

## 基于知识图谱的分析化学智慧教学探索

朱佩佩, 汪莉, 陈莉莉, 廖勋凡\*, 陈义旺\*

江西师范大学化学与材料学院, 南昌 330022

**摘要:** 本文以分析化学课程为例, 探讨了基于知识图谱的教学资源构建与智慧教学路径的探索与实践。研究表明, 知识图谱可根据学生学习数据提供定制化学习路径和资源推荐, 提升自主学习能力, 并通过实时反馈支持教师精准干预, 优化教学内容。可视化知识图谱优化了知识整合与教学设计, 支持数据驱动的自适应学习, 为教学改革提供新思路。

**关键词:** 知识图谱; 分析化学; 智慧教学; 自适应学习

**中图分类号:** G64; O6

## Intelligent Teaching in Analytical Chemistry: An Exploration Based on Knowledge Graphs

Peipei Zhu, Li Wang, Lili Chen, Xunfan Liao\*, Yiwang Chen\*

College of Chemistry and Materials, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China.

**Abstract:** Using the Analytical Chemistry course as a case study, this paper investigates the construction of knowledge graph-based teaching resources and explores practical approaches for intelligent teaching implementation. The study demonstrates that knowledge graphs enable personalized learning pathways and tailored resource recommendations by analyzing student learning data, thereby enhancing self-directed learning capabilities. Furthermore, real-time feedback mechanisms facilitate targeted instructor interventions and content optimization. The visual representation of knowledge graphs improves knowledge integration and instructional design, enabling data-driven adaptive learning and offering innovative perspectives for educational reform.

**Key Words:** Knowledge graph; Analytical chemistry; Intelligent teaching; Adaptive learning

分析化学是化学学科的重要基础课程之一, 它涉及到化学物质的定性和定量分析, 是理解化学反应、物质性质和化学过程的核心。该课程不仅是化学专业学生的必修课, 而且在学生的科学素养、实践能力、跨学科应用能力等方面发挥着重要作用, 为他们的未来职业发展和科研工作奠定了基础<sup>[1,2]</sup>。分析化学课程特点为“多、散、难”, 即课程内容多、知识点零散且章节之间关联性不强、公式推导复杂难记忆, 导致学生在学习过程中难以消化众多知识点, 学习效果不理想。此外, 分析化学涵盖了大量的理论与实践知识, 具有高度的综合性和应用性, 知识体系复杂且庞大, 因此, 如何有效整合和呈现这些知识成为当前教学改革的重要课题<sup>[3]</sup>。在现代教育背景下, 传统的教学模式逐渐显露出其局限性, 比如较为侧重于知识点的传授, 而缺乏对知识结构的系统性整理和学生个性化学习需求的考虑。近年来, 信息化技术的兴起为数字化教育领域带来了新的机遇和挑战。教育数字化

收稿: 2024-11-20; 录用: 2025-01-15; 网络发表: 2025-04-25

\*通讯作者, Emails: xfliao@jxnu.edu.cn (廖勋凡); ywchen@ncu.edu.cn (陈义旺)

基金资助: 江西省高等学校教学改革研究项目(JXJG-23-2-17, JXJG-22-2-1, JXJG-23-2-53)

是教育高质量发展的重要战略,“党的二十大报告”提出“推进教育数字化,建设全民终身学习的学习型社会、学习型大国”<sup>[4]</sup>,为各级各类教育改革及高质量发展明确了方向。其中,知识图谱作为一种有效的信息组织和展示方式,是人工智能和大数据领域中的重要工具,推动了数据的结构化和语义化,使得信息检索和知识管理变得更加智能和高效,为解决知识结构的系统性梳理和学生的自适应学习提供了新的思路<sup>[5]</sup>。本文旨在探讨基于知识图谱的分析化学课程数字化教学资源的构建与实践,研究如何利用知识图谱技术优化教学内容、提升教学效果,并为课程改革提供有力支持。

## 1 分析化学课程改革的发展历程、现状与趋势

分析化学课程改革经历了一个从传统教学、现代教学模式到创新的数据驱动智慧教学的过程<sup>[6]</sup>。传统的教学模式下,分析化学的课程主要依赖于面对面的讲授式教学,课程内容主要由教师讲解,学生通过听讲、课后阅读和作业来学习。这种模式下教师主导课堂,内容传递主要依赖于讲授和释义,学生成绩通常主要通过期末笔试来评估,侧重于理论知识的准确性。传统教学模式下,分析化学课程教学存在以下不足:(1)分析化学课程的内容涵盖面广,涉及的理论和实验方法复杂多样。在现有的学时安排下,由于课时限制,教师只能以讲授为主,缺乏课堂互动与讨论,学生机械性地被动接收知识,缺乏深入理解与思考。同时课堂内容过多,课程学时较少而内容繁杂,给学生带来很大压力,容易导致学生产生畏难情绪。(2)传统的分析化学教学方式往往依赖于讲授式教学,这种方法可能缺乏足够的互动性和创新性。学生主要通过听讲来学习,可能导致课堂气氛沉闷、学生学习兴趣不高且参与度较低,难以培养学生的综合分析能力和创新思维。(3)许多学生在分析化学课程中的内驱力不足,可能表现为学习动机不强、课堂参与度低、自主学习能力弱等。由于采用单一授课模式,教师难以掌握学生课前预习和课后复习情况,导致很少学生会主动进行课前课后学习,从而影响课堂学习效果,造成恶性循环<sup>[7-9]</sup>。

针对以上存在的不足,教学研究者们进行了一系列的教学改革研究,包括以线上线下混合课堂、教师学生互换角色的翻转课堂形式去实现OBE(成果导向教育)和BOPPPS(以学生为中心、以目标为导向)教学模式<sup>[7,9-11]</sup>。近年来现代教学模式倾向于采用小组讨论、课堂互动等方式,增加学生的参与感和主动性。这种模式将传统课堂讲授的内容转移到课外学习中,课堂上则进行讨论和问题解决。使用在线教学平台提供课程资源、视频讲座和互动练习,支持学生进行自学和复习。

以上教学内容、教学模式的改变取得了一定的成效。但现有的分析化学混合式教学还存在以下问题:

(1)教材和教学资源不够统一、线上学习数据缺乏可视化分析与迭代更新。国内外不同高校和教育机构可能使用不同版本的教材,教学资源分散,缺乏统一的标准化教材和教学工具。同时,随着化学分析技术的不断创新和发展,分析化学课程内容也应随之更新调整,但实际现有的教学内容还停留在传统的理论基础和常规分析,未能涵盖现代分析化学的最新进展<sup>[12]</sup>。混合式教学的线上学习数据还需要人为收集与分析,缺乏智能化的数据可视化分析与迭代更新<sup>[13]</sup>。

(2)传统线性教学模式仍然占主导地位,缺乏以学生为中心的自适应学习。尽管随着互联网的快速发展,在线教育和数字化教学资源在国内也有所发展,但传统的课堂教学模式仍然占主导地位,比如各类线上线下混合式教学、翻转课堂、对分课堂、雨课堂智慧课堂等,在提高学生的参与度和积极性上取得了一定成效,但互动性和精准教学的实施相对有限。随着高校扩招,在生源多样化背景下,学生水平参差不齐,部分学生对于课程内容理解受挫后导致学习积极性不高,难以实现自适应学习<sup>[14]</sup>。

(3)知识整合和资源共享不足。存在知识分散、资源共享不足的情况。知识点零散,可能导致学生对于学科知识之间关联性的认知断层,难以将不同知识点联系起来形成完整的学科认知框架<sup>[2,7]</sup>。缺乏知识整合可能导致学生只能对零散的知识片段进行记忆,而无法深入理解这些知识点之间的联系和意义,从而削弱他们解决问题的能力。同时缺乏资源共享可能导致教学内容滞后于时代发展,

无法跟上最新的教学理念和技术,影响学生的综合素质培养。因此,基于知识关联可视化和学生自适应学习的教学资源开发还有待进一步开发和优化。

## 2 可视化知识图谱在分析化学教学中的优势

### 2.1 可视化展示知识结构,增强知识理解与掌握

可视化知识图谱将复杂的化学概念及其相互关系以图形化的方式展示,帮助学生更直观地理解不同知识点之间的相互作用和依赖关系。例如,图谱可以展示不同分析方法如何应用于不同类型的化学物质,或者展示化学反应的不同步骤及其条件。通过图谱的层次结构,学生能够清晰地看到基础概念、核心概念及其扩展知识,从而掌握知识的整体框架和细节,有助于深入理解复杂的化学理论。同时,可视化知识图谱作为复习工具,能够帮助学生快速回顾和整理学习过的知识,巩固记忆。

### 2.2 优化教学资源与课程设计

可视化知识图谱能够将教材内容、教学课件和教学视频等资源与知识图谱中的知识点进行关联,实现资源的整合和管理,方便学生和教师查找和使用。对于需要跨学科知识的分析化学课程(如化学与生物学的交叉),知识图谱能够将相关领域的知识连接起来,提供全面的学习资源。教师可以利用知识图谱来设计和优化课程结构,确保课程内容的逻辑性和连贯性。例如,根据图谱中的知识点关系,设计顺序合理的教学模块和实验活动。知识图谱的动态更新功能使得教师能够及时调整课程内容,融入最新的研究成果和技术进展,保持课程的现代性和前沿性,并实现教学资源的迭代更新。

### 2.3 支持自适应学习

基于知识图谱的学习推荐系统可以根据学生的学习进度、兴趣和掌握程度,推荐相应的学习资源和活动,提供自适应的学习支持。并通过分析学生在知识图谱中的学习情况,系统能够识别学生的知识盲点,并提供有针对性的复习资料和练习题。知识图谱支持多种学习资源的整合,如文字、图像和视频,满足不同学生的学习需求和风格。

### 2.4 促进互动与实时反馈

在课堂教学中,教师可以利用知识图谱进行互动展示,激发学生的兴趣和参与感。例如,教师可以通过图谱引导讨论,探索不同概念之间的关系。可视化图谱能够实时展示学生的学习进度和理解情况,教师可以根据图谱提供即时的反馈和指导。

### 2.5 辅助教学决策与评估

教师可通过平台了解课程学情分析,包括教学活动数据、知识点分布、教学资源分布,了解学生对不同知识点的掌握情况,教师可以调整教学内容和方法,进而制定针对性的教学策略和改进措施,优化教学效果。通过可视化知识图谱评估学生对知识的掌握程度,识别学习效果的优劣,帮助教师进行有效的评估和调整。

## 3 分析化学知识图谱的教学资源构建

基于知识图谱的分析化学混合式教学旨在开发新型教学资源,将教学内容以知识模块为单位,建立知识点之间的相互联系,并以知识图谱的模式整合和更新教材、PPT、习题、教学视频等教学资源,可以避免内容重复或冗余,旨在优化知识的传递、存储和应用,提升分析化学教学的效率和准确性。如图1所示,基于知识点、知识单元、知识关联组成的分析化学知识图谱架构应包括挂载的相关教学资源、教学活动和学情分析。采用可视化的知识图谱平台获取丰富多样的教学资源,基于知识图谱设计多样化的教学活动,包括考试、作业、测验和讨论等,并通过收集学生的学习轨迹进行学情分析,为教师和学生优化教与学路径,实现学生更主动、更高效的学习过程。实现教学方法优化和知识更新,促进学生自适应性学习的关键在于知识图谱的构建,针对分析化学课程的混合式教学,其知识图谱构建分为6个步骤,流程如图2所示。

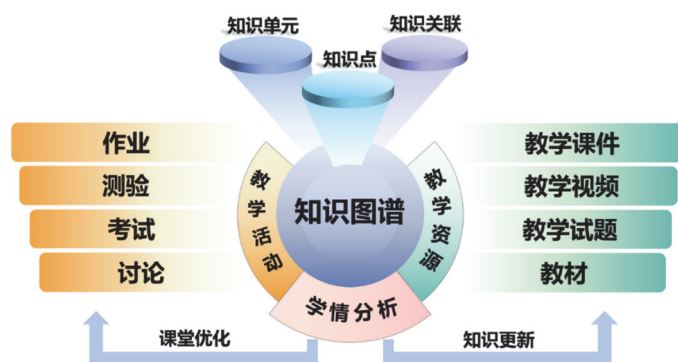


图1 分析化学知识图谱架构

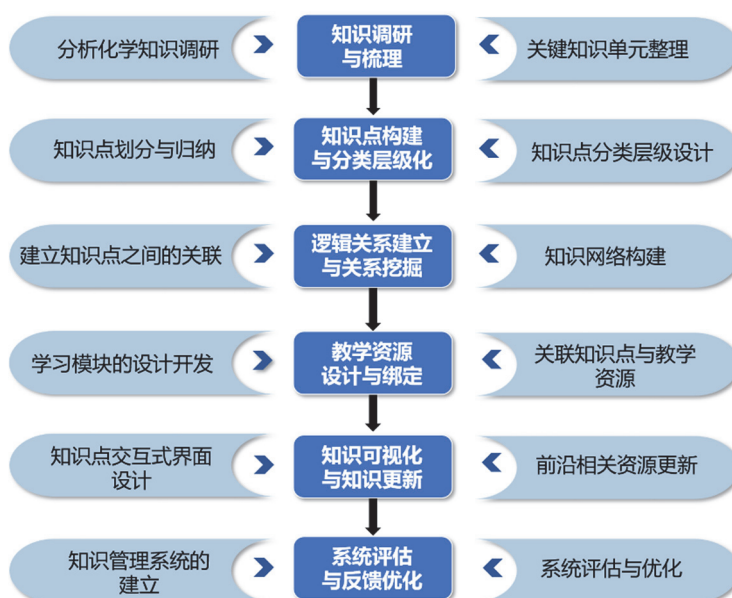


图2 知识图谱的构建步骤

### 3.1 知识调研与梳理

对分析化学领域知识进行调研，收集分析化学课程的主要教材、参考书和专业文献，整理关键概念、方法、技术等知识单元。通常包含核心概念、实验技术和理论知识。查阅相关领域的学术论文和期刊文章，以获取最新的研究成果和前沿技术。从收集的数据中提取出关键的概念、术语和实验方法等。使用自然语言处理技术(如文本挖掘)识别和抽取重要信息。将提取的知识进行整理和归类，识别出主要的知识点和子知识点。

### 3.2 知识点构建与分类层级化

基于收集和梳理后的知识点，将分析化学领域的知识进行分类和层级化。通过划分不同的知识模块和主题，帮助研究者更好地定位和获取所需信息，同时也有助于建立知识之间的逻辑关系。首先为每个知识点定义清晰的概念和属性。例如，定义“条件电极电势”作为知识单元，并描述其定义、影响因素和应用。其次构建知识点的层级结构，将知识点按层次组织。例如，将“氧化还原滴定法”分为“高锰酸钾法”“重铬酸钾法”“碘量法”等，每个类别下再细分为具体的原理、优缺点和应用。

### 3.3 逻辑关系建立和知识关联挖掘

运用数据挖掘和机器学习技术，挖掘知识点之间的潜在关联(如“包含”关系、“递进”关系、

“并列”关系等),为每种关系定义属性,描述关系的性质和特点。基于文献数据、实验结果等多源信息,发现隐含的知识模式和规律,进一步丰富和拓展分析化学领域的知识体系。例如,在分析化学课程中,涵盖酸碱滴定、络合滴定、氧化还原滴定以及沉淀滴定四大类方法。每种滴定方法的核心内容都集中在反应平衡、滴定原理、滴定曲线的构成与应用、终点误差、滴定突跃范围及其影响因素、指示剂的选择等方面。这四种滴定方法在这些知识点上既有共性,也有差异。在教学过程中,通过将滴定曲线的相关知识点串联起来讲解,学生可以更直观地理解和掌握这些内容,同时能够清晰地辨别它们之间的差异,从而提升课堂学习效率。如表1所示,分析化学课程重点章节是“四大滴定法”,有部分相同的知识点。一个共性知识点对应各级知识单元,通过横向比较知识单元之间的异同,加深对知识点的理解,促进知识的综合应用。

表1 “四大滴定方法”的知识单元与共性知识点

序号	章节	知识单元	共性知识点
1	酸碱滴定法	酸碱反应与平衡、酸碱滴定原理、酸碱指示剂、终点误差	反应平衡、滴定曲线、指
2	配位滴定法	配位平衡常数、配位滴定法的基本原理、准确滴定与判别滴定、滴定中酸度的控制、提高配位滴定选择性的途径	示剂选择原理、滴定突跃、影响突跃范围的因素、准确滴定判别式、终
3	氧化还原滴定法	氧化还原平衡、氧化还原滴定原理、常用滴定方法、滴定结果计算	点判断与误差计算
4	沉淀滴定法	沉淀滴定曲线和滴定方法	

### 3.4 教学资源设计与绑定

开发教学视频、课件、试题、测试等在线学习模块,将知识点和教学资源关联整合到线上教学。收集与分析化学课程相关的教学资源,如教材、课件、视频、习题和在线课程。按照知识图谱中的分类层级,将教学资源与相应的知识点进行绑定。例如,将“滴定曲线”相关的教学视频与课件绑定到知识图谱中的“滴定曲线”知识节点。还可以将教学资源的链接和信息以知识点描述的方式嵌入到知识图谱中,使得用户可以通过图谱访问相关资源。

### 3.5 知识可视化与知识更新

将构建的知识节点和逻辑关系进行有效的描述和可视化,以便研究者能够直观地理解和掌握分析化学领域的知识结构。使用图形化工具(如Gephi、Cytoscape等)绘制知识图谱,将知识点和关系以图形化方式展示。支持节点和边的交互式查看。知谱空间平台可提供图谱的交互功能,如放大缩小、节点高亮、关系过滤等,增强用户体验。在知识点之间建立逻辑关系,包括因果关系、相互作用关系、依赖关系等,从而呈现不同知识领域之间的联系,促进跨领域知识的交叉应用,如图3所示。可视化形式可以包括图表、网络图、交互式界面等多种类型。与此同时,分析化学领域的知识在不断演进,因此需要建立一套有效的机制来跟踪国内外最新研究成果。通过计算机软件对科学前沿和研究热点等教学资源进行提取,并关联相对应的知识点,从而不断更新和维护基于知识颗粒与逻辑关系的知识图谱资源库。

### 3.6 系统评估与反馈优化

将构建的知识点和逻辑关系、知识点关联的习题和视频等教学资源应用于分析化学教学研究中。通过具体的案例研究,验证该研究在促进教学效果、提高学习效率、支持决策等方面的实际效果。收集教师和学生知识图谱的使用反馈,评估该知识图谱的实用性、准确性和易用性。根据评估结果、用户反馈和教学实际需求,修正知识图谱中的错误与不足,优化知识点的定义及逻辑关系,并改进图谱的功能与交互设计,以提高用户体验和教学支持效果。

## 4 基于知识图谱的分析化学教学实践

分析化学混合式教学结合了传统的面对面教学和现代的在线学习资源,通过知识图谱的应用,



教师在课前发布预习任务，包括教学视频、相关教学课件和答题任务等(图5a)。教学视频详细讲解课程的基础知识点和重要概念，答题任务用于检测学生对预习内容的理解。这些任务通过知识图谱与课程中的知识点进行绑定，确保每个任务和资源都与特定的知识点相关联。学生完成课前预习任务后，平台自动收集答题数据，记录每个学生在不同知识点上的表现。利用知识图谱分析学生的答题数据，识别出学生在某些知识点上掌握不够牢固的薄弱环节，知识图谱学习展示模块将呈现数据分析结果，生成学生知识点掌握情况图(图5b)，从而帮助教师了解学生在预习阶段的学习情况，并针对性地调整课堂教学内容。根据答题数据分析结果，教师确定课前预习中的掌握率低的重难点知识点，如图5c所示。这些知识点将成为课堂讲解的重点内容，这种“先学后教”的模式可以确保学生在课堂上充分理解知识点并解决疑难问题。

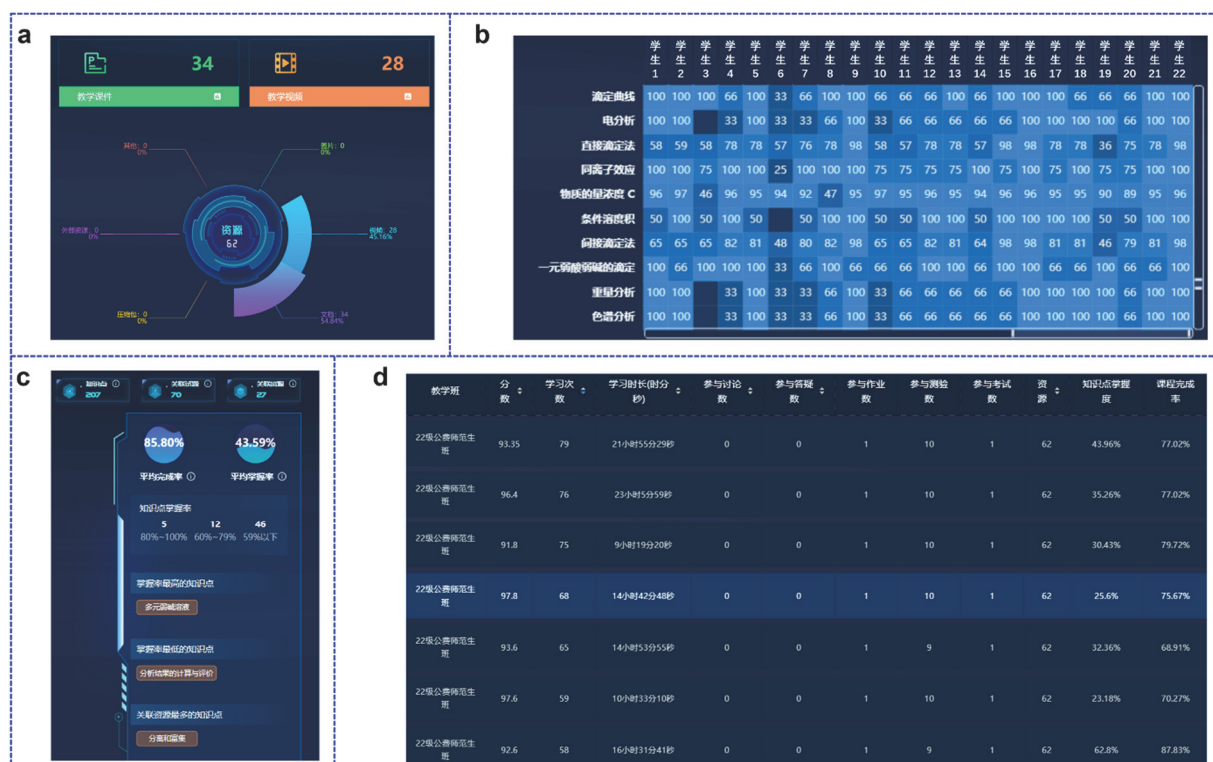


图5 (a) 教学资源分布占比; (b) 学生知识点掌握情况; (c) 知识点掌握率; (d) 线上学习成绩统计

数据均来自于江西师范大学2022级化学公费师范生班

教师在课堂上针对课前预习提取的重难点进行详细讲解。通过知识图谱展示相关知识点之间的关系，帮助学生理解复杂的概念和技术。教师利用知识图谱中的信息进行互动式讲解，鼓励学生提出问题并进行讨论，增加课堂互动和参与感。在讲解完一个知识点后，教师发送相关习题给学生，以检验他们对知识点的掌握程度。习题包括选择题、填空题等类型，测试学生对知识点的理解和应用能力。同时，教师可以布置主观题，让学生在完成后进行互评打分，这不仅帮助学生通过评价他人来巩固自己的知识，还能提高学生的批判性思维和自主学习能力。知识图谱的“学习展示”模块将对每个学生的学习数据进行统计，包括个人学习时长、完成作业和测验情况、知识点掌握率等，如图5d所示，让教师和学生都能清晰地了解知识点的学习情况和掌握情况。

根据平台所收集的学生课堂学习数据，利用知识图谱分析学生的学习数据，识别掌握程度低的知识点。根据这些数据，教师制定有针对性的课后作业，帮助学生进一步巩固相关知识。作业内容

可包括视频学习、练习题、测验和拓展阅读等，在成绩评定策略中可设置各学习模块的分数占比，最终生成成绩单(图6a)。知识图谱根据学生的学习数据绘制学习路径分布图，显示学生对各个知识点的掌握情况，如图6b所示，黄色代表已掌握知识点、红色代表未掌握知识点、灰色代表未学习知识点，学生可以通过查看自己的学习路径分布图，准确定位到想要进一步学习或者复习的知识点。根据学习路径分布图，系统为学生生成学习路径，学生可直观地从学习路径分布图中定位掌握度低的知识点(图6c)。通过对每位同学的学习数据统计，系统会推荐与每个知识点相关的学习资源。以班上某位同学的学习数据为例，从生成的学习路径图中选择未掌握的其中一个知识点(氧化还原滴定)，可以查找到该知识点的相关资源推送，包括知识点的描述、视频、课件和习题等，从而帮助学生根据自己的学习进度和需求进行自主学习，如图7所示。此外，知谱空间还会推送与知识点相关的文献、动态资源(如视频资源、网络文档等)，以及与该知识点具有关联的相关知识点(图7)。这一功能能满足学生拓展思考的需要，培养高阶能力。

## 5 结语

本文深入探讨了可视化知识图谱在分析化学教学中的独特优势，详述了分析化学知识图谱的构建方法，并通过实践教学实践探索了知识图谱在提升教学效果中的作用。通过构建基于知识图谱的教学资源库，教师能够更加有序、科学地组织教学内容，帮助学生全面理解和掌握课程知识体系，

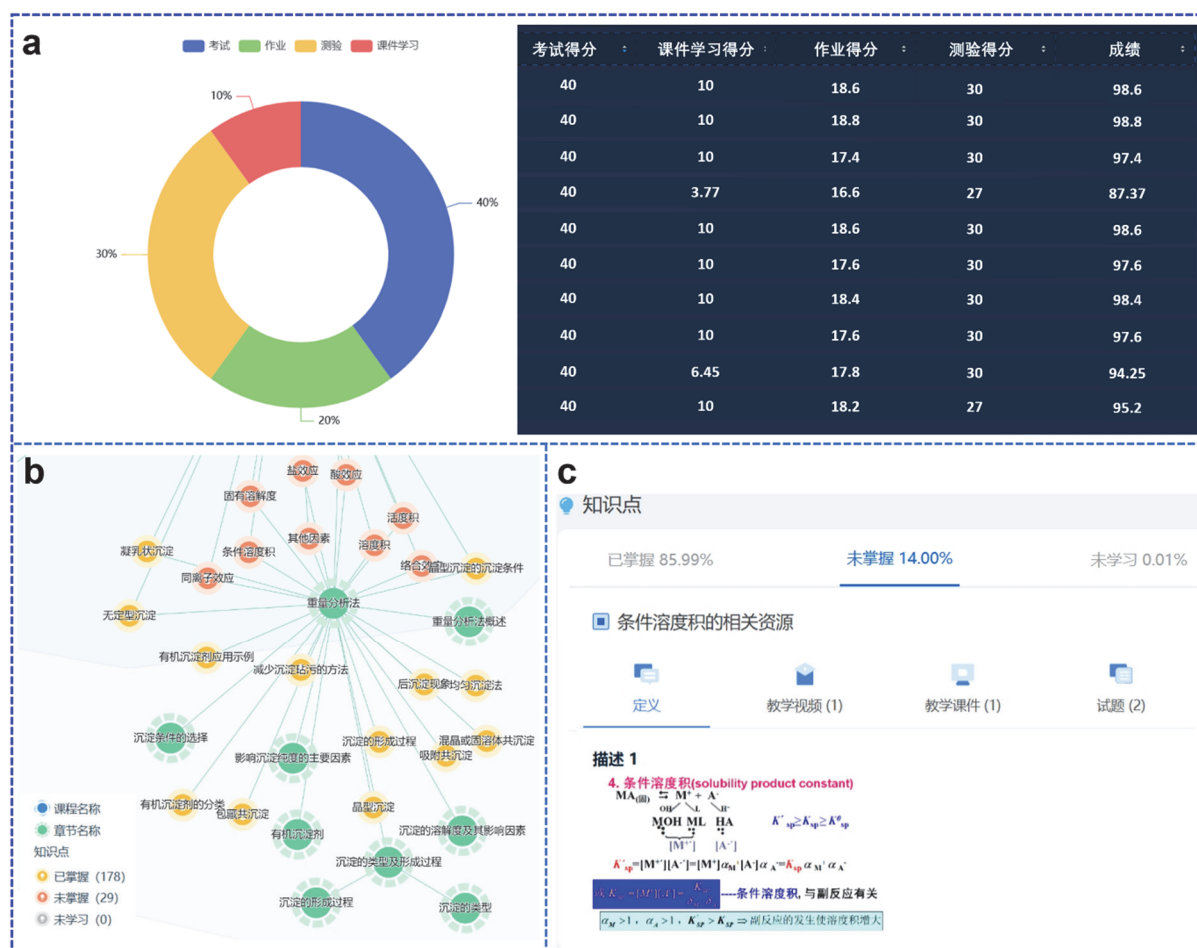


图6 (a) 成绩策略与成绩单; (b) 学生学习路径分布图; (c) 路径分布图对应的知识点掌握情况

数据均来自于江西师范大学2022级化学公费师范生班

图7 知谱空间的学习资源推荐——以“氧化还原滴定知识点”为例

同时知识图谱的可视化功能使抽象的化学概念和复杂的逻辑关系得以直观展示，极大地增强了学生对知识的理解和记忆效果。通过对学生学习数据知识图谱的分析与反馈，教师能够准确识别学生的薄弱环节，并据此进行有针对性的教学干预，从而实现精确教学，全面提升学生的学习成绩与能力素养。尽管目前的系统并未完全实现高度个性化的学习路径推荐，但基于知识图谱的学习路径和资源推荐在一定程度上满足了不同学生的学习需求，为学生提供了灵活的自适应学习途径。随着技术的进一步发展，基于知识图谱的数字化教学资源将更加完善，逐步实现更高精度的个性化学习推荐，并进一步提升教学质量。知识图谱不仅为分析化学课程的教学改革提供了有效的支持，也为其他学科，特别是理工科课程的数字化教学改革提供了有价值的参考。

## 参 考 文 献

- [1] 张振丽, 王宁, 林可欣, 代琴, 周玉菲, 曹丹丹, 党延峰. 大学化学, 2024, 39 (11), 57.
- [2] 侯娟, 周晨, 孙晶. 大学化学, 2024, 39 (4), 221.
- [3] 王玉枝, 杨屹, 魏琴, 李攻科, 张文清, 曹秋娥, 郑成斌, 薛冰纯, 羊小海, 吴朝阳, 等. 大学化学, 2023, 38 (1), 8.
- [4] 习近平. 高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告. 人民日报, 2022-10-26 (1).
- [5] 宦双燕, 蒋健晖, 李攻科, 张文清, 李娜, 杨屹, 胡斌, 田阳, 吴硕, 张四纯, 等. 大学化学, 2024, 39 (10), 22.
- [6] 黄恒琪, 于娟, 廖晓, 席运江. 计算机系统应用, 2019, 28 (6), 1.
- [7] 汪莉, 陈莉莉, 宋永海. 化学教育(中英文), 2021, 42 (12), 35.
- [8] 易莉芝, 楚家玉, 郝永超. 云南化工, 2022, 49 (6), 147.
- [9] 国大旺, 徐玲, 王曦烨, 王书妍. 广州化工, 2023, 51 (11), 320.

- [10] 杨光明, 龙云惠. 大学化学, **2024**, *39* (3), 132.
- [11] 王月, 徐红梅, 黄承洪, 许静, 周倩羽. 广东化工, **2023**, *50* (10), 223.
- [12] 张亚洲, 郭江涛, 徐锋, 陈亮, 杨勇, 刘海林. 广州化工, **2023**, *51* (14), 214.
- [13] 王磊, 段瑞红, 向天成. 广东化工, **2024**, *51* (11), 184.
- [14] 袁建梅, 李晓甜, 汪应灵, 尚学芳. 大学教育, **2022**, No. 6, 133.