生成式人工智能情境下大学生知识整合机制

王晨

(江西枫林涉外经贸职业学院，江西省九江市 332000)

摘　要：生成式人工智能提供的解释，如何转化为大学生自身的知识结构？本文属于概念性理论研究，以知识整合为主线，结合自我解释与生成性学习理论，区分外部表征、交互活动和个体理解。将尚未经学习者有依据接纳的概念、证据与适用条件联结界定为候选关系，提出原有理解显化、候选关系审查、自我解释重构和变式应用校验相互反馈的框架，并推导三个条件性命题。论证聚焦关系依据的判断、错误修订与近迁移校验，结果包括有依据的采纳、修订和审慎保留。本文从个体微观认知加工层面补充工具使用与交互记录研究，提出观测和教学评价方向。框架、命题及观测方向尚未经实证检验，全部课程例子均为假设情境。

关键词：生成式人工智能；大学生；知识整合；自我解释；人机协同学习

DOI：doi.org/10.70693/202610073465

Mechanisms of Knowledge Integration among University Students in Generative AI Contexts

Wang Chen

Jiangxi Fenglin College of Foreign Economy and Trade, Jiujiang, Jiangxi 332000, China

Abstract: This conceptual study asks how university students come to understand the explanations they obtain from generative AI. Knowledge integration provides its main perspective, supplemented by research on self-explanation and generative learning. The analysis separates external representations and interaction activities from individual understanding. Candidate relations are defined as links among concepts, evidence, and conditions of applicability that learners have not yet accepted on justified grounds. To examine how these relations enter learners' knowledge structures, the paper connects four processes: articulating prior understanding, examining candidate relations, reconstructing self-explanations, and testing understanding through near-transfer tasks. Learners may return to earlier judgments during this process; no fixed sequence is prescribed. The analysis addresses the grounds for acceptance, the correction of errors, and the use of near-transfer tasks to check understanding. Possible outcomes include justified acceptance, revision, and suspension of judgment. Three conditional propositions inform suggestions for future observation, instructional design, and assessment. By focusing on individual cognitive processing, the framework complements research on tool use and interaction records. The framework, propositions, and proposed observational measures have yet to be tested empirically. All classroom examples are hypothetical.

Keywords: generative artificial intelligence; university students; knowledge integration; self-explanation; human-AI collaborative learning

一、问题提出：得到解释之后，理解如何发生

在教育研究方法课上，可以设想这样一道题：某班采用新的教学方式后，期末成绩有所提高，这是否足以说明新方法有效？学生向生成式人工智能提问，很快得到一份完整解释，其中既有概念辨析，也有研究设计建议。读到这里，任务似乎已经完成。但若继续追问：学生原来的基础不同怎么办？换一个班级，结论还能成立吗？能够复述答案的学生，未必说得清判断依据。这个为理论分析设置的情境提醒我们，获得一份有条理的说明，与形成能够解释和修正的理解，并不是

作者简介：王晨（1996—），女，硕士、生成式人工智能与大学生学习机制研究。

同一个问题。

已有研究分别从教学组织、互动方式和学习表现切入这一问题。陈静远等提出，将生成式人工智能与以知识点为核心的教学资源组织方式结合，以增强教学应用的针对性[1]。何珊云、沈演对大学课堂人机对话的研究发现，其样本以单轮互动居多，持续讨论和评价性话语相对较少[2]。这些研究使我们能够进一步追问：资源被组织起来、学生参与了对话之后，哪些知识关系真正进入了学生的理解？互动记录可以呈现发生过什么，却不能仅凭提问次数说明理解发生了什么变化。

学习结果的研究呈现出不同方向。Kestin 等在大学课程开展的随机对照研究发现，经过专门教学设计的人工智能辅导，在所研究内容的学习测验中优于比较条件[3]。Bastani 等在土耳其高中数学课堂发现，缺少针对性教学约束的支持改善了辅助练习表现，却伴随后续独立考试表现下降；采用教学约束的条件未出现同样的显著下降[4]。两项研究的对象、任务和比较条件不同，不能直接对比效应大小，后者也不能直接推论大学生。这种结果差异提示，仅问“AI 是否有效”还不够，还需要认知层面的理论框架，解释不同支持方式为何可能产生不同的学习结果，而不能把差异一概归结为技术本身。

理论讨论已经注意到人机分工与学习过程的关系。钟柏昌、林小红围绕生成式自我调节学习讨论人技关系及学习循环的重构[5]；Nakamura 则从认知劳动分工解释人工智能支持下学习结果的差异[6]。在此基础上，仅强调“学生不能放弃思考”还不够。本文把分析进一步落到概念关系：系统已经组织好一套解释时，学生如何判断其中的联系、将其与已有认识接合，并在条件变化后重新组织解释？

本文属于概念性理论研究，以大学课程中的概念理解、理论比较和证据分析任务为范围，通过概念辨析与理论推导提出过程框架及条件性命题，不报告新采集的实证数据。文中课程例子均为假设情境，不是课堂观察或访谈材料；全部命题与框架尚未经实证检验。“大学生”限定分析对象，并不意味着这些认知过程只存在于大学阶段。

二、知识整合的理论基础与情境变化

（一）整合的对象不是信息数量，而是知识关系

Linn 与 Eylon 将知识整合放在学习者已有观点与新观点的联系中，强调辨析、组织并发展较为连贯的理解[7]。Linn 等关于科学教学与评价的研究，也关注学生能否建立具有解释意义的知识联系，而非只掌握孤立知识[8]。据此，本文将知识整合界定为：学习者围绕特定问题，依据相关证据和学科判断标准，建立、辨析、修正或暂缓接受概念联系的认知过程。理解并不因联系增多就一定更好。删除没有依据的联系，区分不能混同的概念，承认某个判断尚无充分证据，同样可能构成有意义的结构调整。

需要区分三个分析层面。外部表征指系统输出的文字、图示和解释框架；交互活动指学生的提问、比较、核验与修订；个体理解则指学生能够说明并运用的概念联系。前两者为观察学习提供入口，却不能直接替代第三者。一张漂亮的概念图可能只是良好的学习资源；反复修改图示，也未必触及关键关系。反过来，学生没有留下详尽的对话记录，并不能证明其没有学习。重要的是，外部材料怎样参与了理解的形成，而不是过程记录是否足够丰富。

候选关系：本文指生成式人工智能输出中，供学习者评判、尚未经其有依据接纳的概念—证据—适用条件联结。

这是服务于本文分析的工作性概念，强调外部解释在学习者判断中的暂定地位，并非认定这种关系只由 AI 产生。证据或条件未被明确写出时，其缺口本身就是审查对象。课程中的“某项证据支持某个结论”，不是两个术语之间的简单连线：学生需要说明为什么可以这样联系，又为什么不能随意延伸。“候选”既不预设输出错误，也不把未经理解的接受当作整合完成。

（二）自我解释为外部材料参与理解提供过程依据

知识整合视角说明学习者需要处理什么，自我解释研究则帮助解释这一处理怎样发生。Chi 等在八年级学生学习人体循环系统知识的研究中发现，引导自我解释有助于理解[9]。该结果不直接证明大学生使用人工智能时也会产生相同效果，但提供了可借鉴的过程依据：外部说明需要与已有知识建立联系，学习者对这种联系作出解释，可能参与其理解形成。

Fiorella 与 Mayer 关于生成性学习的研究，强调学习者主动组织材料并使之与先验知识发生联系，同时讨论相关策略的适用条件[10]。为避免名称相近造成混淆，本文将“生成性学习”专指学习者的认知加工，将“生成式人工智能”用于技

术系统及其内容生成。系统写出推理，不等于学生进行了生成性学习；材料由系统首先提供，也不妨碍学生通过比较和解释形成理解。本文据加工主体与活动性质划定边界，不以是否使用 AI 来认定生成性学习是否发生。

（三）从获取信息转向审查已组织的解释

本文关注的人工智能使用情境有一项特点：系统不仅返回信息，还围绕提问组织概念联系，并在追问后继续调整解释。学生因此需要审查“已经被组织好的关系”。一段推论是否省略了条件？文字中的因果表达是否有相应证据？调整措辞后，问题是否真的得到解决？这些问题不是传统学习中从未出现过的，但在人机连续对话中，需要同时追踪答案的变化与学生认识的变化，不能默认二者同步。

认知卸载研究讨论人们如何借助外部行动或资源降低任务的认知要求[11]。这并不意味着把任务交给工具必然损害学习。记录材料、保留中间信息或整理结构，都可能为概念比较提供便利。判断应回到具体学习目标：若课程要求学生辨析证据与结论的关系，材料整理可以借助技术，整理后呈现的推论却仍需通过学习活动加以把握。外部支持是否有益，取决于它减轻了什么负担，又为学生保留了怎样的理解机会。

三、大学生知识整合的过程机制

外部解释进入个体理解，并不是一次信息复制。本文以原有理解显化、候选关系审查、自我解释重构和变式应用校验，分别分析比较起点、关系依据、解释组织和适用边界。四环节之间存在多重双向反馈，不是固定的教学步骤。变式应用校验发现困难时，可返回候选关系审查；若发现最初问题理解有误，还可重新显化原有判断。自我解释重构中暴露的依据缺失，也会再次触发审查。这些往返仅是理论上可能的联系，不是已经验证的必经路径。

（一）原有理解显化：留下可以比较的起点

学生以什么认识进入交互，会影响其能够比较什么。具备一定基础者可以辨析观点，不理解关键术语者则可能难以确定比较对象。专长反转效应研究指出，同一种指导方式对不同知识水平的学习者未必具有相同作用[12]。因此，分析不应只从系统输出开始，还要辨认学生已有的判断、直觉及疑问。

原有理解显化，是把与当前问题有关的认识转化为可以反思和比较的对象。这些认识不一定是完整命题，也可能表现为尚说不清的直觉或错误前概念。在本文的假设情境中，学生可能只是直觉上觉得“分数上去了，方法就有用”。对暂时难以解释者，可以先请其在两个对照案例间作判断、标出有把握与拿不准的部分，或借助图示和口头追问逐步说明理由。这些表现只是认识的线索，教师不能替学生补出一套理由，再把它当作学生原有理解。

显化不要求学生完整说出全部内隐认知，只需捕捉与当前问题相关的局部判断与疑问。基础薄弱者不必先独立写出完整答案。教师可提供必要术语和简短示例，再请学生说明已理解与未理解的部分。比较起点也可以在第一次交互后形成。保留一句初始判断，便能在后续讨论中追问“你的哪条理由变了”。发现证据不足后撤回判断，并说明撤回的理由，也可能是整合发生的线索。

（二）候选关系审查：把完整答案拆成可判断的联系

按照前述定义，审查候选关系，就是判断外部解释中的联系能否被有依据地接受。首先应辨识关系性质：系统是在描述共现、提出原因、作出类比，还是依据规则进行推论？这些联系需要不同支持。答案客观上正确，与学生知道它为什么正确，仍是两件事。

随后，核验需要落到具体依据和适用条件。“你确定吗”可以开启追问，却不是核验的终点。同一个系统再次给出相同结论，并不构成独立证据；一条文献确实存在，也不等于它支持当前判断。学生应能够回到课程材料、原始研究或教师提供的对照资料，检查证据究竟支持了哪一部分。对无法接近原始材料的情况，则应保留限制，而不是把确认次数当成可信程度。

在假设的研究方法任务中，可以把解释拆成三个相连的问题：材料呈现了什么变化，为什么将变化与教学方式联系起来，还有哪些解释未被排除。若证据只能支持“出现了变化”，系统却进一步作出因果判断，学生要修正的是证据与结论之间的联系，而不只是把语气改得委婉。若联系已有充分依据，审查也可以以接受结束，不必为了体现批判性而刻意反对。

关系审查可以导向有依据的采纳、修订后采纳，或证据不足时的审慎保留（suspension of judgment）。审慎保留不是含糊回避，而是标明尚不能判断的部分，并说明缺少何种证据、需要

核验什么。新解释与原有认识相容时，可以检查新增条件；出现分歧时，再比较双方依据。“保持质疑”的态度不能替代核验。

（三）自我解释重构：从认可理由到组织自己的解释

审查主要回答“为什么可以接受”，自我解释进一步回答“这些联系怎样组成我的解释”。两者往往交错：试着说明理由时会发现证据缺失，核验之后也可能重新界定问题。自我解释研究提供了新旧知识联结的过程依据[9]，但其在人工智能情境中的具体作用仍需检验。学生可以补出省略条件、比较替代解释，或画出局部关系图；图中连线表示什么、为何成立，仍应由学生说明。

学生改动了哪些字句，并不是判断重构的好起点。仍以前述任务为例，比较条件变化后，学生若能说清原结论为何需要调整，便提供了理解变化的线索。单纯替换语序或词语不能说明这一点，保留部分原句也不足以否定学习。要观察的是关键关系如何被重新组织，而非谁记得更多细节；在这一过程中，学生仍可查阅资料。

还需单独考虑 AI 给出错误解释的情形。系统可能错述研究的分组方式，也可能把材料中的相关关系写成因果关系。学生需要回到原始材料，核清事实前提与推论各自的问题，再追查哪些后续判断依赖这条错误联系。撤回错误联系、追查依据并重建解释，需要留下具体理由；仅让系统重新作答，原有误解可能仍在。重构时应交代哪些联系须放弃、哪些判断还能保留，并以可核验材料为据。暂时无法核验的部分，应暂缓判断，不以新答案的流畅程度代替核验。

学生自己的解释同样可能出错，甚至会把未经核验的联系组织得更连贯。因此，自我解释不是可靠整合的充分条件，须与反馈相连。智能辅导研究中的“帮助困境”关注何时提供或保留支持[13]，并不把支持越少等同于学习越主动。系统可提供局部追问、对照材料和纠错提示，但若修改理由仍被完整代写，就需另行判断学生是否参与了重构。

（四）变式应用校验：在条件改变时检视理解

学习中的即时表现不能直接替代对长期保持与迁移的判断[14]。本文重点讨论近迁移变式：保留课程领域和核心关系，只改变比较对象、证据来源或某项限定条件，检查学生能否调整判断。相较之下，远迁移涉及更大的情境、表征或任务距离，例如将课程中的证据判断方法用于陌生领域。远迁移需要额外知识和转换能力，本文不把它作为四环节成立的必要证明，也不由近迁移表现推定其已经发生。

在前述任务中，可保留主要研究材料，只改变比较条件，请学生说明哪些判断仍然成立。只换措辞而不变知识关系，容易测到答案熟悉程度；同时改变过多条件，又不易定位困难。本文的变式设计因此首先服务于对关键关系的检视，而不是追求高难度跨学科应用。

应用中的困难可以使学生返回证据审查，必要时重新界定问题。反馈应指出哪条关系缺少依据，而不只给出对错。Hattie 与 Timperley 指出，反馈作用与其类型和提供方式有关[15]。学生不理解关系本身，与理解关系却漏看条件，需要不同反馈。前者可能要回到概念辨析，后者则宜重新比较条件；不能把每次错误都处理为重看一遍完整答案。

一次答对不足以说明理解稳定，表达不流畅也未必意味着整合失败。可结合关系说明、修订记录和适当延迟后的近迁移表现判断。四环节的结束并不要求得到一个毫无疑问的答案：形成可靠联系、修正不当联系和有理由地保留判断，均可能是结果。若只有外部答案改善而缺少个体理解证据，则不能直接认定整合已经完成。

四、机制的成立条件与理论命题

（一）知识基础、任务要求与支持方式的匹配

知识基础须与判断任务相匹配。不了解关键概念时，增加核验要求可能只增加无目标搜索，专长反转效应为这种适配提供了依据[12]。对基础不足者，可先给出概念说明和有限的证据；对已有基础者，再增加比较替代解释和识别边界的要求。显化与审查不应成为只有表达熟练者才容易完成的形式任务。

本文三个命题共同限定于大学课程的概念理解、证据分析和理论比较任务，不直接适用于以动作熟练度、程序自动化或机械记忆为主要目标的技能训练和背诵任务。不同课程的判断标准也需保留：证明任务关注推导规则，经验研究关注证据与推论的匹配，文本阐释需要说明材料与解释的联系。共同要求是依据可说明，而非所有学科共享一套答案标准。

审查还需要可理解的证据入口。仅要求“批判性思考”，却不给出可核验材料，学生仍可能在系统的多次回答之间循环确认。模型输出质量

也应纳入条件分析。事实准确性、逻辑有效性、解释完整性和证据可核验性，都可能改变审查难度。后续研究宜记录模型版本、提示和实际输出质量。不能仅依靠大模型名称假定输出质量，也不能将使用不同模型带来的学习表现差异简单归因为学习者认知加工水平。

动机与元认知能力可作为待检验的调节因素：学生是否愿意继续核验，是否意识到自己只是读懂措辞，可能影响其是否进入或返回某一环节。这里不把它们视为已证实路径，也不将照搬答案简单归结为懒惰。若任务只要求交付完整文本，学生的加工选择还可能受到评价要求影响。自我效能与求助方式的关系，也留待后续研究专门处理。

支持应减到什么程度，须看学生当前能完成哪些判断。Renkl 与 Atkinson 讨论过示例学习向问题解决过渡时支持形式的调整[16]。这一思路可用于区分完整解释、局部补全与自主组织：它们回应不同的理解状态，问题不只是是否允许使用 AI。尚不理解基础关系的学生，若过早失去支持，可能只是多作无效尝试；已经掌握这些关系后，持续接收成品解释也未必有助于当前任务。因而，调整要依据学生的实际判断，而非对话累计了多少轮。

（二）三个条件性命题及其观测方向

以下命题及拟观测方向均属理论推导，尚未经过实证检验。观测内容仅为操作化建议，不构成可直接使用的成熟量表或编码工具。

命题一（关系审查）：在系统输出、学习时间和基本任务条件相近，且学生能够理解证据的情况下，审查概念关系的依据与适用条件，相比只评价答案完整性和表达质量，更可能改善后续独立解释与近迁移表现。其推导依据是加工对象与后续判断要求相匹配。

观测重点：可沿着一条候选关系追踪学生的判断，查看其是否辨清关系性质、核对证据能支持什么、补上适用条件，以及据此作出修订。再以独立解释的准确性、依据充分性和延迟近迁移表现，考察理解是否变化。对话轮次、答案长度与完整度可另行记录，但不能单凭它们认定发生了关系审查。比较设计仍需平衡或控制先验知识、阅读能力与练习时间。上述内容只是拟观测方向，尚不是经过信效度检验的编码工具。

命题二（解释—反馈匹配）：自我解释对可靠知识关系形成的作用，受到先验知识与纠错反馈的共同限制。对于缺少关键概念的学生，仅增加解释要求而不给予适当反馈，未必优于提供清晰示例。解释能暴露认识，却不能自行保证正确。

观测重点：比较反馈前后的错误定位、错误联系撤回、依据补足及解释重组，区分措辞修改与关系修订。结果考察错误联系是否在后续判断中重现。须记录基线概念掌握、反馈准确性与针对性及任务难度。解释篇幅、自报投入或反馈条数不能直接代表整合质量。以上仅为拟观测方向，并非经过信效度检验的编码工具。

命题三（支持调整）：本命题比较两种支持安排，即持续提供完整答案，或依据学生表现逐步减少成品解释，同时保留必要提示和反馈。对已能完成基础关系判断、但近迁移应用尚不稳定的学生，后一种安排更可能促进关键知识关系的独立重建。基础不足或任务难度明显提高时，这一推论不直接适用。

观测重点：先记录支持何时开始撤减、提示具体到什么程度，以及学生实际怎样使用支持，再比较其前后对关系的说明、延迟独立重建和近迁移表现。总学习时间、材料、任务难度与教师额外帮助须保持可比。少求助不等于理解更好；如果学生只是增加了无效尝试，却未重新组织关系，就应重新考虑支持安排。这里列出的是拟观测方向，并非已完成信效度检验的编码工具。

后续研究需制定学科化编码规则，检验信度与效度，包括评分者一致性。还需区分干预是否引出审查、审查是否关联理解变化。对话轮次等过程变量不自动等于因果意义上的混淆变量，不宜不加区分地纳入统计控制。整体方案有效，也不足以证明所有环节及其循环关系均成立。

五、理论贡献与教学启示

（一）将人机分工落实到关系的判断与修订

相对于知识整合研究对观点辨析和联结的关注[7]，本文把系统预先组织的概念—证据—条件联结作为需要再次判断的对象。增量不在于换一个名称，而在于把外部答案与个体理解之间的距离落实为可分析的关系变化。整合质量不能只用联系数量和叙述连贯性描述，还要看学生是否掌握依据、边界及修订理由。

认知劳动分工研究讨论哪些加工由学生或系统承担[6]，本文进一步追问学生对加工结果形成了什么认识。系统先给出解释，不排除学生随后通过核验与重构学习；学生亲自写出答案，也不保证关系可靠。将审慎保留纳入结果，有助于区

分“知道证据还不够”与“尚未理解问题”，避免把表面的确定性当作成熟理解。

与国内研究的对话也应落实到具体问题。何珊云、沈演提出加强对 AI 回答的反思[2]，钟柏昌、林小红讨论人技协同中的学习循环[5]。本文承接这些讨论，将批判性使用具体化为辨识关系性质、核验依据和检查适用边界。它不是另建一套批判性思维理论，也不涵盖批判性思维的全部内涵，而是为课程中的反思要求提供较小的分析单位。删去一条无依据的断言，可能比增加一段流畅评论更能显示认知变化。

（二）围绕关键关系安排教学与评价

【拟议假想作业，尚未开展教学实践】以大学教育研究方法课为例，可用一份教学方式与成绩变化的简短材料布置作业。学生先留下对研究效度的判断，文字表达有困难时，也可画图或口头说明。读过 AI 分析后，选出其中三条影响结论的候选关系，逐条写明依据、适用条件和未决问题，再据此重构自己的分析，交代哪些判断保留、哪些撤回。随后，教师改变一项比较条件，让学生重新判断；下一次课再提供另一道近迁移题，作简短校验。

作业的组织顺序不必成为认知活动的固定次序。学生查阅材料时可以返回最初的问题，重构解释时也可能再次核验；遇到 AI 出错，要留下据何纠错的说明。核验材料可由教师预先审核提供，避免把任务变成无边界检索。提交物保持简短即可，包括自己的分析和关键修订记录，不需要另交一份完整对话汇编。

一份 AI 辅助报告能说明作业完成得怎样，却不能单独回答学生理解了什么。考核宜把两类证据分开：人机合作产出物关注文本组织、材料使用和任务完成；个体知识整合则看学生能否解释核心关系、指出尚不确定的部分，并在条件改变时调整判断。只收最终文本，评分就可能混入模型输出质量。

具体评价时，可从报告中选一条关键关系作简短口头追问，或给出近迁移任务，再与学生的修订记录对照。图示等适当表达形式同样可以使用。两类成绩如何加权，应由课程目标决定；一次脱离工具的测验也不能概括全部学习。文本像不像 AI 写的，则不宜作为判断知识整合的依据。

这些安排仍是待验证的设计建议。后续可借鉴 Sandoval 的推测映射思路，将设计特征、中介过程与学习结果分别检验[17]：核验提示是否引出关系审查，关系修订是否对应后续理解变化。研究还需观察审查未发生、反馈未被采纳或修订产生新错误的情形，才能辨认机制边界。

六、结语

本文从外部解释如何进入个体理解出发，以候选关系为分析单位，提出四环节之间的反馈联系及三个条件性命题。论证关注的不是 AI 把答案组织得多好，而是学生能否说明关系的依据，发现问题后是否能够修订。人机之间不必保持固定距离，但协同产出与个体理解应分别获得证据。

研究局限

本文目前能够提供的是概念解释与理论推导，框架、命题和拟议观测方向都还未经过实证检验。文中课程例子只是说明机制的假设情境，没有相应的课堂观察或访谈资料作为依据。分析限于大学生的概念理解、证据分析与理论比较任务，因而尚不能确认其对中小学生、技能型课程、机械记忆任务或远迁移是否适用。另一个边界是分析层次：这里讨论的是个体认知加工，课堂社会互动、同伴讨论及师生对话如何参与知识整合循环，尚未纳入。

动机、元认知、自我效能和模型输出质量虽被列为可能条件，其调节路径尚未形成或检验。后续可在相近任务和输出条件下，考察动机与元认知是否影响学生启动审查及返回核验；也可保持材料和提示相近，比较不同输出质量条件下的关系修订与延迟近迁移表现。研究仍须记录实际输出，不能只按模型品牌分组。检验应兼顾支持与反证，尤其需要解释审查已发生而理解未改善的情形。

参考文献：

[1] 陈静远, 胡丽雅, 吴飞. ChatGPT/生成式人工智能促进以知识点为核心的教学模式变革研究[J]. 华东师范大学学报(教育科学版), 2023, 41(7): 177-186. DOI: 10.16382/j.cnki.1000-5560.2023.07.016.

[2] 何珊云, 沈演. 学会提问：大学生与生成式人工智能协同学习模式的研究[J]. 华东师范大学学报(教育科学版), 2025, 43(2): 34-48. DOI: 10.16382/j.cnki.1000-5560.2025.02.004.

[3] KESTIN G, MILLER K, KLALES A, et al. AI tutoring outperforms in-class active learning: an RCT introducing a novel research-based design in an authentic educational setting[J]. Sc

ientific Reports, 2025, 15: 17458. DOI: 10.1038/s41598-025-97652-6.

[4] BASTANI H, BASTANI O, SUNGU A, et al. Generative AI without guardrails can harm learning: evidence from high school mathematics[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2025, 122(26): e2422633122. DOI: 10.1073/pnas.2422633122.

[5] 钟柏昌, 林小红. 生成式人工智能时代“学习的革命”：生成式自我调节学习[J]. 华东师范大学学报(教育科学版), 2026, 44(1): 44-55. DOI: 10.16382/j.cnki.1000-5560.2026.01.004.

[6] NAKAMURA D. Augmentation or erosion? Regulating cognitive offloading in generative AI-supported STEM learning[J]. Educational Psychology Review, 2026, 38: 124. DOI: 10.1007/s10648-026-10224-6.

[7] LINN M C, EYLON B S. Science learning and instruction: taking advantage of technology to promote knowledge integration[M]. New York: Routledge, 2011. DOI: 10.4324/9780203806524.

[8] LINN M C, LEE H S, TINKER R, et al. Teaching and assessing knowledge integration in science[J]. Science, 2006, 313(5790): 1049-1050. DOI: 10.1126/science.1131408.

[9] CHI M T H, DE LEEUW N, CHIU M H, et al. Eliciting self-explanations improves understanding[J]. Cognitive Science, 1994, 18(3): 439-477. DOI: 10.1207/s15516709cog1803_3.

[10] FIORELLA L, MAYER R E. Eight ways to promote generative learning[J]. Educational Psychology Review, 2016, 28(4): 717-741. DOI: 10.1007/s10648-015-9348-9.

[11] RISKO E F, GILBERT S J. Cognitive offloading[J]. Trends in Cognitive Sciences, 2016, 20(9): 676-688. DOI: 10.1016/j.tics.2016.07.002.

[12] Kalyuga S. The expertise reversal effect[M]//Managing cognitive load in adaptive multimedia learning. IGI Global Scientific Publishing, 2009: 58-80.

[13] KOEDINGER K R, ALEVEN V. Exploring the assistance dilemma in experiments with cognitive tutors[J]. Educational Psychology Review, 2007, 19(3): 239-264. DOI: 10.1007/s10648-007-9049-0.

[14] SODERSTROM N C, BJORK R A. Learning versus performance: an integrative review[J]. Perspectives on Psychological Science, 2015, 10(2): 176-199. DOI: 10.1177/1745691615569000.

[15] HATTIE J, TIMPERLEY H. The power of feedback[J]. Review of Educational Research, 2007, 77(1): 81-112. DOI: 10.3102/003465430298487.

[16] RENKL A, ATKINSON R K. Structuring the transition from example study to problem solving in cognitive skill acquisition: a cognitive load perspective[J]. Educational Psychologist, 2003, 38(1): 15-22. DOI: 10.1207/S15326985EP3801_3.

[17] SANDOVAL W. Conjecture mapping: an approach to systematic educational design research[J]. Journal of the Learning Sciences, 2014, 23(1): 18-36. DOI: 10.1080/10508406.2013.778204.