

“教师—AI—学生”三元协同：GAI-PBL 模型在化学项目化学习中的应用

王齐耀

宁波市北仑区泰河中学 浙江宁波 315830

摘要:本文针对传统化学项目化学习(PBL)中教学资源匮乏、个性指导有限等问题,基于生成式人工智能(GAI)提出“教师—AI—学生”三元协同的 GAI-PBL 模型,通过 GAI 重构项目设计、实施与评价全流程。该模型以跨学科资源整合、虚拟实验模拟及个性化学习支持为核心,赋能师生,动态优化教学实践,提升学生的高阶思维与科学决策能力,同时强调需平衡 AI 生成准确性、自主探究深度与多维评估效度,为“素养为本”的化学教学提供兼具创新性与可操作性的实践路径。

关键词:GAI-PBL 模型;项目化学习;核心素养

文章编号:1008-0546(2025)15-0003-04

中图分类号:G632.41

文献标识码:B

《普通高中化学课程标准(2017 年版 2020 年修订)》在基本理念中提到,重视开展“素养为本”的教学。^[1]在此背景下,项目化学习(Project Based Learning,简称 PBL)逐渐成为培养学生科学探究能力与创新思维的重要途径。然而,应用传统 PBL 模型开展教学常面临教学资源匮乏、个性化指导有限及跨学科整合困难等问题。生成式人工智能(Generative AI,简称 GAI)作为人工智能(AI)的一个子领域,它基于机器学习技术和深度学习模型对真实数据进行统计,从而生成新的文字、音像、视频等内容。^[2]该技术的快速发展为教育领域注入了新动能,其自主学习、内容生成与多模态交互等功能为化学教学提供了全新的技术支持。

当前,GAI 与化学教学的融合研究多聚焦于单一教学环节的优化,如实验设计辅助或个性化习题生成等。关于如何建构教师、GAI 与学生三者深度协同的模型,系统性推动项目化学习转型,仍需进一步探索。基于此,笔者提出 GAI-PBL 模型(见图 1)。该模型以化学学科核心素养为导向,通过 GAI 重构项目设计、实施与评价的全流程,实现“教师—AI—学生”三元协同。具体而言,教师借助 GAI 优化项目主题与整合资源,学生依托 GAI 实现个性化探究与跨学科拓展,GAI 则作为智能中介动态支持师生互动与知识建构。该模型旨在突破传统 PBL 模型的时

空限制,通过人机协同发展学生的高阶思维,为“素养为本”的化学教学提供实践范式。

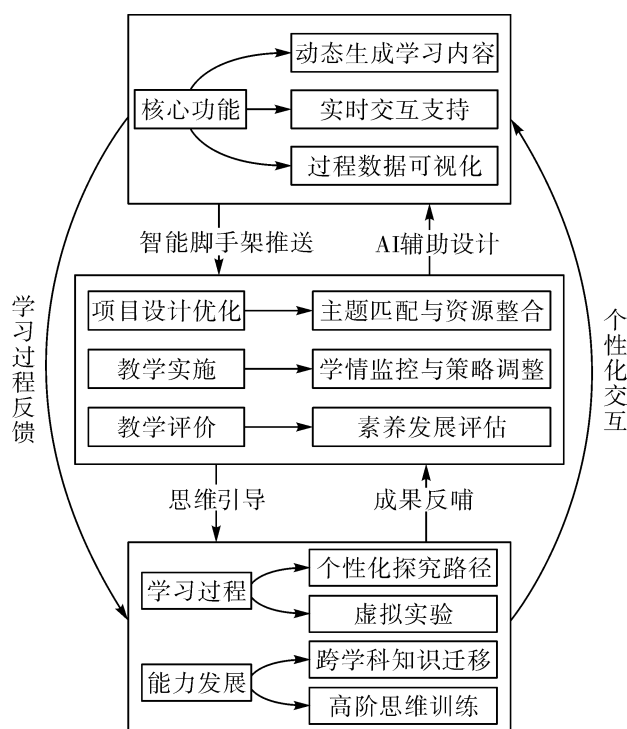


图 1 GAI-PBL 模型

一、GAI 赋能化学 PBL 的应用逻辑

GAI 在化学 PBL 中的应用逻辑可以理解为通过 AI 技术搭建一个更灵活、更个性化的学习系统,具体如图 2 所示。该学习系统结合了三大学习理

论,即强调主动建构知识的建构主义、关注人机协作的分布式认知以及重视实践体验的具身学习。具体来说,教师借助 GAI 分析学生的学习情况,跟踪学习进度,自动调整教学内容和跨学科项目设计;学生使用 GAI 进行虚拟实验,获得个性化学习指导,提升反思能力。此外,GAI 还能帮助师生进行实时沟通,并通过模拟实践场景提升学生解决问题的能力。整个

过程聚焦化学学科特点,通过 AI 将抽象概念具象化,训练科学思维方法,支持创新尝试,并引导学生思考科学决策的社会影响。这种模式打破了传统课堂的固定流程,使 GAI 成为连接师生、动态优化教学的人工智能助手,既保持了学科深度,又将核心素养的培养变得具体、易操作,为化学教学提供了智能化的解决方案。

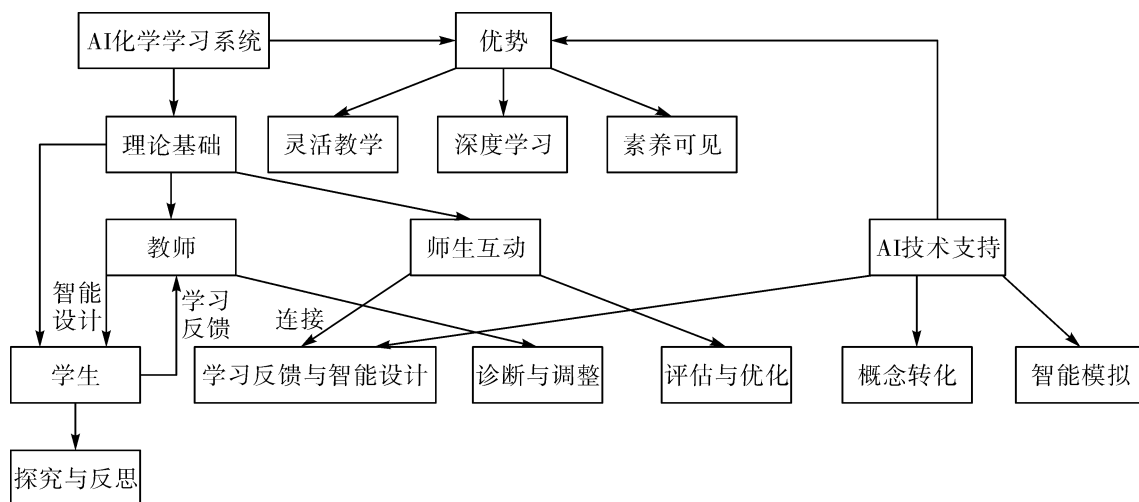


图2 GAI赋能化学PBL的应用逻辑图

二、GAI赋能化学PBL的实施路径

1. 项目设计与情境建构 GAI辅助教师精准定位

在PBL中,好的项目选题需要教师深思熟虑和严谨规划,而如何寻找适宜且符合真实情境的项目是首先要突破的难点。在传统的项目设计中,教师先依据课程标准确立授课的核心知识,再根据核心知识进行头脑风暴,从社会生活、工业与农业生产、自然环境与保护、资源开发与能源利用等方面寻找情境素材,这一过程往往存在选题覆盖面有限、情境真实性不足以及资源整合效率低等问题。GAI的介入,为突破这些难点提供了全新路径,其核心价值体现为以下三点。

(1)GAI驱动智能选题推荐,从“经验依赖”到“数据支撑”。

教师利用GAI可以通过网络爬虫实时抓取社会热点新闻、产业报告及科研论文等中的大量数据,快速生成与核心知识相关的潜在选题列表。例如,输入“氧化还原反应”关键词,GAI自动推荐“新能源汽车废旧电池回收”“工业废水重金属处理”“土壤修复中的化学还原技术”等选题,并附上相关案例(某地电池回收率、废水处理成本等)的摘要与数据支撑。教师也可以利用GAI结合区域特色生成贴近学生生

活的项目。例如,针对宁波北仑的港口与石化产业,GAI自动推荐“含硫船舶燃料处理工艺优化”“石化园区挥发性有机物(VOCs)减排方案设计”等选题,并整合当地企业公开数据(北仑某石化厂的排放标准等),增强选题的真实性与代入感。

(2)多模态情境建构,从“文字描述”到“沉浸体验”。

GAI工具(通义万相、讯飞智作等)可将抽象知识转化为3D模型、动态流程图或虚拟场景。例如,在设计“海水淡化中的离子交换技术”项目时,利用GAI可以生成虚拟海水淡化场景,标注关键设备(反渗透膜组件等)及其工作原理,并模拟不同盐度下的能耗与产水效率数据,有助于学生直观地观察技术数据与流程,快速理解学科知识的实际应用。

(3)动态优化与跨学科链接,从“静态设计”到“灵活迭代”。

GAI能持续追踪最新政策、技术进展与社会需求,动态调整项目方向。例如,某地出台“碳中和园区”建设政策,GAI即时推荐“绿氢制备工艺优化”“CO₂化学封存技术”等新兴选题,确保项目与时代需求同步。此外,利用GAI可以识别化学与工程、经济、生物学等学科的交叉点,生成复合型项目框架。例如,在“生物可降解塑料研发”项目中,GAI自动关

联高分子化学合成、微生物降解机制及“成本—市场”分析等多维度资源,有助于学生建构系统性解决方案。

2. 项目实施与过程支持 GAI 赋能学生深度学习

在传统 PBL 中,学生的深度学习常受限于以下问题:①探究过程缺乏即时支持。学生遇到知识盲区时难以快速获取针对性指导,导致探究中断或流于表面。②实验条件与资源不足。危险操作(强酸处理、高温反应等)的风险性迫使教师简化实验设计,学生难以体验真实工业场景的复杂性。③数据分析与反馈滞后。学生往往依赖人工统计与教师经验,难以从大量数据中提炼出规律,限制了科学思维的深化。④个性化指导缺失。统一化的任务设计难以适配学生的能力差异,部分学生因任务难度过高或过低而失去学习动力。GAI 的介入,为突破这些瓶颈提供了全新路径。以“船舶燃料脱硫工艺优化”项目为例,GAI 的介入不仅解决了传统教学的痛点,还将学习场景延伸至真实工业生产。下面从智能交互支持、虚拟实验模拟、个性化学习适配三个维度展开论述,展现 GAI 如何赋能学生从被动接受知识转向主动探究知识。

(1)智能交互支持:即时响应知识盲区,建构动态学习网络。

在传统课堂中,学生遇到知识盲点时,往往因教师资源有限或检索效率低而停滞,而 GAI 可以通过自然语言处理与知识图谱技术,实时响应学生需求。例如,在“船舶燃料脱硫工艺优化”项目中,学生提出“为什么钒基催化剂的脱硫效率高于铁基催化剂”的问题,GAI 立即推送“钒基催化剂在 SO_2 氧化过程中的表面活性研究”,并生成微观反应动画,动态展示 V_2O_5 表面 SO_2 分子被吸附、氧化为 SO_3 的过程。此外,GAI 通过分析、讨论、记录并建构动态知识图谱,标注逻辑点,如未考虑废气湿度对催化剂寿命的影响等,并推荐关联学习资源,如“环境因素对催化剂性能的影响”微课。这种即时性与精准性,使学生在探究过程中无缝衔接理论与应用,形成“问题—解答—延伸”的闭环。

(2)虚拟实验模拟:安全赋能复杂操作,还原真实工业场景。

传统实验教学受限於安全风险与设备成本,教师常简化或规避高风险操作(高温高压反应、有毒气体处理等),GAI 驱动的 VR 虚拟实验室则可以突破

这一限制。在“船舶燃料脱硫工艺优化”项目中,学生可进入 3D 建模的船舶脱硫塔场景,模拟真实操作流程,调节废气流量、控制反应温度并实时监测 SO_2 浓度变化。若操作不当,GAI 即时触发警示并演示规范流程。此外,GAI 记录操作日志并生成安全评分报告,帮助学生进行反思与改进。这种沉浸式体验不仅规避了物理风险,还通过高仿真场景让学生直面工业级挑战,深化了对复杂系统的理解。

(3)个性化学习适配:任务分层,激发全员潜能。

传统教学中“一刀切”的任务设计难以满足学生的差异化需求。GAI 通过学情分析与能力建模,实现精准分层支持。在“船舶燃料脱硫工艺优化”项目中,GAI 根据前期测试结果将学生分为三组:①基础组。推送“催化反应化学方程式配平”互动练习与“pH 调节操作示范”分步实验指导视频。②进阶组。挑战“副产物硫酸的资源化设计”,GAI 推荐“北仑化工厂将硫酸用于磷肥生产”的案例。③创新组。探索“GAI 辅助工艺参数优化”,利用算法生成高效低成本组合方案。同时,GAI 生成个性化反思框架,针对技术原理掌握薄弱的学生提出“如何量化温度对催化剂活性的影响”,引导经济性思考欠缺的学生绘制“规模化生产的边际成本曲线”。这种适配性能确保每位学生都能在“最近发展区”内突破自我,避免“高不可攀”或“索然无味”的两极分化。

GAI 的介入,将传统 PBL 的教师主导模式升级为“教师—AI—学生”三元协同的深度探究闭环。在这种模式下,知识不再是静态的灌输对象,而是动态问题解决的思维工具。当学生发现自己设计的方案被 GAI 转化为可落地的“成本—效益”报告时,深度学习便超越了课堂边界,成为连接学科知识与社会创新的桥梁。

3. 评价与反思 GAI 支持多维评估

在传统 PBL 中,学生评价常局限于知识掌握程度或最终成果的简单评分,难以全面反映综合能力。GAI 通过数据追踪、动态分析及个性化反馈等功能,建构了覆盖知识、能力、创新与社会责任的多维评估体系。下面以“船舶燃料脱硫工艺优化”项目为例,阐述 GAI 如何支持科学化、动态化的评估与反思,推动学生从“完成任务”到“深度学习”的转变。

(1)建构多维评估框架,从单一分数到能力全景画像。

传统 PBL 的评价多聚焦于知识掌握或成果完成度,难以全面衡量学生的实践能力、创新思维与社会

责任感。GAI 通过预设多维度评估模型(知识占比 30%、实践占比 30%、创新占比 20%、责任占比 20%)，结合动态数据追踪(实验操作日志、协作记录和迭代路径)，为学生绘制能力全景画像。以“船舶燃料脱硫工艺优化”项目为例，GAI 通过分析某小组的虚拟实验日志、创新设计及政策响应程度，生成包含知识、实践、创新和责任的量化报告，精准定位学生的优势与短板。

(2) 动态反馈与实时优化，从终结性评分到过程性成长。

传统评价滞后性明显，学生难以及时改进。GAI 通过实时数据采集与智能分析，在项目各阶段推送针对性反馈。例如，学生在虚拟实验中出现“浓硫酸倾倒过快”情况时，GAI 立即触发警示动画并扣减安全分；中期评估发现“成本核算缺失”，GAI 则推荐本地企业财务模板。再如，学生提供的方案因“忽略废气湿度影响”而扣分时，GAI 推送三步优化建议，即补充湿度实验、虚拟模拟湿度影响和政策适配性提升，最终实现“评价—改进—再评价”的学习闭环。

(3) 反思支持与个性化资源，从被动接受到主动成长。

传统反思常流于形式，而 GAI 通过生成科学反思框架与个性化资源推荐，引导学生深度思考。例如，针对“船舶燃料脱硫工艺优化”项目，GAI 自动生成问题链，如知识类问题(V_2O_5 活性峰值与能垒理论的关系)、实践类问题(成本超标的操作根源)、社会类问题(方案推广的社会阻力与对策)，并匹配学习资源(微课、案例库等)。

(4) 教学闭环与教师赋能，从数据洞察到课程升级。

GAI 不仅可以为学生服务，还能为教师提供班级共性分析与资源优化建议。例如，班级评估显示“大多数学生忽略设备维护成本”，GAI 建议增设“化工经济学”专题；针对“部分小组方案环保性不足”，GAI 推送“绿色化学原则”案例库。教师据此设计“一万元预算优化”挑战任务，让学生在虚拟沙盘中平衡效率与成本。这种数据驱动教学优化的闭环，让评估真正成为推动师生共同进步的工具。

三、GAI 在化学 PBL 中应注意的问题

GAI 在化学 PBL 中存在生成内容准确性不足的风险。例如，在“船舶燃料脱硫工艺优化”项目中，GAI 推荐钒基催化剂(V_2O_5)的最优浓度为 0.7%，却未提示其在高湿度条件下的失活风险，导致方案

在真实场景中失效。这一问题的根源在于 GAI 依赖的训练数据可能存在偏差或缺乏化学专业语料库。针对这一问题，教师可以通过建立化学学科专用数据库进行改进，如整合权威期刊、教材与实验数据，引入教师审核机制，确保 GAI 生成内容经人工校验后投入使用。

过度依赖 GAI 可能导致学生自主探究能力减弱。例如，学生直接采用 GAI 生成“废热回收”方案，但无法解释热力学原理，陷入“知其然而不知其所以然”的困境。此类问题的根本原因是 GAI 的高效性使学生跳过了深度思考环节。其应对策略需聚焦教学设计优化，如设计“半开放”任务(仅提供框架性建议，关键决策需学生自主论证)，并要求学生在报告中标注“AI 辅助部分”与“个人贡献”，以强化反思环节。

GAI 的多维评估过度依赖量化指标，忽视团队协作及创新韧性等隐性素养。例如，某小组因“成本核算精准”得分较高，但内部沟通问题未被识别。其根源是 GAI 难以捕捉非结构化行为数据。针对该问题，教师需结合 GAI 与人工评估进行优化，通过观察记录补充质性评价，从 GAI 协作日志中提取隐性能力数据，建构更全面的评估体系。

四、展望

“教师—AI—学生”三元协同的 GAI-PBL 模型将持续深化技术与教育的融合，推动化学 PBL 向高阶思维能力培养的范式转型。随着化学学科专用数据库的完善与算法透明度的提升，GAI 将精准辅助教师进行跨学科资源整合，并通过虚拟实验模拟与动态反馈机制突破传统教学的时空限制，促进学生从知识应用向创新决策跃迁。针对技术依赖潜在风险，模型将进一步优化“半开放”任务设计框架与“人机协同”校验机制，在保障 GAI 支持效率的同时，强化学生的自主论证与批判性思维。最终，GAI-PBL 模型将通过社会需求驱动的实践闭环，实现“学科知识—社会问题—创新能力”的深度融合，为化学学科核心素养的深化培养提供可推广的理论框架与实践路径。

参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部. 普通高中化学课程标准(2017 年版 2020 年修订)[M]. 北京: 人民教育出版社, 2020.
- [2] 苏英慧. 生成式人工智能在中学化学教学中的应用初探[J]. 化学教学, 2025(2): 94-97.