

## 知识图谱与AI助教在无机化学混合式教学中的初步探索 ——以“沉淀溶解平衡”的教学为例

李玲<sup>1,\*</sup>, 王国成<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 湖北大学化学化工学院, 武汉 430062

<sup>2</sup> 湖北大学本科招生院, 武汉 430062

**摘要:** 在数智技术发展的背景下, 针对无机化学混合式教学中存在的问题, 初步探索了无机化学“数智化”教学改革策略。建设知识图谱, 开设AI助教, 将知识图谱与AI助教应用于无机化学教学中, 构建AI赋能的无机化学教学模式。以“沉淀溶解平衡”的教学为例, 说明知识图谱、AI助教在学生学习中智能导学、伴学的应用情况, 以及在教师精准把握学情、优化教学策略中的作用。通过课后测和课程考核成绩证明这种AI赋能的教学能够提高学生的学习意愿。

**关键词:** 知识图谱; AI助教; 无机化学; 混合式教学; 数智化

**中图分类号:** G64; O6

## Preliminary Study on the Knowledge Graph and AI Teaching Assistant in Blended Teaching of Inorganic Chemistry: Taking the “Precipitation Dissolution Equilibrium” as an Example

Ling Li<sup>1,\*</sup>, Guocheng Wang<sup>2</sup>

<sup>1</sup> College of Chemistry and Chemical Engineering, Hubei University, Wuhan 430062, China.

<sup>2</sup> Undergraduate College, Hubei University, Wuhan 430062, China.

**Abstract:** In the context of advancing digital intelligence technologies, this study preliminarily explores reform strategies for “digital intelligence” in the blended teaching of inorganic chemistry, aiming to address existing challenges. A knowledge graph was constructed, and an AI teaching assistant was implemented, both of which were integrated into the blended curriculum to develop an AI-enhanced teaching model for inorganic chemistry. Using “precipitation dissolution equilibrium” as a case study, we demonstrate how the knowledge graph and AI teaching assistant facilitate intelligent guidance and accompaniment in students’ learning. Additionally, we highlight the role of educators in accurately assessing student learning conditions and optimizing teaching strategies. Results from post-class assessments and course evaluations indicate that this AI-enhanced approach significantly improves students’ motivation to learn.

**Key Words:** Knowledge graph; AI teaching assistant; Inorganic chemistry; Blended teaching; Digital intelligence

随着信息技术的发展和系列国家级精品开放课程的建设, 线上线下混合式教学成为教学改革主

收稿: 2024-07-11; 录用: 2024-09-13; 网络发表: 2024-11-11

\*通讯作者, Email: lingli@hubu.edu.cn

基金资助: 湖北大学知识图谱建设项目(无机化学)

流方向<sup>[1,2]</sup>。无机化学是化工与制药类、材料类、化学类专业学生的第一门必修课，与高中化学相比，学习的难度与广度大得多。如何引导学生转变学习方式、形成自主学习习惯，并在教学中培养高阶思维是教学改革中重点关注的问题<sup>[3]</sup>。众多高校通过课程教学改革打造系列具有高阶性、创新性和挑战度的无机化学混合式金课<sup>[4-6]</sup>。通过建设丰富的线上教学资源，培养学生自主学习的习惯，结合智慧教学工具对学习过程进行评价管理，提升学生的高阶学习能力，但是依旧存在如下的问题。

(1) 大部分学生存在学习“危机感”。

无机化学是针对大一新生开设的第一门专业必修课，相比高中化学的学习，短间接受大量的新知，学生不能准确判断自己的学习情况，教师的答疑不及时，可能导致学生加重学习危机感，降低学习兴趣。

(2) 难以满足个性化学习需求。

学生的生源地不同，导致学生对学习的需求不同。我校的混合式教学中，虽然出版了《无机化学MOOC导学》用于指导学生进行线上学习，旨在增强学习的导向性，但也无法真正根据学生不同的基础进行学习导航。

(3) 学生学情评价精准度不足。

在混合式教学中，虽然能够借助智慧教学工具加强线上线下学习过程的管理与评价，能够获取学习反馈，掌握学情，但是缺少对知识点由点到面的评价，难以精准把握学情，无机化学课程建设的持续改进比较难。

近年来，以互联网、大数据、云计算、人工智能、区块链、元宇宙等为代表的数字技术迅猛发展，并被广泛应用到社会生产和生活之中。推动教育的数字化转型、加强培养学生的数字素养成为国际组织和世界各国教育改革的重要趋势。2012年，谷歌正式提出了“知识图谱”(Knowledge Graph)的概念。知识图谱作为一种整合数据的重要技术，近年来被越来越多的学者引入教学领域，主要是利用知识图谱描述教育领域知识及其关联关系，帮助学生掌握课程基本知识体系，提供个性化的学习路径，帮助教师掌握学生学情。AI助教是超星泛雅平台增设的课程相关的数据搜索功能，通过课程资料学习和后台的设置能够实现智能问答、资源推送。在AI助教后台中，教师上传课程相关的各种学习资料，包括电子版教材、教师下载各种无机化学相关期刊文献等，对AI助教进行专业训练。学生在学习过程中遇到疑难问题，可以通过AI助教寻求一对一解答。知识图谱与AI助教等数智技术的出现，为教育带来新的可能性，将持续推动教育领域的深刻变革<sup>[7]</sup>。因此，需要对无机化学进行“数智化”的改造，利用知识图谱、人工智能等新技术、新手段，赋能课程建设与运行，提高课程学习自适应性，融合形成的多路径、个性化、智能化新型课程模式<sup>[8,9]</sup>。

## 1 无机化学的“数智化”改造

### 1.1 建设无机化学知识图谱

基于课程团队在学银在线建设的省级一流线上课程无机化学进行“数智化”改造，建设知识图谱，关联课程学习资源，将碎片化的资源进行重构、整合，形成清晰的课程知识点脉络及资源归纳。通过课程内容的拆解与知识点的梳理，初步建立知识图谱，关联课程的学习视频、试题、拓展资源，呈现知识系统的结构化与可视化，如图1所示。直观地将知识点的网络结构进行呈现，其中每个知识点包含知识点画像、知识点简介、知识点结构。提供学生知识点学习学习路径，帮助学生开展个性化学习。

### 1.2 开设AI助教

超星AI助教与超星泛雅网络课程平台(学银在线)深度融合，内嵌于泛雅课程平台，同时对接了超星大模型的文档问答能力，能够快速扩充其知识库范围，针对课程的内容与知识进行知识答疑、资源推荐、智能出题、学习督促提醒等，同时具有独立的管理后台。基于此，开设了AI助教，在管理后台上传课程资料，并针对学生在线学习过程中遇到的常见问题，在AI知识库中预先录入答案及

相似问法。AI助教能够基于对课程资料的智能学习，围绕课程内容24小时进行学习答疑，并且提供答疑的来源，如图2所示。

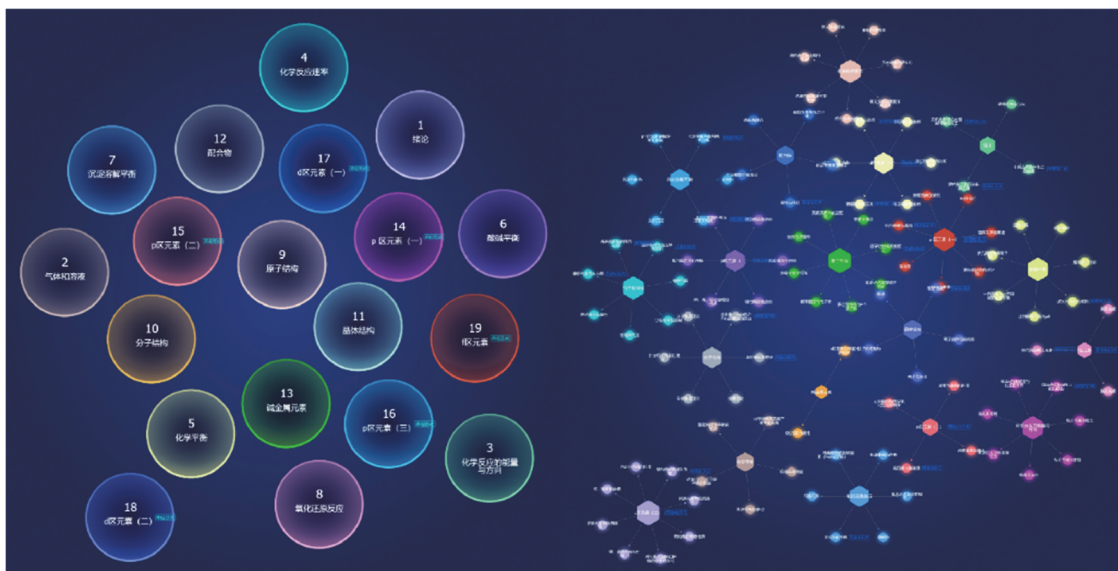


图1 无机化学知识图谱(学银在线)



图2 AI助教的互动样例

## 2 知识图谱与AI助教在无机化学混合式教学中的应用案例

我校工科无机化学学时为64学时，4学分。基于近5年的混合式教学的探索，线上慕课学习学时为17学时，线下课堂教学47学时。课后作业与反思不占课程总学时，每一单元的课后作业与反思时间因学生基础不同，所需要花的时间不同。期末考核占60%，期中测验占10%，学习过程的考核占30%。学习过程的考核包括线上视频学习(25%)、单元自测(30%)、分组任务(25%)、主题讨论(5%)、课堂互动(10%)、学习次数(5%)。在原有的无机化学混合式教学模式上<sup>[3]</sup>，增加了知识图谱与AI助教的使用，不改变课时分布与考核方法。知识图谱用于学习导航；AI助教帮助学生答疑解惑，出具的相关练习与推荐的学习资源为了满足学生个性化学习需求，练习与阅读完成度不计入成绩。教师基于线上平台与学习过程的反馈，结合知识图谱与AI助教，能够更好地掌握学生的学情，从而优化教学。以“沉淀溶解平衡”的教学为例，说明具体应用情况。

## 2.1 慕课学习

慕课学习时, 学生可以根据知识图谱中的知识点提示的资源, 将学习路径推荐机制应用于自主学习。先依据知识图谱中的单元模块查看知识点的网络结构, 学生根据学习兴趣或学习基础, 点击知识点进行学习, 并且在学习的过程中, 可以结合AI助教答疑解惑。教师则可以结合知识图谱了解学生的对知识点的掌握情况, 从而优化课堂教学, 如表1所示。

表1 慕课学习中的数智化元素与教学/学习活动

数智化元素	教学/学习活动
知识图谱知识点导航	学生根据知识图谱, 了解单元知识点结构网络图, 明晰每一个知识点的课程资源、练习题, 根据学习需求进行自主学习, 并可以利用AI助教对学习过程中的疑问进行答疑
知识图谱知识点评价	教师根据线上课程学习平台的互动, 视频学习的弹窗提问的回答情况, 结合知识图谱对知识点的评价, 初步发现“沉淀的转化”与“pH对沉淀溶解平衡的影响”的掌握度比较低, 结合AI助教后台提问的问题统计, 剖析学生学习中的难点, 进一步优化课前测、课堂讨论任务与小组任务

## 2.2 课堂教学

结合知识图谱分析, 学生对基本概念性的知识掌握得比较好, 例如溶度积、溶度积规则, 因此在课堂教学中只用作简单回顾, 但是在溶度积规则的具体应用方面理解不足, 需要在课堂的教学中加强。并且针对化工专业的人才培养需求, 创设情境, 引导学生讨论, 具体流程如表2所示。

## 2.3 课后反思

完成课堂教学后, 学生可以使用知识图谱查看自己的掌握情况, 依据知识图谱推荐的学习路径, 进行复习巩固, 如图3所示。学生界面进入知识图谱, 点击知识点, 就会呈现对知识点的掌握情况。知识图谱会依据个人的掌握情况, 推荐学习路径, 包括课程资源和拓展资源。拓展资源包括与知识点相关的开放课程资源、图书、期刊、视频与图片等等。当知识点掌握情况超过90%, 知识图谱则不推荐学习路径。

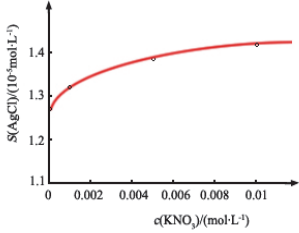
学生还可以根据个人学习需要, 进一步结合AI助教定制个人练习。教师在课后结合知识图谱, 掌握学生的学习情况, 并能清楚地知道同学之间的差异性, 如表3所示。由于知识图谱的各个知识点关联了课程的所有学习资源, 包括任务点、试题等, 能够根据学生完成任务点的情况和试题作答正确率给出学生对知识点的掌握程度。教师则可以结合知识图谱了解全班对该知识点的掌握情况, 发现平均掌握率在81.73%以上。进一步可以查看学生的具体掌握程度, 调出掌握度比较低的学生, 分析掌握得比较薄弱的知识点。针对知识点掌握程度低的同学进行靶向薄弱知识点的辅学, 并加强对这些同学的督学管理。

## 3 AI赋能的教学效果

2023级化工在无机化学混合式教学中使用了知识图谱与AI助教, 课堂教学活动得到进一步优化。为了考查初步使用知识图谱与AI助教的教学效果, 使用“沉淀溶解平衡”的课后测成绩进行分析。笔者将2023级化工与2022级化工的该单元课后测客观题与主观题进行对比, 结果如图4所示。

客观题为选择题与判断题, 主观题为简答题与计算题, 试题设置了关联知识点, 课后测的答题情况也反映在知识图谱知识点的掌握情况中。对比客观题发现, 除了第2题, 其余每道题的正确率23级化工均高于22级化工, 尤其是第4题, 正确率提高了近20%。对比主观题的得分率发现, 23级化工的高分段(90分以上及满分)共提高了约13%, 低分段(70分以下)降低了近10%。

表2 课堂教学活动

教学活动	基于知识图谱设计的教学活动	设计意图																
课前测	(1) 判断正误: 根据同离子效应, 沉淀剂过量越多, 沉淀越完全	(1) 综合测评学生对同离子效应与盐效应中“溶度积规则”的理解程度																
	(2) 判断正误: 沉淀的转化方向只能由溶度积大的向溶度积小的沉淀转化	(2) 测评学生对沉淀转化中溶度积规则的理解																
	(3) 选择: 溶液中FeCl <sub>2</sub> 和CuCl <sub>2</sub> 两者的浓度为0.10 mol·L <sup>-1</sup> , 向其中通入H <sub>2</sub> S至饱和。判断沉淀生成情况属于下列哪一种。已知FeS的K <sub>SP</sub> <sup>θ</sup> = 6.3 × 10 <sup>-18</sup> , CuS的K <sub>SP</sub> <sup>θ</sup> = 6.3 × 10 <sup>-36</sup> , H <sub>2</sub> S的K <sub>a1</sub> <sup>θ</sup> = 8.9 × 10 <sup>-8</sup> , K <sub>a2</sub> <sup>θ</sup> = 7.1 × 10 <sup>-19</sup> A. 先生成CuS, 后生成FeS B. 先生成FeS, 后生成CuS C. 只生成CuS, 不生成FeS D. 只生成FeS, 不生成CuS	(3) 测评学生对酸溶液中溶度积规则的理解																
核心概念回顾	$J > K_{SP}^{\theta}$ 平衡向左移动——沉淀析出 $J = K_{SP}^{\theta}$ 处于平衡状态——饱和溶液 $J < K_{SP}^{\theta}$ 平衡向右移动——无沉淀或沉淀溶解	回顾核心知识点, 引导学生理解溶度积规则是“反应商判据”在沉淀溶解平衡中的具体应用																
思考讨论	(1) 难溶的BaSO <sub>4</sub> 用于消化系统的X光透视中, 因为不能透过X射线, 屏幕可以很清楚的显示消化系统。患者在透视之前, 要服用BaSO <sub>4</sub> 与大量Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 溶液混合均匀的糊状物, 原因是什么?	(1) 引导学生根据溶度积规则理解同离子效应																
	(2) AgCl 在 KNO <sub>3</sub> 溶液中的溶解度(25 °C)说明了什么? 	(2) 引导学生根据溶度积规则理解盐效应																
	(3) 思考: 观察下表, 说明什么问题? <table border="1" data-bbox="367 1384 798 1473"> <tr> <td><math>c(\text{Na}_2\text{SO}_4)/\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}</math></td> <td>0</td> <td>0.001</td> <td>0.01</td> <td>0.02</td> <td>0.04</td> <td>0.100</td> <td>0.200</td> </tr> <tr> <td><math>S(\text{PbSO}_4)/\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}</math></td> <td>0.15</td> <td>0.024</td> <td>0.016</td> <td>0.014</td> <td>0.013</td> <td>0.016</td> <td>0.023</td> </tr> </table>	$c(\text{Na}_2\text{SO}_4)/\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	0	0.001	0.01	0.02	0.04	0.100	0.200	$S(\text{PbSO}_4)/\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	0.15	0.024	0.016	0.014	0.013	0.016	0.023	(3) 引导学生理解相同离子的强电解质的盐效应与同离子效应在不同浓度条件下的主导作用
	$c(\text{Na}_2\text{SO}_4)/\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	0	0.001	0.01	0.02	0.04	0.100	0.200										
$S(\text{PbSO}_4)/\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	0.15	0.024	0.016	0.014	0.013	0.016	0.023											
(4) 课前测第(1)题分析(见此表课前测部分, 下同)	(4) 课前测再测, 测评学生通过思考讨论对同离子效应与盐效应中“溶度积规则”的本质理解, 分析, 得出正确结论																	
例题分析	(1) 例题分析 ① 在1 L Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 溶液中使0.010 mol的CaSO <sub>4</sub> (K <sub>SP</sub> <sup>θ</sup> = 7.1 × 10 <sup>-5</sup> )全部转化为CaCO <sub>3</sub> (K <sub>SP</sub> <sup>θ</sup> = 4.9 × 10 <sup>-9</sup> ), 求Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 的最初浓度为多少? ② 如果在1.0 L Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 溶液中使0.010 mol的BaSO <sub>4</sub> (K <sub>SP</sub> <sup>θ</sup> = 1.1 × 10 <sup>-10</sup> )完全转化为BaCO <sub>3</sub> (K <sub>SP</sub> <sup>θ</sup> = 2.6 × 10 <sup>-9</sup> ), 问Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 的溶液最初浓度为多少?	(1) 结合例题分析, 引导学生理解沉淀转化中溶度积规则的本质, 并理解沉淀转化方向的难易程度																
	(2) 课前测第(2)题分析	(2) 课前测再测, 测评学生通过例题分析对沉淀转化中“溶度积规则”的本质理解, 分析, 得出正确讨论																

(待续)

(续表2)

教学活动	基于知识图谱设计的教学活动	设计意图								
例题讨论	(1) 例题讨论: 25 °C下, 于0.010 mol·L <sup>-1</sup> FeSO <sub>4</sub> 溶液中通入H <sub>2</sub> S(g), 使其成为饱和溶液(c(H <sub>2</sub> S) = 0.10 mol·L <sup>-1</sup> )。用HCl调节pH值, 使c(HCl) = 0.30 mol·L <sup>-1</sup> 。试判断能否有FeS生成	(1) 结合例题讨论, 引导学生理解酸中溶度积规则及相关计算								
	(2) 课前测第(3)题分析	(2) 课前测再测, 测评学生例题讨论对酸中溶度积规则的理解, 共同分析, 得出正确讨论								
小组任务	(1) 江西冶铜业与铜矿废水的处理。  江西的冶铜业源远流长 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;">             除去不溶性固体杂质后              主要污染物  <math>c(\text{H}^+) = 0.1 \text{ mol/L}</math> pH=1  <math>c(\text{Cu}^{2+}) = 0.05 \text{ mol/L}</math>              ↓ ?              依照国家GB8978-2003              《污水综合排放标准》              中性水 (pH≈7)  <math>c(\text{Cu}^{2+}) \leq 1 \times 10^{-7} \text{ mol/L}</math> </div>	(1) 增强民族自信, 增强保护环境的社会责任。								
	(2) 用哪一种沉淀剂? <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>常见含铜难溶物</th> <th>溶度积常数 <math>K_{\text{SP}}^{\theta}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cu(OH)<sub>2</sub></td> <td><math>2.2 \times 10^{-20}</math></td> </tr> <tr> <td>CuS</td> <td><math>6.4 \times 10^{-36}</math></td> </tr> <tr> <td>CuCO<sub>3</sub></td> <td><math>1.4 \times 10^{-10}</math></td> </tr> </tbody> </table>	常见含铜难溶物	溶度积常数 $K_{\text{SP}}^{\theta}$	Cu(OH) <sub>2</sub>	$2.2 \times 10^{-20}$	CuS	$6.4 \times 10^{-36}$	CuCO <sub>3</sub>	$1.4 \times 10^{-10}$	(2) 理解酸中溶度积规则的应用, 能够针对具体的化工情境进行分析应用。基于计算发现使用氢氧化物作为沉淀剂形成Cu(OH) <sub>2</sub> , pH = 7时Cu <sup>2+</sup> 不达标。得出结论使用硫化物沉淀Cu <sup>2+</sup>
	常见含铜难溶物	溶度积常数 $K_{\text{SP}}^{\theta}$								
Cu(OH) <sub>2</sub>	$2.2 \times 10^{-20}$									
CuS	$6.4 \times 10^{-36}$									
CuCO <sub>3</sub>	$1.4 \times 10^{-10}$									
(3) 用哪一种硫化物? <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>常见硫化物</th> <th>市场价格</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Na<sub>2</sub>S</td> <td>3000/吨</td> </tr> <tr> <td>ZnS</td> <td>4050/吨</td> </tr> <tr> <td>FeS</td> <td>800/吨</td> </tr> </tbody> </table>	常见硫化物	市场价格	Na <sub>2</sub> S	3000/吨	ZnS	4050/吨	FeS	800/吨	(3) 理解沉淀的转化的应用, 加强学生的工程意识。FeS不仅成本低, 基于沉淀的转化, 可转化为CuS	
常见硫化物	市场价格									
Na <sub>2</sub> S	3000/吨									
ZnS	4050/吨									
FeS	800/吨									
拓展小结	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <b>应用</b> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 重要的化工原料NH<sub>4</sub>Cl的提纯  <math>\text{FeCl}_3 + 3\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow + 3\text{NH}_4\text{Cl}</math></li> <li>• 工业废水的处理  <math>\text{Hg}^{2+} + \text{S}^{2-} = \text{HgS} \downarrow</math></li> <li>• 含氟牙膏有助于防止蛀牙  <math>\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F} \rightleftharpoons 5\text{Ca}^{2+} + 3\text{PO}_4^{3-} + \text{F}^-</math></li> </ul>	了解沉淀溶解平衡在化工、生产、生活中的应用								

为了进一步说明知识图谱与AI助教在无机化学混合式教学中的教学效果, 对比两个班的期末总评成绩。线上线下学时分布相同, 课程考核方案相同, 期末考试试卷难度相近, 2个班课程考核成绩如图5所示。相比2022级化工, 2023级化工的优秀率提高了约5%, 80–89分的比例提高了约9%, 低分段(60–69分)的比例降低了27%。22级化工的平均分为70.00, 23级化工的平均分为77.19。两个班的地域性分布接近, 人数相近, 均使用了基于进阶式任务的混合式教学<sup>[3]</sup>。2023级化工增加了知识图谱与AI助教的使用, 教师也基于知识图谱与AI助教优化课堂教学, 并融入了化工情境。说明结合知识图谱与AI助教赋能的无机化学混合式教学提高了学生的学习意愿。

#### 4 结语

知识图谱与AI助教为学生提供了学习路径与24小时的答疑服务, 解决了学生学习的“危机感”, 学生可以通过知识图谱了解自己学习上的不足, 选择适合的学习路径提升学习效果。另一方

面，教师能够结合知识图谱与AI助教后台的问题统计，更精准地掌握学生的学情，进而更好地优化教学策略；并且定位知识图谱中不同知识点掌握程度较低的学生，进行个性化辅学措施，也实现了



图3 学生知识图谱界面

表3 课后反思中的数智化元素与教学/学习活动

数智化元素	教学/学习活动
<p>AI助教人机互动</p> <p>AI助教对铜矿废水处理的相关回答</p> <p>AI助教对“pH对沉淀溶解平衡的影响”定制的个人练习</p>	<p>学生课后结合知识图谱了解自己对该知识点的掌握情况，结合AI助教答疑解惑，并根据自己具体的学情，请AI助教出具相关练习。AI助教在回答疑问和出具练习均标注具体来源</p>
<p>知识图谱班级掌握度的评价</p> <p>教师根据知识图谱进行精准评价，了解平均掌握度，筛选出掌握度较低的学生，了解知识点掌握的薄弱程度，加强督学管理与辅学措施</p>	

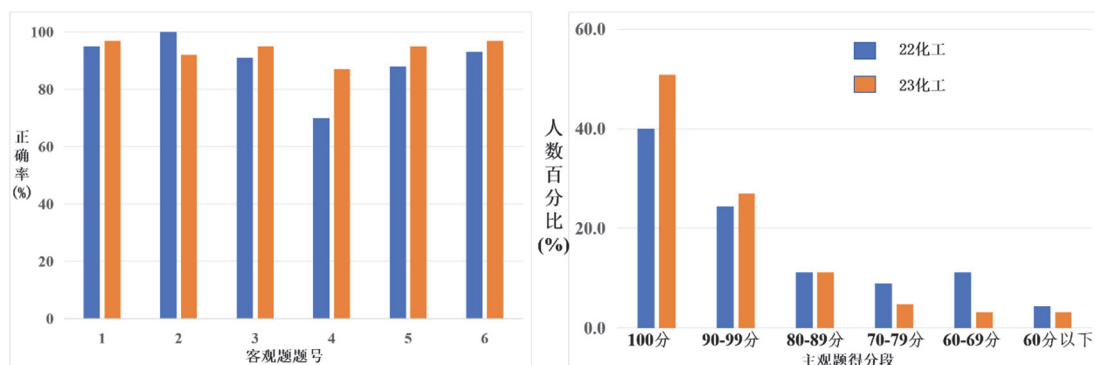


图4 “沉淀溶解平衡”课后测客观题与主观题成绩对比

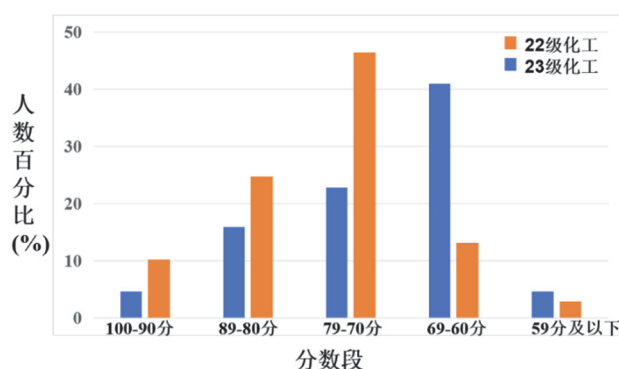


图5 课程考核成绩对比

“因材施教”，为课程的持续改进提供了方法。知识图谱与AI助教的使用在我校无机化学混合式教学的改革还在初步探索阶段，还需要进一步优化知识图谱中的层序结构，还需要进一步统计AI助教未能回答的问题，设定AI助教的人工回答内容。并根据知识图谱和AI助教反映的学生的学情，进一步优化教学内容与教学活动，丰富课程资源和课程习题、例题的设置等。AI赋能的无机化学教学改革探索也需要通过多次的实践与反思，才能得到理想的教学效果。

#### 参 考 文 献

- [1] 胡文远, 钟国清, 杨定明, 蒋琪英, 张欢. 大学化学, **2021**, 36 (12), 2105064.
- [2] 邱海霞, 杨秋华, 曲建强, 李坤, 马亚鲁. 大学化学, **2020**, 35 (2), 10.
- [3] 李玲, 王娟, 张驰, 王峥, 朱文华, 田丽红, 王应席. 大学化学, **2021**, 36 (7), 2011026.
- [4] 王莉, 张丽荣, 范勇, 徐家宁, 宋天佑. 化学教育(中英文), **2022**, 43 (14), 78.
- [5] 王莉, 张丽荣, 徐家宁, 宋天佑. 化学教育(中英文), **2021**, 42 (22), 12.
- [6] 常开文, 齐乔芳, 杨志军. 河南教育: 高教版(中), **2022**, No. 10, 46.
- [7] 祝智庭, 张博, 戴岭. 中国教育信息化, **2024**, No. 3, 3.
- [8] 王静, 李应岐, 方晓峰, 郑丽娜. 教育研究前沿进展, **2023**, 2 (3), 12.
- [9] 中国政府网. 广播电视信息, **2017**, No. 8, 1.