

“固废十条”背景下固体废物处理与资源化课程重塑探索

魏军晓, 曲炳良

广东海洋大学化学与环境学院, 广东 湛江

收稿日期: 2026年7月17日; 录用日期: 2026年9月14日; 发布日期: 2026年9月22日

摘 要

作为地方高校环境科学专业的核心课程,《固体废物处理与资源化》面临着教学内容更新滞后、课程体系与政策脱节、工程实践导向与专业定位不匹配等现实困境。本文立足广东海洋大学环境科学专业的培养定位,从课程目标优化、内容模块重构、思政元素融入、教学方法创新和考核机制改革等5个维度,探索面向“固废十条”的课程教学改革路径。本文提出以政策解读、技术认知、管理评估和案例分析为主线、降低工程设计深度而强化综合分析能力的课程重构方案,构建了课程目标-内容模块-问题情境-评价证据-持续改进的五维协同框架,并设计了能力发展量表、分析性评分量规和准实验评价方案,以期地方高校环境科学专业培养适应新时代固废综合治理需求的应用型管理人才提供参考。

关键词

“固废十条”, 固体废物处理与资源化, 课程内容重塑, 环境科学专业, 地方高校

Exploration of Curriculum Reshaping for the Course Solid Waste Treatment and Resource Recovery in the Context of the “Ten Measures for Comprehensive Solid Waste Management”

Junxiao Wei, Bingliang Qu

School of Chemistry and Environment Science, Guangdong Ocean University, Zhanjiang Guangdong

Received: July 17, 2026; accepted: September 14, 2026; published: September 22, 2026

Abstract

As a core course for environmental science majors at regional universities, “Solid Waste Treatment and Resource Recovery” faces practical challenges including outdated instructional content, misalignment between the curriculum system and evolving policy frameworks, and mismatches between traditional engineering-oriented pedagogy and the program’s professional positioning. Situated within the educational context of the Environmental Science program at Guangdong Ocean University, this paper explores curriculum reform pathways oriented toward the “Ten Measures for Comprehensive Solid Waste Management” across five interconnected dimensions: refinement of course objectives, modular restructuring of content, integration of values-based ideological and political education, innovation in pedagogical approaches, and reform of assessment mechanisms. The proposed restructuring framework prioritizes policy interpretation, technology literacy, management evaluation, and case-based analysis as its organizing threads, while deliberately reducing the emphasis on engineering design and strengthening comprehensive analytical competencies. This paper further proposes a five-dimensional collaborative framework comprising course objectives, content modules, problem contexts, assessment evidence, and continuous improvement, and develops a competency development scale, an analytic scoring rubric, and a quasi-experimental evaluation protocol. This curriculum reform model aims to provide a reference for regional universities in cultivating application-oriented management professionals in environmental science who can effectively respond to the demands of contemporary integrated solid waste governance.

Keywords

Ten Measures for Comprehensive Solid Waste Management, Solid Waste Treatment and Resource Recovery, Curriculum Content Reshaping, Environmental Science Major, Regional Universities

Copyright © 2026 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

固体废物治理是生态文明建设和美丽中国建设的重要内容。2025 年 12 月 27 日, 国务院印发《固体废物综合治理行动计划》¹(简称“固废十条”), 这是我国首个针对固体废物综合治理作出的系统性部署的专项文件。该计划明确了到 2030 年大宗固体废弃物年综合利用率达到 45 亿 t, 主要再生资源年循环利用率达到 5.1 亿 t 的量化目标, 构建源头减量、过程管控、末端利用和全链条无害化管理的固体废物综合治理体系[1]。业内将其与“大气十条”、“水十条”和“土十条”并称为“固废十条”, 共同构成了污染防治攻坚战的政策体系。“固废十条”的实施意味着我国固体废物管理从过去的末端治理为主, 迈入系统治理、全面推进的新阶段, 对固体废物处理与处置领域的专业人才培养提出了更高要求[2]。

《固体废物处理与资源化》是环境科学专业的核心课程之一。与同属环境类专业的环境工程不同, 环境科学专业更侧重环境问题的理论分析、政策解读、风险评估与管理决策, 而非具体的工艺设计和工程调试。然而, 当前该课程的教学普遍存在以下问题导致学生所学内容与实际工作中面临的政策环境和管理需求之间存在明显落差。首先, 传统教学内容更新缓慢, 对不断出台的新政策、新标准和新技术

¹https://www.mee.gov.cn/zcwj/gwywj/202601/t20260105_1139840.shtml

的跟进严重滞后。其次, 课程体系多以环境工程专业的填埋、焚烧和堆肥等工艺为主线, 缺乏从环境科学专业视角出发的政策、技术和管理三位一体设计。最后, 实践教学环节过度强调工程设计, 与地方高校环境科学专业学生的知识基础和就业去向脱节。

近年来, 国内学者围绕本课程教学改革进行了诸多探索。吕碧洪等人[3]在新工科背景下对该课程的教学改革进行了系统研究; 胥腾屯[4]在工程认证背景下探讨了课程教学设计; 纪霞[5]基于新《固废法》对课程进行了重构和融合; 赵传起等人[6]以垃圾分类为背景探索了课程建设路径; 岳钦艳等人[7]构建了固体废物处理处置与资源化课程的立体化教学体系。此外, 高秀红等人[8]开展了过程化考核方式改革与实践, 盛广宏等人[9]在专业认证背景下探讨了过程性考核方式的应用, 赵敏娟等人[10]进行了课程教学改革与探索。上述研究为课程改革提供了重要参考, 但多数仍以经验总结为主, 课程目标、教学活动和评价证据之间的对应关系不够明确。特别是, 已有研究尚未将“固废十条”的全链条治理框架引入地方高校环境科学专业课程的内容重塑中, 也缺少基于成果导向教育(Outcome-Based Education, OBE)和建构性对齐理念的系统化课程设计。

成果导向教育强调以学生完成学习后能够实际表现出的结果为起点, 反向组织课程内容、学习活动和评价方式[11]。建构性对齐进一步要求预期学习成果、教学活动和评价任务三者之间保持内在一致[12]。据此, 课程改革不应以教师讲完多少内容为主要标准, 而应以学生能否识别固废治理链条、解释政策工具、比较技术适用性、评估环境风险并形成证据支持的管理建议作为课程达成的核心。本文立足于“固废十条”引领的政策新背景, 结合广东海洋大学环境科学专业的办学实际, 以 OBE 和建构性对齐为理论基础, 探讨《固体废物处理与资源化》课程内容的重塑路径和教学实践方案, 并设计相应的评估工具和移植指南, 以期地方高校培养服务国家固废综合治理行动的环境科学人才提供参考。

2. “固废十条”对地方高校环境科学专业课程教学改革的新要求

2.1. 治理体系升级

“固废十条”的核心创新在于构建了源头减量、过程管控、末端利用和全链条无害化管理的固体废物综合治理体系。这一体系强调系统性和闭环性, 彻底改变了以往单点突破的治理模式。对于环境科学专业的学生而言, 未来可能更多地进入政府部门、环境咨询机构或企业 EHS (环境、健康、安全) 岗位, 需要具备从固废产生源头到最终处置的全链条分析能力, 而非仅仅掌握单一工艺的操作技能。因此, 课程改革应当以全链条治理理念为主线, 培养学生对固废问题的系统性诊断和管理方案的综合评估能力。地方高校环境科学专业的毕业生主要面向基层生态环境管理部门、环境监测站、环保咨询公司等岗位, 这些岗位要求从业人员具备较强的政策理解能力和管理执行能力, 而非深入的工程设计能力。因此, 课程教学应当从环境科学专业的实际定位出发, 将“固废十条”所倡导的全链条治理思维转化为学生能够理解和运用的分析框架。

2.2. 技术迭代加速

“固废十条”的实施正在推动固体废物管理从末端处置向全过程防控转变, 推动先进适用技术的推广和应用。同时, 国家明确提出实施“强化新污染物治理, 实施固体废物综合治理行动”的要求[13], 这进一步促进了固废处理技术的更新迭代明显加快。环境科学专业的学生虽不需要掌握详细的工艺设计参数, 但必须理解各类主流技术的原理、适用条件、环境影响及优缺点, 以便在实际工作中做出科学的技术选型或政策建议。因此, 该课程应将教学目标从工程设计转向技术认知和评估, 帮助学生建立对固废处理技术体系的整体性理解。

2.3. 复合型人才缺口

“固废十条”颁布后，社会对固废领域从业人员的立体化和复合性要求进一步凸显。地方高校环境科学专业毕业生的主要就业去向包括市县生态环境局、环境监测站、环保咨询公司和固废处理企业运营管理等岗位。这些岗位需要人才具备政策解读能力、环境影响评价能力和固废管理方案编制能力以及基本的技术评估能力。课程教学应从单纯的知识传授向知识、能力和价值三位一体的人才培养模式转变，强化学生解决实际固废管理问题的综合素质。值得注意的是，“固废十条”特别强调全过程信息化监管和固体废物管理台账制度等管理工具的运用。这意味着未来的固废管理人才不仅需要懂技术，还需要懂管理、懂信息、懂政策。地方高校环境科学专业在这方面具有独特的培养优势，相较于“双一流”高校更侧重科研导向的培养模式，地方高校更贴近基层管理实际，更能够培养下得去、用得上、留得住的环保人才。这一优势应当在课程改革中得到充分体现。

3. 课程内容重塑与教学改革实践

3.1. 课程目标优化

基于“固废十条”的总体要求和广东海洋大学环境科学专业的人才培养定位，课程目标从以下3个维度进行重构。第一，知识目标。这就要求学生系统掌握固体废物减量化、资源化、无害化的核心原则，熟悉“固废十条”等固废管理的政策框架和法规体系，了解从垃圾分类到最终处置的全链条技术路径及其环境影响。第二，能力目标。这就要求重点培养学生运用全链条治理思维分析固废问题的系统性能力、固废管理方案的评估与优化能力，以及环境风险识别和政策解读的综合素养。区别于环境工程专业的工艺设计能力，环境科学专业更强调管理决策支持和技术方案评估层面的能力培养。第三，素养目标。这就要求强化生态文明建设的责任意识、“无废城市”建设的使命担当，以及环境伦理与可持续发展价值观，为学生在政府部门、环境咨询机构和环保企业等岗位从事固废管理工作奠定基础。为增强课程目标的测量可操作性，本文将上述三维目标进一步细化为5类可观察的学习成果(CLO1~CLO5)，每项成果对应具体的评价证据(表1)。这一设计遵循建构性对齐原则，确保教-学-评三者指向一致。

Table 1. Course learning outcomes, observable performances, and assessment evidence
表 1. 课程学习成果、可观察表现和评价证据

学习成果	可观察表现	主要评价证据
CLO1 知识理解	解释主要固废类型、性质、处理技术及污染控制原理	概念图、阶段测验、期末综合题
CLO2 系统分析	构建从产生、收集、转运、处理到资源化/处置的物质流和风险链条	系统图、案例报告、口头答辩
CLO3 政策分析	识别政策层级、目标、责任主体和实施工具，并判断地方适用性	政策简报、法规检索任务
CLO4 方案评价	从环境、技术、经济和社会维度比较固废管理方案并提出优化建议	PBL 项目、分析性量规评分
CLO5 职业伦理	识别数据真实性、公众风险沟通、环境公平和代际责任问题	反思日志、角色讨论记录、伦理情境题

课程目标的优化与重构，体现了从知识传授向能力培养和价值引领的转变[14]。文吉昌等人[15]指出，“无废城市”建设是建设美丽中国的内在要求，离不开当代大学生的参与，将爱国主义及社会责任担当

与知识传授相融合,在专业知识传授过程中弘扬爱国主义和社会责任担当正能量,是该课程思政教学的重要方向。这一观点同样适用于环境科学专业,且在地方高校的办学定位中具有更强的现实意义。

3.2. 内容模块重构

面向环境科学专业的学生,课程内容的组织应突出政策解读、技术认知、管理评估和案例分析的主线,而非单纯的工程设计的深度。具体重构为以下5个模块。

3.2.1. 模块一: 政策与法规模块(4 学时)

该模块系统介绍“固废十条”的政策背景、核心目标(如45亿t大宗固废利用、5.1亿t再生资源循环)与实施路径,结合《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》²(2020年修订,简称新《固废法》)和“无废城市”建设试点政策,培养学生的政策解读能力。该模块的特色是引入“城市矿山”的概念,帮助形象化理解固废的资源属性。已有研究表明,将政策法规的系统解读融入固废课程,能够有效增强课程的时代性和实用性。纪霞[5]基于新《固废法》的修订内容,将该法对工业固废、生活垃圾、危险废物等不同类型的管理要求系统纳入课程体系,使教学内容与法律实践紧密结合,取得了良好效果;赵传起等人[6]在课程改进中加入了《固废法》解读、垃圾分类实施方案分析以及分类商业模式的比较等内容,有效拓展了学生的专业视野。本模块借鉴上述经验,将“固废十条”作为政策教学的核心内容,同时有机融入新《固废法》和“无废城市”建设试点政策,构建法律-规划-行动三位一体的政策教学框架,确保学生能够系统掌握固废管理领域最新的政策法规体系。

3.2.2. 模块二: 固废来源与特征模块(4 学时)

该模块讲授生活垃圾、工业固废、农业固废和危险废物等各类固废的产生特征、环境风险及分类管理要求。重点对比垃圾分类前后固废组分的变化及其对后续处理的影响,该部分可直接引用笔者前期的科研成果作为教学案例[16]。有学者在《固体废物处理与资源化》课程案例体系建设中强调,课程应重视与政策和实际案例的应用,案例建设应注重凝练学科发展重大问题[17]。本模块参考该研究,通过讲授各类固废的产生特征和环境风险,以及垃圾分类前后固废组分的变化规律,为学生后续学习处理技术认知和环境管理评估模块奠定坚实的知识基础。

3.2.3. 模块三: 处理技术认知模块(12 学时)

该模块以技术认知而非工程设计为导向,讲授焚烧、厌氧消化和填埋等处理处置技术的原理、适用条件、环境影响及优缺点比较。重点内容包括焚烧过程中的二噁英生成与控制机理、重金属的迁移分布特征、厌氧消化的物质流与能效分析等。该部分可结合笔者的前期研究成果[18]-[20],以案例讲解替代公式推导,进一步增加学生的接受能力。例如,唐平等[21]在《固体废物处理处置与资源化》课程的翻转课堂教学实践中,以固废焚烧章节为例构建了课前自主学习、课堂教学实施和课后反馈的教学闭环,并取得了良好效果。本模块借鉴其翻转课堂的经验,结合笔者在二噁英生成与控制、重金属迁移分布、厌氧消化物质流分析等方面的研究成果,将前沿科研数据转化为教学案例,使学生通过真实数据理解技术原理与环境效应之间的内在联系。

3.2.4. 模块四: 环境管理与风险评估模块(6 学时)

该模块为环境科学专业的特色模块,涵盖固废处理设施的环境影响评价方法的应用、焚烧飞灰等的环境风险评估,以及固废管理方案的生命周期评估等内容。为深度展现专业知识和思政元素的有机融合,本模块设置一个专题研讨阶段:以“生活垃圾焚烧发电厂周边土壤重金属健康风险评估”为研讨主题,

²https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/fl/202004/t20200430_777580.shtml

学生分组扮演管理部门、企业、社区和第三方专家等不同角色,完成技术评估并举行模拟听证,在专业训练中同步涉及环境公平、风险沟通和公共利益等伦理议题。该研讨主题直接源自笔者已发表的代表性成果可作为典型案例[22]。有学者指出,将生态文明理念融入课程教学,是《固体废物处理与资源化》课程在新时期的重要使命[14][15]。本模块将生态文明理念融入环境管理和风险评估的教学过程,使学生在掌握技术方法的同时,理解固废管理背后的环境正义和可持续发展价值取向。

3.2.5. 模块五: 综合实训与案例研讨模块(6 学时)

结合粤西地区(湛江和茂名等)的固废处理实际,开展案例教学。例如,以湛江市生活垃圾焚烧发电厂为调研对象,要求学生完成一份某城市固废综合治理现状评估报告,综合运用政策分析、技术认知和风险评估等多方面能力。有研究者在产教融合背景下提出,通过重构理论、实践和创新三维课程体系、引入企业项目案例,能够有效提升学生的应用能力[23]。本模块借鉴其产教融合理念,将粤西地区的实际固废处理设施作为教学案例,使学生在真实的地方环境治理情境中运用所学知识,这既增强了教学的实践性,也有助于学生建立服务地方环保事业的职业认同感。

上述 5 个模块构成了从政策到技术、从理论到实践的完整教学链条。与传统的填埋、焚烧和堆肥等注重讲授工艺参数的教学模式相比,这一模块化设计更加突出了环境科学专业的学科特色和“固废十条”的政策导向。

3.3. 课程思政融合

“固废十条”和“无废城市”建设是推进美丽中国建设的内在要求与具体实践,课程思政融合具有天然优势。课程思政建设可采取以下 3 条路径。需要强调的是,课程思政的融入不是简单的“贴标签”,而是要将思政元素有机地嵌入专业知识的讲授中,以专业判断能够直接面对的伦理问题为载体,包括公众健康保护、环境公平、代际责任、数据真实性、信息公开和廉洁从业等。

3.3.1. 政策价值观的融入

在解读“固废十条”的过程中融入生态文明理念,引导学生认识固体废物治理对美丽中国建设的战略意义。文吉昌等[15]指出,将爱国主义及社会责任担当与知识传授相融合,是《固体废物处理与资源化》课程思政教学的重要方向[14]。

3.3.2. 社会责任感的培养

在讲授非法倾倒处置的危害内容时,结合典型案例进行警示教育,增强学生的职业使命感。例如,结合长江经济带固体废物非法倾倒案例[24],让学生深刻理解固废管理失范对生态环境和公众健康的危害。张军等[25]通过多种形式将思政元素与专业知识有机融合,厚植爱国情怀,弘扬创新进取的科学精神,将思想价值引领贯穿于整个教学环节,可以实现专业学习和思政教育的双重教学目标。本模块借鉴其经验,将典型案例警示教育作为社会责任感和职业使命感培养的重要抓手。

3.3.3. 职业伦理意识的塑造

融入职业伦理元素,培养学生在固废管理实践中坚守职业道德、科学决策和廉洁自律的素养。结合“固废十条”中有关全过程信息化监管的要求,讨论数据真实性和信息公开的社会责任。朱明新等[26]指出,理工专业课程教学应从教学内容、教学资料、教学模式、课程考核体系及思想政治教育建设等方面进行系统改革。本模块借鉴其思路,将职业伦理意识的塑造系统融入到管理评估教学的全过程。

在评价思政目标达成方面,本文提出了 3 项操作化途径:一是在案例报告评分量规中设置利益相关者和伦理分析维度,要求学生的方案必须说明对不同群体和代际的潜在影响;二是在课程中安排至少一

次角色模拟讨论，由教师依据参与观察记录表评估学生能否识别责任冲突并提出可审计的处理方案；三是要求学生提交 1~2 篇反思日志，教师从是否识别受影响群体、是否区分事实判断和价值判断两个维度进行定性分析，三者共同构成思政目标达成的多源证据，避免仅凭态度表述判断价值教育效果。为更具体地展示专业知识与思政目标的有机融合，本文设计 2 个 90 分钟教学节段(表 2)。教学设计不使用抽象的政治口号，而是将公共利益、数据真实性、程序公平和职业责任等伦理议题嵌入专业任务与评价标准之中。

Table 2. Design of two representative teaching sessions
表 2. 两个代表性教学节段设计

教学节段	专业知识	问题情境与活动	学习成果	评价方式
节段 A：垃圾焚烧项目的技术评估、风险沟通与环境公平	焚烧原理、二噁英控制、排放标准、健康风险	给出某市垃圾组成、排放监测、厂址与人口分布数据；学生分别扮演管理部门、企业、社区和第三方专家，完成技术评估并举行模拟听证	说明技术可行性；区分排放达标与风险可接受；识别利益与风险的空间分配；形成证据支持的沟通方案	技术准确性 30%；证据使用 25%；利益相关者与公平分析 20%；政策合规 15%；反思 10%
节段 B：危险废弃物转移台账审计与职业伦理	危废分类、转移联单、贮存与应急管理	提供存在时间缺口、重量异常和签章不一致的模拟台账；学生追踪流向、识别违规风险并提出整改、报告与应急方案	掌握全过程管理；理解数据真实性和信息公开责任；权衡企业成本、监管要求与公众安全	法规映射 25%；数据追溯 25%；风险控制 25%；职业伦理反思 15%；表达与协作 10%

上述 2 个节段分别对应模块三(焚烧技术)和模块二(危废管理)的核心内容，在专业训练中自然嵌入环境公平、风险沟通、数据真实性和职业责任等伦理议题，将价值教育从态度表达转化为专业判断中的实际行动。

3.4. 教学方法创新

针对地方高校环境科学专业的学情特点，即学生工程基础相对薄弱、但政策敏感性和综合分析能力可塑性较强，教学方法的改革重点在于降低技术门槛、强化案例分析、突出应用导向[23]。

3.4.1. 案例教学法

利用笔者在固废领域的科研积累，将一些先进城市的固废治理实践转化为教学案例。例如，以深圳市垃圾分类对焚烧厂二噁英排放的影响为案例[27][28]，引导学生分析政策变化如何传导至技术环节，进而影响环境风险。有学者在《固体废物处理与资源化》课程案例体系建设中强调，案例建设应注重凝练学科发展重大问题，明确学科建设目标[17]。

3.4.2. 任务驱动法

以“固废十条”中的量化目标为任务背景，设置小组任务。例如，从政府管理层面为湛江市设计 1 份餐厨垃圾资源化利用方案，要求学生从政策可行性、技术适用性和环境效益等多个维度进行分析。有学者基于 OBE 理念，创新性地提出了多方协同 - 多元教学 - 多层保障的课程改革思路[29]。

3.4.3. 研讨式教学

选取如生活垃圾焚烧二噁英排放的健康风险到底有多大，焚烧飞灰资源化路径的安全性争议等固废领域的争议性话题，组织学生查阅文献、小组辩论，培养批判性思维和科学论证能力。有研究者在《固体废物处理与资源化》课程中实施了思 - 产 - 学 - 研的教学模式，通过前沿问题、新兴技术、数字创新赋能产学研，靶向培育复合型专业人才[30]。

3.4.4. 线上线下混合式教学

有学者基于 Blackboard 平台探索了混合式教学模式，从课前预习与准备入手，有效提升了教学质量[31]。还有学者在高质量教育体系建设背景下提出了“五位一体”教学模式，即以学生为中心，以精准目标为导向，通过四层次教法、四维度学法和三阶段学习过程实现教学目标[32]。利用超星学习通等平台，建设课程视频、政策文件库和经典案例库等数字化资源。针对环境科学专业学生工程基础薄弱的特点，可制作技术原理动画讲解系列微课，帮助学生在课前完成基础知识的自主学习，课堂时间则用于案例研讨和问题深化。

3.5. 考核机制改革

传统以期末闭卷考试为主的考核方式难以全面评估学生在政策解读、方案评估和风险分析等方面的综合能力。针对环境科学专业的培养目标，考核机制做如下调整：

3.5.1. 过程性考核

高秀红等[8]依据《固体废物处理与资源化》课程特点与教学内容，进行了过程化考核方式的改革，考核采取多元化考核体系，包括调研汇报、课程论文、课堂辩论、阶段性测试等。实践表明，该考核方式能够激发学生的学习兴趣、调动学生的学习积极性和主动性。过程性考核包括课堂互动与参与度(10%)、案例分析报告(20%)、课程设计/调研报告(10%)等。其中，案例分析报告要求学生某一固废管理政策或技术方案进行系统评估。

为更精确地测量学生在系统分析、政策解读和方案评估等方面的能力变化，本文设计了一份包含 12 个条目的五级量表，涵盖系统思维(4 条目)、政策分析(4 条目)和方案评估(4 条目)三个维度。该量表可在课程开始和结束时分别施测，用于追踪学生的能力发展轨迹。正式使用前应由固废领域教师、教育评价专家和行业专家进行内容效度审查，并通过小规模预测试检验条目可理解性和内部一致性。

3.5.2. 期末考核

期末考试侧重考查学生对固废治理全链条思维的理解、政策工具的应用能力以及综合分析能力，减少对技术公式和工程参数的死记硬背要求。有学者在专业认证背景下提出，过程性评价强调在教学全过程设置考核点，课程达成评价是专业认证过程中一个非常重要的环节[9]。

3.5.3. 增值评价

在学期初和学期末分别进行问卷调查，了解学生在固废治理政策认知和系统性思维等方面的提升情况，作为教学效果评估的辅助依据。有学者在该课程教学中实施过程性教学评价，构建了与课程目标相匹配的过程性评价方法，通过对学生整体学习过程进行跟踪研究与评估，并及时将评价结果反馈用于课程教学的改进[33]。此外，本文建议在后续研究中引入分析性评分量规，对案例报告进行多维度评分(见表 3)。量规涵盖系统边界界定、证据使用质量、方案比较逻辑、利益相关者分析和职业伦理反思等维度。由两名评分者依据同一量规独立评分，并报告评分者信度(组内相关系数或加权 Kappa)，以降低教师个人评分偏差。这一设计旨在将能力提升的判断建立在可复核的证据基础之上。

Table 3. Analytic scoring rubric for case analysis reports

表 3. 案例分析报告分析性评分量规

评价维度	权重	优秀(90~100)	良好(75~89)	合格(60~74)	待改进(<60)
系统边界与问题界定	20%	清晰界定系统边界，完整识别关键环节和反馈关系	界定较清晰，识别主要环节	界定基本清晰，遗漏若干关键环节	边界模糊，环节识别混乱

续表

证据使用与数据质量	25%	使用多元可靠证据，注明来源，对不确定性有讨论	使用可靠证据，来源较明确	有证据支撑但来源单一	缺乏证据或证据不可靠
方案比较与决策逻辑	20%	多维度系统比较，逻辑清晰，结论有充分支撑	多维度比较，逻辑较清晰	有比较但维度有限	缺乏比较或逻辑跳跃
利益相关者与公平分析	20%	识别全部主要受影响群体，分析分配影响并说明权衡依据	识别主要群体，有基本分析	识别部分群体，分析浅显	未识别或忽视利益相关者
职业伦理与反思	15%	明确识别伦理冲突，提出可审计的解决方案，反思有深度	识别伦理问题，有基本解决方案	提及伦理问题但未深入	未涉及或流于形式

4. 改革框架的适应性和移植性

为使本文提出的改革框架能够被其他地方高校有效借鉴，本章节遵循核心 - 可调 - 本地化的原则，讨论框架的移植条件、调整方法和最低质量要求。

4.1. 三层结构设计

课程框架的移植不应简单复制固定学时和固定内容，而应建立在对本校学生基础、区域产业需求和教学资源等充分诊断的基础上。本文提出三层结构：第一层为稳定核心，包括全链条治理理念、主要技术原理、政策法规解读、风险评估方法和职业伦理意识，这些内容不因学校差异而删减；第二层为可调模块，根据专业定位(环境科学或环境工程)和学生基础调整技术深度(工程计算 vs.技术认知)、管理比重(政策评估 vs.设施运营)和实践形式(现场调研 vs.虚拟项目)；第三层为本地化案例，根据区域产业类型(工业城市、农业地区、沿海地区等)、主要固废类型(工业固废、秸秆、水产废弃物等)和可获得数据来源(公开环评、企业合作、政府部门数据等)开发相应的教学案例。

4.2. 通用移植指南

表 4 给出了不同情境下的调整建议。最低实施要求为保留明确的学习成果表述、至少一个跨模块的真实问题任务、统一的分析性评分量规和一次基于评价证据的课程改进记录。只有满足这些要求，课程改革才能超越增加案例或增加讨论的表层变化，形成可迭代的教学改进闭环。

Table 4. Adaptation recommendations for different contexts
表 4. 不同情境下的移植调整建议

诊断维度	调整建议	最低质量要求
学生工程基础	基础较弱：强化原理动画、概念图和数据解释；基础较强：适当增加物质衡算和工艺比较	不得完全删除技术基础内容
区域产业结构	工业城市强化工业固废与危废；农业地区强化秸秆与畜禽粪污；沿海地区融入水产加工废弃物案例	案例需来自可核查的公开资料或合作单位
师资与科研资源	个人科研案例不足时，使用公开环境影响评价报告、国家标准、司法案例和行业报告替代	避免课程过度依赖单一教师的个人成果
实践条件	有实践基地可开展现场调查与访谈；无基地则使用虚拟项目、公开数据包或线上专家评审	确保任务难度与学时匹配，避免学生无法完成
培养定位	管理导向提高政策与风险模块比重；工程导向适当保留设计与运行模块比重	核心学习成果(CLO1~CLO5)保持一致
评价能力	资源充足时开展双评分者信度检验和对照研究；资源有限时至少使用统一量规和前后测量表	不得仅以满意度作为教学效果证据

4.3. 成功移植的关键条件

实践经验表明,改革框架的成功移植需要同时满足以下3个条件。一是教师专业发展支持。实施PBL和多元评价显著增加了教师的设计、反馈和评分负担,移植学校需要为教师提供课程设计工作坊、评价量规开发培训和同行评议机会。二是制度层面的持续保障。课程改革不是一次性工程,需要建立年度评估和更新机制,定期邀请行业专家和政府部门人员参与课程论证。三是校本化调整的空间。各校应根据自身的区域产业特点、学生就业去向和师资优势对模块权重和案例素材进行必要的本土化改造,避免生搬硬套。

5. 教学改革实践与效果初探

为验证上述改革方案的有效性,笔者在2023~2024学年第二学期(2023~2024-2)、2024~2025-2和2025~2026-2面向环境科学专业本科生开展了课程内容重塑与教学改革探索,涉及两届共约270名学生。需要说明的是,“固废十条”发布于2025年12月,在此之前的教学活动只能视为课程改革的阶段性探索,不能被解释为“固废十条”实施后的政策效果。本文因此将2023~2025年第二季度的资料用于识别传统课程问题和检验模块化、案例化教学的可行性,将2025~2026学年第二学期视为依据“固废十条”进一步整合课程框架的阶段。

改革前的课程采用传统的理论讲授和课堂练习模式,教学内容以填埋、焚烧和堆肥三大传统工艺为主线,考核方式以期末闭卷考试为主。改革后以“固废十条”引领的源头减量、过程管控和末端利用全链条治理框架为主线重构教学,采用模块化教学和任务驱动法授课。改革实施后,从问卷调查和期末考试成绩两个维度对教学效果进行初步评估。需要强调的是,现有数据来自不同学期的非等值学生群体,缺少随机分组或同期对照班;课程满意度和成绩指标未使用统一的经验证工具;试题等值性、评分者一致性和长期能力迁移尚未评估。因此,以下结果只能作为描述性观察呈现,不宜被解释为改革效果的因果证明。真正的教学效果判断需要结合上述提出的前后测量表、对照设计和统一评分量规进行后续验证。

问卷调查结果显示,学生的课程满意度由72.6%提升至83.2%,对课程内容紧跟国家政策导向的认可度提升了16.8%。期末考试成绩分析表明,学生在全链条治理思维相关题目的得分较上一届提高了约7.2分,表明课程内容重塑对提升学生的系统性分析能力具有积极作用。课程设计优秀率较改革前提高约5.1%,学生固废管理方案编制能力显著提升。

学生普遍反映,模块化教学有助于理解固废治理从源头到末端的全链条内在逻辑。例如,45亿t大宗固废的目标背景使枯燥的政策条文变成了能看得见的目标感。同时,以技术认知取代工程设计的定位更符合环境科学专业的学习需求。有学生在课程评价中写道:“以前觉得固废处理就是学怎么烧垃圾、怎么埋垃圾,现在才明白这背后涉及政策、管理和风险评估这么多层面。”这一反馈从侧面印证了课程改革的方向是正确的。尽管如此,需要指出的是,改革的过程也出现了一些需要持续改进的问题,例如模块数量偏多导致部分内容讲授时间紧张、线上资源建设深度不足等,将在后续教学中逐步优化。具体而言,模块一和模块二的内容在时间安排上存在一定的重叠,后续考虑将部分内容合并或前置为课前自学材料;模块三中焚烧技术的内容占比偏大,需要适当调整以保持各处理处置技术之间的平衡。上述问题将在未来教学中进行针对性的持续改进。

6. 讨论

6.1. 理论意义

本研究将政策驱动的课程改革置于OBE和建构性对齐框架下,强调政策并非需要学生被动记忆的背

景材料,而是可以转化为学习成果、问题约束和评价标准的教学资源。其理论价值在于建立了从外部治理需求到课程内部证据链的转译过程:治理任务决定能力结构,能力结构决定教学活动,教学活动产生可评价证据,评价结果再用于课程更新。与仅调整教学内容或增加案例的改革相比,本文提出的课程目标-内容模块-问题情境-评价证据-持续改进多维协同框架,要求每个教学创新都回答对应何种学习成果、产生何种证据、如何判断达成的问题,有助于减少课程目标、课堂活动和考试之间的不一致。这一框架本质上是对建构性对齐理论[12]在固废课程改革领域的具体化应用。

6.2. 实践意义

课程降低复杂工程设计的比重,并不意味着削弱技术内容,而是将技术知识转化为可用于比较和决策的基础。学生需要理解焚烧、填埋、生物处理和资源化的关键机制和约束,但评价重点从计算单一设备参数转向解释技术适用条件、环境后果和政策责任。该定位更符合地方高校环境科学专业面向基层管理、咨询和企业环境管理岗位的培养需求。本文提出的能力发展量表、分析性量规和准实验设计方案,为后续研究提供了可操作的工具,有助于将能力提升的判断从经验描述转向证据驱动。

6.3. 实施挑战与潜在风险

课程改革在实施过程中面临4个方面的现实挑战,需要引起足够的重视并在实践中寻找对策。第一,政策更新速度可能快于教材和教师备课周期。若课程过度依赖单一政策文件,内容可能迅速失效。建议建立年度更新机制,并区分稳定的治理原理和阶段性政策目标。第二,PBL和多元评价显著增加教师的设计、反馈和评分负担。在大班教学中可能出现反馈不及时、评分不一致等问题。建议通过教学团队分工协作、引入同行评议和完善评分量规来缓解。第三,过度降低工程内容可能导致学生缺少判断技术可行性的基础。课程需要设置不可削减的技术核心,至少涵盖焚烧、填埋和生物处理的基本原理与适用条件,确保学生具备基本的工程素养。第四,本地案例开发可能面临企业数据保密和现场准入等现实障碍,公开资料的质量也不均衡。教师应优先使用可追溯的公开数据(环境影响评价报告、国家标准、行政处罚案例等),并明确标注数据来源和不确定性,避免将个人研究成果作为唯一案例来源。

6.4. 研究局限与未来方向

本研究为单校单课程案例,现有数据来自不同学期的非等值学生群体,缺少随机分组或同期对照;课程满意度和成绩指标未使用统一的经验证工具,部分数据仅保留汇总值;试题等值性、评分者一致性和长期能力迁移尚未评估;授课教师同时参与课程设计,可能存在实施者偏差。更重要的是,“固废十条”发布于2025年12月,晚于部分教学周期,因此前期数据不能被解释为政策驱动改革的直接结果。

未来研究应重点开展以下工作:一是开展多校协作,使用本文提出的能力发展量表和分析性量规进行前后测,并设置对照班或分阶段实施;二是跟踪学生在实习、毕业设计和就业场景中的能力迁移;三是比较不同模块权重对学习结果和教师工作量的影响;四是通过访谈和学习过程数据解释改革为何对不同学生产生不同效果。同时,需要对量表进行信效度检验,报告Cronbach's α 系数、探索性因子分析结果和效标关联效度,为工具的推广应用提供依据。本文的价值不在于宣称某一教学模式已经得到验证,而在于提供可供检验的课程框架和评估工具,并明确现阶段证据的边界。

7. 结语

“固废十条”确立了固体废物治理进入系统性治理和全过程管理的新阶段,这对地方高校环境科学专业的《固体废物处理与资源化》课程改革提出了紧迫要求。本文以“固废十条”政策为引领,基于OBE和建构性对齐理念,设计并实践了面向“固废十条”的课程内容重塑与教学改革方案,在课程目标、内

容体系、课程思政、教学方法和考核方式等方面进行了系统探索。本文构建了课程目标-内容模块-问题情境-评价证据-持续改进五维协同框架,设计了能力发展量表、分析性评分量规和准实验评价方案,并提出了核心-可调-本地化的移植指南。

教学实践表明,以政策解读、技术认知、管理评估和案例分析为主线,降低工程设计深度而强化综合分析能力的课程重构方案,符合地方高校环境科学专业学生的知识基础和就业需求,有助于提升学生的学习兴趣 and 课程的实效性。当前,“固废十条”刚刚进入全面实施阶段,并且教学改革仍在持续探索过程。对于地方高校环境科学专业而言,课程改革的重点不在于培养学生达到环境工程专业的工艺设计深度,而在于使其具备理解技术逻辑、评估技术方案、参与政策制定和服务基层管理的综合素养。未来,将进一步开发契合地方高校固废治理实际的教学案例库,加强与本地环保企业和政府部门的合作,推动产教融合从工程实践向管理实践拓展,为美丽中国建设和“无废城市”在地方层面的落地培养更多懂政策、知技术、会管理的固废管理人才。

需要指出的是,课程改革是一个持续改进的动态过程。随着“固废十条”各项措施的逐步落地和固废治理技术的不断发展,课程内容也需要保持动态更新。本研究的主要贡献不在于提供一套成熟的改革方案,而在于提供一个结构清晰、可测量、可检验、可移植的课程改革框架,并对现有证据的边界和未来研究的方向作出明确说明。未来将进一步加强与本地环保企业和政府部分的合作,开发契合地方固废治理实际的教学案例库,为美丽中国建设和“无废城市”在地方层面的落地培养更多懂技术、知技术、会管理的应用型固废管理人才。

基金项目

广东海洋大学教学改革项目“新媒体下环境学课程思政建设研究”(PX-972024103)。

参考文献

- [1] 国务院关于印发《固体废物综合治理行动计划》的通知[EB/OL]. https://www.gov.cn/zhengce/content/202601/content_7053807.htm, 2026-06-20.
- [2] 李海楠.“固废十条”利好筑牢绿色转型根基[N]. 中国经济时报, 2026-04-15(008).
- [3] 吕碧洪, 荆国华, 周作明. 新工科下“固体废弃物处理与处置”教学改革探索[J]. 当代化工研究, 2020(6): 120-122.
- [4] 胥腾屯, 张会均. 工程认证背景下“固体废物处理与处置”课程教学设计探讨[J]. 教育教学论坛, 2023(30): 29-32.
- [5] 纪霞. 基于新《固废法》的“固体废物处理处置”课程重构和融合研究[J]. 云南化工, 2024, 51(11): 212-216.
- [6] 赵传起, 梁雨茜, 施钦, 等. 垃圾分类背景下固体废物处理与处置课程建设的探索[J]. 创新创业理论与实践, 2023, 6(2): 115-117+124.
- [7] 岳钦艳, 高宝玉, 高悦, 等. 基于固体废物处理处置与资源化课程的立体化教学体系建设[J]. 河南化工, 2023, 40(3): 64-66.
- [8] 高秀红, 杨春维, 段小月, 等. 高校环境工程专业过程化考核方式改革与实践——以“固体废物处理与处置”课程为例[J]. 牡丹江大学学报, 2017, 26(3): 157-159+175.
- [9] 盛广宏, 王诗生, 王萍, 等. 专业认证背景下过程性考核方式在课程教学中的应用——以固体废物处理与处置为例[J]. 大学教育, 2022(4): 67-69.
- [10] 赵敏娟, 王佳彤, 李肖肖, 等. 固体废物处理与处置课程教学改革与探索[J]. 中国多媒体与网络教学学报(上旬刊), 2022(5): 207-210.
- [11] 吴石金, 邱乐泉. 成果导向教育理念下的课程教学评价体系探析[J]. 发酵科技通讯, 2019, 48(2): 120-123.
- [12] 张娜, 邸小莲. 基于岗课赛证融通的 OBE 课程建设路径研究[J]. 职业, 2023(12): 82-84.
- [13] 政府工作报告——2026 年 3 月 5 日在第十四届全国人民代表大会第四次会议上[EB/OL]. https://www.gov.cn/gongbao/2026/issue_12646/202603/content_7064134.html, 2026-06-20.
- [14] 郑明明, 梅运军, 李芙蓉.“固体废物处理与资源化”课程思政教学探索[J]. 教育教学论坛, 2024(24): 137-140.

- [15] 文吉昌, 罗有发. “无废城市”背景下“固体废物处理与处置”课程思政教学探索[J]. 教育教学论坛, 2025(30): 94-97.
- [16] Wei, J., Sun, L., Ding, Z., Lin, W., Li, H. and Liu, J. (2026) Reshaping Heavy Metal Pathways: A Long-Term Field Study on Emissions and Partitioning in Municipal Solid Waste (MSW) Incineration before and after MSW Classification. *Journal of Hazardous Materials*, **510**, Article 142103. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2026.142103>
- [17] 任福民, 陈蕊, 胡舒馨, 等. 《固体废物处理与处置》课程案例体系建设的实践与思考[C]//中国环境科学学会环境工程分会. 中国环境科学学会 2022 年科学技术年会——环境工程技术创新与应用分会场论文集. 北京: 工业建筑杂志社有限公司, 2022: 465-467.
- [18] Wei, J., Ding, Z., Chen, J., Li, H. and Liu, J. (2026) Dioxin Formation during Biogas Utilization from Anaerobic Digestion of Food Waste: Potential Role of Non-Methane Volatile Organic Compounds. *Fuel Processing Technology*, **287**, Article 108456. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2026.108456>
- [19] Wei, J., Zhang, J., Li, H., Liu, J., Deng, Z., Lian, H., et al. (2024) Mass Flow and Ecological Risk of Heavy Metals in Anaerobic Digestion of Food Waste. *Environmental Technology & Innovation*, **36**, Article 103863. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103863>
- [20] Wei, J., Zhang, J., Li, H., Liu, J., Deng, Z. and Zhou, C. (2023) Distribution of PCDD/Fs in a Food Waste Anaerobic Digestion Process with Biogas Utilization. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, **17**, Article No. 136. <https://doi.org/10.1007/s11783-023-1736-7>
- [21] 唐平, 姚志通, 陆娴婷. 固体废物处理处置与资源化课程翻转课堂教学实践探讨[J]. 科技视界, 2022(5): 83-85.
- [22] Wei, J., Li, H. and Liu, J. (2022) Heavy Metal Pollution in the Soil around Municipal Solid Waste Incinerators and Its Health Risks in China. *Environmental Research*, **203**, Article 111871. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111871>
- [23] 曾韵敏, 李丹, 黄帆, 等. “三维协同, 产教融合”: 固体废物处理与资源化课程教学改革与探索[C]//中国高校校办产业协会终身学习专业委员会. 第一届数智教育研究学术研讨会论文集. 2026: 37-39.
- [24] 长江经济带生态环境司法保护典型案例[EB/OL]. <https://www.court.gov.cn/zixun/xiangqing/215451.html>, 2026-07-06.
- [25] 张军, 尹琳琳, 田禹. 课程思政建设背景下理工专业课程教学改革思路——以“固体废物处理与资源化”课程为例[J]. 黑龙江教育(理论与实践), 2024(7): 80-83.
- [26] 朱明新, 潘顺龙, 刘志英, 等. 新工科背景下“固体废弃物处理”教学改革刍议[J]. 广东化工, 2023, 50(21): 161-162+156.
- [27] Meng, M., Wen, Z., Luo, W. and Wang, S. (2021) Approaches and Policies to Promote Zero-Waste City Construction: China's Practices and Lessons. *Sustainability*, **13**, Article 13537. <https://doi.org/10.3390/su132413537>
- [28] Wei, J., Li, H. and Liu, J. (2021) Fate of Dioxins in a Municipal Solid Waste Incinerator with State-of-the-Art Air Pollution Control Devices in China. *Environmental Pollution*, **289**, Article 117798. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117798>
- [29] 刘杰刚, 梁颖. 高质量教育体系建设背景下高校《固体废物处理与处置》课程教学模式探索[J]. 广东化工, 2021, 48(10): 279-280.
- [30] 史丹, 李亚林, 刘蕾. 应用技术型高校《固体废物处理与处置》课程改革探索[J]. 内江科技, 2023, 44(9): 148-149.
- [31] 王晓波, 丁爱芳. 基于 Blackboard 平台的混合式教学模式探究——以“固体废物处理与处置”课程为例[J]. 安徽化工, 2020, 46(6): 142-143.
- [32] 罗海斌, 岳珊珊, 王鸿博, 等. 智慧化教学模式在《固体废物处理与处置》课程中的应用研究[C]//河南省民办教育协会. 2025 年高等教育发展论坛教改分论坛论文集(上册). 2025: 287-288.
- [33] 郑兰兰, 郭黎, 黄炎杰, 等. 阶梯递进式实验法在固体废物处理与处置实验课中的应用与实践[J]. 当代化工研究, 2023(15): 140-142.