

新工科背景下《环境毒理与健康风险》 “医工交叉 - 虚实结合 - 产教协同” 三维融合教学模式探索

高婷婷*, 王理明, 张洛红, 韩元元

西安工程大学环境与化学工程学院, 陕西 西安

收稿日期: 2026年9月3日; 录用日期: 2026年10月6日; 发布日期: 2026年10月12日

摘 要

新工科建设对当代研究生人才培养提出了学科交叉融合、数智技术赋能、产教协同育人等系统性要求。在此背景下, 针对当前环境科学与工程专业研究生课程《环境毒理与健康风险》存在的学科壁垒明显、实验教学受限、理论与实际脱节等痛点, 本研究提出“医工交叉 - 虚实结合 - 产教协同”的三维融合教学模式改革方案。该模式尝试从教学内容、教学方法、考核方式三个维度展开, 包括: 以医工交叉重构课程知识体系, 将医学/公共卫生知识模块有机嵌入环境毒理学教学; 以虚拟仿真实验与毒性大数据分析替代传统动物实验, 构建虚实结合的教学体系; 以产教协同共建真实污染场景全链条案例库, 实施“问题链”驱动教学。改革旨在打破传统“剂量 - 效应”实验范式, 向“智能毒性预测”与“健康风险评估”的教学新范式转型, 从而有效提高教学质量, 激发学生兴趣, 并为研究生层次环境健康人才培养提供可借鉴的实践路径。

关键词

新工科, 环境毒理学, 交叉融合, 产教协同, 数智赋能

*通讯作者。

Exploration of a Three-Dimensional Integrated Teaching Model of “Medical-Engineering Interdisciplinarity, Virtual-Actual Combination, and Industry-Education Collaboration” for the *Environmental Toxicology and Health Risk* under the Background of Emerging Engineering Education

Tingting Gao*, Liming Wang, Luohong Zhang, Yuanyuan Han

School of Environmental and Chemical Engineering, Xi'an Polytechnic University, Xi'an Shaanxi

Received: September 3, 2026; accepted: October 6, 2026; published: October 12, 2026

Abstract

The development of emerging engineering education has put forward systematic requirements for contemporary postgraduate talent cultivation, including interdisciplinary integration, digital intelligence technology empowerment, and industry-education collaborative education. Against this backdrop, in response to the prominent issues in the current graduate course *Environmental Toxicology and Health Risk* for Environmental Science and Engineering majors—such as obvious disciplinary barriers, limited experimental teaching, and disconnection between theory and practice, this study proposes a three-dimensional integrated teaching reform scheme featuring “medical-engineering interdisciplinarity, virtual-actual combination, and industry-education collaboration”. This model attempts to implement reforms from three dimensions: teaching content, teaching methods, and assessment approaches. Specifically, it includes: restructuring the course knowledge system through medical-engineering interdisciplinarity by embedding medical/public health knowledge modules into environmental toxicology teaching; replacing traditional animal experiments with virtual simulation experiments and toxicological big data analysis to build a teaching system that combines virtual and actual components; and establishing a full-chain case library of real pollution scenarios through industry-education collaboration, implementing a “problem chain”-driven teaching approach. The reform aims to break away from the traditional “dose-effect” experimental paradigm and transition toward a new teaching paradigm of “intelligent toxicity prediction” and “health risk assessment”, thereby effectively improving teaching quality, stimulating student interest, and providing a replicable practical pathway for the cultivation of graduate-level environmental health talents.

Keywords

Emerging Engineering Education, Environmental Toxicology, Interdisciplinary Integration, Industry-Education Collaboration, Digital-Intelligent Empowerment



1. 新工科建设内涵与要求

新工科建设是高等教育应对新一轮科技革命与产业变革，并服务国家创新驱动发展的核心战略。自2016年我国加入《华盛顿协议》以来，教育部等部门发起多轮新工科建设行动，掀起了新工科建设的热潮[1]。新工科的“新”主要体现在两个方面：一是发展人工智能、智能制造等新兴工科专业；二是对传统工科专业进行智能化、信息化、绿色化等升级改造[2]。其本质目标是打破传统学科壁垒，培养具备跨界整合能力和解决复杂工程问题能力的复合型人才[3]。

新工科建设对高校人才培养提出了系统性的变革要求。如：在育人模式上，要求从“知识传授”向“能力本位”转变，推行项目式教学贯穿全程；在组织模式上，要求打破院墙与学科壁垒，建设现代产业学院与未来技术学院；在课程体系上，要求建立“短周期敏捷响应”机制，推动“AI (Artificial Intelligence) + X”交叉课程群建设；在培养目标上，要求从培养“工程师”向培养“战略科学家/总师”转型，强化工程伦理与家国情怀[4]。

在此背景下，环境科学与工程学科作为高等院校典型的交叉学科，更是面临着迫切的改革需求。而环境毒理学与健康风险评估等特色专业课恰好处于环境科学、生命科学、医学、公共卫生学等学科交汇点，具备天然跨学科属性，是新工科理念落地的理想载体。因此，本研究探索研究生层次《环境毒理与健康风险》课程的教学改革，不仅有助于提升专业人才培养质量，也为新工科背景下环境类研究生课程改革提供了有价值的实践参考。

2. 《环境毒理与健康风险》课程概况与改革思路

2.1. 课程概况

《环境毒理与健康风险》是环境科学与工程专业硕士研究生的专业核心课，先修课程包括环境化学、环境生物学、环境分析与监测、生物化学、分子和细胞生物学等。课程内容主要包括：运用物理学、化学、医学和生命科学等多学科理论与方法，研究环境因素特别是化学污染物对生命有机体包括人群的毒理损害作用及其规律，并评估其生态与健康风险，进而为环境污染控制和风险管理提供理论与方法依据[5]。

课程主要目标包括：要求学生掌握环境毒理学基本原理、研究方法及最新进展；掌握污染物在环境和生物体内的转运与转化过程；掌握化学污染物的毒理学特征、测定方法与毒性预测方法；掌握剂量-效应关系及混合物联合毒性评估方法；掌握现代组学技术在环境毒理学中的应用；掌握人体健康和生态风险评价框架与评估方法等[6]。该课程设置为研究生将来从事环境毒理与健康研究、健康与生态风险评价管理等工作奠定了扎实的基础。

2.2. 教学痛点与改革思路

新工科建设理念对环境科学与工程专业研究生课程《环境毒理与健康风险》提出了更高的改革要求。因此，针对当前教学过程中存在的若干突出问题，本研究通过对教学痛点的分析提出了具体改革思路，形成“医工交叉-虚实结合-产教协同”三维融合的系统性改革框架。

1) 新工科视域下“医学-环境”交叉课程群构建。《环境毒理与健康风险》课程的教学内容处于环

境科学与公共卫生/医学的交汇点,但在实际教学过程中有关流行病学、暴露组学、临床医学等知识模块的系统性嵌入不足,知识普遍呈现“拼盘式”而非“融合式”的特征。学生难以形成跨学科的系统思维,不利于培养从“环境暴露”到“健康结局”的全链条分析能力[7]。针对上述痛点,本研究提出需打破学科壁垒,将医学/公共卫生知识等模块系统嵌入课程。如借鉴南京医科大学在毒理学与交叉学科共融发展方面的探索,将毒理学基本原理与暴露组学框架下的最新科研成果进行整合,形成“环境暴露-生物响应-健康结局”的闭环教学逻辑[8]。同时,可参照“细胞分子机制导向的阶梯式实验教学体系”设计理念,以医学细胞生物学核心信号通路(p53 凋亡通路、Nrf2 氧化应激通路、NF- κ B 炎症通路等)为教学主线,深化环境毒理学与生命科学、医学的交叉融合,构建“医学-环境”交叉课程群[9]。

2) 人工智能赋能与“虚拟仿真 + 毒性大数据”混合式教学体系构建。传统毒理学实验多涉及动物实验,普遍存在伦理争议、周期长和成本高等问题;且授课往往受限于时间与场地,开展大规模教学实训难度较大。同时,QSAR (Quantitative Structure-Activity Relationship)模型、机器学习毒性预测等智能化方法尚未系统纳入教学过程,课程内容与当代 AI 技术发展普遍衔接不足[10]。针对以上痛点,本研究提出的改革思路是:一方面,将基于 QSAR 模型、机器学习毒性预测等智能方法纳入教学过程,培养学生数据驱动的毒理学分析能力。对此,已有研究表明,AI 与数字孪生技术驱动的毒理学教学平台可显著提升学生知识测试成绩与实验设计能力[10]。而本研究尝试将其拓展至研究生课程的系统性教学重构,可实现从“剂量-效应”实验范式向“智能毒性预测”教学范式的转型。另一方面,尝试搭建虚拟仿真实验平台,引入公开毒性数据库(如 Tox21、CompTox)进行大数据分析训练,进而构建虚实结合教学体系。目前,虚拟仿真实验已被证实可有效提升学生的实践技能和实验操作能力[11],且“虚-实”结合的教学模式能切实保障教学过程理论联系实际,从而显著提高学生学习兴趣[12]。

3) 产教融合视域下环境健康风险案例库建设与“问题链”教学实践。当前研究生课程讲授普遍偏重理论教学,缺少与实际场景如新污染物治理(如 PFAS (Per- and Polyfluoroalkyl Substances)、微塑料、内分泌干扰物)等的深度结合。当学生面对真实污染事件时,往往难以独立完成从“毒性识别-暴露评估-风险表征-管理决策”的全链条分析,理论与实际脱节问题较为突出。针对上述痛点,本研究提出的改革思路是:联合环保监测机构、疾控中心与大型化工企业,共建“真实污染场景-毒性评估-风险决策”的全链条案例库;以新污染物治理等国家需求为目标导向,构建案例驱动的实验教学新模式[13],使教学内容与国家战略需求和产业实际精准对接。通过采用“问题链”驱动教学,将真实污染案例设计为逐级递进的分析任务,通过实践模拟,可实现研究生层次产教融合从“实习层面”向“案例资源深度共享”的跃升,进而培养学生解决复杂环境健康问题的工程实践能力。

3. “医工交叉-虚实结合-产教协同”三维融合教学模式探索

围绕新工科“学科交叉融合、数智赋能、产教融合”三大核心理念,针对《环境毒理与健康风险》课程痛点,本研究从教学内容、教学方法、考核方式三个维度对该课程进行系统性的教学改革设计,旨在迎合学科发展需求背景下探索适配学科特点和研究生差异化培养的教学路径,同时激发学生学习兴趣、提高课堂教学质量,全面提升研究生专业素养及工程实践能力。

3.1. 教学内容改革

教学内容以孟紫强主编的《环境毒理学基础》(第二版)[5]和白志鹏等主编《环境风险评价》(第一版)[6]为教材基础,围绕新工科建设提出的“学科交叉融合、数智赋能、产教融合”核心理念,从“医工交叉-虚实结合-产教协同”三个维度对课程知识体系进行系统性重构。旨在打破传统学科壁垒、引入前沿技术手段、同时对接产业实际需求,构建“基础理论-前沿方法-真实场景”的三位一体教学内容新

体系,具体方法如下。

1) 医工交叉维度: 构建“医学-环境”融合知识模块。在既往教材中“化学污染物吸收、分布、代谢与排泄”等经典内容的基础上,有机嵌入流行病学基础、暴露组学原理、临床毒理学标志物等医学/公共卫生知识模块。具体包括:在“毒物代谢动力学”章节(第二章)引入 ADME (吸收-Absorption、分布-Distribution、代谢-Metabolism、排泄-Excretion)过程的临床案例分析,实现用理论指导实践;在“毒性测试方法学”章节(第三章)加入器官芯片技术与临床毒理学标志物研究,进一步拓展学生技术视野;在“毒性效应特征”章节(第四章)嵌入细胞信号通路机制(p53 凋亡通路、Nrf2 氧化应激通路、NF- κ B 炎症通路等)的教学内容[9],形成“环境暴露-分子机制-健康结局”的完整知识链条;在“健康风险评估”模块(第六章)增加流行病学研究设计与因果推断基础理论研究,培养学生从群体层面理解污染物健康效应的能力。

2) 虚实结合维度: 构建“虚拟仿真+毒性大数据”双轨教学模块。针对传统教材中涉及的动物实验内容(如急/慢性毒性试验、致突变试验等),开发或引入虚拟仿真实验项目。平台基于 B/S 架构开发,通过虚拟实验室场景与参数联动引擎,支持学生在线完成“污染物采样→样品前处理→仪器分析→数据处理→风险评估”全流程模拟操作[14],使学生在安全、可重复的虚拟环境中,通过技术还原与模拟掌握复杂的实验操作技术。同时,通过增设“毒性大数据分析”模块,指导学生利用 Tox21、CompTox 等公开毒性数据库,进行化学污染物毒性预测建模训练,实现从传统“剂量-效应”实验范式教学向“智能毒性预测”教学范式的成功转型,具体教学流程如图 1 所示。

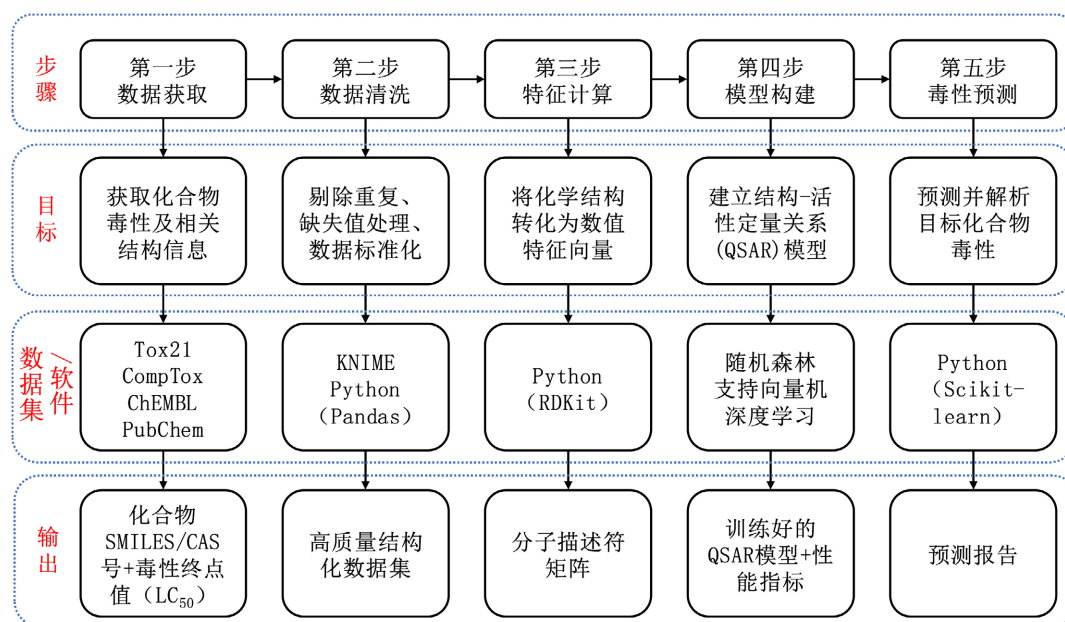


Figure 1. Teaching flow chart of toxicological big data analysis

图 1. 毒性大数据分析教学流程图

3) 产教协同维度: 建设全链条案例库。针对当前研究生教学理论与实际脱节,且能与产业和国家战略需求精准对接的问题。研究联合地方环保监测站、疾控中心及典型化工企业,围绕当下新污染物治理等国家战略需求,开发“污染源识别-毒性机制-暴露评估-风险表征-管理决策”的全链条案例库。其中,案例主题涵盖包括:PFAS 污染场地健康风险评估、微塑料生态毒性效应、内分泌干扰物饮用水标准制定等前沿议题,可充分保障课堂教学内容与国家战略需求和产业实际的精准对接[13]。

针对以上教学内容改革方案，调整后的课程内容框架如图 2 所示，该框架展示了以“环境毒理学基础”和“环境风险评价”为两大支柱，以“医工交叉知识模块”“虚拟仿真实验模块”“产教协同案例模块”为三大拓展板块的课程内容结构。其中，医工交叉知识模块：将临床医学、分子生物学、流行病学等知识有机嵌入对应章节，打破传统环境毒理学以“化学物质-生物效应”为核心的单一知识架构，构建“环境暴露→分子机制→健康结局”的交叉知识链条；虚实结合教学模块：以虚拟仿真实验平台和毒性大数据分析工具替代或补充传统动物实验过程，弥补传统动物实验教学的局限，提高毒性分析效率与质量；产教协同案例模块：联合环保监测机构、疾控中心及典型化工企业，建设全链条案例库，实现教学内容的动态更新与产业需求精准对接，形成“理论奠基-技术赋能-实践验证”的课程内容新体系，推动“问题链”驱动教学发展。

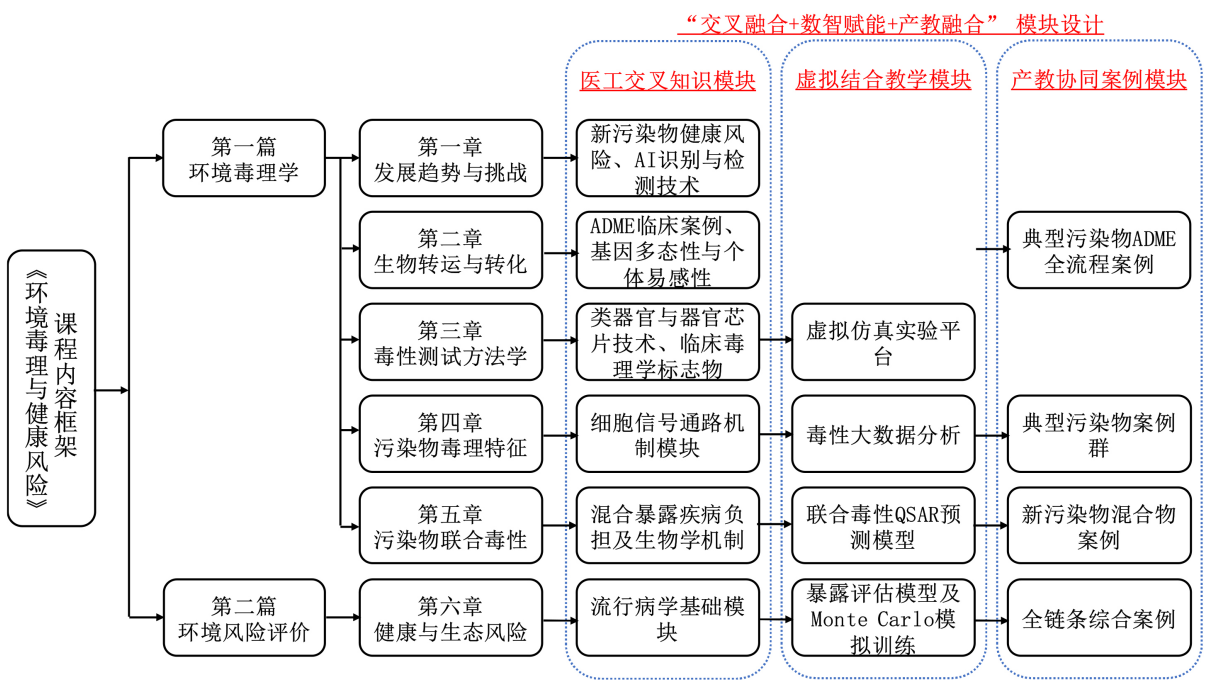


Figure 2. Content framework for the Environmental Toxicology and Health Risk course [10] [11] [13]
图 2. 《环境毒理与健康风险》课程内容框架[10] [11] [13]

3.2. 教学方法改革

传统教学方法往往以理论讲授为主，学生参与度不足，且授课内容与当代技术发展衔接不够，理论与实际脱钩。对此，本研究重点围绕新工科“以学生为中心、能力本位”的育人理念，将“教师主讲”转变为“教师引导+学生探究+专家参与”的多元互动模式，从三维融合角度实施教学方法改革。旨在激发学生学习主动性的同时，培养学生跨学科系统思维和解决复杂工程问题的实践能力，具体方法如下。

1) 医工交叉驱动的小组研讨式教学。针对上述医工交叉知识模块，研究采用“课前文献研读-课中案例研讨-课后思维导图构建”的翻转课堂模式。例如，在讲授“大气颗粒物 PM2.5 跨代遗传效应”时，可以相关前沿研究为切入点，课前引导学生阅读文献，课中围绕“表观遗传修饰作为毒性标志物的可行性”展开小组辩论，课后绘制“环境暴露-表观遗传变化-健康风险”逻辑关联图，以此培养学生的跨学科系统思维。

2) 虚实结合的混合式教学。研究将虚拟仿真实验嵌入线上/线下教学进程,具体教学流程及功能模块见图3。线上部分:学生在虚拟仿真平台完成污染物毒性测试的模拟操作,并由系统自动记录操作步骤与数据;线下部分:聚焦实验结果开展分析与讨论,由教师引导学生对虚拟结果与文献报道的真实数据进行对比分析,明确误差来源,并提出实验设计优化策略。同时,利用毒性大数据分析工具,给学生布置“给定化合物的毒性预测与验证”任务,培养学生由数据驱动的毒理学分析能力。在毒性大数据分析模块教学中(图1),学生按照“数据获取→数据清洗→特征计算→模型构建→验证与应用”五步流程开展实训;数据来源主要包括Tox21、CompTox、ChEMBL及PubChem等公开毒性数据库;工具软件涵盖利用KNIME或Python(Pandas, RDKit, Scikit-learn)进行数据清洗与分子描述符计算,以及利用随机森林、支持向量机或深度学习框架构建QSAR毒性预测模型,并通过交叉验证与外部测试集评估模型性能,最终实现对未知化合物的毒性预测。对此,目前已有研究表明,AI+数字孪生教学组知识测试成绩要显著高于传统组,这也充分证明了虚实结合教学方法的有效性[10]。

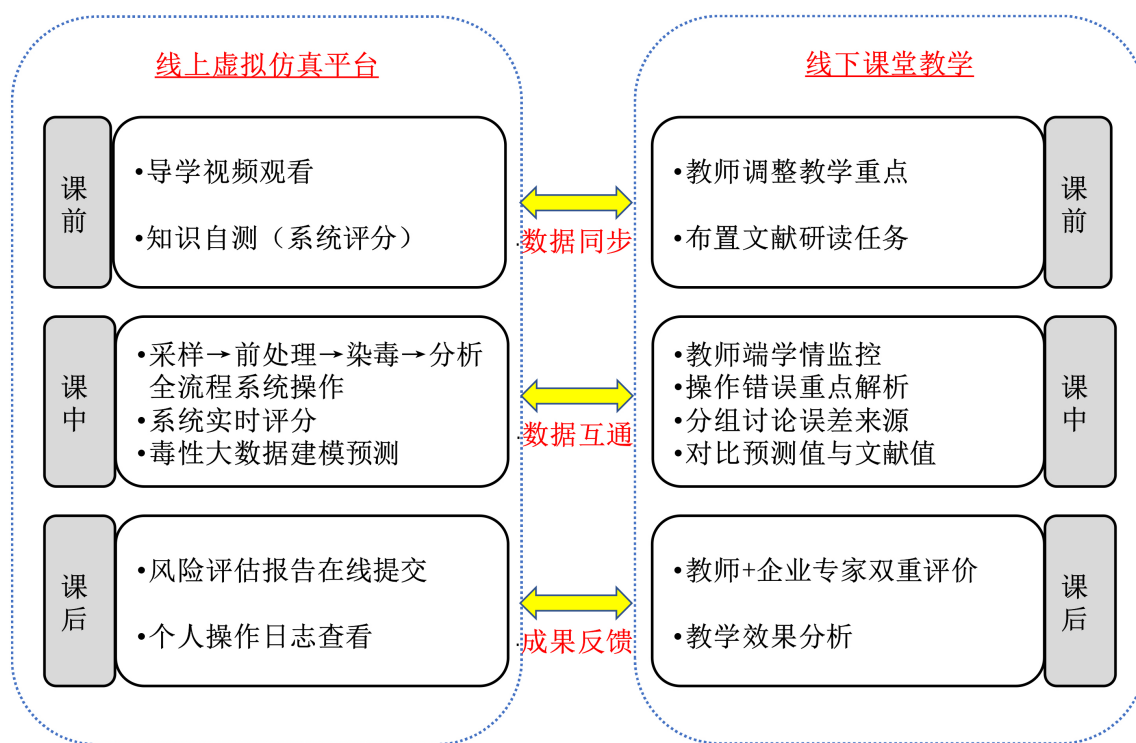


Figure 3. Flowchart of the virtual-actual combined blended teaching
图 3. 虚实结合混合式教学流程图

3) 产教协同的“问题链”驱动教学。教学过程中将真实污染案例设计为逐级递进的“问题链”,引导学生利用理论知识解决实际问题。如以“某化工园区地下水PFAS污染”真实案例为主线,设置四环节递进式问题链:①污染源识别→②毒性评估→③暴露评估→④风险表征与管理决策。教学实施过程中,将学生划分为4~5人/组,分阶段完成各环节任务,并最终形成风险评估报告。企业专家全程参与三个教学阶段:①案例启动阶段,提供真实监测数据与布点方案;②方案设计阶段,进行可行性点评;③成果答辩阶段,参与联合评分(权重40%)。最终考核将从全链条完整性(30%)、数据规范性(25%)、方案可行性(25%)、团队协作(20%)四维度评价小组报告,并结合组内互评(30%)、研讨参与度(30%)和个人反思报告(40%)评定个人成绩,实现多元能力综合评价[15]。针对该案例的教学设计过程如表1所示。

Table 1. PFAS pollution case “problem chain” full-chain teaching design plan
表 1. PFAS 污染案例 “问题链” 全链条教学设计方案

教学环节	核心问题链	教学材料	专家介绍节点	评估细则
环节 1： 污染源识别	① PFAS 的环境归趋与暴露途径是什么？ ② 如何确定污染源与污染范围？	· 化工园区地理位置与水文地质图 · 地下水监测并 PFAS 监测数据 · PFAS 理化资料	案例启动： 化工园区环保负责人提供真实监测数据与布点方案	全链条分析完整性(30%)： · 是否涵盖全部环节； · 各环节逻辑衔接是否清晰
环节 2： 毒性评估	③ PFAS 的毒性机制与剂量 - 效应关系如何？ ④ 哪些毒性终点最为敏感？	· PFAS 毒理学文献 · Tox21/CompTox 数据库 · 动物实验与流行病学研究摘要		数据与方法规范性(25%)： · 数据来源是否可靠； · 暴露参数选取与计算是否正确
环节 3： 暴露评估	⑤ 如何设计暴露评估方案？ ⑥ 如何估计人群暴露剂量？	· 暴露情景数据 · 暴露参数手册 · EPA 暴露评估指南	方案设计： 修复企业/疾控专家对暴露评估与管理方案进行可行性点评	管理方案可行性(25%)： · 方案是否考虑技术可行性、经济成本、合法性及比选分析
环节 4： 风险表征 与管理决策	⑦ 如何综合评估健康风险？ ⑧ 如何制定风险管理方案？	· EPA/WHO 风险评价指南 · PFAS 饮用水健康建议值 · 水处理技术资料 · 法律法规与责任认定文件	成果答辩： 企业专家参与联合评审，评分占总评 40%	团队协作与表达(20%)： · 小组分工 · 汇报逻辑 · 答辩表现

通过以上三个维度的教学方法改革，包括：组织翻转课堂和小组研讨，可充分激发学生主动学习的热情；以虚实结合的混合式教学模式，可培养学生数据驱动的毒理学分析能力；以“问题链”驱动的教学方法，可提升学生解决复杂环境健康问题的工程实践能力，并最终形成“课前研读 - 课中研讨与实验 - 课后实践与反思”的全过程互动式教学范式。

3.3. 考核方式改革

传统课程考核主要包括平时作业和结课大论文，该考核方式不能充分反映学生对课程内容的掌握程度，也无法对学生的综合实践能力进行有效评估。对此，本研究围绕新工科“能力本位、过程评价”的考核理念，构建“过程性评价 + 能力导向评价”的多元化考核体系，旨在激发学生兴趣、提高课堂质量，并全面培养学生的综合工程素质。具体改革方案如表 2 所示。

Table 2. Assessment methods and weight design for the *Environmental Toxicology and Health Risk* course
表 2. 《环境毒理与健康风险》课程考核方式与权重设计

考核维度	考核项目	权重	评价要点
医工交叉素养	文献综述与研讨表现	20%	跨学科文献整合能力、研讨参与度与观点深度
虚实结合能力	虚拟仿真实验报告 + 毒性预测建模	25%	实验操作规范性、数据分析能力、预测模型合理性
产教协同实践	案例“问题链”小组报告	30%	全链条分析完整性、团队协作、问题解决方案可行性
理论基础	结课研究报告	25%	与自身研究方向结合的深度、学术规范性、创新性

新的考核体系具有以下特点：一是强调过程性，将虚拟仿真操作、小组研讨、阶段性汇报等纳入评价，营造“全程参与”的学习氛围；二是突出能力导向，减少死记硬背类考核，聚焦文献整合能力、数

据分析能力、问题解决能力与团队协作能力的评估；三是引入多元评价主体，案例报告环节邀请企业专家参与评分，虚拟仿真实验由平台自动记录操作数据，可增强评价的客观性；四是强化理论与实践结合，结课报告要求学生在自身研究方向的文献调研基础上，运用课程所学毒理学与风险评估方法，完成一项微型研究设计，实现课程学习与科研能力的有机衔接。

通过以上考核方式改革，可构建“医工交叉素养-虚实结合能力-产教协同实践-理论基础”四维一体的多元化考核评价体系，实现对学生跨学科知识整合能力、技术应用能力、工程实践能力和学术创新能力的全面、客观评价，真正做到以考核导向促进学生综合工程素质的全面提升。

4. 结语

《环境毒理与健康风险》作为环境科学与工程专业的核心课程，具有鲜明的多学科交叉特征与较强的实践应用导向。针对当前教学所面临的学科壁垒明显、实验教学受限、理论与实际脱节等突出问题，本研究紧扣新工科“学科交叉融合、数智技术赋能、产教协同育人”三大核心理念，提出“医工交叉-虚实结合-产教协同”三维融合教学改革模式，从教学内容、教学方法、考核方式三个维度展开改革实践，形成“知识重构-方法赋能-实践验证”的闭环互促机制，即通过医工交叉打破学科壁垒以重构知识体系，通过虚实结合以智能毒性预测替代传统实验范式，通过产教协同以真实工程场景深化前两者应用，三者协同指向学生跨学科思维、数据驱动能力与复杂问题解决能力的综合提升。通过改革，可有效提升研究生跨学科系统思维能力、数据驱动毒理学分析能力及解决复杂环境健康问题的工程实践能力，并为研究生层次环境健康人才培养，及新工科理念在课程层面的有机整合提供了系统性理论模型与可迁移实践范例。未来可进一步探索三维融合模式的量化评价体系，并通过多轮教学实践持续优化改革方案。

基金项目

西安工程大学课程思政示范课程(KSZ2523)，西安工程大学德智体美劳“五育融合”研究项目(25WYJGYB08)。

参考文献

- [1] 冯增俊. 创建以发展新工科为导向的新教育学科体系[J]. 中国教育科学(中英文), 2026, 9(1): 3-11.
- [2] 杨攀, 谭永宏. “四强”融合, 助推新工科建设[N]. 湖南日报, 2025-10-11(07).
- [3] 吴爱华, 等. 加快新工科建设, 推进工程教育改革创新[J]. 高等工程教育研究, 2017(1): 1-8.
- [4] 林健. 新工科建设: 强势打造“卓越工程师教育培养计划”升级版[J]. 高等工程教育研究, 2017, 65(3): 7-14.
- [5] 孟紫强. 环境毒理学基础[M]. 第2版. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [6] 白志鹏, 等. 环境风险评价[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [7] 唐天乐, 吴琳, 李慧君, 等. 医学院校环境科学专业环境毒理学课程教学改革初探[J]. 教育观察(上半月), 2016, 5(11): 99-100.
- [8] 刘倩, 王希玮, 翁振坤, 等. 毒理学与交叉学科的共融发展与创新[J]. 南京医科大学学报(社会科学版), 2024, 24(4): 427-432.
- [9] 晏彪, 杨旭, 陈绍恢, 等. 细胞分子机制导向的阶梯式环境毒理学实验教学体系构建与实践[J]. 生态毒理学报, 2026, 21(2): 67-74.
- [10] 晏彪, 杨旭, 马萍, 等. 基于 AI 与数字孪生技术的下一代毒理学教学平台构建——以草甘膦诱导小鼠肝脂代谢紊乱的实验教学为例[J]. 生态毒理学报, 2026, 21(4): 161-170.
- [11] 孙倩, 唐焕文, 刘小山, 等. 虚拟仿真实验融入“卫生毒理学”实验教学的应用探索[J]. 科教导刊, 2023(30): 64-67.
- [12] 周佩欣. 环境毒物学课程问题导向学习教学实践与成效评估[R]. 成功大学, 2023.

-
- [13] 张亚南, 曲蛟, 李超, 等. 以国家需求为导向的环境科学专业实验教学探索[J]. 科教文汇, 2023(3): 108-111.
- [14] 吴泽颖, 柏寄荣. 工业废气中二噁英的测定虚拟仿真实验的构建与应用[J]. 应用化学, 2026, 43(2): 286-294.
- [15] 黄华军, 等. 新工科背景下环境专业课程思政体系建设探索——以“环境毒理学”课程为例[J]. 教育教学论坛, 2023(33): 141-144.