

动态知识图谱与生成式 AI 融合的智能教材建设研究

沈丹丹, 山成菊, 卢德宝, 韩宇平, 黄冬菁, 王蕙, 宣伟栋

浙江水利水电学院, 浙江 杭州 310018

DOI:10.61369/EIR.2026030019

摘要: 为探索教材从“资源载体”向“认知伙伴”范式转型的可行路径, 本研究基于设计研究范式, 以《水文学原理》课程为例, 构建了“结构-过程-情境”三维驱动的智能教材理论框架与实践模型。该模型旨在: 在知识结构维度, 利用动态知识图谱实现学科知识的结构化与动态关联, 促进概念理解; 在学习过程维度, 融入生成式人工智能技术, 支持个性化问答、自适应路径规划与形成性评价, 推动教学范式从“统一授教”转向“以学为中心”; 在教学情境维度, 融合数字孪生等技术创设虚实融合的问题场景, 促进知识迁移与工程思维培养。

关键词: 知识图谱; 生成式人工智能; 智能教材; 教学改革

Research on the Construction of Intelligent Teaching Materials Integrating Dynamic Knowledge Graphs with Generative AI

Shen Dandan, Shan Chengju, Lu Debao, Han Yuping, Huang Dongjing, Wang Hui, Xuan Weidong

Zhejiang University of Water Resources and Electric Power, Hangzhou, Zhejiang 310018

Abstract: To explore feasible paths for the paradigm shift of teaching materials from "resource carriers" to "cognitive partners," this study, based on the design research paradigm and taking the course "Principles of Hydrology" as an example, constructs a theoretical framework and practical model for intelligent teaching materials driven by three dimensions: "structure-process-context." The model aims to: in the knowledge structure dimension, utilize dynamic knowledge graphs to achieve structured and dynamically interconnected disciplinary knowledge, facilitating conceptual understanding; in the learning process dimension, integrate generative artificial intelligence technologies to support personalized Q&A, adaptive path planning, and formative assessment, driving a shift in teaching paradigms from "uniform instruction" to "learner-centeredness"; and in the teaching context dimension, incorporate technologies such as digital twins to create virtual-real integrated problem scenarios, promoting knowledge transfer and the cultivation of engineering thinking.

Keywords: knowledge graph; generative artificial intelligence; intelligent teaching materials; teaching reform

当前, 以生成式人工智能、知识图谱为代表的智能技术正加速推动高等教育的数字化转型。根据《教育部关于一流本科课程建设的实施意见》(教高〔2019〕8号)^[1], 国家明确提出要大力推进现代信息技术与教育教学深度融合, 推动课程内容和教学形态创新; 同时, 《中国教育现代化2035》^[2]从国家教育现代化战略高度提出加快教育信息化转型, 发展智慧教育, 促进教学方式变革。在此政策背景下, 以智能技术为支撑的新型教材形态逐渐成为推动教材由静态文本向动态化、个性化、智能化方向演进的重要实现路径^[3]。

在新工科建设背景下, 工程教育范式正从“学科导向”向“能力导向”转变, 强调通过技术赋能实现教学内容的跨学科重组与学习路径的个性化适配。在这一趋势下, 智能教材作为融合知识组织、学习支持与情境体验的新型教学载体, 成为推动专业课程教学改革的重要突破口^[4]。已有研究在知识图谱的教学应用方面取得一定进展, 如通过构建课程知识网络支持资源检索与路径推荐; 生成式人工智能则在个性化问答、作业批改等场景中展现出潜力^[5]。此外, 生成式人工智能在教学中的直接应用仍存在知识失真、偏离教学目标等风险, 需通过可控机制实现其与课程教学的深度适配^[6]。

基金信息: 浙江省高等教育学会高等教育研究课题(编号: KT2025475); 水利高等教育教学改革课题(编号: 2025SLGJ86); 水利高等教育教学改革重点课题(编号: 2025SLGJ33)。

作者简介:

沈丹丹(1992-), 女, 汉族, 江苏如皋人, 博士, 讲师, 主要研究方向: 流域水文模拟等;

山成菊(1989-), 女, 汉族, 青海西宁人, 博士, 副教授, 主要研究方向: 生态水文模拟等。

一、传统教材的局限性与智能转型困境

(一) 知识结构线性化与关联缺失

传统教材在内容组织上普遍采用章节递进的线性结构，在《水文学原理》课程学习中，有75%的学生反映难以建立不同章节知识间的联系，特别是在降水形成、流域汇流、洪水演进等关联性强知识点上存在理解断层。具体表现为三个层面：概念关联隐性化，如：降雨强度、下渗能力与超渗地表径流形成之间的因果关系在教材中仅在各个独立章节中通过文字间接描述，缺乏显性表达；实践应用脱节，理论原理与工程实践案例分离，有68%的学生认为教材案例与实际情境存在差距；知识更新滞后，教材内容修订周期长，难以及时纳入水文监测新技术、新方法等前沿内容。

(二) 技术支持困境

现有数字教材在技术支持方面存在显著不足，难以实现真正的个性化学习支持。国内高校所谓数字教材大部分仍停留在“纸质教材的电子化”层面，主要功能限于PDF阅读和多媒体资源展示，缺乏智能交互能力。具体困境体现在：学习路径固化，所有学生面对相同的知识序列，无法根据个人认知水平和学习进度进行动态调整；反馈机制缺失，学生在自学过程中遇到的疑问平均需要24小时以上才能获得教师解答；评估方式单一，主要依赖章节测验和期末考试，难以对学习过程进行形成性评价。

(三) 师资数字素养与教学适配性挑战

智能教材的有效实施不仅依赖技术成熟度，更需要相应的师资队伍和教学环境支撑。当前面临的主要实施瓶颈包括：一，教师数字素养不足，调查工具为自编《智能教材应用现状调查问卷》，调查显示，理工科教师中能够熟练使用知识图谱工具的比例仅为11.7%，其中非常熟练仅占2.9%。在对生成式人工智能教育应用的认知方面，平均理解得分仅为2.31分（5分制），表明整体理解水平确实偏低。此外，75.2%的教师认为智能教材功能与实际教学整合存在较大难度；二，资源投入限制，虚拟仿真平台建设、知识图谱构建等需要持续的资金和专业支持，许多地方高校难以承担相应的建设和维护成本。

二、智能教材的核心设计原则与技术要求：基于“结构-过程-情境”三维驱动的建设框架

(一) 结构维度

针对《水文学原理》课程知识体系系统性强、概念关联复杂的特点，本研究构建了融合水文科学、信息技术与工程应用的三层知识图谱架构。

基础概念层聚焦降水、蒸发、下渗、径流等核心水文过程的概念定义与属性特征，通过实体识别和属性标注，建立机器可理解的知识单元，为智能功能提供语义基础；关系网络层建立知识单元间的多维关联体系，包括因果关联、时序关系，以及空间尺度关联，显性化知识的内在联系；应用整合层将水文原理与工程设计、资源管理等实践领域连接，形成“概念—原理—应用

”的完整知识链条，打破学科壁垒，实现知识理解向工程应用的跃迁。

(二) 过程维度

生成式人工智能作为过程维度的核心技术，承担个性化学习导航与自适应反馈支持双重角色。

学习路径动态生成机制通过分析学生在知识图谱中的位置节点与掌握状态，基于认知水平评估和目标差距分析，为每个学生定制最适合的学习路径。例如，对“流域产流计算”知识点掌握不足的学生，系统会自动识别知识缺陷，推送前置知识点“降雨—径流形成过程”的针对性学习资源，并生成循序渐进的练习序列。

(三) 情境维度

情境维度致力于解决水文过程时空尺度大、不可直观观察的教学难点，通过虚拟仿真、数字孪生等技术构建沉浸式学习环境，实现抽象知识的直观化、情境化^[14-15]。

虚拟仿真层基于水文物理机制，开发了降水径流形成、流域汇流、洪水演进等关键过程的动态可视化系统。学生可通过调整降雨强度、下垫面参数等输入条件，直观观察水文响应的变化规律，加深对抽象原理的理解。

(四) 三维协同：智能教材建设的系统化整合机制

“结构-过程-情境”三维驱动的智能教材建设框架图如图1所示。

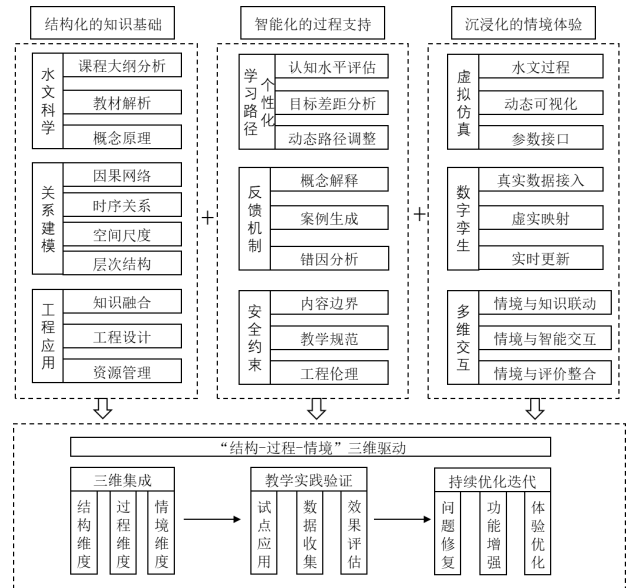


图1. “结构-过程-情境”三维驱动的智能教材框架

三、智能教材建设的实施路径

(一) 知识图谱构建

知识图谱构建采用系统化工程方法，具体实施路径主要包含四个关键阶段：

1. 知识抽取阶段采用自上而下与自下而上相结合的混合方法。首先通过对课程大纲、教材内容和教学资源的系统分析，提取核心知识单元，包括基本概念、基本原理和典型方法三大类。

2.关系建模阶段定义8类语义关系体系：基础关系、逻辑关系、应用关系和对比关系。以“降水径流形成”知识为例，建立“降水→下渗→产流”的因果链，并与土壤类型、土地利用等因素形成关联网络。

3.本体构建阶段采用 Protégé 等专业工具进行本体建模，通过实体识别、关系抽取、属性定义等步骤，形成机器可读的知识网络。具体流程包括：首先进行概念层次化组织，其次定义关系约束规则，最后进行知识融合与冲突消解。

4.质量验证阶段建立多层审核机制，包括节点覆盖率检验、关系逻辑一致性检查、应用场景适配度评估等。通过专家评审和教学实践反馈，确保知识图谱的准确性和教学适用性。

（二）生成式人工智能支持

生成式人工智能支持层的设计遵循“知识约束、教学导向、安全可控”的原则。在技术架构上，采用检索增强生成（RAG）模式，将知识图谱作为检索源，确保生成内容的准确性和教学一致性。问答引擎的工作流程包括：问题解析、知识检索、答案生成和答案评估。

反馈机制设计重点解决了三个关键问题：一是个性化反馈，根据学生的学习历史和能力水平调整反馈的详细程度和表达方式；二是形成性反馈，不仅指出错误，还提供改进建议和学习资源推荐；三是多模态反馈，支持文本、图示、语音等多种形式的反馈内容。

（三）虚实融合情境

针对水文过程的抽象性和复杂性，我们开发了多层次的情境化教学环境。在虚拟仿真层面，基于水文物理机制构建了动态过程模型，如降水径流形成过程、洪水演进过程、地下水运动过程等。这些模型支持参数调节和状态可视化，学生可以通过改变输入条件观察系统响应的变化。

在交互设计上，实现了三种关键机制：一是探究式交互，学生可以通过假设-验证的方式探索不同因素对水文过程的影响；二是引导式交互，系统根据学习目标提供渐进式提示和指导；三是协作式交互，支持多用户在同一虚拟环境中协同完成复杂任务。

（四）质量保障

建立系统化的质量保障机制是确保智能教材持续改进的关键。评价体系包含四个维度：内容质量、技术质量、教学效果和

应用效果。

动态优化机制采用“监测-分析-优化-验证”的流程。通过学习分析技术持续收集用户行为数据，如知识点掌握情况、功能使用频率、错误模式分布等；利用数据分析识别问题和优化方向；基于 A/B 测试等方法验证优化效果；最后将有效的优化措施固化为系统功能。

四、教学成效分析

（一）学习成效提升

在阶段性测验中，实验组在基础概念题的平均得分率为 89.7%，较对照组（81.3%）提升 8.4 个百分点；在综合应用题方面，实验组的平均得分率达到 85.2%，明显高于对照组的 73.6%。特别是在涉及多知识点融合的复杂问题解决方面，实验组展现出更强的分析能力和创新思维。

从学习进度来看，实验组学生完成相同教学内容所需时间平均减少 15%，学习效率显著提升。此外，实验组学生在期末综合项目中的表现也更加出色，项目成果的创新性和完成度评分比对照组平均高 12.6 分（百分制）。

（二）学生反馈分析

通过问卷调查和深度访谈收集学生对智能教材的使用反馈，共回收有效问卷 41 份（回收率 93.2%）。调查结果显示，学生对智能教材的整体接受度较高，平均满意度得分为 4.32 分（5 分制）。

在使用体验方面，学生普遍反映智能教材在以下方面具有显著优势：一是学习路径个性化；二是知识获取高效性；三是学习过程交互性。同时，也有部分学生提出改进建议，如希望增加移动端功能优化、扩展虚拟仿真场景库等。

（三）教师教学反馈

从教师视角评估智能教材的应用效果，参与实践的教师普遍认为智能教材在以下方面带来了积极变化：教学准备效率提升，教师可利用系统提供的学生学情数据及时调整教学重点，备课时间减少约 30%；课堂互动质量改善，基于智能教材的实时反馈功能使教师能够精准把握学生学习难点，互动针对性明显增强；差异化教学实现，系统生成的个性化学习路径有效缓解了传统课堂“一刀切”的教学困境。

参考文献

- [1] 教育部. 关于一流本科课程建设的实施意见 [Z]. 教高〔2019〕8号, 2019-10-08.
- [2] 中共中央, 国务院. 中国教育现代化 2035 [Z]. 2019-02-23.
- [3] 赵丙勋, 袁华莉. 教育数字化转型视域下新形态数字教材的应用场景及建设路径 [J]. 出版科学, 2025, 33(01): 55-65.
- [4] 齐景嘉, 李蕾, 南洋. “四新”背景下应用型本科院校教材建设的融合性发展研究 [J]. 黑龙江教育 (高教研究与评估), 2025, (04): 16-19.
- [5] 李锋, 叶宜涛, 程亮. 生成式人工智能在数字教材建设中的现实问题、改进方法与实践策略 [J]. 中国电化教育, 2024, (12): 23-30.
- [6] 王智攀, 沈建民, 崔雯. ChatGPT 类产品融入智能教材的逻辑基础、蕴涵价值与实现路径 [J]. 湖州师范学院学报, 2024, 46(12): 43-51.