

PDAI: AI 支持的 iSTEAM-PBL 概念模型与智慧教育平台搭建

PDAI: a Conceptual Model of AI-supported iSTEAM-PBL and the Intelligent Education

Platform

黄杰铭¹, 张卓群², 张月³, 朱紫博⁴, 马铭涛^{1*}, 应晶¹

¹ 浙江大学智能教育研究中心

² 深圳市万物有灵人工智能科技有限公司

³ 天津师范大学教育学部

⁴ 哈佛大学教育研究生院

* 441962661@qq.com

【摘要】针对 iSTEAM-PBL 流程模糊、过程评价“黑箱”、知识碎片化等痛点,本研究基于建构主义与元认知理论构建了 PDAI (感知、决策、行动、内化) 学习阶段模型,界定了从激活图式与认知冲突、知识输入与方案权衡、具身实践与知识创建、反思评价与认知重构的螺旋上升式的四阶段循环,并讨论了各阶段中教师和 AI 的角色边界。研究开发了智慧教学平台作为模型的可能实践样态,包括三个主要功能:1) 通过多智能体协同辅助课程设计与实施;2) 利用学习分析技术外显化过程性证据,3) 通过知识图谱促进知识建构、知识迁移和个性化学习推荐。

【关键词】 整合性 STEAM 教育;项目式学习;AI 支持的学习;学习模式;智慧教育平台

Abstract: To address the challenges in iSTEAM-PBL, such as vague teaching process, the "black box" of process evaluation, and fragmented knowledge, the research develops the PDAI (Perception, Decision, Action, Internalization) model grounded in constructivism and metacognition theories. This model defines 4 phases of a spiral cycle of cognitive progression: from schema activation and cognitive conflict to strategic weighing, embodied practice, and cognitive reconstruction, while clarifying teacher-AI role boundaries. To demonstrate its practical application, a smart education platform was developed. The system features three main functions: 1) multi-agent collaboration to support curriculum design and implementation, 2) learning analytics to externalize process-based evidence, and 3) knowledge graphs to facilitate systematic knowledge construction, transfer, and personalized learning recommendations.

Keywords: Integrated STEAM Education, Project-based Learning, AI-supported Learning, Learning Phases, Smart Instructional Platform

1. 引言

21 世纪对跨学科人才的需求驱动了整合性 STEAM 教育 (iSTEAM) 的范式转型。作为其核心路径,项目式学习 (PBL) 通过真实问题驱动,促使学生在合作中内化知识。iSTEAM 和 PBL 在理论方面有较丰富的研究,但其在实践中的落地仍面临系统性困境:学习阶段的划分方式庞杂,教师在实践中缺少章法,甚至陷入拼盘式活动等误区;大班教学中差异化学习难以落实到每一个个体;过程性评价的“黑箱”使得学习评价流于作品呈现,而学习过程中的表现性评价比作品更能体现学生的学习成果;知识碎片化使学生难以在项目结束后实现跨情境的迁移与应用。生成式人工智能 (AI) 凭借强大的数据追踪与个性化支架能力,为破解上述困境提供了技术支持。

本研究旨在构建 AI 支持下的 PDAI (感知-决策-行动-内化) 学习阶段模型,并探讨其应用样态。具体包括以下三个子问题:1) iSTEAM-PBL 包括哪些关键的学习阶段及其认知逻辑?2) 在各学习阶段中,AI 与人类教师的角色分别是什么?3) 基于所构建的 PDAI 理论模型和开发的平台,产品形态和应用效果是什么样的?

2. PDAI 学习阶段模型

本研究基于黄金标准 PBL 框架 (巴克教育研究所,2008) 等现有的 PBL 理论,构建了 PDAI 模型,讨论了 AI 支持下 iSTEAM-PBL 的学习阶段与师生角色边界。

iSTEAM-PBL 中,学习者经历的并非单一路径的闭环。PDAI 模型以感知(Perception)、决策(Decision)、行动(Action)与内化(Internalization)四个阶段为骨架,形成一个由大循环与多次小循环构成的螺旋上升的认知发展循环(如图1)。单次循环产出的经验成果通过“内化”作为下一轮“感知”阶段的认知起点。表1以《清明上河图·多格漫画》学习项目为例,介绍了三者在这四阶段分别应如何具体行动。

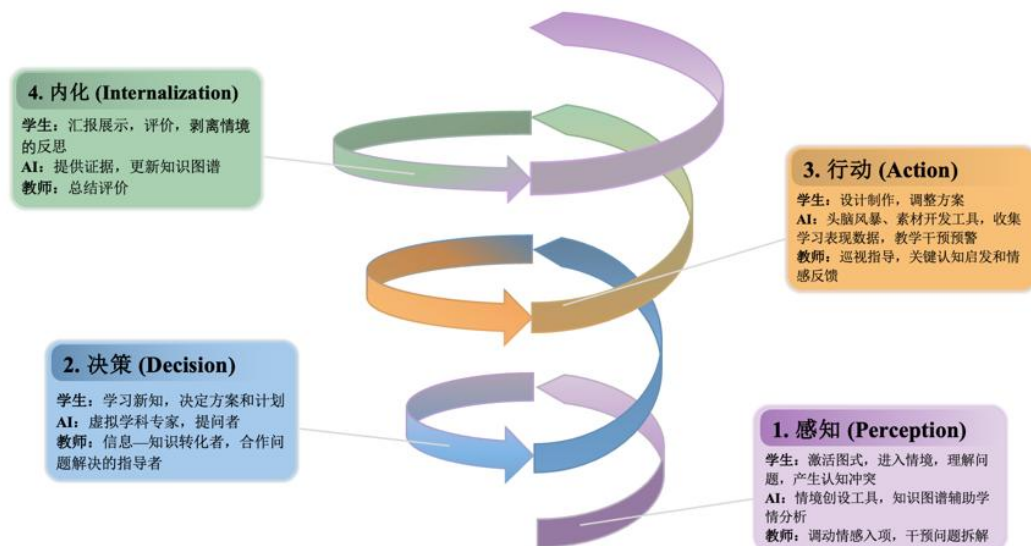


图1 PDAI 四阶段模型

2.1 感知：激活图式与认知冲突

感知阶段的核心认知任务是激活学习者的已有图式并产生认知冲突，为后续探究提供驱动力。学习者从已有经验中调用与情境相关的图式，将复杂的驱动性问题拆解为若干具有逻辑关联的子问题。当已有图式无法对新情境做出有效解释时，认知冲突随之产生。这种冲突正是推动学习者进行同化与顺应的核心动力（Piaget, 1970）。从元认知视角来看，这一过程同时触发学习者对自身认知状态的初步觉察，使其意识到“已知”与“未知”之间的边界，激发明确的学习目标（Flavell, 1979）。在小组中，驱动性问题的共同拆解构成共享调节的预备阶段，成员们就“我们正在解决什么问题”形成初步的共享认知（Hadwin & Oshige, 2011）。阻碍创造行动的往往不是能力不足，而是对问题与机会的无感知（Clapp et al., 2016），而这种准备活动在实践中却常常被忽视。

AI 在此阶段扮演“情境创设工具”与“学情分析辅助者”的双重角色：一方面通过生成多模态沉浸式情境，为学习者呈现可观可感的“用于思考的客体”（“Objects to think with”），将抽象问题具象化为可感知的认知对象（Papert, 1991）；另一方面基于已有知识图谱提供个性化支架，辅助学生识别已有认知结构与当前问题之间的关联与缺口。

教师作为引导者，在学习动机和元认知策略方面把握学生的学习方向：一方面负责情境的情感唤醒与价值定位，激发认知冲突，调动学生解决问题的主动性；另一方面观察并适时介入学生对问题的解码过程，确保问题拆解方向围绕核心学习目标展开。

2.2 决策：知识输入和方案权衡

决策阶段的核心认知任务是收集和整理信息，讨论和权衡不同的方案，并确定具有可行性的行动计划。新的信息、知识、技能在该阶段输入，以支持小组做出决策判断。学生行动意图的形成与对执行过程的自我调节在该阶段集中发生（Bandura A., 2001）。学生不仅评估所选策略的有效性，还需在小组层面通过相互质疑与论证完成社会调节，对信息进行集体审视与查证（Hadwin & Oshige, 2011）。

AI 作为相关领域的虚拟专家，提供可能有用的信息及其来源，还可通过苏格拉底式提问辅助学生进行元认知计划，指导元认知策略，而非引导所有学生走向统一答案（Resnick & Silverman, 2005）。

然而，AI 输出的信息并不等同于知识，教师必须帮助学生将获取的信息与已有图式建立联结，将信息转化为可以随取随用的知识。作为问题解决的指导者，教师要发挥教学机智，引导学生思考决策背后的社会责任与伦理价值，最终确定有可行性、有价值的行动方案。作为合作学习的指导者，教师要预见可能的组内冲突并指导协调策略。

2.3 行动：具身实践与知识创建

行动阶段是学生将想象的产品落地为真实的作品核心环节。根据 Papert (1991) 的建构论，最有效的知识建构发生在学习者主动创造“有形且可分享的公共实体”的过程中，技术工具在此阶段成为一种“建筑材料”（Building Materials）。学生通过与数字媒体、代码或实体材料的持续交互，将抽象的方案决策具身化为可操作的产品原型。在这一过程中，审美判断力构成了知识创建的重要认知基础：学生需要具备对作品质量的感知与评估能力，才能识别“哪里不对”并触发持续的迭代改进。这种审美敏感性与元认知的自我监控机制高度吻合。行动中遇到的困难使得学生经历多次“尝试—反思—调整”的自我调节微循环，通过调试、修改与重新设计逐步完善解决方案（Zimmerman, 2002），并在合作中经历社会调节和共享调节（Järvelä S., & Hadwin A. F., 2013）。这种持续迭代的学习体验呈现出 Papert 所描述的“辛苦的乐趣”（Hard Fun）状态：挑战是真实的，而正是在与挑战的抗争中，学生获得了深度参与与创造的成就感。

AI 在该阶段扮演项目助手与过程表现记录者的双重角色：一方面 AIGC 工具能辅助学生将审美意图转化为可执行的创作方案，弥补执行能力与创作意图之间的落差；另一方面，平台后台系统实时捕捉学习轨迹数据，如作品迭代、协作互动、提问，将教师难以觉察的过程细节可视化为可追溯的学习记录，为内化阶段的反思提供证据。

教师在此阶段巡视各组进展，根据学生的最近发展区进行启发式引导，防止微循环陷入低效重复。教师需要严格把关 AIGC 工具的审美水平和输出质量，监控学生与 AI 的交互行为，避免滥用依赖、隐私泄露和其他伦理问题，同时鼓励学生在技术实现与审美表达之间寻找平衡，使作品兼具功能价值与创造性表达。

2.4 内化：反思迁移与认知重构

内化阶段升华前期积累的实践经验，将情境中的探究成果抽象为可迁移的稳定的认知结构。学生在情境中汇报展示最终产品，经由同伴评价与教师评价等多元方式完成终结性评估，并在此基础上进行剥离情境的总结反思。这一过程标志着元认知从“对任务执行的调控”向“对经验本身的抽象”的跨越（Flavell, 1979）。完成这一跨越，学生才能将项目中习得的知识与能力迁移至未来的新情境，而非将其封存在特定项目的记忆中。

AI 在此阶段不做价值判断，而是作为客观的证据提供者，为过程性评价和表现性评价提供可视化数据，通过动态知识图谱映射出新旧知识之间的关联，辅助学生完成对认知结构的系统梳理。

教师作为评价的主体之一，通过出项总结将学生隐藏在实践中的碎片化知识和经验结构化，通过提供评价示范、点评学生的同伴评价，引导学生识别自身认知结构的演变，为下一轮 PDAI 循环储备更高阶的认知起点。

3. 模型的实现与关键功能

本研究将 PDAI 概念模型具体化为一套“人—机—数据”协同运行的技术系统。Aura 平台以大模型驱动的多智能体架构为核心，集成多模态生成与交互工具的新型教具与学具，为学生构建深度学习的个性化支架，赋能课程设计与实施。同时通过教育数据挖掘与学习分析技术，持续收集和可视化学生在感知、决策、行动与内化各阶段的过程性证据，赋能基于证据的学习评价。

3.1 多模态 AI 教具与学具

在 PDAI 模型下，Aura 平台基于大语言模型（LLMs）与多模态生成模型，构建了一组可调用的学习代理。AI 不再只是承担问答、检索、生成等离散功能的辅助插件，也不是工具的拼盘式集成，而是演进为可编排、可交互、可留痕的智能教具与学具生态，作为一种新型交互媒介参与教与学的全过程。

Aura 平台并不预设固定功能组合，而是允许教师依据项目需要编排相应 agent，形成具有针对性的多智能体工作流（如图 2），从而将原本碎片化的工具调用转化为贯穿全过程的智能支架系统。教师可以围绕具体项目在画布中建立课程节点、文本节点、对话节点、角色节点与衔接路径，形成一套服务于项目实施的智能课件；学生在教师引导下调用相应的代理与工具，使“创作”并非只发生在行动阶段，而是贯穿 PDAI 全流程的建构活动。传统实践中情境材料、检索工具、创作工具与反馈工具彼此分散，加之不同学习项目有不同的认知需求，每一次设计和开展项目都要花费大量时间和精力学习新工具，工作流模式使工具调用更灵活。



图 2 画布编辑：多智能体工作流

表 1 《清明上河图·多格漫画》的 PDAI 四阶段示例

学段：初一～初三（12-15 岁） 驱动性问题：如果我们穿越回北宋汴京，如何通过一个普通人的视角，向今天的游客讲述那个时代的生活和故事？请以小组为单位选择作品中一个行业的 NPC，编写 TA 的人物小传，把 TA 的故事绘制成能展现宋代生活的多格漫画。有能力的小组可以把漫画制作成多个语言版本，或桌面屏风、书签等衍生品。				
	感知	决策	行动	内化
学生	10 10 10 宋的职业、交通方式、店铺。 10	10 级，包括一手资料、二手资料、非史料。 10 调研组，通过研读画卷、与“百晓生”agent 对话、查询史料探究宋代农业、服饰、交通等方面的知识。 10	10 图工具的使用。 10 10 10	10 10 10
AI	10 10 式、店铺的问题。	10 10 究方向。 10	10	10 据进行统计分析 10 谱推荐课后探究活动
教师	10 的文创产品寻找共同点，确定大目标。 10 问题。 10	10 来源核查信息的可信度。 10 10	10 10 10	10

表 1 以《清明上河图·多格漫画》项目为例展示了基于 PDAI 模型开发的 iSTEAM-PBL 工作坊中各环节各主体的活动内容。在感知阶段，智能课件不再只是单向展示材料，而是融合问题拆解、节点衔接与代理交互，如询问“百晓生”agent 画卷中的职业与现代职业的相同与不同，初步认识《清明上河图》中体现的北宋社会风貌，使问题感知更符合个体经验。决策阶段，AI 作为信息提供者、头脑风暴合作者和元认知向导参与其中。比如，学生可用自然语言向“百晓生”agent 询问画卷中的细节，释义文言文史料（如图 3），再去电子书库中核查，并添加笔记，教师可提供深入思考和跨文献阅读的方向，促进从信息到知识、从想法到方案之间的转化，使学生在持续对话、查证与比较中逐步实现从“N→1”的创造性收敛。行动阶段，平台通过整合图像生成、素材编辑、风格调整、脚本辅助与多轮修改等功能，学生可以继续求助“AI 画师”对素材库中的元素按需修改，将设想的产品落地。

需要强调的是，无论 AI 承担何种角色，开发者与教师始终是平台使用的“守门人”。已有研究表明，AI 通过任务结构化与贡献可视化能够提升小组产出的一致性效率（Ruiz Viruel et al., 2025），但其过度自动化的反馈也可能削弱同伴协商的机会，压缩学生在反复试错、表达修正与精细化创作中应有的发展空间（Lin et al., 2025）。平台通过权限管理、使用轨迹记录、生成内容标注与溯源等方式，提醒学生区分“人类思考”与“机器产出”，并通过局部限制生成内容的机制，如仅提供提示、支架与素材建议，而非直接给出答案，保护学生的知识建构过程，规避生成式 AI 的替代效应。如“AI 画师”不会直接生成漫画，而是依据学生指令与后端资源生成素材或精致当前草图。这一机制保证了学生对作品创作的主导权，AI 所起的是表达放大与过程支架的作用，而非创意替代。与此同时，为避免 AI 形成审美同质化甚至“审美霸凌”，平台中的素材库与训练数据库也需经过严格审核，以确保其输出符合教育场景中的价值导向、文化表达与审美边界。

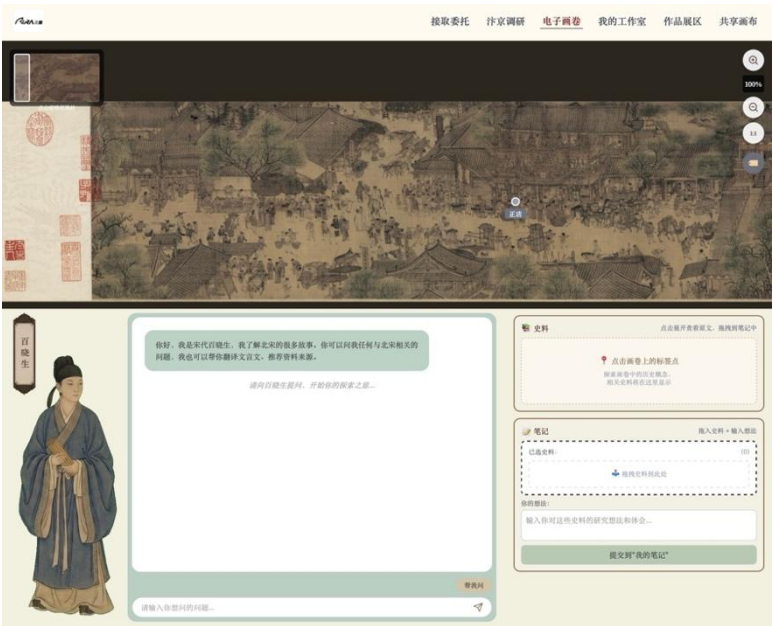


图 3 《清明上河图·多格漫画》决策阶段操作界面

3.2 学习档案：评价证据的外显化和持续性

iSTEAM-PBL 的实施效果具有长效性、滞后性和过程内隐性。相比于人脑和纸质档案，AI 支持的学习档案具有更大的容量和更长久的记忆，实现跨学段、跨年龄的学习轨迹追踪和自动化的统计分析。学习档案将在 PDAI 全过程为教师的差异化教学和 AI 的个性化对话提供数据参考，为基于证据的评价提供依据，打开过程评价的黑箱。平台构建了一个以过程性数

据为核心的数字学习档案系统，通过前端交互日志、协同编辑记录、阶段性产品、（在隐私合规前提下）多模态行为数据等多源数据埋点，自动生成可长期追踪的学习轨迹。

在数据层面，平台采用教育数据挖掘和学习分析技术，对原始交互数据进行预处理与特征提取，如问题分解的层级深度与广度、资料检索与证据引用行为的质量、协作讨论的响应模式、作品迭代次数与修改类型等，辅助教师从海量数据中诊断学生的策略使用与参与度，使传统课堂中难以捕捉的元认知过程变得可计算、可视化。在呈现层面，平台为教师和学生分别提供了分层可视化界面。教师端侧重于班级和小组的整体态势感知，如进度热力图、干预预警（如决策停滞）、对齐课程目标的能力雷达图；学生端聚焦个体学习轨迹和元认知反馈，如“我为小组提供的关键想法是什么”“在哪些阶段我最容易分心或放弃”等，为学生基于数据的反思提供支架，从被动的“被评价者”转变为主动的“自我调节者”。

iSTEAM-PBL 的学习评价具有复杂性、情境性和对高阶思维和综合能力的关注，依赖于评估者所处的文化背景、个人信仰和社会共识，而 AI 缺乏意识和主观经验，只能承担记录和统计工作，不能替代教师进行是非好坏的价值判断。

3.3 知识图谱：知识的体系化建构和个性化延伸

知识图谱主要用于感知、内化阶段和项目结束后推荐个性化的拓展学习，解决 iSTEAM-PBL 中知识碎片化、难以剥离情境进行迁移的痛点。图 4，系统首先将课程标准、学科核心概念、跨学科大概念以及项目任务中出现的关键词映射为图谱中的节点，再通过先验关联（教材、专家标注、教案输入）与数据驱动关联（共现频率、因果推断等）构建边，从而形成覆盖“课程-个人”的多层次知识网络。

在项目实施的全过程中，学生的操作（如提问、资料标注、反思日志）会实时更新到个体知识图谱，形成动态生长的“认知地图”。在感知阶段，知识图谱将学生的已有图式相对可视化，便于学生从已有知识中寻找解决问题的方向。在内化阶段，通过高亮新旧知识点之间的联结，突出项目中新学的知识与旧有知识结构的联系，促进知识的迁移。

出项后，智能体为学生提供基于兴趣的“知识延伸”与“学习导航”建议。这种导航本质上是模拟元认知和迁移能力，引导学生监控自己的学习兴趣。例如，当系统识别到学生在多个项目中频繁触及某一知识簇（如“能量守恒-可再生能源-碳中和”），且在相关概念节点上表现出一定的认知水平时，探索推荐代理可以基于该学生的知识图谱与兴趣画像，推送更具深度或广度的探究问题和学习资源，实现从“ $\infty \rightarrow N \rightarrow 1 \rightarrow \infty$ ”的元能力循环。

图谱式档案超越了传统的纵向成绩记录，呈现学生知识结构的演变轨迹和元认知能力的发展，为后续的纵向追踪研究与个性化生涯规划提供依据。



图 4 知识图谱

4. 局限与展望

本研究尚处于课程研发和小范围试验阶段，缺乏大规模、长周期的实证数据支撑。针对不同学情、不同任务，AI 参与的“度”在哪里，教师在多大程度上主导教学节奏？教师和技术层面如何把关以保证学生的情感参与、审美创造力等非认知素养的健康发展？仍需通过大样本的实证研究，验证并发展 PDAI 模型。

本研究未详尽讨论 AI 幻觉、算法偏见、数据隐私及作品知识产权归属等伦理议题。未来需建立系统的伦理评估框架，厘清人机协作中的原创性边界。同时，教与学是认知、情感与行为多模态参与的活动，当前研究聚焦于认知层面，对情感与行为参与的视角探讨不足。

从教师教育的视角看，复杂工具的引入可能增加备课负担（Lee et al., 2024）。未来需要在教师减负、专业培训、社群建立等方面做进一步研究。

参考文献

- 巴克教育研究所. 项目学习教师指南：21 世纪的中学教学法[M]. 任伟,译. 北京：教育科学出版社,2008.
- Bandura, A. (2001). Social Cognitive Theory: An Agentic Perspective.
- Clapp, E. P., et al. (2016). Maker-Centered Learning.
- Hadwin, A., & Oshige, M. (2011). Self-regulation, coregulation, and socially shared regulation: Exploring perspectives of social in self-regulated learning theory. *Teachers College Record*, 113(2), 240-264.
- Järvelä, S., & Hadwin, A. F. (2013). New frontiers: Regulating learning in CSCL. *Educational psychologist*, 48(1), 25-39.
- Lee, U., Han, A., Lee, J., Lee, E., Kim, J., Kim, H., & Lim, C. (2024). Prompt Aloud!: Incorporating image-generative AI into STEAM class with learning analytics using prompt data. *Education and Information Technologies*, 29(8), 9575-9605.
- Lin, C. J., Lee, H. Y., Wang, W. S., Huang, Y. M., & Wu, T. T. (2025). Enhancing reflective thinking in STEM education through experiential learning: The role of generative AI as a learning aid. *Education and Information Technologies*, 30(5), 6315-6337.
- Luckin, R., & Holmes, W. (2016). Intelligence unleashed: An argument for AI in education.
- Papert, S. (1991). Situating constructionism. In I. Harel & S. Papert (Eds.), *Constructionism*. Ablex Publishing.
- Piaget, J. (1970). *Science of education and the psychology of the child*. Orion Press.
- Resnick, M., & Silverman, B. (2005, June). Some reflections on designing construction kits for kids. In *Proceedings of the 2005 conference on Interaction design and children* (pp. 117-122).
- Resnick, M., & Silverman, B. (2005, June). Some reflections on designing construction kits for kids. In *Proceedings of the 2005 conference on Interaction design and children* (pp. 117-122).
- Ruiz Viruel, S., Sánchez Rivas, E., & Ruiz Palmero, J. (2025). The role of artificial intelligence in project-based learning: Teacher perceptions and pedagogical implications. *Education Sciences*, 15(2), 150.

Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. *Theory into practice*, 41(2), 64-70.