

# 基于知识图谱与可视化的复变函数论教学改革与实践研究

张 杰

湖北汽车工业学院数字经济学院, 湖北 十堰

收稿日期: 2025年12月9日; 录用日期: 2026年2月18日; 发布日期: 2026年2月24日

## 摘 要

复变函数论作为数学类专业的一门核心课程, 具有较强的理论性与抽象性, 传统教学方式往往难以激发学生的学习兴趣与深入理解。本文基于教学实践, 提出以知识图谱构建与可视化工具引入为核心的教学改革方案, 结合分课堂模式与多元化评价体系, 系统优化教学过程。实践表明, 该改革有效提升了学生的课堂参与度、知识整合能力与数学直观理解, 为高等数学类课程的教学创新提供了可行路径。

## 关键词

复变函数论, 教学改革, 知识图谱, 可视化教学

# Research on Teaching Reform and Practice of Complex Analysis Based on Knowledge Graph and Visualization

Jie Zhang

School of Digital Economy, Hubei University of Automotive Technology, Shiyan Hubei

Received: December 9, 2025; accepted: February 18, 2026; published: February 24, 2026

## Abstract

As a core course for mathematics majors, Complex Analysis possesses strong theoretical and abstract characteristics. Traditional teaching methods often struggle to stimulate students' interest and foster deep understanding. Based on teaching practice, this paper proposes a teaching reform scheme centered on the construction of knowledge graphs and the integration of visualization tools. Combined with the PAD Class Model and a diversified evaluation system, the scheme systematically

optimizes the teaching process. Practice has shown that this reform effectively enhances students' classroom engagement, knowledge integration abilities, and intuitive mathematical comprehension, providing a feasible pathway for teaching innovation in advanced mathematics courses.

## Keywords

Complex Analysis, Teaching Reform, Knowledge Graphs, Visualization-Based Instruction

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

复变函数论是数学类与部分工科专业的重要基础课，其核心内容涉及解析函数、复积分与留数等。该课程一方面强调严格证明与逻辑递进，另一方面又高度依赖几何直观(如保角变换、围道积分构造)。在常见课堂中，知识点往往以章节为单位线性推进，先修关系与概念依赖难以显性呈现；加之复函数本质上是“二维到二维”的映射，传统板书难以承载四维对象的直观表达。结果是学生容易在公式与技巧层面停留，难以形成可迁移的知识结构。

近年来，教育领域对知识图谱、可视化学习与课堂互动机制的研究不断推进。但在数学核心课程中，三者常被分散采用。知识图谱侧重资源组织，相关研究以课程建模、学习推荐与评价为主要方向，集中于高等教育情境与个性化学习支持，但与具体课堂教学流程的耦合仍不充分[1]；可视化侧重演示工具，强调用图形、动态过程与多表征互证来承载抽象对象；课堂改革侧重流程再设计，缺乏以“组织-管理-作用”链条为中心的整合性方案。

为应对上述挑战，本研究以复变函数论课程为对象，探索以知识图谱为引导、以可视化工具为支撑的教学改革路径，旨在通过结构化知识呈现与动态图形辅助，增强学生对抽象概念的感知与理解，提升课堂教学的互动性与实效性[2]。

## 2. 复变函数论教学中的问题诊断

### 2.1. 概念抽象导致认知断层，学生理解陷入困境

复变函数论的核心概念，如“解析函数”的充要条件——柯西-黎曼方程，在数学上极为优美，但其几何与物理意义对学生而言却极为晦涩。学生往往能够机械记忆公式

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial y}, \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial v}{\partial x},$$

但无法理解其背后所揭示的“保角变换”本质。这种从形式理解到实质理解的断层，使得学生在后续学习复积分、留数理论时，缺乏坚实的直观基础，只能依赖死记硬背，难以应对复杂多变的问题。

### 2.2. 知识结构呈“孤岛式”分布，缺乏系统性整合

该课程知识点密集且逻辑递进性强。例如，不理解柯西积分定理，就无法真正掌握柯西积分公式，而后者又是留数定理的基础。传统教材和教学常以定理证明为导向，割裂了知识点之间的内在联系。学生反映“每节课好像都听懂了，但学完一章回头一看，不知道这些公式和定理到底要解决什么核心问

题”，这正是知识体系碎片化的典型表现。最终，学生头脑中形成的不是一个有机的“知识网络”，而是一堆零散的“知识点仓库”，严重影响了其综合运用知识解决问题的能力。

### 2.3. 课堂生态以教师为中心，学生高阶思维能力缺失

传统的满堂灌教学模式，将课堂时间几乎全部用于教师对定理和例题的讲解。学生处于被动接收状态，缺乏提出问题、批判思考和合作探究的机会。这种教学模式培养的是学生的“模仿能力”而非“创新能力”。对于如何将一个实际问题转化为复变函数问题，又如何选择合适的数学工具(如柯西定理还是留数定理)进行求解，学生普遍感到迷茫，这正是因为课堂缺乏对数学思想与方法论的深入挖掘和训练。

### 2.4. 评价体系单一，助长“应试型”学习心态

单一的期末闭卷考试评价方式，其考察范围有限，且侧重于计算和定理证明的熟练度。这导致学生学习策略异化，普遍在考前进行突击，追求解题套路，而忽视了平时对概念的深度理解、思想的沉淀以及应用能力的培养。这种“一考定乾坤”的模式，无法对学生的逻辑思维、直观想象和建模能力等核心素养做出客观、全面的评估。

## 3. 教学改革策略的设计与实施

### 3.1. 构建多层级的复变函数论知识图谱，实现知识的结构化与导航

我们构建的知识图谱并非简单的章节列表，而是一个动态、交互、多层级的概念网络[3]。

宏观层(课程顶层设计)：展示四大核心模块(复数理论、解析函数、复积分、留数理论)之间的逻辑依赖关系，明确“解析性”是整个课程的中心主线。

中观层(章节内部结构)：例如在“复积分”模块，清晰地展示从“复积分定义”到“柯西-古萨定理”，再到“柯西积分公式”和“高阶导数公式”的推导路径，并用连线标明其是“推广”还是“应用”关系。

微观层(概念深度剖析)：针对关键概念，如“留数”，图谱会链接其计算方法(极点阶数判定、洛朗展开)、几何意义(环绕奇点时的积分贡献)以及核心应用(计算实积分)。

实施过程：在每章开始时，使用图谱进行“导航式导入”；在教学中，随时回溯图谱，定位当前所学知识的位置；在复习阶段，鼓励学生以小组形式绘制“个性化知识图谱”，将被动接收的知识转化为自身认知结构的一部分。

### 3.2. 引入多层次可视化工具，打通从抽象到直观的认知通道

可视化教学贯穿于概念理解、定理验证和问题求解的全过程[4]。

概念可视化：利用 GeoGebra 等动态数学软件，创建可交互的复平面。学生拖动一个复数点，可以实时观察其幅角与模的变化；观察复函数  $f(z) = z^2$  如何将网格线进行保角变换，从而亲眼见证“解析”的几何意义。

过程可视化：在讲解复积分时，模拟演示不同积分路径的动画。当路径在解析区域内连续变形时，积分值不变；当路径绕过奇点时，积分值的变化被清晰地量化展示，使柯西定理和留数定理变得“看得见”。

应用可视化：在讲解利用留数计算实积分时，通过图形展示积分围道的选取策略，以及实积分如何转化为复平面上的围道积分，让学生理解数学构造背后的直观动机。

课外探索：提供预设的 Python 脚本(基于 Matplotlib 和 NumPy)，学生可通过修改函数表达式，自主

生成不同复函数的图像，在“玩”中学，培养其数学实验能力。

### 3.3. 系统实施对分课堂，重构师生角色与课堂时间

对分课堂的核心理念是“权责对分”，将学习的主动权和部分时间分配权移交给学生[5]。

精讲留白(讲授内化相分离)：教师不再面面俱到，而是聚焦于核心思想、知识框架和重难点进行“精讲”，确保知识图谱的主干清晰。随后布置明确的课前学习任务(如观看 15 分钟的精讲视频、阅读图谱指定区域、完成基础性思考题)。

内化吸收(独立学习与小组讨论)：学生课后在知识图谱的指引下自主学习，并带着理解和疑问进入下一次课的“讨论环节”。讨论以 4~6 人小组为单位，围绕教师设计的挑战性问题展开，如“比较柯西定理与格林公式的异同”、“为何留数在计算实积分中如此有效？”。

对话升华(师生共同答疑与深化)：小组讨论后，教师引导全班进行交流，针对共性难题进行深入讲解，并将各组的思维成果整合到课程的知识体系中。这一过程极大地锻炼了学生的表达、协作和批判性思维。

### 3.4. 构建过程性、能力导向的多元化评价体系

新的评价体系旨在“以评促学”，全面反映学生的成长轨迹[6]。

平时表现(30%)：包括课堂讨论的贡献度、可视化作业的完成情况、以及在知识图谱上进行的标注和提问。

项目研究(30%)：设置开放性的小课题，如“利用复变函数知识，研究和展示一种电磁学或流体力学中的数学模型”，要求学生提交研究报告并进行简短答辩，重点考察其知识整合与应用能力。

同伴互评(10%)：在项目展示环节，学生根据评价量表相互评分，培养其鉴赏和批判能力。

期末考试(30%)：改革考卷结构，减少单纯的计算题，增加概念辨析、图形识别(如根据变换后的图像反推复函数)、以及开放性的证明与应用题，侧重考察对核心思想的理解深度。

## 4. 教学改革成效分析

经过两轮教学实践，通过问卷调查、成绩对比和学生访谈，改革成效显著。

### 4.1. 学习动机与概念理解深度显著提升

问卷结果显示，92%的学生认为知识图谱“帮助我理清了课程的整体结构”；88%的学生表示可视化工具“让抽象的数学概念变得直观易懂”。在访谈中，学生提到：“以前觉得柯西-黎曼方程就是一串符号，现在看到它对应的保角变换动画，才明白它到底是什么。”“看着知识图谱学习，感觉自己不是在盲目爬山，而是手持一张等高线地图在探险。”

### 4.2. 知识整合与迁移应用能力增强

对比改革前后的期末考试答卷发现，学生在解答综合性应用题时表现明显改善。特别是在“利用留数定理计算实积分”这类题目上，得分率从过去的 65% 提升至 85%。更多的学生能够在解题报告中清晰地阐述其步骤的数学原理，而非机械套用公式。在项目研究中，多个小组成功地将复变函数与专业背景结合，展现了出色的知识迁移能力。

### 4.3. 课堂生态转变，高阶思维得到激活

课堂观察记录显示，小组讨论环节学生参与度超过 90%。学生的提问从“这个公式怎么算？”逐渐转变为“为什么这个方法行不通？”、“这个定理和之前学的那个有什么联系？”，这标志着其思维从

记忆模仿层面向分析探究层面的跨越。对分课堂模式迫使学生在课前必须进行思考，从而带着“自己的问题”进入课堂，极大地提高了课堂时间的利用效率和学习深度。

#### 4.4. 评价体系更公正，学习过程更积极

过程性评价的实施，使得期末成绩的“区分度”更高，平时投入多、善于思考、积极参与项目的学生总评成绩显著优于仅靠考前突击的学生。学生反馈：“因为平时分占比高，而且形式多样，不敢在平时松懈，整个学期都保持着学习节奏，感觉知识掌握得更扎实了。”新的评价体系成功地将学生的学习关注点从“最终考试”引导至“整个学习过程”。

### 5. 讨论：挑战、失误与改进路径

#### 5.1. 主要挑战

第一，图谱粒度难以一次到位：初版图谱节点过密会造成阅读负担；节点过粗又无法服务于证明链。第二，可视化存在“认知炫目”风险：若动画与任务缺乏明确问题牵引，容易增加无关负荷。第三，讨论质量不稳定：小组中存在“搭便车”与“低水平重复”现象。第四，评价执行成本高：过程性评价需要明确量表与证据归档，否则易流于主观。

#### 5.2. 关键修正策略

针对图谱粒度问题，采用“主干必备、枝叶可选”的分层呈现：课堂只要求掌握主干节点，枝叶节点用于拓展与差异化学习。针对可视化负荷问题，按认知负荷理论将任务拆分为短步骤，并用问题单限定观察点，避免学生把注意力放在无关特效上[7]。针对讨论质量问题，引入角色轮换与可检验产出，并在全班整合时公开展示高质量解释卡，形成示范。针对评价成本问题，建立统一模板(解释卡/实验记录/项目报告)并在图谱中编号归档，便于教师抽查与回溯。

#### 5.3. 可推广条件

该方案对可推广性的要求主要有三点：(1) 教师需先完成课程主线与先修关系的显性化；(2) 可视化资源需与命题构造绑定，并能在课堂实时调用；(3) 课堂运行需有稳定的证据产出与回流机制。满足上述条件后，该方案可迁移到常微分方程、实变函数、抽象代数等证明链条明显的课程。

### 6. 局限与展望

本文的局限主要在于：其一，研究场景为单一课程与单一学校情境，学生基础与培养目标具有特定性；其二，成效证据以学习产出与反馈为主，尚缺少更严格的对照实验设计；其三，问卷与访谈存在自陈偏差，且不同教师实施时的风格差异可能影响结果。

后续研究可从三方面推进：(1) 在多学校、多专业开展跨情境比较，明确哪些环节是决定性因素；(2) 引入学习分析数据，把图谱节点访问、作业错误类型与讨论内容进行结构化编码，构建更可检验的因果链；(3) 探索教育知识图谱与智能助教结合，以图谱为约束开展个性化提示与练习推荐，并评估其对学习负荷与迁移能力的影响。

### 7. 结论

以复变函数论为对象，本文提出并实施“知识图谱 - 可视化 - 对分课堂 - 过程性评价”的整合方案。该方案把知识组织、课堂运行与管理反馈连成闭环：图谱提供结构化导航，可视化提供直观表征接口，对分课堂提供讨论内化机制，过程性评价提供可持续的证据回流。在证据链层面，学生的概念解释、方

法选择与课堂互动均呈现积极变化。在实践层面，该方案为证明型数学课程的教学改革提供了可复制的路径。

## 基金项目

2024 年湖北汽车工业院校级教学改革研究项目(JY2024060)。

## 参考文献

- [1] Peng, C., Xia, F., Naseriparsa, M. and Osborne, F. (2023) Knowledge Graphs: Opportunities and Challenges. *Artificial Intelligence Review*, **56**, 13071-13102. <https://doi.org/10.1007/s10462-023-10465-9>
- [2] 李婷, 李东方, 刘亚芳, 等. 知识可视化技术在高等数学课堂教学中的应用研究[J]. 产业与科技论坛, 2023, 22(8): 193-194.
- [3] 陈光仪, 陈义明, 乔波. 基于知识图谱的在线学习系统设计[J]. 现代信息科技, 2022, 6(13): 1-5+11.
- [4] 孙欣, 冯艳, 吴志丹, 等. MATLAB 软件可视化效果在数学中的应用[J]. 沈阳师范大学学报(自然科学版), 2014, 32(4): 549-552.
- [5] 张学新. 对分课堂: 中国教育的新智慧[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- [6] 梅小虎, 连予生, 聂健. 多元化课程评价体系的构建与应用[J]. 教育学报, 2023, 1(1): 1-3.
- [7] Paas, F. and van Merriënboer, J.J.G. (2020) Cognitive-Load Theory: Methods to Manage Working Memory Load in the Learning of Complex Tasks. *Current Directions in Psychological Science*, **29**, 394-398. <https://doi.org/10.1177/0963721420922183>