

## 基于知识图谱的“无机化学与化学分析”课程信息化教学资源构建与应用研究

朱伟钢<sup>1,2</sup>, 马骁飞<sup>1,2,\*</sup>, 田昀<sup>1,2</sup>, 刘华姬<sup>1,2</sup>, 鲁凡丽<sup>1,2</sup>, 马亚鲁<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>天津大学理学院化学系, 天津 300354

<sup>2</sup>化学化工国家级实验教学示范中心(天津大学), 天津 300354

**摘要:** 近年来数字化和信息化新技术的出现促进了我国高校化学类课程教育的高质量发展, 如何构建和利用在线信息化资源成为课堂教学改革的前沿之一。本文介绍了天津大学“无机化学与化学分析”课程建设发展概况, 阐述了以知识图谱为纽带的多维信息化教学资源构建、教学模式改革探索、教学应用效果和未来改革计划。

**关键词:** 无机化学; 知识图谱; 混合式教学; 教学资源

**中图分类号:** G64; O6

## Construction and Application of Informationized Teaching Resources for the Course “Inorganic Chemistry and Chemical Analysis” Based on Knowledge Graphs

Weigang Zhu<sup>1,2</sup>, Xiaofei Ma<sup>1,2,\*</sup>, Yun Tian<sup>1,2</sup>, Huaji Liu<sup>1,2</sup>, Fanli Lu<sup>1,2</sup>, Yalu Ma<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Department of Chemistry, School of Science, Tianjin University, Tianjin 300354, China.

<sup>2</sup> National Demonstration Center for Experimental Chemistry and Chemical Engineering Education, Tianjin University, Tianjin 300354, China.

**Abstract:** Recent advancements in digital and information technologies have significantly enhanced the quality of chemistry education in Chinese universities. The construction and utilization of online information resources have emerged as a key focus in the reform of classroom teaching. This article provides an overview of the development of the “Inorganic Chemistry and Chemical Analysis” course at Tianjin University. It discusses the construction of multidimensional information-based teaching resources linked by knowledge graphs, explores innovations in teaching methodologies, evaluates the effectiveness of teaching applications, and outlines future reform plans.

**Key Words:** Inorganic chemistry; Knowledge graph; Blended learning; Teaching resources

近年来数字化和信息化新技术如互联网、云计算、大数据、云教育、人工智能大语言模型等的出现促进了我国高校教育教学的改革和进步, 提升了教学的整体质量和效率<sup>[1-3]</sup>。教育数字化是推动高等教育改革的重要力量, 涉及到教育理念改革、教育资源的丰富、教育模式创新、教育技术发展、学习范式转变、评价方式多样化等方面, 已经成为我国教育现代化的重要战略方向之一。“无机化学与化学分析”是工科化学类相关专业大一新生进校学习的第一门必修基础课程, 决定着广大学子从

收稿: 2024-08-26; 录用: 2024-09-20; 网络发表: 2024-11-21

\*通讯作者, Email: maxiaofei@tju.edu.cn

基金资助: 教育部产学研合作协同育人项目(230703924284711); 天津大学北洋学者英才计划启动经费二期; 2024年天津大学理学院本科教育教学改革研究项目; 2024年天津大学理学院研究生教育改革研究计划项目; 天津大学人工智能赋能课程建设专项项目-无机化学与化学分析

高中基础化学到专业化学学习能否顺利过渡，也影响着他们对未来从事化学类相关工作与研究的热情和兴趣。天津大学“无机化学与化学分析”课程采用互联网+教材模式，与网络课程资源相结合，线上线下混合式课堂教学模式不断更新升级知识内容、教学资源、教学模式和考核方式<sup>[4,5]</sup>。充分利用线上和线下的知识资源，理清繁杂知识点之间的逻辑关系，促进学生主动学习、高效掌握知识，同时培养学生的能力和素养。

知识图谱是一种以图形化方式展示知识和信息的技术手段，将知识点通过关系相互连接起来。在教育领域，① 能够将分散、异构的知识进行有效的整合和规范化表示，形成一个清晰、结构化的知识体系。② 帮助计算机更好地理解知识的语义和上下文，从而提高自然语言处理、问答系统等应用性能。③ 基于对知识的理解和关联，为学生提供搜索结果和推荐内容。本文探索了天津大学无机化学教学团队利用课程体系知识图谱关联多维教学资源，及其在混合式教学模式改革中的应用，来解决学生角色转变、理论实验支撑融合和能力素质培养的教学问题。

## 1 天津大学“无机化学与化学分析”课程发展近况

天津大学无机化学教学团队面向本校理工科化学类本科十多个专业，开设“无机化学与化学分析”理论课(80学时，两个学期、每学期40学时)和3门实验课(75学时，“无机化学实验”(上、下)(25/25学时)、“化学分析实验”(25学时))，每年大约5000人次的学生参与学习。除了开设适合本校学生的SPOC课程外，还面向社会学员开设慕课和继续教育课程，累计近二十万社会学习者。

从近年的发展历程看(图1)，课程从无机化学部分到整体理论课，再拓展到实验课程，从教学资源(内容)改革到教学模式改革，逐渐形成国家级一流课程群。但是多维度的课程资源分散在各门课程中，很难清晰地呈现在学习者面前，而且孤立的课程之间缺乏联系，资源间也缺乏关联。通过构建课程体系知识图谱联络资源，知识图谱展现了知识点间的逻辑关系，每个知识点又是多维信息化教学资源的载体，包含着多维信息化教学资源的知识图谱成为人工智能与教育教学融合的基础。

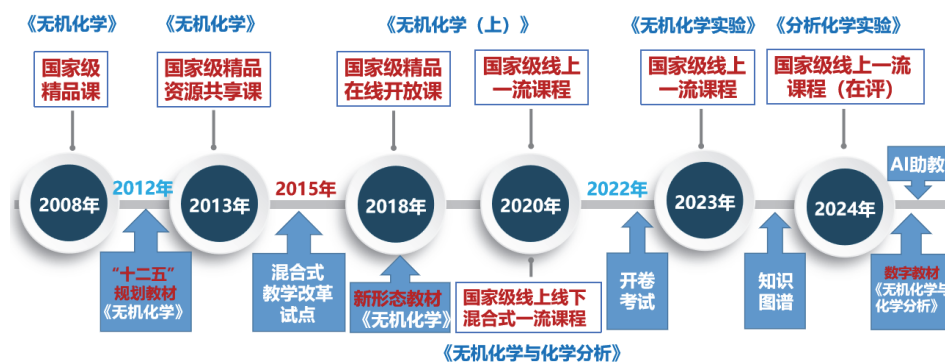


图1 课程发展和教学改革历程

## 2 基于知识图谱的在线资源建设与运用

团队以“传承-融合-创新”为理念，以学生为中心，理论课教学加强以“内容拓展”“实际应用”和“思政案例”为特征的教学内容改革，实验课教学以“水平提升，角色转变”为特征的内容改革，构建“理论在线课-实验在线课-课程思政-知识图谱”资源协同、具有全方位育人功能的“无机化学与化学分析”课程体系，实现理论课教学与实验教学、线上教学和线下教学无缝对接。

### 2.1 “无机化学与化学分析”知识图谱构建

“无机化学与化学分析”课程在超星在线平台开展信息化教学的内容资源建设，构建关联资源知识点288个(187(上学期)+101(下学期))，形成了“理论在线课-实验在线课-课程思政-科学素养-知识图谱”多维信息化资源，利用这些资源协同，实现课程体系的育人功能。课程群MOOC/SPOC门户

包含了“无机化学与化学分析2A、无机化学与化学分析2B、无机化学实验(上)、无机化学实验(下)、化学分析实验”五门课程(图2)。在传承的基础上,通过融合构建集理论课在线教学资源、实验课在线教学资源、课程思政素材、科学素养素材、知识图谱(关联视频、课件、习题)等信息化资源于一体的“无机化学与化学分析”课程体系,实现了教学资源创新。在这些信息化在线资源基础上,借助数字化人工智能技术完成知识图谱的创建,将本课程复杂的知识点、抽象理论、实验现象等以图形化的方式生动呈现出来,帮助学生自主学习和个性化学习,实现了教学模式创新。

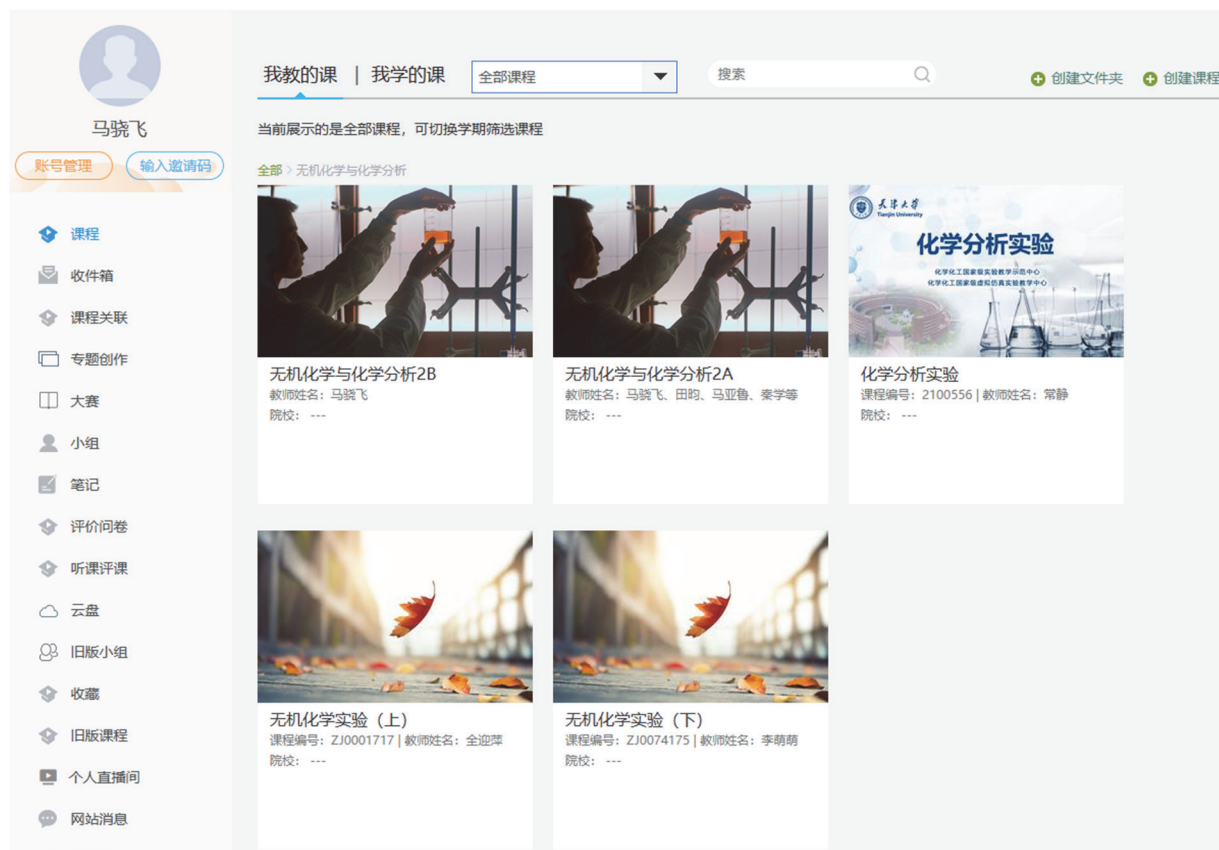


图2 超星平台课程群

## 2.2 知识图谱为纽带的多维信息化资源构建

团队通过融合方式,将基础化学-新工科、科研-教学、课堂-实验、思政元素-课程育人融合,构建利于学生自主学习的多维信息化特色资源,助力学生角色转变。

如图3所示,SPOC中教师提供给学生的学习笔记不仅指明知识点重点难点,还有归纳总结、理论对比,方便学生深度学习。演示实验让学生在接触知识点时,就对相应的化学反应有感性的认识。与知识点关联的课程思政案例,润物细无声,培养创新思维、科学素养和家国情怀。以知识图谱为纽带,将思政元素和科学素养素材以资源方式关联知识点,在学习知识点时,将资源推送给学生。

以知识图谱为纽带,将知识点关联的资源连结,不但知识体系结构清楚,而且多维度信息化资源也安家落户在各个知识点。如:知识点“核外电子分布”(图4a)关联资源:思政素材、单元测试、学习笔记;知识点“电极电势的应用”(图4b)关联资源:两个演示实验视频。将无机化学理论课与实验课知识点关联,智能推送实验教学资源(有跨课标记的资源即为实验课与该知识点对应的信息化实验项目),使学生在线上学习过程中能够及时将课程知识点与实验现象结合,提高学习效率,借用人工智能技术知识点与实验无缝对接、即时关联(图4c)。

### 学习笔记

**《无机化学》学习笔入**

第八章 配合化合物

- 了解配合物的基本概念、配合化合物的组成和命名。
- 熟悉配合物的价键理论，并能用来说明配合物的空间构型、稳定性和磁性。
- 基本掌握配位平衡、稳定常数及有关计算。
- 了解配合物的概念和配合物的应用。

知识点:

- 配合物 中心原子(或离子)与配体以配位键结合形成的复杂化合物。
- 配位原子 配体中提供孤电子对与形成体形成配位键的原子。
- 配位个体 形成体与一定数目配体形成的结构单元。
- 影响配位数大小的因素: 中心离子、配体、外界条件。

**价键理论**

**基本理论 — 杂化轨道**

一些双原子分子价键的形成。 描述分子几何构型。

不能很好地说明多原子分子(CH<sub>4</sub>)的价键形成和几何构型。 不能解释某些分子(O<sub>2</sub>)的结构和性质以及稳定存在(CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>。

同一个原子的原子轨道线性组合。

**分子轨道理论**

分子中, 不同原子的原子轨道线性组合。

分子具有整体性和离域性, 只要分子的体系能量降低, 单电子成键, 应用范围广。 计算机技术推动了MOT发展

### 思政案例

序号	思政教育的融入点	教学成效
1	给元素安家落户的门捷列夫-5.4 元素性质周期性	拓宽视野 培养科学素养
2	氯的发现	承担社会责任 工匠精神
3	第6章 分子结构与性质 居里夫人的科研艺术人生	科学素养, 创新意识, 高尚品德
4	第5章 原子结构与元素周期性 柳大纲院士科学研究与工农业发展联系, 为我国钾肥工业发展奠定基础。	爱国奉献 顽强拼搏 团队协作精神
5	第10章 碱金属碱土金属 申泮文院士与储氢合金	爱国情怀 拓展学生视野
6	第6章 分子结构与性质 第13章 过渡金属 中国古代元素探索对人类的贡献	中国优秀传统文化教育及家国情怀
7	徐如人院士分子筛多孔催化材料研究; 首次提出“现代无机合成化学”学科	爱国奉献 勇于创新
8	徐光宪 n + 0.7 规则 5.3 原子中电子分布 多电子近似轨道能级图	爱国敬业 勇于探索 以国家需求为己任

### 演示实验

四硝合汞(II)离子的生成及络盐的鉴定

铜锌原电池

重铬酸铵分解

(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> → Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + N<sub>2</sub> + 4H<sub>2</sub>O

图3 特色信息化教学资源构建

(a)

原子结构和元素周期性

- 核外电子分布
- 原子核外电子分布规律
- 元素周期系与核外电子分布的关系

核外电子分布

关联学习资源数: 5

任务点 非任务点

5.3.1核外电子分布.mp4

5.3.2元素周期系与核外电子分布关系...

4思政案例-徐光宪规则.mp4

核外电子分布

关联学习资源数: 5

任务点 非任务点

名称 类型

第五章测验 章节测验

知识点学习笔记5.pdf

(b)

电极电势的应用

- 判断原电池的正负极
- 判断氧化剂、还原剂的相对强弱
- 计算原电池电动势
- 计算难溶电解质溶度积
- 电极电势的应用
- 氧化还原反应与电极电势
- 氧化还原反应与电极电势

电极电势的应用

关联学习资源数: 4

任务点 非任务点

氧化还原反应先发生在电极电势相差较...

氧化还原反应与电极电势的关系.mp4

4-2-5电极电势的应用.mp4

(c)

酸碱反应和沉淀反应

- 2.2.5多元酸、碱的滴定...
- 2.2.2酸碱指示剂—无机...
- 第3章 酸碱溶液的配制及...
- 2.2.4一元弱酸的滴定...
- 第4章 混合碱的测定—化...
- 电导、多相离子平衡—无...
- 第5章 多相离子平衡—无...

图4 知识图谱中知识点关联资源实例

### 2.3 知识图谱在线上线下混合式教学模式中的应用

团队探索了知识图谱在线上线下混合式教学模式中的应用(图5)。

在学生自学阶段,先测试,通过与知识图谱关联的测试题目的完成情况,借助人工智能技术了解学生学习基础,为其提供具有结构化、互动性和个性化的学习内容。学生以此开展视频和课件为主的资源学习,并完成内嵌的测试题目,人工智能技术再根据学生掌握情况,形成学习者新画像,服务于个性化培养、更好地实现因材施教,这个过程也让学生完成了课前预习。

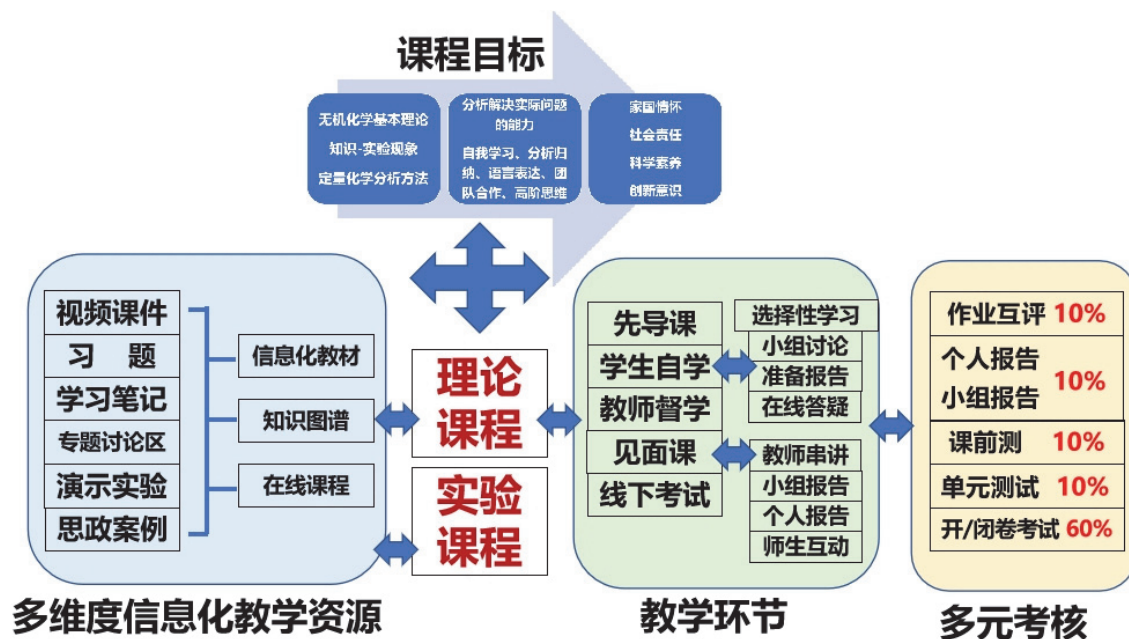


图5 基于知识图谱的混合式教学育人模式

线下见面课时,教师已经掌握学生的学习情况,根据学情及时调整教学内容,关注学生能力培养。见面课由课前测试、学生报告、教师串讲和师生互动构成。用学习通完成“课前测”;教师串讲碎片化的知识之间的逻辑关系,引导学生对知识的整体理解;中间穿插学生报告、形成师生互动。上学期课程中学生以小组为单位进行报告或问题讨论,讲述角度多样,伴有个人见解,教师引导由浅入深。下学期元素部分课程的个人报告会知识将知识点与生产生活相结合,增强了知识运用的能力;教师有意识地将思政元素引入报告,实现科学素养、创新意识和家国情怀培养。以知识图谱为纽带,将课堂教学和实验教学联系。将科学素养素材和思政元素以资源方式入库,并关联知识点,在学习知识点时,将拓展资源作为素材推送给学生,帮助其完成小组讨论和翻转课堂报告,这也体现了知识图谱在课堂教学互动中的灵活运用。学生创建或收集的素养素材和思政元素同样可以关联知识点后收入素材库,供下届学生选用学习。这样就可以实现多维信息化教学资源协同,资源可持续更新,构建育人课程体系。

学习平台利用知识图谱对教学支持和管理,进行过程学习和课后复习督导,实现个性化管理。对于“难溶电解质的溶度积和溶解度关系”知识点,在教师构建的SPOC平台上,提供2个学习资源,学生平均完成率为68.18%(图6),说明学生并没有学习全部资源而是选择性学习;4个关联试题检验学生对知识点的掌握情况,掌握率达到了94.32%。这是该班的总体情况,点击详情可见每个学生选择的学习资源和该知识点掌握情况,以及向他推送的学习资源。教学设计就是希望通过学生选择性学习磨平基础知识差异,达到见面课要求;同时试题的完成情况会以单元测试(占总评成绩10%)形式计算到学生成绩中,另外见面课上课前测的结果也计入总成绩,督促学生自主学习。



图6 SPOC平台上的学习资源及个性化督导管理情况

利用知识图谱,通过知识的可视化,利用图解手段展示教学内容,促进学生理解和记忆,同时激发学习兴趣和思考能力;通过关联学科知识点与教材等内容,提升教师们备课的效率和质量;进行个性化教学,提高教学质量和效率。目前,知识图谱作为多维资源的载体,在课前预习和课后复习的线上部分发挥重要作用,线上提高学习效率且有利于课堂互动的知识储备和学生能力培养。

#### 2.4 教学效果与改进计划

利用知识图谱和在线信息化资源,实现学生学习角色的转变,培养学生创新思维和提升课程高阶性,利用学习平台对教学支持和管理,进行过程学习督导,个性化管理;探索出多元考核办法,保障教学设计环节实施,解决个性化学习和理论实验支撑融合的教学问题。在对课程评价的问卷调查中,绝大多数学生(>80%)认为基于知识图谱的线上线下混合式教学模式,相比于传统课堂教学来说,体验感更好,教学资源丰富,可以提高学习效率,培养自主学习、语言表达、分析归纳和协同合作的能力,体现出科学素养、创新意识和家国情怀的培养,将思政元素和价值引领更加充分地融入课程教学过程(图7),得到了学生们的好评和肯定。

2024年春季教学开始尝试超星平台提供的AI助教,尽管数据库基础知识储备丰富,但对于跨学科、新兴领域或复杂的综合性问题,存在知识覆盖不足的情况;对每个学生独特的学习风格、背景和需求的理解和响应还不够精准和灵活。AI助教目前主要是辅助教师答疑,尚未运用到其他教学场景中,当前超星AI助教是网页版的,而学生习惯用学习通APP学习,未来知识图谱构建的合理性和AI助教的智能化需要完善提高,教师需要大量时间和精力去完善知识图谱关联关系以及丰富AI助教的资源库,目前团队正在帮助超星和高教社平台做AI助教训练。

团队已经与化学工业出版社签订合同,2024年底出版依托超星平台的数字化教材《无机化学与化学分析》,计划2025年春季开启人工智能教学新范式的试点。整合所有多维信息化教学资源于一本数字化教材之中,增强学习体验,利于个性化学习,内容随时更新,交互性强(包含互动练习、测试和反馈机制)。依托平台实现教材运行,除了线上学习行为,学生的原本线下学习行为(小组讨论、个人笔记、作业和作业互评、翻转课堂报告等)也会记录即时反馈给师生,平台也可以精准把控、评价学习效果,推送相应的资源去弥补学习缺失;同时为教学决策提供依据,帮助教师优化教学策略和方法。

### 3 结语

在我国高等教育数字化发展背景下,天津大学“无机化学与化学分析”课程蓬勃发展,从最初的纸质教材编写完善、国家级教学示范中心的建设,到近期的线上电子资源建设利用、开展线上线下混合式教学改革。团队将人工智能技术通过知识图谱融入线上线下混合式教学的学生自主学习,

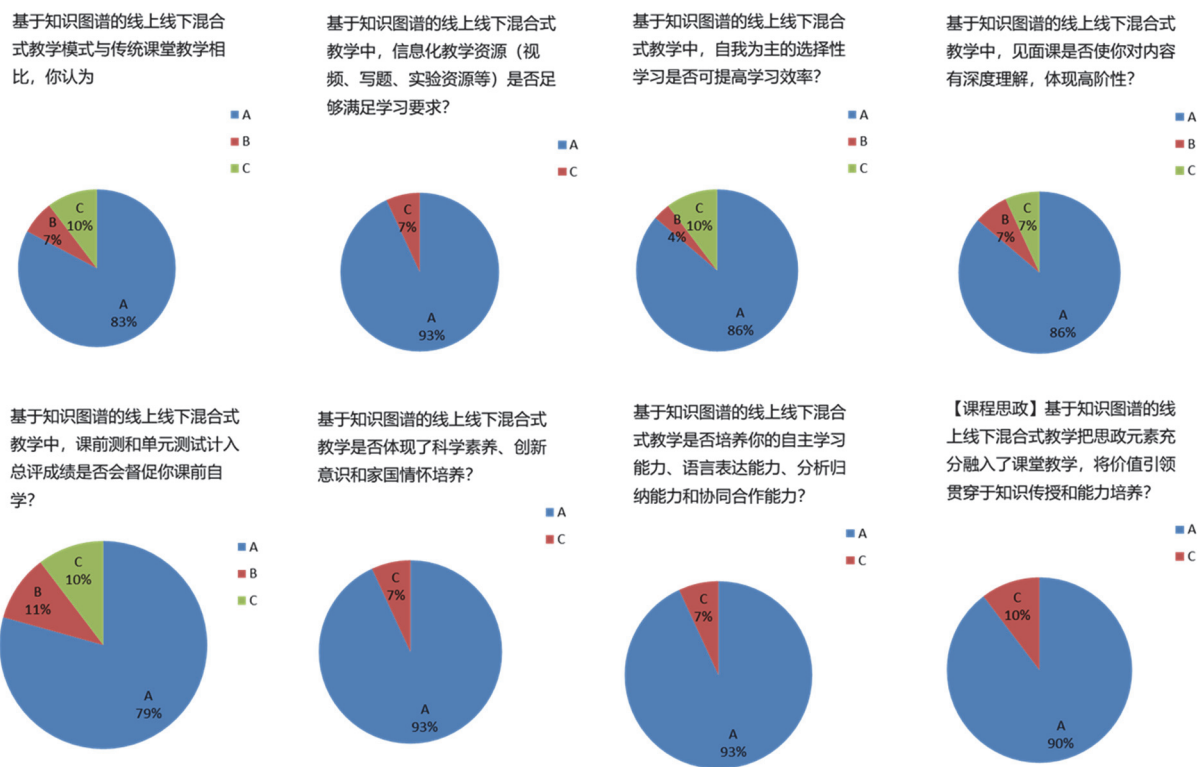


图7 无机化学与化学分析2A课程的问卷调查结果统计

(A) 好; (B) 不好; (C) 无法确定

实现从知识图谱构建、个性化学习与精准教学、学情分析和学习资源精准推送四个方面确定人工智能与教育教学深度融合方案, 用来解决学生角色转变、理论实验支撑融合和能力素质培养的教学问题。

知识图谱在高校化学课程改革中的价值主要体现在教学资源整合、内容更新、方法手段革新、学生学习效率提升和创新能力培养等多个方面, 但是, 构建完善的知识图谱需要大量数据的支持和算法实现, 对平台有着较高要求, 对授课教师本身的数据处理和新技术接受使用能力也有要求, 对师生来说需要一段时间的过渡适应, 相应的教学评价体系也亟需完善优化。在未来的改革发展中, 增强交互性、跨学科整合、结合人工智能的个性化学习、信息化资源的开放共享等是重要的方向。目前, 团队所面临的知识图谱和AI助教等智能化水平、课程群资源建设、教师投入大等不足之处, 亟需各方关注和努力来完善解决。

最后借用教育部部长怀进鹏院士2023年2月14日世界数字教育大会的讲话“发展数字教育, 推动教育数字化转型, 是大势所趋、发展所需、改革所向, 更是教育工作者应有之志、应尽之责、应立之功。”与大家共勉。

## 参 考 文 献

- [1] 郑永和, 刘士玉, 王一岩. 中国远程教育, 2024, 44 (6), 3.
- [2] 李志民. 中国教育信息化, 2024, 30 (1), 71.
- [3] 黄孝章, 代曼宁. 教育教学论坛, 2021, No. 42, 65.
- [4] 马晓飞, 马亚鲁, 高洪苓. 大学化学, 2021, 36 (2), 2004061.
- [5] 马晓飞, 马亚鲁, 田昀, 秦学, 高洪苓, 刘华姬, 鲁凡丽. 大学化学, 2018, 33 (11), 15.