Advances in Education 教育进展, 2026, 16(11), 549-556
Published Online November 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/ae
https://doi.org/10.12677/ae.2026.16112415

Hans汉斯

建筑材料课程人机协同教学的认知卸载调控

程博远

东莞理工学院生态环境与建筑工程学院，广东 东莞

收稿日期：2026年10月4日；录用日期：2026年11月3日；发布日期：2026年11月10日

摘 要

文章针对建筑材料课程人机协同教学中认知卸载既能释放认知资源，又可能削弱学生独立判断与迁移能力的双重效应，采用文献分析、逆向教学设计和“目标–任务–证据”一致性审查，以滨海低碳混凝土配合比设计为例，明确人工智能的使用权限与学生应承担的认知责任。在此基础上，提出“独立预判–有界推演–专业核验–支架撤除–无AI迁移”五阶段调控链，设置基线、过程和终点三类检验，并从独立迁移、依赖落差、核验质量、信心校准和延迟保持等方面构建评价指标。该方案并非排斥人工智能，而是选择性卸载信息检索、重复计算等次要活动，同时保留问题界定、机理解释、标准判定和工程决策等核心认知责任，以协调工具效能与学生能力发展，但其实际效果仍需通过真实课堂数据进一步验证。

关键词

人工智能，建筑材料，人机协同，认知卸载，独立迁移

Regulating Cognitive Offloading in Human-AI Collaborative Teaching of Building Materials Courses

Boyuan Cheng

School of Environment and Civil Engineering, Dongguan University of Technology, Dongguan Guangdong

Received: October 4, 2026; accepted: November 3, 2026; published: November 10, 2026

Abstract

Cognitive offloading in human-AI collaborative teaching in a building materials course can conserve cognitive resources but may also weaken students' independent judgment and transfer ability. Drawing on literature analysis, backward instructional design, and an "objective - task - evidence" alignment review, this study uses a coastal low-carbon concrete mix-design project to define AI permissions and

文章引用: 程博远. 建筑材料课程人机协同教学的认知卸载调控[J]. 教育进展, 2026, 16(11): 549-556.
DOI: 10.12677/ae.2026.16112415

students' cognitive responsibilities. It proposes a five-stage regulatory sequence comprising "independent prediction - bounded reasoning - professional verification - scaffold removal - AI-free transfer", together with baseline, process, and endpoint checks. Assessment indicators cover independent transfer, dependence gaps, verification quality, confidence calibration, and delayed retention. Rather than excluding AI, the framework selectively offloads secondary activities such as information retrieval and repetitive calculation while retaining students' core cognitive responsibility for problem formulation, mechanism explanation, standards-based judgment, and engineering decisions to balance tool effectiveness with the development of students' abilities. Its effectiveness requires further validation with authentic classroom data.

Keywords

Artificial Intelligence, Building Material, Human-AI Collaboration, Cognitive Offloading, Independent Transfer

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

2026 年《"人工智能+教育"行动计划》提出推动人工智能与认知科学、心理学和教育学交叉，构建人机协同教学新模式，并强调引导学生学会思考。联合国教科文组织同样主张以人为本，避免生成式人工智能取代学习者应承担的认知活动[1] [2]。

生成式人工智能能够提供即时解释、计算支持和多方案比较，但流畅、完整的输出也容易将任务完成与能力形成混为一谈。已有研究发现，无约束的人工智能支持虽可提高练习阶段表现，却可能降低工具撤除后的独立测验成绩；设置教学护栏后，技术优势才更可能转化为学习收益[3]。因此，课程评价不能只看作品质量，还应检验学生脱离工具后能否独立判断。

认知卸载是个体借助外部行动或工具降低内部信息加工需求的行为。适度卸载能够释放有限资源；若将本应内化的问题表征、因果解释和决策过程交给工具，则可能由策略支持转为认知外包。生成式人工智能已从辅助检索延伸到推理和表达，学生的提示策略也呈现不同程度的认知卸载[4]-[6]。

建筑材料课程中的配合比设计、耐久性分析和工程选材具有多变量、规范约束与实验验证并存的特点。人工智能可以辅助数据整理、方案比较和性能分析，但若学生未先界定环境条件、选择关键变量并解释机理，便难以识别错误输入、越界预测或规范遗漏。近年研究已从学习科学、人机协同、专业课程融入和材料智能设计等方面提供基础，但较少将"人工智能撤除后能否独立完成平行任务"作为核心结果[7]-[11]。

据此，本文聚焦一个问题：如何发挥选择性卸载的资源释放作用，同时避免问题表征、专业判断与反思迁移被替代性卸载？研究据此确定认知责任边界，构建"五阶段－三检验"调控链、典型项目和区分"有 AI 表现"与"无 AI 能力"的评价证据。

2. 认知卸载的教学风险与调控依据

2.1. 认知负荷与最近发展区的理论基础

认知负荷理论认为，工作记忆容量有限，教学设计应控制与学习目标无关的外在负荷，并依据任务复杂度和学习者先备知识调节内在负荷，使有限认知资源更多用于图式建构与自动化[12]。据此，当资料

检索、单位换算和重复计算并非当前学习目标时，可将其选择性卸载给人工智能；问题表征、机理解释、标准判断和工程决策直接参与专业图式形成，不宜被工具替代。由此，本文的权限划分不是按工具功能机械设限，而是依据某项活动在特定学习目标中承担的认知作用进行判断。

最近发展区强调，学习应发生在学生独立能力与借助支持所能达到水平之间；支架只有在回应学习需要、促进主动参与并随能力增长逐步撤除时，才具有教学意义[13] [14]。“独立预判”用于识别学生现有独立水平，“有界推演”和“专业核验”提供受控支持并促使其比较、解释和纠错，“支架撤除”逐步降低外部帮助，“无 AI 迁移”则检验原先在支持下完成的推理能否转化为独立能力。人工智能输出因而不能天然视为支架；若缺少任务诊断、核验责任和渐隐机制，它反而可能越过最近发展区中的学习活动，直接替代学生完成任务。

2.2. 风险界定与调控依据

本文采用文献分析、逆向教学设计和“目标－任务－证据”一致性审查。先结合学习心理与人机协同研究界定选择性卸载和替代性卸载；再从“学生脱离人工智能后仍能独立判断”的预期成果反推任务、权限与评价；最后排查目标要求独立判断而任务允许人工智能代答、评价只看小组作品等断点[7]-[10]。课程对象为土木工程专业本科二年级学生，已具备高等数学、大学物理和基础化学知识。

传统建筑材料课程多按材料类别组织，容易出现知识关联不足、计算与记忆偏重、实验验证和工程权衡训练不足等问题。生成式人工智能进一步改变了任务边界：学生可能跳过分析直接获得方案。因此，课程既要利用人工智能提高信息处理效率，也要将不可外包的认知活动写入教学流程[9]-[11]。

认知卸载本身并非负面行为。单位换算、重复计算、资料检索和格式整理可以外化，使学生将资源用于机理分析与工程决策。问题在于生成式人工智能不会自动区分核心与次要活动；若缺少分工规则，学生可能一次性委托整个任务，把卸载扩展为认知外包[4] [6] [7]。

在建筑材料任务中，替代性卸载主要发生于四个环节：问题表征卸载，即直接让人工智能界定目标与约束；决策卸载，即让人工智能选择材料和参数；核验卸载，即用再次询问代替标准、机理、实验与反例核查；元认知卸载，即由人工智能代写错误分析和反思。这些环节可能构成“低投入－高产出－高信心－低迁移”的风险路径，如图 1 所示。本文所称“选择性卸载”和“替代性卸载”是面向课程目标提出的操作性划分，并非既有理论的固定分类。

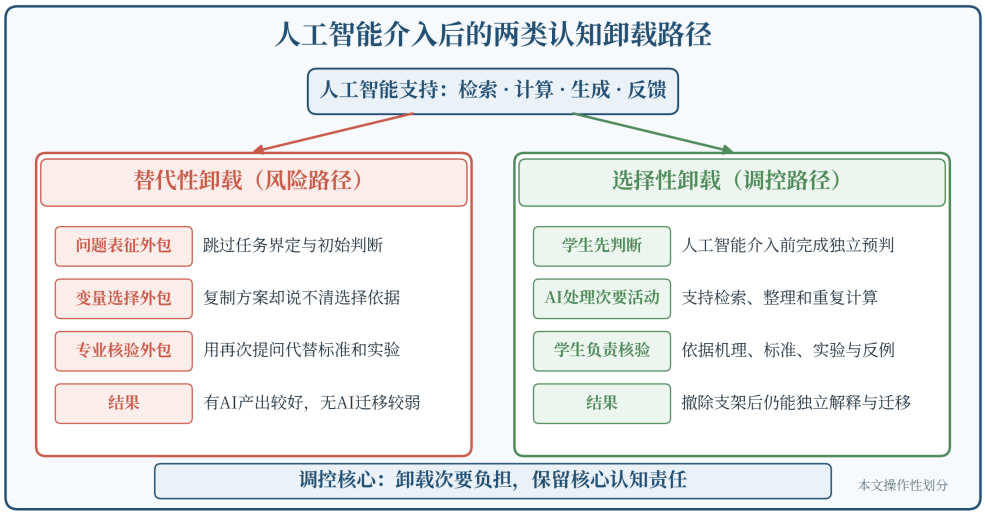


Figure 1. Two cognitive offloading pathways following AI intervention
图 1. 人工智能介入后的两类认知卸载路径

认知卸载调控遵循选择性、可追溯和可恢复三项原则。选择性要求仅将检索、整理和重复计算等次要活动交给人工智能，问题界定、变量选择、机理解释、规范判断和工程决策仍由学生承担；可追溯要求保留初始方案、提示过程、人工智能输出及采纳或拒绝理由；可恢复要求支架撤除后，学生能够在平行新任务中复现关键推理。认知责任边界还应依据课程目标、任务阶段和学生先备知识动态调整。

相应教学机制围绕“先生成、再支持、强核验、渐撤除、后迁移”展开：人工智能介入前先独立预判，避免直接阅读答案；介入后将输出作为待验证假设，以专业证据进行对照；随后逐步撤除模板、提示和自动检查，最终用无 AI 迁移与延迟测验判断知识能否独立调用[7] [8] (表 1)。

Table 1. Boundaries of cognitive offloading, AI permissions, and regulatory evidence
表 1. 认知卸载边界、人工智能权限与调控证据

认知环节	替代性卸载表现	人工智能边界	调控策略	主要证据
问题表征	直接复制人工智能给出的目标、约束和问题分解	可追问遗漏，不得替代初始界定	无 AI 预判，提交后方可开放人工智能	问题定义单、初始预测、信心评分
变量与方案选择	不知道变量含义即采用配合比或模型建议	可整理、计算和比较，不得代替选择理由	先说明变量依据，再请求推演并比较版本	变量清单、方案版本、采纳/拒绝理由
专业核验	再次询问人工智能代替标准和实验核查	生成结果只作为待检验假设	制造认知冲突，强制机理－标准－实验－反例核验	标准对照、试验记录、错误定位与修订
反思与迁移	由人工智能代写反思，换情境后不能复现推理	仅可在个人反思后辅助对比	渐隐支架、无 AI 迁移和延迟提取	个人答辩、迁移任务、延迟测验、反思日志

3. 认知卸载调控模式与实施载体

3.1. “五阶段－三检验”教学链

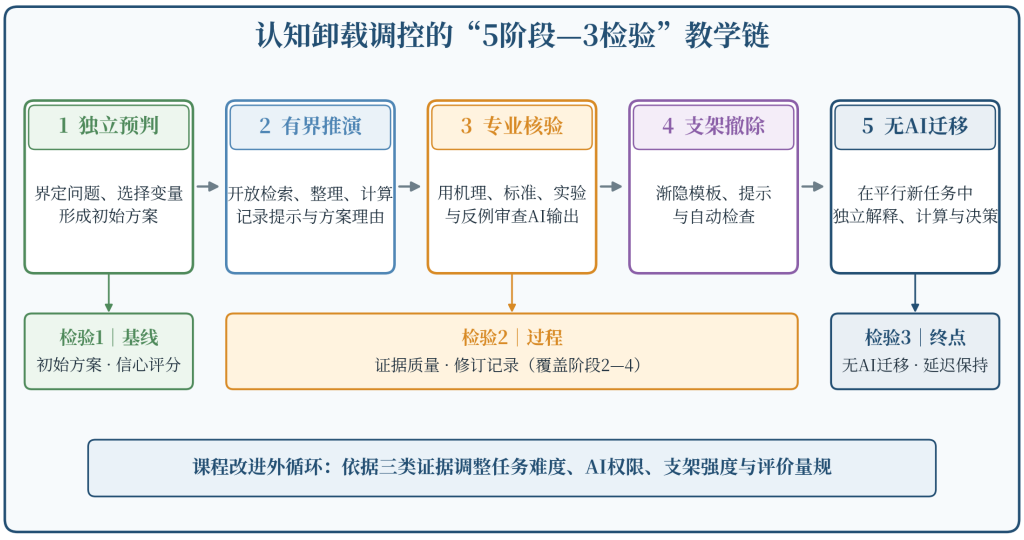


Figure 2. “Five-stage and three-check” instructional sequence for regulating cognitive offloading
图 2. 认知卸载调控的“五阶段－三检验”教学链

依据上述原则，构建“独立预判－有界推演－专业核验－支架撤除－无 AI 迁移”的五阶段调控链，如图 2 所示。独立预判阶段禁止使用人工智能，学生先界定问题、选择变量并形成初始方案；有界推演阶段开放资料整理、重复计算和方案比较，但须保留对话与修改记录；专业核验阶段将人工智能输出视

为假设，以材料机理、工程标准、实验结果和反例进行审查；支架撤除阶段依次减少模板、提示和自动检查；无 AI 迁移阶段要求学生在材料、环境或性能目标变化的平行任务中独立推理。

三类检验分别回答“学生原来会什么”、“是否真正审查了人工智能”、“撤除工具后还能做什么”。基线检验记录初始方案和信心判断；过程检验覆盖有界推演、专业核验和支架撤除，关注证据质量、版本变化和修订理由；终点检验采用无 AI 即时迁移与延迟保持。三类证据进入课程改进外循环，用于调整任务难度、人工智能权限、支架强度和评价量规。

3.2. 实施载体与人工智能权限

问题链、数据链、证据链和反思链用于承载五阶段活动。问题链组织无 AI 问题界定与初始预测；数据链允许人工智能辅助信息抽取、单位检查和重复计算，但学生负责变量语义与数据可比性；证据链组织机理、标准、实验和反例核验；反思链记录认知责任转移、错误修订和新情境迁移。核验失败时，任务返回问题链或数据链重新界定，而不是让人工智能直接重新生成答案。

双环对应两种尺度：项目内循环完成“预判－推演－核验－修正－迁移”，课程改进外循环汇总依赖落差、核验错误和迁移困难，调整下一轮任务与支架。外循环不以工具使用次数或满意度为主要依据，而以无 AI 独立表现是否改善为核心证据。

课程依据学习目标设置权限。允许用途包括概念追问、资料初筛、代码调试、单位检查和反例生成；数据提取、性能预测、配合比计算及多方案生成属于有条件允许，须在提交初始判断后开放，并披露工具、版本、时间和提示过程，完成专业核验；禁止人工智能代替个人预判、反思或答辩，禁止伪造实验数据和输入未公开工程数据。

权限依据认知责任而非工具名称。同一功能在不同阶段具有不同边界：课中可由人工智能检查水胶比计算，课后迁移题则关闭该功能；可由人工智能生成反例，但学生必须说明反例为何有效。教师同时提供教材、标准节选、电子表格或基础代码等替代路径，降低工具可及性差异。

4. 典型项目与评价设计

4.1. 项目实施

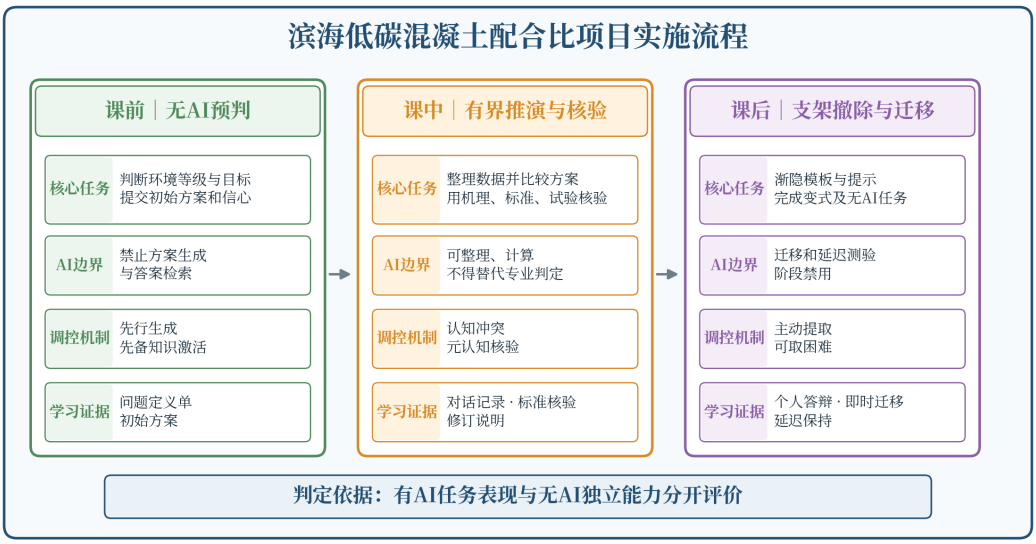


Figure 3. Implementation process of the coastal low-carbon concrete mix-design project
图 3. 滨海低碳混凝土配合比项目实施流程

典型项目设定为滨海环境下低碳混凝土配合比设计，要求同时满足强度、工作性、耐久性、材料可得性和碳排放约束。课前，学生阅读环境作用等级、材料参数和标准节选，在无 AI 条件下提交问题定义、关键变量、初始配合比及信心评分，作为基线证据。项目流程见图 3。

课中，学生提交初始方案后方可使用人工智能整理数据、检查重复计算、生成备选方案和构造反例。小组角色轮换，每名学生均承担方案提出和证据质疑，依据《普通混凝土配合比设计规程》及相关标准核查水胶比、胶凝材料用量、砂率、外加剂适用性和耐久性限值，并通过试拌、工作性试验及教师预制试件的 7 d 或 28 d 强度结果完成“预测–观察–解释”记录[15]。

课后先提供保留部分数据模板但关闭自动检查的变式任务，再更换材料来源、环境等级或性能目标，要求每名学生在无 AI 条件下完成平行任务和口头答辩；1 至 2 周后进行延迟测验，检查其能否重新界定问题、调用标准并解释参数变化。

4.2. 评价与实证设计

评价将人工智能支持下的任务表现与无 AI 独立能力分开记录。人工智能生成的文本、图表、代码和配合比不直接计分，评分对象是学生的初始判断、变量依据、专业核验、修订理由和独立迁移。有 AI 任务分数描述支持条件下的产出；无 AI 平行任务与延迟测验才是检验能力可恢复性的主要依据(表 2)。

Table 2. Assessment indicators and interpretations for cognitive offloading regulation
表 2. 认知卸载调控的评价指标与解释

评价维度	操作性指标	证据来源	测量时点	解释重点
有 AI 任务表现	问题、计算、方案和表达的量规得分	小组作品、过程版本	有界推演后	描述支持条件下的产出，不直接等同学习
无 AI 独立迁移	平行新任务中的问题界定、计算、解释和决策得分	个人限时任务、口头答辩	支架撤除后	核心结果；判断知识和策略能否独立调用
人工智能依赖落差	经平行任务难度校准后，有 AI 表现与无 AI 表现的差异	两类任务配对得分	即时	落差过大提示支持未转化为独立能力
专业核验质量	错误识别率、证据类型、标准适用和修订合理性	标准对照、实验记录、修订轨迹	核验阶段	判断学生是否真实评价而非重复生成
信心校准	作答正确性与信心判断的一致程度	阶段性信心评分	预判、核验、迁移	识别流畅性造成的过度自信或盲目不信任
延迟保持	延迟任务相对即时无 AI 迁移的保持程度	1 至 2 周后个人测验	延迟	区分短时模仿与较稳定学习

建议提高个人证据权重：独立预判 10%，人工智能过程留痕 15%，专业核验与实验解释 30%，小组方案与答辩 15%，无 AI 个人迁移 20%，反思与延迟保持 10%。该比例属于待验证建议，可随课时调整，但无 AI 个人证据不得被小组作品替代。教师可用四级量规评价问题界定、证据适切性、错误定位和修订合理性，并通过双人抽评检验评分一致性。

后续课堂研究可设置传统教学、无约束人工智能和调控型人机协同三种条件，采用相邻班级准实验或班级内交叉设计。各组使用知识点和难度等值的平行任务，统一记录前测、有 AI 任务、即时无 AI 迁移与延迟测验，并控制先备知识、工具经验、模型版本和教师评分差异。分析应报告均值、标准差、效应量与置信区间。

核心假设不是调控组在所有时点得分最高，而是其“有 AI 表现–无 AI 表现”落差小于无约束人工智能组，且无 AI 迁移和延迟保持优于自身基线。若方案只提高核验文本的形式完整性而未改善独立迁

移，则不能认定认知卸载得到有效调控。

5. 讨论

5.1. 理论机制与实施边界

本文的核心贡献在于将人机协同教学从“工具如何融入”收束为“核心认知是否被替代性卸载”这一可检验问题，并以认知责任配置连接人工智能权限、专业核验、支架撤除和无 AI 迁移。其创新属于教学设计层面的整合：不是提出新的心理学理论，而是把人工智能介入前后的认知责任和评价证据明确化，使课程能够区分“工具帮助完成”与“学生真正学会”。

从理论上看，该模式同时处理负荷分配与能力内化两个问题：选择性卸载减少非目标性外在负荷，独立预判与专业核验维持形成专业图式所需的认知投入；阶段性撤除人工智能支架，则使支持水平随学生独立能力变化。因而，判断人工智能支持是否有效，不能以即时产出是否更快、更完整为唯一标准，还应考察支持撤除后的迁移与保持。

模式实施需要教师掌握材料机理、标准应用和基本人工智能素养，课程能够提供可追溯的小型数据集、等值平行任务和必要实验条件。资源有限时，可先在混凝土配合比一个项目中实施，不必建设复杂平台；关键是控制开放时点、保留过程版本并设置个人无 AI 任务。

调控边界应保持动态。限制过严会削弱真实工程中的工具使用能力，任务过难则可能形成无效负担；学生还可能形式化补写初始预测与反思。对此，应依据先备知识分层提供支架，通过课堂限时提交、随机口头追问和版本时间记录提高证据真实性，并允许已证明独立能力的学生获得更高工具权限。

本文仍属于方案构建型教改研究，尚未提供真实班级的因果效果数据。“形成”和“构建”仅指模式与评价方案的设计结果，不代表学习成效已提高。有 AI 与无 AI 任务的难度等值、依赖落差的解释边界、延迟测验间隔，以及不同模型和提示素养的影响，仍需通过预测试和课堂实证确定。

5.2. 框架的跨课程适应性

“五阶段－三检验”是围绕认知责任配置的元框架，其阶段顺序可以保持，但任务定义、人工智能权限、核验依据和迁移方式需随学科调整。工科任务通常包含可量化约束和可重复验证，问题定义应明确参数、边界与容许误差，核验主要依靠公式、工程标准、实验数据和边界条件，迁移任务可改变材料、参数或工况；文科任务更强调概念界定、立场辨析和证据解释，核验应依靠原始文献、史料语境、论证一致性和反例，迁移任务可更换文本、案例或理论视角。

跨课程适配应遵循三项共同原则：首先，根据课程目标识别必须由学生承担的核心认知责任，而非预先固定允许或禁止的工具清单；其次，使过程检验采用本学科认可的证据标准，避免以人工智能再次确认替代专业核验；最后，设计与原任务结构相似但表面情境不同的无 AI 迁移任务，并依据学生已证明的独立能力动态调整支架。对于开放性较高、答案不唯一的课程，终点检验不宜追求单一标准答案，而应评价问题界定、证据质量、论证连贯性与反思修正。

6. 结论

建筑材料课程人机协同教学需要调控的不是人工智能使用或认知卸载本身，而是认知责任的配置。若将问题表征、变量选择、机理解释、规范判断和工程决策一并交给工具，选择性卸载就可能转为替代性卸载；仅凭有 AI 条件下的高质量作品，不能判断学生已形成专业能力。

本文提出“五阶段－三检验”调控模式：先独立预判，再开展有界推演，以机理、标准、实验和反例进行专业核验，随后逐步撤除支架，并通过无 AI 迁移和延迟保持检验能力可恢复性。课程评价应同时

记录独立迁移、依赖落差、核验质量与信心校准。该方案的实际有效性仍需通过准实验、过程数据和纵向测验验证。

参考文献

[1] 教育部等五部门关于印发《“人工智能+教育”行动计划》的通知[EB/OL]. https://www.moe.gov.cn/srcsite/A16/s3342/202604/t20260410_1433240.html, 2026-04-10.

[2] Miao, F. and Holmes, W. (2023) Guidance for Generative AI in Education and Research. UNESCO.

[3] Bastani, H., Bastani, O., Sungu, A., Ge, H., Kabakcı, Ö. and Mariman, R. (2025) Generative AI without Guardrails Can Harm Learning: Evidence from High School Mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **122**, e2422633122. https://doi.org/10.1073/pnas.2422633122

[4] Risko, E.F. and Gilbert, S.J. (2016) Cognitive Offloading. *Trends in Cognitive Sciences*, **20**, 676-688. https://doi.org/10.1016/j.tics.2016.07.002

[5] Misiejuk, K., López-Pernas, S., Kaliisa, R. and Saqr, M. (2026) Cognitive Offloading in Student-AI Collaboration: A Longitudinal Analysis of Prompting Strategies. *Computers in Human Behavior Reports*, **22**, Article 101130. https://doi.org/10.1016/j.chbr.2026.101130

[6] 董剑桥. 认知卸载还是认知外包: 教育数字化转型中的赋能与去智化风险[J]. 外国语文, 2025, 41(6): 12-27.

[7] 尚俊杰, 刘倩, 夏琪. 学习科学赋能人工智能教育应用的理论逻辑与实践路径[J]. 教育智能化前沿, 2026, 39(2): 61-68.

[8] 李海峰, 王炜. 人机协同深度探究性教学模式: 以基于 ChatGPT 和 QQ 开发的人机协同探究性学习系统为例[J]. 开放教育研究, 2023, 29(6): 69-81.

[9] 卢滇楠, 等. 生成式人工智能赋能高校课程教学: 以“化工热力学”课程为例[J]. 清华大学教育研究, 2024, 45(5): 89-98.

[10] 张鹏, 汪旸, 尚俊杰. 生成式人工智能与教育变革: 价值、困难与策略[J]. 现代教育技术, 2024, 34(6): 14-24.

[11] 姜占, 滕乐, 童昕阳, 等. 人工智能驱动可持续混凝土: 方法、机遇、挑战[J]. 硅酸盐学报, 2026, 54(3): 1016-1031.

[12] Sweller, J., van Merriënboer, J.J.G. and Paas, F. (2019) Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later. *Educational Psychology Review*, **31**, 261-292. https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5

[13] Vygotsky, L.S. (1978) Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes. Harvard University Press.

[14] Wood, D., Bruner, J.S. and Ross, G. (1976) The Role of Tutoring in Problem Solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, **17**, 89-100. https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1976.tb00381.x

[15] JGJ 55-2011 普通混凝土配合比设计规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.