

虚拟现实教育 应用白皮书

理论、技术与实践

互联网教育智能技术及应用国家工程研究中心
华为技术有限公司 ICT新机会孵化部
2023年09月





CONTENTS

引言·····1

01

第1章 虚拟现实教育应用概要·····2

1.1 虚拟现实教育应用的政策与趋势·····3

1.2 虚拟现实教育应用的显著优势·····4

1.3 虚拟现实教育应用的实践问题·····5

02

第2章 虚拟现实教育应用理论模型与场景·····8

2.1 虚拟现实支持的课堂探究学习场景·····9

2.2 虚拟现实支持的课外自主学习场景·····10

2.3 虚拟现实支持的高校实践教学场景·····12

2.4 虚拟现实支持的职业技能实训场景·····15

2.5 虚拟现实支持的教学技能培养场景·····17

03

第3章 虚拟现实教育应用技术体系 ·····	20
3.1 虚拟现实教育应用关键技术·····	21
3.1.1 近眼显示技术·····	21
3.1.2 内容制作技术·····	22
3.1.3 感知交互技术·····	23
3.1.4 渲染计算技术·····	23
3.1.5 网络传输技术·····	24
3.2 不同学习场景中的技术需求剖析·····	25
3.2.1 演示型课堂讲授教学场景·····	25
3.2.2 协作式小组研讨学习场景·····	26
3.2.3 互动式个人自主学习场景·····	26
3.2.4 实训类职业技能学习场景·····	27

04

第4章 虚拟现实赋能教学模式创新 ·····	28
4.1 VR支持的沉浸式翻转课堂教学模式·····	29
4.2 Cloud VR支持的虚实融合职业技能实训模式·····	30
4.3 VR支持的教-学-评一体化实践教学模式·····	33
4.4 云边端技术架构下的教学模式创新·····	34

05

第5章 虚拟现实教育应用建议与展望 ·····	36
5.1 应用建议·····	37
5.2 未来展望·····	38

06

参考文献 ·····	40
附录 ·····	44

引言

全球性公共卫生危机带来的不确定性、世界经济形势的复杂多变使各国的教育与社会发展面临前所未有的挑战。联合国儿童基金会发布《构建后疫情时代韧性教育系统：国家、地方和学校各级教育决策者的应有思考》，指出要创建安全与韧性的教育生态环境，强调通过消除数字鸿沟，以有效抵御外部冲击和改善内部结构。在数字化生存的大背景下，教育系统的韧性需要在技术的支撑下得以生长和发展。新冠疫情持续期间，我国各级各类学校充分利用信息技术开展“停课不停学”，彰显了技术赋能在增强教育系统韧性方面的潜能。当前，全国各级各类学校共有53.7万余所，网络多媒体教室超过580万间，约占全国教室数量的68%。中小学(含教学点)互联网接入率达到100%，99.5%的中小学拥有多媒体教室。过去20余年的信息化建设为教育系统通过数字化转型增强自身韧性，为应对充满不确定性的未来提供了可能。同时，以虚拟现实（VR）、人工智能（AI）为代表的新一代信息技术为加快推进教育数字化转型和智能升级提供了重要支撑。

随着VR产业的不断成熟，世界各国纷纷对VR等新兴技术在教育领域的应用进行战略布局。近两年，工信部、教育部等五部委发布《虚拟现实与行业应用融合发展行动计划（2022—2026年）》和《元宇宙产业创新发展三年行动计划（2023-2025年）》，明确指出要深化虚拟现实在教育培训行业的深度融合，推进构建虚拟教室、虚拟实验室等教育教学环境，鼓励通过平台共享虚拟仿真实验实训资源，扩大优质教育资源覆盖面。当前，VR技术在我国教育系统的应用已经全面渗入基础教育、高等教育和职业教育领域，形成VR支持的集体课堂学习、小组研讨学习、自主探究学习、职业技能学习和教师素养培训等典型应用场景。同时，由建设虚拟仿真实验基地和平台、智慧校园、智慧教室等基础设施升级为打造沉浸式课堂等创新教学模式，形成了VR支持的沉浸式翻转课堂教学模式、Cloud VR支持的虚实融合职业技能实训模式，以及VR支持的教-学-评一体化实践教学模式。

VR在教育领域的常态化规模化应用仍面临重重阻力，需要政府、学校、企业、家庭、研究机构等多方协同参与，共同打造引领教育高质量发展的VR教育应用生态体系。技术架构创新是VR教育教学常态化应用的必然趋势。云控网联技术架构将简化时空限制，有望推动虚拟实验教学 and 虚拟仿真实训从小规模试点走向大规模常态化应用。通过云渲染使算力云化，降低建设成本；通过统筹算力资源，共享基础设施；通过算网协同，保障大宽带、低时延的网络传输；通过算显分离，在终端层面改善学生学习体验；通过云-边-管-端分层协同，将VR教学带入每一间教室。

01

虚拟现实教育应用 概要

虚拟现实技术 (Virtual Reality, VR) 被认为是21 世纪影响人们生活的重要技术之一。2022年11月发布的《虚拟现实与行业应用融合发展行动计划 (2022—2026年) 》中明确指出, 要深化虚拟现实在教育培训行业的深度融合, 在中小学校、高等教育、职业学校建设一批虚拟现实课堂、教研室、实验室与虚拟仿真实训基地。面向实验性与联想性教学内容, 开发一批基于教学大纲的虚拟现实数字课程, 强化学员与各类虚拟物品、复杂现象与抽象概念的互动实操, 推动教学模式向自身体验升级, 打造支持自主探究、协作学习的沉浸式新课堂。为响应《教育部2022年工作要点》提出的“实施教育数字化战略行动, 加快推进教育数字化转型和智能升级”。作为国内首个教育数字化转型试点区, 上海市发布了《上海市教育数字化转型实施方案 (2021—2023) 》, 并明确表示要在基础教育、职业教育、高等教育探索基于VR的沉浸式、体验式教学, 推动上海市教育数字化转型。综上可见, VR在教育领域的深度融合应用能为教育数字化转型和智能升级奠定坚实基础。

1.1 虚拟现实教育应用的政策与趋势

随着VR产业的不断成熟，VR技术支持的沉浸式学习已成智能时代教育领域的趋势。世界各国纷纷对VR/AR/MR等新兴技术在教育领域的应用进行战略布局，各国相关政策所涉及的内容涵盖基础设施建设、集成化平台构建、教育教学模式革新等方面。

国际政策方面，**美国教育部推行国家科技教育计划NETP，并陆续发布相关文件，确立VR技术在教育领域应用的目的旨在解决教育公平问题。**《Transforming American Education: Learning Powered by Technology. National Education Technology Plan (2010)》中建议：通过促进政府公共部门与私营企业的合作来整合VR技术的系统性评估资源；通过促进各州与私营组织和公共部门之间的合作来设计、开发、验证和扩大基于新技术的评估资源；提倡在新的评估资源中使用嵌入式评估技术。

《Future Ready Learning: Reimagining the Role of Technology in Education. National Education Technology Plan (2016)》中重点强调了VR有利于促进教育公平、学生的人格塑造、增强学生对知识的理解的潜能。

《Reimagining the Role of Technology in Higher Education (2017)》中给出了要利用VR技术提供高保真场景、促进高等教育教学科研创新的建议。

2021年，美国著名科技创新基金会ITIF发布《The Promise of Immersive Learning: Augmented and Virtual Reality's Potential in Education》，开篇直指“AR/VR解决方案可以增强课堂体验并扩大各类学习的机会。政府应对沉浸式技术研究、技能培养、技术内容开发以及技术公平运用等方面投入更多资金，来促进国家的进一步创新与发展”。此外，美国国家科学基金会NSF资助了研究VR技术等新兴技术在K-12课堂、高等教育课堂、高校虚拟学习实验室研发中心等教育领域应用的众多科研项目。

在韩国，政府发布的相关政策主要聚焦于建构产学研合作体系，以期使用VR/AR技术推进职业教育与产业融合发展。《2017年政府工作报告》提出要开发引入VR和增强现实（AR）的沉浸式数字教科书，并从小学开始扩展无线网络平板电脑等基础设施。《职业教育振兴计划2018》提出要推进中小学创业体验教育，支持在虚拟空间体验创业过程。《实现创新增长的5G+战略2019》指出要发挥VR、AR、MR等技术的互动和智能化特点提供高度现实感和体验的内容。《科学、数学、信息、融合教育综合计划（'20-'24）》文件指出，将人工智能（AI）和VR/AR等前沿教育技术真正引入教育领域。到2024年，所有学校将建成应用尖端技术的“智能科学实验室”。《产业教育与产学研合作基本计划（'19~'23）（2020年修订）》中提到，加强AI等未来领域的中小学职业教育，引入使用AR/VR的非面对面实地培训。

英国同样关注VR/AR技术在职业教育中的前景，提倡使用相关技术为学生提供学习体验和技能培训。英国于2019年发布的《Realizing the potential of technology in education》通过阐明格林姆斯比学院（Grimsby Institute）中的继续教育学院和高等教育学院是如何使用VR和AR的实例，为其他学校和教育部门在为学生的职业生涯做更好的准备这一方面提供指导。此外，经济合作与发展组织（OECD）发布的文件《Education at a Glance 2020: OECD indicators》中提出受COVID-19影响，需特定设备进行学习和实践演练的职业教育正在经历史无前例的危机，OECD国家已经采取诸多措施，包括增加使用更适合职业教育与培训的在线和虚拟平台。

在我国，随着教育信息化被提升至国家战略层面，VR技术在教育中的应用逐渐由职业教育拓展到高等教育和基础教育领域，由建设虚拟仿真实验基地和平台逐渐拓展到结合5G技术建设智慧校园、智慧教室，打造沉浸式课堂。《教育部等六部门关于推进教育新型基础设施建设构建高质量教育支撑体系的指导意见》中将“智慧校园新型基础设施”作为教育新型基础设施体系建设的重要方向之一，其中包括完善智慧教学设施、建设智慧科研设施、部署智慧公共设施三个主要措施；建设科研协同平台，提供虚拟集成实验环境、科研实验数据共享等服务，支撑跨学科、跨学校、跨地域的协同创新。

《5G应用“扬帆”行动计划（2021-2023年）》中提出要建设5G+智慧教育，加快5G教学终端设备及AR/VR教学数字内容的研发，加大5G在智慧课堂、全息教学、校园安防、教育管理、学生综合评价等场景的推广，提升教学、管理、科研、服务等各环节的信息化能力。《虚拟现实与行业应用融合发展行动计划（2022—2026年）》进一步提出在中小学校、高等教育、职业教育建设一批虚拟现实课堂、教研室、实验室与虚拟仿真实训基地，打造支持自主探究、协作学习的沉浸式新课堂，推进“虚拟仿真实验2.0”建设。

综上，各国在政策部署上对VR教育应用各有侧重。美国NETP中有关VR技术在教育领域应用的目的旨在解决教育公平问题。韩国发布的相关政策主要聚焦于建构产学研合作体系，以期使用VR/AR技术推进职业教育与产业融合发展。英国同样关注VR/AR技术在职业教育中的前景，提倡使用相关技术为学生提供学习体验和技能培训。在我国，VR技术在教育中的应用已经全面渗入职业教育、高等教育和基础教育领域，已由建设虚拟仿真实验基地和平台、建设智慧校园、智慧教室等基础设施升级为打造沉浸式课堂等教育教学模式革新，全面助力教育数字化转型和智能升级。

1.2 虚拟现实教育应用的显著优势

VR因其沉浸性和交互性特征，可用于创设多样化的拟真学习环境，尤其是模拟现实世界中难以接

触、无法复现的场景和事物，在教育领域的应用已彰显出显著优势。一项针对高等教育和K-12教育领域VR技术应用的系统性文献综述研究^[1]发现：VR在帮助学生完成空间知识表征要求比较高的任务，以及胜任现实世界中不切实际或不可能完成的体验式学习任务方面优势显著；VR能够通过给学生提供参与学习任务的机会，激发学生的内在动机和学习兴趣；能够通过情景化学习促进学生对科学知识的理解和技能迁移。《VR/AR教育教学应用调研报告》^[2]（以下简称调研报告）显示，VR能促进观察性学习、操作性学习和社会性学习活动的开展，在基础教育、高等教育、职业教育、非正式学习等不同的教育场景中均具有优势。总体来说，VR教育应用具有如下三方面的显著优势。

首先，**VR的可视化三维呈现方式支持学习者多视角观察，有助于增强学习内容的吸引力、激发学习者的兴趣和学习动机，优化学习体验。**在基础教育中，360°全景视频、沉浸式VR内容等在教学中的应用能显著提高学习者注意力、激发学习兴趣和动机，改善学习体验^[3]。在高等教育和职业教育中，教育内容和教育方式更加多样化，学习者能在VR虚拟场景中通过观察来辅助进行概念学习和技能锻炼^[4]。在非正式学习中，集成各公共文化服务机构的资源创建VR展览，能够实现“足不出户”却又“触手可及”的线上参观体验，提升学习和体验质量。

其次，**VR的沉浸性和交互性特征能够提供身临其境的学习体验，有助于促进学习者对知识技能的习得与迁移**^[5]。在基础教育中，沉浸式VR支持学习者与虚拟环境交互，继而促进学习者对事实性知识的保留，对概念和程序性知识的深入理解和掌握^[6]。在高等教育和职业教育中，各类沉浸式VR实验和实训系统为学习者提供了更形象、更具启发性的学习环境，能提升学习者的临场感、享乐感、自我效能感，还能促进知识习得和技能训练^[7]。在非正式学习中，VR人机交互应用多通过游戏的方式呈现，“旧藏品”与“新技术”的融合有助于扩展学习者的感知体验，增强非正式学习效果。

最后，**可实现远程连接与互动的VR社交应用有助于减少虚拟环境中的孤独感体验，增强交流意愿、培养协作意识，促进社会情感技能的培养**^[8]。在基础教育、高等教育和职业教育中，VR社交应用可以帮助搭建“远程课堂”，通过加强虚拟环境中的社会交互性，促进学生之间、师生之间的交流，实现互动式情景教学和实训^[9]。在非正式学习中，多人协作互动式VR游戏可以提高科普教育的趣味性、有效性，虚拟社交互动平台还能够帮助减少社交障碍人群心理上的孤独感^[10]。

1.3 虚拟现实教育应用的实践问题

目前，国内外科技企业如微软、Meta等均在积极布局VR教育，zSpace提供的3D仿真软硬件系统和教学内容在美国也大受欢迎。国内新兴的创业公司、VR的硬件公司以及传统的教育公司和内容研发公

司也纷纷参与VR教育。但VR教育的应用目前仍处于发展初期，还有诸多问题亟待解决。

(1) VR教育教学常态化应用阻力重重

阻力一是政策环境方面尚不具备条件。调研报告显示，校长等领导层面均表示大规模的资金投入是VR教育应用决策时首先考虑的问题。而当前中小学对VR硬件设备采购的专项资金支持不足，导致常态化教学中VR硬件设备数量不足。基础教育使用VR设备开展学习时，生机比远超1:1，甚至高达6:1。此外，学校的教学考核中缺乏相应的政策支持。访谈教师均表示虚拟实验教学需要花费额外的时间和精力来组织课堂，但由此带来的工作量并未纳入学校日常考核范围。

阻力二是配套的教学和资源管理软件不足。一方面，配套的教学管理软件的操作形式限制了其在教学中的应用场景，无法满足灵活组织教学活动的需要。调研报告显示，教师对学生学习情况的监管和评价是VR教学常态化开展中面临的一大挑战。另一方面，对内容资源统一管理的配套软件不足，无法很好地实现资源存储、分发、更新与共享。在职业教育领域，仍然缺少对内容资源统一管理的配套软件，无法与实训教学很好地匹配。

阻力三是符合教学需求的优质内容资源短缺。调研报告显示，当前的VR内容多集中在理化生的实验教学，无法满足其它学科的教学需求。同时，VR教学内容本身的适切性、灵活性和共享性不足，无法满足不同场景的教学需求。部分校长在访谈中表示VR内容资源是否能够满足实际的教学需求，是否允许教师能够根据自身需求灵活修改和个性化设计是VR教育应用决策时重点考虑的部分。

阻力四是基础教育常态化应用受客观条件限制。对小学生而言，用眼健康问题是开展常态化应用时教师和校长的顾虑之处。VR设备常态化应用是否会影响小学生的视力健康，以及VR体验中出现的眩晕等身体不适感是否会影响小学生的身体健康，这些问题尚未得到科学论证。对中学生而言，学习时间紧，学业任务繁重，学生的时间投入成本和学习效果是开展常态化应用时面临的主要挑战。

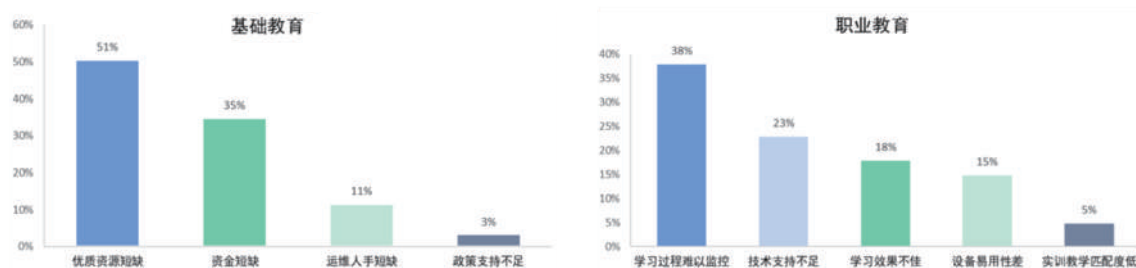


图1-1 VR教学常态化应用面临挑战

(2) VR教学深入应用受制于教师信息化教学能力

教师信息化教学能力是推动VR教学走向深度融合和创新应用的关键。然而，调研报告显示，半数以上的教师表示在利用VR开展教学时自身的信息化教学能力不足。一是缺乏各种操作技能专题培训，指导教师熟练操作和使用各种VR设备和软件工具资源。二是缺乏系统化的、持续的理论和实践培训，指导教师将VR资源有效地整合到日常教学实践。

(3) VR教学规模化应用尚缺乏成熟的实践模式

当前，VR教育应用仍然处于以学校为单位的试点探索或教师个人层面的摸索，尚未在区域层面形成成熟的实践模式。调研报告显示，近50%的中小学教师认为VR在基础教育的应用处于以学校为单位的试点阶段，28%认为仍然处于教师个人摸索阶段；近60%的职校教师认为目前所在学校中VR在教学上的应用仍处于以学校为单位的试点阶段，33%认为尚处于教师个人初步探索阶段。

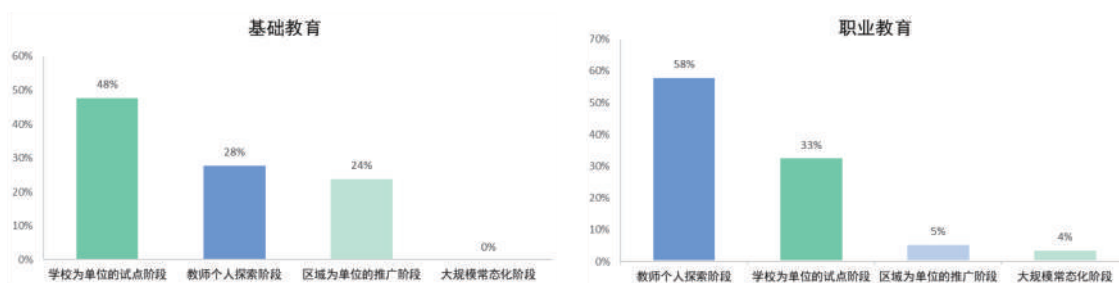


图1-2 VR教学规模化应用现状

总体而言，VR在赋能教育的实践过程中存在内生动力不足和外部支撑薄弱的问题。VR本身的技术体系尚不够成熟，表现在VR硬件系统的易用性和可用性尚不能满足在教育领域常态化应用的需求，配套的软件资源和内容资源也不完全符合教育教学的需求。就外部支撑而言，国家层面的政策支持相对不足，教育的重要利益相关者对VR教育应用带来的各种风险存在隐忧，支撑VR常态化应用的多方合作机制也尚未健全。

02

虚拟现实教育应用 理论模型与场景

技术赋能教学需要以教育教学理论为指导，遵循学与教的基本规律，才能够发挥其最大的效力。教育系统的复杂性在于学习场景的多样性、动态性和自组织性。虚拟现实赋能教学需要以场景为抓手，找准技术赋能的发力点；以教育教学理论为指导，精心设计技术支持的教学活动和流程；以循证研究为导向，全面评估技术赋能带来的短期和长期效益。按照教育的不同类型，白皮书分别呈现了虚拟现实在基础教育、高等教育和职业教育领域应用的五大典型场景，剖析了这些典型场景背后的理论模型，以期为虚拟现实在教育领域的深入应用提供理论指导和实践指南。

2.1 虚拟现实支持的课堂探究学习场景

探究学习是中小学课堂教学中的重要环节。但受限于课堂时空有限以及探究所需条件的不足，课堂探究学习往往无法给每一位学生提供亲身体验、深入探究的机会。特别是科学探究中的实验环节，由于实验材料的限制或是实验安全的考虑，学生很难在有限的课堂时间内通过实验探究获得直接的经验，并据此主动完成意义建构。虚拟现实技术在课堂探究场景中的应用能够为打破课堂时空限制，支持每一位学生在课堂有限时间内亲身体验、深入探究提供机会。

案例简介：分子的特征（九年级化学）

本案例^[11]是一堂探究复习课，课堂内容围绕分子的特征展开，依次复习了分子之间有间隔、同种分子的化学性质相同、不同种分子的化学性质不同三个重要知识点，并在此基础上进一步探究常见气体的检验。授课地点是在学校的多功能实验室，授课对象为九年级学生。

理论模型：体验式学习理论

体验式学习(Experiential Learning)由美国社会心理学家、教育家大卫·库伯(David Kolb)提出，整合了杜威、班杜拉等人的教育思想，植根于自我效能感(self-efficacy)理论^[12]。体验式学习强调个人经历或经验在学习过程中的重要作用，认为学习是通过经验的转化而创造知识的过程，非常重视学习者的主动性、参与性以及直观感受和体验，强调通过具体的体验和反思活动来掌握知识和技能^[13]。体验式学习圈模型包括：具体体验—观察反思—抽象概念—积极实践四个循环的学习阶段^[14]。

虚拟现实技术在帮助学习者胜任现实世界中不切实际或不可能完成的体验式学习任务方面颇具优势^[15]。在本案例中，“放飞孔明灯”这种在课堂环境无法完成的体验活动，以及“验证液氧的化学性质”和“检验氧气与二氧化碳”这两个在传统课堂只能通过观看视频或教师演示进行的实验都可以通过虚拟现实技术的支持实现让每个学生亲身体验和参与。

教学内容和过程设计：

首先，学生用3D交互课件模拟放飞孔明灯，完成“放飞孔明灯”实验，从宏观现象中体验分子间隔的改变，深入理解“分子之间有间隔”这一基本知识点。3D交互课件不仅让现实世界不可能完成的“放飞孔明灯”这一任务变得可能，还有效地避免了在真实世界放飞孔明灯带来的安全隐患。

其次，学生用3D交互课件验证液氧的助燃性，完成“验证液氧的化学性质”实验，通过在虚拟环境中动手操作和观察，验证“同种分子的化学性质相同”这一科学猜想。由于液氧的不易获得性，传统课堂学生只能通过观看视频获得间接的学习经验，3D交互课件为学生通过亲自动手操作获得直接的学习经验

提供了机会。

再次，学生用VR仿真交互课件检验氧气和二氧化碳的性质，利用VR头显设备和交互手柄在360°拟真的实验环境完成“检验氧气与二氧化碳”实验，理解“不同种分子的化学性质不同”这一基本知识点。在传统的实验教学中不可能大批量制取氧气和二氧化碳，学生只能通过观看教师演示，无法亲自动手实践，但利用VR仿真交互课件，每一名学生都能身临其境做实验，获得直接的学习经验。

最后，学生用央馆虚拟实验创编系统，编辑“未知气体的探究”实验，检验氮气、氧气与二氧化碳的性质。学生通过做中学，体验“发现问题（矛盾）—分析实验现象—解释现象”的过程，建立“观点、证据和结论之间的逻辑关系”。虚拟实验创编系统为学生设计实验方案、验证实验猜想、修正实验方案等提供了可能，也大大节约了传统实验室中实验设计带来的繁琐的实验器材和用品的准备、整理时间。

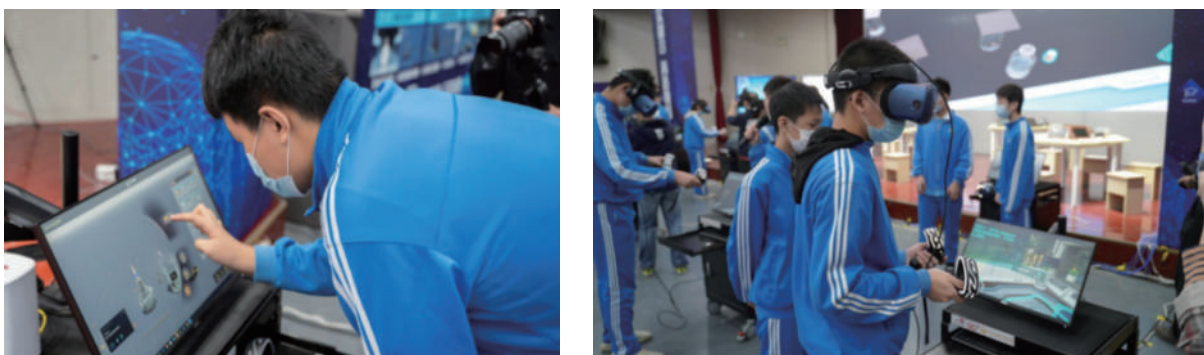


图 2-4 学生操作3D交互式课件（左）和VR课件进行化学实验（图片来源网络）

教学效果评价：

本案例充分利用央馆虚拟实验资源，在30分钟内层层深入，递进式地引导学生完成“放飞孔明灯”、“验证液氧的化学性质”、“检验氧气与二氧化碳”、“检验氮气、氧气与二氧化碳”4个实验，并在最后一个实验里实现对现有知识的综合运用和拔高。可见，虚拟实验支持的课堂教学能够缩短实验时间，支持学生在课堂上有限的时间内进行了多个实验方案的验证，大大提高了实验教学的课堂容量和质量。同时，虚拟实验解决了真实实验中实验仪器不足、药品种类缺乏的问题，减少了老师准备实验器材的繁琐和难度，降低了实验成本，增加了学生动手实践和重复验证的机会。

2.2 虚拟现实支持的课外自主学习场景

“双减”政策出台后，中小学生的课外自主学习成为关注的焦点。教育部等十八部门联合印发《关于

加强新时代中小学科学教育工作的意见》，明确指出要在教育“双减”中做好科学教育加法。课外自主学习无疑为做好科学教育加法提供了重要途径，家庭是中小学生学习的主要场所。实验教学是科学教育的重要内容，是培养创新人才的重要途径。如何帮助中小学生在课外，特别是实验条件有限的家中既能动脑又能动手，开展自主探究，巩固实验知识，提升科学素养成为亟待解决的难题。虚拟实验在中小学生学习中的应用则为破解上述难题提供了新的思路。

案例简介：七年级生物假期探究活动

本案例^[16]是围绕七年级下册《生物学》中的相关内容开展的课外自主学习探究活动，旨在将同学们的寒假自主学习与新学期开学后的新知探索做好衔接，包含《模拟膈肌运动与胸廓容积的变化》、《膝跳反射》、《用废旧报纸制作再生纸》三个探究活动。学生为七年的学生，学习的场所是在家中。

教学理论：体验式学习理论、生成性学习理论

生成性学习理论（Generative Learning Theory, GLT）由美国教育心理学家维特洛克（Merlin Wittrock）提出，认为学习的生成过程是学习主体根据自己的先前经验、态度、兴趣，以及认知策略对当前环境中的感觉信息产生选择性注意，获得选择性信息并利用原有认知结构建构该信息的意义，从而获得新知识、新经验的过程^[17]。该理论将人类的学习过程分为注意和选择性知觉、主动建构意义、建构完成和意义生成几个阶段^[18]。菲奥雷拉（L. Fiorella）教授在生成性学习理论的基础之上，提出了八种促进技术情境下生成性学习发生的策略：总结（Summarizing）、制图（Mapping）、绘画（Drawing）、想象（Imagining）、自我测试（Self-Testing）、自我解释（Self-Explaining）、教授他人（Teaching）和扮演（Enacting）。

研究表明，在虚拟现实支持的学习中采用生成性学习策略有助于提升学习者的知识保留和知识迁移表现^[19]。在本案例中，教师在体验式学习理论的指导下，通过中央电教馆虚拟实验教学服务平台为学生在家开展实验探究提供了亲身体验和深入探究的机会。同时，在生成性学习理论的指导下，要求学生将探究过程和实践成果通过拍照或视频的方式记录下来，然后上传至人人通教育云平台进行互动交流，学科教师针对学生的探究过程进行点评和个性化指导。

教学内容和过程设计：

本案例以任务驱动的模式，引导学生选择《模拟膈肌运动与胸廓容积的变化》、《膝跳反射》、《用废旧报纸制作再生纸》三个探究活动中的一个进行探究实践。下面以《模拟膈肌运动与胸廓容积的变化》活动为例进行介绍。

活动描述：

我们每时每刻都在进行呼吸，呼吸与人类生活息息相关。正常成年人一般情况下呼吸频率是16-18次每分钟，每天呼吸2万多次。你们知道呼吸是怎样发生的吗？

请参考七年级下册《生物学》P46“演示实验”内容和中央电化教育馆虚拟实验教学服务系统中的视频“模拟膈肌运动与胸廓容积的变化”和3D课件“模拟膈肌运动与胸廓容积的变化”，尝试制作模拟肺与外界气体交换的装置。制作的过程以照片或视频的形式在人人通上进行提交，还可以写上简单的制作心得哦！

活动实施过程：

首先，在放假前教师将中央电化教育馆虚拟实验教学服务系统的账号、《使用帮助》和《探究活动介绍》下发给学生，并与学生、家长保持交流，及时解答疑惑。其次，学生在家中利用课本自主学习实验内容，再应用“央馆虚拟实验”资源完成模拟实验，在对实验具备一定认知的基础上，再利用家里的有关材料进行实物实验探究，实现从虚拟实验探究到实物实验探究的完美过渡。最后，探究活动结束后，学生将探究过程、成果、心得体会等以照片或视频的形式上传至武汉教育云平台的人人通空间，由学科老师进行收集，并在班级群中开展讨论交流和点评。

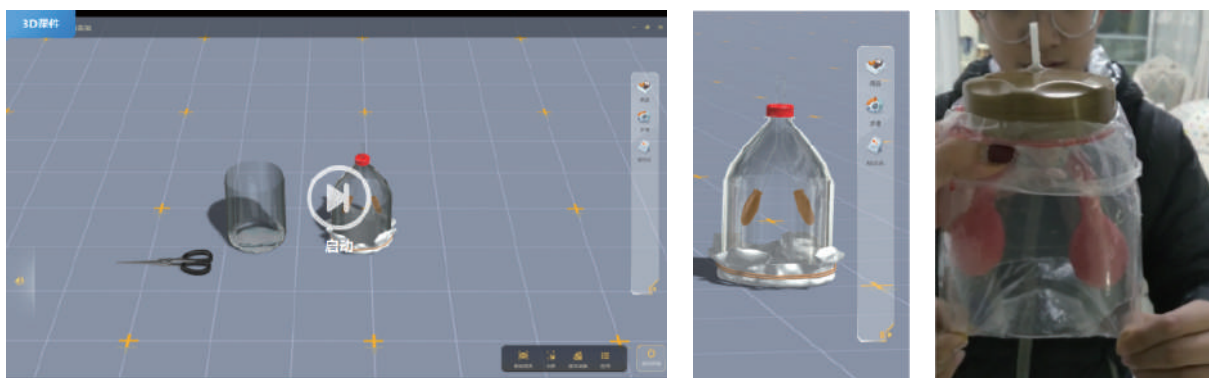


图 2-5 央馆3D交互式课件界面（左）、学生完成的虚拟实验结果（中）和实物探究结果（右）（图片来源网络）

教学效果评价：

本案例中虚拟实验的应用打通了学校课堂学习和家庭自主学习的连接，完美结合了虚拟实验探究和实物实验探究的优势，有效激发了该校学生对实验探究活动的兴趣和热情。该活动也得到了家长们的大力支持，为家校合作提升学生科学素养提供了很好的思路。不少家长表示，这样虚实结合的探究活动有利于促进学生深入思考，并提升动手能力，进一步加深了学生对相关知识的理解。

2.3 虚拟现实支持的高校实践教学场景

作为人才培养重要组成部分的实践教学是根据认识的本质和规律、实践的特点和作用以及教学目的

和要求开展的实践活动，是培养学生动手能力、创新能力和创新精神的重要教学环节，是促进学生知识、能力、素质协调发展的重要途径和手段^[20]。然而，人文社科的实践教学环节一直被忽视，使其长期处于“纸上谈兵”的状态。2019年，教育部正式启动“六卓越一拔尖”计划2.0，全面推行“四新”建设。相比于新工科、新医科、新农科，新文科建设的实践教学问题更加凸显。强化人文科技战略融合的新文科建设对高等教育理念、教育目标、培养模式、专业建设、课程体系、教学方法以及实验实践环节等均提出了新要求。虚拟现实技术支持的虚拟仿真实验实践教学为新文科背景下的创新人才培养提供了新思路。

案例简介：公共卫生危机事件新闻采访虚拟仿真教学

本案例是来自国家虚拟仿真实验教学课程共享平台iLab的一门国家一流虚拟仿真教学课程。课程通过“课堂教学-虚拟仿真实验-实验结果评价反馈-学习策略及效果改进”的新型教学模式，让学习者自主进入虚拟现场，沉浸式、交互式地体验现场采访的各个环节，培养学生的新闻意识、政策意识、危机意识，以及自主学习能力、采访能力、写作能力、问题解决能力等。本案例的授课对象是大学生，学习的场所在多媒体教室。

教学理论：情境学习理论

情境学习理论源自于让·莱夫（Jean Lave）与丁纳·温格（Etienne Wenger）合著的《情境学习：合法的边缘性参与》（Situated Learning: Legitimate peripheral Participation）这部人类学研究领域中关于“情境认知与学习理论”的经典名著^[21]。情境学习理论将知识视为个人和社会或物理情境之间联系的属性以及互动的产物，要求将学习置于知识生产的特定的物理或社会情境中；将参与视作学习的关键成分，要求学习者通过理解和经验的不断地相互作用，在不同情境中进行知识的意义协商^[22]。

虚拟现实技术通过模拟类似于真实世界的物理或社会情境，允许学习者参与其中，通过与虚拟环境的持续互动，完成对知识的意义建构。本案例运用虚拟现实技术为学生创设了拟真的公共危机事件报道场景，让学生以第一人称视角体验和参与采访中的各项任务，在体验和参与的过程中完成知识技能习得。

教学内容和过程设计：

(1) 课堂教学阶段

教师向学生说明实验目的、实验原理（即新闻采访与写作的相关基础知识）、实验内容、实验过程以及实验要求，并指导学生进行相关的实验操作，介绍整个实验流程以及虚拟仿真系统内的功能模块，同时教授学生如何使用实验设备及各种硬件。

(2) 虚拟仿真实验阶段

以情景模拟和场景启发为基础，启发学生进行采访工作的实践操作，以此来培养学生思考问题、分析问题以及处理危机问题的能力，提高学习效果。实验项目设有学习模式和考核模式。在学习模式，学生可以首先选择进行个人自主学习、探究和练习，系统设有提示点，帮助和引导学生进行正确的操作和知识点细节的理解。在进行练习后，学生可以进入考核模式，在不依靠辅助提示的情况下自主检验学习情况和成果。

(3) 实验结果评价反馈阶段

系统根据内置的评分标准对学生的实验作品和实验结果进行评估和分析。与此同时，教师将对考点和扣分点予以讨论和总结，组织学生进行作品互评和实验心得分享。



图2-7学生自主实验探究（左）和虚拟采访操作界面（右）（图片来源网络）

(4) 学习策略及效果改进阶段

教师与学生共同讨论实验过程中的得失，总结个人学习成效的长短优劣，提出发挥优势、补强短板的具体策略，以利于后续的进一步学习。

在上述四个阶段中，均贯穿了情景还原、任务驱动和人机交互等几种基本的教学方式，让学生在实践中树立一种工程师式的操作思维，体验其中的细致严谨和需要付出的艰辛劳动，塑造良好的职业习惯，培养从事新闻职业的自豪感。

教学效果评价：

由于公共危机事件报道具有突发性、危险性和不易接近性，很难让学生亲身参与并进行系统地学习。虚拟仿真实验教学注重教学过程中的整体性和连贯性，系统地融合了公共卫生危机事件的内涵，采访过程中的专业知识，以及社会心理状况的调查等必要内容。同时，由于新闻采访需要在现场完成，传统教学中很难对学生的过程进行监控并开展过程性评价。虚拟仿真软件能将学生的实验操作过程记录下来，并实时观察，实验过程中还设置有多个考点，可以有效开展过程性评价。作为对传统教学的延伸与拓展，虚拟仿真实验教学的虚实结合、沉浸交互及共享开放特征，能够支持学生随时随地开展实践学习，拓展了实践学习的时空范围。

2.4 虚拟现实支持的职业技能实训场景

职业教育领域的职业技能实训对虚拟现实技术的支撑有着强烈的需求。2023年，教育部印发了关于加快推进现代职业教育体系建设改革重点任务的通知，要求各校要瞄准专业实训教学中“高投入高难度高风险、难实施难观摩难再现”等现实问题，结合自身实际，有效运用虚拟现实、数字孪生等新一代信息技术，建设职业教育虚拟仿真实训基地，开发资源、升级设备、构建课程、组建团队，革新传统实训模式，有效服务专业实训和社会培训等。可见，职业技能实训是虚拟现实赋能职业教育的重要抓手。

案例介绍：航空产业集群虚拟仿真实训基地

本案例来自长沙航空职业学院的航空产业集群虚拟仿真实训基地。该实训基地针对航空复杂工艺“看不见”，航空昂贵设备“进不来”，航空专业维修安全环境“难实现”等传统教学难题，围绕“航空维修-航空运营管理-航空服务”产业链实训要求，打造集“教学、实训、培训、科研、竞赛、科普”六位一体的航空产业集群。

教学理论：情境学习理论、具身认知理论

具身认知（Embodied Cognition）建立在对传统离身认知的批判基础之上^[23]，其核心观点是：认知过程的进行方式和步骤实际上是被身体的物理属性所决定的；认知的内容是身体提供的；认知、身体、环境是一体的，认知存在于大脑，大脑存在于身体，身体存在于环境^[24]。具身认知强调环境在认知过程中的重要作用，认为学习是学习者对环境的感知和作用于环境的行为之间互动的结果^[25]。虚拟环境中，学习者通过拥有一个虚拟身体（Avatar）获得具身化体验，通过控制虚拟身体与虚拟环境进行交互，在持续的交互与反馈过程中完成与身体经验相关的认知加工。职业教育中的复杂技能学习除了需要为学生营造真实的学习情境外，还需要以具身认知理论为指导对复杂技能学习任务进行精心设计，以此来促进学生对复杂技能的习得和在真实情境中的迁移。

实训内容和项目：

航空产业集群虚拟仿真实训基地覆盖通用航空器维修、空中乘务、无人机应用技术、航空物流管理和航空机电设备维修5个专业。实训基地针对教学资源的个性化开发与持续更新的需要，拓展校企合作模式，加强创新，进一步推动院校教学实训、校企职工培训的转型升级，形成多元化人才提升需求的培训体系。

实训项目包括机务维修、航空公共安全时间应急管理、飞行仿真实训、事故应急救援、航空器环控系统维修等，支持课程包括《空气动力学和维护技术基础》、《航空机械基础》等。《空气动力学和维

护技术基础》课程与企业紧密联系，在课程基础上设立航空维护技术导师团，教学过程中进一步将维护技术基础和岗位能力以及国赛项目相融合，成为岗位练兵的重要支撑。《航空机械基础》以课促赛，将日常教学与发动机拆装调试技能大赛的内容有机结合；通过在课程教学实施过程中注重结合航空特色，深挖思政元素，让学生了解中国航空的发展史和伟大成就等，激发学生爱国、航空情怀，增强学生职业自豪感、使命感。



图 2-8 各类航空实训项目界面展示（图片来源网络）

教学效果评价：

VR使航空复杂工艺360度展示在学生面前，支持学生通过在虚拟环境中反复观察和操作高仿真航空设备，从而达到航空专业维修的考核要求。基于 AR/VR 虚拟交互技术，能够实现对易耗型的实验教学或者破坏性的实验教学的支持，从而降低真实设备的损耗，同时也确保实验的安全。学生以第一人称角色扮演的方式进行岗位模拟操作，掌握业务流程和操作技巧，大大提高了学生学习兴趣与教学效率，实现了“线上数字资源学习+线下VR虚拟仿真训练”的职业技能学习新模式，全方位助力航空专业人才的培养。

2.5 虚拟现实支持的教学技能培养场景

师范院校天然连接着基础教育和高等教育，在提高人的数字素养、深化教育数字化变革、建设教育强国中具有重要的纽带作用。智能时代的教师数字化素养培训是当前教师培训工作的重点，也是师范类院校人才培养的关键。2022年底，教育部发布《教师数字素养》教育行业标准，规范化教师数字素养培训，提升教师利用数字技术优化、创新和变革教育教学活动的意识、能力和责任。作为数字化素养的重要组成部分，教师的数字化教学技能培养已无法依赖传统的讲授式培训方式来开展，而必须要依赖虚拟现实、人工智能等新兴技术的支持。

案例描述：基于混合现实技术的职前教师专业实践项目

本案例来自俄克拉荷马州立大学（Oklahoma State University）开展的一项研究，目的是调查参加混合现实模拟Mursion®课程的师范生如何看待混合现实模拟课程对他们的学习、职业自信心，以及后续的教育实习的影响。Mursion®是一个混合现实模拟，它提供了一个由数字和物理组件组成的环境。该模拟程序使用人工智能和真人演员的混合来模拟不同的交互设置，帮助师范生在虚拟环境中学习授课、管理课堂和练习教学技能，为师范生教学模拟提供了在受控环境中进行真实练习的机会，并减少了可能的风险。

理论模型：情境学习理论、体验式学习理论

虚拟现实、混合现实等支持的仿真模拟可以为教师或师范生提供拟真的教学场景和体验式学习的机会。学生在沉浸式虚拟环境中可以通过Avatar的形式进行角色扮演，在对各种教学活动的体验中完成教学技能的习得。

研究内容和过程设计：

研究邀请了师范生同时参加混合现实模拟Mursion®的课程和一门教育实习课程。师范生在模拟课程中参加了以下三个场景中的一个：引导和吸引中学生参与讨论，给中学生上康奈尔笔记课，或者与成人一起主持家长会。模拟课程是在一个配备了LCD智能板屏幕的混合现实技术实验室进行的，该屏幕用于访问模拟。实验室为师范生提供了一个开放空间，让他们参与模拟，并在空间的周边设置了座位，让师范生在等待轮到模拟的时候观察他们的同伴。在每位师范生参与模拟结束后，主持人带领师范生进行汇报，并对所经历和观察的事情进行反思。在模拟课程结束之后，研究人员从参与课程学习的94名师范生中选择了13名进行深度访谈，每次访谈持续20分钟左右，收集他们在混合现实模拟中的体验的质性材料并进行数据分析。



图2-9参与者使用Mursion®与虚拟场景中的学生进行交互[26]

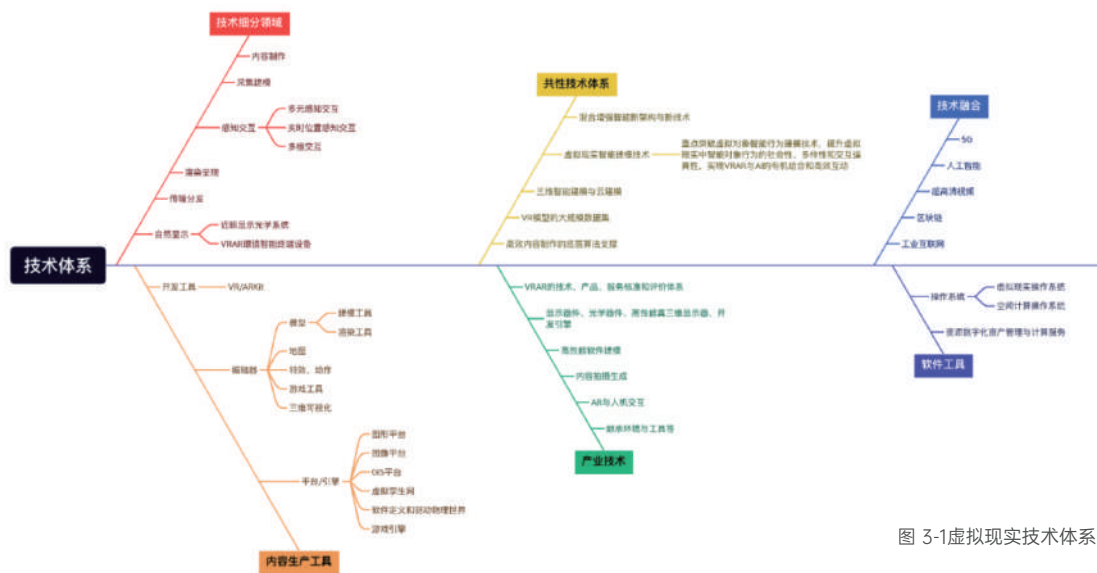
实验效果评价：

首先，参加培训的师范生都认为混合现实模拟提供了一种比他们在教育实习中更真实的观察体验。其次，师范生表示在混合现实模拟培训期间，从对同伴的观察中感知到学习迁移的发生，因为他们会根据在同伴参与模拟期间所做的观察来调整自己在模拟中的行为表现。师范生反馈从混合现实模拟经验中学习到的知识迁移到了他们在课程结束后的教育实习中。例如，一位师范生明确表示她在家长/教师会议场景中与家长化身的经历影响了她后来在参与真实的家长会时的决策。最后，参加模拟培训的师范生表示，由于通过模拟进行了练习，在未来的教育实习中，他们更有信心能处理好在模拟体验中遇到的类似情况。可见，混合现实模拟不仅能够为师范生提供教学技能练习的机会，而且有助于提升师范生的职业自信心。

03

虚拟现实教育应用 技术体系

虚拟现实技术体系包含硬件开发相关的产业技术体系，与资源生产相关的软件工具和内容生产工具体系，以及与行业应用相关的技术融合体系。技术体系细分而言，包含内容制作技术、采集建模技术、感知交互技术、渲染呈现技术、传输分发技术、自然显示技术。其中，共性技术体系包含混合增强智能新架构与新技术，虚拟现实智能建模技术、三维智能建模与云建模技术、VR模型的大规模数据采集技术，以及高效内容制作的底层算法支撑。每个子体系下的关键技术如图3-1所示。



总体而言，虚拟现实有单机智能与网联云控两种技术路径。目前，大多数企业基于单机智能这一技术路径，重点关注近眼显示、渲染计算、感知交互与内容制作方面的研发创新、技术产业化及控制成本等相关工作，网联云控主要体现在内容上云后的流媒体服务。未来，虚拟现实的发展不是两者简单相加，而是有机融合：在云、网、边、端、用、人等相结合的创新体系下，通过重构现有系统架构，触发产业飞跃发展，并且在这一深度融合创新的框架下，重新定义新技术、新产品、新标准、新市场与新业态，并进行迭代更新、优化与升级^[27]。

3.1 虚拟现实教育应用关键技术

如图3-2所示，虚拟现实涉及如下关键技术：近眼显示技术、内容制作技术、感知交互技术、渲染计算技术、网络传输技术等。

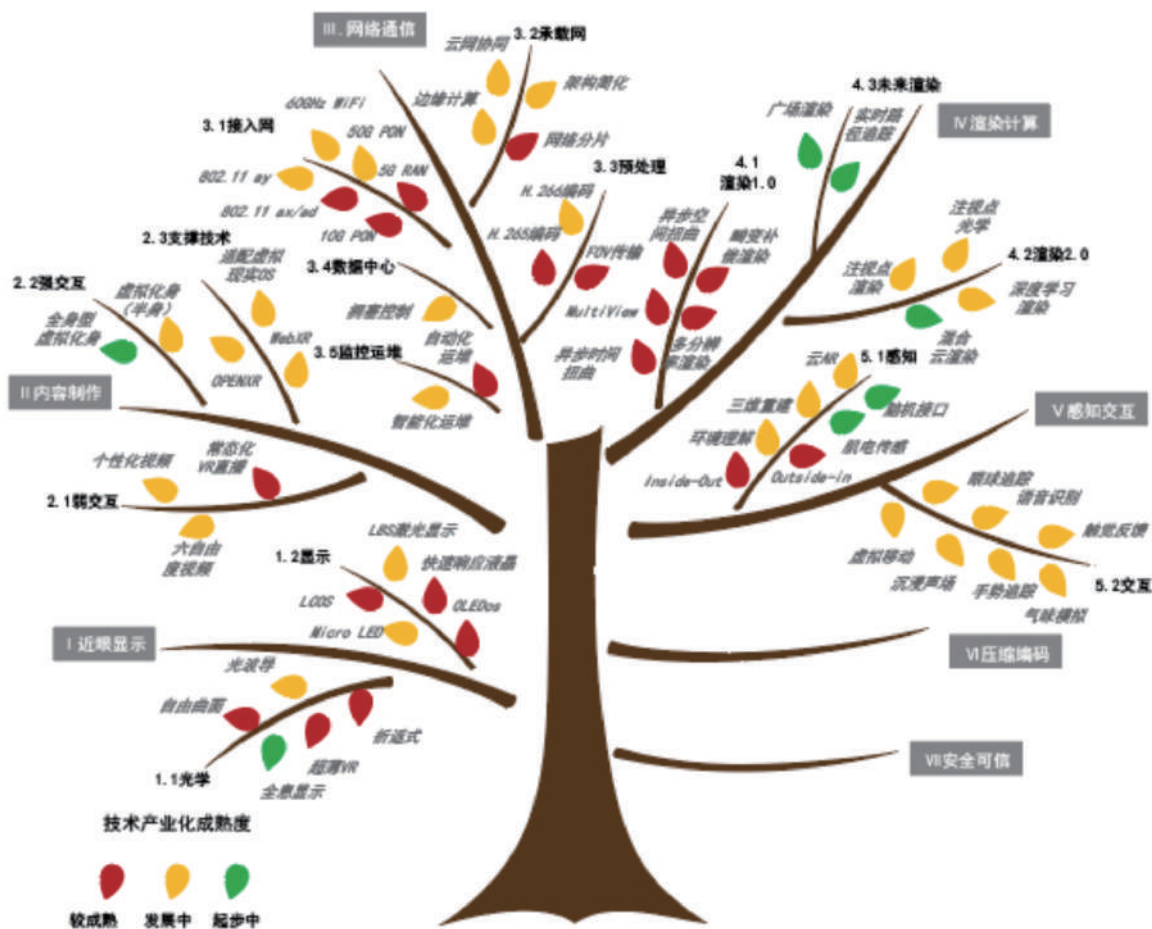


图 3-2 虚拟现实关键技术[28]

3.1.1 近眼显示技术

VR近眼显示的理论基础是**双眼立体视觉**原理，同一物体在左右双眼视网膜成像时存在着视差，双眼视差通过视觉皮层融合进而产生三维立体感。头戴式显示技术正成为虚拟现实主流立体视觉显示技术，头盔式显示器(Head Mounted Display, HMD)的技术思路是当用户佩戴头盔显示器后，左右眼显示屏可为双眼提供立体图像，进而产生立体视觉效果。近眼显示的参数指标是影响用户体验感受的主要因素^[29]，主要包括视场角(Field of View, FOV)、分辨率(Resolution)、刷新率(Refresh Rate)、运动到成像时延(Motion-to-Photon Latency, MTP)等。

视场角主要用于衡量宽广度，指的是显示器两侧边缘与观察点(眼睛)连线的夹角，视场角的大小直接决定着用户的视觉感受，视场角是用户的临场感^[30]和沉浸感^[31]的重要因素。在水平方向上，人单眼的舒适角度为60°，在此方位区间内人眼视力最为敏感；单眼的视野(不转动眼球、脖颈)约为左右各95°，双眼重合的视野角度为120°。通常VR头显的水平视场角要达到90°，才能保证较高的沉浸感，目前主流商用头盔显示器的FoV通常是在90°-120°。**角分辨率**(Pixel Per Degree, PPD)是衡量清晰度的重要概念，指的是视野里单位角度包含的像素数，通常计算方式是(单眼成像)视野内最长对角线像素量除以该对角线的视场角。从数字上看，PPD越高，显示的画面自然可以越精细，有研究称人眼正常视力下角分辨率极限为60 PPD。目前，主流VR显示设备的角分辨率多为20PPD左右，距离理想效果的要求尚有较大差距，VR头显屏幕的低分辨率通常是引发“纱窗效应”的重要原因。**刷新率**主要用于衡量画面的流畅程度，指的是VR屏幕上图像的每秒更新的频次，理想的刷新率应在90-120Hz或以上。一般而言，VR显示的刷新频率越高，屏幕上图像闪烁感就越小，稳定性也就越高，图像显示越自然清晰，可以减轻用眼疲劳^[32]。若画面延迟较高，则可能在高速位移或视野转动时发生画面闪烁、重影、余晖等现象，使用户产生眩晕感^[33]。一般来说，如能达到80Hz以上的刷新频率，就可完全消除图像闪烁和抖动感，减轻用眼疲劳。**运动到成像时延**是用户头部移动与VR设备显示反映用户移动的变化之间的延迟。一旦用户的头部移动，VR场景应该与移动相匹配。这两个动作之间的延迟越多，VR画面看起来就越不真实，并且容易产生晕动症^[34]，VR系统一般需要<20ms的低延迟，甚至是<7ms的低延迟。

3.1.2 内容制作技术

基于用户与虚拟环境内容之间的交互程度，可分为弱交互和强交互两种类型。前者用户在虚拟环境中可选择视点和位置，用户体验是相对被动，体验内容也是预先规划好的，主要包括VR直播、VR全景视频等应用场景；后者是内容须根据用户的交互信息进行实时渲染，自由度、实时性与交互感更强。在弱交互方面，主要呈现出强调高质量、多格式的专业生成内容(PGC)和操作便捷、成本可控的用户生成内容(UGC)两种发展诉求，技术选型包括手机式、一体单目/多目、阵列式、光场式等内容采集设备。VR视频的交互体验自由度也正从基于视野转动的3DoF发展为场景中自由移动与观看的6DoF。同时，通过采集用户实时心率、眼动、语音、微表情等多元化生理指标，可建构出依据用户偏好反馈的定制化内容叙述线。此外，随着VR直播的常态化，制作上云将成为简化虚拟现实内容摄制流程的关键技术。在强交互方面，3D数字模型通常基于扫描数据或多视角图像进行三维建模，通过纹理映射实现实体表面真实感处理，并嵌入文本、音频和视频信息完成实体重建。当前，基于RGBD相机等技术方案低成本、高速率生成高质量3D模型正成为可能。此外，虚拟化身的制作作为VR多人社交的关键，通过追踪采集用户数据并实时投射于虚拟化身的外观及行为表现，使得VR用户对于虚拟化身的感知与控制形成交互闭环。在技术方面，基于口型、眼动、表情、手势肢体等上半身虚拟化身技术初步走向成熟，有望增强VR社交的临场感与互动程度。

在支撑性技术方面，Web XR推动了虚拟现实内容与各类终端平台、操作系统间的解耦，提供了更加便捷的网页VR/AR应用开发环境，有望成为下一代Web沉浸体验的基石。Open XR在强化对Web XR网页开发框架支撑的同时，深化了对新一代3D图形应用程序Vulkan的协同，适配了手势、眼动追踪等多元化的交互方式，丰富5G边缘计算等应用场景。操作系统（OS）聚焦发展实时性、多任务、感知交互与端云协同；开发引擎方面可选择具有平衡性能和低功耗的特性的引擎（Unity、Unreal）。

3.1.3 感知交互技术

理想人机交互可让虚拟现实用户聚焦交互活动本身，而忘记交互界面的存在，自然化、情景化与智能化成为感知交互技术的主要特征。追踪定位是感知交互领域的基础能力，存在着Outside-in和Inside-out两条技术路线^[35]。前者需要在环境中布置(基站外设)定位器，实现从外到内的位置计算；后者则只需借助VR设备自身的传感器进行环境感知与位置计算。当前，基于视觉+IMU惯性测量融合的Inside-out追踪定位技术全面成熟，正规化应用于头显终端。Inside-out在追踪定位方面已接近Outside-in的效果，这种省去基站外设的追踪方式符合大众市场发展趋势。在VR交互方面，VR控制器输入是当前最为常见的输入方式，手势追踪初步成熟，基于手势追踪的裸手输入、裸手+控制器等交互外设协同共存将成为发展趋势。手势追踪技术的优势在于消减了用户对交互外设的配置操作与购买成本，无须考虑充电配对问题，且手势信息等增强了虚拟现实体验的社交表现力。当前，6DoF头动追踪仍是VR终端的重要交互输入，但在达到沉浸体验门槛后，眼动追踪成为VR终端的新标配。眼动追踪技术主要分为基于特征与基于图像的发展路径，该技术发展焦点在于眼动算法如何基于所采集的原始眼动行为来理解用户意图。

3.1.4 渲染计算技术

虚拟现实渲染的核心在于渲染质量与效率间的平衡优化，主要包括本地渲染与云渲染两种类型。在本地渲染方面，PC VR的计算与渲染是在配备GPU显卡的PC主机进行处理，VR头显承担的是视音频输出、交互输入等功能，代表性产品包括HTC VIVE PRO、Oculus Rift系列。VR一体机由于具备独立处理器、支持HDMI输入，能够在本地进行独立运算、输入和输出的功能，代表性产品譬如HTC VIVE Focus3、Pico Neo 4。沉浸式VR眼镜作为轻量级的VR设备，则是利用手机、PC机的独立显卡的计算能力，从而为用户渲染显示，代表性产品为Huawei VR GLASS、HTC VIVE Flow等。

云渲染与本地渲染并非是相互独立的发展轨道，相比于本地渲染依赖于终端完成，其聚焦云网边端的协同渲染，将渲染算力导入云端，具有降低终端配置成本的优点。当前，公有云的云控网联需要解决云上算力成本、确定性网络成本等难题，面向消费者进行大规模推广应用仍然存在一定距离。在教育领

域，尤其是高等教育，云端渲染不需要依托公有云支持，可通过学校区内私有云共享算力资源、并改造学校局域网满足确定性时延的要求，从云-管-边-端协同配合，实现端云算力协同、终端算显分离，有助于解决掉原来传统功能型虚仿教室的各种问题。

3.1.5 网络传输技术

工信部出台的“双千兆”网络协同发展行动计划中提到，系统推进固定网络和移动宽带迈入千兆时代，第五代固定网络(F5G)千兆宽带和5G网络共同构成双千兆接入网络联接。教育部“数说教育十年”新闻发布会显示，学校的信息化配置水平显著提高，2021年全国义务教育学校互联网(固定网络)接入率接近100%。固定网络作为新基建的先导基础，经历了语音时代、宽带时代、视频时代、4K超高清时代，正跨入以10G PON全光接入、200G/400G OTN全光传送为代表的第五代全光网络(F5G)全光时代。光纤网络在光纤入户(FTTH/FTTO)的基础上，正进一步拓展至房间(FTTR)、终端等，通过配合WiFi6保障每间教室的高质量、多并发的虚拟现实学习体验。此时，千兆光网+云VR将成为F5G时代的典型特征与重点应用的结合。与前几代固定网络相比，F5G千兆网络凭借着超大带宽(eFBB)、全光连接(FFC)和极致体验(GRE)关键特征推动光纤网络突破传统的产业边际，可为教育的高质量发展提供高速、便捷、绿色、安全的数字底座，持续助力教育数字化转型与智能升级。

第五代移动通信技术(5G)是具有高速率、低时延和大连接特点的新一代宽带移动通信技术，5G通讯设施是实现人机物互联的网络基础设施。5G的三大类应用场景包括增强移动宽带(eMBB)、超高可靠低时延通信(uRLLC)和海量机器类通信(mMTC)。由于虚拟现实编码率高、交互性强，在4G网络下仅可满足2K业务，尚难以满足4K/8K虚拟现实在教育教学中的规模部署，须依托于5G的上行大带宽、网络低时延等能力满足虚拟现实的进阶体验。此外，多接入边缘计算(MEC)将密集型计算任务迁移到附近的网络边缘，降低核心网和传输网的拥塞与负担，减缓网络带宽压力，并快速响应用户请求并提升服务质量。通过MEC边缘服务，可降低云化虚拟现实(Cloud VR)在教育应用中的网络连接和终端硬件门槛，加速教育行业的规模化应用。

除了以上五种关键技术外，在《虚拟现实与行业应用融合发展行动计划（2022—2026年）》中还提到了压缩编码技术和安全可信技术。压缩编码技术是对传输的内容进行压缩编码以其更快的传输内容的方法。在《行动计划》^[36]中，压缩编码技术重点推动基于视角的超高分辨率（8K及以上）虚拟现实视频编码技术。突破六自由度虚拟现实视频、球体视频、全息视频、沉浸式音频、多模态数据等压缩编码技术。研究自适应网络传输等关键技术，推动虚拟现实编解码向网络智能协同方向发展。以5G、人工智能、大数据、云计算、区块链、数字孪生等为代表的信息技术时代的发展，网络安全存在的问题受到广泛的关注和极大的重视。基于主动免疫的主动防御可信计算技术可有效提高系统整体的防护效果^[37]。可信计算是在计算和通信系统中广泛使用基于硬件安全模块支持下的可信计算平台，其组件、操作或过

程的行为在任意条件下是可预测的，并能很好地抵抗应用程序软件、病毒以及一定物理干扰造成的破坏，可以维护计算机系统用户本身的利益和外来用户的正常运行，提高了系统整体的安全性^[38]。在《行动计划》^[39]中，安全可信技术重点推动安全可信的虚拟现实产品和服务在各场景中应用，突破基于可信计算主动免疫双体系并行动态度量检验技术，加快可信计算在虚拟现实网络应用协议与接入机制的应用研究与推广。

3.2 不同学习场景中的技术需求剖析

3.2.1 演示型课堂讲授教学场景

演示型课堂讲授作为现阶段最典型的教学情景，通常是以40-50人教学班为单位进行讲授或者演示。教师在课堂中通过实物、图像、教具或现场操作等进行示范教学("做给学生看")，演示教学使抽象、复杂的教学内容变得直观。VR赋能的演示型课堂讲授教学中，三维立体呈现可帮助学生教学内容建立直观感性的认识，可视化的分析过程可帮助学生理解事物的基本原理和过程。该教学场景中的学习终端在短期内仍会以触控一体机+平板/PC为主，并步发展至沉浸式VR/AR眼镜、VR一体机等。学习资源的形态主要是以VR视频为主，部分教学活动会涉及少量的3D模型。同时，该场景中的感知交互技术是以触控交互和头动追踪为主，渲染计算方面对算力的要求不高，以本地/本机渲染为主，网络环境以校园尤其是教室内的无线网络（WiFi6、5G CPE）为主。

教学规模	40-50人教学班、讲授型(演示)
教学目的	讲授型(演示)、感性经验到理性逻辑
学习内容	以VR视频观看为主、少量3D模型操作
教学显示	短期内以触控一体机+平板/PC为主，逐步发展至沉浸式VR/AR眼镜、VR一体机等
感知交互	触控交互、头动追踪为主
渲染计算	本地/本机渲染为主
网络传输	教室内无线网络(WiFi 6、5G CPE等)

3.2.2 协作式小组研讨学习场景

协作式小组研讨学习场景中，学生以小组形式参与学习，小组有共同的学习目标，并在一定的激励机制下最大化个人和他人习得成果。其对于培养学习者的团队协作能力、交流沟通能力、问题解决能力和批判性思维等具有独特优势。通常其教学规模是以40-50人组成的教学班，将学生分为3-4人小组进行研讨学习。VR赋能的协作式小组研讨学习中，学习终端在短期内仍会以平板/PC为主，逐步发展至沉浸式VR/AR眼镜、VR一体机等。学生在小组学习中先明确学习任务，进行分工协作，根据在虚拟环境中的探索与发现，小组成员相互交流与讨论。协作式小组研讨学习，成员之间互相协作，通过协同与交流沟通进行知识建构，此时学习资源的形态主要是以3D模型为主。同时，该学习场景下多人追踪定位是关键，还涉及触控交互、头动追踪等感知交互技术。在渲染计算方面，多人协作学习的模式短期内会以本地的PC主机渲染为主，逐步过渡到边端协同的渲染方式，网络环境主要基于校园无线网络（WiFi6、5G CPE）接入。

教学规模	40-50人教学班(以组为单位，每组3-4人)、探究与讨论
教学目的	探究与协作、知识建构
学习内容	以3D模型操作为主
教学显示	短期以平板/PC为主，逐步发展至沉浸式VR/AR眼镜、VR一体机
感知交互	多人追踪定位、触控交互、头动追踪等
渲染计算	本地的PC主机渲染为主，逐步过渡到边端协同的渲染方式
网络传输	校园范围内无线网络(WiFi 6、5G CPE等)

3.2.3 互动式个人自主学习场景

互动式个人自主学习场景是学生个人进行自主性学习，在虚拟学习平台进行社交互动。VR赋能的互动式个人自主学习中，学习终端是以PC VR、VR一体机为主，轻量级可用沉浸式VR眼镜、AR眼镜等。学习资源的形态主要包括VR视频、3D模型以及虚拟化身，虚拟化身(学习者、教师、同伴)可给与学习者较好的社会临场感体验。本场景中的感知交互技术涉及头动追踪、手势追踪、触觉反馈等，其中手势追踪技术能够捕捉学生的手部、手指的运动，支持学生动手操作和社交表达等，触觉反馈技术则给学生在探究过程中精准的操作体验。在渲染计算方面，互动式个人自主学习多数是以本地的端侧渲染为主，部分学习内容需要借助于边端协同的渲染方式。网络环境包括配有无线网络（WiFi6、5G CPE）教室内校园环境或者家庭网络环境。

教学规模	个人学习为主
教学目的	知识技能习得、学习社群
学习内容	VR视频、3D模型、虚拟化身(社交)
教学显示	以PC-VR、VR一体机为主，轻量级可用沉浸式VR眼镜、AR眼镜等
感知交互	头动追踪、手势追踪、触觉反馈等
渲染计算	以本地的端侧渲染为主，部分需进行边端协同的渲染
网络传输	家庭网络、教室可用无线网络(WiFi 6、5G CPE等)

3.2.4 实训类职业技能学习场景

实训类职业技能学习场景的教学规模是以30人以上组成的教学班进行职业技能的训练。学习者更多的是通过动手实践进行操作性学习，利用双手操控虚拟对象实现“做中学”。此学习场景可还原真实情境中具有较高难度的职业技能训练的操作，学习者可进行多次练习以习得知识经验与技能。对于具有危险性的职业技能，可以确保学习者的安全。VR赋能的实训类职业技能学习中，学习终端是以沉浸式VR/AR眼镜、VR一体机为主，在虚拟环境的学习内容主要是3D模型。同时，该场景下多人追踪定位是关键，还涉及头动追踪、手势追踪、触觉反馈等感知交互技术。在渲染计算方面，实训类职业技能学习需要借助云端渲染的能力，实现端云协同渲染。以班或年级为单位的大规模实训，为保障确定性网络时延，网络环境可采用F5G为主的固定网络，实现光纤到终端，为学习者提供极致流畅的网络体验。小规模实训也可采用无线网络（WiFi6、5G CPE等）的方案。

教学规模	30人以上教学班、职业技能训练
教学目的	动手实践、技能训练
学习内容	以3D模型操作为主
教学显示	VR/AR眼镜、VR一体机为主
感知交互	多人追踪定位是关键，包括头动追踪、手势追踪、触觉反馈等
渲染计算	端云协同渲染
网络传输	F5G网络为主，小规模可用无线网络(WiFi 6、5G CPE等)

04

虚拟现实教育 赋能教学模式创新

当前，VR在教育领域的应用已由建设虚拟仿真实验基地和平台、智慧校园、智慧教室等基础设施升级为打造沉浸式课堂等创新教学模式，形成了VR支持的沉浸式翻转课堂教学模式、Cloud VR支持的虚实融合职业技能实训模式，以及VR支持的教-学-评一体化实践教学模式。这些创新教学模式为VR在基础教育、职业教育和高等教育的应用提供了可供借鉴的实践操作指南，对于深化VR教育应用，赋能教育数字化转型提供了思路和方法。

4.1 VR支持的沉浸式翻转课堂教学模式

(1) 背景资料

沉浸式翻转课堂教学模式由武汉市二桥中学在三年多的实践探索中总结提炼而来，是VR在基础教育应用的创新实践模式。作为央教馆中小学虚拟实验教学试点项目的首批试点校之一，二桥中学在推进虚拟实验常态化教学的过程中不仅受到了从央馆、省馆、区馆到市馆智能部门的支持，还得到了高校专家学者在教学理念、专题教研、案例设计、教学模式等方面的引领和指导。为推进虚拟实验的常态化应用，学校强化顶层设计，建立专项工作机制，形成了“校领导-学科组长-学科教师”的三级工作方案，同时将虚拟实验教学纳入教师教学工作量，采用绩效激励机制，积极组织教师参与央馆、市馆及区馆组织的虚拟实验教学培训，引导教师利用央馆虚拟实验平台自主创编资源，组织教研团队与骨干教师研发校本资源，学校组织筛选符合实际教学需求的虚拟实验资源，构建校本资源库。为推进虚拟实验常态化应用的顺利实施，学校建立了专门的虚拟实验室，充分利用智慧教室和创客教室的现有资源，打造实验教学硬件环境；同时依托央馆虚拟实验教学平台和武汉教育云平台，构建了沉浸式翻转课堂教学模式，并经过多轮实践检验，验证该模式的教学效果。

(2) 教学模式

沉浸式翻转课堂教学模式如图4-1所示，在课前预备阶段，学生和教师都需要通过央馆虚拟实验教学服务系统、武汉教育云平台进行课前准备。其中，教师通过系统选取教学资源，精准分析学情，并且通过系统发布任务。学生利用系统进行精准化预习，同时系统也会发布本节课的任务清单，反馈实验数据。在课中实施环节，教师利用系统组织虚拟教学，创设沉浸环境，从而能够个性化辅导和动态追踪学情。在课后实施环节，教师利用系统组织虚拟教学，创设沉浸环境，从而能够个性化辅导和动态追踪学情。

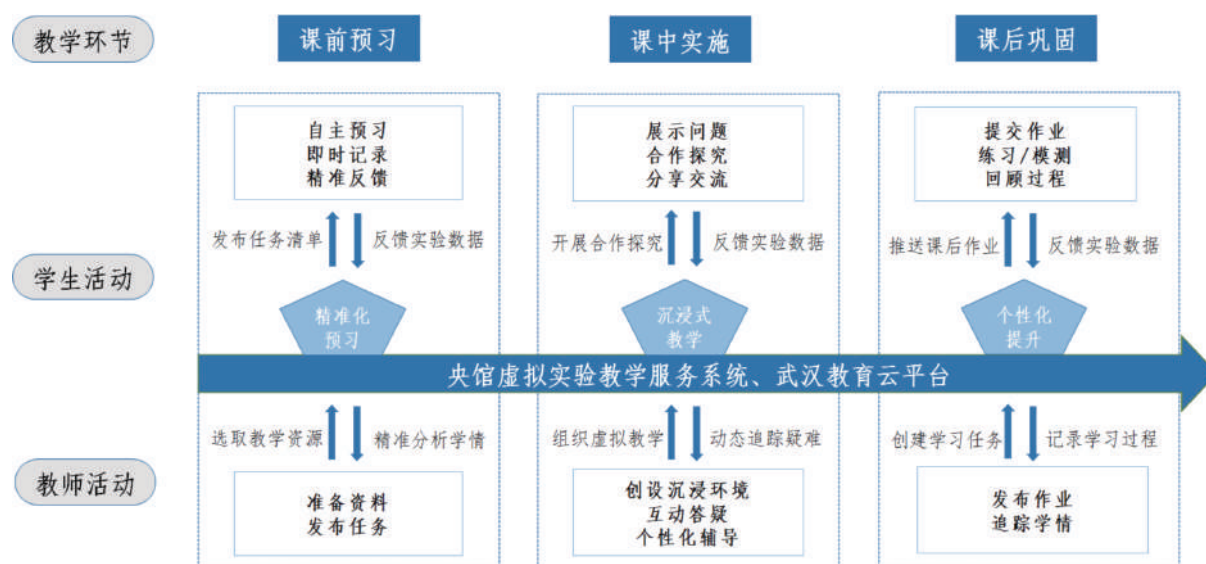


图4-1 VR支持的沉浸式翻转课堂教学模式

生疑难。学生在课堂中可通过沉浸式学习开展合作探究，分享交流。在课后巩固环节，教师通过系统平台创建学习任务，发布作业，并实时记录学习过程。学生通过平台推送的课后作业进行练习和模拟，并提交作业，从而达到个性化提升的效果。

(3) 实践启示

VR在基础教育领域的常态化应用首先需要从政策层面强化顶层设计，建立专项工作机制和考核奖励机制，从上自下形成技术创新教学的良好氛围。其次，需要构建校本VR资源库，确保VR资源的适切性，发挥其在解决教学重难点方面的优势，重构基于VR资源的创新教学模式。最后，需要为教师提供必要的支持和培训，搭建交流分享平台，构建VR教学应用实践共同体，提升教师信息化教学能力。

4.2 Cloud VR支持的虚实融合职业技能实训模式

(1) 背景资料

实训是职业教育人才培养的关键环节。基于多功能实训室的本地化部署模式在实践过程中暴露出诸多问题。首先是网络基础设施无法满足大班并发无线串流，仅能开展分组轮流实训，降低了教学效率。其次是各专业构建专属虚拟实训室，基础设施互不共享，造成设备资源极大浪费；设备日常充电、管理维护带来额外的工作负担；课程资源与硬件设备捆绑严重，资源设备兼容问题频发。第三，功能型教室仅能服务于本地课堂教学应用，无法通过网络利用个人终端设备做泛在实训练习，满足学生的个性化学习需求。最后，基于功能性教室的虚拟仿真实训无法满足教师对实训过程的集中监控和管理，无法实现对学生实训数据的记录和存储，不利于教师提供及时反馈和个性化指导。针对上述问题，深圳职业技术学院通过5G+XR的方式，通过建设5G专网和实时云渲染平台，将资源和应用部署在云端，渲染和计算由云端负责，破解了上述基于功能实训室的本地化部署模式在终端、时空、平台、人员等方面的限制。

随着显卡性能的提升，以及服务器端资源池化技术的成熟，实时云渲染将会在高校的虚拟仿真教学中得到更进一步的应用。图4-2展示了云-边-管-端分层协同的虚拟仿真实训技术架构。面向教学应用层面的“云”端，可以提供以虚代实的虚拟实训、以虚助实的虚拟仿真，以及虚实融合的多维实训。通过整合资源管理平台、教学管理平台和内容创建平台，可以实现实训资源聚合，支持跨专业、跨校共享；实现学情精准分析和教学即时反馈，支持教-学-评一体化良性互动；实现教学内容自主开发和教学资源持续更新，解决内容设备的兼容性问题。面向渲染计算层面的“边”端，通过统筹算力资源，共享基础设施，提供跨专业、学院的算力资源共享，提供内容渲染、多人协同、大空间定位等能力，满足多类教学需求。面向网络通信层面的“管”端，通过算网协同，提供大带宽、低时延传输网络，保障高密实训，为实训学习提供极致体验。面向设备使用层面的终端，支持VR、AR、数字大屏、移动终端等多类实训终端，适配多类实训内容，实现灵活教学。



图4-2 云-边-管-端分层协同的虚拟仿真实训技术架构

(2) 教学模式

经过十余年的探索，深圳职业技术学院总结了“一中心，四协同、两保障”职业院校虚拟仿真教学体系，即以教学应用为中心，从资源开发、平台建设、环境建设、团队建设四个维度统筹推进，通过建立规范标准和采用政策激励两项保障措施，最终促进高职虚拟现实教学可持续高效发展。在规范标准方面，主要包含建立虚拟仿真资源建设标准，VR教室建设标准、VR/AR课程标准、以及教学模式指导标准等。在政策激励方面，主要采用以赛促建和以赛促用的方式，实施教学信息化能力提升工程，以及开展信息化教学改革项目等政策激励措施。

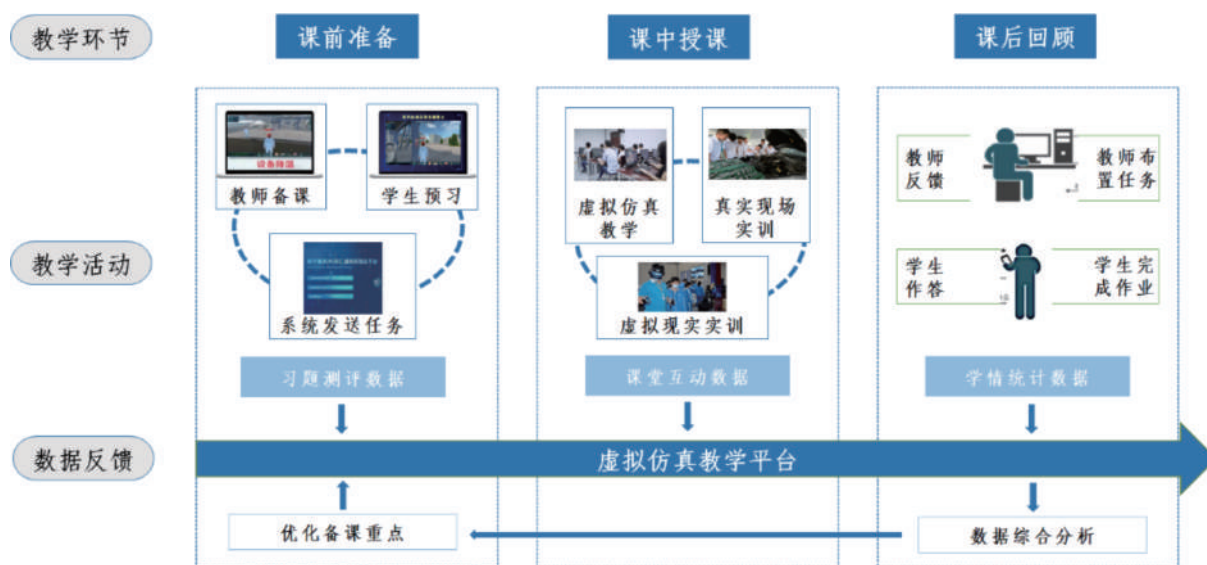


图4-3 Cloud VR支持的虚实融合职业技能实训模式

图4-3展示了基于Cloud VR的虚拟仿真教学平台的虚拟融合实训教学模式。在该模式中，XR虚拟仿真教学平台的使用和实践贯穿实训教学的课前、课中和课后全环节。在课前预备阶段，学生和教师根据学生基础和专业适当设置自学和研讨学时。其中，教师通过系统选取教学资源，精准分析学情，并且通过系统发布任务。学生利用系统进行精准化预习，同时系统也会发布本节课的任务清单，反馈实验数据。

在课中实施环节，教师利用虚拟仿真教学平台对实验内容中规定学生必须掌握的基本概念和理论知识进行讲解。利用虚拟仿真教学讲解实验目的、工艺流程、软件界面及操作、课程具体安排、注意事项等。重点对背景工艺流程、实验设备、软件中自动控制设备的调节和设置等讲解。学生通过对课件的学习，利用虚拟现实进行实验操作，并可以开展合作探究，分享交流。之后，学生到真实的实训环境开展实训学习，提升实训学习的效率。

在课后巩固环节，教师通过系统平台创建学习任务，发布作业，并实时记录学习过程。学生通过平台推送的课后作业进行练习和模拟，并提交作业，从而达到个性化提升的效果。实验完毕合格后，学生可按要求写出实验报告，指导教师可在平台中对报告进行批改。教师改完实验报告后，可利用平台对学生反馈，并集中对实验中存在的问题予以总结，针对这些问题可在后续实验中进行有针对性的讲解和强调。

(3) 实践启示

技术体系架构创新是实现职业院校虚拟仿真教学常态化开展的必然选择。XR虚拟仿真实训平台创新方案能够为校区、社区、校际等不同场景的实训教学奠定技术基础。基于云-边-管-端架构的XR虚拟仿

真实训技术架构能够满足学校“统一架构，开放共享，支撑学校高质量发展”的理念，“学校统筹建平台，专业群统一建基地，专业聚焦建内容，校企协同建生态”将成为职业院校虚拟仿真平台建设的新方案和新形态。

4.3 VR支持的教-学-评一体化实践教学模式

(1) 背景资料

作为一门对操作技巧要求非常高的实践性临床医学，口腔医学的实践教长期以来面临缺少可视化、定量化和自主化操作的训练环境。由于师资力量的配备，实践教学教师无法对每个学生的操作细节和过程做到全程监控、准确评估和及时纠正，导致教学效率不高。为解决上述难题，北京大学口腔医学院与北京航空航天大学合作研发了应用于口腔教学的“视听触多感觉反馈口腔虚拟仿真系统，开启了将口腔医学实验教学与虚拟仿真技术相结合的漫长探索。经过十余年的探索，研发团队于2015年形成了国内首款可稳定模拟牙周临床关键技能的口腔虚拟仿真操作训练系统，以及国际上首套牙周虚拟仿真实验教学系统Unidental，开创并引领了口腔实践教学新模式。

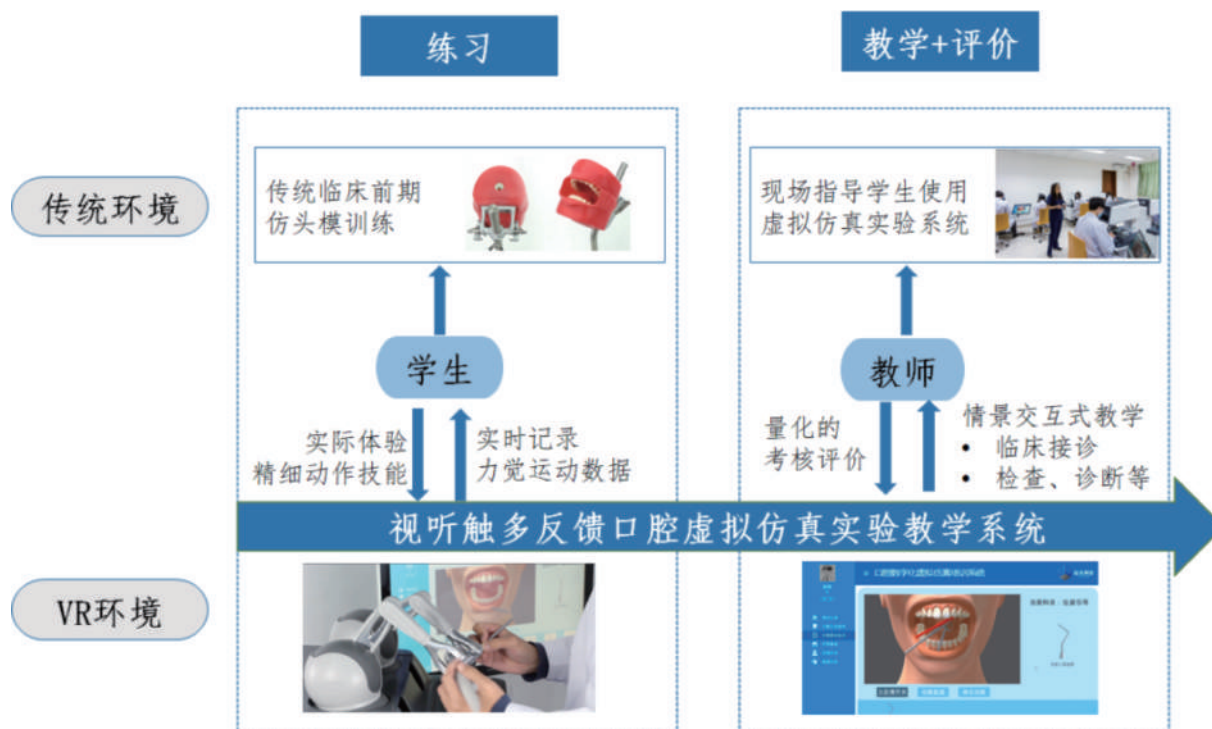


图4-4 VR支持的教-学-评一体化实践教学模式

(2) 教学模式

如图4-4所示，基于视听触多反馈口腔虚拟仿真实验教学将传统临床训练环境与VR环境有机结合，打通教师教学、学生练习和教学评价三环节，形成了教-学-评一体化的口腔实践教学新模式。对学生练习而言，口腔医学生在实际接触临床患者前，至少要在仿头模实验室里进行为期一年的学习，实践各种口腔疾病的诊疗过程，巩固理论知识，训练临床技能。之后再利用口腔虚拟仿真操作训练系统进一步学习，掌握精细动作技能。仿真系统可模拟常见及非常见病例，具有可高精度量化、无材料消耗等特色，可以使学生重点掌握实际操作所需要的幅度、力度和方向，支持多次重复练习。对教师教学而言，教师不仅要在传统环境中完成理论讲授，以及现场指导学生使用虚拟仿真系统学习，还要基于虚拟仿真教学系统开展集体备课，设计情景交互式教学内容，包括临床接诊、检查、诊断等，探索虚拟仿真教学的新规律和新方法。对教学评价而言，虚拟仿真系统可以实时记录学生的力觉运动数据，并做到全程监控、准确评估，帮助教师轻松开展量化的过程性评价和学期结束的总结性评价。通过对学生力觉运动数据的挖掘分析，能够精准地找到学生在日常练习过程中的操作难点和易错点，为后续的教学设计提供数据支持，真正实现以评促教。同时，仿真系统支持人机交互回放和分析，让学生通过自主训练、评价和反馈，追溯和观察操作中的错误，完成自我监督和纠正，真正实现以评促学。

(3) 实践启示

基于头戴式显示设备的VR满足了人们对视觉和听觉交互的需求，却忽略了触觉感受。而在建筑、医学等特殊的学习场景中，触觉交互是非常重要的。本案例是VR触觉交互在教育领域应用的典范，形成了VR支持的教-学-评一体化口腔实践教学模式，解决了传统口腔实践教学面临的缺少可视化、量化和自主化操作的难题。但虚拟仿真实实践教学不能替代传统的临床实践教学，需要通过“以虚补实、以虚促实、虚实结合”的方式来共同提高教学效果。未来，虚拟仿真系统还可应用在需要力反馈交互的其它教学场景，比如需要身体参与的抽象概念理解、教育游戏，以及科技馆、博物馆等场馆体验。

4.4 云边端技术架构下的教学模式创新

教学模式创新是技术赋能教育的核心指向，但是模式的创新需要从顶层教学理念引领到学习资源与环境的适配，再到底层技术架构的支撑。VR教学的常态化开展需要从底层技术架构突破，带动资源与环境的重构。基于“云-边-管-端”架构的技术支撑体系，能够满足学校“统一架构，开放共享，支撑学校高质量发展”的理念，通过整合资源管理平台、教学管理平台和内容创建平台，可实现VR资源的聚合，以及跨专业和跨校共享；边缘计算基础设施可实现区域或高校内的算力资源共享，提供3D内容渲染、

多人协同、大空间定位、AI分析等能力，满足多种类型的教学需求；面向设备使用层面的终端，支持VR、AR、数字大屏、移动终端等多类教学终端，适配多类教学内容，最终实现教学模式的创新。未来，以高等教育领域为例，可采用学校统筹建平台、专业群统一建基地、专业聚焦建内容的逻辑，校企协同生态将成为VR教育走向大规模常态化应用的新方案和新路径。

05

虚拟现实教育应用 建议与展望

VR在降低真实学习成本，扩大学生实践学习时空范围，提升学生学习体验方面具有显著优势。当前，由于技术、资源、环境、政策等各方面条件的限制，VR在教育领域的应用尚未进入大规模常态化应用阶段，仍需要政府、学校、企业、家庭、研究机构等多方协同参与，共同打造引领教育高质量发展的VR教育应用生态体系。通过技术架构创新，推动VR在教育领域的深度融合和常态化应用，构建以教室为中心，贯穿学校、家庭、社会等场域的线上线下融合的沉浸式学习环境，为智能时代的学习者提供更加优质、灵活和个性化的学习支持服务，促进教育公平和高质量发展。

5.1 应用建议

建议1：政企校通力合作，打造引领教育高质量发展的VR教育应用生态体系

技术创新教育是一项复杂的系统工程，需要政府、学校、企业、家庭、研究机构等多方协同参与。

第一，搭建国内VR资源开发的通用平台，建立相关技术标准。当前，VR资源开发平台多基于国外的平台，不利于我国VR产业的可持续发展。同时，业界需要建立从硬件设备到软件系统再到资源开发等一系列相关技术标准，形成行业规范，确保VR教育应用的可持续发展。**第二，跟进配套软件资源的研发，实现对VR学习过程的实时监控和追踪评价。**首先，研发国内VR资源开发的通用软件工具，提供模块化的操作方式，让一线教师可以自主开发符合自身需求的VR资源用于教学。其次，研发用于对VR资源统一管理的配套软件，提高学校在资源管理、更新与维护方面的管理效率。最后，研发用于监测和评价学生VR学习情况的教学管理软件，减轻教师在VR教学过程中的监管负担，提升教学效率。**第三，建立VR软硬件资源教育行业准入机制，确保学习体验质量。**当前VR硬件设备品种繁多，各学校对VR硬件设备的采购并未形成统一标准。调查显示，VR硬件设备带来的生理不适感，以及对用眼健康潜在的影响是其教学应用面临的一大挑战。因此，有必要建立VR软硬件设备教育行业的准入标准，为学校采购提供依据，确保学习体验质量。

建议2：积极探索VR内容资源共建共享机制，构建优质教学资源库

VR内容资源的可获得性和适切性是影响其教育应用的关键。建议积极探索VR内容资源共建共享机制，构建优质教学资源库。**第一，探索多样态的资源共建共享模式，实现合作共赢。**基础教育领域，需要以政府为主导，构建一批基于课程大纲的优质教学资源库。高等和职业教育领域，可以打造以学校为主体，多方参与的资源建设与应用生态，搭建以VR为纽带的校企合作新模式。**第二，积极探索以区域为单位的内容资源共建共享机制，推进规模化应用。**一方面，以区域为单位，政府主导、学校、企业、研究机构多方参与，设计开发符合区域发展需求的VR内容资源。另一方面，以区域为单位，开展VR教学应用培训，共享VR教学应用优质课例。中央电教馆目前开展的“中小学虚拟实验教学应用课例征集项目”就是该方面的有益尝试。

建议3：努力探寻VR教育应用的最佳实践路径，确保技术应用的效果和效率

VR内容的高沉浸性、强交互性特点决定了其在教学中的应用存在特定的教学模式。建议努力探寻

VR教育应用的最佳实践路径，确保技术应用的效果和效率。**一是采用实证研究的方法，验证适合VR教学的有效策略和模式，确保VR教学应用效果。**调查显示，中小学教师认为VR在教学中的应用最适合用来开展体验式学习。职业教育领域的教师则认为VR最适合用来开展实践实训。**二是采用循证实践的模式，在VR教学应用的实践过程中迭代验证和总结最佳实践路径，为VR教育教学应用提供实践指南和可供操作的范例。**

建议4：加强对VR教育应用中交叉类共性科学问题的研究，为深化技术应用提供理论指导和决策依据

VR教育应用是一个涉及计算机科学、教育学、心理学、脑科学、生理学等多学科领域知识的实践场域，需要加强对共性导向、交叉融通类科学问题的研究，为深化技术应用提供理论指导和决策依据。**一是加强VR设备长期使用对学生视力健康影响的研究，为VR显示技术的研发提供方向。二是加强VR环境中的学习发生机制研究，揭示技术赋能学习的原理与规律，为VR环境设计提供科学依据，为VR教育应用提供理论支持。三是加强VR教学常态化开展对学生的认知发展、心理健康和社会情感技能发展影响的研究，为即将到来的元宇宙时代的人才培养提供方向引领和决策依据。**

建议5：提供多元化的政策支持和技术服务支持，创新VR教育应用模式

随着国家双减政策的推行，学校需要在政策层面探索和引导虚拟教育教学应用的新思路和新方法。建议提供多元化的政策支持和技术服务支持，创新VR教育应用模式。**第一，鼓励师生基于VR开展第二课堂的教学创新和学习探索活动，为校本VR内容资源的建设提供政策和资金支持。第二，充分发挥公共服务机构的教育服务功能，倡导科技馆、博物馆、图书馆等公共服务机构为学生提供VR学习资源和场地设备。学校与上述场馆机构开展密切合作，共同探索VR教育教学创新应用模式。第三，探索基于VR的实践技能测评，创新教育测评方式。**专家建议以往必须通过实验室开展的实验技能考核，以及职业技能培训效果测评未来可以考虑采用VR的方式替代，以减少相关人力、物力和财力的浪费，提高技能测评的效率。

5.2 未来展望

VR支持的沉浸式学习是智能时代的重要学习方式之一。沉浸式学习环境的构建将成为教育数字化转型与智能升级的重要推动力。随着信息技术的发展，学习环境正在由封闭式物理环境过渡到开放式网络

在线空间，由学校等正式学习场域延伸至家庭、社会等非正式学习场域。当前，全国各级各类学校共有53.7万余所，网络多媒体教室超过580万间，约占全国教室数量的68%。中小学(含教学点)互联网接入率达到100%，99.5%的中小学拥有多媒体教室。过去20余年的信息化持续建设已然为VR支持的沉浸式学习环境的构建奠定了坚实的基础。通过推动VR在教育领域的深度融合和常态化应用，构建出以教室为中心，贯穿学校、家庭、社会等场域的线上线下融合的沉浸式学习环境，能够为智能时代的学习者提供更加优质、灵活和个性化的学习支持服务，促进教育公平和高质量发展。

技术架构创新是VR教育教学常态化应用的必然趋势。云控网联技术架构将简化时空限制，有望推动虚拟实验教学和虚拟仿真实训从小规模试点走向大规模常态化应用。通过云渲染使算力云化，可在多教室、多学校分时复用，降低投资成本。通过学校统一门户平台，聚合VR资源，支持跨校共享，统一教学管理，支持教学分析，支持内容开发，持续更新资源。通过统筹算力资源，共享基础设施，满足VR资源在全校、甚至区域范围的共享，提供内容渲染、多人协同、大空间定位等能力，满足多类学习情景的需求。通过算网协同，提供大宽带、低时延的网络传输，保障高并发需求。通过算显分离，在终端层面改善VR设备佩戴体验，支持VR、AR、数字大屏、移动终端等多种终端类型，让VR教学与其他类型的教学兼容，实现灵活教学。通过云-边-管-端分层协同，将VR教学带入每一间教室。

参考文献

- [1][4][15][28] Natale, A. F. D., Repetto, C., Riva, G., et al. (2020). Immersive Virtual Reality in K12 and Higher Education: A 10-Year Systematic Review of Empirical Research[J]. *British Journal of Educational Technology*, 51(6):1-28.
- [2] 北京师范大学-华为VR教育教学应用调研组. VR/AR教育教学应用调研报告[R].2022
- [3] [9] Cheng K H, Tsai C C. A case study of immersive virtual field trips in an elementary classroom: Students' learning experience and teacher-student interaction behaviors[J]. *Computers & Education*, 2019, 140: 103600.
- [5] 杨刚,邱创楷,郑晓丽,陈飞凡.基于虚拟全景的学习方式促进学习动机与写作成绩的实证研究[J].*电化教育研究*,2020,41(01):91-98+121.
- [6] 李欣,沈夏林,黄晓,王勋.沉浸式VR可视化空间线索促进程序性知识学习的实证研究[J].*电化教育研究*,2019,40(12):64-71.
- [7] Huang W. Examining the impact of head-mounted display virtual reality on the science self-efficacy of high schoolers[J]. *Interactive Learning Environments*, 2022, 30(1): 100-112.
- [8] Chee Y S. Embodiment, embeddedness, and experience: Game-based learning and the construction of identity[J]. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 2007, 2(01): 3-30.
- [10] Mallavarapu A, Lyons L, Uzzo S, et al. Connect-to-connected worlds: Piloting a mobile, data-driven reflection tool for an open-ended simulation at a museum[C]//*Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 2019: 1-14.
- [11] https://mp.weixin.qq.com/s/EPHdmMzqh_pvtE-bAmoig
- [12] Kolb, D.A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- [13] Kolb, A. Y., & Kolb, D. A. (2006). Learning styles and learning spaces: A review of the multidisciplinary application of experiential learning theory in higher education. In R. R. Sims, & S. J. Sims (Eds.), *Learning styles and learning: A key to meeting the accountability demands in education* (pp. 45–92). New York: Nova Science Publishers.

- [14] 钟正,陈卫东.基于VR技术的体验式学习环境设计策略与案例实现[J].中国电化教育,2018(02):51-58.
- [16] <https://vlab.eduyun.cn/portal/news/detail/60e6fd816986780010738802?board=5e883d7bcac14bc619c6cf89>
- [17] Wittrock, M. C. (1974). Learning as a generative process. *Educational Psychologist*, 11, 87-95.
- [18] 谭敬德,陈清,张艳丽.维特罗克生成学习理论认识论特征分析及其对教学设计的指导意义[J].电化教育研究,2009(08):22-25.
- [19] 王雪,杨文亚,卢鑫,王崑羽,张蕾,苏秋实.生成性学习策略促进VR环境下学习发生的机制研究[J].远程教育杂志,2021,39(03):65-74.
- [20] 潘镇,李金生,王丽萍.新文科理念下文科实践教学探索与创新[J].中国大学教学,2022(06):66-70+80.
- [21] Lave, J., Wenger, E. *Situated Learning: Legitimate peripheral Participation*[M]. Cambridge University Press:1991.
- [22] 高文.情境学习与情境认知[J].教育发展研究,2001(08):30-35.
- [23] 叶浩生.身体与学习:具身认知及其对传统教育观的挑战[J].教育研究,2015,36(04):104-114.
- [24] 叶浩生.具身认知:认知心理学的新取向[J].心理科学进展,2010,18(05):705-710.
- [25] 王美倩,郑旭东.基于具身认知的学习环境及其进化机制:动力系统理论的视角[J].电化教育研究,2016,37(06):54-60.DOI:10.13811/j.cnki.eer.2016.06.008.
- [26] Dalinger T, Thomas K B, Stansberry S, et al. A mixed reality simulation offers strategic practice for pre-service teachers[J]. *Computers & Education*, 2019, 144:1-15.
- [27][28][35] 中国信息通信研究院,华为技术有限公司,京东方科技集团股份有限公司.虚拟(增强)现实白皮书(2021)[EB/OL].http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/202103/t20210330_372624.htm,2022-08-11.
- [29][33] 范丽亚,马介渊,张克发,缪相林.虚拟现实硬件产业的发展[J].科技导报,2019,37(05):81-88.
- [30] Lin J J W, Duh H B L, Parker D E, et al. Effects of field of view on presence, enjoyment,

memory, and simulator sickness in a virtual environment[C]//Proceedings IEEE virtual reality 2002. IEEE, 2002: 164-171.

[31] Nagahara H, Yagi Y, Yachida M. Super wide viewer using catadioptrical optics[C]//Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology. 2003: 169-175.

[32] Tong C C, Read J, Kaspiris-Rousellis C, Alongso M F. The impact of visual display refresh rate on image quality and viewer comfort [EB/OL]. [2022-04-20]. [https://research.ncl.ac.uk/expeditionresearchscholarships/postergalleries/2018posters/Cheng Chong Chua.pdf](https://research.ncl.ac.uk/expeditionresearchscholarships/postergalleries/2018posters/Cheng%20Chong%20Chua.pdf).

[34] Ryu Y, Ryu E S. Overview of Motion-to-Photon Latency Reduction for Mitigating VR Sickness[J]. KSII Transactions on Internet and Information Systems (TIIS), 2021, 15(7): 2531-2546.

[36][39] 工业和信息化部.虚拟现实与行业应用融合发展行动计划（2022—2026年）[EB/OL].https://wap.miit.gov.cn/zwgk/zcwj/wjfb/tz/art/2022/art_775aaa3f77264817a5b41421a8b2ce22.html,2022-11-05.

[37] 张大伟,沈昌祥,刘吉强,张飞飞,李论,程丽辰.基于主动防御的网络安全基础设施可信技术保障体系[J].中国工程科学,2016,18(06):58-61.

[38] 李超,韩翔,刘钊,赵利.基于可信计算的跨网数据安全交换技术[J].计算机工程与设计,2021,42(10):2762-2769.

附录

附录一 VR资源平台

*需使用大陆境外ip访问。

学段	应用领域	具体应用	资源提供机构	参考网址
K-12	科普	空间站体验、空间发射系统体验、天文馆展览等非正式学习	NASA	The International Space Station Experience https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/explorer/Investigation.html?id=7877 NASA VR / 360 Multimedia for Planetarium Shows and Informal Education https://informal.jpl.nasa.gov/museum/360-video*
	科普	细胞进化、免疫系统体验、太空机械模拟等非正式学习	Steam	https://help.steampowered.com/zh-cn/
	课堂学习	实验教学	中央电教馆	https://vlab.eduyun.cn/portal/home
	课堂学习	学科学习	基础教育VR资源云平台	https://www.kmaxk12eduvr.com/#/course
	场馆学习	艺术与文化	谷歌艺术与文化	https://artsandculture.google.com/project/360-videos*
	在线学习	由专注于在AR/VR中提供沉浸式体验的公司提供的专业服务	ClassVR	https://www.classvr.com
			Kai XR	https://www.kaixr.com
	学科教育	海洋生物学习	BioDive	https://www.killersnails.com/pages/biodive
	特殊教育	帮助有学习障碍的中学生发展和练习社交技能	Project VOISS	https://www.projectvoiss.org
	阿斯伯格综合症青年患者社交和生活技能课程	Floreo	https://www.floreotech.com	

学段	应用领域	具体应用	资源提供机构	参考网址
高等 教育		虚拟仿真教学	高等教育电子音像社	http://www.ilab-x.com/
	STEM 教育	Mozilla Hubs冠状病毒的实践课程	穆尔西亚天主教大学 (Universidad Católica de Murcia)	https://www.youtube.com/watch?v=ikvPKzKHHeQ*
		Flying Among the Stars天文学	普渡大学 (Purdue University)	https://www.purdue.edu/newsroom/releases/2021/Q2/flying-among-the-stars-purdue-university-professor-using-virtual-reality-to-teach-astronomy.html*
	医疗保健 教育	Oxford Medical Simulation 病人护理实践平台	牛津大学	https://oxfordmedicalsimulation.com*
		Microsoft HoloLens 现场临床教学	伦敦帝国理工学院 医学院	https://www.imperial.ac.uk/news/209473/school-medicine-delivers-live-clinical-teaching
	艺术、人文 和其他学科	Center for Immersive Media 艺术课程学习	艺术大学	https://www.uarts.edu/centers/cim
		Virtual and Augmented Reality Language Training (VAuLT) 语言交流与学习	俄勒冈大学应用 第二语言研究中心	https://casls.uoregon.edu/classroom-resources/vault
	软技能和 职业发展	Career Mindset Development 采用交互的对话方式在虚拟场景中练习工作场所的沟通技巧	Bodyswaps公司	https://bodyswaps.co/wp-content/uploads/2021/07/VocTech-Pilot-Final-Report-PUBLIC.pdf
		XR Innovation Projects 软技能和领导力培训	密歇根大学创新基金	https://ai.umich.edu/xr-innovation-projects
	技术教育和 专业培训	zSpace	健康科学	

学段	应用领域	具体应用	资源提供机构	参考网址
高等 教育	技术教育 和专业培训		先进制造	1、NOCTI 合作，在zspace中能够获得33种行业证书2、美国有 50 多所技术学院安装了 zSpace 工具
			农业科学	
			交通运输	
		FerrisNowVR Initiative交互式 STEM教育教学	费里斯州立大学	https://www.ferris.edu/HTMLS/news/archive/2020/october/usda.htm*
教师 培训	新教师或 师范生高 压力课堂 情境训练	TeachLivE	佛罗里达大学教育 模拟技术研究中心	https://ccie.ucf.edu/crest/about
	教师在教 学过程中 的性别和 种族歧视	Teacher's Lens	媒体上的 XR 训练营	https://medium.com/xrboot-camp/teachers-lens-from-debi-asvr-is-available-now-97614a8813b6

附录二 VR内容开发平台

VR内容开发平台	参考网址
国内VR视频制作、传播与内容发布平台	https://www.utovr.com/
面向世界各地的VR全景内容创作分享平台	https://720yun.com/
VR创想+是一款面向K12学生的建构式学习工具软件，能够帮助学生通过完成建构式任务更好的掌握知识。	https://vr.101.com/
中视典Open VR快速开发平台，具备成熟的“平台+内容+终端+应用”完整生态系统，为教育教学提供有力技术保障和服务。	http://www.vrp3d.com/
AutoXR内容快速创建系统致力于打造XR时代的PPT，能够帮助教师把一些抽象或者三维的模型、系统加载到AutoXR中，通过事件定义演绎方式和触发方式，一键输出到VR头盔、CAVE系统、全息设备等XR呈现平台上进行展现。	http://www.zanvr.com/rjcp/
HUAWEI开发者联盟VR Engine是面向HUAWEI VR内容开发者开发的一站式内容开发和上传平台。	https://developer.huawei.com/consumer/cn/vr
百度VR的VR创作中心有专业全面的3D环物、3D模型、全景图、全景视频、景深漫游等VR内容编辑创作工具，生成可在手机和VR头显上体验的3D化、交互式、沉浸式的虚拟现实内容。	https://vr.baidu.com/account/login?u=https%3A%2F%2Fvr.baidu.com%2Fvrcc%2F%3Ftn%3Dvr_official_website
Oculus Share在应用开发方面，Oculus也有专属的SDK供开发者使用。	https://forums.oculusvr.com/t5/Oculus-Share/bd-p/OculusShare
Steam Store & Viveport VIVE Wave 是一个开放式的 VR 平台，兼备完善的开发工具，使得移动端 VR 内容开发变得更加简单，更提供高性能的 VR 设备优化。	https://developer.vive.com/cn/wave/
Gear VR Store	https://www.oculus.com/experiences/gear-vr/
ENTiTi Creator用户使用ENTiTi平台上传图片和视频以及相应的动作指令，轻松创建AR/VR内容,比如3D图像、动画或者游戏。该平台也适合小型企业用户，比如零售行业改变传统的产品在线展示方式，或者教育培训行业。	https://www.metaport1.com/augmented-reality
HTML5 Pano是国内首家跨平台三维全景漫游系统开发与WebVr制作平台。只需上传全景图片或利用API，就能生成专业的跨平台三维全景漫游系统。	https://www.fs5uz.com:9001/user/register?i_code=69569140
宇见VR旨在为更多VR制作爱好者提供一个在线一键生成VR全景图片，VR视频和物体环视等VR场景应用的VR全景内容制作平台。	http://yjvr.top/

报告研究团队

专家团队

- | | | | |
|-----|-------------------------|-----|---------------------|
| 黄荣怀 | 互联网教育智能技术及应用国家工程研究中心 | 周小红 | 华为技术有限公司ICT新机会孵化部 |
| 曾海军 | 互联网教育智能技术及应用国家工程研究中心 | 孙鹏飞 | 华为技术有限公司企业BG公共事业系统部 |
| 武仲科 | 北京师范大学人工智能学院 | 赵祎鑫 | 华为技术有限公司企业BG公共事业系统部 |
| 王学松 | 北京师范大学人工智能学院 | | |
| 庞明勇 | 南京师范大学教育科学学院 | | |
| 王宏宇 | 虚拟仿真实验教学创新联盟 | | |
| 马小强 | 教育部教育技术与资源发展中心（中央电化教育馆） | | |
| 申佳丽 | 北京师范大学人工智能学院 | | |

编委会

- | | | | |
|-----|----------------------|-----|---------------------|
| 张慕华 | 首都师范大学初等教育学院 | 杨世海 | 华为技术有限公司ICT新机会孵化部 |
| 祁彬斌 | 互联网教育智能技术及应用国家工程研究中心 | 梁世雄 | 华为技术有限公司ICT新机会孵化部 |
| 吕 萌 | 西安交通大学硕士生 | 陈 浩 | 华为技术有限公司企业BG公共事业系统部 |
| 李一萌 | 中国传媒大学硕士生 | 孟 瑜 | 华为技术有限公司战略研究院 |
| 张 娇 | 首都师范大学硕士生 | 惠艳妮 | 华为技术有限公司企业BG公共事业系统部 |
| 张 怡 | 北京师范大学硕士生 | | |