

高等数学环状知识图谱可视化设计与实践

郭从洲*, 李瑞瑞, 李可

信息工程大学基础部, 河南 郑州

收稿日期: 2025年2月14日; 录用日期: 2025年3月13日; 发布日期: 2025年3月21日

摘要

高等数学课程面临着知识体系庞大且复杂、教学资源分散、难以系统化等问题。知识图谱是解决这些问题的有效途径, 为了更好地展示高等数学知识点以及关联关系, 进一步发现数学概念的基础支撑作用, 设计了一种环状结构的知识图谱, 从教学实践分析, 该形式便于理解的同时能够提高学生的自主学习能力和研究分析能力。

关键词

高等数学, 环状知识图谱, 可视化, 自主学习

Visualization Design and Practice of Circular Knowledge Graph in Advanced Mathematics

Congzhou Guo*, Ruirui Li, Ke Li

Foundation Department, Information Engineering University, Zhengzhou Henan

Received: Feb. 14th, 2025; accepted: Mar. 13th, 2025; published: Mar. 21st, 2025

Abstract

Advanced mathematics courses are faced with problems such as huge and complex knowledge system, scattered teaching resources, and difficulty to systematize. Knowledge Graph is an effective way to solve these problems. In order to better display the knowledge points and relationships of higher mathematics, and further discover the basic supporting role of mathematical concepts, a knowledge Graph with a ring structure is designed. From the analysis of teaching practice, this form is easy to understand and can improve students' self-directed learning ability and research and analysis ability.

*通讯作者。

Keywords

Advanced Mathematics, Circular Knowledge Graph, Visualization, Self-Directed Learning

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

教育部在 2020 年发布的《关于启动部分领域教学资源建设工作的通知》中指出“要梳理知识图谱”。《中国智慧教育蓝皮书(2022)》同样指出“要基于系统化的知识点逻辑关系建立数字化知识图谱”。在“互联网+”、“数字化教育”、“智能化教育”的时代背景下，如何有效组织数学知识进行教学成为了一个亟待解决的问题。知识图谱的出现，为解决这一问题提供了新的思路[1]。知识图谱在数学教学中的应用研究广泛，涵盖个性化学习、自动题目生成、资源推荐、知识诊断、教师辅助、跨学科整合、学习分析、虚拟助手、协作学习和数据挖掘等多个方面。这些应用不仅提升了教学效果，也为教育研究提供了新的方向。很多学者研究分析认为，利用知识图谱构建数学课程知识体系是满足“个性化、精准化、系统化”教学需要的有效途径[2]。知识图谱可以更好地组织且个性化地传授课程知识，同时有助于教育者更好地理解学科之间的联系，帮助学生更好地组织并理解知识[3]。

当前，高等数学教学依然面临着诸多挑战，如知识体系庞大且复杂、教学资源分散、知识体系难以系统化等。利用知识图谱展示知识点之间的联系以及知识体系整体框架[4]，不仅有助于提升教学效果，还能帮助学生更好地理解和掌握高等数学知识。虽然部分高校已经开始尝试将知识图谱引入数学课程，但整体应用水平不高，存在诸多问题。在当前的大学数学教学中，知识图谱的应用虽然具有巨大的潜力，但也面临着诸多严峻的问题，这些问题严重制约了其应用效果。首先，就知识图谱的构建而言，往往缺乏系统性和完整性。高等数学本身拥有复杂且庞大的知识体系，包括微积分、微分方程、无穷级数、解析几何等多个分支，每个分支又有众多的概念、定理和方法。然而，现有的知识图谱在构建过程中，未能充分考虑到这种复杂性，导致其无法全面覆盖高等数学的各个知识点和知识间的内在联系。有些关键概念可能被遗漏，或者不同知识点之间的逻辑关系未能清晰呈现，使得学生在利用知识图谱学习时，无法获得完整、连贯的知识架构，影响了他们对高等数学的整体理解和掌握。其次，学生的参与度不高也是知识图谱在大学数学教学中面临的一个重要问题。在教学过程中，知识图谱应该作为一种辅助工具，帮助学生主动探索和发现知识。但在实际应用中，往往是由教师单方面地向学生展示知识图谱，学生只是被动地接受，缺乏主动参与和思考的机会。同时，知识图谱的可视化呈现方式较为单一，大多是静态的图表形式，缺乏交互性和动态性。学生无法根据自己的学习进度和需求，方便地对知识图谱进行操作和探索，比如无法动态地查看不同知识点之间的关联演变，或者在知识图谱上直接进行标注和笔记，这使得他们难以与知识图谱进行有效的互动，从而无法充分发挥其作用，难以有效激发学生的学习兴趣。大学数学教学中已经积累了丰富的教学资源，包括教材、课件、视频、习题集等。然而，目前的知识图谱未能与这些教学资源进行有效的整合，无法形成一个协同工作的教学支持系统。例如，在知识图谱中展示某个知识点时，不能方便地链接到与之相关的优质教学视频或习题，学生需要在不同的平台和资源中反复切换查找，这不仅浪费了时间，也降低了学习的效率，影响了知识图谱在教学中的实际应用效果。

2. 高等数学知识图谱的构建

构建高等数学知识图谱的过程涉及多个关键环节和先进技术。在构建的整个流程中，首要任务是精心梳理高等数学的重点知识，从而形成结构化的知识体系。要根据高等数学的教学大纲和各类经典教材，对每个章节的内容进行深度剖析，梳理出其中的各个核心知识点。例如，在函数与极限这一板块，极限的定义、性质、计算方法等都是重点；导数部分的导数的定义、求导法则、高阶导数等也是关键所在；微分的概念、微分与导数的关系等需要被清晰界定；积分的定积分、不定积分、积分方法等同样不可或缺；无穷级数里的正项级数、交错级数、幂级数的收敛性判定等要点要明确；微分方程中一阶微分方程、高阶微分方程的求解方法等也是重点内容。其次，要清晰地界定知识元素，如概念、定理、公式等，并明确这些元素之间的逻辑关系，在此基础上形成知识点之间的关联网络。比如，微分与导数之间存在着紧密的内在联系，微分可以通过导数进行计算，而导数则可以通过微分进行理解。这种逻辑关系的构建需要我们对高等数学知识体系有深刻的理解和把握，同时还要具备创新思维，以发现新的关联和模式；在微积分学基本定理中，牛顿-莱布尼茨公式将定积分与不定积分联系起来，存在着蕴含关系。最后，进行属性和特征的定义则是对知识图谱的进一步完善和细化，为每个知识点定义属性和特征，不仅仅是给它们贴上标签，更是赋予它们生命和内涵，使其能够更好地服务于教学、学习和研究。这需要综合考虑多个因素，如难度的准确评估、重要性的科学判断以及应用场景的广泛挖掘。以难度等级为例，不能仅仅凭借主观感受来界定，而是要通过大量学生的学习数据和练习反馈进行分析，结合机器学习和数据分析技术，构建出科学合理的难度评估模型。对于应用场景的挖掘，需要结合实际需求和学科发展前沿，探索高等数学在各个领域中的创新应用，如人工智能、数据科学、物理学等，为学习者和研究者提供更具针对性和实用性的知识引导。

高等数学知识图谱的构建过程，需要数学教师配合专业工程技术人员进行实体识别、关系抽取、图谱验证等，为了提高知识图谱构建的自动化程度和准确性还要利用自然语言处理、机器学习等技术手段^[5]。很多数学教师或者高校依赖自身的工程编译力量无法实现知识图谱训练，往往借助雨课堂、智慧树、钉钉虚拟教研室等平台实现。

3. 高等数学环状知识图谱的可视化设计

可视化设计旨在将抽象的知识点以直观、生动的方式呈现出来，了解知识脉络，降低学习难度。可视化设计主要包括图形设计和交互设计。图形设计一般采用图形化的方式展示知识点及其关联关系，使用“节点-边”来表示知识点和它们之间的连接，其中“节点”代表知识点，“边”代表知识点之间的关联关系，通过调整节点的形状、大小和颜色等属性，可以直观地表示知识点的属性和特征。交互设计是为用户提供交互式的可视化界面，使用户能够根据需要缩放、平移图谱，以及查看知识点的详细信息。

现有的知识图谱基本都是 Neo4j 图数据库和 Protege 本体建模工具进行可视化输出(图 1)。在实际使用过程中，一般学生很难像教师那样对教材中的知识点了如指掌，经常发现学生对数学知识脉络罗列不清晰、课程知识归纳总结不全面、“只见树木不见森林”等问题依然存在。出现这些问题的主要原因是用二维平面图形展示数学知识点之间的三维立体关系图带来的客观矛盾。解决这些矛盾需要借助颜色、线条粗细、几何形状等工具进行辅助展示，经过对比分析，使用环状知识图谱应用于数学知识可视化具有明显优势(图 2)。它能够深刻反映数学知识关系、知识核心和知识脉络。在环状知识图谱中，若某个知识点与其他知识点的关系线越多，其标记圆点直径也就越大，意味着知识在本章的地位越重要，就越需要学习者关注它、理解它。“环状知识图谱”的形式可以很好地将三维知识在二维平面上进行展示，突出知识关系、重要程度又能体现参与度，能够帮助数学学习者梳理知识脉络。

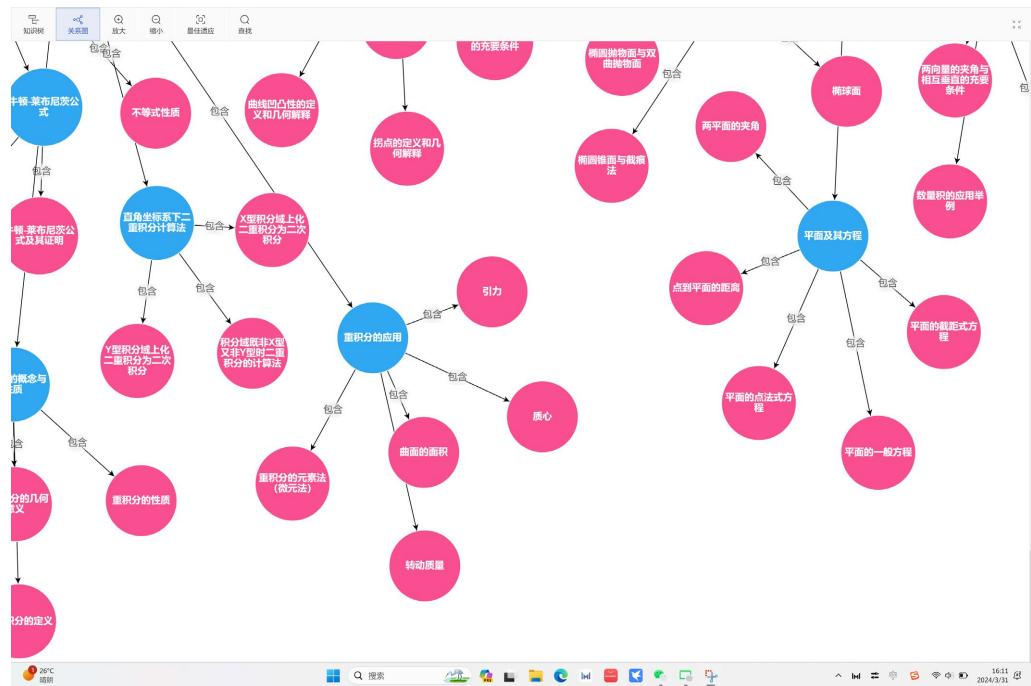


Figure 1. Examples of common knowledge graphs
图 1. 常见的知识图谱样例

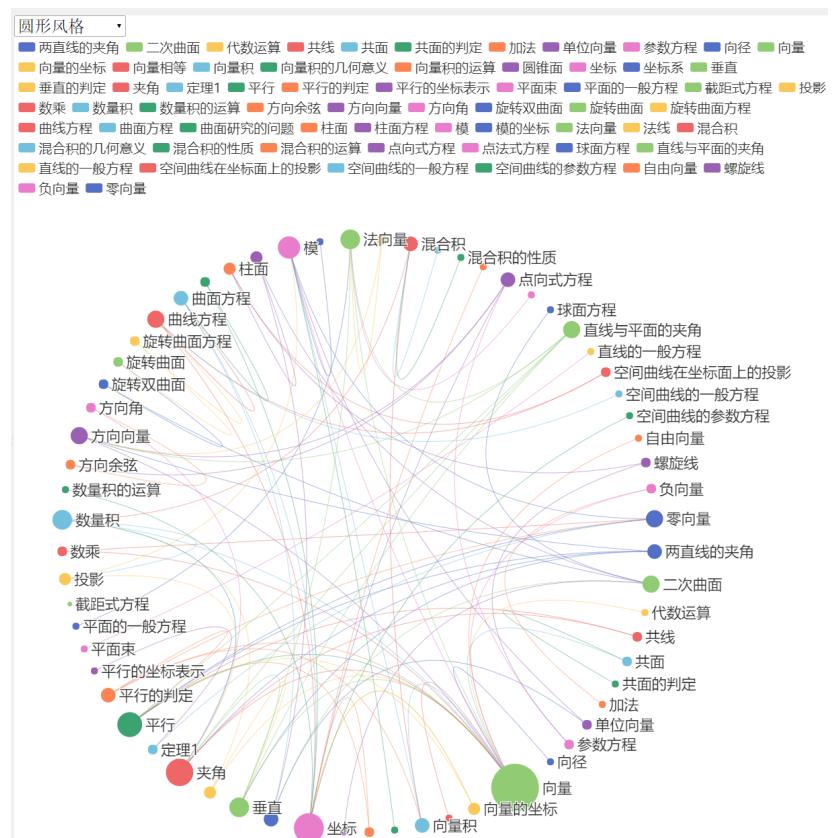


Figure 2. Example of circular knowledge map
图 2. 环状知识图谱样例

4. 高等数学环状知识图谱实践应用途径

结合以上研究的设计, 我们利用 Markdown 语法结构, 开发了一个简单的编译界面, 对高等数学的部分章节内容进行了编译设计, 并寻找其中的输入技巧(图 3)。在输入栏中进行简单的超链接设置, 自动编译栏和图示生成栏可以直接可视化输出, 具有简单的 office 使用能力的教师和学生很快就能生成自己的知识图谱。

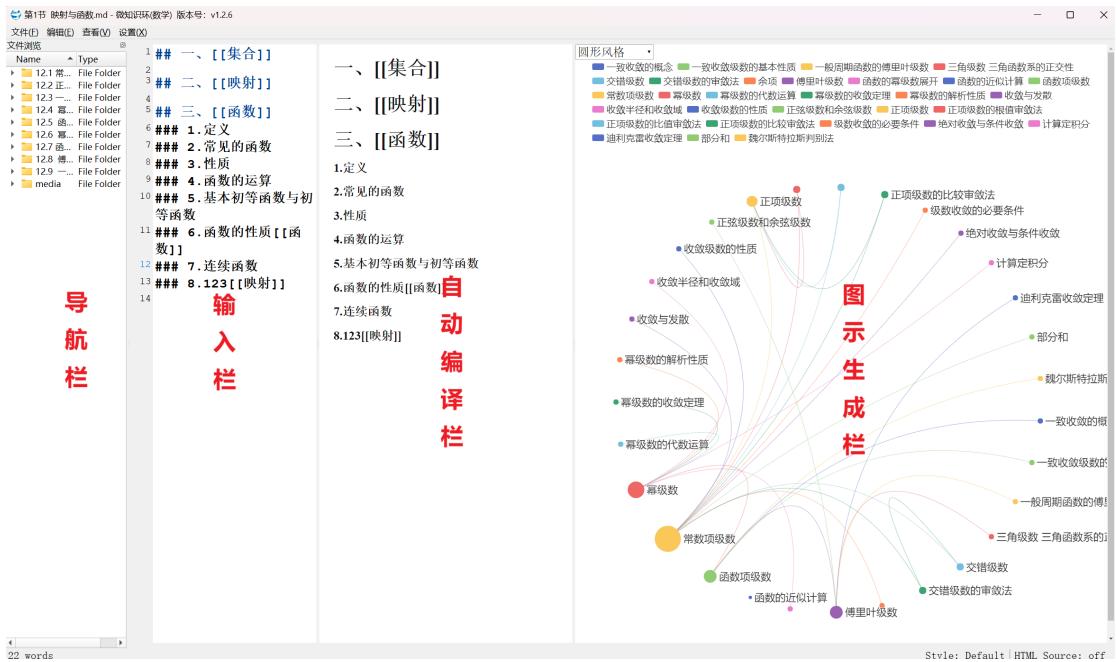


Figure 3. Interactive compiling interface of circular knowledge map of advanced mathematics
图 3. 高等数学环状知识图谱交互编译界面

为了验证环状知识图谱在辅助教学和自主学习两个方面的效果, 我们选取了 2 个教学班进行了试点实践。在辅助教学方面, 教师利用该软件作为教学辅助工具, 帮助学生快速把握章节脉络, 可以了解教材和章节的全貌; 在课堂教学中, 教师可以通过展示知识图谱来引导学生思考和理解知识点之间的关联关系, 可以发现最重要的知识点和基础概念; 在课下预习和复习阶段, 学生可以利用知识图谱进行自主学习, 通过浏览和交互可以系统地学习高等数学的知识点, 了解它们之间的逻辑关系和应用场景。从课堂反映和课后调研结果分析, 学生对本章的知识有了更清晰地认识, 对数学知识逻辑和脉络的理解也更加深刻。在学期末, 随机抽取了 50 名学生进行了问卷调查, 具体分析如下表 1:

Table 1. Results of the questionnaire on the use of knowledge graph in advanced mathematics
表 1. 高等数学知识图谱使用情况调查问卷结果

序号	问卷调查内容	环状知识图谱	普通知识图谱
1	搭建方式	92%认为简单	5%认为简单
2	个人参与程度	100%参与完成	10%参与完成
3	能否看出知识点间的逻辑关系以及知识点的重要程度	96%能看出	70%能看出
4	是否喜欢这种形状	80%喜欢	10%喜欢
5	是否愿意用于学习	83%考虑使用	13%考虑使用

5. 总结

高等数学知识图谱的构建离不开机器学习的发展，它涉及到的方法非常多，从构建过程的自动化程度不同分为手工构建、半自动构建以及自动构建；涉及到的数学方法也非常多，如张量分解方法、卷积神经网络方法、统计推理方法等等；涉及到的知识存储方式也很多，如 RDF 数据库存储、RDB 数据库存储和 GDB 数据库存储等等。随着人工智能的快速发展，高等数学的知识可视化也会出现更加便捷清晰的方式，进一步降低高等数学的学习难度，激发学生的学习兴趣。

基金项目

高等学校大学数学教学研究与发展中心 2023 年教学改革项目，编号 CMC20230401。

参考文献

- [1] Hu, Y. and Xu, B. (2023) Analysis of the Dilemma of Higher Vocational Thinking Education in China under the Background of “Internet+”. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, **9**, 1-15.
<https://doi.org/10.2478/amns.2023.1.00164>
- [2] 梁勇锋. AI 引擎助力下高等数学课程知识图谱建设研究[J]. 西藏教育, 2024(1): 47-50+64.
- [3] 张丽, 武燕. 基于知识图谱的 AI 智慧型混合式高等数学课程建设研究[J]. 教育进展, 2024, 14(12): 359-365.
- [4] 涂建华, 肖珺怡, 姜广峰. 构建微积分知识图谱助推一流课程建设[J]. 中国大学教学, 2020(11): 33-37.
- [5] 田玲, 张谨川, 张晋豪, 等. 知识图谱综述——表示、构建、推理与知识超图理论[J]. 计算机应用, 2021, 41(8): 2161-2186.