Advances in Education 教育进展, 2026, 16(11), 418-425
Published Online November 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/ae
https://doi.org/10.12677/ae.2026.16112401

Hans汉斯

算力网络时代的网络工程动态课程知识图谱构建研究

李　刚，王晓梅，谢晓燕

西安邮电大学计算机学院，陕西　西安

收稿日期：2026年10月3日；录用日期：2026年11月2日；发布日期：2026年11月9日

摘　要

生成式人工智能及其核心技术大语言模型的不断突破，推动网络工程领域向智能化、算网融合方向演进，而培养方案中的传统课程体系与实践评价体系呈现结构性滞后。文章依托西安邮电大学网络工程专业，融合工程教育专业认证理念与新工科建设要求，构建了以“大模型赋能网络工程”为核心的四层递进式知识本体架构，提出了面向算力网络时代的动态课程知识图谱构建方法，实现了算力网络等前沿知识的动态关联，并设计了大模型赋能的语义多维度评价闭环模型。初步实践表明，该图谱能有效支撑人机协同项目制学习，提升学生解决复杂工程问题的综合能力。

关键词

算力网络，网络工程，动态课程知识图谱

Research on the Construction of a Dynamic Curriculum Knowledge Graph for Network Engineering in the Era of Computing Power Networks

Gang Li, Xiaomei Wang, Xiaoyan Xie

School of Computer Science and Technology, Xi’an University of Posts and Telecommunications, Xi’an Shaanxi

Received: October 3, 2026; accepted: November 2, 2026; published: November 9, 2026

Abstract

The continuous breakthroughs in generative artificial intelligence and its core technology, large

文章引用: 李刚, 王晓梅, 谢晓燕. 算力网络时代的网络工程动态课程知识图谱构建研究[J]. 教育进展, 2026, 16(11): 418-425. DOI: 10.12677/ae.2026.16112401

language models, are driving the field of network engineering toward intelligence and the integration of computing and networking, while the traditional curriculum system and practical evaluation system in training programs exhibit structural lag. Grounded in the Network Engineering program of Xi'an University of Posts and Telecommunications and integrating the philosophy of engineering education professional accreditation with the requirements of emerging engineering education, this paper constructs a four-layer progressive knowledge ontology architecture centered on "large-model-empowered network engineering", proposes a dynamic curriculum knowledge graph construction method oriented to the era of computing power networks, realizes the dynamic association of frontier knowledge such as computing power networks, and designs a semantic multi-dimensional closed-loop evaluation model empowered by large models. Preliminary practice indicates that this knowledge graph can effectively support human-machine collaborative project-based learning and enhance students' comprehensive ability to solve complex engineering problems.

Keywords

Computing Power Network, Network Engineering, Dynamic Curriculum Knowledge Graph

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

随着生成式人工智能(Generative AI)及其核心技术大语言模型(LLM)的不断突破，信息通信技术(ICT)领域正经历着深刻的产业范式变革。现代网络技术正从传统的数据传输通道，向感知、计算、存储与通信深度融合的算力网络(CPN)演进。在此背景下，大语言模型凭借在概率推理、知识蒸馏与跨模态融合方面的强大能力，正在深度重构网络拓扑动态优化、协议栈智能自适应设计，以及大规模异构网络资源弹性调度等核心工程任务的处理范式。

产业层面的这一变化，使当前国内多数高校网络工程教育体系的深层次结构性矛盾日益凸显：课程体系更新滞后，软件定义网络(SDN)、网络功能虚拟化(NFV)、算力路由及 5G/6G 协议栈等核心技术在教学大纲中覆盖率极低；实践教学缺乏真实工业场景，学生在复杂异构系统集成与云网联合调度上的训练明显不足；以笔试为主的评价方式难以准确衡量学生的技术迁移能力。人工智能与传统工科交叉融合作为新工科建设的重点[1] [2]，直接推动了课程改革。

网络工程专业的课程改革，多从以下三个方面展开：1) 课程体系重构：工程教育专业认证理念与构思、设计、实现和运作(CDIO)等工程教育模式已引入培养方案修订[3] [4]，但无论颠覆式重构还是渐进式融合[5] [6]，改革实践均易陷入知识点的机械堆砌，未能将数理基础、网络原理与智能技术贯通起来；2) 人工智能教学融合：多数方案采用拼盘式叠加[7] [8]，将大模型当作黑盒，割裂了与底层网络协议业务场景的关联，非但难以提升学生解决复杂网络问题的理论水平，反而加重认知负荷；在《网络协议分析》《网络运维》等核心课程上，大模型辅助协议分析、强化学习路由等内容的融入缺少领域化与系统化的落地探索；3) 知识图谱与教学评价：现有研究多采用“章－节－知识点”的静态图谱，并设计学习路径推荐方案[9] [10]，但其图谱更新滞后，难以及时反映算网大脑(算力网络的智能调度核心)、新型拥塞控制算法等产业新技术的涌现，教学评价仍以笔试为主，辅以在线时长、完播率与客观题得分等方式，无法客观衡量复杂工程问题的求解能力。

动态教育知识图谱与大模型驱动教学评价的相关工作近年来增长较快，但从网络工程这类实践属性

突出的专业来看，真正落地到课程与教学层面的成果仍然不多。就知识图谱一侧而言，已有探索大致可分为两类。一类侧重面向教学场景的图谱构建：穆肃等围绕精准教研建立学科知识、教学活动与个体学习三层联动的立体图谱，将数据采集、本体构建、知识抽取、知识融合与知识更新串成一条完整的构建链路[11]；周东岱等则以学科知识、学习活动与学生认知三个视图的融合为切入点，给出学科教学图谱的基本形态，并讨论了其从“冷启动”走向“热启动”的动态演化过程[12]。另一类更关注学生个体的认知刻画：董晓晓等面向学科核心素养发展的需要构建学生学科认知图谱，用于动态描述认知结构并支撑精准干预[13]。与此同时，也有工作尝试将知识图谱与大语言模型结合起来：Wang 等搭建了支持自我导向学习的智能辅导模型，在课程知识动态组织与语义问答中检验了这种“图模协同”的可行性[14]。教学评价一侧的进展同样值得关注。叶俊民等从“术用”与“器用”两个角度分析了生成式人工智能赋能学习分析的价值内涵，并给出“目标确立–数据采集–处理分析–智慧应用”的实践框架[15]；Jauhiainen 在开放式书面作答场景中检验了 ChatGPT-4 的评分一致性，其基于验证式思维链与检索增强生成的评分与教师评分基本吻合[16]；Grévisse 则在医学本科教育中评估了大语言模型自动简答评分(ASAG)的表现，认为其在低利害测评场景下能有效节省教师时间，但仍需人工复核[17]。上述成果为本文提供了方法参照，但多数面向通用教育或单门课程。为此，本文以西安邮电大学网络工程专业为对象，开展了系统化的教学改革实践。

综上所述，现有研究存在三个缺陷：缺少统筹数理基础、网络原理与智能技术的内生性课程架构；大模型向核心课程的有效融入缺少领域化与系统化的落地探索；静态图谱缺少动态更新机制，单一评价缺少多维量化的闭环机制。在此基础上，本文的改进主要体现在三个方面。一是知识本体的组织方式：与现有研究中将人工智能教学以拼盘方式叠加[7] [8]的做法不同，本文围绕“大模型赋能网络工程”这一主线构建四层递进的知识本体架构，将数理基础、网络原理、智能技术与工程实践贯通为内生耦合的整体。二是知识更新的路径：针对“章–节–知识点”静态图谱及其学习路径推荐方案[9] [10]更新滞后、难以反映产业新技术的问题，本文提出大模型驱动的图谱动态生成与语义迭代机制，由自动化流水线实时感知并挂载算网融合的产业新技术实体。三是评价方式：本文不再沿用笔试为主、辅以行为数据的单一评价模式，而是设计了大模型赋能的语义多维度评价闭环模型，以可追溯的证据链支撑四维量化评分。本文方案与上述现有做法的对比见表 1。

Table 1. Comparison of the proposed scheme with existing studies
表 1. 本文方案与现有研究的对比

对比维度	现有研究典型做法	本文方案	对比结论
图谱构建方式	人工构建“章–节–知识点”静态图谱，辅以学习路径推荐[9] [10]	大模型驱动自动抽取，产业新技术动态挂载、关联路径自动推理	由静态转为动态，缩短图谱更新周期
大模型定位	拼盘式叠加，将大模型作为黑盒工具[7] [8]	内生融入四层本体，经 LoRA 微调完成工具封装	由外部工具转为课程体系内生组件
课程载体	通用课程或单科课程	网络工程专业全链路(数理–原理–智能–实践)	面向专业领域深度定制
评价机制	笔试为主，辅以在线时长、完播率与客观题得分	大模型语义多维度评价闭环，证据链可追溯	由单一结果评价转为多维过程评价
实践验证	以理论构想与方案设计为主	依托西安邮电大学网络工程专业开展初步实践	已开展初步实践验证，具备可落地性

2. 面向算网融合与 6G 驱动的课程知识体系重构

本文在产业趋势的基础上，确立了以“大模型赋能网络工程”为核心理念，认识到系统化重构网络

工程知识体系的迫切需求，具体体现在以下三个维度的迭代升级。

2.1. 数理基础理论与核心网络路由技术的认知拓展

在传统的课堂教学中，《计算机网络》等主干课的教学内容以静态路由算法、经典动态路由协议(OSPF/BGP)等确定性计算方法为主；而现代算力网络与云原生环境下的网络链路状态、节点算力负荷以及业务流量是时变和非线性的。因此，知识体系底层重构要求引入大模型的概率图推理能力与深度强化学习的决策过程模型，从对基于 OSPF、BGP 等动态路由算法的讲授，扩展到对基于强化学习的智能感知路由与算力路由调度策略的讲授，在理论教学阶段，增强学生面向复杂异构网络进行动态数学建模与仿真推演的抽象能力。

2.2. 协议栈底层演进路径梳理与新兴核心技术(6G/TSN)的融入

鉴于算力网络以及未来 6G 对于底层传输提出的 Tbps 级速率、亚毫秒级的端到端时延等指标需求，在新课程设置中应包括 6G 内生智能(Native AI)架构设计、超高可靠低时延通信(Ultra-Reliable and Low Latency Communication, URLLC)技术和时间敏感网络(Time Sensitive Network, TSN)规范等内容。从具体授课内容上来看，基于大模型的高级协议语义分析工具能够自动深入理解和分析复杂协议的报文格式，从而打破 Wireshark 抓包后逐字节观察十六进制报文数据的传统教学方法局限，进而允许学生在该环境下进行基于深度强化学习的新一代网络拥塞控制算法等底层研究项目开发。

2.3. 基础设施向边缘侧部署与智能运维(AIOps)体系的深度融合

随着云计算向云边端架构演进，算力向边缘下沉，边缘计算节点逐步承担更多关键控制与调度职能，因此要求学生掌握 SDN 白盒交换机流表配置、MEC 节点容器编排与性能调优等技能。与此同时，传统依赖 SNMP 管理信息库(MIB)与 CLI 逐台配置的运维方式，正在被意图驱动网络(IDN)与智能运维(AIOps)模式取代。课程体系改革的核心诉求，是将基础网络管理课程升级为《智能网络运维》高级实训课程，引导学生利用大模型进行时序异常检测与多维根因分析(RCA)，开展面向大规模云数据中心网络的自动化编排部署、毫秒级故障检测与快速排障的场景训练。

3. 面向算力网络时代的动态课程知识图谱构建方法论

网络工程的知识横跨数学、通信、计算机与人工智能，内容庞杂，更新迅速。要让学生按认知规律循序渐进地掌握这些内容，以教材章节为主线的传统教学大纲，已难以跟上技术迭代的节奏，也无法适配培养需求。本文采用“动态课程知识图谱驱动的自适应学习”范式：由知识图谱完成学习路径的智能构建，由引擎实现资源体系的自动更新，二者共同构成本文教学改革的核心智能支撑基础。

3.1. 四层递进式的知识本体架构设计

为了改变传统知识点扁平化罗列的设计思路，本文从认知心理学与工程教育的研究视角，构建以“大模型赋能网络工程”为核心的四层递进式知识本体架构，包括数理基础、网络原理、智能技术和工程实践四个层次：

1) 数理基础：作为底层支撑，包括高等数学、线性代数、概率论、数理统计、随机过程、离散数学、图论基础及运筹优化算法，为大模型所依赖的神经网络算法推导和算力网络全局资源优化求解提供数学理论支撑。

2) 网络原理：涵盖经典 TCP/IP 体系分层结构与基础网络通信原理，并向外延展，包括基于 IPv6 的段路由(SRv6)、网络切片隔离机制等直接支撑算网融合的新型技术，呈现技术体系的动态演进脉络。

3) 智能技术：将人工智能作为工程工具，采用低秩适配(LoRA)等技术对大模型进行微调，并将经典机器学习分类、聚类算法及多模态时序分析等核心技术作为支撑网络优化任务的关键技术组件，有序集成部署在动态课程知识图谱的第三层，完成核心技术节点的实用化工具封装，实现智能技术与网络工程知识体系的深度耦合。

4) 工程实践：该层级作为动态课程知识图谱的顶层输出单元，涵盖深度网络协议特征分析、SDN 控制器接口开发部署及 AIOps 智能运维实战等工业实训场景，以项目式教学驱动完成知识点的场景化串联，打通从抽象知识学习、技术使用到复杂工程问题求解的链条，形成“知识学习–技术使用–工程求解”的三阶递进能力体系，实现网络工程领域理论知识体系向工程能力的转化。

3.2. 基于大模型的图谱动态生成与语义迭代机制

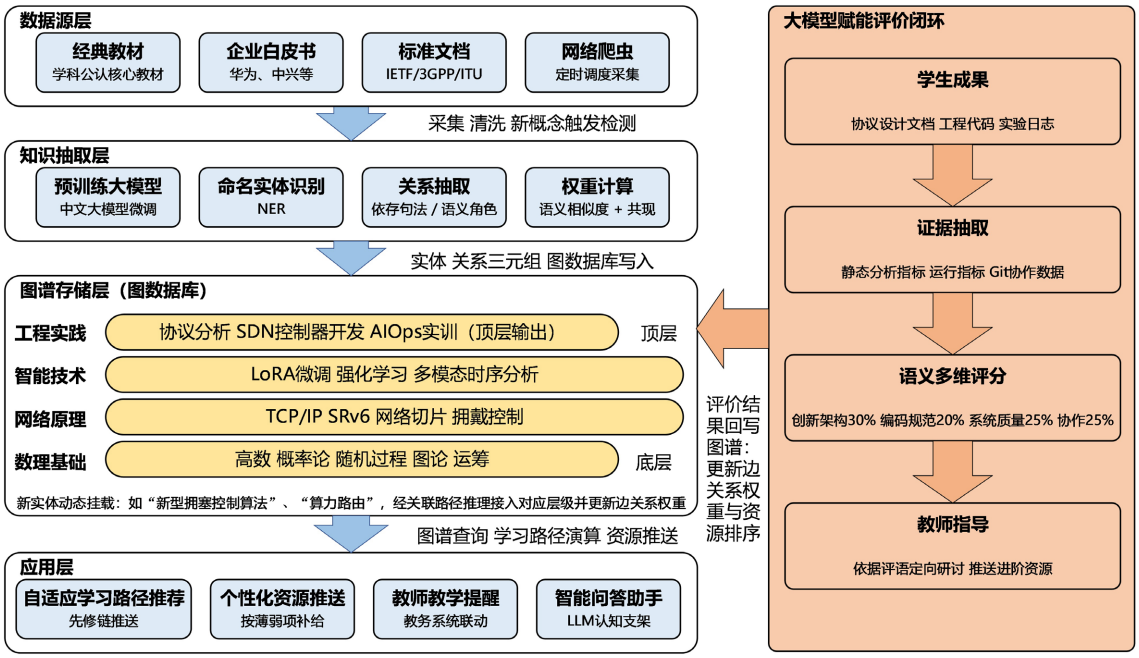


Figure 1. Overall architecture of a dynamic curriculum knowledge graph system for the era of computing power network
图 1. 面向算力网络时代的动态课程知识图谱系统整体架构

本文针对核心课程内容迭代速度滞后于产业技术演进的现实痛点，引入预训练大模型，构建自动化知识获取流水线：数据源构建采用双轨并行的采集机制，一方面选用学科领域公认的经典核心教材，另一方面通过网络爬虫，每日定时跟踪华为、中兴等企业白皮书，以及 IETF、3GPP、ITU 等标准化组织更新的 6G 和算力网络标准。当产业端出现新兴技术概念时，后台调度引擎自动触发命名实体识别，进行深层句法依存关系抽取，完成新增技术实体的特征解析，将其精准匹配并挂载至已经构建的动态课程知识图谱的对应层级，自动完成关联路径推理，计算新增技术实体与先修理论节点、对应工程应用场景、底层支撑物理原理之间的多维度边关系权重。同时，通过教务系统向教师推送教学内容更新提醒，辅助完成课件与教学案例的同步迭代。这一自动演化机制从底层运行逻辑上克服了传统教学大纲修订周期长、内容更新滞后的局限，为新工科课程体系适配快速迭代的产业技术生态，提供了可落地的轻量化路径。

上述流水线在实现上主要依赖两项选型。在预训练模型方面，本文选用中文生成式大模型，以 Qwen 系列为例，同类开源模型亦可替换；借助样本提示完成命名实体识别与关系抽取的联合任务。之所以这样选，是因为这类模型对产业新术语的泛化能力较好，即使标注数据有限，也能随提示模板快速适配。

图谱存储方面，采用 Neo4j 属性图数据库，实体、关系与边关系权重属性通过 Cypher 事务批量写入，多跳关联查询与学习路径演算均由它承担。

流水线的日常运行大致如下：后台调度引擎以天为单位抓取并清洗教材、企业白皮书与标准文档；新出现的技术概念先经过关键词匹配，再对照语义相似度阈值，两项均满足才会触发抽取任务。抽取环节由大模型完成：先识别实体，再结合语义角色标注与依存句法分析抽取出关系。随后，系统依据共现频次、TF-IDF 和向量余弦相似度加权得出边关系权重，经关联路径推理将新实体挂载至四层本体的对应层级。最后的写入与通知同步进行：更新以图数据库事务提交，同时通过教务系统向教师推送教学更新提醒。系统整体架构见图 1。

3.3. 算力网络与 6G 前沿技术的动态关联

在构建动态课程知识图谱的过程中，依托西安邮电大学的信息通信学科特色，重点研究前沿技术深度关联的设计方法。以核心实体节点“算力网络”为例，大模型为其构建了丰富的上下文语义关联。向上关联云原生网络应用管理和轻量级微服务架构等应用侧知识节点；向下延伸至工业以太网传输和数据中心全光交叉互联等物理层基础知识节点；横向嵌入边缘节点算力调度和性能优化等跨域协同技术节点。这种高密度网状非线性关联结构，让学生在学习孤立技术节点时，可以沿知识关系动态调用相关上下游内容，突破了传统单科课程的认知局限，帮助学生建立全局化工程技术视野，具有重要认知重塑价值。

4. 大模型赋能下的教学范式重构

4.1. 基于大模型的复杂网络认知负荷调节机制

初步实践显示：在教改推行的人机协同项目制学习模式下，学生开展超高可靠低时延通信协议栈开发调试、异构云网络拓扑重构等复杂工程任务时，任务完成效率得到提升，理论掌握深度有所加深。经调研发现，大模型通过搭建思维支架，改变了学生原有的学习认知路线图。大模型充当认知助手，将底层环境配置、语法纠错等低层次认知任务分离出去，减轻了学生的外部认知负荷，使之可以专注于全局系统容灾设计、核心算法收敛优化等高层次决策性思维层面的问题，从而消除高维抽象数学模型描述以及实际低层程序实现间的鸿沟。

4.2. 课程教学范式的系统性重构

本文依托技术与课程的内生融合路径，实现了网络工程教学范式的突破，重点聚焦知识组织结构与工程能力评估体系两个关键层面。在知识组织结构层面，以大模型为底层支撑，提出动态课程知识图谱自动化构建机制，改变传统教材线性、静态的知识表征方式，实现自适应学习路径动态演算与个性化资源精准推送。在工程能力评估体系层面，构建大模型赋能的语义多维度评价闭环模型：依托学生在长周期项目制学习过程中产出的协议设计文档、实验运行日志及工程代码成果，开展多维度语义分析与综合量化评估，将原先模糊的抽象能力指标拆解为创新架构设计能力(占比 30%)、工程编码规范度(占比 20%)、系统级运行质量与资源利用效率(占比 25%)、跨职能团队敏捷协作水平(占比 25%)四维量化评分，为复杂工程问题求解能力的培养和评估，提供了可追溯的客观观测依据。

以某学生小组提交的“基于深度强化学习的新一代网络拥塞控制算法”项目为例，可以比较直观地看到评价模型的运行过程。该小组提交了协议设计文档(约 12 页)、ns-3 仿真代码仓库与实验运行日志，分别对应文档、代码与运行三个层面的证据。评价的第一步是证据抽取：静态分析工具从代码仓库计算出圈复杂度、模块化程度、注释率与测试覆盖率；实验日志用于统计平均吞吐、时延与资源利用率，并与基线逐项对比；设计文档则交给语义分析，抽取相关的命中证据。证据齐备后，大模型按照四维量化

评分逐项打分，每项得分都要注明依据出处。最后，按各维度权重进行聚合，输出综合评分与评语。表 2 给出了该小组的评分结果。

Table 2. Example output of the evaluation model (taking the congestion control algorithm project group as an example, data for illustration only)
表 2. 评价模型输出示例(以拥塞控制算法项目小组为例，数据为示意)

评价维度	得分	主要依据
创新架构设计能力	24/30	提出基于深度强化学习的窗口调整策略，具备一定新意(设计文档第 3 章)
工程编码规范度	17/20	模块划分清晰，测试覆盖率 78% (静态分析报告)
系统级运行质量与资源利用效率	20/25	瓶颈场景吞吐较基线提升约 18%，时延略高于基线(实验日志第 4 节)
跨职能团队敏捷协作水平	19/25	Git 提交分布均衡，评审响应及时(仓库协作记录)
总分	80/100	等级“良好”，建议补充收敛性理论分析后进入下一轮迭代

防幻觉与校准是评价模型内置的约束。大模型给出的每一项评分都必须落到具体的代码行、日志片段或指标数值上，找不到依据就不给分；关键样本则交由教师抽样复核。此外，评价结果并不止步于本次评分，而是回写知识图谱，更新相关学习资源的排序与边关系权重，使“评价–反馈–更新”的循环得以延续，反哺下一轮教学。

4.3. 典型案例：基于深度强化学习的新一代网络拥塞控制算法的教学实施

本节以“基于深度强化学习的新一代网络拥塞控制算法”项目为例，考察四层知识本体、动态课程知识图谱与语义多维评价机制在教学中的实际落地情况。该案例延续 2.2 节的课程改革思路，四个层次均有对应内容：概率论、随机过程与运筹优化方法构成数理基础；TCP/IP 拥塞控制与网络切片知识属于网络原理；强化学习、多模态时序分析工具放在智能技术层；工程实践层则以 ns-3 仿真平台为载体，完成算法的设计、实现与评测。“知识学习–技术使用–工程求解”的三阶递进由此贯穿始终。

整个教学分课前、课中、课后三个环节推进。课前，动态知识图谱先依据学生画像，推送“TCP 拥塞控制–丢包模型–强化学习基础”这条先修知识链，学生完成预学自测后，系统会根据自测结果调整后续推送的顺序与难度。教师则借助班级掌握情况热力图，找出共性薄弱点，相应调整课堂讲授的重点。

进入课堂后，学生在 ns-3 仿真平台上按项目制方式设计拥塞控制算法。大模型在此扮演认知助手，将环境配置、语法纠错这类低层次认知任务接管，学生得以把精力集中在算法收敛性与瓶颈分析等高层次思维上，这正是 4.1 节所述认知负荷调节机制的体现。当产业侧出现“新型拥塞控制算法”之类的新概念时，系统会自动把它挂载到知识图谱并推送关联文献，与 3.2 节的动态生成机制保持一致，让教学内容跟得上产业技术的更新节奏。

课堂结束之后，学生提交协议设计文档、代码仓库与实验日志，评价模型据此输出四维评分与依据评语。教师拿到评价报告后，先识别薄弱维度再作针对性指导，比如对“系统级运行质量与资源利用效率”偏低的项目组，就专门辅导队列管理与参数调优。评价结果同时回写知识图谱，更新相关节点的边关系权重与资源排序，为下一轮教学提供个性化推送的依据，整个循环由此完整运转起来。

5. 结语

算力网络时代的网络工程专业教学改革，从课程知识体系到教学范式，重构了网络工程人才培养的根本逻辑。本文依托西安邮电大学网络工程专业学科特色，面向工程教育专业认证要求，构建了大模型赋能的网络工程四层递进式知识本体架构，提出了算力网络时代动态课程知识图谱构建方法，实现了算

力网络等前沿知识的动态关联，并设计了大模型赋能的语义多维度评价闭环模型，确保评价的客观性与人才培养的科学性。该模式已在本校网络工程专业完成首轮初步实践，验证了其在人机协同项目制教学中的可落地性。

基金项目

全国高等院校计算机基础教育研究会计算机基础教育教学研究项目“大模型背景下网络工程人才培养的探索与实践”(2025-AFCEC-683)；

西安邮电大学教学改革研究项目“双核驱动、四阶牵引：计算机网络课程主动学习能力培养体系创新与实践”(JGA202517)。

参考文献

[1] 林健. 面向未来的中国新工科建设[J]. 清华大学教育研究, 2017, 38(2): 26-35.

[2] 钟登华. 新工科建设的内涵与行动[J]. 高等工程教育研究, 2017(3): 1-6.

[3] 施晓秋. 遵循专业认证 OBE 理念的课程教学设计与实施[J]. 高等工程教育研究, 2018(5): 154-160.

[4] 周春月, 刘颖, 张洪婷, 等. 基于产出导向 OBE 的阶梯式实践教学研究[J]. 实验室研究与探索, 2016, 35(11): 206-208+220.

[5] 施晓秋, 蒋宗礼, 沈谦, 等. 网络工程新工科人才培养与专业建设的挑战、机遇与对策[J]. 高等工程教育研究, 2020(5): 11-17.

[6] 徐巧枝. 新工科背景下网络工程专业建设的思考与探索——以内蒙古师范大学为例[J]. 内蒙古师范大学学报(教育科学版), 2018, 31(11): 84-87+91.

[7] 钟秉林, 尚俊杰, 王建华, 等. ChatGPT 对教育的挑战(笔谈) [J]. 重庆高教研究, 2023, 11(3): 3-25.

[8] 何珊云, 沈演. 学会提问: 大学生与生成式人工智能协同学习模式的研究[J]. 华东师范大学学报(教育科学版), 2025, 43(2): 34-48.

[9] 钟卓, 唐烨伟, 钟绍春, 等. 人工智能支持下教育知识图谱模型构建研究[J]. 电化教育研究, 2020, 41(4): 62-70.

[10] 杨文霞, 王卫华, 何朗, 等. 知识图谱赋能智慧教育的研究与实践——以武汉理工大学“线性代数”课程为例[J]. 高等工程教育研究, 2023(6): 111-117.

[11] 穆肃, 谭梓淇, 骆珏秀, 等. 面向精准教研的立体知识图谱构建方法研究[J]. 电化教育研究, 2023, 44(5): 74-81.

[12] 周东岱, 董晓晓, 顾恒年. 教育领域知识图谱研究新趋向: 学科教学图谱[J]. 电化教育研究, 2024, 45(2): 91-97+120.

[13] 董晓晓, 周东岱, 顾恒年. 面向学科核心素养发展的学生学科认知图谱构建研究[J]. 电化教育研究, 2023, 44(6): 90-96+103.

[14] Wang, G.X., Zhan, Z.H. and Qin, S.Y. (2025) Synergizing Knowledge Graphs and LLMs: An Intelligent Tutoring Model for Self-Directed Learning. *Education Sciences*, **15**, Article 1102. https://doi.org/10.3390/educsci15091102

[15] 叶俊民, 尹兴翰, 于爽, 等. 生成式人工智能赋能学习分析: 价值内涵、实践框架及发展路向[J]. 电化教育研究, 2025, 46(1): 86-92.

[16] Jauhiainen, J.S. and Garagorry Guerra, A. (2024) Generative AI in Education: ChatGPT-4 in Evaluating Students' Written Responses. *Innovations in Education and Teaching International*, **62**, 1377-1394. https://doi.org/10.1080/14703297.2024.2422337

[17] Grévisse, C. (2024) LLM-Based Automatic Short Answer Grading in Undergraduate Medical Education. *BMC Medical Education*, **24**, Article No. 1060. https://doi.org/10.1186/s12909-024-06026-5