

AI 智能体作为对话伙伴对中学生工程思维影响的教学实践研究——以废旧电路板中金属的回收为例

A Study on the Influence of AI Agents as Dialogue Partners on Engineering Thinking Among Middle School Students—Taking Metal Recovery from Waste Circuit Boards as an Example

郭瑶瑶, 李亚菲, 孔令倩, 范艳花*
河南大学化学与分子科学学院
*fanyanhua9080@163.com

【摘要】 本研究采用定量的研究方法, 以“废旧电路板中金属的回收”为例, 探讨了 AI 智能体作为对话伙伴对高中生工程思维发展的影响。通过对实验组同学和对照组同学在金属回收方案过程中的量化评价, 发现使用 AI 智能体能显著提升学生在预见性与风险评估维度表现力, 同时在问题与目标界定、具体化与模型构建等多个工程思维维度也展现出积极的促进作用。这表明 AI 智能体作为对话伙伴融入工程教育可以为学生提供认知脚手架的作用, 并为学生解决实际工程问题提供新的教学路径。

【关键词】 AI 智能体; 工程思维; 化学教学。

Abstract: This study employs a quantitative research methodology, using “metal recovery from waste circuit boards” as a case study to examine the impact of AI agents as conversational partners on the development of engineering thinking among high school students. Quantitative evaluations of both experimental and control group students during the metal recycling process revealed that AI agents significantly enhanced students' performance in foresight and risk assessment dimensions. Additionally, they demonstrated positive effects across multiple engineering thinking dimensions, including problem and goal definition, concretization, and model construction. This indicates that integrating AI agents as dialogue partners into engineering education can serve as cognitive scaffolding for students, offering novel pedagogical pathways for solving real-world engineering problems.

Keywords: AI agents, engineering thinking, chemistry teaching

1. 引言

为实现高水平科技自立自强, 进入创新型国家的战略目标, 必须从基础教育开始就重视对学生工程思维的培养。在高中化学教学过程中可以通过创设真实问题情景, 以实际的化工生产过程为研究对象, 借助相关资料对化工生产原理、流程进行分析与设计, 培养学生将化学知识应用于工程实践的能力(武亚亨等, 2025)。然而在目前化学教学过程中, 有关工艺生产教学还面临着两大困境, 其一: 教学多倾向于知识传授, 缺乏与真实复杂工程问题相联系的情景; 其二: 在有限的课时与师生比制约下, 教师难以对每位学生的思维过程进行深度追踪、个性化提问与即时反馈, 致使学生的思维训练多停留在浅层。近年来, 随着生成式人工智能

的发展为破解这一难题提供了全新可能。但是目前的通用大模型如：ChatGPT、DeepSeek 等还存在生成内容的不确定性、理解问题的非持续性以及生成内容专业性差问题很难满足教育实际需求(张港生, 2025)。此外，结合现有研究多数聚焦于 GAI 作为知识检索工具或内容生成器的功能，而对其作为对话式认知伙伴在促发高阶、多元化思维方面的潜能与实践机制尚缺乏深入的研究。为解决这些问题，本研究旨在探究：在真实的化工生产教学中，定制化 AI 智能体如何作为对话伙伴来促使学生工程思维的多元化发展。

2. 研究现状

近年来，随着生成式人工智能与多模态交互技术的发展，教育智能体已逐步具备对话引导、情境模拟、过程追踪与个性化反馈等能力(Xi 等, 2025)。在科学教育中，AI 智能体的角色正从传统的“知识传递者”转变为“学习协作者”与“思维引导者”。例如：Tang,等(2025)通过 GPT-4o 定制专属 AI 智能体，使其通过苏格拉底提问和多角色辩论，有效提升了学生的科学推理、多视角思考及论证能力。Fang 等, (2025)开发了 AI 教学代理 (AIPA) 系统应用于 STEAM 课堂教学，发现能有效增强学生协作倾向和问题解决倾向。而在高等工程教育中，(Kong 等, 2023)则将 GPT 系统整合到化工精馏课程中，让其扮演交互学习助手角色帮助学生完成“生成-验证-迭代”的化工循环过程，进一步提升学生工程决策思维。这些案例表明，AI 智能体可以为工程思维教学中高阶思维的发展提供实时、交互、可适配的帮助。

3. 研究方法

3.1. 参与者

本研究采用定量的研究方法，在河南省某公立高中二年级开展以“废旧电路板中金属的回收”为主题的项目式学习活动。参与者为自愿报名的 40 名学生，将其随机分成 20 个学习小组，其中 10 个小组不借助 AI 智能体，由教师逐步引导完成相关任务；另外 10 个小组则与定制化 AI 智能体共同合作完成工艺回收，每次对话交互时长限制为 10 分钟，最终对 20 个小组工艺设计作品进行评分。

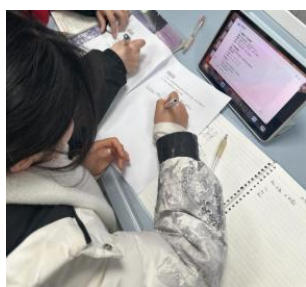


图 1 学生与 AI 智能体互动讨论



图 2 学生汇报展示

3.2. AI 智能体创设

本研究通过智谱清言创设 AI 智能体，首先赋予他工程顾问的角色，然后要求它遵循苏格拉底式提问法，以追问形式引发学生思考，不能直接提供完整回收流程或具体操作答案，仅能以提问、引导性提示及参考资料片段的方式辅助学生。最后向智能体上传普通高中化学课程标准、废旧电路板回收教案以及相关工程思维提问模板等资料以确保对话更贴合教学目标。

3.3. 测量工具

结合朱琳提出项目式教学中工程思维评的评价标准(朱琳, 2025)并融合《新一代科学教育标准》(NGSS Lead States, 2013)中“科学与工程实践”的核心要素，编制了工程思维评分表。该评分标准主要包括绕问题与目标界定、知识整合与应用、方案生成与探索、决策与多准则

权衡、系统化与流程设计、具体化与模型构建、预见性与风险评估以及迭代与优化思维八个维度，每个维度均采用 0-3 分的四级计分制，整体 Cronbach’s α 值为 0.859，说明具有高度一致性。正式评分前，对两名评分者进行了统一的培训。评分者之间的皮尔逊相关系数 $r=0.788$ ， $p<0.001$ ，说明此次评分具有参考性。

4.研究结果

通过整理实验班与 AI 智能体对话文本的质性分析以及实验班和对照班工艺回收设计成果的量化对比分析，从思维过程与成果质量两个维度，综合探究 AI 智能体作为对话伙伴对学生工程思维发展的影响。

根据成果质量的量化分析，发现在“预见性与风险评估”维度上存在显著优势。独立样本 t 检验结果表明，实验班学生在此维度的平均得分显著高于对照班学生 ($t=2.847$ ， $p=0.011$)。更为重要的是，其效应量 (Cohen’s $d=1.27$) 大于大效应阈值 ($d>0.8$)，表明该差异不仅具有统计学意义，更具备一定的实际意义与教育价值。此结果证明，AI 智能体作为对话伙伴，能有效促进学生工程风险识别与防控能力的高阶发展。其次，尽管多数维度的均值差异未通过统计显著性检验，但效应量的数值仍呈现出积极趋势。实验班学生在工程思维总分上优于对照班，且其差异的效应量达到中等效应量 ($d=0.62$)。此外，在“问题与目标界定”及“具体化与模型构建”两个维度上，也达到了中等程度的效应量 ($d=0.52$)。依据(Cohen, 1960)的解释框架，这些效应量数据表明 AI 干预虽受限于当前样本规模而未在统计上完全显现，但均已产生了积极效果。

表 1 实验班与对照班在工程思维各维度的得分差异性分析 (N1=N2=10)

维度	实验班 (M±SD)	对照班 (M±SD)	t 值	p 值	Cohen’s d
问题与目标界定	2.35±0.94	1.90±0.81	1.144	0.268	0.52
知识整合与应用	2.70±0.54	2.50±0.53	0.840	0.412	0.38
方案生产与探索	0.30±0.48	0.15±0.24	0.878	0.391	0.38
决策与多准则权衡	0.90±0.39	0.80±0.42	0.548	0.591	0.25

维度	实验班 (M±SD)	对照班 (M±SD)	t 值	p 值	Cohen's d
系统化与流程 设计	2.55±0.6 0	2.70±0. 54	- 0.5 90	0. 56 3	-0.26
具体化与模型 构建	2.40±0.5 2	2.05±0. 80	1.1 65	0. 25 9	0.52
预见性与风险 评估	2.10±0.6 1	1.25±0. 72	2.8 47	0. 01 1	1.27
迭代与优化思 维	2.25±0.4 9	2.05±0. 80	0.6 77	0. 50 7	0.30
总分	15.55±2. 97	13.40±3 .95	1.3 76	0. 18 6	0.62

5.讨论

研究证明，AI 智能体作为对话伙伴在工程思维发展多个维度上都具有积极促进作用。通过对实验组同学与 AI 智能体聊天文本分析，发现这主要是因为它能够适配学生在解决复杂工程问题中的认知需求。学生在解决真实的化工生产问题时往往需要同时考虑化学反应原理、工艺流程设计、环保要求标准、经济成本控制等信息而陷入认知负荷，导致思维停留在浅层操作层面，而定制开发的 AI 智能体依托苏格拉底式提问与结构化回应策略，可以为学生高效生产知识、降低认知负荷，并促进知识建构与问题解决(卢国庆等, 2026)。此外，在对话过程中 AI 智能体还可以不断引发学生认知冲突，使学生跳出单一视角，对方案进行审视、修正与迭代优化，最终形成更加完善工艺设计成果。与此同时，研究也暴露出当前 AI 智能体在工程教育中一些不足点，比如在系统化与流程设计维度实验班得分维度低于对照班得分，这可能是由于技术交互问题造成的，目前创设 AI 智能体进行是纯文本对话，难以支持草图识别、流程构建等功能，限制了学生对工程系统的整体建构，未来可以融入可视化设计工具与系统结构图支持，从而更全面地赋能工程思维培养。

为了更好发挥 AI 智能体在教学中作用，在后续教学过程中要使 AI 智能体与教师、学生、知识联动起来。首先与教师互补，教师是教学情境的设计者、学习情感的维系者和宏观思维的引领者，在教学过程中主要负责把握课堂整体方向；AI 智能体作为一个即时的、个性化的、可无限复制的思维对话伙伴，则为学生提供思维的广度和深度。其次与学生协同，AI 智能体不是单向输出工具，而是可以与学生进行平等对话伙伴，要更擅长通过启发式提问，

引发学生从技术、经济、环保等多个角度思考工程问题，推动学生工程思维向系统性、创新性方向发展。最后与知识形成互动，将琐碎、静态的学科知识结构动态嵌入真实工程问题的认知链条之中，在持续对话中将学科知识发展为解决问题的系统性工程思维能力。

6. 总结

总之，将 AI 智能体作为对话伙伴引入化学工程教育具有一定教育潜能。AI 智能体通过结构化、启发式的对话互动，为学生提供了高质量的认知脚手架，使其在复杂问题解决过程中实现深度思考与迭代优化。未来，需进一步推动 AI 智能体与可视化工具、教学设计的有机融合，构建人机协同的新型教学模式。同时，也需进一步扩大样本研究规模，深入探究 AI 智能体对学生工程思维发展长效影响，挖掘人机交互过程中影响工程思维提升关键因素，为 AI 赋能化学教学提供更多实践参考。

参考文献

- 卢国庆, 徐秀莲, 巴深, & 贺相春. (2026). 协作学习中教育智能体的设计策略、角色功能与交互模式. *电化教育研究*, 47(1), 67~74, 83. <https://doi.org/10.13811/j.cnki.eer.2026.01.008>
- 武亚亨, 黎泓波, 魏梅红, & 王素琴. (2025). 基于工程思维的化学实验教学实践——以“赤铁矿磁化焙烧工艺”为例. *化学教学*, 9, 32~39.
- 张港生. (2025). 教育智能体与项目式学习的融合路径研究. *教育科学论坛*, 22, 43~47.
- 朱琳. (2025). GAI 助力通用技术项目式教学中核心素养的评价——以工程思维培养为例. *中国现代教育装备*, 20, 17~19, 25. <https://doi.org/10.13492/j.cnki.cmee.2025.20.010>
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37~46. <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>
- Fang, J.-W., Guo, X.-G., Meng, X.-P., Hwang, G.-J., & Tu, Y.-F. (2025). Realization of parasocial interaction theory in STEAM education with an AI pedagogical agent: Insights from learning performance, collaboration tendency, and problem-solving tendency. *Interactive Learning Environments*, 0(0), 1~24. <https://doi.org/10.1080/10494820.2025.2508326>
- Kong, Z. Y., Adi, V. S. K., Segovia-Hernández, J. G., & Sunarso, J. (2023). Complementary role of large language models in educating undergraduate design of distillation column: Methodology development. *Digital Chemical Engineering*, 9, 100126. <https://doi.org/10.1016/j.dche.2023.100126>
- Tang, K.-S. (2025). Generative AI as a dialogic partner: Enhancing multiple perspectives, reasoning, and argumentation in science education with customized chatbots. *Journal of Science Education and Technology*.
- Xi, Z., Chen, W., Guo, X., He, W., Ding, Y., Hong, B., Zhang, M., Wang, J., Jin, S., Zhou, E., Zheng, R., Fan, X., Wang, X., Xiong, L., Zhou, Y., Wang, W., Jiang, C., Zou, Y., Liu, X., ... Gui, T. (2025). The rise and potential of large language model based agents: A survey. *Science China-Information Sciences*, 68(2). <https://doi.org/10.1007/s11432-024-4222-0>
- NGSS Lead States. (2013). Next generation science standards. National Academy Press.