

《现代远程教育》网络首发论文

题目：国内虚拟仿真实训：现状、研究及启示
作者：李艳，陈琳，朱福根
DOI：10.13927/j.cnki.yuan.20231017.001
网络首发日期：2023-10-18
引用格式：李艳，陈琳，朱福根. 国内虚拟仿真实训：现状、研究及启示[J/OL]. 现代远程教育. <https://doi.org/10.13927/j.cnki.yuan.20231017.001>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

国内虚拟仿真实训：现状、研究及启示

李艳¹, 陈琳¹, 朱福根²

(1. 浙江大学, 浙江 杭州 310058; 2. 浙江交通职业技术学院, 浙江 杭州, 311112)

[摘要] 新一代技术的发展推动了“虚拟现实+教育培训”场景建设与应用, 虚拟仿真实训也备受关注, 其建设应用为教育教学提供了支撑。而后, 通过梳理国内虚拟仿真实训相关的 485 篇核心文献发现, 已有研究主要聚焦于虚拟仿真实训系统开发、虚拟仿真实训基地(中心)建设和虚拟仿真实训教学应用三个领域。已有研究显示: (1) 虚拟仿真实训系统开发以桌面式虚拟仿真系统为主, 对资源的开放性和共享性要求较高; (2) 国内虚拟仿真实训建设成效显著, 其内涵建设仍有提升空间; (3) 虚拟仿真实训教学已广泛运用于教育教学, 其中职业教育应用最为广泛; (4) 已有虚拟仿真实训教学研究以描述性的案例研究和思辨研究为主, 实证研究较少。由研究现状分析得到三方面的启示: (1) 虚拟仿真实训教学应用需要教学、学科以及技术知识三个方面的深度融合; (2) 教育工作者应用虚拟仿真实训教学面临新挑战; (3) 虚拟仿真实训平台数据的挖掘与利用将推动实训教学向智能实训方向发展。

[关键词] 虚拟仿真实训; 系统开发; 基地(中心)建设; 教学应用

[中图分类号] G43 **[文献标识码]** A

一、引言

虚拟仿真实训是指利用计算机技术和虚拟现实技术, 通过创建虚拟环境和场景, 模拟真实世界的操作和流程, 使学习者能够在虚拟环境中进行实践操作、演练技能、测试想法和研究等活动。与传统实训方式相比, 虚拟仿真实训具有成本低、灵活性高、安全性好、数据可追溯等优点, 为实训教学“三高三难”问题(高投入、高损耗、高风险及难实施、难观摩、难再现)提供了解决思路^[1]。教育部印发《教育信息化 2.0 行动计划》也要求职业院校、高等学校加强虚拟仿真实训教学环境建设, 推进信息技术和智能技术深度融合教育教学全过程^[2]。2021 年 3 月, 《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》将“虚拟现实”列入数字经济重点产业^[3]。2022 年 8 月, 科技部、教育部等六部门发布《关于加快场景创新以人工智能高水平应用促进经济高质量发展的指导意见》, 倡导在教育领域积极探索“虚拟仿真实训”等场景, 鼓励“仿真训练平台”等人工智能基础设施资源开放共享^[4]。2022 年 11 月, 工信部、教育部等五部门联合发布《虚拟现实与行业应用融合发展行动计划(2022—2026 年)》, 提出构建“虚拟现实+教育培训”场景, 计划在中小学校、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^[5]。这一系列政策措施旨在促进虚拟仿真实训在教育中的深入应用, 为学习者提供更具创新性的学习环境以及更美好的学习体验。

近年, 虚拟仿真实训不仅得到了国家的大力支持, 也受到了教育研究者和实践者的广泛关注, 在各级各类教育领域中均有较多的尝试, 相关的研究也相继涌现。首先从应用层面介绍国内虚拟仿真实训的发展现状, 随后梳理国内虚拟仿真实训相关文献, 采用质性研究方法, 从系统开发、基地(中心)建设和教学应用三个视角对已有文献进行梳理、总结和评价, 并得到启示。

二、国内虚拟仿真实训建设现状

虚拟仿真实训在国内的应用范围较广, 应用场景包括普通本科院校的实验教学、工程实训教学、专业实习实践教学, 职业院校的实训教学、竞赛教学、1+X 技能等级证书, 学校教育中的安全教育、思政教育、创新创业教育以及继续教育与成人教育中的远程技能培训、企业职员培训等。2022 年底, 中共中央办公厅、国务院办公厅发布了《关于深化现代职业教育体系建设改革的意见》, 其中强调要做大做强国家职业教育智慧教育平台, 建设职业教育虚拟仿真实训基地等重点项目, 以扩大优质资源共享并推动教育教学与评价方式变革^[9]。宏观层面, 国内虚拟仿真实训资源主要包括国家智慧教育平台的在线仿真资源和各地方院校的虚拟仿真实训基地(中心)两大方面。

[基金项目] 国家自然科学基金面上项目“基于智能教学系统的精准教学模式与发生机制研究”(编号: 61977057); 2022 年度浙江省中高职课程改革项目重大课题“汽车运用与维修专业中高职一体化课程改革研究”及 2023 年度浙江省教育厅中高职一体化课改项目(编号: 2022VPZGZ008)。

[作者简介] 李艳, 博士, 浙江大学教育学院教授, 博士生导师, 副院长; 陈琳, 浙江大学教育学院博士研究生; 朱福根(通信作者), 浙江交通职业技术学院汽车学院教授, 院长。

2022年3月28日，“国家智慧教育平台”正式上线，提供了丰富的虚拟仿真实训资源，包括国家高等教育智慧教育平台的“虚仿实验”（N=297）和国家职业教育智慧教育平台的“虚拟仿真实训中心”（N=1557）（如表1）。“虚仿实验”的虚拟仿真实验资源主要集中于工学、理学类专业，学生通过计算机完成虚拟仿真实验，掌握实验原理和操作技能。截至2023年10月，“虚仿实验”服务已覆盖全国2687所高校，实验人次超过1600万。“虚拟仿真实训中心”的虚拟仿真资源包括778项实训软件和779项3D模型，服务职业本科、高职、中职三个层次，涵盖装备制造、土木建筑、电子信息、交通运输、资源环境与安全等17个专业大类，学生通过数字化仿真模拟实操训练熟悉操作流程，加深理解知识和强化习得技能。

表1 国家智慧教育平台虚拟仿真实训资源分布（截至2023年10月）

平台	虚拟仿真实训应用	专业类别
国家高等教育智慧教育平台	虚拟仿真实验 (N=297)	工学(N=145)、理学(N=49)、管理学(N=23)、艺术学(N=22)、文学(N=14)、法学(N=12)、医学(N=12)、经济学(N=11)、农学(N=5)、教育学(N=2)、历史学(N=2)
国家职业教育智慧教育平台	虚拟仿真实训中心 (N=1557), 包括实训软件(N=778) 和3D模型(N=779)	装备制造(N=433)、土木建筑(N=212)、电子与信息(N=200)、交通运输(N=197)、资源环境与安全(N=168)、轻工纺织(N=106)、文化艺术(N=85)、医药卫生(N=78)、农林牧渔(N=33)、食品药品与粮食(N=31)、能源动力与材料(N=24)、财经商贸(N=20)、生物与化工(N=18)、水利(N=18)、教育与体育(N=17)、公共管理与服务(N=7)、旅游(N=6)

虚拟仿真实训基地（中心）在各职业院校已广泛开展且颇有成效。教育部印发《关于进一步推进职业教育信息化发展的指导意见》，要求有序引导各地各职业院校开发基于职场环境与工作过程的虚拟仿真实训资源，并在全国遴选推广示范性虚拟仿真实训基地^[6]。截至2022年底，职业院校平均每个专业拥有的虚拟仿真实训室平均值为13.69间，虚拟仿真实训基地（中心）的专业平均拥有数量为9.59间^[7]；我国已经成功建成1个国家职业教育虚拟仿真示范实训基地，并启动215个职业教育示范性虚拟仿真实训基地培育项目^[8]。位于江西的国家级职业教育虚拟仿真示范实训基地共包含28个专业群虚拟仿真教学实验中心，可同时容纳10000名学生进行实习实训。215个国家级示范性培育项目遍布31个省份，广东、四川、天津、江苏、浙江、山东等7个省份超过10个项目（如图1所示）。从示范基地分布情况看，广东省、东部沿海经济发达省份以及四川省、河南省等职业教育发达内陆省份拥有更多的基地数量，而西部和部分中部省份的基地数量较少，这也反映了我国不同地区虚拟仿真实训资金投入力度的差异。参与这215个示范基地项目建设的学校包含高等职业教育专科学校（N=193）、中职学校（N=16）、高等职业教育本科学校（N=5）和地市级公共实训中心（N=1），其中高职院校在虚拟仿真实训基地的建设中扮演着重要的角色。

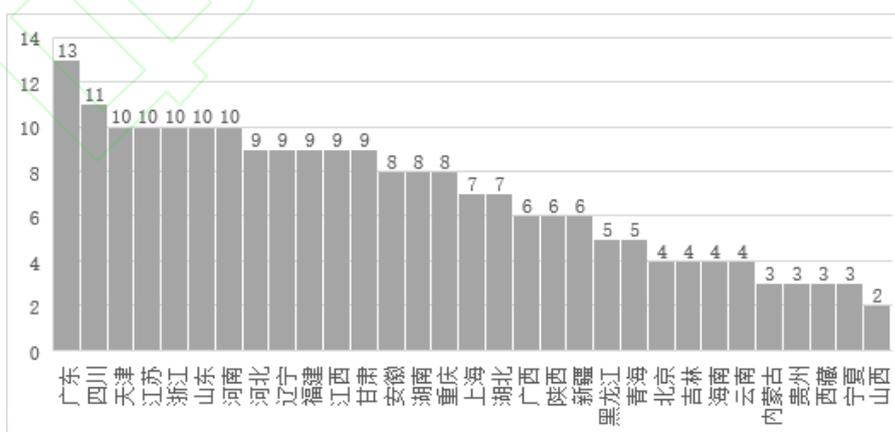


图1 全国职业教育示范性虚拟仿真实训基地培育项目省份分布情况（单位：个）

职业教育示范基地服务涵盖除新闻传播、教育与体育和公安与司法大类之外的16个专业大类，专业服务覆盖率达84.2%（如图2所示）。其中，装备制造（N=51）、交通运输（N=46）、土木建筑（N=22）和综合性跨专业（N=22）等专业大类的示范性项目数量较多，这与我国当前经济发展重点与产业需求密切相关。作为一个制造大国和基建强国，我国对装备制造、交通运输和土木建筑领域的技能人才需求量较大，且这些领域需要大量的实际操作和技能培训。虚拟仿真实训可以弥补传统实训的不足，

提供更安全经济的实训环境。此外，综合性跨专业虚拟仿真实训基地服务多个专业大类，不仅为学生提供跨专业技能培训场景，也提高了资源利用率并节约了投入成本，因而备受院校青睐。

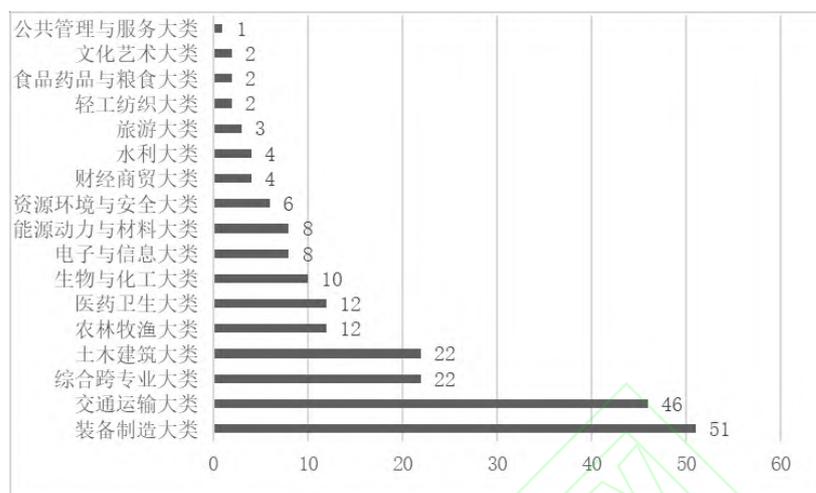


图2 全国职业教育示范性虚拟仿真实训基地培育项目专业大类分布情况 (单位: 个)

总体而言，虚拟仿真实训在高等教育实验教学和职业教育实训教学中已广泛应用，对培养国民的实践能力具有重要意义，它满足了不同层次和领域的教育需求，为各领域的人才培养提供了强有力的支持。在未来，可能需要进一步促进虚拟仿真实训在不同地区的均衡发展，推动虚拟仿真实训资源的普及和共享，以确保更多地区和学生都能受益于这种现代化的教学手段，更好地满足不同地区和专业领域的人才培养需求。

三、国内虚拟仿真实训相关研究

文献来源自中国知网 CNKI 检索平台，以“虚拟仿真实训”作为主题词，截至到 2023 年 3 月，检索到学术期刊、会议论文共计 506 篇。文献集中在 2014 年及以后发表，2018 年至今数量居高位且相对稳定，相关研究整体呈上升趋势（如图 3 所示）。本研究采用质性分析方法，首先对检索文献进行收集整体分析，共计获得文献 485 篇；其次，对文献摘要和关键词进行总体分析，了解其应用场景和研究内容；再次，通过对文献内容的总体分析梳理与筛选，确定虚拟仿真实训系统开发（N=113）、虚拟仿真实训基地（中心）建设（N=142）和虚拟仿真实训应用（N=225）三个研究维度；最后，深入剖析研究现状与文献述评，得到结论与启示。

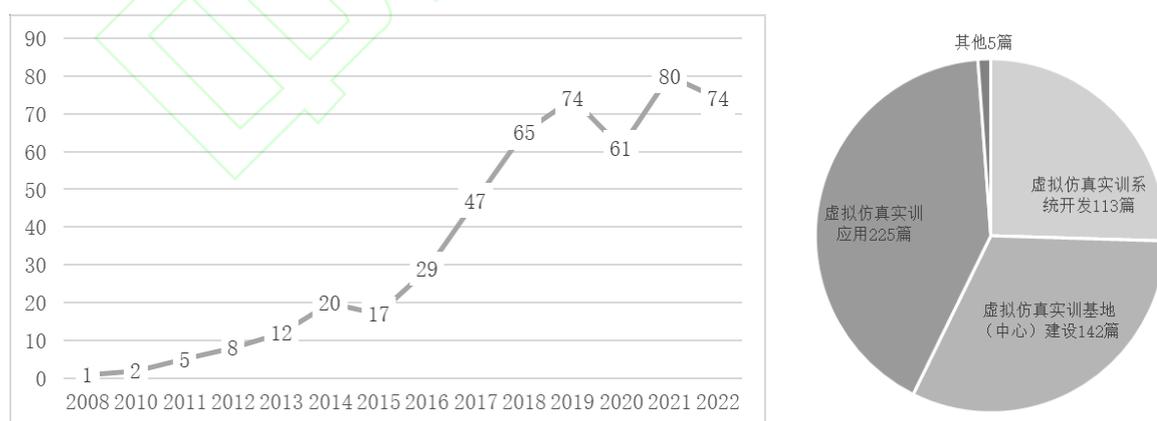


图3 虚拟仿真实训发表年份及数量 (单位: 篇)

已有研究除个别研究关注基础教育和校园安全教育外，主要集中在普通本科教育（N=117）、职业教育（N=312）、开放远程教育（N=7）和企业职员培训（N=16）等领域；其中职业教育领域应用最为广泛，包括职业本科（N=4）、高职教育（N=280）和中职教育（N=32），如表 2 所示。

表2 虚拟仿真实训资源应用场景分类

专业类别

本科 (N=117)	工学 (N=61)、管理学 (N=26)、医学 (N=22)、经济学 (N=7)、文学 (N=4)、农学 (N=1)	
职业教育 (N=312)	中职 (N=32)	装备制造 (N=9)、交通运输 (N=6)、医药卫生 (N=5)、电子与信息 (N=3)、生物与化工 (N=3)、农林牧渔 (N=3)、财经商贸 (N=2)、水利 (N=1)
	高职专科 (N=280)	交通运输 (N=43)、装备制造 (N=40)、土木建筑 (N=36)、医药卫生 (N=24)、电子与信息 (N=21)、财经商贸 (N=19)、动力能源动力与材料 (N=17)、食品药品与粮食 (N=11)、旅游 (N=9)、农林牧渔 (N=8)、资源环境与安全 (N=6)、文化艺术 (N=4)、生物与化工 (N=4)、轻工纺织 (N=3)、水利 (N=3)、教育与体育 (N=2)
	高职本科 (N=4)	装备制造 (N=3)、医药卫生 (N=1)
继续教育 (N=23)	开放远程教育 (N=7)	土木建筑 (N=2)、装备制造 (N=1)、其他 (N=4)
	在职培训 (N=16)	消防应急 (N=4)、供热工程 (N=3)、医药卫生 (N=2)、服饰陈列 (N=1)、高空气象作业 (N=1)、家具设计制造 (N=1)、施工企业安全教育 (N=1)、铁路检修培训 (N=1)、光伏企业培训 (N=1)、电梯从业培训 (N=1)

(一) 虚拟仿真实训系统开发研究

聚焦虚拟仿真实训系统开发的文献共计 113 篇,研究方法为案例研究(N=97)和思辨研究(N=16),主要关注虚拟仿真实训系统的底层开发技术,内容涵盖系统架构设计、场景搭建及三维建模等方面。

在虚拟仿真实训系统架构设计方面,架构模式有浏览器/服务器(B/S)模式、客户端/服务器(C/S)模式和结合 B/S、C/S 优势的混合式模式等三类。其中 C/S 模式架构设计应用最多,这类架构设计需要安装客户端程序,能够利用客户端的性能以减轻服务器端压力,响应速度快且有较高的安全性和稳定性^[10]。而 B/S 模式不需要安装客户端程序,只要通过 Web 浏览器(如 Chrome、Firefox、Edge 等)即可实现联网系统操作,具有易用性和跨平台特性,但是不适用一些较高性能和复杂计算的应用。随着技术的发展,自 2017 年开始越来越多研究采用混合式模式,它集合了 B/S 与 C/S 的优点,具备较好的跨平台性能,支持 PC、手机和平板等多种主流平台发布^[11]。

在场景搭建方面,技术实现分为四类:(1)基于可视化虚拟现实技术(N=50)。这类技术应用在文献中最为广泛,典型工具包括 Unity3D(N=46)、VRP(N=3)和 Vitools(N=1)等平台。其中 Unity3D 引擎具备较好的通用性 API,使软件具有较好的拓展性,不仅支持 VR 设备接口,而且开发的软件可以发布到 Windows、Mac、iPhone、WebGL 和 Android 平台,也能支持浏览器网页的发布^[12],因此也最多被采纳使用,如利用 Unity3D 引擎开发虚拟集装箱港口^[13]、高空气象作业风廓线雷达虚拟仿真实训系统^[14]和家具设计制造虚拟仿真实训系统^[15]。(2)基于专业软件平台技术(N=20)。典型平台如电子类 LabVIEW、工业机器人 ABB Robotstudio、数字孪生技术 DataMesh、工业软件西门子 EDA 和 PLM 等平台。典型应用如基于 LabVIEW 平台的电力系统综合自动化实验平台^[16]、基于 ABB Robotstudio 的工业机器人机床上下料虚拟仿真平台^[17]和采用 DataMesh 平台搭建城市轨道交通专业虚拟仿真系统^[18]。(3)基于通用图形技术 OpenGL(N=4)。典型工具如 OpenSceneGraph,典型应用如消防虚拟现实应急处置实训系统^[19]。(4)基于虚拟现实专用语言 VRML 技术(N=4)。典型开发工具如 VrmIpad,典型应用如虚拟公安派出所仿真实训系统^[20]。

在三维建模方面,系统开发主要借助三维建模软件,主要使用 3D Max、Solidworks、Maya、Zbrush 和 Revit BIM 建筑建模软件等,其中 3D Max 和 Solidworks 使用最多。3D Max 的三维建模、动画、渲染工具可以搭配其他三维建模软件满足虚拟仿真实训系统开发中的三维建模、动画和效果设计,因而在各类不同层次的虚拟仿真系统中广泛使用,如本科无线通信教学的桌面式三维系统“海上无线通信虚拟仿真实训平台”^[21]、高职护理助产专业沉浸式系统“急危重症护理虚拟仿真实训教学软件”^[22]、铁路技能人员培训沉浸式系统“铁路接触网维修仿真实训系统”^[23]。Solidworks 是一种三维计算机辅助设计软件,主要应用于工业制造领域的三维建模,如 3D 铸造仿真系统^[24]、光伏电站虚拟仿真系统^[25]和工业机器人虚拟仿真系统^[17]。在场景搭建与三维建模的技术协同方面,采用 3D Max 建模技术搭配 Unity3D 开发平台进行系统开发的频次最多(N=31)。

此外,根据虚拟仿真实训系统类型分类,包括基于实物的虚拟仿真、二维虚拟仿真和三维虚拟仿真三类,其中三维虚拟仿真最多(N=77),又分为桌面式三维虚拟仿真(N=55)、沉浸式虚拟仿真(N=19)、增强式虚拟仿真(N=1)和分布式虚拟仿真(N=2)(如表 3 所示)。早期的研究主要采用 2D 图像和简单的物理模型所构建的二维虚拟仿真系统,受限于技术水平,用户交互界面有限,模拟效果一般。自 2015 年开始,随着计算机图形学和仿真技术的发展,研究者采用更为逼真的 3D 图形和精确的物理模型构建三维虚拟仿真系统,能更准确地模拟现实世界中的场景和物体行为。而后,

VR/AR、计算机网络技术等快速发展，自 2019 年开始，越来越多的研究开发沉浸式系统、增强式系统和分布式系统。沉浸式虚拟仿真系统通过 VR 头显和手柄控制器等设备增强交互性与参与感；增强式虚拟仿真系统使用 AR 技术实现了真实场景与虚拟对象交互；分布式虚拟仿真系统支持多人联机岗位协同训练。例如在城市轨道交通行车作业虚拟仿真实训系统开发中通过 3D 场景数据同步技术，利用 Unity3D 引擎搭配 Photon Server 软件实现各种场景数据的同步功能，实现了多人基于 3D 场景协作演练功能^[26]。

表 3 已有文献中的三维虚拟仿真实训资源分类

类型	优点	缺点
桌面式虚拟仿真 (N=55)	成本低，应用广泛，不受时空限制	缺少完全的沉浸，缺乏真实的现实体验
沉浸式虚拟仿真 (N=19)	提供完全沉浸的体验，参与者身临其境、全心投入，有真实的体验感	需要头戴设备等支持，使用者易产生眩晕等不适感，使用成本高
增强式虚拟仿真 (N=1)	现实世界与数字世界的混合体，可以增强参与者对真实环境中无法感知或不易感知的感受	创建成本高
分布式虚拟仿真 (N=2)	多用户通过网络同时同一虚拟空间中共同体验虚拟场景，进行观察和操作，实现协同工作	技术门槛高，对网络通信要求高

综上，虚拟仿真实训系统的开发技术呈现多元化。已有研究中，桌面式三维虚拟仿真系统是主要的开发方向，技术中采用 C/S 模式进行系统架构设计、Untiy3D 开发平台进行搭建场景和 3D Max 进行三维建模最为普遍。随着技术的成熟与设备的发展，采用混合式系统架构设计的沉浸式虚拟仿真系统和分布式虚拟仿真系统开发将逐渐成为发展趋势，进一步丰富虚拟仿真实训系统的功能和形式。

(二) 虚拟仿真实训基地（中心）建设研究

已有文献中关于虚拟仿真实训基地（中心）建设维度（N=142）的研究主要聚焦于本科教育领域（N=21）、职业教育领域（N=113）和开放远程教育（N=4），其中高职专科（N=105）最多；研究方法采用思辨研究（N=68）、案例研究（N=70）、实证研究（N=3）和比较研究（N=1）（如表4所示）。

表 4 虚拟仿真实训基地（中心）建设研究统计表

研究维度	专业类别		研究方法
虚拟仿真实训基地（中心）建设 (N=142)	本科 (N=21)	工学 (N=11)、管理学 (N=7)、医学 (N=3)	思辨研究 (N=68) 案例研究 (N=70) 实证研究 (N=3) 比较研究 (N=1)
	职业教育 (N=113)，包括 高职专科 (N=105) 和中职 (N=8)	交通运输 (N=18)、装备制造 (N=15)、财经商贸 (N=11)、土木建筑 (N=9)、能源动力与材料 (N=9)、食品药品与粮食 (N=6)、医药卫生 (N=6)、资源环境与安全 (N=5)、电子与信息 (N=5)、旅游 (N=4)、生物与化工 (N=3)、农林牧渔 (N=2)、轻工纺织 (N=2)、教育与体育 (N=1)、水利 (N=1)	
	继续教育 (N=4) 和其他 (N=4)	开放远程教育 (N=4)、小学教育 (N=1)	

关注本科教育虚拟仿真实训基地（中心）建设的研究中，应用场景主要聚焦工学（化工、土建、安全工程、工程实训等）、管理学（物流管理、电子商务等）和医学（药学、临床医学等）专业领域。代表性研究包括：（1）常州大学针对传统化工实验教学存在占地面积大、维护费用高、利用率偏低、“三废”处理困难等问题，建设国家级化学工程与工艺虚拟仿真实验教学中心，包括油气储存与运输仿真实验教学平台、化工工艺流程仿真实验教学平台、网上 3D 虚拟实验室仿真实验教学平台、过程自动控制仿真实验教学平台和水处理虚拟仿真实验教学平台，服务化学工程与工艺学科群实验教学^[27]。（2）研究者根据跨境电商的快递物流的复杂业务流程提炼关键知识，构建了跨境电商快递虚拟仿真实验中心，支持三类快递物流虚拟仿真实验，包括实训模拟型实验、决策策略型实验和规划仿真型实验^[28]。（3）辽宁中医药大学为建立了临床技能虚拟仿真实训教学中心，包括综合病例训练、国际急救情景训练、中医辅助诊断、虚拟解剖和仿真分娩训练五大模块，以提升医学生临床技能^[29]。

关注职业教育交通运输大类虚拟仿真实训基地（中心）建设的研究涉及铁道及轨道交通类、汽车类、船海类、国际邮轮乘务管理、道路桥梁工程和飞机维修等专业。典型基地建设如下：（1）郑州铁路职业技术学院高速铁路智能运维虚拟仿真实训基地（国家级职业教育示范性虚拟仿真实训基地培育项目），采用专业群融合共享的建设新模式，包括高速铁路智能制动技术实训中心、铁路运输互联互通实训室、高铁信号设备虚拟检修实训室、智能高铁牵引变电综合技术实训室、铁路安全警示教育

训练中心、高速列车检修职业培训中心、高铁行车虚拟仿真综合实训中心、MR教学中心共八大实训教学中心，服务铁道机车运动及维护、城市轨道交通车辆技术、虚拟现实应用技术等共计八个专业^[30]。(2)广东交通职业技术学院城市轨道交通虚拟仿真实训中心面向城市轨道交通专业群，建设内容包括信号虚拟仿真实训系统、3D演练仿真、行车流程仿真、AFC仿真系统、三维车辆结构拆解仿真及模拟驾驶系统等^[31]。(3)湖南汽车工程职业学院建设的汽车专业群教育虚拟仿真实训基地包括汽车构造拆装、二手车鉴定评估与交易、新能源汽车、车联网、汽车维护保养等虚拟仿真项目^[32]。

关注职业教育装备制造大类虚拟仿真实训基地(中心)建设的研究主要面向智能制造专业群和智能装备类专业。典型基地建设如下:(1)柳州职业技术学院基于汽车制造中装备工程链,面向智能装备技术专业群,建设“一院、一平台、四中心”的智能装备技术虚拟仿真实训基地,包括虚拟仿真技术研究院、智能制造云管理平台、产品设计虚拟仿真中心、装备制造虚拟仿真中心、生产与物流虚拟仿真中心和设备运维虚拟仿真中心^[33]。(2)江苏省海门中等专业学校建设的智能制造虚拟仿真实训基地,内容包括特种加工实训中心、数控加工实训中心、无人机操控仿真实训中心、PLM体验中心和机电控制实训中心等^[34]。(3)天津轻工职业技术学院建设服务模具设计与制造专业群虚拟仿真实训基地,包含精密模具智能制造生产线仿真实训工厂、模具数字化设计及智能成型单元综合应用平台等,提供智能设计与检测、高端数控与工业机器人、智能制造示范线等多类虚拟资源^[35]。

关注职业教育财经商贸大类虚拟仿真实训基地(中心)建设的研究主要面向财会类、经管类、电子商务和商贸专业群等。典型基地建设如下:(1)研究者提出了基于职业能力培养的会计虚拟仿真实训中心建设,包括云财务综合实训中心、云财务分岗实训中心、商务服务中心、双创孵化中心、成果展示中心、多功能路演大厅和总控机房等,具备顶岗作业、综合实训、双创孵训、师资研修、技能竞赛、企业服务等功能^[36]。(2)江西制造职业技术学院基于“工作流”理念,针对经管跨专业混合实践训练的难题,从工作环境仿真和 workflows 仿真两个角度构建虚拟仿真实训基地,包括仿真商业环境、仿真企业部门、仿真运营流程、仿真评价标准等内容^[37]。(3)营口职业技术学院打造“一基地、一平台、三中心”的数字财经虚拟仿真实训基地,即一个数字化虚拟仿真实训基地、一个实践教学资源平台、数智财经虚拟仿真综合实训中心、财务大数据分析应用中心和1+X技能培训三个中心,具备课程资源开发、1+X认证评价、产业服务与就业等职能^[38]。

已有文献研究还关注职业教育土木建筑、能源动力与材料、食品药品与粮食、医药卫生、资源环境与安全、电子与信息等专业大类以及开放教育领域的虚拟仿真实训基地(中心)建设。典型研究如下:(1)广西卫生职业技术学院依托广西医药卫生领域的63家“行、院、校、企”主体,建设共享型示范性职业教育虚拟仿真实训基地,包括医学、基础医学、医技和药学4个虚拟仿真实训平台和1个智慧虚拟仿真实训管理平台,服务护理、药学、医学、医学技术和助产五大专业^[39]。(2)研究者比较了不同地区的旅游管理专业虚拟仿真中心建设,发现经济相对落后地区的虚拟仿真实训中心更加注重普惠性,衍生价值较少;位于区域经济中心的院校则更注重专业性和社会效应,服务于学校教学、校企合作、社会服务等多个方面^[40]。(3)内蒙古开放大学对内蒙古地区的虚拟仿真教学资源进行实证研究,认为依托现有的职业院校的实训室和区域实训基地,构建共享型远程虚拟仿真实训平台可以服务全区各盟市、旗县不同专业学生的实践教学^[41]。

此外,还有一些研究者从宏观视角出发,关注虚拟仿真实训基地(中心)建设的整体状态、区域分布、机制体制等。一些研究者认为虚拟仿真实训基地建设避实就虚,存在泛化现象,提出并非任何专业都适用虚拟仿真实训模式,需要明确虚拟仿真实训基地的服务范围^[42]。有研究者对广东省高职院校在2005年至2020年期间公开招标并已实施的101个虚拟仿真类采购项目深入分析,发现广东省高职院校的虚拟仿真实训中心建设存在地域发展和专业分布不均衡的情况,投入集中在电子与信息、交通运输、土木建筑、医疗卫生、装备制造和资源环境与安全等专业大类,且经济发达地区的高职院校虚拟仿真资源建设投入较多^[43]。还有研究者认为,评价机制能为虚拟仿真实训基地建设提供质量保证,并从教育、技术、服务、艺术四个方面提出了虚拟仿真实训平台建设的评价指标体系^[44]。

综上,虚拟仿真实训基地(中心)建设的相关研究在高职交通运输大类、装备制造大类和本科工学类专业最多,在继续教育领域也有所涉及。相关研究主要基于虚拟仿真实训基地(中心)建设“职业性”即提升专业实践能力,从“校企合作”“产教融合”“共建共享”“虚实融合”等视角出发,建设满足专业实训教学需求的虚拟仿真实训基地(中心),具有明显的专业适配性。职业教育领域的虚拟仿真实训基地的功能较为多元化,除具备常规的教学实训功能,还包括师资研修、技能竞赛、1+X认证、就业创业及社会服务等功能。

(三) 虚拟仿真实训教学应用研究

已有文献中虚拟仿真实训教学应用(N=225)涵盖不同教育领域,包括本科教育(N=78)、职业

教育 (N=143) 和继续教育 (N=4); 研究方法主要采用了案例研究 (N=112)、思辨研究 (N=93) 和实证研究 (N=20) (如表 5 所示)。绝大多数研究采用了桌面式虚拟仿真系统, 仅少量研究采用沉浸式 (N=4) 和分布式 (N=1) 虚拟仿真系统。根据是否结合传统实训, 已有研究中虚拟仿真实训教学环境包括虚实融合实训教学环境 (N=68) 和纯虚拟仿真实训教学环境 (N=127) 两类。主要内容涵盖虚拟仿真实训教学理论、应用价值、教学模式和教学效果等方面。

表 5 虚拟仿真实训教学应用研究统计表

研究维度	专业类别		研究方法
虚拟仿真实训教学应用 (N=225)	本科 (N=78)	工学 (N=31)、医学 (N=23)、管理学 (N=17)、经济学 (N=7)、文学 (N=3)	实证研究 (N=19) 案例研究 (N=93) 思辨研究 (N=113)
	职业教育 (N=143), 包括高职本科 (N=3)、高职专科 (N=119) 和中职 (N=21)	土木建筑 (N=20)、医药卫生 (N=18)、交通运输 (N=18)、装备制造 (N=17)、电子与信息 (N=16)、财经商贸 (N=10)、农林牧渔 (N=7)、能源动力与材料 (N=6)、食品药品与粮食 (N=6)、旅游 (N=4)、生物与化工 (N=2)、水利 (N=2)、文化艺术 (N=1)、公安与司法 (N=1)、教育与体育 (N=1)	
	继续教育 (N=4)	开放远程教育 (N=2)、企业培训 (N=2)	

在虚拟仿真实训教学理论应用方面, 一些文献涉及到相关教学理论 (N=10), 包括建构主义理论、认知理论、具身认知理论、沉浸理论和多元智能理论等, 典型研究如基于建构主义理论或认知理论的虚拟仿真实训教学模式研究、具身认知视角下虚拟仿真实训教学情境设计、沉浸理论指导下的虚拟仿真实训系统学习行为意向影响因素研究和以多元智能理论为基础的虚拟仿真实训多元教学评价等。在教学方法上, 涉及项目式教学、混合式教学、探究式学习、体验式学习、沉浸式学习、在线远程实训教学、翻转课堂、情景化学习和模块化教学等。在教学策略上, 涉及小组合作、个性化学习、差异化教学、反思策略、游戏策略、对抗竞争策略、角色扮演和自主学习等。

虚拟仿真实训也为教育培训领域带来了显著的应用价值, 主要体现如下: (1) 提供接近真实的实训体验。通过计算机仿真技术和虚拟现实技术构建情境、设备、空间等要素, 学生通过观察、比对、操作、建构虚拟对象, 可以深刻体验某种理论知识或强化锻炼某种操作技能^[45]。(2) 创造实训场景, 降低实训成本和设备损耗。如城市轨道交通专业实训设备昂贵、体积庞大, 通过虚拟仿真创造具备认识和学习功能的虚拟生产环境、设备场景^[18]; 在无人机常规实训教学中使用虚拟仿真实训可以解决实训环境不可控、实训成本高的问题^[46]。(3) 模拟特殊情景。能实现危险操作、特殊操作、小概率事件、故障的再现与操作功能, 支持重要技能反复训练, 促进技能养成。(4) 虚拟仿真实训系统。具有对实训全过程的自动跟踪、记录、评价与考核等功能, 推动实训教学的数字化变革。

已有文献中, 研究者结合各专业教学实际探索了多种融合虚拟仿真实训系统的教学模式 (如表 6 所示)。(1) OBE 三维协同模式。将成果导向教育 (outcome-based education, 简称 OBE) 理念融入数控加工实训课程, 建构线上线下融合的三维协同虚实融合教学模式, 包括“理论讲授-虚拟仿真-实践操作”^[47]。(2) CDIO 工程教育模式。将工程教育模式“构思-设计-实施-运行”(conceive-design-implement-operate, 简称 CDIO) 融入本科网络工程实验教学中, 培养学生综合设计和问题解决能力^[48]。(3) 认知理论模式。基于认知理论“在行动中反思”, 形成“业务操作-初步体验-引导反思-形成理念-研究探索、掌握工具-完成迁移”的教学模式, 应用于供应链管理实训教学, 引导学生由单纯的直观体验走向系统反思^[49]。(4) 闭环实训教学模式。融合能力本位教育 (competency based education, 简称 CBE) 和 OBE 教学理念, 在高职无人机测绘技术专业构建基于工作岗位职责和学习过程的闭环实训教学模式, 包括“教学准备-自学-引学-练学-比学-评学-拓学-教学反思”等步骤^[50]。(5) 建构主义教学模式。研究者基于建构主义理论, 根据广东食品药品职业学院教师的调查分析, 提出情境互动式教学模式和协作探究式教学模式^[51]。(6) 药剂学虚拟实训模式。适用于中职药剂学虚拟实训教学, 包括“创设情境-确定项目-虚拟实训-习题练兵-得出结论-考核评价”等步骤^[52]。(7) 技术递进教学模式。基于高职电气化铁道技术司乘专业实践教学, 提出“虚拟-模拟仿真-实境”三层次技术递进教学模式, 学生只有通过考核才能递进到下一阶段的实训学习^[53]。

表 6 典型虚拟仿真实训教学模式

	典型教学模式	理论	教学场景	教学步骤
本科	OBE 三维协同模式	OBE 成果导向理念	数控实训	理论讲授-虚拟仿真-实践操作
	CDIO 工程教育模式	CDIO 工程教育理念	计算机科学与技术专业实验	构思-设计-实施-运行

	认知理论模式	认知理论	供应链管理实训	业务操作-初步体验-引导反思-形成理念-研究探索、掌握工具-完成迁移
职业教育	闭环实训教学模式	CBE、OBE 教学理念	高职无人机测绘技术专业实训	教学准备-自学-引学-练学-比学-评学-拓学-教学反思
	情境互动式教学模式	建构主义理论	高职食品药品专业实训	创设情境-探究互动-知识建构-迁移发展
	协作探究式教学模式	建构主义理论	高职食品药品专业实训	提出问题-分解问题-学生分组开展虚拟实验-形成初步实验报告-修正实验报告-实验成果展示与交流-总结评价
	药剂学虚拟实训模式	无	中职药剂学实训	创设情境-确定项目-虚拟实训（仿真操作）-习题练兵-得出结论-考核评价
	技术递进教学模式	无	高职电气化铁道技术司乘专业实践	虚拟实训-考核-模拟仿真-考核-实境教学

在教学效果方面，有研究者聚焦于虚拟仿真实训教学效果的实证研究（包括本科教学 10 篇，高职教学 7 篇，中职教学 2 篇，继续教育 1 篇），其中医学相关专业教学实证文献最多（N=12）；研究方法主要采用准实验研究法（N=6）、问卷调查法（N=11）、课堂数据收集（N=5）（如考核数据、交互行为和访谈法等）（如表 7 所示）。

表 7 虚拟仿真实训教学效果实证研究

		教学场景	教学环境	研究方法
本科		药剂学 ^[54]	在线虚拟仿真实训	问卷调查
		护理学基础 ^[55]		问卷调查
		妇产科护理 ^[56]		准实验研究
		中医骨伤科学 ^[57]	虚拟仿真实训	准实验研究
		压力性损伤护理 ^[58]		考核、问卷调查
		药学 ^[59]		问卷调查、结构模型方程
		药剂学 ^[60]		考核、问卷调查
		企业运营 ^[61]		问卷调查、TAM 模型
		高校外语 ^[62]		访谈
		热分析实验 ^[63]		问卷调查
职业教育	高职专科	中药学 ^[64]	虚实融合实训	问卷调查、TAM 模型
		护理应用解剖学 ^[65]		准实验研究
		护理 ^[66]		准实验研究
		无人机测绘技术 ^[50]		考核
		中药调剂学 ^[67]	虚拟仿真实训	考核、问卷调查
		软件技术毕业实训 ^[68]		交互行为观察、社会网络分析法
		动物解剖 ^[69]		问卷调查
	中职	甲醇生产工艺 ^[70]	虚实融合实训	准实验研究
	数控实训 ^[71]	准实验研究		
继续教育		护士入职培训 ^[72]	虚拟仿真实训	考核、问卷调查

实证研究显示虚拟仿真实训教学在多个领域具有积极效果，根据布鲁姆教育目标层次，从认知、情感和操作技能三个层次分析，效果如下。（1）认知方面，学生普遍认可虚拟仿真实训教学模式，通过虚拟场景的互动体验和反复实践，帮助学生更好地理解抽象的概念与理论，加深对学科知识的理解和掌握，也提升了学生分析和解决问题的能力。例如，在护士入职培训中，虚拟仿真实训教学有利于提高专科护理临床教学质量，提高护士的综合素质与能力，且新护士对虚拟仿真实训教学满意度较高^[72]。（2）情感方面，虚拟仿真实训教学模式能够有效提高学生的学习兴趣、积极性和满意度。学生的“学习行为意向”受到临场感、感知易用性和感知有用性的显著正向影响，受到教师指导、协作学习和自我效能感变量的间接影响，其中“教师指导”最为显著^[61]；学生的“学习行为意向”也受到 VR 特性、计算机自我效能和组织管理的正向影响^[64]；此外，师资队伍建设和虚拟场景类型^[62]和课堂中的交互水平^[68]均会影响学生课程效能。（3）在动作技能层面，相对纯虚拟仿真实训教学模式，虚实混合实训教学模式能够显著提高学生的实践操作能力。大部分的纯虚拟仿真实训教学能有效促进实践操作水平提升，而采用虚实融合实训模式在本科、高职与中职等教育领域也能显著提升学生的实训技能水平。例如，在中职甲醇生产工艺^[70]和数控实训^[71]的虚实融合实训教学中，能够提升技能操作质量；而

在本科护理学基础课程纯虚拟仿真教学中^[55]，虚拟仿真实训系统缺乏真实感和灵活性，对临床实践及操作技能的提升有限。此外，采用虚拟仿真实训还有利于降低教学成本、提高课堂效率^[50]，但也存在不足之处。如本科药剂学在线仿真教学内容设计、流程设计、互动设计、教学理念等方面有待加强^[54]，本科热分析实验教学的画面质量不高、实验自主权限不够、机械化操作明显等问题^[63]，这些都影响了虚拟仿真实训的教学效果。

综上所述，虚拟仿真实训教学已广泛应用于本科教育和职业教育，且基于建构主义、认知理论等理论在实践中探索出多种实训教学模式，但是各类教学模式的研究以思辨和案例研究为主，缺乏实证研究。已有研究显示，不同的教学环境可以满足不同的教学目标与需求，运用纯虚拟实训教学环境实现促进理论知识理解、特殊时期替代传统实训教学和创设教学情境等需求；在职业教育、本科工学类实训教学中，运用虚实融合促进操作技能学习，利用虚拟仿真实训辅助传统实训教学，达到助学助教功能^[73]。多项实证研究表明，虚拟仿真实训教学在不同领域都能够起到积极的教学效用，但需不断优化改进以适应各学科特点和教学需求。

四、结论

梳理国内虚拟仿真实训文献发现，我国虚拟仿真实训系统开发技术较为成熟，虚拟仿真实训基地（中心）建设在不同的专业领域各有特色，虚拟仿真实训普遍应用于不同层次和领域的教学之中，已有研究呈现如下特点。

1. 虚拟仿真实训系统开发以桌面式虚拟仿真资源为主，同时越来越注重资源的开放性和共享性

已有研究表明，虚拟仿真实训系统开发主要采用三维建模技术与场景搭建平台实现，并结合虚拟仿真交互式硬件设备，实现系统的沉浸式和交互式功能。桌面式三维虚拟仿真资源仍占主导地位，相对于沉浸式、增强式和分布式虚拟仿真实训系统，桌面式系统门槛低，受益于其设备的平易性和可获得性，学生可以通过电脑或者手机终端进行虚拟仿真实训操作，有利于资源共享和泛在学习的实现。在平台架构方面，尽管目前以 C/S 模式和 B/S 模式为主，但混合式模式支持虚拟仿真实训资源多平台通用共享将成为今后发展的趋势。

2. 虚拟仿真实训建设成效显著，其内涵建设仍有进一步提升空间

已有研究中，虚拟仿真实训系统开发和基地建设主要聚焦在职业教育领域和本科教育领域，这与近几年国家层面的政策导向不无关系。虚拟仿真实训基地（中心）的建设专业主要集中于职业教育（装备制造类、交通运输类、医药卫生类、财经商贸类和土木建筑类）和本科教育（工学、管理类专业），相对其他专业，虚拟仿真实训资源与这些专业类别的内容匹配度和建设成效更高，更适合开展虚拟仿真实训教学。而虚拟仿真实训基地（中心）建设整体上呈“重基础建设、轻内涵建设”的状况，基地的共享性、综合性和职业性有待进一步提升，如存在信息技术与教学融合不够、虚拟仿真技术在实践教学中的应用水平不高等问题^[74]。如何通过虚实融合的教学设施构建实训教学环境、如何构建共建共享机制保障资源的有效利用率及如何运行虚拟仿真实训基地保障教学质量等均需要深入研究。

3. 虚拟仿真实训教学已广泛运用于教育教学，其中职业教育应用最为广泛

虚拟仿真实训打通了从学校到产业的“最后一公里”，已有研究主要应用于本科和职业教育领域，在疫情期间，不少高校医学专业通过在线虚拟仿真实训系统开展教学以弥补无法开展实训教学的不足。虚拟仿真实训教学在职业教育领域的应用则更为广泛，作为职业教育数字化转型的有力抓手，教师通过虚拟仿真实训系统开展混合式教学、翻转课堂等新型教学模式，满足学生的个性化、差异化和自主学习需求。但已有研究中，虚拟仿真实训系统应用于教学过程中存在重方法轻理论的情况，形式大于实质。因此，在虚拟仿真实训教学应用中需进一步加强理论研究，强化理论对教学的指导作用。

4. 已有虚拟仿真实训教学研究以描述性的案例研究和思辨研究为主，实证研究较少

已有教学实践研究主要处于“器”与“术”的层面，尚未对虚拟仿真的教学机理进行深入挖掘与分析。由于缺乏理论的指导和实证研究，教学实践成效以定性研究为主，缺乏实证的支持，无法有效挖掘虚拟仿真实训系统融入实践教学带来的变革效应。如何将虚拟仿真实训资源与传统实训资源相结合、如何利用虚拟仿真实训资源指导学生的个性化学习和差异化学习、如何基于理论创建一种有效的虚拟仿真实训教学模式、如何深入挖掘实训中的数据价值指导实践教学等都需要进一步研究。

五、启示

随着国家智慧教育平台和虚拟仿真实训基地（中心）的建成与应用，虚拟仿真实训将对传统实训产生变革性影响，通过对国内虚拟仿真实训领域相关研究的深入分析，研究启示如下。

1. 虚拟仿真实训教学应用需要教学、学科以及技术知识三个方面的深度融合

根据整合技术的学科教学知识（technological pedagogical content knowledge，简称 TPACK）理论

框架,信息技术与课程的整合涉及学科内容知识(content knowledge,简称CK)、教学法知识(pedagogical knowledge,简称PK)和技术知识(technological knowledge,简称TK)^[75]。首先,技术与学科内容知识相融合,虚拟仿真实训教学资源及平台建设要以实训教学的实际需求为导向,注重平台内容设计,与传统实训教学相融合,建设与学情、校情和社会需求相匹配的虚拟仿真实训资源。其次,技术与教学法相融合,强化信息化教学理论的研究,促进信息技术与教育过程、内容、方法和质量评价的深度融合,形成“理论与实践、虚拟与现实、线上与线下、校内与校外、教学与科研”相结合的虚拟实训教学模式,发挥虚拟仿真实训平台的最大效用。再次,技术、学科内容和教学法三者要协同,不同专业领域的教学需要不同类型的虚拟仿真实训平台和教学方法,三者协同构建“专业基础认知、虚拟仿真实验实训、现实仿真实训、科技创新实践”的多层次实践教学体系^[76],最终指向复合技能型和创新型人才的培养。

2. 虚拟仿真技术发展为实践教学提供了革新思路,然而教师也面临虚拟仿真实训教学应用的新挑战

虚拟仿真实训能解决技能学习过程中高损耗、高风险、难实施、难观摩、难再现等问题,但是教师数字化应用能力不足制约了教师有效开展虚拟仿真实训教学,出现“叫好不叫座”的现象。针对职业院校教师数字化教学制约因素的调查结果显示,过半数的教师认为在网络教学平台以及AR/VR等新一代信息技术相关工具与软件的应用能力还有待提升^[77]。随着国家智慧教育平台上线,高等教育和职业教育领域将有越来越多的开放虚拟仿真实训资源可供利用,虚拟仿真实训教学融入传统实训教学课堂将成为趋势,教师需要具备利用数字技术优化、创新和变革教育教学活动的意识、能力和责任^[78]。教师需要进一步掌握和运用虚拟仿真实训资源的能力,从教学理论和方法论出发,根据教学内容与目标构建符合需求的虚拟仿真实训教学模式,利用虚拟仿真实训平台资源搭建合适的教学环境,创新教学设计,引导学生有效地开展实训学习活动。

3. 虚拟仿真实训平台作为创新数字化的专业学习工具和知识建构工具,与人工智能的结合将推动实训教学向智能实训发展

首先,虚拟仿真实训平台重设了实训学习空间,允许学生在体验错误中建构知识。在此过程中,错误体验为学生提供重要的学习机会,结合虚拟仿真实训平台的自动化评估功能,系统能够实时监测和评估学生的表现,并提供有针对性的反馈,从而促进学生在改正错误的过程中更有效地掌握知识与技能^[79]。其次,虚拟仿真实训平台集成了数据处理分析能力,可以智能跟踪学生的实训过程,并提供智能评估反馈^[80]。通过对学习过程中多模态数据的采集、存储、管理和分析与挖掘,将其转变为有价值的信息,为教学决策和学习优化提供支持^[81]。再者,融入智能技术的虚拟仿真实训平台将推动实训教学环境的智能化,支持学生个性化学习和自主学习。在虚拟仿真环境中融入机器学习、自然语言处理和生成性技术等等人工智能技术可以创造更感知、自适应的学习环境,不仅能够感知学生的行为与需求,还能够与学生进行实时互动,为学生推荐合适的虚拟实训课程和学习资源,提供个性化的学习路径、学习体验和挑战。

[参考文献]

- [1] 教育部.职业院校数字校园建设规范[EB/OL].[2023-05-20].
http://www.moe.gov.cn/srcsite/A07/zcs_zhgg/201501/t20150119_189492.html.
- [2] 教育部.教育信息化2.0行动计划[EB/OL].[2023-05-26].http://www.moe.gov.cn/srcsite/A16/s3342/201804/t20180425_334188.html.
- [3] 国家发展改革委.中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要[EB/OL].[2023-05-22].http://www.xinhuanet.com/2021-03/13/c_1127205564_17.htm.
- [4] 科技部,教育部,工业和信息化部,等.关于加快场景创新以人工智能高水平应用促进经济高质量发展的指导意见[EB/OL].[2023-05-22].https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-08/12/content_5705154.htm.
- [5] 工业和信息化部,教育部,文化和旅游部,等.虚拟现实与行业应用融合发展行动计划(2022—2026年)[EB/OL].[2023-05-20].https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-11/01/content_5723273.htm.
- [6] 教育部.关于进一步推进职业教育信息化发展的指导意见[EB/OL].[2023-06-01].
http://www.moe.gov.cn/srcsite/A07/zcs_zhgg/201709/t20170911_314171.html.
- [7] 韩锡斌,杨成明,周潜.职业教育数字化转型:现状、问题与对策[J].中国教育信息化,2022(11):3-11.
- [8] 教育部职业教育与成人教育司.关于公布职业教育示范性虚拟仿真实训基地培育项目名单的通知[EB/OL].

- [2023-05-20].http://www.moe.gov.cn/jyb_xxgk/s5743/s5745/A07/202107/t20210716_545155.html.
- [9] 中共中央办公厅,国务院办公厅.关于深化现代职业教育体系建设改革的意见[EB/OL].[2023-05-24].
https://www.gov.cn/zhengce/2022-12/21/content_5732986.htm.
- [10] 严超君.成人教育远程虚拟仿真实训的教学研究[J].宁波广播电视大学学报,2013(4):89-92.
- [11] 丁亚军,应治国,陈一民.基于虚拟现实和增强现实的虚拟仿真实训室平台[J].计算机时代,2022(8):46-51.
- [12] 谢军,史志明,钟俊.虚拟仿真技术在光伏类专业课程教学中的应用[J].无线互联科技,2020(19):149-150.
- [13] 段雅婷,任鸿翔,张叶.集装箱码头仿真实训系统设计与实现[J].计算机仿真,2022(12):165-168.
- [14] 赵阳,荆国栋,赵永明,等.风廓线雷达虚拟仿真实训系统建设研究[J].中国设备工程,2022(17):132-133.
- [15] 李金甲.家具设计制造的虚拟仿真实训系统构建[J].丝网印刷,2022(13):74-76.
- [16] 梁永亮,陈继明.基于 LabVIEW 的电力系统综合实践模拟操作平台设计[J].河南科技,2018(25):144-146.
- [17] 刘海龙,吴海波,李移伦.工业机器人机床上下料虚拟仿真平台的构建[J].化纤与纺织技术,2021(7):91-92.
- [18] 张光建,张丽珠,王保民.地铁塞拉门虚拟仿真实训系统的开发与实践[J].科技风,2023(8):61-63.
- [19] 李磊,孙小丽,李智临,等.罐区灾害场景建模及应急处置仿真实训系统研究[J].安全、健康和环境,2021(4):21-26.
- [20] 李振宇,周文峰.基于 VRML 的虚拟公安派出所仿真实训系统的设计[J].实验室研究与探索,2020(7):106-111.
- [21] 林彬,宋晨晨,闫秋娜,等.海上无线通信虚拟仿真实训平台建设研究[J].电气电子教学学报,2022(2):175-179.
- [22] 钟瑜,项朝阳,乔樑,等.急危重症护理虚拟仿真实训教学软件开发体会[J].卫生职业教育,2022(3):43-45.
- [23] 成腾,赵博,赵会军,等.基于虚拟现实技术铁路接触网维修仿真实训系统设计与实现[J].铁路计算机应用,2019(7):12-16.
- [24] 季娟,陈清奎,王利,等.基于虚拟现实的 3D 铸造仿真实训系统[J].模具工业,2021(12):73-76.
- [25] 胡昌吉,董娟,段春艳.光伏电站虚拟仿真实训平台建设[J].计算机系统应用,2019(3):99-103.
- [26] 丛丛,李俊辉,秦凯.城市轨道交通行车作业虚拟仿真实训系统的设计与应用[J].城市轨道交通研究,2020(8):44-49.
- [27] 田轶,曹榆.化学工程与工艺虚拟仿真综合实训中心建设与实践[J].实验技术与管理,2015(7):160-163.
- [28] 胡海清,常杰.跨境电商快递虚拟仿真实训体系构建研究[J].实验技术与管理,2017(3):8-12.
- [29] 杨宇峰,徐娜,滕飞,等.临床技能虚拟仿真实训教学中心的建设与实践[J].中国中医药现代远程教育,2016(18):9-11.
- [30] 余建勇,李秀玲,常卫卫.职业院校虚拟仿真实训基地建设研究——以高速铁路智能运维虚拟仿真实训基地为例[J].
郑州铁路职业技术学院学报,2022(4):80-83.
- [31] 李俊辉.城市轨道交通虚拟仿真实训中心建设研究与实践[J].现代职业教育,2019(20):90-91.
- [32] 宋丹,胥刚.汽车专业群教育虚拟仿真实训基地建设与实践——以湖南汽车工程职业学院为例[J].山西青年,2019(4):53.
- [33] 陈文勇,王富春,关来德,等.服务汽车制造虚实融合变革的智能装备技术虚拟仿真实训基地建设探索——以柳州职业技术学院为例[J].柳州职业技术学院学报,2022(4):92-97.
- [34] 吴樱樱.虚拟现实视域下智能制造实训基地建设的研究——以智能制造虚拟仿真实训基地为例[J].江苏教育研究,2022(Z3):80-83.
- [35] 马绪鹏,苏越,王宝龙,等.模具设计与制造专业群虚拟仿真实训基地建设路径研究[J].模具工业,2022(2):73-79.
- [36] 安红梅.基于职业能力培养的会计虚拟仿真实训中心建设研究[J].商业会计,2018(19):116-118.
- [37] 熊辉.基于“工作流”理念的跨专业虚拟仿真实训——以江西制造职业技术学院经管类专业为例[J].顺德职业技术学院学报,2020(4):59-63.
- [38] 吴天舒,李妍.大数据与会计专业创新教育机制研究——基于数字经济的思考[J].辽宁高职学报,2022(8):46-49+59.
- [39] 卢振芝,莫启章,周元明,等.医学虚拟仿真实训室的建设与思考——以广西卫生职业技术学院为例[J].实用妇科内分泌电子杂志,2020(12):192-193.
- [40] 付冰.几种职业院校旅游管理专业虚拟仿真实训系统的比较[J].中国管理信息化,2021(14):204-205.
- [41] 杜伟,李文莉.内蒙古地区虚拟仿真教学资源共享机制的研究[J].内蒙古电大学刊,2021(1):46-50.
- [42] 滕道明.职业教育要谨防虚拟仿真实训的泛化[J].职业教育(中旬刊),2016(4):12-14+24.
- [43] 秦铭谦,曾青松,刘炜.广东省高职院校虚拟仿真实训室建设现状分析及思考[J].现代职业教育,2022(14):100-104.
- [44] 唐华芳,曹蕾,王梦豪.虚拟仿真实训平台评价机制及指标体系的构建研究[J].中国教育信息化,2020(4):88-92.

- [45] 刘磊,高原.基于云财务的虚拟仿真实训教学环境建设的思考[J].教育现代化,2019(84):99-101.
- [46] 张伟,王玲,王振锋,等.农用无人机虚拟仿真项目设计与开发[J].中国教育技术装备,2020(10):134-135+138.
- [47] 孙平平,李龙刚,付艳苹.智能制造背景下数控加工虚拟仿真实训教学探索[J].广西广播电视大学学报,2022(4):10-16.
- [48] 李广琼,陈荣元,黄少年,等.新工科背景下面向虚拟仿真实训的计算机网络工程实验教学探索[J].电脑知识与技术,2021(14):109-111+126.
- [49] 冯路.基于经管类虚拟仿真实训平台的供应链管理实验教学案例研究与实践[J].时代教育,2018(11):165+173.
- [50] 胡泊,张丹.高职无人机测绘虚拟仿真实训教学模式研究与实践[J].职业技术,2023(4):84-90.
- [51] 段丹萍,唐润华.高职虚拟仿真实训系统使用需求调查分析[J].中国电力教育,2013(16):163-164+179.
- [52] 吕清.虚拟仿真技术在药剂学实训教学中的应用研究[J].卫生职业教育,2020(14):78-79.
- [53] 罗伟.基于“虚拟-模拟仿真-实境”的实践教学模式研究——以电气化铁道司乘专业为例[J].苏州市职业大学学报,2014(2):58-61.
- [54] 朱文全,韩翠艳,林佳音,等.虚拟仿真实训课程在线教学模式的探究[J].继续医学教育,2022(10):37-40.
- [55] 张爱华,冯先琼,刘春娟.基于在线虚拟仿真实训平台的《护理学基础》在线实践教学[J].护士进修杂志,2021(16):1525-1527.
- [56] 张静,高冬冬.虚拟仿真实训平台在《妇产科护理》实践教学中的应用[J].中国培训,2020(9):2.
- [57] 周毅,陈震.虚拟仿真实训教学的探索——基于“中医骨伤科学”的实践[J].现代信息技术,2020(7):3.
- [58] 张美芬,王若婧,卜秀青,林小玲,梁群英,黎贵锋,王筠,&万丽红.压力性损伤护理虚拟仿真实训项目的构建及应用效果[J].中华护理教育,2020(3):5.
- [59] 万春艳.药学专业 VR 交互仿真实训中心建设和应用研究[J].实验技术与管理,2019(1):7.
- [60] 朱文全,韩翠艳,董岩,等.虚拟仿真实训教学方法在药剂学实训教学中的应用[J].继续医学教育,2018(4):2.
- [61] 杨兵,刘柳,朱晓钢,等.虚拟仿真实训系统学习行为意向影响因素研究——以企业运营虚拟仿真实训系统为例[J].中国远程教育,2019(5):26-36+92.
- [62] 张海霞.虚拟仿真技术在高校外语实训课程效能评价中的应用[J].中阿科技论坛(中英文),2021(5):170-172.
- [63] 申文竹,安维岳,刘丽,等.基于虚拟仿真技术的热分析实验教学探索与实践[J].化学教育,2020(22):84-88.
- [64] 段丹萍,项朝阳.基于 VR 实训系统的学习行为意向影响因素研究[J].中国教育信息化,2017(19):29-33.
- [65] 徐丹,郑韬,陈能杰,等.融入在线虚拟仿真实训平台的护理应用解剖学实验教学实践[J].解剖学杂志,2020(2):2.
- [66] 吕云玲,潘常春,李艳,等.疫情下护理虚拟仿真实训教学体系的构建与应用[J].卫生职业教育,2022(24):42-44.
- [67] 冯婧,闫志慧,王玉霞,等.虚拟仿真技术用于中药调剂学实训教学实践[J].中国药业,2022(4):25-28.
- [68] 田明君,张学俊.虚拟仿真实训环境下协作学习的交互行为研究[J].无线互联科技,2018(21):101-103.
- [69] 蒋磊,杨魁星.虚拟仿真实训平台在动物解剖教学中的应用[J].现代畜牧科技,2021(12):22-23.
- [70] 吴晓兵,彭茜.中职“甲醇生产工艺”虚拟仿真教学实效的研究[J].化学教育(中英文),2021(4):73-77.
- [71] 周文.虚拟仿真技术在中职数控教学中的应用[J].计算机光盘软件与应用,2013(8):205-206.
- [72] 廖莹,文学锦,黎晔,等.虚拟仿真实训教学模式在口腔专科护士岗前培训中的应用[J].护理学杂志,2017(6):81-83.
- [73] 刘振东,李晓东,马建民,等.虚拟仿真技术在工程训练中的应用[J].实验室研究与探索,2017(3):160-163.
- [74] 曾照香,刘哲,李金亮.新时代职业院校智能制造虚拟仿真实训基地建设研究[J].教育与职业,2022(9):109-112.
- [75] Mishra P, Koehler M J. Technological Pedagogical Content Knowledge: A new framework for teacher knowledge[J]. Teachers College Record,2006(6):1017-1054.
- [76] 赵栋,张君涛,时保宏,等.全产业链视野下石油石化虚拟仿真实训教学的实践与创新[J].实验科学与技术,2022(2):105-111.
- [77] 樊俊艳,唐悦.基于职业教育虚拟仿真实训基地师资队伍建设[J].办公自动化,2022(21):41-43.
- [78] 教育部.教育部关于发布《教师数字素养》教育行业标准的通知[EB/OL].[2023-05-26].
http://www.moe.gov.cn/srcsite/A16/s3342/202302/t20230214_1044634.html.
- [79] Jonasson C. Interactional processes of handling errors in vocational school: Students attending to changes in vocational practices[J]. Vocations and Learning,2015(1):75-93.

- [80] 张峰凡,胡永斌,赵成杰.虚拟现实技术支持智能实训的逻辑进路与实践选择[J].职业教育(下旬),2021(9):17-24.
- [81] 吴军其,任飞翔,吴飞燕.数据驱动课堂精准施教关键指标体系构建及应用[J].现代远程教育,2023(2):39-52.

Virtual Simulation-Based Training in China: Present Situation, Research Status and Enlightenment

LI Yan¹, CHEN Lin¹, ZHU Fugen²

(1.Zhejiang University, Hangzhou Zhejiang 310058; 2.Zhejiang Institute of Communications, Hangzhou Zhejiang 311112)

[Abstract]The development of new generation technologies has driven the construction and application of the "virtual reality + education and training" scenario, and concurrently, virtual simulation-based training has also gained significant attention. The construction and application of virtual simulation-based training provides support for education and teaching. Afterwards, the study reviewed 485 published studies related to virtual simulation-based training in China and found that the existing research focused on three dimensions: the development of virtual simulation-based training systems, the establishment of virtual simulation-based training bases/centers, and the application of virtual simulation-based training in teaching. The findings are as follows: (1) The development of virtual simulation-based training systems mainly focused on desktop-style virtual simulation systems, with a high demand for openness and sharing. (2) The progress in virtual simulation-based training construction was remarkable, yet there was still room for further improvement. (3) Virtual simulation-based training has been widely applied in education, particularly in vocational education. (4) Existing studies about virtual simulation-based training learning were mainly descriptive case studies, while empirical research was relatively limited. Based on these findings, three enlightenments were proposed. (1) The application of virtual simulation-based training in education requires a deep integration of pedagogical, disciplinary and technological knowledge. (2) Educators faces challenges because virtual simulation-based training demands new teaching capabilities. (3) The mining and utilization of data on virtual simulation-based training platforms will drive the development of intelligent training in education.

[Keywords]virtual simulation-based training; system development; base (center) establishment; teaching application