环境工程专业人才培养模式探索[J]. 科技创新导报, 2019, 16(19): 3. DOI: CNKI: SUN: ZXDB.0.2019-19-136.
- [4] 艾娇. 专业转型背景下环境工程专业应用型人才培养模式的探索——以辽宁大学环境工程专业为例[J]. 教育教学论坛, 2016(41): 2. DOI: 10.3969/j.issn.1674-9324.2016.41.077.
- [5] 金首文, 徐伟强, 高兴军, 等. “产学研赛”环境工程专业应用型创新人才培养模式探索与实践[J]. 高教学刊, 2022, 8(25): 30-34.
- [6] 刘亭亭, 戴春雷, 徐鑫. 环境工程专业应用型人才培养模式的改革与创新[J]. 办公自动化, 2017(10): 3. DOI: 10.3969/j.issn.1007-001X.2017.10.016.
- [7] 陈红兵, 卢进登, 周建刚, 等. 环境工程专业实行“综合导师制”培养模式的实践与思考[J]. 教育教学论坛, 2020(17): 2. DOI: CNKI: SUN: JYJU.0.2020-17-051.