



# 学习元宇宙之内涵、机理、架构与应用研究\*

## ——兼及虚拟化身的学习促进效果

华子荀 付道明<sup>通讯作者</sup>

(广东第二师范学院 教师教育学院, 广东广州 510303)

**[摘要]** 进入万物互联时代,学习必然是多维度、具身式、智能化的过程,数字化全域感知的交互式环境,正有力地促进着学习者高阶思维的发展。学习元宇宙(Metaverse for learning)是在元宇宙虚实融合一体化理念之基础上,面向学习者所营造的、多技术集成的沉浸式学习环境。学习元宇宙聚焦学习主体,关注在元宇宙场域中沉浸式环境的设计、交互式学习方式呈现和学习效果的评价,其研究主要在“环境”“方式”“效果”三方面展开。学习元宇宙的机理体现在“共同在场”“心流状态”“虚拟化身”,其主要特点在于学习过程的沉浸性、化身性、特殊性;同时,学习元宇宙具有“技术端、应用端、分析端”三段六层架构。为验证学习元宇宙中虚拟化身的学习成效,基于 Minecraft 和 Roblox 两种学习元宇宙形态,对 67 名被试者在体验三类拟真场景中的数据进行采集与分析,得到了在不同环境中“共同在场”“心流状态”“虚拟化身”三项体现学习元宇宙机理的指标表现。进而,引入心理生理分析技术,对学习者的心电图数据(ECG)进行测试,发现在学习元宇宙中的“虚拟化身”能表征出促进学习效果的生理证据。研究结果表明:两种学习元宇宙形态对学习成效都有较好的表现。这为未来虚拟学习场景中的数字化身、虚拟人学习状态分析与教学开展,提供了一定的理论依据与借鉴价值。

**[关键词]** 学习元宇宙;学习机理;沉浸体验;虚拟化身;心电测量

**[中图分类号]** G420 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1672-0008(2022)01-0026-11

DOI:10.15881/j.cnki.cn33-1304/g4.2022.01.004

随着 5G、AI、XR、云计算、区块链与数字孪生等技术的不断成熟,2021 年,“元宇宙”概念经过多年沉寂后突然火爆,成为人们关注的热点。对于什么是元宇宙,不同学者自然有着不同的解读。比如,元宇宙将成为下一代互联网的新形态,将人们带入一个崭新的网络时代(刘革平,等,2021);元宇宙是与现实世界相联系但又超越了虚拟世界的交叉空间,它区别于一般虚拟空间的特点,在于人们在元宇宙拥有自己的数字身份,可以在两个世界进行虚实互动,并创造任何想要的东西(Cathy,2021);元宇宙将物理和虚拟世界融合在一起,具有较高的开放性(Barry,2021);元宇宙是由线上、线下很多平台打通所组成的一种新的经济、社会和文明系统(喻国明,2021)。

不论上述这些观点是否真正揭示了元宇宙的本质,在数智融合的驱动下,在“一切皆数据、一切可计

算”的今天,元宇宙所具有的内涵与价值,已远远突破了以往以“第二人生”(Second Life)为代表的虚拟世界所具有的特征:它不仅是基于体素建模技术(Voxel Model)、非同质化代币属性(Non-Fungible Token, NFT)与数字孪生(Vladimir, et al., 2019; Ferdinand, et al., 2019; 张艳丽,等,2020)等所构建与支撑的虚拟宇宙,而且还具有丰富的活动场景、内容形式、商业化交易,从模拟社会、经济、法律、军事到游戏、旅游、休闲、社交。更为重要的是,它必然蕴含着丰富的教与学活动之可能性与伸展性。可以认为,元宇宙就是一个全新的、充满学习元素的“超级数字化、网络化”场域。因此,我们若从学习科学的视角来审视元宇宙,可以初步探索、勾勒出一个学习化、体验式、沉浸态的“学习元宇宙”。一方面,通过这个学习元宇宙,能够有效地促进学习者在探究、体验、交互等多元过程中,成为

\* 基金项目: 本文系广东省 2021 年哲学社会科学规划青年项目“情绪认知模型框架下虚拟现实技术对学生认知发展机制研究”(GD21YJY05)、2021 年度教育部人文社会科学研究规划基金项目“泛在学习系统中认知负荷的调节及深度学习模式的构建研究”(21YJA880012)之研究成果。

“实体真身”与“虚拟化身”相融合的崭新生命体;另一方面,这种“境身合一”般的学习环境,能够赋能学习者不断进行自主性、有意义的体验学习与游戏化、项目式活动的开展,并在这一学习过程中实现情绪唤醒、心流体验、具身认知等学习效能。

这些由元宇宙、学习元宇宙所蕴含的新课题,需要我们从理论到实践,进行分析与探讨。基于此,本文将着重探讨以下三个问题:(1)学习元宇宙的内涵、特征与机理;(2)学习元宇宙的技术架构与实现方式;(3)基于学习元宇宙的内涵与机理等,对学习者“学习化身”与学习效果之间的关系进行初步验证。

## 一、学习元宇宙的内涵

### (一)学习元宇宙的内涵表述

进入万物互联的时代,学习必然是一种多维度、具身式与智能化的过程,数字化全域感知的交互式学习环境,正有力地促进着学习者高阶思维的发展。聚焦教育应用领域,元宇宙能够整合多种技术手段,推动学习环境、学习方式、评价方式的改革与创新。基于元宇宙场域中的学习,必然是一种虚实融合的学习,既模仿现实又超越现实,赋予学习方式以新的形态。因此,“学习元宇宙”作为一种新的学习形态,自然伴随着元宇宙的发展而展现出其活力与价值。

那么,什么是学习元宇宙?目前还没有相关的研究文献进行阐述。为此,本文试对学习元宇宙的内涵,作如下表述:学习元宇宙(Metaverse for Learning)是在元宇宙技术基础上构建起来的学习场景,融合了现实学习空间与虚拟学习空间,并通过数字孪生、区块链技术等实现虚实空间的相互映射与动态交互。在学习主体方面,学习元宇宙实现了以共识机制为技术中介的“学习化身”映射,学习者的“虚拟化身”具有高度的主体统一性,能够反映学习者的视觉、听觉、动觉等感官信息,并通过元宇宙的沉浸式体验与感官刺激,促进其学习的发生、持续。在学习方式方面,学习者通过沉浸式智能设备与数据,感知元宇宙中各种丰富的环境信息,实现了在虚实融合环境中社交、探究、创造等学习活动的开展。在学习效果方面,借助智能化分析与计算技术,能够以智能测评、数据挖掘或情感计算等作为其学习效果的分析手段,并借由学习者“学习化身”的生理、心理分析,作为评判学习者学习效果的重要依据。

简言之,学习元宇宙作为元宇宙教育应用或场景的关键组成部分,是在元宇宙虚实融合一体化环

境之基础上,面向学习者所营造的、多技术融合的沉浸式学习环境。因此,对学习元宇宙的研究,主要围绕学习者、学习环境的搭建(人机交互)、学习方式的设计(学习辅助)和学习效果的评价(思维与认知发展)这几个要素展开。

### (二)学习元宇宙的关键特征

根据上述对学习元宇宙内涵的勾勒,我们认为,学习元宇宙的关键特征主要体现在以下三方面:

#### 1. 沉浸性:高拟真化环境与强烈的代入感

基于日益强悍的游戏编程与引擎技术、3D 显示技术(如,光线追踪、即时渲染、面部捕捉等),使得元宇宙所呈现的场景,比以往的虚拟空间更为逼真,使之更具有活动性、探究性、交互性及沉浸感。伴随着从虚拟现实(VR)向增强现实(AR)、混合现实(MR)乃至扩展现实(XR)的发展,在新技术支持下的学习元宇宙中,日益丰富的内容与交互的高度拟真化,使得这种虚拟体验所带来的具身认知与具身学习,有力促进了虚拟世界与现实世界的弥合,缩小了学习信息与学习体验之间的壁垒(褚乐阳,等,2019)。换言之,学习元宇宙的体验也能够像扩展现实学习一般,实现数字化场域中的高感官体验与“境身合一”般的沉浸式体验。为学习者主动投入学习、提升认知、培养移情与关联能力等提供了可能(徐铤忆,等,2021)。因此,学习元宇宙所营造、呈现的沉浸式探究环境,极大地刺激着学习者的各种感官,如同角色扮演游戏中的角色沉浸一样,为学习者投入学习提供了较强的代入感,这是以往学习环境或空间所无法比拟的。

#### 2. 化身性:以数字身份或虚拟化身参与学习

学习元宇宙所赋能的学习是一种特别、另类的学习方式。其与以往现实空间中学习方式的最大不同,在于学习者的身份与学习过程可以“分离”。即在元宇宙的学习环境中,学习者可以把“我”身份分割出一个“虚拟化身”,通过拥有自己的虚拟化身——“数字身份”参与学习活动;而且,这种虚拟化身能够在元宇宙中展开各种学习活动,包括自身化身以及与其他学习者化身之间的交互。进一步地,虚拟化身的学习可映射为真实学习者的学习,虚拟化身的体验影响真人的认知;真人的认知又影响虚拟化身的行为,并产生较强的临场感与收获感。一方面,以VR头盔、可穿戴设备等正赋予学习者视觉、听觉、触觉等的模拟,让学习者产生较强的感官刺激,有助于提高其学习过程的互动与交流质量(刘革平,

等,2021)。另一方面,通过学习元宇宙中的各种虚拟体验、活动模拟、任务探索、信息交流、虚拟学校等方式,使得这种学习更具社交性与愉悦性。

### 3. 特殊性:需应用心电、脑电等技术进行测评

由于学习元宇宙的沉浸性特征,使得基于学习元宇宙环境中的学习方式是特别的,其学习结果与表现形式也是多种多样的。另外,由于学习者在元宇宙场景中具有化身性,虚拟化身能够表征出其学习状态,对其主体与虚拟化身的分析成为一个新课题。因此,复杂的环境因素与学习过程因素,决定着对学习元宇宙的学习效果评价一定也是比较特殊的。原有对现实学习中的评价方式已很难精确、有效地进行评价,需要利用多种检测手段和涉及生物特征信号的新技术。而基于心电(ECG)、脑电(EEG)、光学近红外成像(fNIRS)等生理信号的学习行为分析新技术,当前大量应用于教育评价、教育神经科学与心理分析。生理信号可以解释认知变化、进行情绪识别,而且生理信号在反映有机体状况方面,更加客观、真实。通过检测设备采集生物数据,可以将各种教育自变量因素与学习者在元宇宙中的学习活动相联系,进一步开展科学的教育分析与评价。因此,比较契合学习元宇宙环境的特殊性,以及反映人类本身生理、心理变化的特殊性。

可见,学习元宇宙的研究价值体现在“环境”“方式”“效果”三方面,即“学习元宇宙以特别的机理,促进着学习者取得特别的学习成效”,这也是学习元宇宙所具有的特殊价值。因此,探讨学习元宇宙能否成为元宇宙范畴中的一种重要活动形态,主要应聚焦学习元宇宙能否在“学习环境”“学习方式”“学习效果”三方面,发挥其学习赋能的作用以及所发挥的效

果情况。而这一切,离不开对学习元宇宙的机理分析与探讨,即需要建立在对其机理充分明晰之基础上。

## 二、学习元宇宙的机理研究

学习元宇宙对“环境”“方式”“效果”的赋能,赋予其具有独特的学习机理,主要体现在环境构建、互动方式、效果表征三个方面,即“共同在场”“心流状态”和“虚拟化身”。

### (一)环境建构机理:“共同在场”

学习者在元宇宙环境中所体验的不仅是各种感官刺激,更重要的是通过VR眼镜等所营造的一种“共同在场”(Contextualized Copresence)虚拟学习环境(Bainbridge, et al., 2010)。学习者可以与其他学习者共同存在于特定的虚拟学习场所中,他们通过数字化身进行交流,赋予其近似于真实环境的学习体验。由此可见,这种“共同在场”是一种团队、群体的存在方式。而拥有了团体就实现了社会化互动,并试图主动与社会产生联系(艾波,等,2018)。但这种联系性也有强弱之分,包括“强在场”和“弱在场”。

目前的在线学习仍然是一种“弱在场”环境,师生只通过视频流看到彼此,只调动了视觉和听觉的在场性,而缺乏其他观感、动作让参与者拥有更深入的临场感。与之比较,学习元宇宙所构建的是一种“强在场”环境,教师与学生不仅能够彼此看到,还可以借用自己的虚拟化身进行交互(如图1所示)。并且在高速网络和虚拟现实交互界面等支撑下,师生间的交互充分调动了其视觉、听觉、触觉、动觉等感官体验,呈现出更为真实的临场感。学习元宇宙的“强在场”性,为各种学习方式提供了较好的临场拟真环境,进而可以

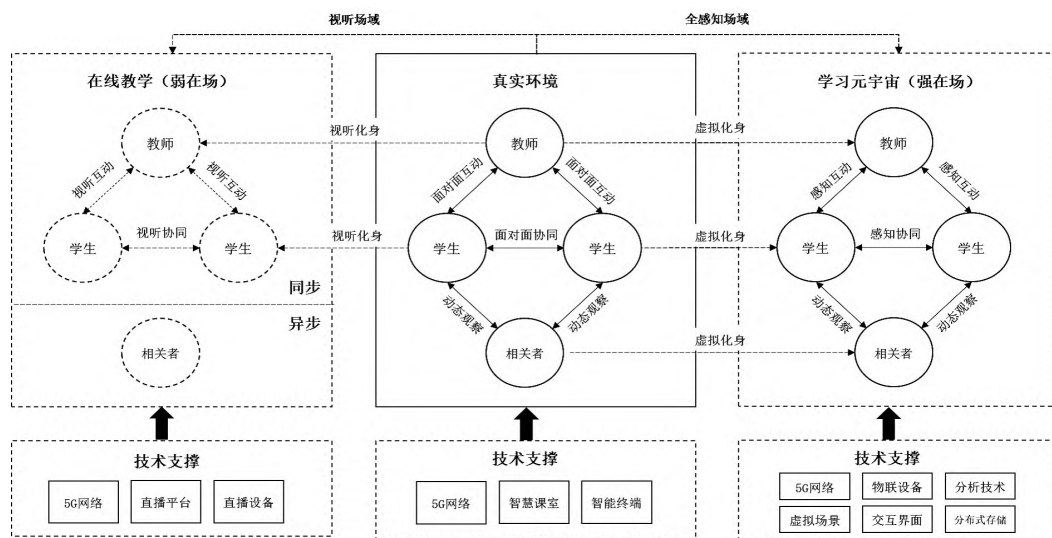


图1 “弱在场”与“强在场”之交互方式



促进学习者的深度学习与认知发展。

## (二)互动方式机理:“心流状态”

现有元宇宙中的活动,大多数是一种游戏化的互动方式。而游戏化学习如何从“游戏”性转变为“学习”性,其关键在于能否促使游戏方式从“娱乐”向“严肃”转变(Kim,et al.,2017)。心理学家米哈里·奇克森特米哈伊(Mihaly Csikszentmihalyi)于1975年首次提出心流概念(王舒,等,2021),他认为心流机制是由主体技能与活动挑战之间的动态平衡所产生,个体技能可以分为低技能水平和高技能水平,活动挑战也分为低挑战水平和高挑战水平(王卫,等,2017)。一些教育游戏虽然也能够促进学习者产生心流体验,进而促进认知,但较多的研究还只是存在于框架、模型研究的层面(傅雅宁,等,2021),需要进一步进行数据分析与效果验证。而学习元宇宙在验证游戏化学习机制与效果方面,具有独特优势。

心流就是一种沉浸式状态,“境身合一”也就是一种基于沉浸式设备所实现的心流状态表征。作为元宇宙实现沉浸感的重要技术,VR等具有仿真虚拟世界、制造多感官互动的特点,也是构建沉浸式虚拟环境重要支撑(Immersive Virtual Environment,IVE)(赵一鸣,等,2016)。有研究者通过VR技术构建了一个虚拟环境,学习者通过扮演一个细胞,体验其在人体内运作的过程,进而学习各种细胞的组成结构及其生理功能,提高了学生的心流体验效果(柳瑞雪,等,2019)。而学习元宇宙营造心流状态的关键,在于如何设计基于元宇宙的交互式学习法。有研究者根据沉浸式体验理论,提出沉浸式体验的场域机制,由技术支持交互内容与交互方式所生成,让学习者在不同的交互状态下产生不同层次的沉浸感(徐铷忆,等,2021)。根据上述研究及心流“挑战—技能”动态平衡原理,我们在设计学习元宇宙的活动时,需要呈现适应性的学习活动,即基于具体教育目标和学习对象,设计不同难度梯度的互动学习任务。

## (三)形态表征机理:“虚拟化身”

学习元宇宙的沉浸式环境,以技术集成的形态介入学习者感知,学习者在学习元宇宙中所获得的感知,已转化为“虚拟化身”的行为,虚拟化身与真实学习者通过各种学习活动,在学习元宇宙中达到“共存”。其实,以人的活动为核心的元宇宙,不仅塑造了技术形态,也塑造了巨量型的虚拟化身乃至其本身,使得以学习元宇宙作为“中介”的生命体形态,变得更加多元与智能。就如同人的大脑是一个复杂而动态的

系统,经过一定程度的训练,可以促进脑结构和脑功能的动态修复和重组一样(王亚鹏,等,2005)。人类在塑造或建构元宇宙环境的过程中,也在塑造自身对新环境的适应性。因此,在教育神经科学的视角下,研究者已开始利用认知神经工具开展对教育、学习活动中人的大脑研究。比如,应用心电(Electrocardiogram, ECG)、脑电(Electroencephalogram, EEG)、功能磁共振成像(Functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI)等技术。这些技术不仅构建了一种学习元宇宙对学习者的效果或作用的检测装置,如,可用以预测教学效果、追踪教学要素研究(成晓君,等,2021),以较为科学地验证学习元宇宙促进人认知发展的脑机制;而且认知神经本身就是一种虚拟化身的重要生理表征工具,可以通过技术手段研究其促进人的发展过程。

因此,教育神经科学研究的既有成果,已经可以应用于学习元宇宙的再塑造,如,物理环境的优化、学习体验的提升、创造力的培养等(贺琴,等,2021)。换言之,在学习元宇宙的环境中,人的进化与技术的进化正同步开展,共同构造一个兼具“实体真身”与“虚拟化身”的结合体。人的进化依赖于技术的赋能,随着元宇宙关键技术的不断融入,虚拟世界突破了时空限制,让学习者实现随时随地进行泛在学习,变革了学习方式;技术的进化又依赖于人的塑造,元宇宙世界的不断完善,使得各类技术基础更加具有人性和富有智能性;而智能算法与物联网设备的不断融入,使得元宇宙能够与现实世界发生更多维、更丰富的联系,提高了技术的迭代性。从这一角度审视,“虚拟化身”的完善不仅促进了技术的发展,也促进了人的“实体真身”发展,两者相互影响、相互促进。

## 三、学习元宇宙的架构设计

我们通过上述对学习元宇宙的机理研究发现,“虚拟化身”是当前学习元宇宙形态构建的主要目标之一,也是学习元宇宙发挥学习促进作用的关键机理。“共同在场”是为营造“虚拟化身”沉浸感的环境建构机理,“心流状态”是为解释“虚拟化身”学习性的学习方式机理。因此,学习元宇宙机理的实现,必须包括“环境”“方式”“认知”三方面的内容。但目前的元宇宙依然存在着诸多技术瓶颈,通过对其架构的不断完善和关键技术的融合,就能够利用元宇宙实现特定的教育内容或学习功能。有学者提出,构建元宇宙需要打造其基础设施架构,包括了物理层、软件层、数据层、规则层和应用层(刘子涵,2021)。本文基于广东第二

师范学院“智能教育重点实验室”的系列研究成果,提出了学习元宇宙的架构设计及其实施方案,它包括技术端、应用端、分析端,以及三端之下所包含的物理层、软件层、规则层、应用层、数据层、分析层这样一个三端六层架构(如图2所示)。

### (一)技术端:物理层、软件层、规则层

技术端是构建学习元宇宙的软硬件及其技术规则的架构性内容,包括物理层、软件层和规则层。

物理层即构建学习元宇宙的硬件设备等基础设施环境。它以5G环境下的沉浸式体验设备为主体,与其他设备相协同。沉浸式体验设备主要包括VR眼镜和支持VR眼镜运行的高性能计算机,其他设备包括实现沉浸过程的辅助设施,如,手柄、投影等,通过多设备互联,能够实时监测到其设备运行的相关数据。

软件层是在物理层基础上所构建学习元宇宙的软件环境,包含VR软件、元宇宙系统平台和其他分析评价软件等。元宇宙系统平台包括了元宇宙形态构建平台和元宇宙展示平台,形态构建平台用于构建具体的元宇宙互动环境,展示平台用于实现多设备互联的元宇宙应用过程。

规则层规定了学习元宇宙的运行秩序及其基础算法,它是将虚拟世界与现实世界进行联结的关键环节。规则层的核心支撑是区块链技术(Blockchain),使用密码学保证传输和访问安全,是应用数据一致存储、难以篡改的分布式技术。在学习元宇宙环境中,研究者主要设计学习徽章或学习积

分系统,通过具有编码的独立徽章或积分,激励学习者积极主动参与学习活动,徽章的应用既有慕课时代的价值迁移(黄予,2018);又有在区块链技术 & 游戏化机制的支撑下,学习者对其独特价值的认知与有效使用。

### (二)应用端:应用层及其交互式学习法

应用端描述了学习元宇宙的游戏化学习内容 & 任务细节,并且依托于VR+情境认知、具身学习、心流机制等相关理论基础,通过二种学习机制或方式,用以对学习元宇宙中开展学习活动进行设计。

应用层即组织学习者在学习元宇宙中开展具体学习活动的 & 内容。主要应用VR设备,将已有对VR认知机制的相关成果,融入到学习元宇宙环境中学习者情绪 & 认知发展的活动设计过程。

#### 1.学习元宇宙的动觉学习机制

VR调动感官学习的主要方式是一种动觉学习,研究团队已对VR动觉学习进行相关研究,提出了RM2A动觉学习机制(华子荀,2019)。该认知机制融入了认知心理学的相关理论,将基于VR的学习过程分为机械学习(Rote Learning) & 意义学习(Meaningful Learning)两种过程,其认知过程分为同化知识(Assimilation) & 顺应知识(Accommodation)。同时,将四种要素进行组合,形成了具有各自学习特点的动觉学习法,包括同化知识的机械学习(RA1)、顺应知识的机械学习(RA2)、同化知识的意义学习(MA1)、顺应知识的意义学习(MA2)(如图3所示)。

其中,同化知识的机械学习(RA1),描述了学习

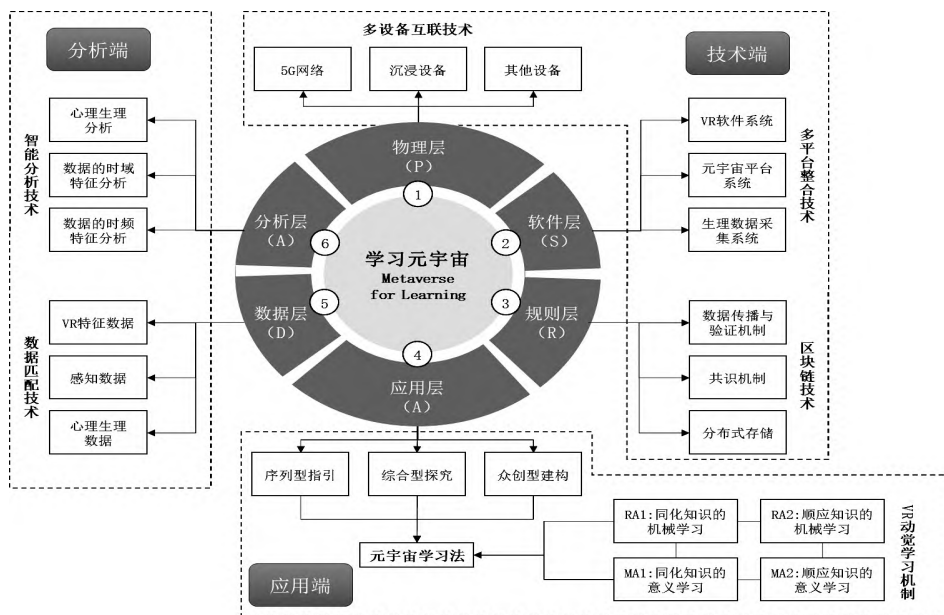


图2 学习元宇宙的三端六层架构

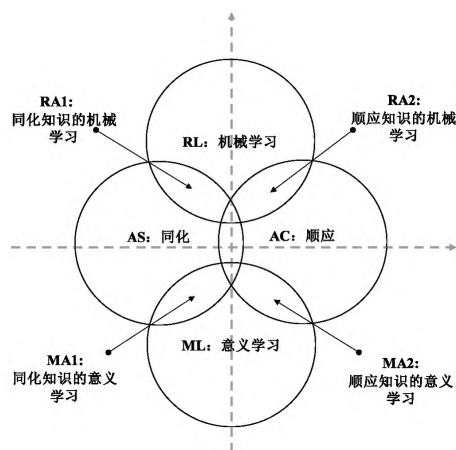


图3 基于VR的RM2A动觉学习机制

者接触VR技术之初的学习过程,学习者按照设备指引,熟悉其操作方法和VR环境,寻找与原有认知结构相符合的共同发展区;顺应知识的机械学习(RA2),描述了学习者在一定程度熟悉了VR操作环境后,对VR所体现的知识体系进行新知学习,以促进其认知结构的改变;同化知识的意义学习(MA1),则描述了学习者在完全掌握VR环境的状态下,将原有知识进行有效迁移的过程,实现对旧有认知深度理解的意义学习;顺应知识的意义学习(MA2),进一步描述了学习者在能够完全掌握VR环境的状态下,开展对新知识的有意义探究与学习活动。

RM2A动觉学习机制并非是相互独立的过程,而是通过学习者对技术的不断熟练依次展开,四种学习法没有前后顺序之分,也没有认知程度的高低之分,只是描述了学习者对“知识+技术”所掌握的不同程度。根据已有相关研究结论,机械学习并非没有意义,而是对新技术环境的熟悉与适应,意义学习也并非机械学习的高阶状态,而是学习者熟悉VR环境后的学习状态。因此,RM2A动觉学习机制为基于学习元宇宙的学习方法,提供了较好的借鉴,尤其是对学习元宇宙中的初学者所面临“知识”与“技术”之间的平衡问题,提供了一种理解框架。

## 2. 学习元宇宙的交互式学习法

根据学习元宇宙中的学习活动上述动觉学习机制,本文进一步提出了三类交互式学习法,即序列型指引、综合型探究和众创型建构,分别包含有四种VR动觉学习的习得、转化过程。

(1)序列型指引:它是指在教师的指导下,学生一步步按照指引进行操作,逐步熟悉环境特点并完成任务。该过程的学习目标是指导学习者熟悉学习元宇宙的环境及其功能,以便开展后续学习活动。根据

RM2A动觉学习机制,序列型指引所对应的是学习者开展机械学习的过程,通过对相应功能模块的机械学习,帮助其实现同化知识与顺应知识的有效互动。

(2)综合型探究:它是在半指导、半自由化活动框架下开展的探究式学习活动,教师为学习者提供任务清单,学习者在任务清单指引下自由探索、完成任务。根据RM2A动觉学习机制,综合型探究所对应的是由机械学习活动向意义学习活动发展的过程。学习者通过序列型指引,已经熟悉了学习元宇宙的环境,并能够开展一定程度的自由探索,这一阶段活动的目标是通过意义学习活动,实现对知识的顺应。

(3)众创型建构:它是由学生组成小组,按照教师的指引,在学习元宇宙中建构并操作对象,教师进行个性化指导。该过程完全赋予学习者以自主权,学习者通过小组协作等充分发挥其创意。根据RM2A动觉学习机制,该过程已把学习者的同化知识与顺应知识完全整合、运用起来,是有意义学习的过程。学习者可以通过协作建构,实现对知识的创新性应用。

通过上述三类交互式学习法的进阶,学习者能够在学习元宇宙环境中得到知识的逐步深化和理解,进而实现其相关能力的培养(如图4所示)。

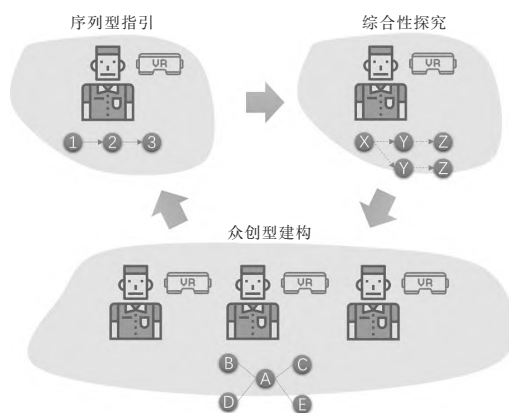


图4 学习元宇宙中的三类交互式学习

## (三)分析端:数据层、分析层

分析端的主要任务是对学习元宇宙中的数据进行分析、汇总和分析的过程。如前所述,学习元宇宙具有“共同在场”“心流状态”“虚拟化身”的学习机理,为验证其学习机理,分析端主要对学习者的学习体验过程数据进行收集、分析,提出与上述机理相关联的研究证据。

数据层是收集学习元宇宙硬件、软件的相关数据与技术环境,主要收集学习者在沉浸过程中的VR特征数据、感知数据等。主要包括:虚拟身份、交友属性、沉浸感、低时延、多样化、泛在性、经济性和虚拟



文明(赵国栋,等,2021)。基于上述对学习元宇宙的机理研究,本文提出了“共同在场”机理以低时延、多样化作为评价指标,“心流状态”机理以沉浸感、泛在性作为评价指标,“虚拟化身”机理以虚拟身份、交友属性、经济性、虚拟文明作为评价指标。

分析层主要对所采集的数据进行进一步的分析,以发现学习元宇宙环境的教与学效用。需要针对不同的教育场景和多模态数据进行统整,进而具备对教育教学多源且高度异构数据进行分析的能力,实现对教育过程与主体的全面画像(Daniele,et al.,2018)。即需要通过在数据层收集的各类数据,分别采用心理、生理数据的时域特征分析、时频特征分析,解析并发现学习元宇宙的环境表征及学习者虚拟化身的生理表征。按照多模态数据分析中对行为、情感的分析维度(王丽英,等,2020),本文将分析结果指向学生的学习效用、情感投入等指标。已有相关的研究表明,人类认知的发展依赖于情绪信息的积累(张奇勇,等,2013),而情绪又对高级认知具有反向抑制(张奇勇,等,2019)。因此,学习元宇宙中学习者的生理数据,可以通过心理生理学的视角来审视教育成效,并与学习元宇宙的“虚拟化身”生理表征相关联;同时,可用心电等生理信号作为解释行为参数,因生理信号在反映有机体状况方面更加客观、真实。

#### 四、学习元宇宙的应用与学习机理验证

前期的相关研究表明,基于元宇宙的学习活动能够促进学习者的学习效用和认知投入(华子荀,等,2021a);沉浸式设备作为人机交互工具、学习辅助工具,可赋能学习者的认知发展(华子荀,等,2021b)。本文在此基础上,将进一步探讨学习元宇宙中学习者“虚拟化身”与学习效果之间的关系。

##### (一)研究对象与研究方法

为验证学习元宇宙中“共同在场”“心流状态”“虚拟化身”的学习机理,探索学习元宇宙对参与者所产生的学习效用,依据上述学习元宇宙的三端六层架构,对此开展了验证性研究。研究以广东第二师范学院“智能教育重点实验室”为依托,通过Minecraft Studios和Roblox Studios两种学习元宇宙形态,验证其学习效用。特召集了3名同学组成研究组,收集了67名被试者的沉浸态数据;另外,收集其中5名被试者的心电数据进行深度分析,以此来分析学习元宇宙“虚拟化身”机理的生理表征。

本文采用比较研究法(Comparative Study Method),

该方法具有较好学科包容性,能够应用多种学科标准审视同一问题(Reza,2011),便于深度分析问题。应用过程采用学习元宇宙的学习效用指标和心理生理分析作为评价标准,以验证学习元宇宙中学习者的学习效用,着重探究学习元宇宙对学习者的虚拟化身的表征作用。

在数据分析方面,根据学习元宇宙机理的评价指标(见表1),本研究设计了七级里克特量表。在体验后向所有被试者发放调查问卷,对所有收集数据采用SPSS统计分析软件进行数据的特征值分析。

表1 学习元宇宙机理的评价指标与指标描述

一级指标	二级指标	指标描述
共同在场	低时延(LF)	元宇宙中物体交互流畅,人际交流自然、无时延
	多样化(VA)	提供多样化的物理交互特性,提供较真实的感官体验
心流状态	沉浸感(IM)	学习者能够自然沉浸于虚拟环境的体验中,沉浸感强
	泛在性(AN)	提供多种类型的设备运行环境,支持泛在学习
虚拟化身	虚拟身份(ID)	具有体现本体的虚拟化身表征
	交友属性(FR)	能够实现虚拟化身之间的人际交流与互动等
	经济性(EC)	拥有合理的物品交易、积分系统,并与真实环境相联系
	虚拟文明(CI)	通过人际学习协同,产生了具有共向性的社群学习文化

##### (二)研究过程

本文在学习元宇宙环境中设计了三种场景,分别对应用层中的三种交互式学习法,即序列型指引、综合型探究、众创型建构。首先,设计了具有虚拟指引和现场指导的“图书馆”学习场景,学习任务是找到图书馆的图书1室和顶层图书室,对应序列型指引;其次,设计另一个具有自由探索性的“校园”学习场景,被试者可自由探索校园,掌握基本校园布置,对应综合型探究;最后,设计“教室”场景,该场景是一片空地,学习任务是需要同被试者协同,构建一个可用于教学的教室学习空间,对应众创型建构。这三种场景通过学习元宇宙的相关物理设备,分别与Minecraft和Roblox的虚拟环境进行关联,以比较两者的学习体验效果(如图5所示)。

##### (三)学习元宇宙的机理验证

对问卷收集到的67名被试者的数据进行统计分析后,数据的 $\alpha$ 信度系数为0.92,信度较高。计算其得分的平均值和标准差,得到表2所示的数据。

按照学习元宇宙的机理指标进行比较,Roblox平台在“共同在场”“虚拟化身”指标上均略高于Minecraft平台( $5.10 \pm 1.26 > 5.03 \pm 1.17; 5.29 \pm 1.08 >$

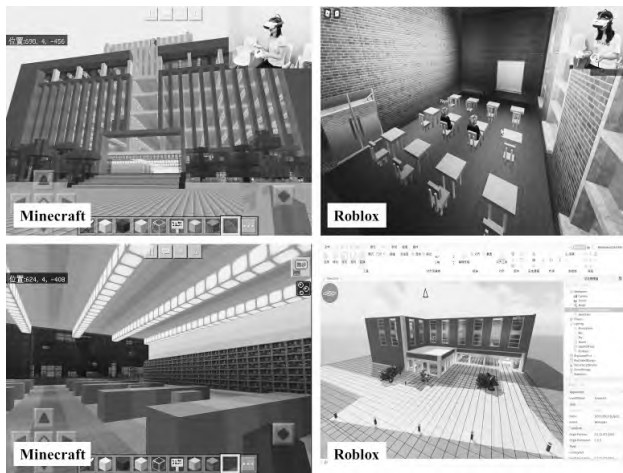


图5 两种学习元宇宙中的三种场景

5.15±0.93); 而“心流状态”指标上两者差距不大(5.29±1.29 < 5.34±1.08),但比其他两项指标得分值高,两者在总体均值上差异并不明显(Mean<sub>1</sub>=5.17, Mean<sub>2</sub>=5.24)。总体上看,两种学习元宇宙形态得分总体均高于5分,表明在两种学习元宇宙形态中,“共同在场”“心流状态”“虚拟化身”三个指标的学习机理,得到了被试者主观评价的验证,如图6所示。

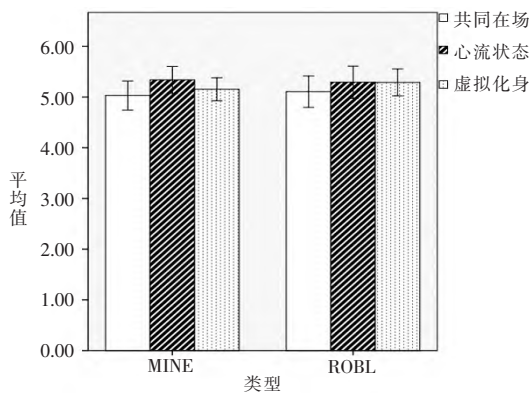


图6 两种学习元宇宙形态的指标得分对比

(1)在“共同在场”指标方面,Roblox平台在低时延、多样化指标,表现稍好于Minecraft平台。即 $LF_1(5.01) < LF_2(5.12)$ 、 $VA_1(5.04) < VA_2(5.09)$ ,表明Roblox在环境建构方面,获得了被试者较高的评价。

(2)在“心流状态”指标方面,Roblox平台在沉浸感和泛在性上却低于Minecraft平台。即 $IM_1(5.12) > IM_2(5.10)$ 、 $AN_1(5.55) > AN_2(5.48)$ ,表明Minecraft在营造沉浸感方面优于Roblox。这可能源于Minecraft运营的时间长于Roblox平台,故其接入设备类型更多,也支持了更为丰富的泛在化学习方式。

(3)在“虚拟化身”指标方面,虚拟身份、交友属性、虚拟文明指标,Roblox均明显优于Minecraft平

台,即 $ID_1(5.54) < ID_2(5.73)$ 、 $FR_1(4.98) < FR_2(5.18)$ 、 $CI_1(4.97) < CI_2(5.10)$ 。这可能源于Roblox的建模相较于前者更加平滑,使之拟真程度更高、交互性更好;而经济性两者并无差距( $EC_1=5.12, EC_2=5.13$ ),表明两者在营造虚拟化身方面,均取得了较好的成效。

总体上来说,两种学习元宇宙形态其差异较小,且在得分上均高于均值,表明其体验性较好;而Roblox稍高于Minecraft,表明其设计更能体现学习元宇宙的机理表征。

表2 两种学习元宇宙得分的统计分析结果

一级评价指标	二级评价指标	Minecraft (均值±标准差)	Roblox (均值±标准差)
共同在场	低时延(LF)	5.01±1.24	5.12±1.27
	多样化(VA)	5.04±1.30	5.09±1.36
心流状态	沉浸感(IM)	5.12±1.37	5.10±1.55
	泛在性(AN)	5.55±1.00	5.48±1.60
虚拟化身	虚拟身份(ID)	5.54±1.08	5.73±1.11
	交友属性(FR)	4.98±1.30	5.18±1.32
	经济性(EC)	5.12±1.24	5.13±1.29
	虚拟文明(CI)	4.97±1.34	5.10±1.37
总体平均值		5.17±0.91	5.24±1.12

#### (四)虚拟化身学习促进效果验证

“虚拟化身”是学习元宇宙的关键机理,也是验证元宇宙虚实融合性的重要表征。基此对沉浸于元宇宙的学习者进行心理生理分析,一方面可以检测学习元宇宙的学习效果,另一方面也可以进一步探究学习者虚拟化身学习促进效果。

心电(ECG)是当前心理生理分析的重要数据来源,一个典型的心电数据由五个基本波形组成,即P波、Q波、R波、S波、T波。专业的心电分析,主要对以上五个波形的时间间隔、峰值和波形数值比率进行分析(喻一梵,2018)。对心电波形进行深层分析,基于离散情绪模型(Ortony, et al., 1990)和维度情绪模型(Russell, 1980)的研究成果,可以为学习元宇宙中学习者的情绪分析提供重要依据,并以此作为学习者“虚拟化身”状态的重要生理表征。由于硬件的佩戴限制(例如,VR眼镜的佩戴会使被试者分散注意力),所以只采用单导联设备,其内部噪声为 $\leq 30\mu V_p-p$ 、测量范围为30bpm-240bpm、测量精度为 $\pm 2bpm$ 或 $\pm 2\%$ ,两者取最大值。该类设备与专业设备比较,依然能够采集到可供学习效果评价的心电数据。

##### 1. 虚拟化身的生理界定

元宇宙中学习者的虚拟化身是否在学习,可通过对现实学习者的心电检测界定虚拟化身的生理状



态,进而为学习者的“实体真身”与“虚拟化身”的联系提供一定的证据,并为未来学习者的数字分身、虚拟人的学习状态分析,提供研究视角。基于情绪投入的V-A模型,本文对学习元宇宙中学习者的唤醒(Arousal)和效价(Valence)维度进行分析。低唤醒水平一般表现为平静,高唤醒水平表现为效价状态的延伸,它又包含正向情绪和负向情绪。通过对被试者低唤醒状态(状态一)和高唤醒的正向情绪状态(状态二)的数据采集和比较,可作为验证被试者虚拟化身的重要生理表征。

对被试者情绪投入状态的数据进行统计分析,本文得到其八种波形(RR、R\_H、P\_H、QRS、PRQ、QT、QTC、ST)在最值、均值、标准差和方差上的变化,从而分析得到被试者在学习元宇宙沉浸状态下的心电波形特征(见表3)。该统计数据是对被试者在平静状态下,按每30秒进行一次采样,时间为10分钟内的波形值数据统计分析结果。需要说明的是,心电信号为不稳定性信号数据,被试者的各种情绪变化都有可能对数据产生影响。因此,在研究中选取了两种具有明显差异的状态进行比较分析,状态一为平静状态、状态二为正向情绪状态。

表3 两种状态下被试者心电波形特征值

状态类型	波形特征值	项目数	范围	最小值(M)	最大值(X)	平均值(E)	标准偏差	方差
状态一:低唤醒状态	RR_1	5	33	715	748	727.17	12.80	163.77
	R_H_1	5	.03	.09	.12	.11	.013	.000
	P_H_1	5	.05	.26	.31	.30	.021	.000
	QRS_1	5	66	73	139	103.67	27.72	768.67
	PRQ_1	5	73	66	139	104.33	24.74	611.87
	QT_1	5	206	344	550	411.67	71.50	5111.87
	QTC_1	5	.19	.68	.87	.75	.06	.00
	ST_1	5	232	119	351	228.50	84.26	7099.50
状态二:高唤醒状态-正向情绪	RR_2	5	60	675	735	705.17	28.79	828.97
	R_H_2	5	.06	.07	.13	.097	.024	.001
	P_H_2	5	.08	.24	.32	.280	.032	.001
	QRS_2	5	73	99	172	135.83	26.09	680.57
	PRQ_2	5	47	99	146	120.33	21.37	456.67
	QT_2	5	238	232	470	379.67	89.20	7956.67
	QTC_2	5	.25	.58	.83	.73	.09	.01
	ST_2	5	199	119	318	242.83	70.13	4918.17

通过对上述两组数据进行单样本t检验,与标准值进行比较,其显著性差异水平为 $p<0.05$ 。其中,R\_H、P\_H为峰值,单位为mV,其他数值是时间间隔,单位为ms。RR波为两次心脏跳动的时间间隔,状态二均值短于状态一,表明被试者进入唤醒状态,QTC的状态二短于状态一也说明这种情况;对于峰

值进行比较发现,高唤醒状态比低唤醒状态高出0.3的mV,代表状态二的被试者心房除极过程波动高于状态一,进一步说明情绪有明显波动;对于波形间隔的比较发现,状态二QRS、PRQ、ST波形特征值均值高于状态一,表明被试者人体心室去极开始到结束阶段的时间间隔长,情绪舒张、有愉悦倾向。

## 2. 虚拟化身学习促进效果的心电分析

根据上述心电波形特征的分析结果,虚拟化身学习促进效果以“高唤醒—正向情绪”作为表征。而被试者在学习元宇宙环境的体验过程中,也表现出较明显的“高唤醒—正向情绪”表征,具体可描述为:

当没有给被试者给予任何学习材料,也不让佩戴沉浸式设备时,检测其心电波形,发现并无明显波动,表现出了低唤醒状态。而让被试者佩戴沉浸式设备,并开展一定时间的操作(如30分钟),其心电波形与低唤醒状态差异较大,且符合上述研究状态二的生理界定,表现出了较明显的“高唤醒—正向情绪”表征(如图7所示)。

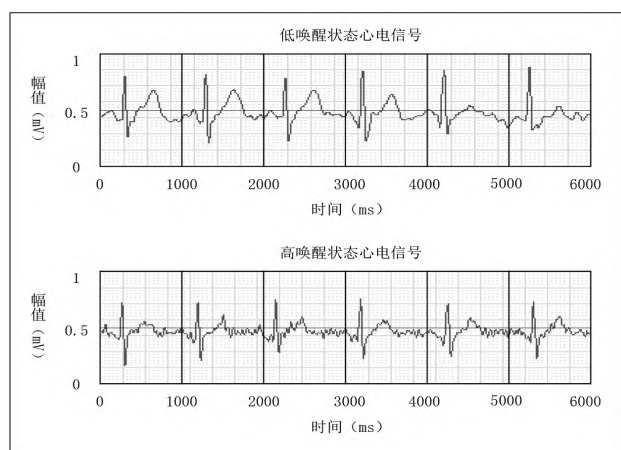


图7 高低唤醒状态的心电样本

## 五、研究结论与未来展望

### (一) 研究结论

首先,学习元宇宙对学习者的赋能,表现在“学习环境”“学习方式”与“学习效果”三方面,基于现有的理论探究,本文提出了“共同在场”“心流状态”“虚拟化身”是学习元宇宙三大特征的机理表现。

其次,针对学习元宇宙的机理,提出了学习元宇宙的三端六层技术架构,以技术端对应“环境”,以应用端对应“方式”,以分析端对应“效果”;并从物理层、软件层、数据层、规则层、应用层、分析层,提出了构建适用于学习元宇宙的架构设计。

最后,针对学习元宇宙中学习者的虚拟化身与学习效果之间的关系,进行了初步验证。基于学习元

宇宙的特征与机理,提出了学习元宇宙机理的评价指标,对67名被试者进行验证性实验。对数据进行分析后发现两种形态在学习元宇宙都具有较好的表现,并且Roblox的形态较之Minecraft的形态效果稍好。特别是针对“虚拟化身”与学习效果之间的关键问题开展了验证。通过心电检测设备的应用,检测参与实验的被试者心电数据。通过分析发现其虚拟化身的生理界定,可以反映虚拟化身的学习促进效果。

## (二)未来研究拓展

本文的创新价值在于提出与阐述了学习元宇宙的内涵、特征、机理与架构,并就学习化身与学习效果之间关系进行了探究,尤其对学习者的虚拟化身的生理界定及其促进学习效果的生理表征等,通过心电数据进行了分析与探讨。研究所揭示的学习元宇宙环境中学习者虚拟化身的生理表征参数,可为今后相关研究提供参照。但限于研究条件,这些探讨与验证仅仅是初步的、粗线条的。未来对学习元宇宙的研究,还需要从以下三个方面进行拓展:

### 1.技术层面的体素细化与建模

元宇宙形态的出现,并不是对以往学习空间、学习媒体、学习资源的替代,而是进一步整合了多种技术与媒介所呈现的新形态。在未来学习元宇宙的研究中,应进一步丰富其体素化表现场景,即以实物的体素建模;把以往所建构的虚拟模型,要进一步整合内置于元宇宙的环境中,以发挥其更大的学习功用。

### 2.应用层面的学段与学科融合性

当前元宇宙的形态还未完全定型,其在基础教育或学习应用中的案例极少。随着未来学习元宇宙的应用场景的丰富,将依托于具体的学段与学科特征,进行更加细致的学习方法设计。这也有利于充分挖掘元宇宙中的学习性机理,并应用在具体的学习活动中。

### 3.分析层面的无感化采集与分析

未来学习者在虚拟环境中的数字分身,或以具有半智能化的“虚拟人”或以“孪生学习者”形式呈现。无论是对学习元宇宙中“虚拟化身”的机理探究;还是“孪生学习者”、数字分身的研究,都应得到重视。未来学习元宇宙的实施与评价,必然也要涉及更加多维的心理生理分析技术与检测设备。但目前专业医疗领域的检测设备很难脱离其设备应用环境,所以,实现学习元宇宙沉浸过程的无感化分析,将成为未来学习元宇宙评价乃至学习评价的重要趋势。

总之,随着数智融合驱动的加快,算法、数据、模型的不断进步,在5G走向6G的过程中,XR+数字

孪生、区块链以及全息影像、3D游戏引擎等新技术会持续融入、催熟、活化元宇宙,使之更加具有丰富性、沉浸性、社交性、社会性或文明性。教与学在元宇宙中的活动份额、方式、内容、资源也会日益强化与丰富。其实从“第二人生”到元宇宙的演进或迭代,也喻示着元宇宙的出现与成熟,已开启了一个新时代。未来人从现实世界向虚拟世界的“移民”是大势所趋。未来几年,我们所有人都将拥有一个“数字化身”或“学习孪生体”,我们的教与学也会从现实世界逐步向虚拟世界不断“迁移”与“融合”。因此,作为未来学习方式的一种形态——学习元宇宙,必然会显现其独特价值、活力与功能。这种学习方式既有别于现实空间中的泛在式学习,也不同于一般意义上的游戏化学习,对其内在机理、学习规律、活动设计、评价方式等,还有待于学界持续关注与深入探索。希望本文的探讨,能够为将来的“学习+元宇宙”方面的相关研究,提供一定的借鉴或思路。

## [参考文献]

- 艾波,王涛,彭梦,2018.沙盘游戏对团体心理咨询教学的影响探析——评《沙盘游戏:理论与实践》[J].中国教育学刊,(5):124.
- 褚乐阳,陈卫东,谭悦,郑思思,2019.重塑体验:扩展现实(XR)技术及其教育应用展望——兼论“教育与新技术融合”的走向[J].远程教育杂志,(1):17-31.
- 成晓君,刘美焕,潘亚峰,李红,2021.教与学的大脑:人际神经科学助推教育研究[J].心理科学进展,(11):1993-2001.
- 傅雅宁,福巍,姚冀涛,2021.基于心流理论的散元式游戏化教学设计研究——以飞行原理课程为例[J].现代职业教育,(3):82-83.
- 贺琴,周加仙,2021.教育神经科学视角下发展心理学的教学设计[J].教育生物学杂志,(3):239-243.
- 华子荀,2019.虚拟现实技术支持的学习者动觉学习机制研究[J].中国电化教育,(12):16-23.
- 华子荀,欧阳琪,郑凯方,蔡锦贤,2021a.虚拟现实技术教学效用模型建构与实效验证[J].现代远程教育研究,(2):43-52.
- 华子荀,黄慕雄,2021b.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,(6):23-31.
- 黄予,2018.教育数字徽章:数字化时代的新学习认证[J].电化教育研究,(11):52-60.
- 刘革平,王星,高楠,胡翰林,2021.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,(6):12-22.
- 柳瑞雪,任友群,2019.沉浸式虚拟环境中的心流体验与移情效果研究[J].电化教育研究,(4):99-105.
- 刘子涵,2021.元宇宙:人类数字化生存的高级形态[J].新阅读,(9):78-79.
- 王丽英,何云帆,田俊华,2020.在线学习行为多模态数据融合模型构建及实证[J].中国远程教育,(6):22-30+51+76.
- 王舒,殷悦,王婷,罗俊龙,2021.学习情境下的心流体验[J].教育生物学杂志,(1):59-64.
- 王卫,史锐涵,李晓娜,2017.基于心流体验的在线学习持续意愿影响因素研究[J].中国远程教育,(5):17-23+79.
- 王亚鹏,董奇,2005.脑的可塑性研究及其对教育的启示[J].教育研究,



(10):35-38.

徐铨忆,陈卫东,郑思思,等,2021. 境身合一:沉浸式体验的内涵建构、实现机制与教育应用——兼论 AI+沉浸式学习的新场域[J]. 远程教育杂志, (1):28-40.

喻国明,2021. 未来媒介的进化逻辑:“人的连接”的迭代、重组与升维——从“场景时代”到“元宇宙”再到“心世界”的未来[J]. 新闻界, (10):54-60.

喻一梵,2018. 基于心电和脉搏信号的情绪识别研究[D]. 山西大学.

张奇勇,卢家楣,2013. 情绪感染的概念与发生机制[J]. 心理科学进展, (9):1596-1604.

张奇勇,陆佳希,卢家楣,2019. 高级认知对情绪感染的反向抑制:以教学活动为例[J]. 心理与行为研究, (1):75-82.

张艳丽,袁磊,王以宁,张海,谭姣连,2020. 数字孪生与全息技术融合下的未来学习:新内涵,新图景与新场域[J]. 远程教育杂志, (5):35-43.

赵国栋,易欢欢,徐远重,2021. 元宇宙[M]. 北京:中译出版社:26-28.

赵一鸣,郝建江,王海燕,2016. 虚拟现实技术教育应用研究演进的可视化分析[J]. 电化教育研究, (12):26-33.

BAINBRIDGE S,2010. Online Worlds:Convergence of the Real and the Virtual[M]. London:Springer-Verlag:111-122.

BARRY C,2021. The Metaverse:How To Build A Massive Virtual World [DB/OL]. Forbes Press,[2021-09-25]. <https://www.forbes.com/sites/barrycollins/2021/09/25/the-metaverse-how-to-build-a-massive-virtual-world/?sh=1bd29d4c6d1c>.

CATHY H,2021. Defining The Metaverse Today [DB/OL].[2021-05-02] <https://www.forbes.com/sites/cathyhackl/2021/05/02/defining-the-metaverse-today/?sh=30d7c46f6448>.

DANIELE M,et al.,2018. From Signals to Knowledge:A Conceptual Model for Multimodal Learning Analytics[J]. Journal of Computer Assisted Learning, (34):338-349.

FERDINAND R,et al.,2019. NFTs in Practice:Non-Fungible Tokens as Core Component of a Blockchain-based Event Ticketing Application [C]. 40th International Conference on Information Systems:1-17.

HOFFMAN S,2014. Beyond the Flipped Classroom:Redesigning A Research Methods Course For E3 Instruction[J]. Contemporary Issues in Education Research, (1):51-62.

KIM S,et al.,2017. Gamification in Learning and Education:Enjoy Learning Like Gaming[M]. Berlin:Springer:26.

ORTONY A,et al.,1990. What's basic about basic emotions?[J]. Psychological Review, (3):315-331.

REZA A,2011. Potentials and Limitations of Comparative Methods in Social Science[J]. International Journal of Humanities and Social Science, (1):113-125.

RUSSELL A,1980. A circumplex model of affect[J]. Journal of personality and social psychology, (6):1161-1178.

VLADIMIR A,et al.,2019. Image-to-Voxel Model Translation with Conditional Adversarial Networks [C]. Computer Vision ECCV 2018 Workshops:601-618. <http://link.springer.com/conference/eccv>.

#### [作者简介]

华子荀,博士后,广东第二师范学院教师教育学院讲师,主要研究方向:智能教育素养、互动媒体教学、VR教学;付道明,博士后,广东第二师范学院教师教育学院院长、教授、硕士生导师,研究方向:教师教育、信息化教育、学习科学与技术领域研究,系本文通讯作者。

## Research on The Connotation, Mechanism, Architecture and Application of Metaverse for Learning: Verification of Learning Promotion Effect of Virtual Avatar

Hua Zixun, Fu Daoming<sup>[Corresponding Author]</sup>

(School of Teacher Education, Guangdong University of Education, Guangzhou Guangdong 510303)

**[Abstract]** In the era of the interconnection of all things, learning must be a multi-dimensional, embodied, and intelligent process. The interactive environment of perception will promote the development of learners' high-order thinking. Metaverse for Learning (MFL) is a multi-technology integrated immersive learning environment for learners based on the concept of the integration of virtual and real metaverse. The MFL should focus on the learning subject and pay attention to the design of immersion environment, interactive learning methods, and learning effect evaluation under the support of metaverse. Through the MFL mechanism of "common presence", "flow immersion", and "virtual avatar", this paper further explains the enabling effect of MFL to learners. According to its mechanism content, this paper puts forward a three-end and six-layer architecture of MFL. The three ends refer to the technical part, the application part and the analysis part. In order to further verify the learning effect of MFL, the application research designed application scenario cases based on Minecraft and Roblox, collected and analyzed data after 67 subjects experienced three kinds of virtual scenes of MFL. The performance of these two environments on the three mechanism indexes is obtained. The research results show that the learning effects of the two MFL forms are better. At the same time, psychophysiological analysis technology is introduced in the verification part. Test of ECG data of learners in the process of practice, and analyze to find the "virtual avatar" of MFL physiological definition and its physiological evidence representing the learning promotion effect. The results show that the learning effects of the two MFL forms are better than general learning environment. This provides a certain theoretical basis and application reference value for the designing and teaching of virtual avatar and virtual human learning state analysis in the future virtual learning scene.

**[Keywords]** Metaverse for Learning; Mechanism of Learning; Immersive Experience; Virtual Avatar; Electrocardiogram Analysis

收稿日期:2021年11月26日

责任编辑:陶侃