

# 人工智能赋能的教育元宇宙研究与进展<sup>\*</sup>

潘志庚<sup>1,5)†</sup> 夏先亮<sup>1)</sup> 郎旭<sup>2)</sup> 范佳荣<sup>3)</sup> 钟绍春<sup>4)</sup> 李明<sup>6)</sup>

(1)南京信息工程大学人工智能学院,江苏南京; (2)浙江工商大学数学与统计学院,浙江杭州;

(3)吉林师范大学新闻与传播学院,吉林长春; (4)东北师范大学信息科学与技术学院,吉林长春;

(5)元宇宙文旅场景应用技术研究江苏省文化和旅游重点实验室,江苏南京; (6)上海工程技术大学外国语学院,上海)

**摘要** 通过系统回顾国内外教育元宇宙的发展现状,从理论、应用、技术及关键问题4个维度进行了综合分析,并着重考察了基于人工智能(artificial intelligence, AI)的精准教学及其内容多样化、多重知识表达机制、学习行为识别等关键技术的研究进展。结果表明:教育元宇宙通过虚拟现实(virtual reality, VR)、AI与人机交互等技术的融合,可获得高沉浸感的虚实融合教学体验,显著提升学习效果,但其在认知机制研究、个性化学习支撑、AI算法准确性方面仍存在不足。由此可知,解决硬件成本、数据与伦理安全、技术融合等关键问题是实现教育元宇宙广泛落实的基石。

**关键词** 人工智能;虚拟现实;教育;元宇宙;计算机辅助学习

**中图分类号** G434

**DOI:** 10.12202/j.0476-0301.2025077

## 0 引言

“教育数字化”为中国未来教育改革与发展提供了重要方向,凸显了数字化转型在提升教育质量、推动科技创新和人才培养中的关键作用<sup>[1]</sup>。新时代,个性化学习和终身学习成为教育数字化发展的重要特征,加快教育数字化落地对提高国民素质和增强人才创新方面起关键作用。探索在原有虚拟现实(virtual reality, VR)、增强现实(augmented reality, AR)、混合现实(mixed reality, MR)和教学系统(虚拟教室、虚拟实验室、AR互动学习等)等基础上,结合先进的人工智能(artificial intelligence, AI)技术,发展最新的教育元宇宙,是目前研究的热点问题。

AI赋能教育的终极目标是构建教育元宇宙,为教育和学习的创新提供全新场景。目前,关于教育元宇宙尚未形成一个涵盖VR、AR、MR和AI与人机交互的统一定义。通常而言,它是借助相关技术构建的一种虚实结合的教育场景,这一环境表现为虚拟与现实深度融合、人类思维与智能系统紧密连接、学校与社会多维度互动的智慧教育高级形态<sup>[2]</sup>。传统教育模式受限于物理空间与时间的安排,教学资源分布不均、互动方式单一、难以满足个性化学习需求,也难以有效激发学生的积极性与创造力。而教育元宇宙借助高度的互联互通,为教师和学生营造出高沉浸感的混

合式教学体验,能显著拓宽教育活动的时空边界,并为教育者和学习者带来更加深入且多样化的教与学体验。教育元宇宙有望推动教育理念、方法和模式的全面革新,重塑教育生态,助力构建智能化、泛在化的未来学校。其架构如图1所示。

近年来,依托区块链、AI、交互技术、电子游戏、物联网以及云计算等前沿科技的支撑,元宇宙技术经历了从发展到成熟,再到落地应用的过程,正在多维度推动教育数字化的深入发展、助力教学质量提升与教育资源的均衡配置。

数字教育将引领教育理念、教学方式与教育模式的全面革新,重构课堂教学形态,构建随处可见的虚拟课堂与智能化、泛在化的未来校园,使中国加速迈向学习资源易得、教育资源分配公平的学习型社会。同时通用AI的提出以及ChatGPT和DeepSeek-V3等各类AI大模型的问世,为教育元宇宙的落实与发展带来了更多机会。因此,当前迫切需要加强对教育元宇宙相关理论和技术的研究与探索。在教学内容展现形式、教师教学方法以及学生学习路径等方面积极探索模式变革,推动智能化助学手段的应用,研发智能学习伙伴并实施智能化辅导机制,持续促进学生在科学素养与人文精神方面的全面提升,帮助每一位学生实现自我最优发展。这将使教育元宇宙的潜力得到最大化发挥,并带来教育模式的革新。

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金资助项目(62072150, 6257076952)

<sup>†</sup> 通信作者:潘志庚(1965—),男,二级教授,博导。主要研究方向:虚拟现实与人机交互、智慧教育、人工智能。E-mail: zgpan@nuist.edu.cn

收稿日期: 2025-04-26

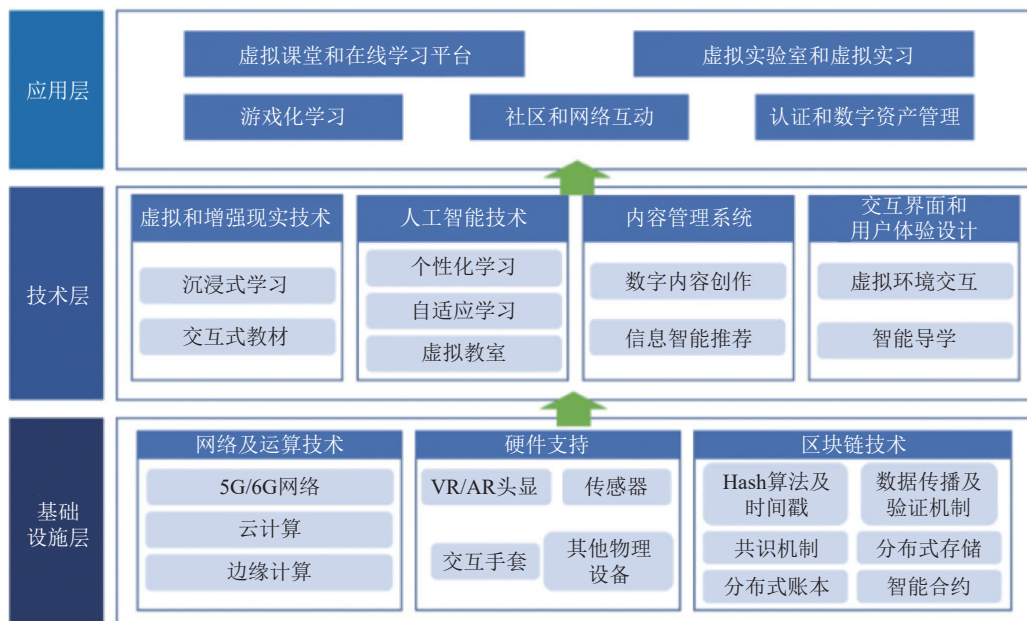


图1 教育元宇宙架构示意

为了掌握国内外相关研究进展,推动教育元宇宙发展,本文从教育元宇宙理论、应用、技术及存在的关键问题4个方面,对相关研究进行分析和总结。

## 1 教育元宇宙理论研究现状

教育与教学虽密切相关,但在概念内涵、实践层面及研究焦点上存在明显差异。“教育”是一个宏观概念,通常指在特定社会背景下,为了促进个体的全面发展而有目的、有组织地实施的一系列培养活动,涵盖学校、家庭与社会等多个层面。教育强调的是为育人而构成的整个体系<sup>[3]</sup>。相较而言,“教学”是“教育”内部的一个子系统,是教师的“教”和学生的“学”所组成的一种人类特有的人才培养活动。通过这种活动,教师有目的、有计划、有组织地引导学生学习和掌握文化科学知识、技能。教学强调的是课堂过程<sup>[4]</sup>。

在教育元宇宙背景下,这一区分尤为重要。一方面,元宇宙可用于支持教学系统的数字化转型,如虚拟校园、学习档案管理、师资培训等,体现为对“教育”的系统支撑;另一方面,其沉浸式和交互式特征更是直接作用于“教学”过程,例如虚拟实验室、情境模拟课堂、个性化学习空间等。

在教育元宇宙正式提出之前,相关研究大多围绕VR/AR在教育中的应用和智慧教育2大方面<sup>[5]</sup>。它们主要聚焦于教学资源的应用方式与实际成效、虚拟环境在语言及文化教学中的运用、围绕学生与其虚拟化身双重角色构建的教学策略,以及学习平台的设计与开发等方向<sup>[6]</sup>。与早期研究相比,教育元宇宙展现出融合性、个性化、交互性及跨时空等显著特征,

使教育过程更加灵活、多元与高效,为学习者带来更优质的学习体验与成长机会<sup>[7]</sup>。虚拟环境为师生营造了一个沉浸式的教学互动空间,能够同步满足现实与虚拟教学的多重需求。教师、学生及教育管理者,作为教学过程的参与者或组织者,可借助其虚拟化身深度融入元宇宙,自主设计学习场景、参与教学任务,并自然适应虚实融合下的教学互动,打破传统教学无法解决的物理与空间限制问题,让现实世界与虚拟空间可以无障碍沟通。

教育元宇宙为教育带来了全新的教学模式和教学工具,通过创新的技术手段和方法,可以提高学生的学习兴趣,激励学生发挥创造潜能,提升其综合素养与创新意识,全面培养创新能力。

**1.1 国内理论研究现状** 在线教育作为教育元宇宙的初级形式,打破了传统线下教育的时空限制,其最大的特点是灵活便捷的学习方式和丰富的网络学习资源,并为实现用户个性化与多样化的学习需求创造了可能。在继承了传统教育优势的情况下,能让学生依据个人兴趣自由学习。使用在线学习系统(如MOOC、Coursera等网上公开课程)通常比传统学习方式更有效<sup>[8-9]</sup>。

在线学习平台通过持续积累大量关于学生与系统交互的有效数据,可进一步通过认知诊断并分析这些信息,用于评估学生对知识的掌握情况与学习偏好。

认知诊断来自教育心理学,在智能教学中是最基础也是最关键的,其目标是评估学生对相应知识的掌握水平。知识追踪则是认知诊断的一项具体任务,它通过多种序列建模的机器学习方法,并借助与教育相

关的数据跟踪学生的知识状态变化。

中国智慧教育的起源,可以追溯到 20 世纪 90 年代初钱学森院士所提出的“大成智慧学”理念<sup>[10]</sup>,它为中国智慧教育的发展奠定了重要基础。祝智庭等<sup>[11]</sup>的研究引发了国内对智慧教育的广泛关注,为智慧教育的发展注入了新的动力与视角。

尽管中国教育信息化起步晚于部分发达国家,但在理论研究和实践探索上,已经逐步走上了具有中国特色智能教育的道路。一直以来,中国高度重视学生教育,并在相关政策中明确了具体的目标与要求。在推进教育现代化和信息化的背景下,利用 AI、大数据、云计算等前沿技术所构建的教育元宇宙已成为实现个性化教育的关键。它可根据每个学生的学习需求、兴趣爱好和认知水平量身定制教育内容,还可通过智能化学习平台提供灵活多样的学习方式,从而实现真正意义上的个性化学习。

教育元宇宙通过整合虚拟与现实、传统与现代的教育资源,为学生提供全方位、沉浸式的学习体验,推动教学方式的根本变革。通过构建教育元宇宙,将为中国教育体系注入新的活力,助力实现全面教育现代化目标。

教育被认为是元宇宙最关键的应用领域<sup>[12]</sup>,元宇宙与教育的结合更是其未来应用的重要方向。刘革平等<sup>[13]</sup>认为,元宇宙突破了时空限制,将重新定义在线教育的“共在”模式,创造出新的智能学习环境;华子荀等<sup>[14]</sup>提出“学习元宇宙”概念,认为元宇宙能够整合多种技术,推动学习环境、学习方式和评价方式的改革与创新。

在元宇宙中,学习将是一种虚实融合的体验,既反映现实又超越现实,赋予学习全新的形式。秦瑾若等<sup>[15]</sup>认为,教育元宇宙将引发教学模式的深刻变革。教育元宇宙通过高沉浸感、高交互性和高实时性的特性,营造了虚拟与现实深度融合的教学环境。在此环境下,不仅能够激发学生的好奇心和创造力,还能有效提升他们的科学素养和创新能力。通过沉浸式的学习体验,学生能够在互动中探索知识,激发潜能,推动他们在学习过程中实现更深层次的理解和创新思维的培养。这一创新模式能为教育带来无限的可能性,推动学习方式的革命。傅文晓等<sup>[16]</sup>研究发现,教育元宇宙的具身学习特性能显著提升学生的积极性和探索欲;钟正等<sup>[17]</sup>提出,在智能技术的驱动下,教育元宇宙能够在个性化学习、游戏化学习及教师培训等多种场景中提供基础支持,为教育过程带来全新的感官和认知体验。这种创新模式使得教学过程更加灵活多样,满足不同学习需求,并为教师的专业

发展提供了全新的支持和平台。王春霞<sup>[18]</sup>从思想政治教育的角度探讨了元宇宙在推动思想政治教育数智化转型和内涵式发展中的作用。

**1.2 国外理论研究现状** 从信息技术与教育融合的角度看,国外智能教学的发展大致可分为 3 个阶段:1960—1979 年,计算机辅助教学(CAI);1980—2007 年,智能教学系统(ITS);2008 年至今,智能教育体系(IES)。

Hines 等<sup>[19]</sup>提出,在元宇宙环境中,各类学科的教学与学习均可受益,尤其是在混合式教学和学习的模式下;Suh 等<sup>[20]</sup>提出,在教育领域中,元宇宙的核心价值在于为教师与学习者提供沉浸式的交互体验,满足他们在现实与虚拟环境中的需求;Guo 等<sup>[21]</sup>提出,元宇宙还能识别学习者的情绪波动,通过支持英语语言学习与教学网络,提升学习者的认知能力、沉浸感及互动性。

元宇宙的应用并不仅限于教育领域。研究人员通过回顾文献和综合设计元宇宙学习环境,提出新的创新理论框架,该框架由教学设计和性能技术中心、知识中心、研究和技术中心、人才和培训中心 4 个中心组成<sup>[22]</sup>。

国外在教育元宇宙理论框架的构建、技术应用的探索及对学习成效的评估方面也有许多成果。在理论框架方面,教育元宇宙的研究借鉴了社会构建主义、情境学习、认知负荷等理论及技术接受模型。例如:社会构建主义理论强调知识是通过社会互动和协作过程构建的,这与教育元宇宙中提倡的互动学习环境相契合;情境学习理论支持通过模拟真实世界情境以增强学习体验,这正是教育元宇宙所能提供的核心价值之一。

技术应用方面,教育元宇宙结合了 VR、AR 和 AI 等技术,全方位提升了学生的学习体验。VR 技术使学生能够身临其境地进行实践学习,增强互动性;AR 技术则通过在现实世界中加入虚拟元素,使学习内容更加生动直观;AI 则在个性化学习路径推荐和智能辅导中发挥作用,推动个性化教学并提高学习效率。这些技术的融合,为构建高效、互动性强且个性化的教育环境提供了有力支持。

## 2 相关应用及技术研究现状

中国教育和科研机构正积极探索将 AI 与元宇宙技术融入教育领域的可能。例如一项关于沉浸式 VR 游戏在数学教学中的应用研究表明,VR 技术显著提升了学生在认知、行为和情感方面的学习投入,特别是在注意力、理解力与参与度方面表现突出<sup>[23]</sup>。研究

显示,在音乐教育领域,元宇宙平台结合VR游戏的课程教学形式,显著提高了学生对作曲与乐器演奏课程的兴趣与参与度,约72%的学生认可这种教学形式<sup>[24]</sup>。Zhang等<sup>[25]</sup>利用AI技术和虚拟角色,在元宇宙环境中创建寓教于乐的学习内容,为儿童提供了可互动且充满趣味的虚拟英语学习世界。华为云WeLink<sup>[26]</sup>在远程教育和在线协作学习方面,展示了VR技术在教育中的潜在价值。通过集成VR会议和虚拟教室功能,为教育机构提供了创新的教学和学习方案。

目前国外教育元宇宙相关的3个代表性平台分别是ENGAGE<sup>[26]</sup>、AltspaceVR<sup>[27]</sup>和“我的世界:教育版”(minecraft: education edition, MEE)<sup>[28-29]</sup>。它们各自代表了元宇宙技术在教育的不同利用途径:从沉浸式虚拟课堂到促进学生的创造性思维和社交互动。

ENGAGE是专注于教育和企业培训的VR平台,已成为提供沉浸式学习体验的关键工具。

AltspaceVR是一款社交VR软件,为用户提供了多功能的虚拟空间,用于参加或举办教育研讨会、演讲,以及社交聚会。

MEE在全球范围内已被广泛应用于教育领域,其在促进学生的创造性学习及跨学科探索方面表现出色。平台通过提供可探索、可创造的游戏化学习环境,向人们有力展示了游戏化在教育中的有效性和吸引力。

**2.1 基于AI的精准教学** 在AI技术支持下,教学方式的最显著特点是精准教学,在教学情境、对象、方式或内容等方面都得到了体现。例如,在课堂教学中,AI技术能够精准地向学生推送学习内容,并提供个性化服务。Roll等<sup>[30]</sup>发现:在基于步骤的问题解决、复杂问题、探究性环境和游戏4种AI任务中,基于步骤的问题解决类型的研究处于主流地位;针对复杂问题、探究性环境和游戏的研究鲜见,且大部分复杂问题研究都属于易于评估的主题。这表明,当前AI在教育中的应用主要集中在简单任务和有明确规则的复杂任务上,而探究性任务和其他复杂任务的研究与应用相对不足。

随着AI技术的不断发展,基于人机协同的教学方式逐渐展现出其潜力。庞敬文等<sup>[31]</sup>研究了智慧教育在阅读学习中的应用,并提出了基于互联网背景的阅读活动设计模型,该模型涵盖了学习目标设定、规划学习流程及对学习结果进行测试和评价;Lee等<sup>[32]</sup>的研究结果表明,绝大多数学生(占比85%)对教育元宇宙持有积极的接受态度。

AI技术的应用解放了教师的脑力,能够帮助教

师做出复杂的教学决策。

**2.2 教学内容与形式多样化** 随着元宇宙时代教育目标的变化,教学内容也发生了变化,即从传统的标准化转向定制化。学生不再局限于统一的课程、科目和内容,而是根据个性化因素进行定制,从而实现教育优势互补与个性化发展<sup>[33]</sup>。学生素养提升不是依赖于教师的授课,而是学生在面对问题并解决问题的过程中逐步培养的,并可通过设计问题情境促进这一过程。由于每个学生的自身基础、兴趣、特长都有所不同,所以基于AI技术定制对应的教学方案,可有效实现对不同学生教学内容的个性化定制。在该环境中成长的学生,学到的不仅仅是知识,更是处理新东西的能力,这使他们在面对新事物时可直接尝试甚至运用<sup>[34]</sup>。

VR/AR技术支持的教学与传统教学不同之处在于,它不依赖于教科书和数字符号的单一维度,也不同于仅通过教学视频和语音呈现的二维形式,而是提供了更加沉浸式和互动性强的三维学习体验<sup>[35]</sup>。以VR技术和人机交互为核心的教学媒体,能让学生置身在听觉、触觉、视觉等多种相互作用下,从而达到高度具身学习的效果;AR技术可以使学生同时感受虚拟和现实环境,具体应用包括教学演示、教育游戏、AR阅读和动作指导4个方面<sup>[36]</sup>。Khairul等<sup>[37]</sup>通过应用AR技术,将书中的故事以更具吸引力的方式呈现出来,让用户可以与故事交互,实现交互式阅读,这对于培养良好阅读习惯有重要作用。

**2.3 面向智能教学全过程的多重知识表达机制** 面向智能教学全过程的多重知识表达机制是一种新的知识表征方法,包括知识图谱、多模态知识和深度神经网络知识表达。知识图谱的表达特点在于其结构清晰、语义易于理解,并支持知识推理;多模态知识表达则具有多层次、全方位的要素呈现,典型的如视觉知识、生理知识和心理知识等;深度神经网络知识表达则侧重于图像、音频等非结构化数据的表征与分类。

基于深度神经网络知识的智能教学任务,需要多领域学科的智慧 and 机器“智能”的有机融合,同时利用多重知识,结合可收集到的数据解决面向智能教学全过程的关键科学问题<sup>[38]</sup>。多重知识表达框架不是多种表现形式的简单组合,它是通过多种知识的深度纠缠以相互影响、相互加强<sup>[39-40]</sup>。

基于多模态知识演化的个性化认知图谱、社会性知识导向和交互主体认知分布引导构建的多激励的学科动态知识图谱,可以为实现个性化“知识导航”路径和自主规划提供基础。知识图谱在多个抽象层

次获取逻辑或语义关系和情境记忆中的时空序列关系,然后利用向量化后的知识图谱和教学场景下的多模态知识驱动神经网络协同实现智能教学。另外,学习与决策结果又可以指导学科知识图谱的动态演化、教学过程与决策的自适应调节。

**2.4 基于智能算法的学习行为识别** 近年来,计算机视觉、语音分析、自然语言处理等 AI 技术已被广泛应用于教育考勤、机器人助教、知识梳理等多个教育场景,推动了智能化教育的快速发展。这些技术的应用不仅提升了教育效率,还为个性化学习和智能化教学提供了强有力的支撑。然而,教育并非单纯的机械化知识传输过程,学生的生理行为对教育效果有重要影响。目前,大多数智能教育技术缺乏对学生行为的深入理解,这在一定程度上限制了其在教育中的效果。因此,探讨行为识别与智能教育之间的关系,并将先进行为识别技术应用于智能化教育,显得尤为重要。

Ratner 等<sup>[41]</sup>认为,智能化教育中一直被忽略的是情感与行为,而人们很少考虑到学生的学习能力与情绪状态密切相关。如果机器人助教能够增加情绪识别和鼓励机制,将大大提高学生学习的<sup>[41]</sup>有效性。然而,现有的 AI 技术在行为识别方面仍面临诸多挑战,如精准的行为识别和长期的情绪状态跟踪难以实现,这也是当前智能化教育亟需解决的重要问题。

**2.5 教育中虚拟与现实的深度融合** 尽管虚拟与现实的深度融合技术在教育领域已展示出广阔的应用前景,但其在教学实践中仍面临诸多挑战<sup>[42-43]</sup>。教师的数字素养参差不齐,对新兴技术的适应能力成为影响融合深度的重要因素。多项研究表明,尽管大部分教师普遍认可 VR/AR 技术的教学潜力,但他们同时也意识到自身在资源获取与操作技能方面存在显著

不足<sup>[44]</sup>。在教学设计方面,虚拟与现实融合的互动性虽然增强了学生的沉浸感,但也可能导致认知负荷增加,从而影响学习效果<sup>[45]</sup>。研究还发现,对于初学者,VR 环境可能引发额外的感官负荷,导致信息处理效率下降<sup>[46]</sup>。

为应对这类问题,学者们提出了一些解决方案。例如:Poupard 等<sup>[45]</sup>提出,AR 在降低认知负荷方面优于 VR,应优先在初级教育中推广使用;Wang 等<sup>[42]</sup>则提倡利用基于理论驱动的 XR 技术设计教学框架,以提升教学效果和可行性。此外,通过远程 VR 平台进行教师培训可突破时空限制,提高教师对新技术的接受程度<sup>[44]</sup>。

**2.6 教育元宇宙环境下的学习认知机制** 认知是指获得知识或应用知识的心理过程,包括记忆、情感、言语、思维、注意和意识等多种表现形式<sup>[47]</sup>。新一代认知科学涵盖了具身认知、延展认知和嵌入式认知 3 种观点。具身认知理论认为,认知过程不仅局限于大脑的内部活动,而且与身体的感知和行动密切相关;延展认知则主张个体的认知过程不仅限于大脑,还能够延伸到所处的物理环境和社会文化环境中;嵌入式认知强调认知主体是嵌入在环境中的,他人与环境也是认知过程的关键组成部分<sup>[48]</sup>。以元宇宙、生成式 AI、数智人等技术为基座所构建的教育元宇宙,为个体和环境双向交互的学习认知提供了强有力的支撑。相关研究正在兴起,主要有学习认知与交互的作用机制、学习认知与群体协作的作用机制、学习认知的评价与调节等。在学习认知与交互的作用机制研究方面,国外研究认为认知是涉及互动思维的过程。它们更关注不同学习环境下交互行为对学习认知的促进作用。相关研究进展如表 1 所示。

表 1 学习认知与交互作用机制研究进展

作者(时间)	研究(发明)成果
Dobrovsky 等 <sup>[49]</sup> (2016)	创建了专家系统和新兴认知系统的协同组合,通过交互式利用领域专家的知识指导学习过程,从而优化深度交互式强化学习方法的应用
Kang 等 <sup>[50]</sup> (2017)	发现交互式学习环境在解析几何领域可以提高学生参与度和问题解决能力
Makransky 等 <sup>[51]</sup> (2021)	发现一般情况下使用交互式和沉浸式 VR 学习并不比视频学习更为有效,但当结合生成式学习策略时,VR 学习的效果显著提升
Nungu 等 <sup>[52]</sup> (2023)	通过对在线协作学习进行深入研究后发现,学生的成功表现主要是由社交在场和认知在场这 2 个变量决定的
韩继宁等 <sup>[53]</sup> (2023)	提出了未来元宇宙工具应积极促进学习者之间的互动与合作,提升学习效果,并推动教育体验的全面升级
Reinhold 等 <sup>[54]</sup> (2024)	提出了学习机制的认知过程框架,该框架融合了教育心理学(学习利用-机会框架)、认知心理学(知识-学习-教学框架)和特定领域相关框架
Kugele <sup>[55]</sup> (2025)	开发了基于 Drescher 模式的新机制,基于该机制的智能体可以构建与所处环境进行交互的精确内部模型,并使用该模型和行为目标进行行为规划

在学习认知与群体协作的作用机制方面,相关研究更多关注协作参与者如何解决问题、共享信息及

共同构建知识,同时也着重于促进群体协作的社会技术环境创设。相关研究进展如表 2 所示。

表2 学习认知与群体协作作用机制研究进展

作者(时间)	研究(发明)成果
Cress等 <sup>[56]</sup> (2016)	提出了个人与群体协作互动过程的理论框架,旨在揭示个体学习与群体知识建构之间的动态关系,强调个体与群体的共同发展,为理解和优化学习过程提供了新的视角和方法
Elliott <sup>[57]</sup> (2016)	通过分析协作过程中的互动模式、知识共享机制和社区结构,提出了对群体协作演化的深刻见解.该研究可以帮助优化协作设计并促进更大规模的群体智慧的形成
刘革平等 <sup>[58]</sup> (2021)	通过研究在虚拟环境中的沉浸式体验,学习者能够与全球教育资源和文化背景进行互动,从而拓宽视野、增强跨文化理解,并提升学习的深度与广度
朱珂等 <sup>[59]</sup> (2022)	该研究旨在打破传统学习的空间与时间限制;研究还深入探讨了大规模超域协同学习的实践路径,强调如何通过元宇宙平台实现跨地域、跨文化的知识共享与互动
Ngo等 <sup>[60]</sup> (2024)	强调了AI在教育中应用的基本附加价值,同时指出了协作学习环境中中学生自我调节的有趣模式.该研究为探索AI在设计和个性化学习需求中的支撑作用提供了理论贡献
Siwek等 <sup>[61]</sup> (2025)	提出了智能体知识交流方法,利用非精确认知提高群体的合作和适应能力.其特点是每个智能体将参考他人的意图,并选择提供帮助,继续自己的行动,或从他人那里学习新知识

在学习认知的评价与调节研究方面,涉及学习者对自身认知过程(如记忆、理解、问题解决等)的监控、

评估和调整,国内外研究聚焦在虚拟环境中认知评价模型的构建.相关研究进展如表3所示.

表3 学习认知评价与调节研究进展

作者(时间)	研究(发明)成果
张文超等 <sup>[62]</sup> (2022)	研究了如何实时监测学习进度与效果;提出了无干扰的评估方式使学习者能够在专注于学习任务的同时,获得即时反馈,进而调整学习策略或深理解,促进个性化学习的优化和提升
Jin等 <sup>[63]</sup> (2023)	提出了学习者认为AI应用有助于支持认知和行为调节,但无助于调节动机;使用AI应用程序支持行为调节,学习者被要求考虑自身身份、积极性和基础3个方面
Wu等 <sup>[64]</sup> (2024)	发现使用CILA进行干预能有效促进自我调节和知识建构,并强调在教育环境中结合类似ChatGPT,能够更好地支持教师和学生的互动,并激发课堂潜力
Won等 <sup>[65]</sup> (2025)	发现了毅力与学生的自我调节学习之间存在直接关联,讨论了毅力的理论理解以及在学术背景下的应用

**2.7 学习效果评估和智能导学** 学习效果评估与智能导学是教育元宇宙环境下分析学习者学习效果、验证教育元宇宙环境支持学生认知发展效能的关键.学习效果评估与智能导学相关研究主要从学习行为分析与建模、学习效果智能评测和个性化导学等方面展开.

在学习行为分析与建模方面,其研究的关键在于理解教育元宇宙空间下学生学习效果和认知过程.学习行为分析的主要目的是揭示和建立教育元宇宙环境中可观察的数据与学习行为、学习效果之间的关系<sup>[66]</sup>.相关研究进展如表4所示.

表4 学习行为分析与建模研究进展

作者(时间)	研究(发明)成果
刘三女牙等 <sup>[67]</sup> (2020)	通过使用Word2Vec模型将学生群体的交互信息转化为空间向量,并利用余弦相似度计算交互帖子之间的关联性;发现学生在网络中的相对位置关系与学习绩效相关性极其显著
Xue等 <sup>[68]</sup> (2021)	提出了基于脑风暴优化的聚类算法,用于分析学生的学习行为特征,从而提升教学资源与学生之间的适配性
胡航等 <sup>[69]</sup> (2021)	研究者构建了新诊断模型,旨在实现多场景下的学习行为诊断,通过对学习者行为数据的精确分析,能够提供针对性的反馈与干预,促进精准教学
Goodwin等 <sup>[70]</sup> (2024)	开发了simple behavioral analysis(SimBA)平台,引入了多种机器学习可解释性工具,它有助于创建可解释和透明化的行为分析器
Wang等 <sup>[71]</sup> (2025)	利用红鹿优化深度神经网络挖掘线上学习过程中学生的行为数据,最大限度地利用电子学习平台规划学生的成长

在学习效果智能评测方面,目前主要通过分析学生在教育元宇宙环境中的行为、反应和表现,实时捕捉学习过程中的关键数据.同时应用眼动追踪、手势识别、语音情感分析等技术,量化学生的参与度和专注度.相关研究进展如表5所示.

在个性化导学方法方面,其目标是根据个人需求

和学习方式提供个性化的学习支持,从而减轻学习者的认知负荷.它的主要难点在于如何有效地通过分析学习资源和学习者能力及学习目的,提取二者的配对关系,从而实现对学习资源的高效、准确配置.目前,相关研究主要集中在基于大数据的学习路径、资源等学习服务的个性化推荐上.相关研究进展如表6所示.

表 5 学习效果智能评测研究进展

作者(时间)	研究(发明)成果
华子苟等 <sup>[72]</sup> (2021)	构建了以Roblox Studios为基础的教育元宇宙原型,针对教育元宇宙中的设备和系统数据进行捕捉和熵值计算,并采用原子经济算法,挖掘学习者的深层学习数据及其规律
Stokes等 <sup>[73]</sup> (2022)	采用VR和眼动追踪技术,研究多动症儿童在虚拟场景中的注视模式,并结合数据挖掘和机器学习算法,分析学生潜在的学习模式和趋势,提供实时学情反馈,辅助教学策略的调整
Billert等 <sup>[74]</sup> (2022)	在元宇宙学习环境中,使用基于研讨会的混合方法,结合访谈、概念图和视频分析,在职业培训中心评估机械师的学习成果
Kolade等 <sup>[75]</sup> (2024)	提出了用于终身学习的AI辅助评估新概念框架,其中包含知识储备测试、能力掌握程度评估和知识应用能力评估
Hou <sup>[76]</sup> (2025)	提出了用于提高幼儿学习体验的教学评价模型;发现了模糊决策支持的方法使课程在许多情况下更具适应性和可行性,特别是那些涉及游戏、视听方法和工艺的课程

表 6 个性化导学方法研究进展

作者(时间)	研究(发明)成果
Frost等 <sup>[77]</sup> (2020)	研究了如何在VR教学系统中根据学生的需求和偏好提供定制化的教育内容和服务,从而提升教学质量
Antony等 <sup>[78]</sup> (2020)	提出了推荐系统,其可通过特征选择模型提取学习资源的内容属性特征,并根据学习者的学习水平进行分类,从而为学习者推荐个性化的学习资源
Hare等 <sup>[79]</sup> (2022)	构建了元宇宙教学系统,利用机器学习算法分析有关学生表现和学习进度的数据,并构建虚拟的教师向学生推荐定制化的学习资源
翟雪松等 <sup>[80]</sup> (2023)	构建了多用户协同的元宇宙平台,在元宇宙交互环境中,利用生成式AI技术打造虚拟智能教室,为学习者提供了沉浸式、智能化的数字化学习环境
Sajja等 <sup>[81]</sup> (2024)	提出了基于AI的智能助手新框架,用于高等教育中的个性化学习
Hou等 <sup>[82]</sup> (2025)	提出了基于知识图谱的个性化学习路径规划方法,该方法结合知识图谱和改进的认知诊断模型,根据个体需求定制学习路径,能够有效解决薄弱知识领域的问题,显著提高学习效率

### 3 存在的关键问题

尽管 AI 技术的突破给教育元宇宙的发展带来了新的机遇,但其实际应用仍面临诸多挑战,主要包括硬件、软件、教育适配及社会接受度等方面的问题。通过对相关文献进行分析,可以得出目前教育元宇宙主要存在如下 6 个关键问题。

1)教育元宇宙下学习认知机制阐述不明。在元宇宙环境下,学习认知机制的研究仍处于初级阶段。教育元宇宙提供了沉浸式的学习环境,但学习者在该环境中如何有效促进认知发展仍然是开放性课题。特别是,对于学习者在这种环境中的认知过载、注意力分散及认知策略的适应性调整等方面的研究还不够深入。此外,缺乏对具有不同认知风格和学习能力的学习者在元宇宙学习环境中表现的系统性研究。

2)现有系统对个性化学习支撑不足。个性化学习通过对特定学生的全面评估,识别并解决其学习问题,为每位学生量身定制独特的学习策略和方法,以确保其有效学习。个体差异使得每位学生的学习方式和节奏各不相同,因此教育应注重因材施教,充分发掘学生的潜力,帮助他们克服挑战,从而实现个性化的成长与发展。教育元宇宙能够有效适应不同的学习需求,并支持这种个性化学习方式。

3)虚拟学习情境中的交互智能性不佳。元宇宙环

境下的学习情境感知与交互是教育元宇宙的核心组成部分,它们为学习者提供了更加沉浸式和互动性的学习体验。目前的教育元宇宙中,交互系统在理解复杂学习情境、精确捕捉学习者行为意图及提供自然语言交互等方面仍然存在限制,同时缺乏对多模态智能交互方式的研究。这些问题限制了教育元宇宙环境在提供个性化、沉浸式学习体验方面的能力及在教育元宇宙环境下的学习效果。

4)学生学习效果的评估精准性不够。如何实现准确和实时的学习评估与导学一直是教育领域的关键问题。教育元宇宙为该问题提供了契机。教育元宇宙可全面收集学习者在教育元宇宙空间下的行为数据,包括移动轨迹、交互操作和沟通交流等,并对其进行分析,以识别学习模式、评估学习效果并预测学习成果,从而为学习者和教师提供深入见解。当前系统缺乏有效方法收集和分析学习者在虚拟环境中的行为数据,以及根据这些数据提供个性化的学习反馈和导学建议。

5)硬件发展不充分。教育元宇宙的硬件设备仍存在技术“瓶颈”,主要体现在成本、用户体验、交互能力和规模化部署等方面,限制了其在教育领域的深度渗透。设备成本高昂,普及受限。高性能 VR 设备及配套外设(如触觉反馈手套、全身动作捕捉系统)价格昂贵,普通中小学及经济欠发达地区的教育机构难以

承担。除硬件购置费用外,还需考虑后期维护、更新和内容开发成本,导致资源分配不均,加剧教育数字化鸿沟。同时,规模化部署困难,难以适应集体教学。当前VR设备主要面向个体学习设计,缺乏适用于班级或全校规模的协同教学方案,教师难以同步管理多个学生的VR学习状态。网络带宽和算力限制使得大规模VR课堂(如50人以上)的实时数据同步面临挑战,影响互动体验。为应对该问题,可从多维路径入手:一是采用“轻终端+云渲染”技术,利用云计算降低本地设备性能要求;二是引入“硬件即服务”模式,通过设备租赁分摊采购成本;三是建设区域性共享实验室,实现资源共用与设备高效利用;四是争取政府资助与企业合作,引导社会资本参与元宇宙教育基础设施建设和建设;五是实施分阶段、混合部署策略,先行在重点课程或班级中试点应用,逐步推广。这些举措可有效缓解高成本难题,推动教育元宇宙可持续发展。

6)伦理与隐私问题凸显,数据安全风险加剧。教育元宇宙应用过程中面临突出的伦理隐私挑战,这主要体现在生物特征数据的过度采集、学习行为数据的滥用风险、虚拟身份带来的心理安全威胁,以及算法偏见可能加剧教育不平等4个方面。VR设备通过眼动追踪、脑电波监测等技术持续收集学生的生理数据和学习行为数据,这些敏感信息存在被商业机构滥用的风险,Meta曾因非法收集青少年VR数据被处以高额罚款就是典型案例。同时,学生在虚拟环境中创建的化身可能遭受新型网络暴力,长期沉浸还可能引发现实感模糊等心理问题。针对这些问题,需要建立专门的教育VR数据治理框架,将生物特征数据列为特殊类别个人信息,并开发内嵌“伦理算法”的设计规范,如自动模糊化处理课堂中的他人生物数据、设置虚拟旁观者模式等。教育学界还需与法学、心理学等学科合作,制定专门的伦理指导文件,重点关注虚拟惩罚机制的心理影响,以推动教育元宇宙的健康发展。

此外,教育元宇宙的构建依赖于AI、VR、区块链、边缘计算等前沿技术的深度融合。这种技术上的依赖性带来了不可忽视的现实局限。首先,当前AI在教育场景中尚存在可解释性不足的问题,特别是在学习评估、个性化推荐等核心环节中,算法“黑箱”可能影响教学的公平性与透明度。其次,多模态交互(如语音识别、手势追踪、视线捕捉等)虽能提升沉浸体验,但现阶段的交互精度和响应速度仍难以满足复杂教学需求,且设备间兼容性差,增加了系统集成的复杂性。此外,区块链等用于数据确权与身份认证的技术尚未在教育领域形成统一标准。这些技术上的局限性极大地阻碍了教育元宇宙的大规模落地。未来,随

着技术上的突破,教育元宇宙将大有可为。

## 4 结束语

目前在AI的加持下,教育元宇宙具有巨大的潜力,但要实现其在教育领域的广泛应用,还需进行深入研究。本文先梳理了教育元宇宙理论的发展,然后详细回顾了教育元宇宙关键技术的发展,包括基于AI的精准教学、教学内容与形式多样化、面向智能教学全过程的多重知识表达机制、基于智能算法的学习行为识别、教育元宇宙环境下的学习认知机制、学习效果评估和智能导学,最后分析了目前存在的 key 问题。通过从理论到技术的系统梳理,期望能为相关研究者提供参考。

## 5 参考文献

- [1] 任友群,冯晓英,何春.数字时代基础教育教师培训供给侧改革初探[J].中国远程教育,2022(8):1
- [2] 钟正,王俊,吴砥,等.教育元宇宙的应用潜力与典型场景探析[J].开放教育研究,2022,28(1):17
- [3] 刘远杰.教育学服务强国建设:基因、逻辑与要义[J].教育研究,2025,46(2):127
- [4] 张金磊,王颖,张宝辉.翻转课堂教学模式研究[J].远程教育杂志,2012,30(4):46
- [5] DIONISIO J D N, BURNS W G, GILBERT R. 3D virtual worlds and the metaverse[J]. ACM Computing Surveys, 2013, 45(3):1
- [6] BECK D, MORGADO L, O'SHEA P. Educational practices and strategies with immersive learning environments: mapping of reviews for using the metaverse[J]. IEEE Transactions on Learning Technologies, 2023, 17: 319
- [7] 华子荀,黄慕雄.教育元宇宙的教学场域架构、关键技术与实验研究[J].现代远程教育研究,2021,33(6):23
- [8] HONGSUCHON T, EL EMARY I M M, HARIGUNA T, et al. Assessing the impact of online-learning effectiveness and benefits in knowledge management, the antecedent of online-learning strategies and motivations: an empirical study[J]. Sustainability, 2022, 14(5): 2570
- [9] 张梦冉.美国K-12在线教育的运营模式研究[D].金华:浙江师范大学,2018
- [10] 钱学敏.钱学森关于复杂系统与大成智慧的理论[J].西安交通大学学报(社会科学版),2004,24(4):51
- [11] 祝智庭,魏非.教育信息化2.0:智能教育启程,智慧教育领航[J].电化教育研究,2018,39(9):5
- [12] 田爱丽,王钰彪.元宇宙服务教育教学的技术潜能、现实挑战与困境突破[J].杭州师范大学学报(社会科学版),2023,45(2):51
- [13] 刘革平,秦渝超.教育元宇宙的概念厘定、结构框架与生态图景[J].新疆师范大学学报(哲学社会科学版),2023,44(5):54
- [14] 华子荀,付道明.学习元宇宙之内涵、机理、架构与应用

- 研究: 兼及虚拟化身学习促进效果[J]. *远程教育杂志*, 2022, 40(1): 26
- [15] 秦瑾若, 傅钢善. STEM 教育: 基于真实问题情景的跨学科式教育[J]. *中国电化教育*, 2017(4): 67
- [16] 傅文晓, 赵文龙, 黄海舵. 教育元宇宙场域的具身学习效能实证研究[J]. *开放教育研究*, 2022, 28(2): 85
- [17] 钟正, 黄镜彬, 张学丽. 智能技术重塑中小学课堂教学交互[J]. *湖北教育(教育教学)*, 2025(2): 6
- [18] 王春霞. 元宇宙赋能思想政治教育的内在机理及实践路径[J]. *学校党建与思想教育*, 2025(1): 82
- [19] HINES P, NETLAND T H. Teaching a lean masterclass in the metaverse[J]. *International Journal of Lean Six Sigma*, 2023, 14(6): 1121
- [20] SUH W, AHN S. Utilizing the metaverse for learner-centered constructivist education in the post-pandemic era: an analysis of elementary school students[EB/OL]. (2022-03-01) [2025-03-29]. <https://www.semanticscholar.org/paper/Utilizing-the-Metaverse-for-Learner-Centered-in-the-Suh-Ahn/23c5609dbc317e5b59473247e1cadfc2d82c68cf>
- [21] GUO H Y, GAO W R. Metaverse-powered experiential situational English-teaching design: an emotion-based analysis method[J]. *Frontiers in Psychology*, 2022, 13: 859159
- [22] CUI L B, ZHU C Z, HARE R, et al. MetaEdu: a new framework for future education[J]. *Discover Artificial Intelligence*, 2023, 3(1): 10
- [23] GUO S J. Implementation of immersive virtual reality games and learning engagement for selected mathematical concepts among middle school students in Ganzhou city, China[J]. *International Journal of Social Science and Human Research*, 2024, 7(6): 4395
- [24] ZHANG H M. Metaverse VR technologies in contemporary Chinese music education[J]. *Interactive Learning Environments*, 2025, 33(1): 821
- [25] ZHANG S H, CHEN X L. Applying artificial intelligence into early childhood math education: lesson design and course effect[C]//2022 IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE). December 4-7, 2022, Hung Hom, Hong Kong, China. IEEE, 2022: 635
- [26] NA H C, LEE Y J, KIM S Y, et al. A study on metaverse education platform: cases analysis and suggestion[J]. *Journal of Digital Contents Society*, 2022, 23(5): 827
- [27] ALCALA K, D'ACHILLE A, BRUCKMAN A. The stage and the theatre: AltspaceVR and its relationship to discord[J]. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 2023, 7(CSCW1): 1
- [28] BAR-EL D, RINGLAND K E. Crafting game-based learning: an analysis of lessons for minecraft education edition[C]//Proceedings of the 15th International Conference on the Foundations of Digital Games. September 15 - 18, 2020, Bugibba, Malta. ACM, 2020: 1
- [29] REN M Y, ZHENG P. Towards smart product-service systems 2.0: a retrospect and prospect[J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2024, 61: 102466
- [30] ROLL I, WYLIE R. Evolution and revolution in artificial intelligence in education[J]. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 2016, 26(2): 582
- [31] 庞敬文, 李施, 唐焯伟, 等. “互联网+”时代基于智慧生成的语文阅读学习研究[J]. *电化教育研究*, 2018, 39(8): 103
- [32] LEE J, JANG S. Metaverse-based education service adoption and preference study using conjoint analysis[C]//2023 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC). February 20-22, 2023, Honolulu, HI, USA. IEEE, 2023: 273
- [33] 朱永新, 徐子望, 鲁白, 等. “人工智能与未来教育” 笔谈(上)[J]. *华东师范大学学报(教育科学版)*, 2017, 35(4): 15
- [34] 陈建校, 刘斯琦, 左梦雪. 人工智能重塑高等教育个性化教学: 作用机理与影响效应[J]. *中国职业技术教育*, 2025(3): 75
- [35] 杨建峰, 张雅美, 王灿运, 等. 基于数字孪生与 VR 的高职机电类专业课程实训教学探索与实践[J]. *实验室研究与探索*, 2025, 44(3): 184
- [36] 于翠波, 李青, 刘勇. 增强现实(AR)技术的教育研究现状及发展趋势: 基于 2011—2016 中英文期刊文献分析[J]. *远程教育杂志*, 2017, 35(4): 104
- [37] KHAIRUL ANUARDI M A, MUSTAPHA S, MOHAMMED M N. Towards increase reading habit for preschool children through interactive augmented reality storybook[C]//2022 IEEE 12th Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE). May 21-22, 2022, Penang, Malaysia. IEEE, 2022: 252
- [38] 何聚厚, 梁瑞娜, 韩广欣, 等. 基于虚拟现实技术的深度学习场域模型构建研究[J]. *电化教育研究*, 2019, 40(1): 59
- [39] GREFF K, KAUFMAN R L, KABRA R, et al. Multi-object representation learning with iterative variational inference[EB/OL]. (2020-07-27)[2025-03-31]. <https://arxiv.org/abs/1903.00450?context=stat>
- [40] 郑伟豪, 郭奕君, 毋立芳, 等. 知识驱动的多模态语义理解研究综述[J]. *模式识别与人工智能*, 2023, 36(12): 1127
- [41] RATNER A, BACH S H, EHRENBERG H, et al. Snorkel: rapid training data creation with weak supervision[J]. *The VLDB Journal*, 2020, 29(2): 709
- [42] WANG Q, LI Y P. How virtual reality, augmented reality and mixed reality facilitate teacher education: a systematic review[J]. *Journal of Computer Assisted Learning*, 2024, 40(3): 1276
- [43] SA'ADI A. The use of augmented reality (AR) and virtual reality (VR) in modern education[J]. *Journal of Education and Learning Sciences*, 2024, 4(1): 41
- [44] YU D X. Practical exploration of educational metaverse: a teacher training system based on virtual reality[C]//2022 10th International Conference on Orange Technology

- (ICOT). November 10-11, 2022, Shanghai, China. IEEE, 2022: 1
- [45] POUPARD M, LARRUE F, SAUZÉON H, et al. A systematic review of immersive technologies for education: Learning performance, cognitive load and intrinsic motivation[J]. *British Journal of Educational Technology*, 2025, 56(1): 5
- [46] MOSER I, COMSA I S, PARSAEIFARD B, et al. Work-in-progress—motion tracking data as a proxy for cognitive load in immersive learning[C]//2022 8th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN). May 30 - June 4, 2022, Vienna, Austria. IEEE, 2022: 1
- [47] YU Y, ZUO S M, JIANG H M, et al. Fine-tuning pre-trained language model with weak supervision: a contrastive-regularized self-training approach[C]//Proceedings of the 2021 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies. Online. Stroudsburg, PA, USA. ACL, 2021: 1063
- [48] IMBERNÓN CUADRADO L E, MANJARRÉS RIESCO Á, DE LA PAZ LÓPEZ F. ARTIE: an integrated environment for the development of affective robot tutors[J]. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 2016, 10: 77
- [49] DOBROVSKY A, BORGHOFF U M, HOFMANN M. An approach to interactive deep reinforcement learning for serious games[C]//2016 7th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom). October 16-18, 2016, Wroclaw, Poland. IEEE, 2016: 085
- [50] KANG B, LAVIOLA J J Jr, WISNIEWSKI P. Examining interaction modality effects toward engagement in an interactive learning environment[M]//Data Driven Approaches in Digital Education. Cham: Springer International Publishing, 2017: 97
- [51] MAKRANSKY G, ANDREASEN N K, BACEVICIUTE S, et al. Immersive virtual reality increases liking but not learning with a science simulation and generative learning strategies promote learning in immersive virtual reality[J]. *Journal of Educational Psychology*, 2021, 113(4): 719
- [52] NUNGU L, MUKAMA E, NSABAYEZU E. Online collaborative learning and cognitive presence in mathematics and science education: case study of university of Rwanda, college of education[J]. *Education and Information Technologies*, 2023, 28(9): 10865
- [53] 韩继宁, 刘革平, 王思玉. 元宇宙中社会化交互学习的特征与发展路向[J]. *现代远程教育研究*, 2023, 35(2): 57
- [54] REINHOLD F, LEUDERS T, LOIBL K, et al. Learning mechanisms explaining learning with digital tools in educational settings: a cognitive process framework[J]. *Educational Psychology Review*, 2024, 36(1): 14
- [55] KUGELE S. Constructivist procedural learning for grounded cognitive agents[J]. *Cognitive Systems Research*, 2025, 90: 101321
- [56] CRESS U, FEINKOHL I, JIRSCHITZKA J, et al. Mass collaboration as coevolution of cognitive and social systems[M]//Mass Collaboration and Education. Cham: Springer International Publishing, 2016: 85
- [57] ELLIOTT M. Stigmergic collaboration: a framework for understanding and designing mass collaboration[M]//Mass Collaboration and Education. Cham: Springer International Publishing, 2016: 65
- [58] 刘革平, 王星, 高楠, 等. 从虚拟现实到元宇宙: 在线教育的新方向[J]. *现代远程教育研究*, 2021, 33(6): 12
- [59] 朱珂, 丁庭印, 付斯理. 元宇宙赋能大规模超域协同学习: 系统框架与实施路径[J]. *远程教育杂志*, 2022, 40(2): 24
- [60] NGO D, NGUYEN A, DANG B, et al. Facial expression recognition for examining emotional regulation in synchronous online collaborative learning[J]. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 2024, 34(3): 650
- [61] SIWEK J, ŻYWICA P, PIERZYŃSKI K, et al. Knowledge sharing in swarms realized by artificially empathetic communication[J]. *Electronics*, 2025, 14(2): 340
- [62] 张文超, 袁磊, 闫若楠, 等. 从游戏化学习到学习元宇宙: 沉浸式学习新框架与实践要义[J]. *远程教育杂志*, 2022, 40(4): 3
- [63] JIN S H, IM K, YOO M, et al. Supporting students' self-regulated learning in online learning using artificial intelligence applications[J]. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 2023, 20(1): 37
- [64] WU T T, LEE H Y, LI P H, et al. Promoting self-regulation progress and knowledge construction in blended learning via ChatGPT-based learning aid[J]. *Journal of Educational Computing Research*, 2024, 61(8): 1539
- [65] WON S, WOLTERS C A, BRADY A C, et al. Grit and self-regulated learning: evaluating achievement goals as mediators[J]. *Social Psychology of Education*, 2025, 28(1): 57
- [66] GRAY G, BERGNER Y. A practitioner's guide to measurement in learning analytics: decisions, opportunities, and challenges[EB/OL]. [2025-03-31]. <https://www.solaresearch.org/publications/hla-22/hla22-chapter2/>
- [67] 刘三女牙, 郭美伶, 胡天慧, 等. 不同关系定义下在线交互网络特点及其与学习绩效关系: 以 SPOC 论坛为例[J]. *开放教育研究*, 2020, 26(3): 80
- [68] XUE Y, QIN J F, SU S B, et al. Brain storm optimization based clustering for learning behavior analysis[J]. *Computer Systems Science and Engineering*, 2021, 39(2): 211
- [69] 胡航, 杜爽, 梁佳柔, 等. 学习绩效预测模型构建: 源于学习行为大数据分析[J]. *中国远程教育*, 2021(4): 8
- [70] GOODWIN N L, CHOONG J J, HWANG S, et al. Simple

- Behavioral Analysis (SimBA) as a platform for explainable machine learning in behavioral neuroscience[J]. *Nature Neuroscience*, 2024, 27(7): 1411
- [71] WANG S, ZHAO J B. Analysis of student learning behavior on online education platforms based on deep learning[J]. *Journal of Circuits, Systems and Computers*, 2025, 34(6): 2550151
- [72] 华子荀, 欧阳琪, 郑凯方, 等. 虚拟现实技术教学效用模型建构与实实验证 [J]. *现代远程教育研究*, 2021, 33(2): 43
- [73] STOKES J D, RIZZO A, GENG J J, et al. Measuring attentional distraction in children with ADHD using virtual reality technology with eye-tracking[J]. *Frontiers in Virtual Reality*, 2022, 3: 855895
- [74] BILLERT M S, WEINERT T, DE GAFENCO M T, et al. Vocational training with microlearning: how low-immersive 360-degree learning environments support work-process-integrated learning[J]. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 2022, 15(5): 540
- [75] KOLADE O, OWOSENI A, EGBETOKUN A. Is AI changing learning and assessment as we know it? Evidence from a ChatGPT experiment and a conceptual framework[J]. *Heliyon*, 2024, 10(4): e25953
- [76] HOU Y L. Design and implementation evaluation of personalized and differentiated teaching strategies for preschool children based on fuzzy decision support systems[J]. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 2025, 18(1): 42
- [77] FROST J, DELANEY L, FITZGERALD R. Exploring the application of mixed reality in Nurse education[J]. *BMJ Simulation & Technology Enhanced Learning*, 2020, 6(4): 214
- [78] ANTONY ROSEWELT L, AROKIA RENJIT J. A content recommendation system for effective e-learning using embedded feature selection and fuzzy DT based CNN[J]. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 2020, 39(1): 795
- [79] HARE R, TANG Y. Hierarchical deep reinforcement learning with experience sharing for metaverse in education[J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 2022, 53(4): 2047
- [80] 翟雪松, 楚肖燕, 焦丽珍, 等. 基于“生成式人工智能+元宇宙”的人机协同学习模式研究 [J]. *开放教育研究*, 2023, 29(5): 26
- [81] SAJJA R, SERMET Y, CIKMAZ M, et al. Artificial intelligence-enabled intelligent assistant for personalized and adaptive learning in higher education[J]. *Information*, 2024, 15(10): 596
- [82] HOU B, LIN Y S, LI Y C, et al. KG-PLPPM: a knowledge graph-based personal learning path planning method used in online learning[J]. *Electronics*, 2025, 14(2): 255

## Artificial intelligence-empowered educational metaverse

PAN Zhigeng<sup>1,5)</sup> XIA Xianliang<sup>1)</sup> LANG Xu<sup>2)</sup> FAN Jiarong<sup>3)</sup> ZHONG Shaochun<sup>4)</sup> LI Ming<sup>6)</sup>

(1)School of Artificial Intelligence, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing, Jiangsu, China; 2)College of Mathematics and Statistics, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou, Zhejiang, China; 3)School of Journalism and Communication, Jilin Normal University, Changchun, Jilin, China; 4)College of Information Science and Technology, Northeast Normal University, Changchun, Jilin, China; 5)Research on Application Technology of Metaverse Cultural Tourism Scenarios Jiangsu Provincial Key Laboratory of Culture and Tourism, Nanjing, Jiangsu, China; 6)School of Foreign Languages, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai, China)

**Abstract** Current developments in educational metaverse both at home and abroad are reviewed, comprehensive analysis is done from 4 dimensions: theory, application, technology, and key issues. Artificial intelligence-driven precision teaching, diversified teaching content, multi-modal knowledge representation, and learning behavior recognition are highlighted. Educational metaverse, by integrating virtual reality, artificial intelligence, and human-computer interaction technologies, provides highly immersive blended teaching experiences, to significantly enhance learning outcomes. However, shortcomings remain in cognitive mechanism research, support for personalized learning, and accuracy of artificial intelligence algorithms. Therefore, addressing critical issues (hardware costs, data and ethical security, technological integration) are important to implement widespread educational metaverse.

**Keywords** artificial intelligence; virtual reality; education; metaverse; computer aided learning

【责任编辑: 陆有忠】