

面向新工科的《地热工程学》多维知识图谱构建及教学模式创新

郑君, 窦斌*, 田红, 赖孝天, 郑明燕

中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074

DOI: 10.61369/SDME.2025300029

摘 要 : 为响应国家“双碳”战略对新能源领域创新人才的迫切需求, 应对《地热工程学》课程多学科交叉、知识体系复杂带来的教学挑战, 本研究探索了教育知识图谱技术在地热工程教学改革中的应用。系统构建了涵盖“知识-思政-问题-能力”四个维度的地热工程学课程图谱体系, 详细阐述了通过“横向关联、纵向贯通、动态更新”机制实现四维图谱深度融合的协同模型。其中, 知识图谱整合了资源地质、热储工程等核心领域的碎片化知识; 思政图谱通过案例锚定与语义标注, 将工匠精神、生态文明等价值元素有机融入专业知识节点; 问题图谱以真实工程场景为牵引, 驱动理论知识的应用; 能力图谱则将学习成果映射为可衡量的能力指标, 支撑达成度评价。在此基础上, 本研究创新性地提出了“线上-线下、虚拟-现实、个人-协作”三融合的智慧教学新模式, 并以“地热钻井工程”模块为例, 展示了基于图谱的螺旋式教学序列设计。实践表明, 该体系有效破解了知识传授、能力培养与价值塑造相互脱节的难题, 为新工科背景下复合型、高素质地热工程人才的培养提供了可复制的理论框架与实践路径。

关 键 词 : 地热工程学; 知识图谱; 课程思政; 教学模式改革; 新工科

Construction of Multi-Dimensional Knowledge Map and Innovation of Teaching Model for "Geothermal Engineering" for New Engineering Disciplines

Zheng Jun, Dou Bin*, Tian Hong, Lai Xiaotian, Zheng Mingyan

School of Engineering, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan, Hubei 430074

Abstract : In response to the urgent demand for innovative talents in the new energy field as stipulated by the national "double carbon", and in view of the interdisciplinary and complex knowledge system of the "Geothermal Engineering" course, which brings about great challenges to teaching, this research explores the application of Educational Graph (EKG) technology in geothermal engineering teaching reform. The research systematically constructs a curriculum graph system covering four dimensions of "knowledge-ideology-question-ability", elaborates a collaborative model to achieve the deep integration of the four-dimensional graphs through a "Horizontal correlation, vertical connection, dynamic update" mechanism. In this model, the graph integrates fragmented knowledge in the core fields of resource geology, geothermal reservoir engineering, etc.; the ideological and political graph organically integrates the value elements such as asanship, ecological civilization, etc. into the professional knowledge nodes through case anchoring and semantic annotation; the question graph drives the application of theoretical knowledge with the traction of real engineering scenarios and the ability graph maps the learning outcomes into measurable ability indicators to support the achievement evaluation. On this basis, this research innovatively proposes a new mode of smart teaching of "onlineoffline, virtual-real, individual-collaborative" three integration, and demonstrates the design of spiral teaching sequence based on the graph in the "Geothermal Drilling Engineering module. The practice shows that the system effectively solves the problem of disconnection among knowledge imparting, ability training and value shaping, and provides a replicable theoretical framework and practical for the cultivation of composite and high-quality geothermal engineering talents under the new engineering background.

Keywords : geothermal engineering; knowledge graph; curriculum of socialism; reform of teaching mode; new engineering

项目信息:

中国地质大学(武汉)教学改革研究课程建设项目“《地热工程学》课程知识图谱建设研究”(编号: 2024009);

中国地质大学(武汉)教学改革项目“数智时代地质类教师数字素养提升路径及培养范式研究”(编号: 2024074)。

一、教育类知识图谱研究

（一）教育知识图谱

知识图谱源于2012年谷歌提出的概念，近年延伸至教育领域教育。知识图谱是一种结构化语义网络，通过节点（知识点、教学资源）和边（逻辑关系）整合碎片化知识，形成可视化知识体系，支持知识导航、认知诊断和个性化路径推荐^[2]。目前，它已成为赋能教学改革的关键工具，尤其在整合跨学科知识方面提升知识体系完整性。

教育知识图谱的发展受政策与技术双重驱动。政策层面，教育部“十四五”教材体系建设强调专业课程知识图谱建设的紧迫性，推动教育资源结构化与标准化^[3]。技术层面，演进过程从早期手动构建转向自动化多模态应用阶段，结合自然语言处理和深度学习提升知识抽取效率。全球研究趋势显示，课程知识图谱相关论文数量显著增长^[4]，反映学术界对其赋能教育创新的高度共识，响应新工科“知识－能力－素质”协同培养需求。

（二）课程知识图谱

课程知识图谱构建采用本体设计和自动化技术结合。本体设计定义课程实体（如概念、技能）及层级关系。技术流程包括知识抽取、融合和存储，基于 Neo4j 实现可视化知识地图，支持动态更新^[5]。课程知识图谱聚焦与教学设计优化和资源整合。教学设计中，图谱可视化知识点逻辑关系，帮助教师识别重难点，如在《线性代数》课程中设计问题导向活动（PBL），缩短课程规划时间30%^[6]；可整合关联多模态元素如三维模型与学情数据，对不同学习群体或个体实现精准推送^[7]；甚至可实现跨课程关联，强化知识体系完整性，支持“教－学－评”闭环形成^[8]。

（三）地质工科类课程知识图谱

目前未见地质工科类专业及课程知识图谱相关报道。但结合其他专业领域知识图谱建设经验^[9]及地质工科类专业特点^[10]，本教学组织认为地质工科类课程知识图谱存在一些特殊需求：主要包括跨域知识整合，行业标准嵌入。还需突出地质工科类课程实践强的特点，整合野外数据与理论模型，支持“理论－实践”一体化教学；强化课程思政理念，对齐国家能源安全需求，“青山绿水就是金山银山”理念，优化课程内容。

二、地热工程学多维图谱构建

（一）知识体系解构与重构

通过对地热工程学知识体系的系统分析，将其解构为以下核心维度：资源地质、热储工程、钻井工程、热能利用、环境影响、经济评价和政策标准。每个维度包含若干知识单元，如“资源地质”包含地热系统类型、热源机制、传热方式等知识单元。定义了核心实体类型，包括概念、方法、技术、设备、案例、标准等；定义了关系类型，包括前置关系、关联关系、应用关系、组成关系等；定义了多种属性类型，包括难度系数、认知层次、教学时长等。这一模式层为知识图谱的实例化提供了结构化框架和语义规范。下表系统性地梳理了构建地热工程学知识图谱所需的

核心实体，它们共同构成了该领域的知识框架。

表1 地热工程学知识图谱的核心实体

实体类型	示例	实体说明与知识图谱角色
核心概念	热储、回灌率、地温梯度	学科的理论基础与词汇表，是知识图谱中连接其他实体的枢纽节点。
技术方法	地热钻井、换热、地球物理勘查	领域的过程性与行为性知识，代表了“如何做”，是连接概念与设备的动态关系。
设备材料	地热泵、换热器、PE 管材	工程实践的工具与物质基础，是技术方法的实施载体，具有明确的属性参数。
工程案例	雄安地热供暖、西藏羊八井	知识验证与应用的情境，通过链接相关技术、设备和标准，将理论与实践深度融合。
行业标准	NB/T 10696-2021	工程实践的规范与依据，为技术、设备和工程案例提供权威性约束和评判标准。

将开源网络资源、相近课程资源、本课程教学团队的课程资源等融入原有的《地热工程学》课程知识体系之中，通过多源数据融合技术，从教材、在线课程、地热能利用相关标准、国际及中国地热工程案例和学术论文中抽取知识元素，实例化知识图谱。采用自然语言处理技术自动提取实体和关系，并结合专家评审确保准确性。

（二）多维图谱模式层设计

中国地质大学（武汉）《地热工程学》教学组织系统性地构建了地热工程学的四维知识框架，如表2所示，将专业知识、价值引领、问题解决与能力评估融为一体。知识图谱模式层定义了地热工程学课程知识的组织框架，包括实体类型、关系类型和属性类型；通过“实体－关系”将散落在教科书、论文、规范中的知识点串成知识路径，解决了解决知识孤岛的问题。它揭示了学习钻井技术前需要掌握岩石力学，选择换热器时必须考虑地下水化学。为了回答如何培养人的问题，多维图谱还构建了能力谱图，定义了培养的终极目标－复杂地热工程开发实际（如地热高效开发利用能力、深层地热井优化设计能力等），并将其拆解为具体、可衡量的分级指标。它将学习过程映射为一条清晰的可视化能力成长路径。为了应对地热工程实践的挑战，问题图谱构建了一个虚拟实战库。它以真实的工程问题、故障场景为锚点，直接关联到知识图谱中的理论和能力图谱中需要锻炼的技能。为了实现价值塑造的融合，思政图谱将工匠精神、环保意识、家国情怀等要素，具象化为具体的人物、案例、规范，并精准地注入到相关的技术节点中。例如，在学习回灌技术时，自然关联到保护地下水环境的伦理规范。

表2 地热工程学多维知识图谱体系

图谱维度	核心实体（节点）	关系类型	功能定位与价值
知识图谱（理论基础）	概念、方法、技术、设备、规范	前置关系、组成关系、引用关系	构建专业知识体系，形成结构化的学科知识网络，是学习与实践的理论基础。

思政图谱 (价值引领)	科学家精神、 工程典范、人 物、伦理规 范、国家战略	蕴含关系、体 现关系、激励 关系	实现价值塑造，将工 匠精神、环保意识、 工程伦理等思政元素 有机融入专业知识。
问题图谱 (实践牵引)	工程问题、故 障场景、技术 挑战、设计案 例	解决方案、关 联知识、诱发 原因	支撑问题导向学习， 以真实工程场景为切 入点，牵引理论知识 的应用与深化。
能力图谱 (成效评估)	能力维度（如 设计、分析）、 分级指标、评 估证据	培养路径、支 撑关系、评估 标准	量化能力达成度，明 确培养目标，并将学 习成果映射到具体能 力指标上。

三、图谱协同机制与教学应用

（一）多维图谱互联机制

为应对新时代工程教育中知识传授、能力培养与价值引领深度融合的挑战，构建知识图谱、思政图谱、问题图谱与能力图谱间的协同关联机制，主要体现在横向关联、纵向贯通与动态更新三个层面。

首先，通过建立密集的跨图谱链接，形成一个非线性的、立体化的知识-价值-问题-能力网络，形成打破传统教学中各要素间壁垒的横向关联机制。在知识图谱与思政图谱关联层面，采用语义标注、案例锚定等方法。具体而言，为专业知识实体（如回灌技术）标注其蕴含的思政元素元数据（如生态文明、工程伦理），并通过和盆地干热岩勘查开发等重大工程案例作为锚点，将抽象的科技报国精神具象化地融入技术知识节点，实现“盐溶于水”的价值引领。在知识图谱与问题图谱融合层面，机制表现为问题索引与解决方案反向链接。每一个问题图谱中的节点（如何减缓地热田产能衰减），都主动索引知识图谱中相关的理论群（如热储物性、水热均衡）；反之，学习任一知识点时，其能解决的工程问题也被清晰呈现，强化学以致用的导向。在问题图谱向能力图谱映射层面，核心是能力解构与证据定义。解决地热供暖系统设计这一复杂问题，被解构为系统设计能力、可持续性评估能力和项目管理能力等在能力图谱中可观测、可度量的指标。通过纵向贯通机制构建学习者从认知建构到素养养成的递进路径，确保了学习过程的连续性与深度。如上图所示，“问题图谱”作为核心驱动引擎，承担情境导入角色。学习始于“问题图谱”中一个真实的、未决的工程情境。该情境作为触发器，同步激活“知识图谱”中的理论支撑与“思政图谱”中的价值约束，使学习者在认知初期即建立对问题的多维度理解。在问题解决过程中，学习者并非进行单一的技术计算，而是在“知识图谱”提供的多种技术路径与“思政图谱”设定的价值规范（如环保、经济、公正）之间进行权衡与决策，最终形成技术可行且价值正确的综合方案。学习者生成的方案及其过程数据，作为能力达成的证据，输入“能力图谱”进行量化评估。评估结果不仅诊断学习成效，更会触发系统的反馈调节：若能力未达成，系统将推荐回溯至

“知识图谱”的特定节点；若能力已达成，则会从“问题图谱”中推送更高阶的挑战，开启新一轮提升循环。

动态更新机制确保图谱内容与关联关系能随内外源信息的变化而迭代，保障图谱系统的自适应性与前沿性。当出现新技术或新政策（如“双碳”目标深化）时，系统通过自然语言处理技术感知这些变化，并经专家审核后，在相应图谱中增补新节点或更新既有节点属性。同时，系统运行过程中持续采集学生的学习行为数据（如知识点误答率、问题解决路径）。通过相关算法，对薄弱关联进行强化，对无效关联进行降权或剔除。

这套四维图谱通过横向关联构建了一个立体化的认知场域，通过纵向贯通设计了一条清晰的素养生成路径，再通过动态更新赋予系统生命般的演化能力，最终将构建出一个以学生为中心、以能力为导向、价值引领贯穿始终的智能教育生态系统。实际应用时，以一个问题图谱中的工程案例（如“回灌井堵塞”）为起点，可关联到知识图谱中的过滤技术、水文地质学原理，融入思政图谱中的环保责任与工匠精神案例，最终映射到能力图谱中的“复杂工程问题解决能力”进行考核。

（二）教学应用模式创新

基于地热工程学知识图谱，我们系统性地构建了“线上-线下、虚拟-现实个人-协作”三融合的智慧教学新模式，彻底打破了传统教学的时空与资源限制。具体而言，通过人机协同的知识建构路径实现线上与线下融合；课前及课后，学生利用知识图谱系统进行自主学习和探究式学习。图谱通过智能推送与关联路径，为学生定制个性化学习序列，使其能够自主建构系统性的知识网络。现实课堂中教师角色转变为引导者与促进者，组织开展专题研讨和项目实践，专注于知识的内化、批判性思维的培养与高阶认知能力的提升。还通过虚拟与现实相结合的实验平台实现规避风险的核心技能训练路径，利用课程线上通过知识图谱系统进行自主学习和探究；线下开展专题研讨和项目实践；利用虚拟仿真平台进行高风险操作训练；通过小组协作解决复杂工程问题。以“地热钻井工程”模块为例，我们基于知识图谱设计了螺旋式教学序列：先通过知识图谱系统学习基本概念和设备原理；然后通过虚拟仿真平台进行井身结构设计训练；再分组讨论典型工程案例；最后完成实际井场方案设计。这种教学序列使知识掌握更加牢固，技能培养更加有效。

四、结论与展望

本研究直面地热工程领域复合型人才培养的痛点，系统构建并实践了以多维知识图谱为核心的教学新范式，得出以下核心结论：

第一，本研究成功构建的“知识-思政-问题-能力”四维图谱模型，为处理课程内容交叉性强、理论与实践联系薄弱等问题提供了系统化解决方案。通过横向关联机制，实现了专业知识、工程问题、价值理念与能力指标间的有机映射，形成了一个立体化的教学生态系统，从结构上保障了“知识传授、能力培养、价值引领”教学目标的统一。

第二,本研究提出的以“问题图谱”为驱动引擎的纵向贯通与动态更新机制,是激活该系统的关键。该机制设计了一条从“认知内化”到“实践转化”再到“能力生成”的清晰路径,确保了学习过程的连续性与深度。同时,基于数据驱动的迭代优化能力,使得课程内容与行业技术发展同步成为可能,保障了教学体系的前沿性与生命力。

第三,教学应用效果证明,基于图谱的“三融合”智慧教学模式及“地热钻井工程”模块的螺旋式教学序列,显著提升了教

学效能。该模式不仅帮助学生建构了系统性的专业知识网络,更通过在虚拟仿真与真实项目中的协作探究,有效锤炼了其解决复杂工程问题的综合能力与职业伦理素养,实现了从知识到能力与素养的全面升华。

本研究初步验证了多维图谱模式在地热工程教学中的有效性,但其潜力仍待进一步挖掘。未来的工作将聚焦于拓展应用广度与深度,将当前模型推广至更广泛的专业课程体系,并探索与产业界更紧密的联动更新机制。

参考文献

[1]"双碳"战略引领绿色变革. 新华网, <http://www.xinhuanet.com/tech/20231009/58f7c99515e24e65b8c8ff04419e7f28/c.html>

[2] 张学飞, 张丽萍, 闫盛, 等. 知识图谱与大语言模型协同的个性化学习推荐 [J]. 计算机应用, 2025, 45(3): 773-784.

[3] 教育部等九部门关于加快推进教育数字化的意见. 教育部等九部门, http://www.moe.gov.cn/srcsite/A01/s7048/202504/t20250416_1187476.html

[4] 康云菲. 全球图景与中国路向: STEM 教育研究的知识图谱分析 [J]. 电化教育研究, 2025, 46(4): 114-121, 128.

[5]Yongwan Cho, Rabia Emhamed AlMamlook, Tasnim Gharaibeh, A Systematic Review of Knowledge Tracing and Large Language Models in Education: Opportunities, Issues, and Future Research.Computers and Society, 2024

[6] 卢金花. 课程思政视域下以应用为导向的线性代数教学改革 [J]. 学周刊, 2025, (01): 13-17. DOI:10.16657/j.cnki.issn1673-9132.2025.01.004.

[7] 赵宇博, 张丽萍, 闫盛, 等. 个性化学习中学科知识图谱构建与应用综述 [J]. 计算机工程与应用, 2023, 59(10): 1-21.

[8] 任义, 苏博, 袁帅. 教育领域下多维度特征命名实体识别方法 [J]. 计算机工程, 2024, 50(10): 110-118.

[9] 汪建梅, 谢招蓀. 以医学生 " 数字素养 " 为导向的医工融合专业课程数智化教学探索与实践 —— 以 " 机器学习与模式识别 " 为例 [J/OL]. 中国医学教育技术, 2025, 1-8. <https://link.cnki.net/urlid/61.1317.g4.20251119.1938.008>.

[10] 许福美, 陈美智. 地质工程专业实践教学改革创新探索 [J]. 龙岩学院学报, 2014, 32(02): 80-83. DOI:10.16813/j.cnki.cn35-1286/g4.2014.02.015.