

Innovation of Environmental Engineering Teaching Based on Knowledge Map and RAG Architecture Fusion from the Perspective of New Engineering

Tang Liu¹ Xiaoxia Zhang¹ Sicen Yan¹ Hanzhang Liu²

1. College of Chemistry and Environmental Engineering Shenzhen University, Shenzhen, Guangdong, 518055, China

2. School of Environment and Energy Shenzhen Graduate School Peking University, Shenzhen, Guangdong, 518055, China

Abstract

With the advancement of new engineering education initiatives, traditional curricula have become inadequate for cultivating talents capable of addressing complex pollution control and policy coordination. Environmental engineering education must urgently transform rapidly evolving industry demands into effective teaching materials. This paper proposes an environmental large-scale model integrating knowledge graphs and retrieval-enhanced generation, serving as an AI-assisted teaching tool driven by industry-academia-research collaboration. By structuring course content through knowledge graphs, the model establishes a clear knowledge network, enabling precise content generation and personalized Q&A through semantic retrieval. The practice shows that the method has positive effect in knowledge integration and learning guidance, which helps students to construct knowledge system systematically and provides support for teachers to optimize teaching design.

Keywords

new engineering; environmental engineering; knowledge map; retrieval-enhanced generation

新工科视角下知识图谱与 RAG 架构融合的环境工程教学创新

刘唐¹ 张小霞¹ 晏思岑¹ 刘含章²

1. 深圳大学化学与环境工程学院, 中国·广东 深圳 518061

2. 北京大学深圳研究生院环境与能源学院, 中国·广东 深圳 518055

摘要

随着新工科建设推进, 传统课程体系已不足以支撑复杂污染治理和政策导向协同的人才培养目标, 环境工程教育亟需将快速迭代的行业需求转化为有效教学内容。本文提出一种融合知识图谱与检索增强生成的环境大模型, 助力人工智能与产教研双驱动的新工科辅助教学工具。通过知识图谱结构化组织课程内容, 形成清晰的知识网络, 实现基于语义检索的精准内容生成与个性化问答。实践表明, 该方法在知识整合与学习引导方面具有积极效果, 有助于学生系统构建知识体系, 并为教师优化教学设计提供支持。

关键词

新工科; 环境工程; 知识图谱; 检索增强生成

1 引言

近年, 我国高等教育改革进入深水区, “新工科”成为我国高等教育体系中最具活力的关键词之一。新工科提倡通过学科交叉激发创新活力, 并以产教研融合实现知识生产

与应用的闭环。如今环境工程领域正面临日益复杂的问题, 如新型污染物、跨境流域治理、区域协同减排以及碳中和路径探索等^[1-4], 具有显著的动态性和跨学科特征。然而, 现行教学模式存在课程更新滞后、知识体系封闭、教学方式单一等问题^[5], 导致静态课程与动态问题之间严重脱节。

人工智能技术, 特别是知识图谱(KG)与检索增强生成(RAG)的融合, 为此提供了可行的技术路径。知识图谱可为知识进行结构化整合, 构建清晰的语义网络; RAG框架则能基于真实知识库进行精准检索与内容生成。基于此, 本文提出 KG—RAG 融合驱动教学框架: 以 KG 为语义基底整合教学资源, 以 RAG 为核心引擎实现动态教学支持,

【课题项目】深圳大学教学改革研究项目(项目编号: JG2024013)。

【作者简介】刘唐(1989—), 男, 中国湖北咸宁人, 博士, 助理教授, 从事环境工程研究。

构建一个可持续演进的智能教学知识生态。

2 新工科视角下环境工程教学智能化转型的理论支撑

2.1 新工科教育逻辑的内在转变

新工科教育以复杂工程问题为导向,强调通过产教融合重构知识体系,旨在培养学生解决实际复杂问题的综合素质与创新能力。这一转向对教学内容的组织逻辑与呈现方式提出了全新要求。环境工程知识体系具有多学科交叉特性,涵盖自然科学、工程学、经济学和法学等多个领域。然而,现行课程体系多按教材章节线性编排,导致知识点分散,学生难以构建系统性认知框架。根据图式理论,若教学无法有效帮助学生厘清内部认知结构,学习将停留于表层记忆。

知识图谱通过构建语义网络,能将课程内容中离散的知识点重组为节点与关系的集合,使学生能够直观看到知识关联路径。结合 RAG 系统,即可基于真实知识库实现语义检索与智能反馈,可提升学习效率。

2.2 融合教学框架的多维理论支撑

知识图谱与 RAG 结合的教学模式建立在多重学习理论基础上。建构主义强调学习是主体基于经验主动建构知识的

过程^[6],知识图谱支持学生在探索中不断调整认知结构。分布式认知理论则认为内部与外部表征的交互构成完整认知活动^[7],KG-RAG 系统作为“认知延展”工具,帮助学生连接个人理解与外部知识网络。认知负荷理论指出,面对复杂内容时信息碎片化易导致认知超载^[8],知识图谱通过可视化整合与结构优化,有效管理内在认知负荷,使学生注意力集中于逻辑关系与深度理解。这些理论共同印证,知识图谱与 RAG 的结合将静态文本转化为动态知识网络,能支持学生形成系统性的学科理解。

3 环境工程教学知识图谱的设计与实现

3.1 平台整体架构设计

智能教学资源平台采用模块化架构,以灵活性、可扩展性为核心,构建流程如图 1 所示。数据采集与处理模块从数据中提取信息,并利用光学字符识别(OCR)与自然语言处理(NLP)技术进行清洗和筛选;知识图谱构建模块对知识点进行结构化整合;查询模块向用户提供结构化与自然语言两种查询接口;RAG 系统融合模块将知识图谱的语义关联与检索增加生成技术相结合,以确保检索相关性;最后,大模型问答系统基于检索结果,生成可信且可溯源的答案。

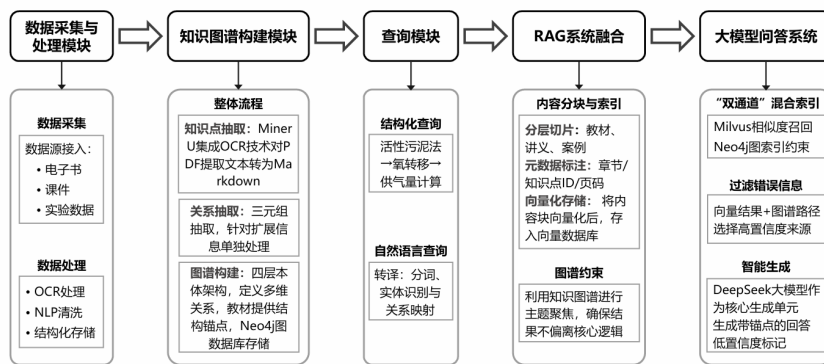


图 1 知识图谱 +RAG 系统构建流程

3.2 知识图谱构建与存储

从环境工程相关教材中提取原始文本,并借助 MinerU 等工具处理表格与公式。识抽取过程以“章节—小节—知识点”层级为主线,通过预设提示词模板进行三元组抽取,形成如“知识点—说明—定义/机理”等关系类型。同时,引入“有扩展资源”等谓词挂接扩展内容,附带置信度以便人工校验,保障知识体系的逻辑连贯性。然后,采用面向课程的轻量本体结构,建立课程、章节、知识点、资源四层模式,定义“包含”、“说明”等关系类型。教材内容作为结构化锚点,直接映射为图谱中的节点与边,确保知识查询时的路径可达性与推理深度。图谱采用 Neo4j 图数据库进行存储与持久化管理。

3.3 知识图谱与 RAG 系统的融合及大模型部署

为实现课程知识的精准检索与溯源,平台采用分层处理策略。将资源按“课程—章节—知识点—内容块”结构切

片并向量化,存入 Milvus 数据库。在检索环节,系统支持结构化查询与自然语言查询:结构化查询允许基于图模式的多跳检索,如从“活性污泥法”追踪至“氧转移—影响因素—曝气设备”;自然语言查询则将用户问题转化为图谱查询语句并自动生成查询路径。所有结果均携带原文锚点以支持溯源,最终构建出完整的知识图谱检索体系(图 2)。系统引入 DeepSeek 大模型作为生成核心,构建基于 RAG 架构的智能问答系统,通过“检索增强—知识约束—智能生成”的协同工作流程抑制模型“幻觉”。系统架构采用分层设计:数据层集成 Milvus 向量库与 Neo4j 知识图谱,提供向量与语义双重检索支持;检索层融合向量召回与图谱路径定位;约束层基于课程逻辑对结果进行过滤排序;生成层利用 DeepSeek 输出带锚点的结构化答案,并对低置信度内容进行标记。

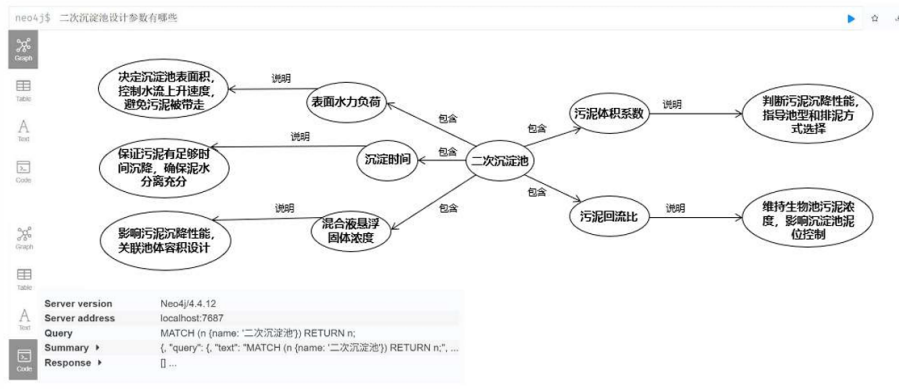


图2 水污染控制工知识图谱检索系统

4 环境工程教学知识图谱融合平台的应用策略与成效评估

4.1 面向学科交叉的智慧课程辅导策略

在智慧环保背景下,环境工程课程深度融入计算机、数据科学等跨学科知识。知识图谱与 RAG 的融合框架,通过低门槛、可视化的交互设计,有效支持学生适应跨学科学习。例如,在学习生物膜反应器时,系统可自动关联其前置知识如“微生物生态”与后续内容如“膜污染控制”之间的语义关联,形成知识延展。针对复杂问题,学生可通过自然语言提问,系统能通过 RAG 模型,融合课程知识图谱与外部权威资源,生成跨学科的综合性解答。

4.2 支撑课程设计与教学内容动态优化的策略

对教师而言,平台支持构建“以项目为导向、以赛促教”的新型教学模式。教师可将科研项目与产业课题转化为结构化教学模块,通过知识图谱自动关联所需的核心知识点与技能点,使学生在解决实际问题中掌握专业技能的融合应用。同时,通过赛事题目嵌入课程设计,实现“以赛促学、以赛促教”的良性互动。随着教学数据的积累,知识图谱内容会不断丰富,形成动态优化的教学生态。

4.3 初步应用成效与评估

为检验系统在教学实践中的效果,以《水污染控制工程》课程开展了小规模教学实践与调查。问卷采用半结构化设计,结合量化与开放式问题。量化部分设置五个维度,采用四级评分制并进行均值计算。共有 31 名学生和 3 名教师参与反馈。结果表明学生对基于知识图谱的教学新方式感到新颖,对内容的实用性和系统整体体验给予了较好评价,认为其有助于理解知识结构和课程框架。知识检索有效性评分相对较低,主要源于原型系统在知识库深度和广度上的局限,导致部分查询结果不完整。开放性访谈中,74% 的学生认为平台有助于快速定位知识点和理解概念间逻辑关系,在复习阶段能节省资料整理时间,但也指出部分节点说明简略、检索路径需优化。教师则认为系统的结构化知识视图有助于把握课程整体脉络,更直观地识别内容衔接薄弱环节。总体而言,系统在改善学习路径可视化与知识理解层次性方面展

现出潜力。

5 结语

本研究面向新工科背景下环境工程教学的创新需求,设计并构建出一个以“知识图谱—检索增强生成”为核心的智能教学原型系统。平台通过结构化知识表达与检索增强机制,实现了课程知识的可视化组织与智能问答,在课程中的应用初步验证了其可行性。然而,作为一项探索性研究,平台在技术与应用层面仍存在局限。未来工作可从三方面推进:一是拓展知识图谱数据源,增强语义深度与推理能力;二是优化检索算法与上下文匹配,提升对复杂问题的处理水平;三是探索跨课程知识融合机制。尽管系统尚处原型阶段,但其“结构化知识+生成式交互”的模式为工程教育数字化提供了有益参考。

参考文献

- [1] 林镁佳. 粤港澳大湾区水污染协同治理机制研究[J/OL]. 南方论刊, 2020(03): 19-22.
- [2] ZHAO H, CHEN Z, LI C. Changes of PM_{2.5} and O₃ and their impact on human health in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area[J]. Scientific Reports, 2024, 14(1): 11190.
- [3] 汪文来, 周子彦, 闵晶晶. 深圳市碳达峰与碳中和分析[J/OL]. 现代工业经济和信息化, 2023, 13(07): 151-153.
- [4] WANG C, ZHAO Y, LIU S, et al. Contamination, distribution, and risk assessment of antibiotics in the urban surface water of the Pearl River in Guangzhou, South China[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2021, 193(2): 98.
- [5] 张胜峰, 张兵. “产教融合”视域下生态环境工程专业群人才培养模式创新研究[J/OL]. 安徽水利水电职业技术学院学报, 2024, 24(06): 55-60. DOI:CNKI:SUN:ASZJ.0.2024-06-010.
- [6] 杨维东, 贾楠. 建构主义学习理论述评[J]. 理论导刊, 2011(05): 77-80.
- [7] 刘俊生, 余胜泉. 分布式认知研究述评[J/OL]. 远程教育杂志, 2012, 30(01): 92-97.
- [8] 庞维国. 认知负荷理论及其教学涵义[J]. 当代教育科学, 2011(12): 23-28.