

教育智能体的何种反馈能够促进学习?

——基于2015—2025年36项实证研究的系统性文献综述

田漫宇 顾双玲 张慕华

(首都师范大学初等教育学院,北京100048)

[摘要] 教育智能体作为人工智能技术与教育深度融合的创新产物,正在推动传统教育结构由“师—生”二元模式向“师—生—机”三元协同模式演进。在“师—生”二元交互模式中,教师的反馈对促进学生知识建构与动机调节至关重要。然而,在教育智能体嵌入的“师—生—机”三元交互模式中,教育智能体的反馈机制及其教学效能尚不清楚。本研究利用“教育智能体—使用条件模型”(Pedagogical Agents—Conditions of Use Model, PACU)系统梳理2015—2025年国内外35篇教育智能体反馈文献,分析何种设计因素与执行功能(反馈形式及反馈内容)能促进学习。研究发现,教育智能体的形象、承担角色、性别等因素可能显著影响其反馈效果。教育智能体的面部表情反馈可显著提升社会临场感与学习表现,手势反馈需明确语义以避免认知干扰;类人语音可显著提升情感表现力并激发学生学习动机,“生成性文本”反馈采用较少但值得探索;认知反馈需依任务复杂度分层设计,在必要时可提供学习者认知支架;情感反馈应以积极情绪为主导,但需避免虚假情绪表达。上述发现能为相关人员优化教育智能体设计、完善其执行功能提供依据,进而提升教育智能体的反馈效果,助力智能时代个性化学习普及。

[关键词] 教育智能体;反馈;人工智能;学习效果;教育智能体—使用条件模型

[中图分类号] G434

[文献标识码] A

[文章编号] 1007-2179(2025)06-0079-14

一、引言

2025年1月,国务院印发《教育强国建设规划纲要(2024—2035年)》,明确要求以教育数字化开辟发展新赛道、塑造发展新优势,并着重强调利用人工智能助力教育变革(中共中央国务院,2025)。教育智能体作为人工智能技术与教育深度融合的

创新产物,以其在工具层面具备的多模态交互属性,以及在教育层面具备的个性化反馈和社会支持潜能,成为推动教育结构由“师—生”二元模式向“师—生—机”三元模式演进的重要力量。已有元分析研究发现,教育智能体对学生学习表现具有中等偏小的正向促进作用,且具备某种角色、能提供特定反馈形式的教育智能体对于提升学生的学

[收稿日期] 2025-09-04

[修回日期] 2025-10-27

[DOI编码] 10.13966/j.cnki.kfjyyj.2025.06.009

[基金项目] 北京市教育科学“十四五”规划2024年度重点课题“沉浸式虚拟现实赋能科学教育提质增效的循证研究”(BAGA24039)。

[作者简介] 田漫宇,硕士研究生,首都师范大学初等教育学院,研究方向:技术增强学习;顾双玲,硕士研究生,首都师范大学初等教育学院,研究方向:初等教育学;张慕华(通讯作者),副教授,博士,硕士生导师,首都师范大学初等教育学院,研究方向:沉浸式学习、技术增强学习(zhangmuhua@cnu.edu.cn)。

[引用信息] 田漫宇,顾双玲,张慕华(2025).教育智能体的何种反馈能够促进学习?——基于2015—2025年36项实证研究的系统性文献综述[J].开放教育研究,31(6): 79-92.

习表现更具成效(刘妍等,2025)。

个性化学习是教育的终极追求,是实现教育现代化的必由之路(钟绍春等,2025)。个性化学习的本质决定了其对高质量、个性化反馈的强烈需求。高质量的外部反馈不仅对学习者发展复杂的高阶认知和技能至关重要,也是学习者根据自身情况调整学习策略、克服困难并取得进步的关键依据(何克抗,2017)。在远程学习可能成为新常态的背景下,反馈实践面临诸多挑战,比如教师无法观察学生的课堂表现并给予即时反馈,此时技术可发挥更大的作用(伍绍杨等,2021)。随着多模态交互、生成式人工智能等技术的发展,教育智能体不仅能基于学习者的认知特征和学习风格提供个性化反馈,还能支持师生互动,满足个性化学习需求(刘妍等,2025)。在“教”环节,智能体可通过推荐和动态调整,确保教学内容的准确性与适用性,并根据学生学习进度提供个性化资源。在“学”环节,智能体可实时监控学生学习状态,识别学习瓶颈,提供即时反馈和个性化学习路径,提升学习效果(吴永和等,2024)。经过合理设计的教育智能体能够为学生提供高质量的个性化反馈,从而助力个性化学习真正落地(Xie et al., 2019)。

教育智能体的功能和设计是近十年相关研究关注的焦点(刘清堂等,2019)。然而,如何合理设计教育智能体的反馈以促进学习尚缺乏科学依据。鉴于此,本研究采用系统性文献综述的方法,基于教育智能体使用条件模型(Heidig & Clarebout, 2011),从反馈的视角梳理国内外教育智能体相关实证研究,重点分析反馈形式与反馈内容,旨在厘清教育智能体的反馈设计对学习的作用机制以及何种反馈能提升学习表现,从而为教育智能体的反馈设计提供科学依据和理论指导,助力学生个性化学习。

二、教育智能体及其反馈有效性

(一)发展演变与概念界定

智能体技术的起源可追溯至人工智能发展初期。“智能体”(agent)这一概念最早由“人工智能之父”马文·明斯基(Minsky, 1986)提出。智能的实现是由一系列执行特定程序的心智代理(mental agent)以特定的方式协作运行实现的,这些

心智代理即为智能体。教育智能体又称教学代理(pedagogical agent, PA),由智能导师系统的虚拟形象发展而来,是智能体技术与教育教学融合的成果(徐振国等,2021)。其技术演进分三阶段:以规则驱动为核心的智能导师阶段、以多模态感知为中心的教学代理阶段,以及以生成式人工智能为主导的对话型智能体阶段(郑娅峰等,2025)。

20世纪70年代,依托认知主义学习理论与人工智能技术,以卡沃内尔(Carbonell, 1970)开发的SCHOLAR导师系统为代表的第一批智能导师系统诞生。这类系统利用计算机模仿教学专家的经验、方法辅助教学工作,具有较强的情景感知能力与自然语言理解能力,比传统的计算机辅助教学系统更加灵活(Sleeman et al., 1982; 张剑平等, 2008)。20世纪90年代末,南加州大学教育技术高级研究中心设计开发了动画教学代理(Steve),可与学生在联网的沉浸式虚拟环境中互动(Johnson et al., 1997),是多模态感知教学代理的代表。该阶段的教学代理虽环境适应性更强,但底层技术仍基于判别式人工智能,灵活性仍不足。进入21世纪,深度学习与强化学习的深度融合促使以ChatGPT、DeepSeek为代表的生成式人工智能迅猛发展。教育智能体迈入以生成式人工智能为主的对话型智能体阶段。该阶段的教育智能体展现出多项优势:场景适应性增强、知识扩展性优化、人机交互性强化、开发成本显著降低等(刘明等,2025)。从预设定反馈走向灵活的生成式反馈成为教育智能体新的发展方向。

“Agent”自21世纪初就有多种译法,如“主体”“智能代理”“智能主体”“智能体”“代理”等(任友群,2005)。约翰逊等(Johnson et al., 1999)认为教育智能体可与学生同处学习环境,自主地创造丰富的、面对面的学习互动。贝勒(Baylor, 2001)认为教育智能体是呈现在计算机屏幕上为学习提供智能支持的类人虚拟角色。刘清堂等(2019)认为教育智能体的核心属性为教学场景的虚拟形象,其目的是促进学习者学习。由此可见,教育智能体并非仅是接入教学环境的生成式人工智能或对话大模型,而是存在代理属性、角色属性的教学形象。本研究教育智能体是嵌入在数字化学习环境中具

有类人特征的虚拟计算机界面形象,能扮演特定角色与学习者交互,并提供认知和(或)情感反馈。

(二)反馈效果

在认知反馈方面,已有研究证实教育智能体的反馈在促进自我调节学习、提高知识留存等方面存在积极作用。例如,卡拉奥格兰·伊尔马兹等(Karaoglan Yilmaz et al., 2017)发现,相较于无反馈的对照组,教育智能体提供元认知反馈能显著提高大学生自我调节能力。阿胡贾等(Ahuja et al., 2022)发现教育智能体的认知反馈不会增加计算障碍者的内在与外在认知负荷。然而,伊尔马兹等(Yilmaz & Karaoglan Yilmaz, 2020)在计算机支持的协作学习中使用教育智能体提供信息反馈,发现其不会影响自我调节学习能力。在情感反馈方面,教育智能体通过增强学习者信心,增强学习动机,舒缓消极情绪。例如,阿格达斯等(Arguedas & Daradoumis, 2021)发现教育智能体的情感反馈通过增强学生的好奇心、创造力和信心,进而减少其消极情绪。黄和梅耶(Huang & Mayer, 2016)通过教育智能体的情感反馈向学习者传递缓解数学焦虑的信息,显著提高了学习者的感知努力程度(Cohen's $d=0.66$)。然而,唐纳曼等(Donnermann et al., 2021)发现,高等教育学习环境添加实体社交智能体并未显著提高学习者的参与度和积极性。

综上,教育智能体的反馈效果并不总尽如人意。根据多媒体学习认知—情感理论,教育智能体的情感反馈会通过调节学习者的认知投入,继而影响学习(Mayer, 1997)。当教育智能体的反馈未指向有意义学习时,其反馈会带来外部认知负荷,从而阻碍学习。教育智能体等智能技术工具不应仅是反馈信息的载体和输出端,更应承担起“思考”反馈过程与有效性的责任(王靖等, 2023)。此外,“动机”“情感”“认知负荷”“学习表现”等关键词在一定时期内居教育智能体研究的突出地位,反映出研究者开始关注学习者学习过程的内在心理需求(郑娅峰等, 2025)。因此,如何从学习过程和结果层面综合考虑教育智能体的反馈设计尤为重要。本研究从学习的外在效果(学习表现/知识留存/学习迁移)、内在心理机制(学习动机/情绪感知)与认知机制(认知负荷)维度综合分析教育智能体对学习

的影响,厘清教育智能体的反馈设计如何通过影响学习者的内在心理和认知机制最终作用于外在学习结果。

三、研究设计

(一)文献检索

本研究以“教育智能体”或“教学代理”或“动画代理”或“智能代理”或“虚拟导师”并含“教育”和“学习”或“教学”为中文检索主题词,“Pedagogical Agent”或“Animated Agent”或“Conversational Pedagogical”或“Intelligent Tutor”或“Virtual Tutor”或“Virtual Human”并含“Education”“Learning”“Teaching”为英文检索主题词,检索国内外数据库(中国知网、Web of Science、Elsevier ScienceDirect、Scopus),时间跨度为2015年1月—2025年5月,共检索到1614篇文献。

(二)纳入标准

为确保研究的科学性与数据来源的准确性,文献筛选遵循严格的纳入标准:1)发表于国内外学术期刊且可获取全文;2)研究方法为实验或准实验,设置实验组与对照组,且至少两个实验组包含教育智能体;3)教育智能体起到认知或情感反馈的作用,而非单向传递信息;4)因变量包含学习表现、学习迁移、知识留存、学习动机、情绪感知与认知负荷中的至少一个,且实验数据报告完整。

(三)筛选过程

本研究遵循2020年更新的系统性综述及元分析方法(Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses, PRISMA)筛选文献(Page et al., 2021)(见图1)。两位研究者参与文献筛选工作:第一阶段,粗读摘要,剔除非教育领域与非实证研究,共获268篇文献;第二阶段,借助Zotero剔除重复条目,获得文献177篇,其中30篇无法获得全文,通过向作者发送邮件获取全文10篇,共获得157篇文献;第三阶段,剔除非教育智能体、仅一组教育智能体、教育智能体无反馈和无相关变量的文献,剩下符合要求的文献为34篇。本研究还采用滚雪球方法,从综述研究中纳入文献1篇。最终,本研究纳入符合要求文献35篇(其中1篇文献包含2项研究)。

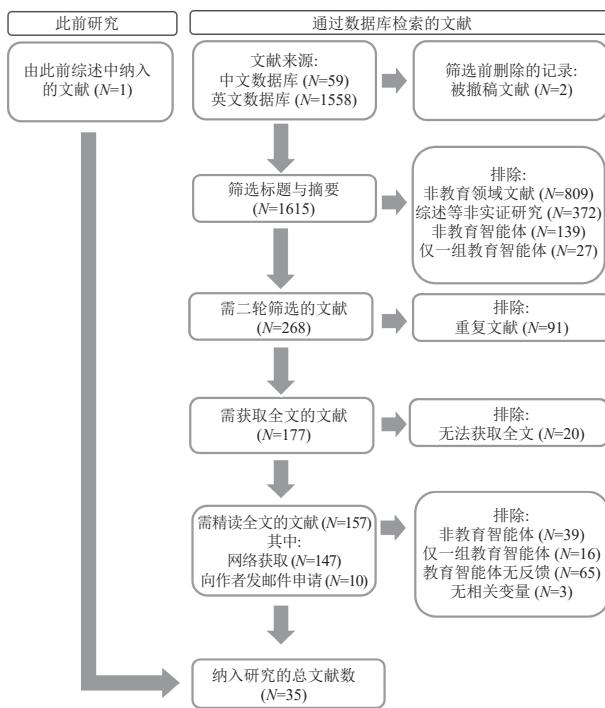


图1 文献筛选流程

(四) 文献编码与标注

为系统比较教育智能体的相关研究,海迪格等(Heidig & Clarebout, 2011)提出教育智能体—使用条件模型。他将教育智能体的使用分为四部分:1) 使用教育智能体的学习环境及主题,2) 学习者特征,3) 教育智能体执行功能,4) 教育智能体设计。

鉴于本研究旨在探索如何根据学习环境、主题和学习者特征优化教育智能体的反馈设计和功能部署,研究人员改编了教育智能体—使用条件模型的第三部分,将执行功能分为反馈形式和反馈内容(见图2)。

研究人员基于改编后的模型制定编码框架(见表1),独立编码与标注,并针对存在的问题修订与完善编码框架。初步编码完成后,两位研究人员合并编码结果,针对差异重读文献,最终达成共识。本研究依据规则对研究文献进行编码(见表2部分编码结果)。

四、研究结果

(一) 整体分析

1. 不同技术发展阶段教育智能体反馈比较

本研究聚焦独立于智能导师系统的教育智能

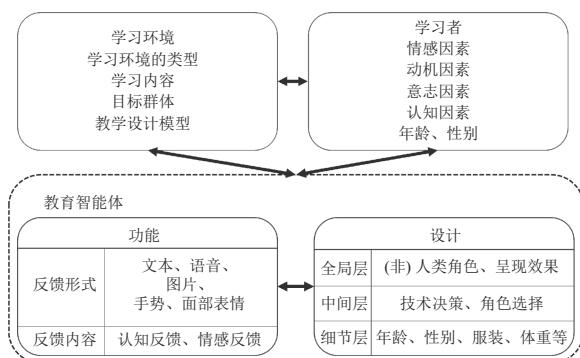


图2 改编后的教育智能体—使用条件模型

表1 基于改编后的教育智能体—使用条件模型的文献编码规则

要素	编码对象	编码内容
环境及主题	学科性质	科学[1](物理、化学、生物)、数学[2]、人文[3](语文、英语、历史、政治、地理)、信息技术[4](计算机、人工智能、VR/AR)、体育[5]、美育[6]
学习者特征	性别	男[1]、女[2]
	学段	小学[1]、中学[2]、大学[3]
教育智能体的设计	形象	真人录像[1]、数字人[2]、动画人物[3]、动画形象[4]、动物[5]、对话框[6]、无实体[7](音频、剪影)
	角色	教师[1]、同伴[2]、助教[3]、专家[4]、情感[5]
	性别	男[1]、女[2]
教育智能体执行的功能	反馈形式	文本: 预设定文本[1]、生成性文本[2]
		语音: 人声录制[1]、机械合成[2]
		手势: 有明确意义的手势[1]、无明确意义的手势[2]
		面部表情: 积极情绪[1]、消极情绪[2]、中性情绪[3]、多种情绪(即面部表情兼具积极、消极等多种情绪)[4]
因变量	反馈内容	认知性、情感性
	知识性	学习表现、学习迁移、知识留存
	非知识性	学习动机、情绪感知、认知负荷

注:所有编码类别中“无”均编为0,“无法判断”均为总类别数+1。

体,因此仅对第二阶段(以多模态感知为中心的教学代理)和第三阶段(以生成式人工智能为主导的对话型智能体)涉及反馈功能的教育智能体研究(至少有一组实验组使用教育智能体且起到反馈作用)进行分析,以展现不同技术发展阶段教育智能体反馈的差异及发展趋势。本研究未完全参照郑娅峰(2025)按时间进行二三阶段的划分,而以是否使用

表2 文献编码(部分)

作者	环境及学科		学习者特征		教育智能体功能						因变量							
	学习环境	学科	学段	性别数量	反馈内容			反馈形式			教育智能体设计			自变量				
					认知性	情感性	文本	语音	图片	手势	面部表情	形象	角色	性别	学习表现	知识留存	迁移机	
VanderMeij (2015)	在线学习	科学	中学	男20 女21	✓	✓	0	2	0	0	40	27	2	2	教育智能体的形象	✓	×	✓
Shiban (2015)	在线学习	数学	大学	男21 女87	✓	✓	3	3	0	110	440	226	1	120	教育智能体的性别	✓	×	✓
Bernstein (2016)	在线学习	人文	大学	女137	✓	✓	1	1	0	0	4	111166	4	2	反馈类型、提示是否存在、教育智能体图像是否存在	✓	×	×
Carollo (2016)	在线学习	人文	大学	72	✓	✓	0	1	0	001	004	733	1	2	教育智能体的存在形式	✓	×	✓
Guo(2016)	在线学习	信息技术	大学	男49 女56	✓	✓	1	3	0	10	43	4	1	1	教育智能体的情感	✓	×	✓
HAYASHI (2016)	在线学习	人文	大学	314	✓	✓	3	3	0	0	112233	2	1	121212	教育智能体的性别、情感	✓	×	×
Kim(2016)	在线学习	数学	中学	女67	✓	✓	0	1	0	0	5	2	2211	2121	教育智能体年龄、性别	✓	×	✓
Makransky (2018)	虚拟现实	科学	中学	男33 女33	✓	✗	0	2	0	3	4	2	1	2211	教育智能体的性别是否与学生匹配	✓	✗	✗
Gao(2022)	在线学习	信息技术	大学	64	✓	✓	1	3	0	3	3	8	6	3	教育智能体在给予反馈后是否给予论据脚手架	✓	✗	✗
Lang(2022)	在线学习	—	大学	117	✓	✓	2200	0	0	0	4433	2	1	1	教育智能体是否有情感,反馈是否详细	✗	✗	✓
Liew(2022)	在线学习	信息技术	大学	男39 女27	✓	✓	0	3	0	0	2211	2	1	1	教育智能体的情感、学习者的性别	✓	✗	✗
Lang(2024a)	在线学习	科学	大学	60	✓	✓	0	2	0	0	43	2	2	2	教育智能体是否提供情感支持	✗	✗	✓
Lang(2024b)	在线学习	科学	大学	60	✓	✓	0	2	0	0	13	2	2	2	教育智能体是否有情感	✓	✗	✓
Hayashi (2025)	在线学习	人文	大学	—	✓	✗	2	3	0	0	5	2	1	1	教育智能体有无提示、教育智能体有无交互	✓	✗	✗
朱珂(2024)	在线学习	信息技术	大学	32	✗	✓	1	3	0	0	13	2	1	2	教育智能体是否有情感	✗	✓	✗
王雪(2025)	在线学习	科学	大学	104	✓	✓	1	3	0	0	3131	2	1	2	形式与教育智能体是否有情感	✗	✓	✓

生成式人工智能技术进行反馈的技术实现划分阶段。

第二阶段教育智能体(未采用生成式人工智能技术)的认知反馈(56.79%)与情感反馈(43.21%)的使用近乎持平(见图3)。这一阶段教育智能体的反馈形式呈多样化特征,研究多聚焦教育智能体的角色、性别与情绪设计如何影响学生学习效果。然而,技术限制使这一阶段教育智能体多基于数据库预先设定的文本给予言语类反馈(占48.86%,见图4)。第三阶段,就反馈内容而言,生成式人工智能使得教育智能体的认知反馈更具个性化优势。六项研究的教育智能体均提供认知反馈。相较第二阶段,第三阶段生成性文本的使用率由11.36%

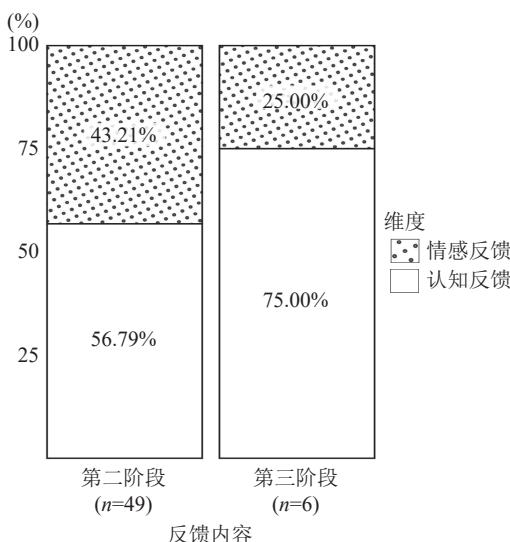


图3 第二、三阶段反馈内容对比

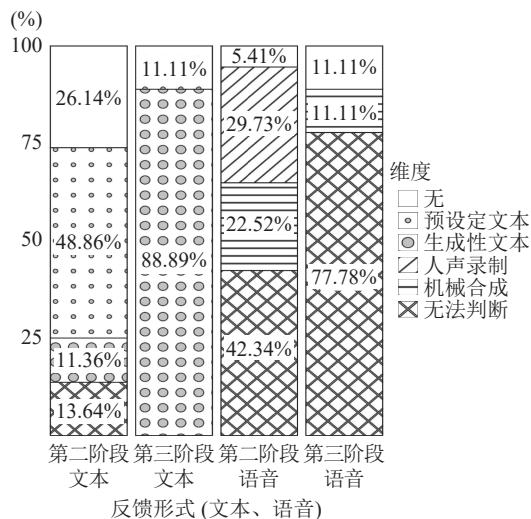


图4 第二、三阶段非言语类反馈对比

大幅提升至88.89%(见图4),研究者开始将目光聚焦于深入探索生成式人工智能支持的认知反馈对于学习者知识技能与情感动机的作用机制。情感反馈研究相较于此前阶段并无明显进展(见图5),第三阶段研究大多未使用情绪表达的反馈形式(如手势、面部表情)。同时,该阶段半数以上研究仅报告使用某种反馈形式但未说明类型。

2. 不同学科、学段教育智能体反馈比较

学习环境方面,教育智能体多被置于在线学习环境(N=35),少数被置于虚拟现实环境(N=1);就学科而言,教育智能体多应用于信息技术(N=13),用于体育(N=2)、美育等数量较少;就学段而言,教育智能体多被用于大学及以上学段(N=23),用于中学(N=6)与小学及以下(N=5)的较少;就性别而言,多为男女混合样本(N=34)。由于学习环境和性别变量种类单一且样本差距过大,无法支撑交互分析,因此,本研究仅分析教育智能体反馈与学科、学段间的交互关系。

学科与反馈的关系上(见图6),反馈形式的计数是对所有实验组别使用情况的统计。其中,信息技术学科与反馈内容的交互最频繁,该学科注重认知与情感的双重支持,多采用预设文本和机械语音的反馈形式;人文类学科与情感和表达类反馈更密切,多采用人声录制和多种情绪反馈,反映出人文学科注重情感共鸣与互动交流;体育学科反馈形式集中在“有明确意义的手势”上,这可能是因为该

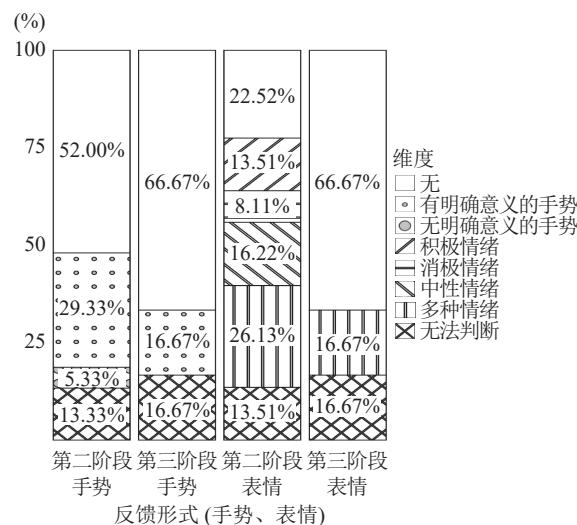


图5 第二、三阶段非言语类反馈对比

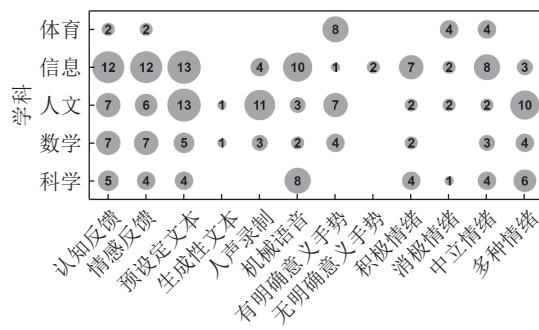


图6 学科—反馈内容与反馈形式关系气泡图

学科更侧重动作示范与纠正。

学段与反馈的交互关系上(见图7),大学的反馈频次远超中学与小学,且反馈形式多样复杂。这表明针对大学的智能体反馈模式更成熟精细。中小学教育智能体的使用较少,精细化反馈设计有待加强。

(二)设计因素

就全局层而言,教育智能体采用人类形象还是非人类形象进行反馈效果更好目前尚无定论。在36项研究中,有七项研究对教育智能体形象发挥的作用进行阐述:两项研究认为具有人类角色的教育智能体更具优势,三项研究表明非人类角色更具优势,两项研究证实其对学习不具有显著影响。使用人类角色在一定程度上能够提升学习者的参与度与学习动机(Träning et al., 2020),继而提高学习效果,但人类角色也可能存在分散学习者注意力。有研究发现使用非人类角色代理的学生的知识留存和学习表现优于人类代理(Ahmadi et al., 2017)。教育智能体的具身形象设计对于提升学习表现的作用有限,且不同具身设计对学习表现的影响程度也有差异,如声音可能比动作、手势对学习有更积极的贡献(Carlotto & Jaques, 2016)。如何在激发动机的同时确保学习者的注意力是教育智能体全局层设计要考虑的重点。

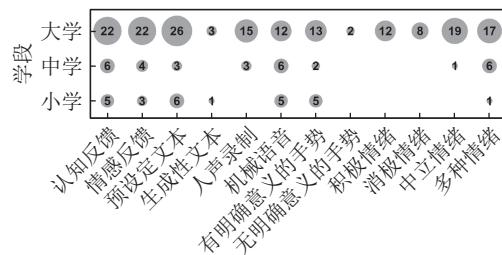


图7 学段—反馈内容与反馈形式关系气泡图

就中间层而言,本研究重点关注中间层设计的角色选择。为指导对教育智能体特征(如年龄、性别、服装等)的设计,本德尔(Bendel, 2002)提出应赋予教学智能体以特定的角色,如可以概念化为专家、教师或同伴。在36项研究中,有两项研究关注教育智能体角色对学习者的影响。一项研究发现教师角色和同伴角色的教育智能体均能显著影响学习者的学习表现和知识留存,但同伴代理条件下儿童对高难度词汇的学习和保留显著优于教师代理(Chen et al., 2020)。另一项研究探讨了教育智能体角色(教师代理和同伴代理)与学习者种族间的关系,发现白人和少数族裔女生总体上给予同伴代理更积极的评价,认为同伴代理更可信、友好和有帮助(Kim, 2016)。可见,教育智能体中间层要考虑不同种族或文化背景角色差异可能带来的学习效果差异。

就细节层而言,本研究着重关注性别在细节层设计中发挥的作用。在36项研究中,有五项研究与教育智能体性别有关。一项研究表明,教育智能体的性别设计各有优势,如使用女性角色能使学习者对课程材料更感兴趣,进而提高学习动机;男性角色则能提高学习表现和学习过程的享乐感(Shiban et al., 2015)。另有两项研究探讨教育智能体的性别与学习者性别的交互作用:一项发现教育智能体的性别与学习者性别一致时,会产生更好的学习效果(Makransky et al., 2018);另一项发现学习者与异性智能体互动表现出融洽关系,学习表现会显著提高(Krämer et al., 2016)。

(三)反馈形式

1. 使用情况

执行身体动作的类人教育智能体会引发学习者的社会效应,它可以通过生活化的交互线索与学习者建立积极关系(Guo & Goh, 2016; Krämer & Bente, 2010)。在设计具有社会效应的教育智能体的反馈形式时,研究者普遍采用“组合策略”,而非单一形式。图8呈现了36项研究整体组合使用情况,图9呈现了反馈形式关联性网络(见图9),节点大小代表反馈形式的使用总数,粗细代表两种反馈形式间的关联程度。由图可见,文本与情绪是使用最频繁的反馈形式,而语音与情绪的结合最紧密,二

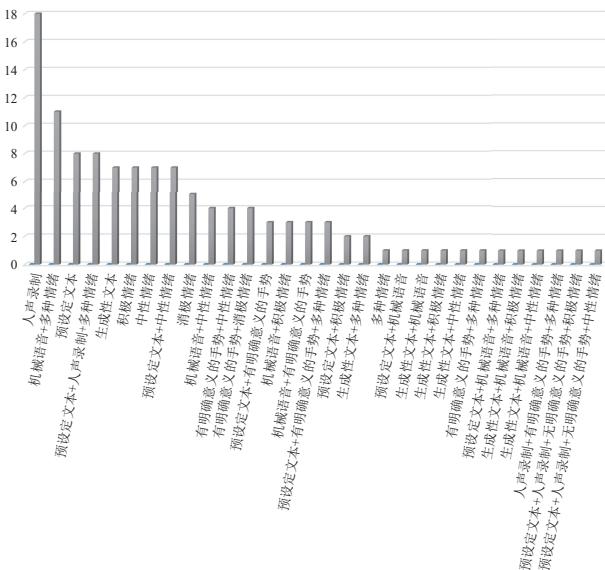


图8 教育智能体反馈形式组合频率柱状图

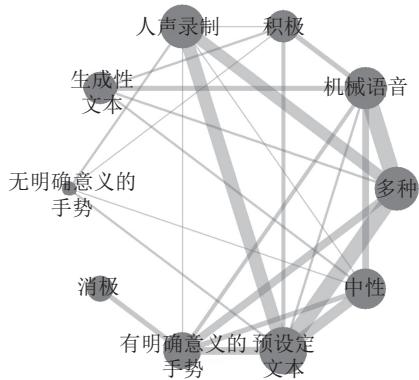


图9 教育智能体反馈形式关联性网络

者构成教育智能体社会交互的基础框架。无论是真实的“人声录制”还是合成的“机械语音”，都与“多种情绪”高度关联。这表明研究者通过为语音注入情感可显著提升教育智能体的自然度和表现力。此外，文本仍是传递教育智能体反馈信息的最常用途径。随着生成式人工智能技术的发展，文本类型已逐渐由预设定文本转向生成性文本。

统计显示，当前的教育智能体主要采用文本、语音、手势和面部表情四类反馈形式，本研究将其分为非言语类反馈形式（手势、面部表情）与言语类反馈形式（文本、语音）。

2. 教育智能体非言语类反馈行为对学习效果的影响

手势是一种多面向的非语言沟通，可在一定程

度上补充言语行为未传递的信息(Mcneill, 1994)。手势设计常与面部表情设计同时出现，以传达教育智能体的情感。然而，两项面部表情与手势作为反馈的研究均显示，二者结合并未对学习效果产生影响，表明有意义的手势与面部表情结合相较于无具身形象的对话框未能显著提升学习效果(Shiban et al., 2015; Carlotto & Jaques, 2016)。

相比之下，面部表情作为情感反馈的载体，在在线学习中显示积极影响(Lu & Law, 2012)。一项研究发现，结合面部表情的双模态反馈能提高儿童的感知共情力进而提高学习动机与表现，效果显著优于单一语言反馈(Oker et al., 2020)。另有两项研究证明面部表情对学习表现和情感动机激发的积极作用(Bringula et al., 2018; Krämer et al., 2016)。

3. 言语类反馈行为对学习效果的影响

未有研究将教育智能体的言语类反馈作为自变量分析其对学习效果的影响。但从文本反馈类型看，多数研究选择“预设定文本”，仅三项研究使用“生成性文本”。一项研究通过预先设计的计算机智能体语料库向学习者提供反馈，支持学习者讨论(Gao et al., 2022)。另一项研究基于“教学相长”理论设计提供生成式反馈的数字学生，学习者通过接收并回应低自我效能感学员的反馈，激发“反向榜样效应”，从而间接提升自我效能感(Tärning& Silvervarg, 2019)。

此外，在教育智能体的发展历程中，富有情感与表现力的语音已被证明优于机械合成语音，后者可能降低学习者的信任感(Schroeder et al., 2021)。目前，以豆包为代表的部分大模型已提供类人语音，但语调相对和缓，情绪较平淡，难以达到完全的拟人状态，其社交有效性有待研究。因此，教育智能体的语音反馈设计可尝试调用能提供类人语音的大模型，采用人声录制的形式提供语音反馈。

(四) 反馈内容

1. 认知反馈

认知反馈旨在通过提供关于学习者思维过程、策略或认知模式的信息，在学习中起重要的支架作用(Nadolski & Hummel, 2017)。认知理论指出，反馈通过提供具有战略价值的信息为主动学习者赋能，从而支持学习者的自我调节机制(Bangert-

Drowns et al., 1991),但其实际效果在很大程度上取决于所提供的信息的内容属性与质量水平。本研究按内容复杂程度将其分为简单反馈和详细反馈。简单反馈即仅验证答案正确与否的知识反馈和提供正确答案的正确响应反馈(Shute, 2008);详细反馈侧重提供指导信息。

对于认知反馈的支架作用,三项关于元认知的研究均证实其对学习的积极作用。一项研究发现提供元认知支持可显著提高学习者的知识监控能力(Kautzmann & Jaques, 2019)。一项研究对比了问题化提示与结构化提示两种元认知支持的作用,发现元认知提示对积极情绪有显著的主效应,问题化提示显著优于结构化提示(王雪, 2025)。此外,一项研究探索了教育智能体提供的“论证脚手架”对小组讨论学习的积极作用,发现相比未提供“论证脚手架”的对照组,实验组的讨论更能聚焦教育智能体提供的关键词。

对于反馈的复杂程度,使用详细反馈的研究占绝大多数(共20项),使用简单反馈的研究仅四项。其中,两项研究以教育智能体反馈的复杂程度为自变量,均展现出详细反馈的优势。一项研究发现,教育智能体的详细认知反馈相较于简单反馈,更能促进学习者的认知迁移(Lang et al., 2022)。另一项研究反馈复杂程度在人际沟通技巧学习中的作用,发现详细反馈组的可用性评分显著高于简单反馈组(Bernstein et al., 2016)。

2. 情感反馈

情绪传染理论认为,人们进行社交活动时会自动模仿和同步他人在对话中表达的情绪(Hatfield et al., 1993),给予教育智能体拟人化的情绪线索可以加强沉浸式学习体验并提高学习效果。特齐斯等(Terzis et al., 2012)依据教学策略反馈,将情感反馈分为:奖励/积极、中立(即无情感倾向的反馈)、惩罚/消极三类。这种反馈分类体现在教育智能体的情绪设计上。

17项研究探讨了教育智能体情绪反馈对学习的影响。在九项比较“积极情绪”与“中性情绪”反馈研究中,六项显示积极反馈更有效,两项认为无显著差异,一项指出积极反馈存在负面影响。一项研究发现积极组学习者内在动机、积极情绪感

知与认知测试显著高于中立组,且学习者的外认知负荷未产生显著的主效应(Liew et al., 2017)。另一项研究表明,相较于“中立”反馈,“积极情绪”反馈显著提高学习者的认知迁移($p=0.034$),促进学习者的正面情绪感知(Ba et al., 2021)。然而,也有一项研究发现,教育智能体的积极反馈对学习者的学习表现未产生显著影响,相较于中立组,积极组的学习者对返回虚拟课堂的意愿较低(Liew et al., 2016)。

在五项比较“积极情绪”与“消极情绪”反馈的研究中,四项认为积极反馈更优,一项认为无显著差异。其中一篇文献涉及两项研究,第一项研究重点验证反馈策略对学习的直接影响,发现与“消极情绪”反馈相比,“积极情绪”反馈显著提升了学习者的心流体验和学习表现;第二项研究探讨了反馈策略对学习表现的作用机制,积极组的情绪感知、自我效能与内在动机显著高于消极组,并通过提升内在动机改进学习表现(Bian & Zhou, 2022)。另一项探究愤怒作为反馈线索是否比快乐更有效的研究未发现其对学习表现出显著的主效应(Liew et al., 2022)。

另有四项研究比较“多种情绪”与“中立情绪”,其中三项发现多种情绪更有效(Bringula et al., 2018; Lang et al., 2022; Lang et al., 2024a),一项显示中立反馈更优(Ahmadi et al., 2017)。例如,朗等(Lang et al., 2022)的研究表明多种情绪有助于降低学习者的困恼情绪。艾哈马迪等(2017)的研究则发现英语教学提供多种情绪的拟人教育智能体会因其丰富的情感与拟人特征分散学习者注意力,增加视觉负担,降低学习效果。

五、设计建议

为确保教育智能体的反馈效果,本文基于上述实证研究发现,从设计因素、反馈形式和反馈内容三个维度提出教育智能体反馈设计的建议。

(一)全局设计:综合考虑学习目标、内容、学习者特征,在激发动机和降低外部认知负荷过程中寻求最佳决策

文献分析发现,全局层的设计对学习者的知识技能习得具有一定的影响。首先,学习者与教育智

能体的交互可能引发认知过载,削弱学习效果(Hollender et al., 2010; Sweller, 1988)。当学习材料复杂程度高、信息量大时,设计人员可考虑选择非人类形象,减少学习者同时处理学习材料与教育智能体形象所产生的外部认知负荷,方便学习者集中精力处理核心内容(Ahmadi et al., 2017),如艾哈马迪等(2017)将教育智能体形象设计为剪影,范德迈(Vander Meij et al., 2015)将其设计为隐身形象,即删去具身形象但保留角色设定,通过语音传递反馈信息。当学习者年龄小、学习内容文字较多时,设计人员可考虑选择人类形象或动画形象:一方面减少大量阅读带来的外部认知负荷;另一方面调动学习热情,提升学习效果(Träning et al., 2020)。此外,教育智能体全局层设计应综合考虑教学目标。当以知识记忆为主要目标时,设计人员可选用非人类形象的对话框添加语音的反馈方式,避免视觉因素冗余(Carlotto & Jaques, 2016);对以技能训练为主要目标的实验教学、体育教学,人类形象具有一定优势,可通过动作演示直观展示要点,帮助学习者掌握操作规范。最后,教育智能体全局层的设计应当考虑学习者的心理特征,合理利用情感支持促进认知资源的分配调节并最大程度地激发其学习动机(Moreno & Mayer, 2007)。

中间层与细节层设计更多作用于学习者的情感和动机。对于中间层设计,角色设定需结合教学目标与内容而定:若旨在提升参与感与兴趣,可设定为同伴角色(Chen et al., 2020; Kim, 2016);若内容复杂或需强化理解,可采用教师或专家角色以激发学习者对内容的重视。此外,角色设计也应考虑学习动机:对动机较弱者,教师或专家角色的智能体可提供自主学习支持,帮助激发学生内在动机并改善学习效果(Black & Deci, 2000)。对于细节层设计,已有研究表明,将智能体性别设置为与学习者一致,有助于拉近心理距离并增强动机(Makransky et al., 2018)。性别因素也常与情绪等因素交互影响学习效果,例如将表达积极情绪的智能体设为女性,消极情绪的设为男性,可能更有利于学习(Hayashi, 2016)。

综上,设计教育智能体需结合教学目的、内容与学习者特征等。未来研究可探索如何设计智能体的类人特征,激发情感动机的同时控制好外部认

知负荷,确保教育智能体的反馈效果。

(二)反馈形式设计:采用表情、手势等多模态信息并嵌入精细化的社交线索

社会能动性理论认为,一旦学习者将其与计算机的互动理解为社交,人与人之间的交流规则就会发挥作用,学习者会更努力地调动深度认知理解计算机提供的信息(Mayer et al., 2003)。表情、语音和手势是人类交流的重要线索。当学习者受到嵌入在学习材料中的社交线索的刺激时,其社交图式便被激活,进而更加投入学习(Mayer et al., 2003)。

单纯增加无明确意义的手势或将其与面部表情机械叠加未能显著提升反馈效果,甚至可能因冗余设计引发认知干扰;相反,精准设计的面部表情作为情感载体被证实能有效增强社会临场感,并通过提升共情力、社会支持感知与积极情绪显著优化学习动机与学习表现(Bringula et al., 2018; Krämer et al., 2016; Oker et al., 2020)。因此,本研究建议,可依据具身认知理论,设计教育智能体的面部表情反馈,促进学习者的深层认知。手势反馈虽对知识技能学习作用有限,但在一定程度上提高了学习者的情感动机。手势为教育智能体提供象征性的可信度,使其更加逼真(Lester et al., 1999)。尽管结合手势与面部表情提供反馈的两项研究并未发现对学习者知识技能的正面影响,但动机测试显示,学习者对肢体动作丰富的智能体更感兴趣。因此,教育智能体可考虑增加适当的手势,以提高学习者的动机与信任感,如在实验或体育学习中,提供手势与肢体动作演示(Buttussi & Chittaro, 2019),而在需大量知识信息的历史、英语等人文学科应简化教育智能体的肢体动作,避免认知负荷。对于言语类反馈,“生成式文本”反馈目前研究较少。未来可积极探索“生成式文本”反馈对学习表现的影响。设计者可使用百度云、阿里云等调用大模型应用程序编程接口(API)提供反馈,或使用“扣子”等平台制作更有针对性的学科教学智能体。此外,如何设计集表情、手势、语音于一体的多模态反馈并提升反馈效果也值得深入探索。

(三)反馈内容:纳入元认知反馈、提供详细认知反馈和真实的积极情感反馈

教育智能体可为学习者提供元认知反馈、认

知反馈和情感反馈。元认知使学习者在学习过程中实时监控进度与掌握情况,这对需多步骤解决复杂问题的教学活动至关重要。涉及元认知反馈的三项研究表明,其对学习表现有积极作用。因此,教育智能体的反馈内容可考虑提供元认知支架,提升学习者复杂问题解决能力。当教学涉及大量理论知识时,设计者可参考王雪(2025)的研究,将教育智能体设计为能同时提供“问题化元认知提示”与积极情绪支持的知心导师,帮助学习者及时调节情绪状态,降低外在认知负荷。而在开放性讨论类课程中,教育智能体反馈可通过元认知支架的形式呈现,或为学习者提供论证脚手架(Gao et al., 2022)。若课程目标在于获取多元观点,教育智能体可提供不同类型的观点以拓宽讨论广度;若目标在于深化对某一观点的理解,则可采用论证性支架以加深讨论深度。

就认知反馈而言,已有研究证实详细反馈比简单反馈更有利于提升学习效果,特别是对复杂问题解决的高阶学习(Bernstein et al., 2016; Vander Kleij et al., 2015)。此外,详细反馈在促进认知迁移、降低外在(无效)认知负荷与增加激发学习者深度思考的相关(有效)认知负荷方面也有其优势。在设计教育智能体认知反馈时,设计者可根据教学目标的层次权衡复杂程度:如果教学目标是记忆、理解等低阶认知活动,教育智能体可提供简单反馈,为学习者提供直接的正误判断;如果教学目标是引导应用、分析、评价、创造等高阶认知活动,教育智能体可提供详细反馈,以支撑学习者深入的认知加工。

就情感反馈而言,多数研究均证实积极情绪反馈对学习者情感与动机的正面作用。值得注意的是,已有研究两次探讨教育智能体采用“积极情绪”与“中立情绪”反馈的效果时,得出不同结论。首次研究中智能体的积极反馈(如微笑)并未感染学生,反而产生负面影响(Liew et al., 2016)。第二次研究对智能体进行优化:使用真人语音,并配合自然的头部动作与适时点头微笑,结果积极情绪组显著优于中立组(Liew et al., 2017)。因此,本研究建议教育智能体应采用积极情绪反馈,以增强动机。但学习者如果感到情绪反馈不真实,不仅会降低学习积极性,还可能对课程产生抵触情绪。

总体而言,教育智能体的反馈内容需遵循“学习为本”原则,探索认知和情感交互作用动态平衡路径,以实现学习效果最优化。当前,教育智能体反馈研究与实践正处于生成式人工智能和多模态技术蓬勃发展的新起点,未来研究可结合技术前沿提供更多元化与个性化的反馈,如能力各异的智能体组成多智能体系统协同反馈以帮助学习者解决复杂问题(翟雪松等,2024)。

[参考文献]

- [1] Ahmadi, A., Sahragard, R., & Shalmani, B. H.(2017). Anthropomorphism – matters or not? On agent modality and its implications for teaching english idioms and design decisions[J]. Computer Assisted Language Learning, 30(1-2): 149-172.
- [2] Ahuja, N. J., Thapliyal, M., Bisht, A., Stephan, T., Kannan, R., Al-Rakhami, M. S., & Mahmud, M.(2022). An investigative study on the effects of pedagogical agents on intrinsic, extraneous and germane cognitive load: Experimental findings with dyscalculia and non-dyscalculia learners[J]. IEEE Access, 10: 3904-3922.
- [3] Arguedas, M., & Daradoumis, T.(2021). Analysing the role of a pedagogical agent in psychological and cognitive preparatory activities[J]. Journal of Computer Assisted Learning, 37(4): 1167-1180.
- [4] Ba, S., Stein, D., Liu, Q., Long, T., Xie, K., & Wu, L.(2021). Examining the effects of a pedagogical agent with dual-channel emotional cues on learner emotions, cognitive load, and knowledge transfer performance[J]. Journal of Educational Computing Research, 59(6): 1114-1134.
- [5] Bangert-Drowns, R. L., Kulik, C. C., Kulik, J. A., & Morgan, M.(1991). The instructional effect of feedback in test-like events[J]. Review of Educational Research, 61(2): 213-238.
- [6] Baylor, A.(2001). Permutations of control: Cognitive considerations for agent-based learning environments[J]. Journal of Interactive Learning Research, 12(4): 403-425.
- [7] Bendel, O. (2002). Pädagogische agenten im corporate e-learning[M]. Gabler Verlag: 17.
- [8] Bernstein, B. L., Bekki, J. M., Wilkins, K. G., & Harrison, C. J.(2016). Analysis of instructional support elements for an online, educational simulation on active listening for women graduate students in science and engineering[J]. Journal of Computing in Higher Education, 28(2): 136-171.
- [9] Bian, Y., & Zhou, C.(2022). Motivation effect of animated pedagogical agent's personality and feedback strategy types on learning in virtual training environment[J]. Virtual Reality & Intelligent Hardware, 4(2): 153-172.
- [10] Black, A. E., & Deci, E. L.(2000). The effects of instructors' autonomy support and students' autonomous motivation on learning organic chemistry: A self-determination theory perspective[J]. Science Education, 84(6): 652-669.

cation, 84(6): 740-756.

[11] Bringula, R. P., Fosgate, I. C. O., Garcia, N. P. R., & Yorobe, J. L. M.(2018). Effects of pedagogical agents on students' mathematics performance: A comparison between two versions[J]. Journal of Educational Computing Research, 56(5): 701-722.

[12] Buttussi, F. , & Chittaro, L.(2019). Humor and fear appeals in Animated Pedagogical Agents: An Evaluation in Aviation Safety Education[J]. IEEE Transactions on Learning Technologies, 13(1): 63-76.

[13] Carbonell, J. R.(1970). Ai in cai: An artificial-intelligence approach to computer-assisted instruction[J]. IEEE Transactions on Man Machine Systems, 11(4): 190-202.

[14] Carlotto, T., & Jaques, P. A.(2016). The effects of animated pedagogical agents in an english-as-a-foreign-language learning environment[J]. International Journal of Human-Computer Studies, 95: 15-26.

[15] Chen, H., Park, H. W., & Breazeal, C.(2020). Teaching and learning with children: Impact of reciprocal peer learning with a social robot on children's learning and emotive engagement[J]. Computers & Education, 150: 103836.

[16] Donnermann, M., Lein, M., Messingschlager, T., Riedmann, A., Schaper, P., Steinhaeusser, S., & Lugrin, B.(2021). Social robots and gamification for technology supported learning: An empirical study on engagement and motivation[J]. Computers in Human Behavior, 121: 106792.

[17] Gao, H., Xu, S., Yang, L., & Hu, X.(2022). The double-edged sword effect of argumentative scaffolding on group discussion in an adaptive discussion system[J]. Frontiers in Psychology, 13: 997522.

[18] Guo, Y. R., & Goh, D. H. L.(2016). Evaluation of affective embodied agents in an information literacy game[J]. Computers & Education, 103: 59-75.

[19] Hatfield, E. , Cacioppo, J. T. , & Rapson, R. L. (1993). Emotional contagion[M]. Cambridge: Cambridge University Press: 2285-2290.

[20] Hayashi, Y. (2016). Lexical network analysis on an online explanation task: Effects of affect and embodiment of a pedagogical agent[J]. IEICE Transactions on Information and Systems, E99. D(6) : 1455-1461.

[21] Hayashi, Y., Shimojo, S., & Kawamura, T.(2025). Scripted interventions versus reciprocal teaching in collaborative learning: A comparison of pedagogical and teachable agents using a cognitive architecture[J]. Learning and Instruction, 96: 102057.

[22] 何克抗(2017).对反馈内涵的深层认知和有效反馈的规划设计——美国《教育传播与技术研究手册(第四版)》让我们深受启发的亮点之二 [J]. 中国电化教育, (5): 1-7, 14.

[23] Heidig, S., & Clarebout, G.(2011). Do pedagogical agents make a difference to student motivation and learning?[J]. Educational Research Review, 6(1): 27-54.

[24] Hollender, N., Hofmann, C., Deneke, M., & Schmitz, B.(2010). Integrating cognitive load theory and concepts of human-com-

puter interaction[J]. Computers in Human Behavior, 26(6): 1278-1288.

[25] Huang, X., & Mayer, R. E.(2016). Benefits of adding anxiety-reducing features to a computer-based multimedia lesson on statistics[J]. Computers in Human Behavior, 63: 293-303.

[26] Johnson, W., & Rickel, J.(1997). Steve: An animated pedagogical agent for procedural training in virtual environments[J]. SIGART Bulletin, 8: 16-21.

[27] Johnson, W. L. , Rickel, J. W. , & Lester, J. C. (1999). Animated pedagogical agents: Face-to-face interaction in interactive learning environments[J]. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 27695-7534.

[28] Karaoglan Yilmaz, F. G., Olpak, Y., & Yilmaz, R.(2017). The effect of the metacognitive support via pedagogical agent on self-regulation skills[J]. Journal of Educational Computing Research, 56: 1-22.

[29] Kautzmann, T. R., & Jaques, P. A.(2019). Effects of adaptive training on metacognitive knowledge monitoring ability in computer-based learning[J]. Computers & Education, 129: 92-105.

[30] Kim, Y.(2016). The role of agent age and gender for middle-grade girls[J]. Computers in the Schools, 33(2): 59-70.

[31] Krämer, N. C., & Bente, G.(2010). Personalizing e-Learning. The social effects of pedagogical agents[J]. Educational Psychology Review, 22(1): 71-87.

[32] Krämer, N. C., Karacora, B., Lucas, G., Dehghani, M., Rüther, G., & Gratch, J.(2016). Closing the gender gap in stem with friendly male instructors? On the effects of rapport behavior and gender of a virtual agent in an instructional interaction[J]. Computers & Education, 99: 1-13.

[33] Lang, Y., Gong, S., Hu, X., Xiao, B., Wang, Y., & Jiang, T.(2024a). The Roles of Pedagogical Agent's Emotional Support: Dynamics Between Emotions and Learning Strategies in Multimedia Learning[J]. Journal of Educational Computing Research, 62(7): 1705-1736.

[34] Lang, Y., Gong, S., Hu, X., Xiao, B., Wang, Y., Jiang, T., & Guo, J. (2024b). The impact of pedagogical agent's emotional expression on multimedia learning: A multi-faceted perspective[J]. Journal of Computing in Higher Education. DOI: 10.1007/s12528-024-09429-x

[35] Lang, Y., Xie, K., Gong, S., Wang, Y., & Cao, Y.(2022). The impact of emotional feedback and elaborated feedback of a pedagogical agent on multimedia learning[J]. Frontiers in Psychology, 13: 810194.

[36] Lester, J. C., Voerman, J. L., Towns, S. G., & Callaway, C. B.(1999). Deictic believability: coordinated gesture, locomotion, and speech in lifelike pedagogical agents[J]. Applied Artificial Intelligence, 13(4-5): 383-414.

[37] Liew, T. W., Zin, N. A. M., & Sahari, N.(2017). Exploring the affective, motivational and cognitive effects of pedagogical agent enthusiasm in a multimedia learning environment[J]. Human-centric Computing and Information Sciences, 7(1): 9.

[38] Liew, T. W., Tan, S. M., & Kew, S. N.(2022). Can an angry pedagogical agent enhance mental effort and learning performance in a

- multimedia learning environment[J]. *Information and Learning Sciences*, 123(9-10): 555-576.
- [39] Liew, T. W., Zin, N. a. M., Sahari, N., & Tan, S.(2016). The effects of a pedagogical agent's smiling expression on the learner's emotions and motivation in a virtual learning environment[J]. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 17(5): 248-266.
- [40] 刘明,杨闽.教育智能体如何推动教育发展[N].中国教育报[2025-03-12].http://paper.jyb.cn/zgyb/html/2025-03/12/content_144743_18335434.htm.
- [41] 刘清堂,巴深,罗磊等(2019).教育智能体对认知学习的作用机制研究述评[J].远程教育杂志,37(5): 35-44.
- [42] 刘妍,李梦兴,李琳(2025).教育智能体能否提升学生学习表现——基于国内外87篇实证文献的元分析[J].现代远程教育研究,37(4): 23-33.
- [43] Lu, J., & Law, N.(2012). Online peer assessment: Effects of cognitive and affective feedback[J]. *Instructional Science*, 40(2): 257-275.
- [44] Makransky, G., Wismer, P., & Mayer, R. E.(2018). A gender matching effect in learning with pedagogical agents in an immersive virtual reality science simulation[J]. *Journal of Computer Assisted Learning*, 35(3): 349-358.
- [45] Mayer, R. E.(1997). Multimedia learning: Are we asking the right questions?[J]. *Educational Psychologist*, 32(1): 1-19.
- [46] Mayer, R. E., Sobko, K., & Mautone, P. D.(2003). Social cues in multimedia learning: Role of speaker's voice.[J]. *Journal of Educational Psychology*, 95(2): 419-425.
- [47] Mcneill, D. (1994) . Hand and mind: What gestures reveal about thought[J]. BiblioVault OAI Repository, the University of Chicago Press, 27.
- [48] Minsky M. (1986) . The society of mind[M]. USA: Simon & Schuster, Inc: 17.
- [49] Moreno, R., & Mayer, R.(2007). Interactive multimodal learning environments: Special issue on interactive learning environments: Contemporary issues and trends[J]. *Educational Psychology Review*, 19(3): 309-326.
- [50] Nadolski, R. J., & Hummel, H. G. K.(2017) . Retrospective cognitive feedback for progress monitoring in serious games[J]. *British Journal of Educational Technology*, 48(6): 1368-1379.
- [51] Oker, A., Pecune, F., & Declercq, C.(2020). Virtual tutor and pupil interaction: A study of empathic feedback as extrinsic motivation for learning[J]. *Education and Information Technologies*, 25(5): 3643-3658.
- [52] Page, M., Mckenzie, J., Bossuyt, P., Boutron, I., Hoffmann, T., Mulrow, C., Shamseer, L., Tetzlaff, J., Akl, E., Brennan, S., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J., Hróbjartsson, A., Lalu, M., Li, T., Loder, E., Mayo-Wilson, E., Mcdonald, S., & Moher, D.(2021). The prisma 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews[J]. *Systematic Reviews*, 10: 89.
- [53] 任友群(2005).变革智能体在学校变革中的作用[J].教育发展研究, (11): 74-76.
- [54] Schroeder, N. L., Chiou, E. K., & Craig, S. D.(2021). Trust influences perceptions of virtual humans, but not necessarily learning[J]. *Computers & Education*, 160: 104039.
- [55] Shiban, Y., Schelhorn, I., Jobst, V., Hörlein, A., Puppe, F., Pauli, P., & Mühlberger, A.(2015). The appearance effect: Influences of virtual agent features on performance and motivation[J]. *Computers in Human Behavior*, 49: 5-11.
- [56] Shute, V. J.(2008). Focus on formative feedback[J]. *Review of Educational Research*, 78(1): 153-189.
- [57] Sleeman, D. , & Brown, J. S. (1982) . Intelligent tutoring systems[M]. Academic Press: 29-44.
- [58] Sweller, J.(1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning[J]. *Cognitive Science*, 12(2): 257-285.
- [59] Tärning, B., Lee, Y. J., Andersson, R., Mansson, K., Gulz, A., & Haake, M.(2020). Assessing the black box of feedback neglect in a digital educational game for elementary school[J]. *Journal of the Learning Sciences*, 29(4-5): 511-549.
- [60] Tärning, B., & Silvervarg, A.(2019) . “I didn't understand, i'm really not very smart” —How design of a digital tutee's self-efficacy affects conversation and student behavior in a digital math game[J]. *Education Sciences*, 9(3): 197.
- [61] Terzis, V., Moridis, C. N., & Economides, A. A.(2012) . The effect of emotional feedback on behavioral intention to use computer based assessment[J]. *Computers & Education*, 59(2): 710-721.
- [62] Vander keij, F. M., Feskens, R. C. W., & Eggen, T. J. H. M.(2015) . Effects of feedback in a computer-based learning environment on students' learning outcomes: a meta-analysis[J]. *Review of Educational Research*, 85(4): 475-511.
- [63] Vander meij, H., Vander Meij, J., & Harmsen, R.(2015) . Animated pedagogical agents effects on enhancing student motivation and learning in a science inquiry learning environment[J]. *Educational Technology Research and Development*, 63(3): 381-403.
- [64] 王靖,巴安妮,吴宝锁(2023).智能教学反馈的目标、机制与架构[J].现代远程教育研究,35(3): 102-112.
- [65] 王雪,孙明琳,杨洁等(2025).教育智能体如何提供更有效的支持?——基于EEG信号的脑机制与优化策略探究[J].电化教育研究,46(2): 49-56.
- [66] 伍绍杨,彭正梅(2021).迈向更有效的反馈:哈蒂“可见的学习”的模式[J].开放教育研究,27(4): 27-40.
- [67] 吴永和,姜元昊,陈圆圆等(2024).大语言模型支持的多智能体:技术路径、教育应用与未来展望[J].开放教育研究,30(5): 63-75.
- [68] Xie, H., Chu, H. C., Hwang, G. J., & Wang, C. C.(2019) . Trends and development in technology-enhanced adaptive/personalized learning: a systematic review of journal publications from 2007 to 2017[J]. *Computers & Education*, 140: 103599.

- [69] 徐振国,刘志,党同桐等(2021).教育智能体的发展历程、应用现状与未来展望[J].电化教育研究,42(11): 20-26, 33.
- [70] Yilmaz, R., & Karaoglan Yilmaz, F. G.(2020). Examination of the effectiveness of the task and group awareness support system used for computer-supported collaborative learning[J]. Educational Technology Research and Development, 68(3): 1355-1380.
- [71] 翟雪松,季爽,焦丽珍等(2024).基于多智能体的人机协同解决复杂学习问题实证研究[J].开放教育研究,30(3): 63-73.
- [72] 张剑平,陈仕品(2008).计算机辅助教学的智能化历程及其启示[J].教育研究,(1): 76-83.
- [73] 钟绍春,杨澜,范佳荣(2025).数据驱动的个性化学习: 实然问题、应然逻辑与实现路径[J].电化教育研究,46(1): 13-19, 33.
- [74] 郑娅峰,赵亚宁,黄璟玥等(2025).教育智能体研究现状和发展趋势[J].现代远程教育研究,37(4): 3-13, 59.
- [75] 中共中央国务院(2025).教育强国建设规划纲要(2024-2035年)[EB/OL].[2025-01-19].https://www.gov.cn/zhengce/202501/content_6999913.htm.

(编辑:赵晓丽)

What Kind of Feedback from Pedagogical Agents Promotes Learning? ——A Systematic Literature Review of 36 Empirical Studies from 2015 to 2025

TIAN Man Yu, GU Shuang Ling & ZHANG Mu Hua

(College of Elementary Education, Capital Normal University, Beijing 100048, China)

Abstract: Pedagogical agents (PAs), as innovative products of the deep integration of artificial intelligence (AI) technology and education, are transforming the traditional instructional structure from a teacher-student dyad to a teacher-student-agent triad. In the dyadic teacher-student interaction model, teacher feedback is crucial for promoting student knowledge construction and motivation regulation. However, within the triadic teacher-student-agent interaction model, the feedback from PAs and their pedagogical efficacy remain unclear. This study employs the Pedagogical Agents-Conditions of Use Model (PACU) and systematically reviews 35 domestic and international studies from 2015 to 2025 on PA feedback. It focuses on analyzing those design factors of PAs and their executive functions (feedback form and feedback content). The findings reveal that design elements of PAs, such as appearance, role, and gender, can significantly influence the effectiveness of their feedback. Regarding non-verbal feedback, employing facial expression feedback significantly enhances social presence and learning performance, while gesture feedback requires clear semantic meaning to avoid cognitive interference. For verbal feedback, using human-like speech significantly improves emotional expressiveness and stimulates learning motivation. The generative text feedback is currently less utilized but warrants exploration. The cognitive feedback provided by PAs needs to be layered according to task complexity, offering cognitive scaffolding to learners when necessary. Emotional feedback should predominantly convey positive emotions and avoid expressions of false affect. These findings provide a scientific basis for optimizing PA design, refining their executive functions, further enhancing the effectiveness of PA feedback, and facilitating the widespread adoption of personalized learning in the intelligent era.

Key words: pedagogical agent; feedback; artificial intelligence (AI); learning outcomes; pacu model