

基于知识图谱的课程教学改革与实践研究

——以东华大学《图论》课程为例

郑 洁

东华大学数学与统计学院，上海

收稿日期：2025年9月18日；录用日期：2025年11月19日；发布日期：2025年11月27日

摘 要

文章针对新一代信息技术的发展对高等教育改革提出的迫切要求，以东华大学数学专业《图论》课程为例，探讨基于知识图谱的课程教学改革路径与实践成效。研究分析了传统教学模式存在的局限性，讨论以“图”的结构表征图论知识体系的内在合理性与教学优势。详细阐述了课程知识图谱构建的具体步骤，包括知识点提取、关系定义、三元组表示、平台存储与可视化应用，并融入企业实际技术问题作为教学案例，推动探究式学习与创新能力培养。实践表明，知识图谱支持“建构主义”学习范式，有效降低了学生的认知负荷，促进了系统思维与综合应用能力的提升，为高校人才培养提供了可借鉴的改革思路。

关键词

《图论》，知识图谱，教学改革

Research on Curriculum Teaching Reform and Practice Based on Knowledge Graph

—A Case Study of the “Graph Theory” Course at Donghua University

Jie Zheng

School of Mathematics and Statistics, Donghua University, Shanghai

Received: September 18, 2025; accepted: November 19, 2025; published: November 27, 2025

Abstract

In response to the urgent demands of the national innovation-driven development strategy for higher education reform, this study explores the implementation and effectiveness of knowledge graph-based teaching reform through the example of the “Graph Theory” course offered in the mathematics

major at Donghua University. The paper analyzes the limitations of traditional teaching models and highlights the inherent rationality and pedagogical advantages of using graph structures to represent the knowledge system of graph theory. It elaborates on the specific steps involved in constructing the course knowledge graph, including knowledge point extraction, relationship definition, triplet representation, platform storage, and visualization. Practical technical problems from industry are incorporated as teaching cases to promote inquiry-based learning and foster innovation capability. Practice has shown that the knowledge graph supports a constructivist learning paradigm, effectively reduces students' cognitive load, and enhances systematic thinking and comprehensive application skills. This study provides valuable insights for reforming interdisciplinary education and cultivating top-notch innovative talent in higher education.

Keywords

“Graph Theory”, Knowledge Graph, Teaching Reform

Copyright © 2025 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

全国教育大会提出“要以科技发展、国家战略需求为牵引，着眼提高创新能力，完善高校学科设置调整机制和人才培养模式，超常布局急需学科专业，加强基础学科、新兴学科、交叉学科建设和拔尖人才培养。”作为高校教师，深感这一指示契合时代要求，也具有现实的紧迫性。当前，国家发展越来越依赖高层次创新型人才，高校作为科技发展和人才培养的重要阵地，理应积极响应国家战略，不断优化学科结构，完善育人机制。

东华大学紧密结合实际发展需要，积极推进课程教学改革。在面向数学专业本科生开设的《图论》课程中，教学团队创新架构课程知识图谱[1]，尝试采用新的授课方式与人才培养路径，通过设计探究式教学场景，激发学生的批判性思维与自主创新能力。

近年来，知识图谱以其强大的语义关联和结构化表达形式，在教育领域，尤其是在 STEM 学科(科学 Science、技术 Technology、工程 Engineering 和数学 Mathematics 四个学科)中得到广泛应用，并先后经历了萌芽与概念化阶段、技术探索与初步应用阶段及深度融合与智能化阶段。知识图谱一方面帮助教育管理者审视学科知识结构，优化课程设置，另一方面驱动学生进行个性化自适应学习，支持探究式与交互式学习。它能够为学生在图谱上规划出最优的学习序列，并将离散的教学资源与知识图谱中的知识点进行锚定，方便学生按图索骥。

图论的核心研究对象是“图”(Graph)，即由顶点(Vertex)和边(Edge)组成的结构。而知识图谱(Knowledge Graph)本质上就是一个揭示实体(顶点)之间关系(边)的语义图。因此，用“图”的结构来组织和表达《图论》这门课程的知识体系，是再自然不过的事情。这体现了学科内容与教学表现形式之间的高度内在一致性。

传统的教学模式，即“教师主讲、学生听课并完成练习”的授课模式往往导致知识孤立化、重点模糊化及学习碎片化，而借助知识图谱授课可以避免这些短板[2]。具体为：利用知识图谱进行课程学习，各个知识点的联系一目了然(有联系的知识点之间有边相连)，知识重点也清晰(关联边密集的知识点为知识重点)，以及学生很容易将碎片化的知识点整合(由一个知识点，顺着知识图谱中的边，即可以学习到所

有与之有关系的其他知识点)。

现代教育强调“建构主义”学习，即学习者需要在已有知识的基础上，主动构建新的知识网络。知识图谱可视化地呈现了知识点之间的关联，有效地支持了这种“自上而下”(先见森林，再见树木)和“自下而上”(顺着树木探索森林)相结合的认知模式，降低了学生的认知负荷。这体现了人工智能赋能大学数学教育的优势[3][4]。

本文中的课程改革与传统知识图谱的应用具有技术基础一致、目标导向一致、学科载体典型的共同点。但同时具有自身的学术贡献，具体包括：一是，将知识图谱提升到了课程教学改革的“核心驱动力”地位。它不再是外挂的工具，而是重新设计教学内容组织、教学活动流程、教学评价方式的基石。二是，从“通用模型”到“具体实践”，提供了可复制的闭环实践案例。很多之前的研究提出的都是框架或模型，缺乏在一门具体课程中完成“设计-实施-评估”全流程的深度实践。本课程改革实践过程中采用了真实的实践场域，将企业的部分技术难题转化为教学资源，使得学生在学习理论知识的同时，将所学应用于实际，提高了他们的实践能力。这为课程提供了一个完整的案例研究。三是，从课程实施方面，实践了从“以教为主”到“教学并举”，突出了对教师“教”的改革的赋能。

本文对这一课程改革的实施方法和过程要点进行总结、归纳和反思。

2. 课程知识图谱的构建

2.1. 研究方法与数据来源

教师团队参考的经典教材包括 J. A. Bondy 和 U. S. R. Murty 编著的 *Graph Theory*、R. Diestel 编著的 *Graph Theory*、王树禾编著的《图论及其算法》及屈婉玲编著的《离散数学》等国内外经典教材。从教材的目录、索引、图表以及教学的结构化大纲中，自动化或半自动化地抽取知识点实体，包括：核心概念(如树、平面图、连通度、点色数、边色数等)、核心定理(如握手定理、欧拉公式、库拉托夫斯基定理)，以及重点算法(如 Dijkstra 算法、Kruskal 算法、匈牙利算法等)，并组织课程组教师对自动抽取的结果进行人工校验、补充和关系确认，确保知识的准确性和教学逻辑的合理性。

教学改革中部分典型案例的数据来自共建实习基地需要解决的具体问题。这些问题被适当抽象化以后，转化为数学模型，在教学过程中被当作实际案例，学生能够更好地理解课程的应用性。

2.2. 知识图谱构建的具体步骤

课程的知识图谱建设依托超星学习通平台，可分为以下几个核心步骤：

步骤一：图论知识点提取与体系构建，这是最核心的底层设计，是所有工作的基础，依赖于授课教师团队对学科的理解。首先，将《图论》课程的所有内容分解为最小粒度的知识点，这些知识点包括概念类名词、定理性质类结论、算法类知识点及应用场景类知识点。其次，定义最小粒度知识点之间的关系，包括属于关系、前置知识关系、推导关系、特例关系、对偶关系、算法关系等。这样，即构建出初步的知识层级和关系网。

步骤二：将上一步的体系转换为机器可理解和处理的数据。通常采用“实体-关系-实体”或“实体-属性-属性值”这种资源描述框架。例如“欧拉图-判定条件-所有顶点的度为偶数”为一资源描述框架。在每一章节中，明确有哪些实体和关系或实体与属性。

步骤三：依托学习通平台对三元组数据进行知识存储与管理，实现核心技术。选择合适的技术来存储和管理这些三元组数据。例如“找出所有学习 Dijkstra 算法前需要掌握的知识点，直至最基础的概念”。数据对接将图谱中的每个知识点节点与学习通平台上的具体教学资源(如视频、章节、作业、试卷)进行绑定。

步骤四：实习应用与可视化，缩放、拖拽、点击节点展开或收缩关联知识点、点击节点跳转到对应

学习资源。

经过这四个步骤,知识图谱的基本框架已经架构完成。为了发挥知识图谱的优势,授课教师团队还进行了一些上层应用开发,具体包括:

一、智能导航。在每个学习资源的页面侧边栏,显示当前知识点在图谱中的位置及其邻接点,让学生能快速准确地定位自己当前学习的内容所处的章节,以及清晰地辨析当前学习的内容与其他知识点的关系。

二、个性化推荐。记录学生的学习行为(如完成作业、考试得分),在图谱上标记其掌握程度(绿色已掌握,红色薄弱),并为其推荐下一步该学习或复习的知识点。

三、智能问答。开发一个简单的问答机器人,解析学生的自然语言问题,将其转化为对知识图谱的查询,返回结构化的答案。因为条件所限,这部分内容只进行了初步尝试。

2.3. 知识图谱构建的关键技术

知识图谱构建的关键技术包括以下五个方面:

一、知识获取。目的是从多源、异构的数据中提取出课程所需的知识,并对这些知识进行识别,命名实体并进行关系抽取、属性抽取和事件抽取等。

二、知识融合。从不同来源抽取的知识会存在大量冗余和歧义,知识融合旨在消除冲突,形成统一、干净的知识库。融合目标是将文本中提到的实体指称项链接到知识库中对应的正确实体上并消除歧义。例如,将“匹配”这个词,根据上下文正确链接到“二部图的最大匹配算法”这个实体。

三、知识存储与建模。超星学习通平台提供了存储平台,可以满足课程需要,高效地存储和表示融合后的海量知识。

四、知识应用。构建知识图谱的最终目的是应用,其核心技术是查询和推理。超星学习通支持关键词查询,学生可以高效地检索图谱中的知识点。

五、质量评估与演化。知识图谱不是静态的,需要持续更新和维护。教师团队在使用过程中,需要对抽取和融合的知识进行准确性、完整性、一致性等方面的评估,确保图谱可靠。如果发现问题,应该立即修正。

2.4. 知识图谱的结构化呈现方式

知识图谱的结构化呈现方式包括以下四种形式:

一、宏观结构呈现(课程总览图)。在课程开始时,向学生展示整个图论知识体系的“总地图”。每一章的知识图谱本身也是一张巨大的、层次化的有向图。节点(Vertices)代表核心知识点。边(Edges)代表知识点之间的关系,通常是有向的,表示依赖或推导关系。使用导向图算法进行布局,让关联紧密的节点自动聚集在一起,形成清晰的知识模块。图1即为《图论》课程第三章“连通度”的课程总览图。

二、微观动态呈现(课时教学)。在教师讲解具体某个知识点时,知识图谱是动态和交互的。包括:1) 聚焦与高亮。例如,当点击或讲到“最短路径问题”时,图谱会自动聚焦到该节点,并高亮显示与它直接相连的所有先修知识点(如“Dijkstra 算法”、“最短路算法 ppt”、“最短路径算法科普视频”)。2) 路径追溯。例如,可以演示从最基础的“图的定义”到复杂的“网络流”之间的知识路径,帮助学生理解一个复杂概念是如何一步一步从基础构建起来的。3) 可视化算法过程。这不再是知识关系图,而是实例图。教学工具可以动态演示算法在示例图上的执行过程。图2为知识图谱中与“最短路径问题”相关的微观动态呈现形式。

三、交互式探索界面呈现。学生使用的是一个可操作的平台,而不仅仅是一张静态图片。其可以搜索任何概念,并一键定位到图谱中的位置,还可以进行视角切换,查看层次视图,探索关联资源等。例

如，“哈密顿路径”节点可能链接到一个证明视频和一个 NP 难问题的编程挑战。

四、评估与自测呈现。学生可以标记自己对每个知识点的掌握程度(如“已学”、“需复习”、“精通”),系统会用不同颜色渲染节点。如果学生在“网络流”的测验中失败,系统可以反向追溯,进行知识漏洞检测。可以根据考试范围,自动生成一个最优的复习路径图,等等。

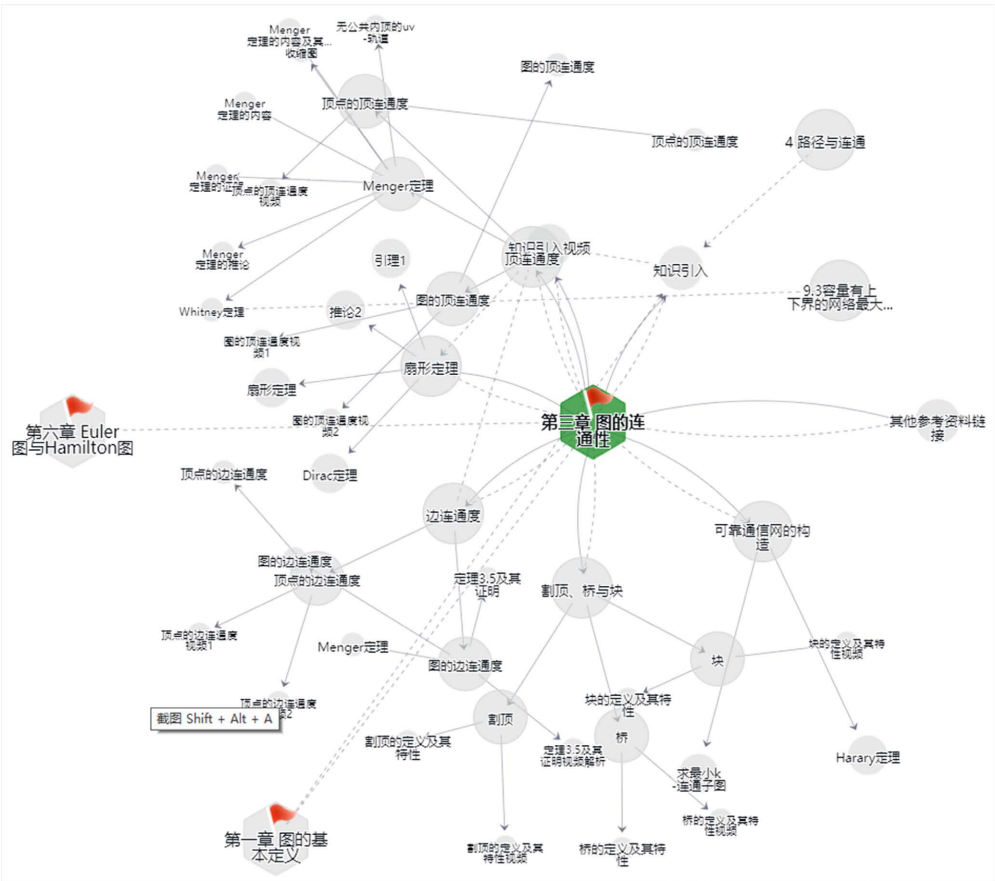


Figure 1. The knowledge graph of Chapter 3 “Connectivity” in the “Graph Theory” course
图 1. 《图论》课程第三章“连通度”展示的知识图谱

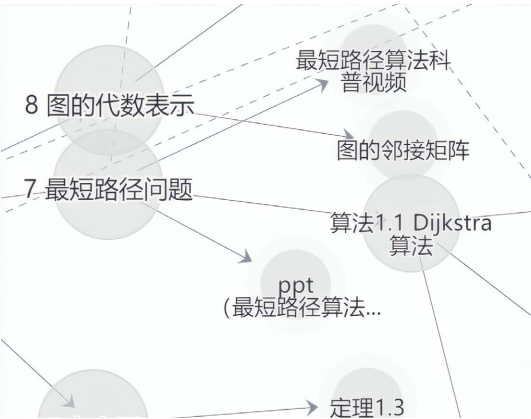


Figure 2. Micro-level representation related to the “shortest path problem” in knowledge graphs
图 2. 知识图谱中与“最短路径问题”相关的微观呈现形式

3. 案例分析

在《图论》课程教学中引进知识图谱，将图谱与《图论》课教学实现合理整合，必将带来教学内容、教学方法和教学模式的改变。课程改革中，既要发挥知识图谱在图形展示方面的强大功能，又要避免课件中“书本搬家”、“知识图谱完全替代黑板”的一些错误做法，这是一个关键的问题。在此，我们列举两个案例，说明课程组老师如何解决这一关键问题。

3.1. 课堂教学案例分析

教学目标：理解欧拉图判定定理和哈密顿图判定定理的证明逻辑和构思过程，并体会欧拉图问题与哈密顿图问题在难度上的巨大差异。

教学手段：利用知识图谱引导学生理解证明思路，配合板书讲解证明过程，对比总结两个定理在难度上的差异。

教学实施步骤：

一、知识图谱构建与应用。此部分知识图谱的节点包括：包括欧拉图判定定理、Dirac 定理、Ore 定理、证明、必要性、充分性、度序列、连通性、归纳法、反证法、极大路径法等。关系边包括：证明→必要性、证明→充分性、欧拉图判定定理的充分性证明→构造性证明(给出 Fleury 算法)、Ore 定理的证明→反证法 + 极大路径法、欧拉图判定定理→所有顶点度为偶数 + 图是连通的、Dirac 定理→最小度 $\delta(G) \geq n/2$ 、Ore 定理→Dirac 定理(因为 $\sigma_2(v_i, v_j) \geq n$ 是比 $\delta(G) \geq n/2$ 更弱的条件)、欧拉图判定定理→存在性判断(充要) Dirac/Ore 定理→存在性判断定理。

二、教学应用。在讲解 Ore 定理的证明时，教师利用图谱作为“地图”。例如，向学生展示证明的宏观路径：目标(证明是哈密顿图)→方法(反证法)→关键构造(假设非哈密顿图后构造极大路径)→核心推导(利用 Ore 条件推导出度的关系矛盾)。这使学生不迷失在复杂的符号推导中，始终把握证明的主线。

三、对比深度讨论。引导学生观察图谱中欧拉图和哈密顿图相关定理节点的差异。欧拉图有简洁的充要条件且证明是构造性的，而哈密顿图只有一系列充分条件且证明技巧性强、无通用充要条件。这个图谱结构直观地反映了这两个著名问题在计算复杂性上的天壤之别(一个属于 P，一个属于 NP-Complete)，激发学生对计算复杂性理论的初步认识。

四、论文研读辅助。让学生分小组研读一个图论定理的证明，例如五色定理，并尝试将其证明思路和依赖关系添加到班级共有的知识图谱中，作为一次项目作业。

五、教学预期效果。学生不再害怕证明，而是将证明视为一个有逻辑、有动机、有技巧的“推理探险”，能够欣赏数学证明的美感，同时从更高维度理解不同理论在学科中的地位和难度。

课堂总结：利用知识图谱进行图论教学，是从“知识灌输”转向“思维建构”的有效途径。它使隐性的知识结构显性化，将零散的概念系统化，能够有效促进学生的深度学习、概念理解和迁移应用能力，非常适合大学数学专业课的教学改革。

3.2. 企业应用案例分析

为了增强理论内容的直观性和实用性，我们带领学生将课程内容应用到实践中。在某校企合作项目中，需要确定上海市某区域 49 家便利店在给定规则下最优的夜间营业方案。课程教师带领学生，用图论的知识为企业提供策略参考。

教学目标：示范如何对实际问题进行图论建模，应用课程所学内容解决实际问题。

教学手段：上课引领学生进行建模，构架解决问题的框架，课下组织学生调研数据并且编程进行计算机模拟。

教学实施步骤:

一、前期调研。参考美团 APP 中收录的某区域 49 家正常营业的便利店，结合百度地图和实地走访，得到这些门店的详细地址、是否 24 小时营业以及门店类型等信息。对便利店的门店类型进行分类，总共分三类：**rigid**、**satisfied** 和 **not_satisfied**。**rigid** 表示该门店在医院附近，是夜间刚需门店；**satisfied** 表示该门店客观上满足 24 小时营业的条件，但并非夜间刚需门店；**not_satisfied** 表示该门店开设在地铁站、写字楼等非 24 小时开门的场所内部，客观上不满足夜间营业的条件。由此得到，49 家便利店中，有 8 家门店类型为 **rigid**，有 38 家门店类型为 **satisfied**，其余 3 家门店类型为 **not_satisfied**。

二、理论分析。需要制定一个营业规则，假定规则为：若该门店类型为 **rigid**，则必须 24 小时营业；若该门店类型为 **not_satisfied**，则夜间不能营业；若该门店类型为 **satisfied**，则需要满足：若该门店附近步行距离 1.5 公里内(即步行约 20 分钟内，骑行约 8 分钟内)有大于等于两家便利店选择 24 小时营业，则该门店可以不在夜间营业(这里的参数可以调整)，反之，如果其附近有少于两家门店营业则需要在夜间营业。

三、建立图论模型。根据上述规则，我们可以建立一个顶点带权(权值为 1 表示夜间营业，权值为 0 表示夜间不营业)的网络图。将 49 家便利店看作是图上的 49 个节点，根据百度地图计算得到所有步行距离在 1.5 公里之内的门店，并用无向边将它们两两连接起来。图 3 为对 49 家便利店分类所得的图模型。

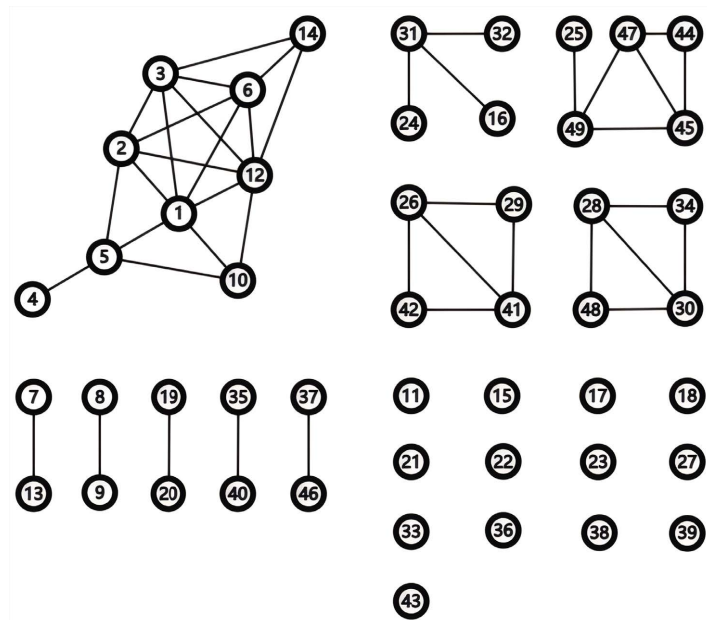


Figure 3. Graphical model obtained from classifying 49 convenience stores
图 3. 对 49 家便利店分类所得的图模型

给定的规则是顶点的局部更新函数，节点的状态空间根据规则变化到另一个状态空间，每个节点同步更新。要找到给定规则下的便利店夜间营业方案，就是要找到该图中所有顶点在给定的规则下不再改变的状态。固定点中的节点状态为 0，则表示夜间不营业；节点状态为 1，则表示夜间营业。图 4 为节点 {28,30,34,48} 的 0~1 状态的变化，其他节点的变化同理可得。

整个图节点的固定状态即为给定规则下最优的夜间营业方案。

案例总结：一个实际的问题，让学生切身体会到了所学知识的实践性，对提高教学质量和教学效率起到了积极的作用。

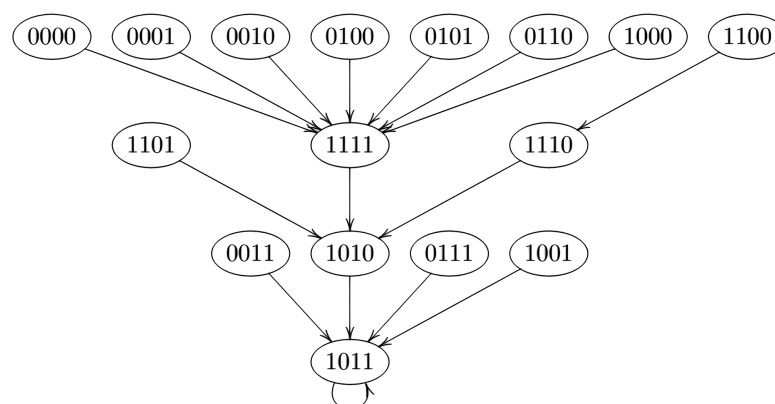


Figure 4. The state evolution of vertices {28, 30, 34, 48}

图 4. 节点{28, 30, 34, 48}状态的变化

4. 课程改革评估

教师团队设计了《图论课程学习前测问卷》和《图论课程学习后测问卷》。前测于课程开始时实施，后测于课程结束后进行。目标一是考察学生的知识掌握维度，包括图论核心概念的理解、基本定理的掌握、基本算法的运用等等。题目形式包括选择题、判断题与简单的计算证明题。目标二是考察学生的系统性思维维度，此部分采用李克特五点量表，通过一系列陈述句(如“我能清晰地阐述图论中不同概念之间的联系”、“在解决复杂图论问题时，我会有意识地将其分解为多个关联的子问题”等等)，让学生自评其系统性思维能力的变化，测量其知识结构化、关联迁移和整体分析的能力。

收集前后测数据后，使用统计软件进行配对样本检验，比较学生在知识掌握得分和系统性思维自评得分上的前后差异，结果表明课程改革取得了显著成效。在知识掌握维度，学生的后测平均分为 78 分(百分制)，显著高于前测平均分 52 分(百分制)，表明学生对图论核心概念、定理与算法的理解更为扎实，计算与证明能力得到切实提升。在系统性思维维度，学生的自评得分同样出现显著正向增长，反映出他们在学习后，对知识结构的系统性认识、概念间的关联迁移能力以及分解复杂问题的整体分析意识均得到了有效强化。

课程的最后一节进行了小组讨论，每组 6~8 名学生，围绕“知识图谱工具的使用体验与学习感受”进行开放式的集体讨论。这种方式可以激发学生之间的观点碰撞，有助于我们发现共识性观点(如普遍认为知识图谱提升了课程内容的可视化与可及性)及差异性体验(如不同学习风格的学生对其接受度与使用策略的差异)。班级总人数 56 人，其中有 52 人认为知识图谱在学习该门课程中帮助很大。

5. 课程改革的反思与总结

东华大学在图论专业课中，采用知识图谱进行辅助教学，取得了一些成果。从教师方面，知识图谱是课程系统化的实施工具，为教师精准化教学导航，并可以辅助教师智能化开发更高级的教学应用。从学生方面，知识图谱可以帮助学生实现可视化与整体认知，赋能自主学习与复习，并且有效激发他们的创新思维。对于教学团队而言，课程知识图谱本身是一个结构化的、可计算的核心教学资产。它使得课程的核心知识体系得以标准化和固化，便于教学团队对教学内容的传承、迭代和优化。对于学科而言，图论是计算机科学、运筹学、社会学、生物学等多个学科的基础工具，一个清晰的知识图谱更容易与其他学科的知识图谱进行“映射”和“连接”，揭示图论工具在不同领域的应用，促进跨学科的学习和研究。

教师团队在课程改革取得极大成果的同时，也发现了改革实施过程中的一些难点。例如，如何在有限的课堂时间内，流畅切换学生知识图谱学习和教师板书讲解两个动作是一个难点。把握不好切换的时机，会产生如下两个弊端：一是当学生正沉浸于知识图谱的交互探索时，若强行切换到教师讲解环节，容易打断其思维连续性；二是学生不愿意真正沉浸知识图谱，发挥其主观能动性，而是浮于表面，一味依赖教师的讲解证明。这些问题和难点，有待于教师慢慢找到解决策略。

基金项目

本论文受“东华大学示范教研室”项目、“东华大学智慧课程”项目(项目编号: ZHH-2025-08)及“上海市哲学社会科学规划课题”项目(项目编号: 2021BFX005)资助。

参考文献

- [1] 田卫民, 武泽尧, 隋普海. 知识图谱赋能专业课程深度开发的创新实践[J]. 中国大学教学, 2025(5): 16-25, 63.
- [2] 傅敏, 冉利敏. 学校教育数字化转型: 认知误区、潜在挑战与求解策略[J]. 中国电化教育, 2024(1): 44-50.
- [3] 都琳, 徐爽, 徐宗本. 师-生-AI 协同课堂: 人工智能赋能大学数学教育的载体及实践[J]. 中国大学教学, 2025(4): 59-65, 81.
- [4] 刘宝存, 李紫璠. 数字技术赋能高校教学: 进展、问题与对策[J]. 北京教育(高教), 2023(20): 13-17.