

知识图谱赋能的智能建造专业《理论力学》课程知识体系构建与教学改革实践

李嘉奇^{1,*}, 卫琳¹, 胡智淇¹, 王南¹, 高华国¹

1. 辽宁科技大学, 土木工程学院, 辽宁 鞍山, 114051

摘要: 理论力学是智能建造专业重要的专业基础课, 具有概念抽象、公式体系庞杂、知识前后关联紧密和工程应用指向明显等特点。传统以章节为线索的课程组织方式难以充分呈现静力学、运动学、动力学之间的逻辑关系, 也不利于学生开展自主探究、精准复习和迁移应用。面向教育数字化转型和新工科人才培养要求, 本文依托超星学习通平台, 构建“课程目标—知识单元—知识点—资源—学习活动”一体化的课程知识图谱。研究基于课程教学大纲梳理形成静力学、运动学、动力学三大模块, 完成 216 个图谱节点、13 个章节单元、60 个颗粒化课件资源的组织与关联, 并通过图谱、环图、树图和地图四种可视化模式支持知识浏览、路径导航与资源调用。实践表明, 知识图谱能够把隐性的课程知识结构显性化, 把分散的课件资源节点化, 把章节学习转化为可探索、可追踪、可反馈的学习过程, 为理论力学课程的混合式教学、个性化学习和持续改进提供了可操作路径。

关键词: 知识图谱; 理论力学; 智能建造; 教学改革; 课程资源重构

Construction of Knowledge System and Teaching Reform Practice of Theoretical Mechanics for Intelligent Construction Majors Empowered by Knowledge Graphs

Jiaqi Li^{1,*}, Lin Wei¹, Zhiqi Hu¹, Nan Wang¹, Huaguo Gao¹

1. School of Civil Engineering, University of Science and Technology Liaoning, Anshan, 114051, China

Abstract: Theoretical Mechanics is a fundamental course for intelligent construction majors. It features abstract concepts, complex formulas, strong prerequisite relationships and clear engineering application requirements. The traditional chapter-based organization is insufficient for presenting the internal logic among statics, kinematics and dynamics, and it cannot fully support self-directed exploration, targeted review and transfer of knowledge. In response to educational digital transformation and emerging engineering education, this study constructs a knowledge-graph-based course system on the Chaoxing Learning platform. Based on the syllabus, the course is reorganized into three modules, namely statics, kinematics and dynamics, with 216 graph nodes, 13 chapter units and 60 granularized courseware resources. The platform provides four visualization modes, including graph view, circular view, tree view and map view, enabling knowledge navigation, path exploration and resource access. The practice indicates that the knowledge graph makes the implicit knowledge structure explicit, transforms dispersed courseware into knowledge-point resources, and supports an explorable, traceable and feedback-oriented learning process. It provides an operational approach for blended teaching, personalized learning and continuous improvement of Theoretical Mechanics.

Keywords: Knowledge graph; Theoretical mechanics; Intelligent construction; Teaching reform; Course resource reconstruction

1 引言

教育数字化正推动高校课程从“资源上线”走向“知识组织、学习导航与数据反馈”的深层变革。教育部《教育信息化 2.0 行动计划》提出以信息化支撑教育现代化，一流本科课程建设强调课程的高阶性、创新性和挑战度，课程思政建设则要求各类课程在知识传授中实现价值塑造^[1-3]。对智能建造专业而言，理论力学不仅是后续结构力学、材料力学、工程结构分析、智能施工装备与工程仿真等课程的基础，也是学生形成力学建模能力、工程分析能力和抽象思维能力的重要支撑。

然而，理论力学课程长期面临“知识点多、关系密、抽象度高、应用迁移难”的教学痛点。学生在学习中往往能够记住单个公式，却难以说明公式成立的前提、适用的力学模型以及与前后知识的关系；能够完成某类例题，却难以在智能建造场景中完成受力建模、运动分解和动力学方程选择。传统 PPT 通常按章节存放，资源粒度较粗，章节目录只能呈现线性顺序，难以展示知识之间的前置、后置和关联关系。知识图谱以节点和关系描述知识结构，能够将概念、方法、问题、资源和学习路径组织为可视化网络^[4-6]，为破解理论力学知识碎片化和资源割裂问题提供了新的技术路径。

基于此，本文依托辽宁科技大学 2025 年度本科教学改革项目“知识图谱赋能的智能建造专业理论力学课程知识体系构建与教学改革实践”，围绕理论力学课程知识体系重构、平台图谱建设、章节目录生成和课件资源颗粒化关联展开实践探索。研究目标并非简单增加数字资源，而是通过知识图谱重塑课程组织方式，使学生能够在“看见结构、理解关系、调用资源、解决问题”的过程中完成深度学习。

2 课程教学问题与改革思路

2.1 课程知识体系隐性化，学生难以形成整体认知

理论力学课程由静力学、运动学和动力学构成，40 学时内涉及力、刚体、约束、力系简化、平衡方程、点的运动、刚体运动、动量、动量矩、动能、达朗贝尔原理等大量核心知识点。各知识点之间并不是简单的章节先后关系，而是存在“前置基础—方法迁移—综合应用”的网状关系。例如，受力分析是平面力系平衡、空间力系平衡和含摩擦平衡的共同基础；速度合成定理、加速度合成定理与刚体平面运动分析共同支撑后续动力学综合问题；转动惯量既联系刚体定轴转动，又联系动能和动量矩定理。若这些关系不能被显性呈现，学生容易形成孤立记忆，难以建立课程整体图景。

2.2 教学资源颗粒度不足，知识点与学习材料关联不够精准

原有课件主要以章节 PPT 形式存放，教师课堂讲授时能够按经验调用资源，但学生课后复习时很难迅速定位到某一知识点对应的讲义、例题和图示。对于“光滑铰链约束”“速度瞬心”“科氏加速度”“零功约束判断”等难点知识，学生需要在整章课件中反复查找，学习成本较高。资源颗粒度不足还会影响平台学习数据的精确性，教师难以判断学生究竟在哪个知识点上产生困难。

2.3 教学过程可视化不足，个性化学习路径有待建立

理论力学学习不仅需要“听懂”，更需要在不同问题情境中完成模型选择和方程建构。学习科学研究表明，任务驱动、主动学习和问题解决能够显著提升工程类课程学习成效^[7-10]。但在传统课堂中，学习路径主要由教师线性安排，学生自主学习时缺少可视化导航工具，不容易根据自己的薄弱点选

择前置知识、关联知识和拓展资源。因此，课程改革需要把知识结构、资源结构和学习活动结构统一起来，为学生提供可探索的学习路径。

3 知识图谱赋能的课程知识体系构建

3.1 基于教学大纲重构“模块—单元—知识点”体系

本研究首先以理论力学课程教学大纲为依据，提取课程目标、毕业要求指标点、教学内容、重点难点和学时分配等信息，将课程重构为静力学、运动学、动力学三大模块。其中，静力学包括“静力学公理和物体的受力分析、平面力系、空间力系、摩擦”四个知识单元；运动学包括“点的运动学、刚体的简单运动、点的合成运动、刚体的平面运动”四个知识单元；动力学包括“质点动力学的基本方程、动量定理、动量矩定理、动能定理、达朗贝尔原理”五个知识单元。

在此基础上，进一步细化概念性知识、程序性方法和综合应用节点，形成 216 个图谱节点，其中包括 63 个分类节点和 153 个知识点节点，如图 1 所示。每个节点均围绕“节点名称、前置节点、后置节点、关联节点、标签、知识点分类和节点说明”进行描述，标签包括重点、难点、考点和课程思政等，如图 2 所示。该处理使课程知识不再只是章节目录，而成为具有语义关系的结构化网络。

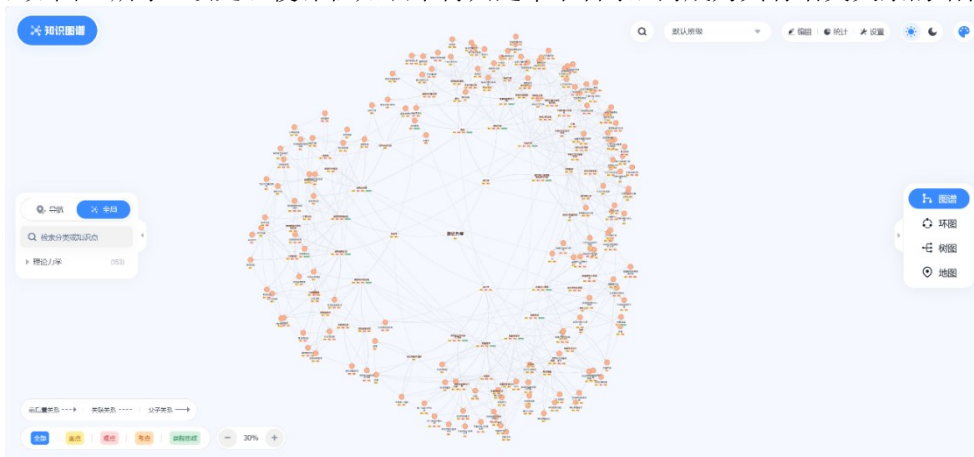


图 1 理论力学课程知识图谱的图谱模式整体界面

Fig. 1 Overall interface of the knowledge graph mode for Theoretical Mechanics



图 2 图谱模式下知识节点及关联关系的局部展示

Fig. 2 Local display of knowledge nodes and their relations in graph mode

3.2 多模式可视化支持知识探索与路径导航

在超星学习通平台中，知识图谱可通过“图谱、环图、树图、地图”四种模式查看。如图 3 所示，图谱模式适合呈现节点之间的多向关系，帮助学生理解某一知识点与前后知识之间的网络关联；如图 4 所示，环图模式适合展示同一知识单元内部的层级展开，便于学生从核心概念向周边概念扩展；如图 5 所示，树图模式与章节目录天然对应，适合学生按章、单元、节进行系统复习；如图 6 所示，地图模式则有助于将课程学习转化为路径式浏览，增强学习过程的方向感和探索感。不同可视化方式互为补充，既满足教师整体把控课程结构的需要，也满足学生按问题、按章节或按知识链进行学习的需求。

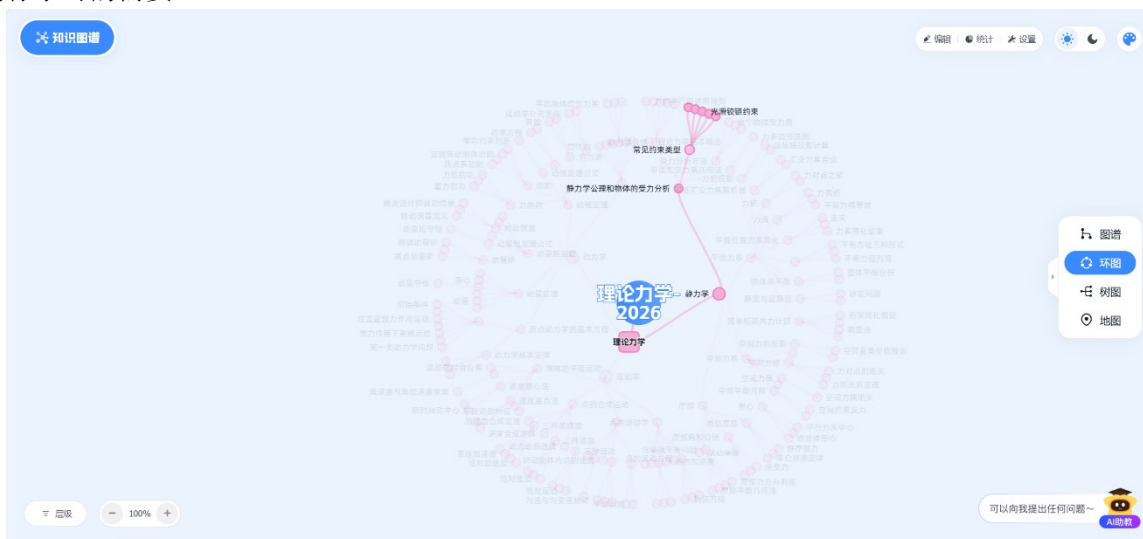


图 3 环图模式下课程知识单元的关联展示

Fig. 3 Relation display of course knowledge units in circular mode

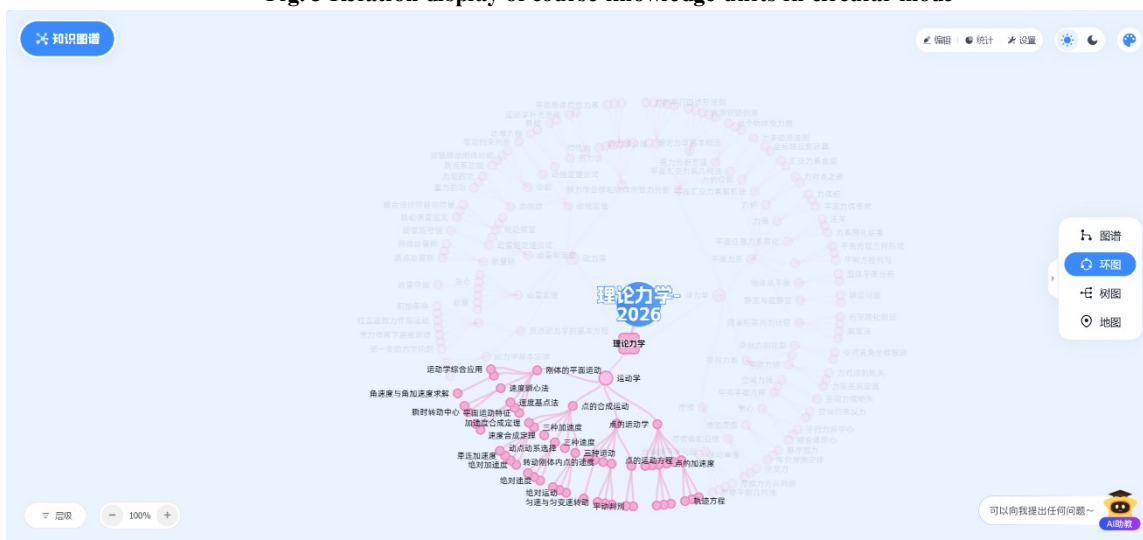


图 4 环图模式下知识点层级与邻近关系展示

Fig. 4 Hierarchical and neighboring relations of knowledge points in circular mode

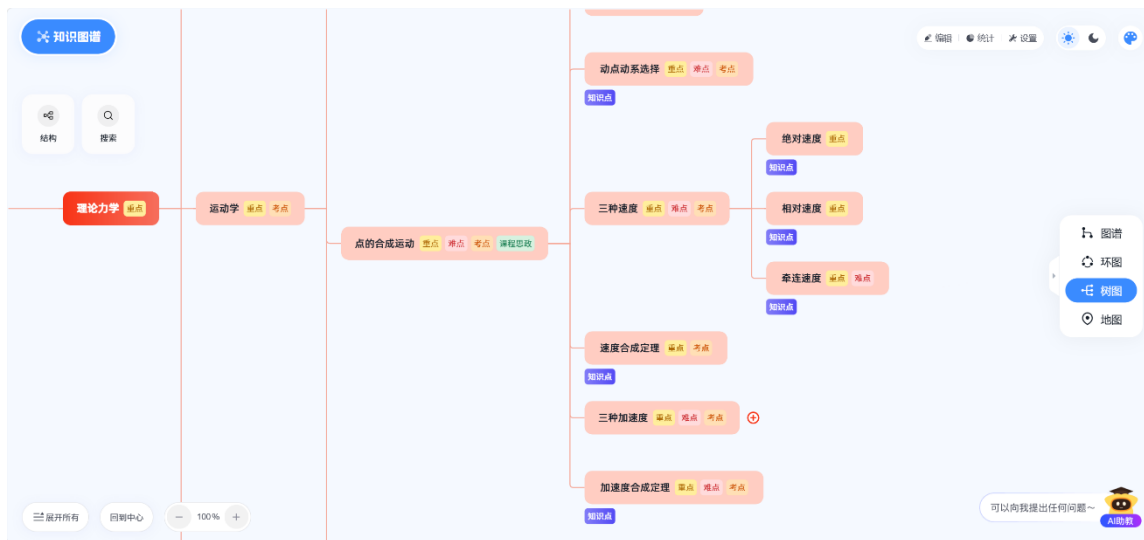


图 5 树图模式下课程章节与知识点层级展示

Fig. 5 Hierarchical display of chapters and knowledge points in tree mode

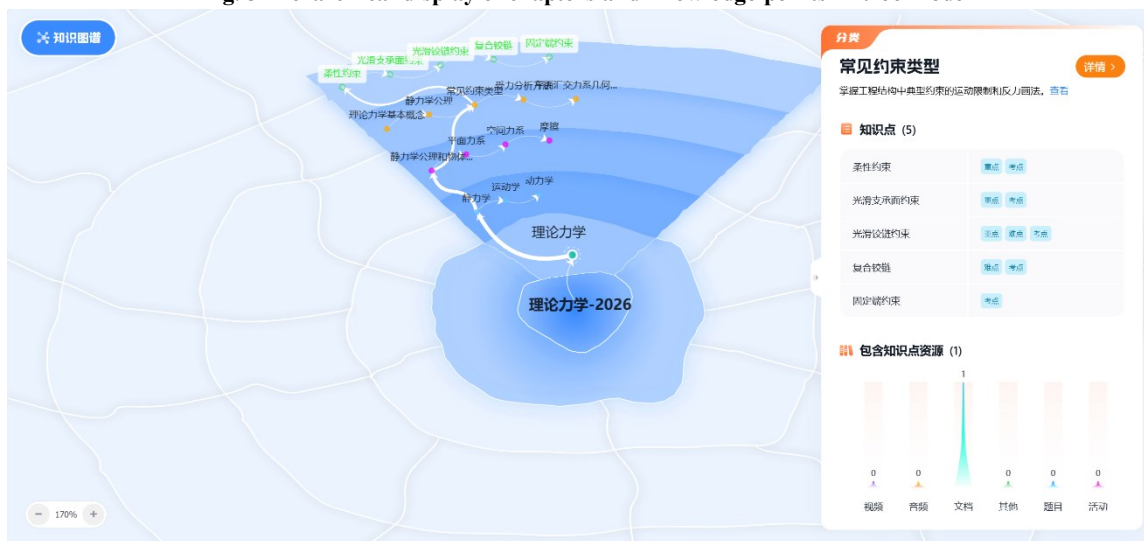


图 6 地图模式下理论力学课程知识路径展示

Fig. 6 Knowledge path display of Theoretical Mechanics in map mode

3.3 章节目录与课件资源的颗粒化关联

为了使知识图谱真正服务教学过程,本研究同步完成章节目录和课件资源的重组。如图 7 所示,章节目录按照“章—单元—节”三级结构建立:第一章为静力学,第二章为运动学,第三章为动力学;在每章下设置对应知识单元,并进一步细化到理论力学基本概念、静力学公理、常见约束类型、速度合成定理、动能定理公式等具体节。该目录与知识图谱保持一致,避免平台章节结构与图谱结构脱节。

同时,将原有章节 PPT 按知识点拆解为 60 个颗粒化课件文件,并按知识点名称重新命名,再分别关联到平台章节和图谱节点,如图 8 所示。这样,学生点击“速度瞬心法”“平面任意力系平衡方程”“惯性力与质点的达朗贝尔原理”等节点时,即可直接打开对应课件内容。资源由“按文件存放”转变为“按知识点调用”,有效降低了学生定位材料的成本,也使教师能够围绕关键节点布置预习、讨论和复习任务。

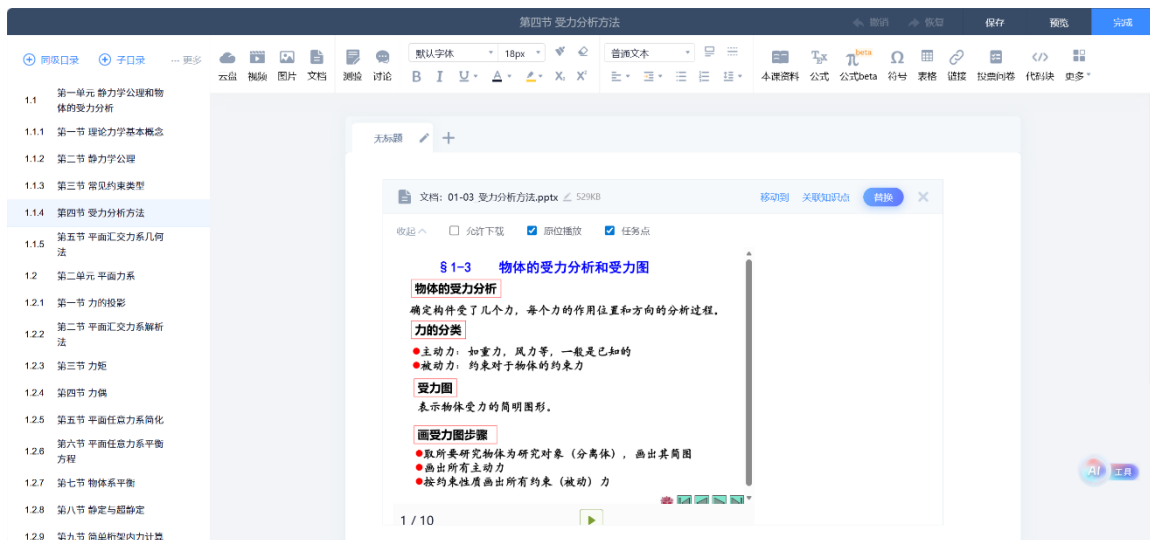


图7 章节目录与颗粒化课件资源关联

Fig. 7 Association between chapter directory and granular courseware resources

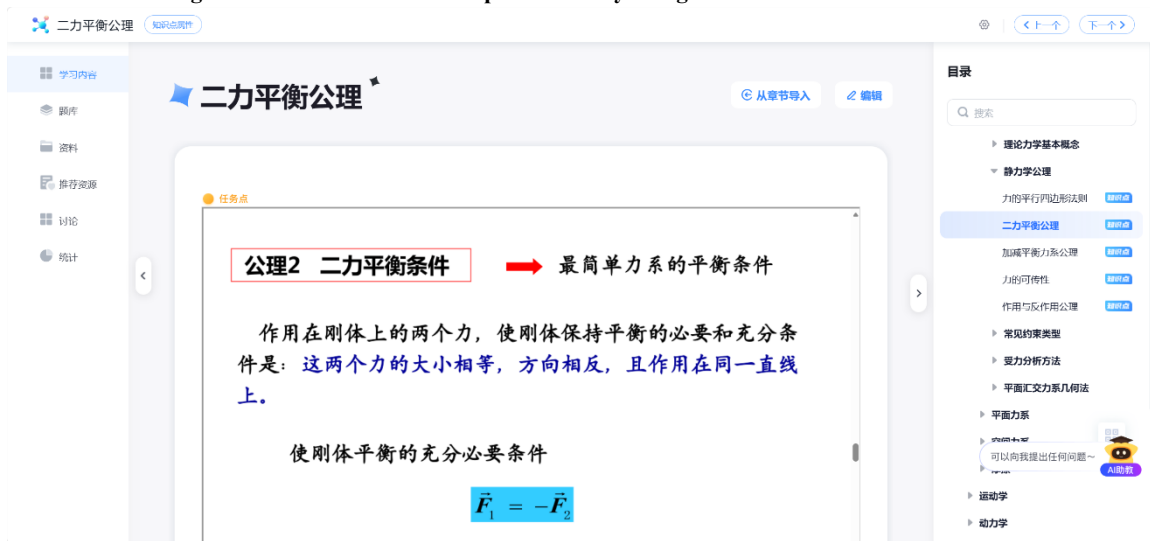


图8 知识点节点与对应课件内容关联

Fig. 8 Association between knowledge-point nodes and corresponding courseware content

4 教学改革实践路径

4.1 课前：以知识图谱发布导学任务

课前环节以知识图谱作为导学入口。教师围绕即将讲授的知识单元，在平台中标注关键节点、前置节点和难点节点，要求学生沿图谱完成预习。例如，在讲授“平面任意力系平衡方程”前，学生需先回顾“受力分析方法、力矩、力偶、平面任意力系简化”等前置节点，并查看对应课件。教师可根据学生资源访问情况和课前问题反馈，判断学生对前置知识的掌握程度，从而调整课堂讲授重点。

4.2 课中：以问题链驱动知识节点贯通

课堂教学不再简单按照 PPT 顺序推进，而是围绕工程问题建立“问题链—知识链—方法链”。以智能建造场景中的构件吊装、支座约束和施工装备传动为例，教师引导学生从实际对象抽象出力学模型，再沿图谱调用受力分析、约束反力、平衡方程或运动分解等节点。对难点内容，采用“节

点回溯”的方式让学生解释所用公式的前置条件，避免只套公式而不理解模型。课程思政元素则嵌入航天工程、高铁制动、水电工程、桥梁建设等应用案例，引导学生认识力学原理与国家工程实践之间的联系。

4.3 课后：以节点化资源支持精准复习

课后环节强调知识补弱和综合迁移。学生可根据作业、测验和课堂反馈定位薄弱知识点，再通过图谱查看前置知识与关联资源。例如，若学生在含摩擦平衡问题中出错，可回溯“静摩擦力、最大静摩擦力、库仑摩擦定律、摩擦力方向判断、临界平衡分析”等节点；若学生在动力学综合题中无法列方程，可回溯“运动学补充条件、动能定理公式、动量矩定理公式、刚体平面运动微分方程”等节点。节点化资源使复习从整章浏览转变为精准定位。

4.4 评价：形成“知识掌握—能力表现—过程参与”综合评价

课程评价围绕知识图谱应用形成过程性证据。知识掌握方面，重点考查学生对核心概念、平衡条件、运动学关系和动力学定理的理解；能力表现方面，关注学生能否在复杂工程问题中完成模型抽象、研究对象选择、方程列写和结果解释；过程参与方面，结合平台学习记录、图谱浏览、资源访问、课堂讨论和作业订正情况进行综合评价。通过将知识点、学习资源和评价任务关联起来，课程评价由单一结果性考试逐步转向“过程可见、问题可追、改进可据”的持续评价。

5 改革成效与反思

本次改革已形成较为完整的数字化课程建设成果：一是完成理论力学课程知识图谱建设，将课程内容组织为可视化、可导航的知识网络；二是完成章节目录重构，使平台章节与课程知识体系保持一致；三是完成课件资源颗粒化拆分与关联，使学生能够从知识点直接进入学习材料；四是形成知识图谱支持下的课前导学、课中问题链教学和课后精准复习路径。

从教学逻辑看，知识图谱的价值主要体现在三个方面。第一，结构显性化。学生能够直观看到“静力学—运动学—动力学”的模块关系，也能够看到同一知识单元内部的层级展开和跨单元关联。第二，资源精准化。课件不再以整章为单位被动堆放，而是围绕知识点成为可调用资源。第三，学习路径个性化。学生既可以按章节学习，也可以围绕某一难点或错题沿图谱回溯前置知识，形成符合自身基础的复习路径。

同时，改革仍需进一步深化。首先，知识图谱并非一次性建设完成，需要结合教学反馈持续修订节点粒度、关系类型和资源质量。其次，平台数据还需与课堂观察、作业质量和考试表现结合，形成更可靠的学习诊断模型。再次，理论力学与智能建造专业后续课程之间的跨课程图谱尚未完全打通，未来可进一步关联结构力学、材料力学、工程机械、BIM建模与工程仿真等课程，构建智能建造专业力学课程群知识图谱。

6 结语

知识图谱为理论力学课程教学改革提供了一种从“内容数字化”走向“结构智能化”的实践路径。本文以智能建造专业理论力学课程为例，基于教学大纲构建课程知识图谱，完成章节目录和课件资源的同步重构，并在超星学习通平台中实现图谱、环图、树图、地图等多模式可视化展示及知识点资源关联。该实践表明，知识图谱能够有效支撑课程知识体系显性化、资源颗粒化和学习路径个性化，有助于提升学生对理论力学知识结构的整体理解和工程应用迁移能力。后续研究将继续围绕学习数据分析、教学效果量化评价和跨课程图谱建设开展持续改进，为智能建造专业课程数字化

转型提供可复制经验。

参考文献

- [1] 教育部. 教育部关于印发《教育信息化 2.0 行动计划》的通知[EB/OL]. 2018-04-13.
- [2] 教育部. 教育部关于一流本科课程建设的实施意见[EB/OL]. 2019-10-24.
- [3] 教育部. 教育部关于印发《高等学校课程思政建设指导纲要》的通知[EB/OL]. 2020-06-01.
- [4] Hogan A, Blomqvist E, Cochez M, et al. Knowledge Graphs[J]. ACM Computing Surveys, 2021, 54(4): 1-37.
- [5] Ji S, Pan S, Cambria E, Marttinen P, et al. A Survey on Knowledge Graphs: Representation, Acquisition, and Applications[J]. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2022, 33(2): 494-514.
- [6] Novak J D, Cañas A J. The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct and Use Them[R]. Florida Institute for Human and Machine Cognition, 2008.
- [7] Anderson L W, Krathwohl D R, Airasian P W, et al. A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives[M]. New York: Longman, 2001.
- [8] Merrill M D. First Principles of Instruction[J]. Educational Technology Research and Development, 2002, 50(3): 43-59.
- [9] Prince M. Does Active Learning Work? A Review of the Research[J]. Journal of Engineering Education, 2004, 93(3): 223-231.
- [10] Freeman S, Eddy S L, McDonough M, et al. Active Learning Increases Student Performance in Science, Engineering and Mathematics[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2014, 111(23): 8410-8415.

基金项目：辽宁科技大学 2025 年度本科教学改革项目“知识图谱赋能的智能建造专业理论力学课程知识体系构建与教学改革实践”（XJJG202530）。

^{1,*} 作者简介：李嘉奇，男，博士，讲师，硕士研究生导师，辽宁科技大学土木工程学院教师，研究方向为智慧建造与运维管理、深度学习与计算机视觉、工程力学课程教学改革。E-mail: lijiaqi@ustl.edu.cn。