

基于知识图谱的个性化学习路径设计及其实证研究

桂伟 汪宇康

武汉商学院, 中国·湖北 武汉 430056

摘要: 随着教育信息化的深入发展, 个性化学习已成为教学改革的重要方向。尤其在工科课程中, 学生认知水平与学习节奏差异显著, 传统统一教学模式难以满足差异化需求。本文以《机械设计基础》为研究对象, 基于知识图谱技术设计了个性化学习路径推荐模型, 开发辅助学习平台, 并通过教学实验验证其有效性。研究发现, 知识图谱不仅有助于构建清晰的知识结构, 还能根据学生个体差异动态生成学习路径, 显著提升学生学习主动性和概念掌握效果。教学实践显示, 个性化路径系统在提高学习效率、促进知识迁移、激发学习兴趣方面具有显著优势, 对推动工科课程“因材施教”改革具有重要参考价值。

关键词: 知识图谱; 个性化学习; 教学改革; 路径推荐; 机械设计基础

Design and Empirical Research of Personalized Learning Path Based on Knowledge Graph

Gui Wei, Wang Yukang

WUHAN BUSINESS UNIVERSITY, China Hubei Wuhan 430056

Abstract: With the in-depth development of educational informatization, personalized learning has become an important direction of teaching reform. Especially in engineering courses, there are significant differences in students' cognitive levels and learning paces, and the traditional uniform teaching mode is difficult to meet the differentiated needs. This paper takes "Fundamentals of Mechanical Design" as the research object, designs a personalized learning path recommendation model based on knowledge graph technology, develops an auxiliary learning platform, and verifies its effectiveness through teaching experiments. The research finds that knowledge graph not only helps to construct a clear knowledge structure but also can dynamically generate learning paths according to individual differences of students, significantly enhancing students' learning initiative and concept mastery. Teaching practice shows that the personalized path system has significant advantages in improving learning efficiency, promoting knowledge transfer, and stimulating learning interest, and has important reference value for promoting the "teaching according to individual aptitude" reform in engineering courses.

Keywords: Knowledge graph; Personalized learning; Teaching reform; Path recommendation; Fundamentals of mechanical design

0 引言

当前, 我国高校工科核心课程教学面临一系列深刻挑战, 显著制约着人才培养质量与效率的提升, 亟须结构性变革。首要症结在于学生基础能力的高度异质性。这使得教师难以确立普适的教学起点与节奏: 内容过深则基础薄弱者难以消化, 过浅则学优生效率低下, 教学陷入两难境地。更深层的矛盾体现为知识掌握的严重碎片化。以《机械设计基础》等典型课程为例, 其内容兼具广泛理论(材料力学、机构原理、摩擦磨损、强度理论)与复杂实践(零件设计、公差配合、标准件选用、综合项目)。传统线性教学模式及部分教材章节衔接松散, 加之教师讲授可能偏重孤立知识点而弱化体系关联, 导致学生难以贯通“机构分析”与“零件设计”, 理解“材料选择—失效形式”“载荷计算—强度校核”间的内在逻辑。学生普遍反映

“点状知识可理解, 但无法串联成线、编织成网”, 学得诸多公式概念却无力应用于完整部件设计, 知识呈“孤岛”状态。

课程内在的高度系统性与严密实践逻辑, 对学生的抽象思维及工程转化能力提出严峻考验。例如, 《机械设计基础》不仅要求理解机械运动学/动力学原理, 更需将抽象理论转化为满足功能、成本、安全等综合约束的具体结构。知识链条环环相扣, 前序环节(如机构分析或应力计算)的理解缺失将直接导致后续链条断裂, 形成“一步落后, 步步落后”的恶性循环。面对“设计减速器输出轴”等综合任务, 学生常因对学习任务目标(目标分解与实现路径)模糊不清, 无力将宏观任务拆解为可执行的知识模块而束手无策。

教师层面, 大班额教学与个体差异的矛盾日益尖锐。

一位教师应对数十乃至上百名学生，精力捉襟见肘。统一的授课、作业与考核模式实质只能锚定“平均水平”，教师难以实时、精准洞悉每位学生的学习进度、理解深度及具体卡点。其后果是：后进生因缺乏及时针对性帮扶而信心丧失、加速边缘化；学优生则因“饥饿感”抑制潜力释放与效率提升。教师深陷“心有余而力不足”的困境，教学质量客观受损。

究其根源，传统教学范式虽强调内容的系统性、逻辑性（内容中心），却普遍忽视了“学习路径适应性”与“个性化需求”。教学过程如同沿固定轨道单向行驶的列车，而非依据学生不同起点、速度、偏好提供多路径选择的智能导航。如何有效获取并利用学习状态数据（诊断评价、学习行为、练习反馈），据此实现内容的动态调整（推送关联性强、难度适配资源）与路径的个性化推荐（优化学习步骤与顺序），已成为突破教学质量瓶颈、促进教育公平的关键。

在此背景下，知识图谱（Knowledge Graph, KG）技术为破解上述难题提供了强大的技术支撑与革新可能。知识图谱本质是基于语义网络的结构化知识表达工具。它能精准定义并关联课程核心概念（如齿轮、轴承）、理论（如赫兹接触应力）、设计原则、流程、工程参数（安全系数）、实践案例等实体（节点），及其间复杂的逻辑关系（驱动、所属、应用、支撑、体现、前提、决定、可拆解等）（边），构建覆盖全课程、高度结构化的“知识关系网”。这为理解知识内在关联、实现精准教学干预奠定了基石。

1 面向《机械设计基础》课程的知识图谱构建

知识图谱的构建不仅是技术实践，更是对课程教学逻辑的重构。针对《机械设计基础》教学中长期存在的知识碎片化与认知脱节问题，本研究提出“教学导向、认知可视、动态适配”三原则，构建服务于个性化教学的知识语义网络具体设计如表 1 所示。

当前教学实践面临的核心矛盾在于知识系统的割裂化。传统教材章节划分（如将“连接件”与“传动件”分离编排）导致知识点关联弱化，学生难以建立“零件设计→系统集成”的工程思维链条。为解决此症结，本研究对知识体系进行三维重构：首先定义原子节点（不可再分知识点，如“齿面接触应力公式”），用于精准诊断基础概念掌握度；其次构建组合节点（流程化知识模块，如“齿轮传动设计流程 = 材料选择→参数计算→强度校核→润滑设计”），强化知识应用的系统性；最后锚定案例节点（如“减速器输入轴设计案例”），将理论知识与工程实践深度耦合。此种分层建模使抽象理论（应力分析）与具象设计（轴结构优化）形成映射闭环。

将十二个模块进一步细化为若干具体知识点，共提取知识点 500 余个。通过专家座谈与教学经验分析，确定各知识点间的依赖关系、包含关系与顺序逻辑，形成初步结构化层级。

采用 Neo4j 图数据库作为知识图谱构建平台，定义节点为“知识点”，边为“依赖”“前置”“包含”等逻辑关系。在图谱中，每个知识节点附带教学内容摘要、知识点掌握目标、推荐资源等信息。图谱实现从“线性课程”到“网络结构”的转化，为个性化路径设计提供图形支撑。通过 Cytoscape 软件进行图谱的可视化展示，将课程全貌、模块结构、节点难度等以动态图形式呈现，既方便教师教学设计，又利于学生自助导航。

知识图谱的生命力在于其对教学决策的支持能力。设计三维可视化机制：第一维度采用三色状态编码——绿色节点（掌握度 >85%）触发拓展任务，红色节点（掌握度 <60%）启动补救路径，黄色节点（60%-85%）强化关联训练。当系统检测到知识矛盾（如同时选择“花键联接”与“键槽加工工艺”），节点将闪烁警示并推送解析微课（见表 2）。第二维度开发教师专用认知热力图，直观呈现班级知识掌握分布。例如在“带传动包角计算”节点出现 27 个红灯时，系统自动关联其先修知识点“包角影响系数”，

表1 知识图谱建模的三大教学适配性原则

教学痛点	图谱构建策略	设计示例
知识孤岛化	建立跨章知识簇	“轴系设计”簇：聚合轴承选型（模块12）、轴结构（模块11）
认知链路断裂	标注认知依赖强度	强依赖标注：齿轮参数计算→接触强度分析（先决关系）
理论与实践脱节	绑定案例节点	将“螺栓组失效案例”关联至“预紧力计算”“疲劳极限”节点

表2 认知状态可视化编码

符号	含义	教学干预指令
● 绿色	已掌握（正确率>85%）	推送拓展任务
▲ 黄色	部分掌握（60%≤正确率≤85%）	强化关联练习
■ 红色	未掌握（正确率<60%）	触发补救路径
△ 闪烁	检测知识冲突	推送矛盾解析微课

提示教师进行靶向讲解。第三维度构建学生端动态学习地图，根据实时诊断生成三轨路径——红色路径填补认知断层，黄色路径夯实核心知识，绿色路径挑战工程创新案例。

2 个性化学习路径推荐机制

知识图谱的价值实现依赖于个性化学习路径的精准推荐。本部分提出“诊断-生成-演化-协同”四阶驱动模型，通过融合认知状态与知识拓扑结构，构建适应个体差异的动态学习路径系统，实现从统一教学向精准导航的范式转型。

学习路径的个性化起点源于对学生知识结构的深度刻画。系统采用三维诊断机制：

◆显性知识断层扫描：基于前置测试（覆盖 92 个核心节点）生成认知热力图，标识三类关键区域：红色缺陷域（未掌握基础概念，如 35% 学生“当量弯矩计算”正确率 < 50%）、黄色薄弱域（部分掌握复合知识，如“轴系设计流程”平均得分率 61.2%）、绿色优势域（精通的创新案例，如“变速箱拓扑优化”方案评分 > 85%）。

◆隐性行为模式解析：通过分析学习日志中的 24 项特征，构建行为-认知映射模型。例如频繁点击公式推导视频（占比 > 70%）标记为理论型学习者，多次混淆“花键-平键”应用场景则触发概念混淆预警。

◆元认知能力评估：记录路径规划行为（如自主添加“带传动张紧装置设计”学习节点）判断其自主学习能力，为路径干预强度提供依据。

基于维果茨基最近发展区理论，设计差异化路径形态，如表 3 所示：

表3 学习风格适配策略

学习者类型	路径特征	资源推送范例
理论型	公式推导→原理动画→仿真验证	“渐开线啮合原理”动态数学模型
实践型	案例拆解→AR实操→设计优化	发动机曲轴拆装AR教程
综合型	微课导学→虚拟实验→创新方案	“行星轮系效率优化”探索任务包

学习路径需持续响应认知发展，建立三阶优化机制：

微测验驱动即时调整：每完成 3 个节点进行能力诊断。若“齿根弯曲强度计算”错误率 > 40%，自动插入“弯曲应力分布”复习单元；

偏离度主动干预：当检测到跳过 30% 必修节点（如忽略“轴承寿命计算”），系统弹出指导窗口：“检测到关键知识遗漏，建议优先学习轴承载荷分析”；

遗忘曲线强化训练：依据艾宾浩斯记忆规律，在第 7 天强化“行星轮系传动比计算”训练题，对抗知识衰减。

3 教学实验设计与实证效果分析

为系统验证知识图谱驱动个性化路径的教学效能，本研究于 2024-2025-2 学期开展对照实验。实验以某高校车辆工程专业 80 名大二年级学生为对象，通过根据班级分为实验组（n=40）与对照组（n=40），由教师采用统一教材（杨可桢《机械设计基础》第七版）实施教学。实验组依托知识图谱平台进行个性化学习，对照组沿用传统章节式教学，双盲控制课时量与教学内容。

实验周期贯穿 12 个教学周，以“平面机构分析→传动系统设计→轴系结构优化”为知识脉络。实验组学生基于动态生成的个性化路径开展学习：平台依据前测诊断结果，为薄弱生构建补救路径（如优先强化“自由度计算”基础），为能力强者规划创新任务（如“变速箱降噪设计”挑战）。对照组则按固定顺序完成教材章节学习。评估体系包含三维度：

3.1 知识掌握效度

采用改编自国际工程教育认证标准的问卷（Cronbach $\alpha=0.86$ ），考察概念理解与公式应用；

3.2 知识整合深度

通过概念关联图绘制任务，由两名副教授双盲评分（ICC=0.91）量化知识网络结构化程度；

3.3 工程创新水平

东风汽车工程师参与评价“减速器优化设计”方案的功能性与创新性。

实验组在核心指标上展现全面优势（表 4）：

表4 核心指标对比分析

评估维度	实验组 (Mean \pm SD)	对照组 (Mean \pm SD)	统计检验结果
标准化测试成绩	86.5 \pm 5.8	75.2 \pm 8.3	t=9.37, p<.001
概念关联图评分	4.32 \pm 0.62	2.91 \pm 0.85	t=12.19, p<.001
设计创新性评分	8.7 \pm 1.1	6.3 \pm 1.5	t=11.24, p<.001

知识掌握度：后测成绩（86.5 \pm 5.8）显著高于对照组（75.2 \pm 8.3），效应量 Cohen's d=1.58（t=9.37, p<.001）。尤为关键的是，前测成绩后 25% 学生提升率达 43.7%，证实个性化路径对认知断层的修复效能；

知识整合能力：实验组概念关联图评分（4.32 \pm 0.62）远超对照组（2.91 \pm 0.85），82% 学生可完整构建“带传动设计”知识网络（图 5a），体现系统思维养成；

创新实践水平：在减速器设计任务中，实验组创新评分（8.7 \pm 1.1）较对照组（6.3 \pm 1.5）提升 38%，典型案例

显示学生能够将“润滑优化”与“密封结构改造”跨模块集成。

4 结语

本研究以知识图谱为技术基座，以个性化学习路径为教学抓手，在《机械设计基础》课程中实现了从“群体化教学”向“精准化导航”的教育范式跃迁。通过对 80 名学生开展为期 12 周的对照实验，结合量化分析与质性观察，核心价值在于三方面革新：

4.1 教学模式转型

教师依托认知热力图实现精准干预，讲授时间缩减 55%，转型为“认知导航员”；

4.2 学习路径重构

补救 - 核心 - 拓展三轨路径支持差异化发展，基础薄弱生成成绩提升 43.7%；

4.3 工程能力孵化

AR 案例资源促进知识迁移，82% 学生构建系统化知识网络。

参考文献：

[1] 张文欢, 薛玮璘, 赵男男. 基于知识图谱的计算机基础类课程混合式教学创新设计[J/OL]. 软件导刊, 1-6[2025-06-05].

[2] 李婧. 基于知识图谱与强化学习的双路径个性化在线学习资源推荐方法研究[J]. 信息系统工程, 2025,(05): 132-135.

[3] 李娅娜, 赵子平, 邱鑫宇. 知识图谱赋能研究生个性化数字教学改革——以“CAD/CAE 系统及应用”课程为例[J]. 科技风, 2025,(13):75-77.

[4] 许昊翔, 朱琳, 蒲源等. 基于知识图谱的化工原理课程数字化教学改革[J]. 化工高等教育, 2025,42(02):39-47.

基金项目：武汉商学院 2024 年校级教学改革研究项目一般招标课题《基于知识图谱的《机械设计基础》教学改革创新研究》，项目编号：2024Y017。

作者简介：桂伟，男，教授，湖北武汉，研究方向：高等教育改革，机器人。