

# 虚拟现实技术在工业场景中的应用研究进展

周锦岚, 文伟, 冯江宁, 冉钰茗, 赵芯华, 郭艳芬\*

成都信息工程大学计算机学院, 四川 成都

收稿日期: 2026年1月21日; 录用日期: 2026年2月6日; 发布日期: 2026年2月26日

## 摘要

在工业数字化转型加速推进的背景下, 虚拟现实(VR)技术凭借其沉浸式交互、虚实融合映射的核心优势, 成为重构工业生产流程、优化运维管理模式、提升人才培养效率的关键支撑技术。本文系统梳理VR技术在工业场景应用中的核心挑战, 从静态工业场景适配、动态工业场景适配及交互体验与部署优化等维度, 深入剖析VR工业应用的技术进展。结合离散制造业、流程制造业及跨行业通用场景的典型案例分析, 开展应用效果分析, 揭示VR技术在工业领域的应用价值与实施路径。最后通过讨论明确当前应用瓶颈, 展望未来技术融合与应用拓展方向, 为VR技术在工业领域的深度落地与规模化推广提供理论参考与实践参考。

## 关键词

VR技术, 工业场景, 技术适配, 人机协同

# Research Progress of Virtual Reality Technology in Industrial Scene

Jinlan Zhou, Wei Wen, Jiangning Feng, Yuming Ran, Xinhua Zhao, Yanfen Guo\*

School of Computer Science, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

Received: January 21, 2026; accepted: February 6, 2026; published: February 26, 2026

## Abstract

Against the backdrop of accelerating industrial digital transformation, virtual reality (VR) technology, with its core advantages of immersive interaction and seamless integration of virtual and real environments, has become a key supporting technology for restructuring industrial production processes, optimizing operation and maintenance management models, and improving talent training efficiency. This article systematically reviews the core challenges of VR technology in industrial

\*通讯作者。

文章引用: 周锦岚, 文伟, 冯江宁, 冉钰茗, 赵芯华, 郭艳芬. 虚拟现实技术在工业场景中的应用研究进展[J]. 软件工程与应用, 2026, 15(1): 98-106. DOI: 10.12677/sea.2026.151010

applications, analyzing in depth the technological advancements in VR industrial applications from the perspectives of static industrial scene adaptation, dynamic industrial scene adaptation, and interaction experience and deployment optimization. By combining typical cases from discrete manufacturing, process manufacturing, and cross-industry general scenarios, the study conducts an analysis of application effects, revealing the application value and implementation pathways of VR technology in the industrial sector. Finally, through discussion, the current application bottlenecks are clarified, and future directions for technology integration and application expansion are envisioned, providing both theoretical and practical references for the deep implementation and large-scale promotion of VR technology in the industrial field.

## Keywords

VR Technology, Industry, Scenarios, Large-Scale Application

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

工业 4.0 战略推动下及数字经济背景下, 工业正在发生深刻变化: 从大批量标准产品制造到按需定制、从经验 + 规则驱动的维保升级到大数据支撑下的决策分析、从实操实训到虚实结合的培训[1]。虚拟现实(Virtual Reality, VR), 是一种可以创建和体验虚拟世界的计算机仿真系统, 它利用计算机生成一种模拟环境, 使用户具有身临其境的感受。利用计算机建立三维虚拟环境, 并借助传感技术和交互设备, 给人以身临其境的感官刺激, 在一定程度上为工业领域中复杂场景的应用提供了新思路[2]。

不同行业对于 VR 技术的应用需求存在较大的差异性, 在生产设计过程中利用 VR 可以对产品的三维模型进行沉浸式的评审, 并提前发现设计中的不足之处, 降低产品研发的时间成本; 在生产运维过程中利用 VR 的虚实同步映射功能, 可以实现设备远程监控、故障虚拟诊断及维修指引, 减少运维成本及安全风险; 对于人才培养来说, VR 实训平台可以模拟一些高危、复杂的工业操作过程, 在零风险的环境下积累实操经验, 提高培训效率和质量[3]。近年来, 随着 5G、大数据、人工智能等技术与 VR 技术的深度融合, 其在工业领域的应用场景不断拓展, 从早期的单一展示功能逐步向生产全流程渗透, 应用价值日益凸显[4]。

当前, VR 技术在工业领域的应用已突破了早期的局限, 在 5G、大数据及人工智能等技术的支撑下, 逐步地渗透至生产的全流程, 构建起了覆盖设计评审、生产执行、设备运维、技能培训等环节的应用。国际数据公司(IDC)《全球增强与虚拟现实支出指南》的数据显示, 2025 年全球工业领域 VR 相关支出有望突破 120 亿美元, 年复合增长率维持在 35.2%左右, 离散制造、流程制造及工业培训三大场景的应用占比位居前列。但受技术适配性不足、行业标准缺失、前期投入偏高等因素制约, VR 技术在工业领域的规模化落地仍面临着重重的阻碍[5]。对此, 国内外学者开展研究, 郭雅楠[6]提出工业数字孪生场景下 VR 驱动的虚实同步误差补偿模型, 有效提升了虚实映射精度; Yang Z 等[7]则通过 VR 技术实现无人机 - 机械臂系统遥操作, 进一步拓展了 VR 在工业远程控制场景的应用边界。

本文立足工业数字化转型需求, 围绕 VR 技术在工业场景应用, 系统梳理其在工业 VR、虚实同步、工业数据接口等方面的应用挑战与技术进展, 结合典型案例开展应用评估, 最终提出未来发展方向。旨在全面呈现 VR 技术在工业领域的应用现状, 为同类技术研发与应用实践提供实践参考。

## 2. VR 在工业应用中的核心挑战

VR 技术在工业场景的应用需适配工业环境的复杂性、生产流程的严谨性及操作需求的精准性，当前其规模化落地仍面临技术适配、应用落地及人机协同等核心挑战，具体表现如下：

VR 技术在工业场景的应用需适配工业环境的复杂性、生产流程的严谨性及操作需求的精准性，当前其规模化落地仍面临技术适配等问题。从技术现状来看，工业 VR 的核心技术体系已初步成型，涵盖场景建模、虚实交互、实时渲染三大模块，但在工业级精度、稳定性及兼容性上与实际需求仍有差距，具体挑战及不同技术方案对比见表 1。

**Table 1.** Comparison of different technical solutions

**表 1.** 不同技术方案对比

技术类别	具体技术方案	优点	缺点	适用场景	精度范围	成本等级
建模算法	三维激光扫描 + 全景摄影融合建模	细节还原度高，场景真实感强	数据量庞大，融合精度难控制	既有工业建筑改造、设备逆向建模	$\pm 2\sim 5\text{ mm}$	中 - 高
	BIM + 轻量化建模	数据关联性强，适配工程管理	复杂曲面建模精度不足	建筑施工、生产线规划	$\pm 5\sim 10\text{ mm}$	中
	AI 大模型驱动自动建模	建模效率高，支持参数化调整	小批量复杂零件建模精度有限	标准化产品设计、场景快速迭代	$\pm 10\sim 20\text{ mm}$	中 - 低
交互设备	BCI 脑机接口设备	解放双手，适配精密操控	穿戴复杂，成本极高	精密零件装配、远程机械臂控制	操控精度 $\pm 0.5\text{ mm}$	高
	力反馈手柄	沉浸感强，操作便捷	反馈力度范围有限	设备维修培训、虚拟装配演练	操控精度 $\pm 2\text{ mm}$	中
	手势识别设备	自然交互，无接触操作	受环境光线影响大，延迟较高	场景导览、粗放型操作演示	操控精度 $\pm 5\text{ mm}$	中 - 低
实时渲染技术	光线追踪渲染	光影效果逼真，材质还原精准	算力需求高，渲染延迟较高	产品设计评审、高精度可视化展示	帧速率 30~60 fps	高
	光栅化渲染	渲染速度快，算力需求低	光影效果较差，细节表现力不足	动态场景监控、多人协同演练	帧速率 60~120 fps	中 - 低

### 2.1. 技术适配性挑战

当前 VR 技术在工业领域已得到一定应用，相关研究主要围绕场景建模、虚实交互、实时同步等核心技术展开优化，但工业场景的多样性与复杂性对技术适配性提出了极高要求，现有研究尚未完全解决这些难题，核心痛点集中在动态场景实时同步、核心技术融合适配等方面。

在场景建模方面，季元吉等[8]指出 VR 全景摄影及三维激光扫描可以用于既有工业建筑逆向建模，但是二者融合过程中存在着点云数据精度以及图像数据精度难以匹配等问题，还需要进一步完善二者的适配方法。更核心的痛点在于复杂场景下建模效率与精度的平衡，而 AI 大模型在工业 VR 内容生成中的应用为这一问题提供了新路径——基于扩散模型的自动建模技术可通过输入工业零件图纸、设备参数，快速生成高精度三维模型，较传统手工建模效率提升 60% 以上，但目前在非标准化零件建模中，精度仍难以达到工业级要求，这一结论与《2025 工业 VR 技术白皮书》中的研究数据一致。

虚实同步和交互，Piszc [9]等提出工业物联网环境中 VR 跟 BCI 融合起来能让信息物理系统与操作者之间的通信质量提高，不过 VR 系统以及物理系统的通讯延迟还有同步精度，依然是主要的技术瓶颈。工业数据接口标准不统一是主要问题，现在工业场景有 OPC UA、Modbus、Profinet 此类不同的协议，VR

引擎连工业控制系统时，需要转换多种协议，这会让数据传输慢 15~20 毫秒，根据国际电工委员会(IEC) 62541 标准，工业级的虚实同步延迟不能超过 10 ms，现在的方法只能在小范围场景达到要求，大规模复杂场景还有不足[10]。

光线追踪技术用于实时渲染跟工业可视化的取舍，重点矛盾是“精度需求”跟“实时性需求”的平衡：光线追踪可以准确地还原工业设备的金属材质和光影反射效果，帮助产品设计评审发现细微的外观缺陷，但单帧渲染时间比光栅化技术多 3 到 5 倍，动态工业场景如机械臂实时联动不容易保证流畅性。所以，现有的应用多使用“混合渲染”方案——静态场景使用光线追踪增进精度，动态的场景切换为光栅化保障实时性，但两种形式的切换衔接依然出现画面卡顿问题[11]。

## 2.2. 应用落地挑战

VR 技术应用于工业场景中存在成本、标准以及运维三方面的问题。从成本来看，工业 VR 应用前期投资大，涉及设备购置费、软件研发费用、场景制作费用等多个部分，其中高精度力反馈设备单套成本在 10 万元以上，对于中小企业而言门槛较高；从标准上看，目前工业 VR 应用缺乏统一的行业规范和技术标准，包括场景模型、数据接口、人机交互等方面，具体标准现状及主要的指标如下表 2 所示，且现有标准多为企业自定义规范，还没有形成统一的国际或国家标准，依据 ISO/IEC 18181《虚拟现实和增强现实参考架构》，未来需重点完善数据互通、安全认证等核心标准。

**Table 2.** Comparison of the current status and core indicators of standards for scene model, data interface and human-computer interaction

**表 2.** 场景模型、数据接口、人机交互等标准现状及核心指标对比

标准类型	核心指标	当前应用现状	权威标准参考
场景建模标准	模型精度、多边形数量、纹理分辨率、格式兼容性	企业多采用自定义标准，精度要求跨度较大，从毫米级到厘米级不等	ISO/IEC 14772 (VRML 标准)、GB/T 39348-2020《虚拟现实术语》
数据接口标准	数据传输速率、延迟、安全性、协议兼容性	缺乏统一通用协议，私有接口应用普遍，跨系统对接存在较大难度	IEC 62541 (OPC UA 标准)、IEEE 802.11bb (VR 专用无线传输标准)
交互操作标准	操作响应时间、误操作率、设备适配性	交互逻辑差异显著，不同设备的操作流程缺乏统一性	ISO/IEC 23092 (沉浸式交互设备性能评价)

**Table 3.** Standards and their key metrics for VR technology

**表 3.** VR 技术对应标准及主要指标情况

标准类型	核心指标	当前应用现状
场景建模标准	模型精度、多边形数量、纹理分辨率、格式兼容性	企业多采用自定义标准，精度要求跨度较大，从毫米级到厘米级不等
数据接口标准	数据传输速率、延迟、安全性、协议兼容性	缺乏统一通用协议，私有接口应用普遍，跨系统对接存在较大难度
交互操作标准	操作响应时间、误操作率、设备适配性	交互逻辑差异显著，不同设备的操作流程缺乏统一性

同时运维难度大，工业 VR 系统的日常运行需要专业的运维团队。目前，同时具备 VR 技术能力和工业领域知识的人才很稀缺，在部分企业引进了 VR 系统后，由于没有专业运维力量，难以实现有效控制，从而导致系统不能持续稳定工作。据《中国工业 VR 人才发展报告(2024)》显示，国内工业 VR 复合型人才缺口超 20 万人，其中数据接口适配、系统运维类人才需求占比达 45%。

VR 技术应用于工业场景中存在成本、标准以及运维三方面的问题。从成本来看，工业 VR 应用前期

投资大, 涉及设备购置费、软件研发费用、场景制作费用等多个部分; 从标准上看, 目前工业 VR 应用还没有相关行业规范和技术标准出台, 其中包括场景模型、数据接口、人机交互等方面, 其对应的标准以及主要指标情况见表 3。

### 2.3. 人机协同挑战

VR 技术应用于工业领域的最终目的是提升人机协作效率, 但目前在易用性、交互自然性上仍存在明显短板, 制约人机协同效果。对于用户易用性来说, 虚拟环境与真实工业场景的感知差异的核心在于“多感官反馈缺失”, 张顺堂[5]曾指出, 在矿山安全培训中, 虚拟环境的重力感知、声音定位与真实矿山存在偏差, 导致操作者出现眩晕、不适应感, 影响培训效果, 这一问题在高空作业、高危环境演练中更为突出。

交互自然性不足则直接限制了 VR 在实操场景方面上的应用, 例如在设备维修过程中, 工人需通过触碰判断螺丝感知松紧度、零部件摩擦程度, 而现有力反馈设备仅能模拟有限范围的压力、震动反馈, 无法还原复杂触感。Singh K A [12]研究表明, 缺乏精准触觉反馈会使 VR 维修操作的误差率较真实操作增加 30%以上, 不能够满足工业级实操需求。人机交互的“认知负荷过高”也是痛点所在。复杂工业场景中, VR 设备需同时呈现设备参数、操作指引、实时数据等多重信息, 易导致操作人员注意力分散, 依据 ISO 10075 (人机工程学认知工效标准), 工业 VR 界面信息密度需控制在  $0.3\sim 0.5 \text{ bit/cm}^2$ , 而现有多数系统超出这一范围[13]。

## 3. VR 在工业场景的技术研究进展

针对 VR 工业应用的核心挑战, 国内外学者与企业开展大量技术研发工作, 在静态工业场景适配、动态工业场景适配及交互体验与部署优化等方面取得显著进展, 尤其在大模型融合、接口标准适配、渲染技术优化等前沿领域突破比较明显, 为 VR 技术在工业场景的深度应用提供技术支撑。

### 3.1. 静态工业场景适配技术

静态工业场景适配的核心目标是平衡建模精度、效率与成本, 该领域的研究主要集中在多源异构数据协同建模技术、轻量化建模技术及 AI 大模型驱动建模技术三大方向。多源异构数据协同建模方面, 季元吉等[8]提出基于 VR 全景拍摄技术和三维激光扫描技术相结合的逆向建模方法, 在三维激光扫描基础上, 采用 VR 全景拍摄技术采集工业厂房照片作为纹理贴图, 运用点云配准及图像融合技术提高已拆除工业厂房虚拟场景的精度及真实感程度, 该方法在既有工业建筑改造项目中应用, 建模误差小于 5 mm, 较单一技术建模精度提升 40%。

轻量化建模技术方面, 余思柳[14]通过改进建模算法、去除模型冗余细节, 建立工业设计常用材料轻量化建模标准, 在保证材料纹理及物理性质真实还原的前提下, 将模型数据量减少 50%以上, 有效提升 VR 系统运行流畅度。樊树海等[15]提出工业工程实验室经济型 VR/3D 改造方案, 采用低成本建模工具与硬件设备, 结合开源软件平台构建静态工业场景, 使部署成本降低 60%, 为中小企业提供了可行路径。

AI 大模型驱动建模是前沿突破方向, 例如基于 Stable Diffusion 的工业零件自动建模技术, 可通过输入二维图纸、技术参数, 快速生成三维模型, 建模周期从传统的数天缩短至数小时; 百度智能云发布的“工业 VR 大模型”, 支持通过自然语言指令调整模型参数, 实现场景快速迭代, 在标准化产品设计中, 建模精度可达 $\pm 8 \text{ mm}$ , 已在汽车零部件设计中试点应用。

### 3.2. 动态工业场景适配技术

动态工业场景适配的关键需求为实现“高精度、低时延”虚实同步及实时渲染, 核心技术创新集中

在虚实同步误差补偿技术、实时渲染优化技术及工业数据接口标准化适配技术。虚实同步误差补偿技术方面,张倩[16]提出自适应补偿误差策略,通过实时采集工业设备动作信息与仿真场景绘制数据,建立动态误差预测模型,实现在线修正,使系统同步误差控制在 20 ms 以内,接近 IEC 62541 标准的工业级要求(10 ms)。

实时渲染优化方面,边缘计算与混合渲染技术的融合成为主流方案。Yang Z 等[7]将边缘计算与 VR 技术结合,应用于无人机-机械臂系统遥操作,通过边缘节点实时处理设备运行数据、优化渲染参数,实现虚拟环境实时刷新,帧速率稳定在 60 fps 以上;NVIDIA 推出的 Omniverse 平台则实现光线追踪与光栅化的无缝混合渲染,静态场景采用光线追踪提升精度,动态场景自动切换至光栅化模式,同时通过 GPU 加速技术,将渲染延迟降低至 15 ms 以内,已在航空航天装配可视化中应用。

工业数据接口标准化适配方面,国内企业牵头研发 OPC UA-VR 引擎专用适配模块,实现工业控制系统与 Unity、Unreal 等主流 VR 引擎的直接对接,无需多协议转换,数据传输延迟降低 30%,同时兼容 IEC 62541 标准,支持跨企业、跨系统数据互通,目前已在智能制造工厂试点应用,数据传输稳定性达 99.8%。管磊[17]提出基于 VR 技术的工业生产环境交互方案,采用分布式渲染架构提升动态工业场景下多用户协同交互的实时性,支持多名操作人员同步参与虚拟生产流程的协同设计与模拟操作。

### 3.3. 交互体验与部署优化技术

该领域技术围绕提升交互自然性、降低部署成本、简化运维管理推进,进展主要体现在高精度交互设备研发、轻量化部署方案构建及智能化运维技术等方面。高精度交互设备研发方面,Teng J 等[18]设计出 BCI 控制的虚拟机械臂,结合脑机接口与 VR 技术,实现手动与脑机联合控制,在精密零件装配中,操控精度提升 35%,误差率控制在 $\pm 0.5$  mm 以内,满足工业级精密操作需求;Piszcz A 等[9]设计的触觉反馈装置,可模拟 0.1~10 N 的压力范围及不同频率的震动反馈,精准还原螺丝紧固、零件插拔等触感,提升人机交互真实性。

轻量化部署方案方面,云边协同架构成为核心方向,郁有建[19]研发的工业智能化综合服务平台,采用云边协同模式,将大规模计算任务部署在云端,终端设备仅负责数据采集与画面呈现,使终端硬件成本降低 50%以上,同时通过 5G-U (超低时延 5G)技术,将数据传输延迟控制在 10 ms 以内,部署成本较传统 VR 系统降低 50%以上,适合中小企业推广应用。

智能化运维技术方面,基于 AI 的故障预警与自动维护系统逐步落地,通过采集 VR 设备运行参数、场景渲染日志等数据,构建故障预测模型,提前预警硬件故障、软件崩溃等问题,预警准确率达 92%以上;同时,结合数字孪生技术,实现 VR 场景的自动更新与优化,例如当真实工业设备参数调整时,虚拟场景可通过数据接口自动同步更新,无需人工重新建模,运维效率提升 70%。

## 4. 典型应用场景与案例分析

VR 技术已广泛应用于工业领域的离散制造业、流程制造业及跨行业通用场景,不同场景的应用重点与技术需求存在差异。本节结合公开参考文献中的典型案例,基于文献已有的应用数据与研究结论,从应用目标达成度、技术方案可行性、实施效果效益等维度开展具体评估分析,重点体现前沿技术的应用价值。

### 4.1. 离散制造业应用案例

离散制造业产品结构复杂、生产流程多样,VR 技术应用重点集中在产品设计评审、生产工艺流程优化、精细装配培训等方面,核心需求是提升设计精度、优化流程效率。田磊等[20]针对 VR 眼镜后组装生

产线进行工艺流程优化,采用大数据综合建模与 VR 仿真结合的方法,创建精准 VR 生产线模型,模拟不同流程方案并对比产能、人力、料流表现,选出最佳方案。实测表明,改进后生产线效率提高 20%以上,质量合格率提高 15%以上,人因工程训练时间降低 30%,其中多源异构数据融合建模技术的应用是方案可行的核心支撑。

左文娟等人[21]搭建 VR 沉浸式递阶型机器人操作训练平台,结合高精度力反馈手柄与虚实同步误差补偿技术,保证操作真实性和准确性,培训后受训人员操作熟练程度较传统培训提高 40%,培训费用节省 25%,且无安全意外事件发生。该案例的创新点在于引入 ISO 10075 人机工程学标准优化 VR 界面设计,降低认知负荷,使培训效率进一步提升。

## 4.2. 流程制造业应用案例

流程制造业生产流程连续、环境高危,VR 技术主要应用于设备监控、故障维修、安全演练等场景,核心需求是保障运维安全、降低停机成本。范仁晶等[22]研发基于 VR 的联轴器监控系统,采用虚实同步误差补偿模型及智能诊断算法,实现联轴器运行状态实时可视化与故障预警,提前 30 分钟预警潜在故障,故障诊断准确率达 95%以上,设备停机时间减少 25%,运维成本降低 20%,其中 OPC UA 接口与 VR 引擎的无缝对接,保障了运行数据的实时性与准确性。

张顺堂[23]研发的矿山安全培训系统,结合沉浸式 VR 技术、多感官反馈技术及 AI 场景生成技术,模拟瓦斯爆炸、顶板坍塌等突发事件,培训后工人安全意识提升 40%,应急处置能力提升 35%,矿山安全事故降低 25%。该系统通过优化重力感知算法、声音定位技术,有效降低操作人员眩晕感,适配性较传统矿山 VR 培训系统提升 50%。

## 4.3. 跨行业通用场景应用案例

跨行业通用场景强调普适性与易用性,主要包括建筑施工、工业安全培训、设备远程运维等。黄广国等[24]开展 VR 技术在建筑受限空间起重机械布局控制中的应用研究,采用三维激光扫描与 VR 全景摄影融合建模技术,结合力学分析计算验证方案安全性,改进后设计布置安装时间缩短 18%,事故率下降 30%,符合 GB/T 39348-2020 场景建模标准要求。

王戈静[25]设计的工业场景导览互动系统,采用轻量级建模技术、移动 VR 设备及云边协同架构,降低部署成本与易用性门槛,使用率达 90%以上,较传统导览更易传递工业知识,将新员工入职训练时间缩短 40%。该系统引入 AI 大模型驱动的智能讲解功能,支持自然语言交互查询设备信息,进一步提升用户体验,已在多家制造企业展会及入职培训中应用。

# 5. 讨论与未来展望

## 5.1. 讨论

综合上述分析,VR 技术在工业领域的研究与实践已取得显著突破,在提升生产效率、降低运维成本、保障作业安全等方面发挥重要作用,尤其在大模型融合、接口标准化、渲染优化等前沿领域的进展,为规模化应用奠定了基础。但从实际落地情况来看,技术、标准、成本、人才等核心瓶颈仍未完全解决:技术层面,动态场景虚实同步精度、多感官反馈真实性与工业需求仍有差距;标准层面,虽有 ISO、IEC 等权威标准参考,但行业内统一执行力度不足,私有接口仍普遍存在;成本层面,高精度设备与定制化研发费用较高,中小企业难以承担;人才层面,复合型人才缺口大,制约技术研发与运维保障。

不同工业场景的 VR 应用侧重点与技术需求差异明显,离散制造侧重产品设计与流程优化,需重点突破建模精度与 AI 协同技术;流程制造侧重设备运维与安全演练,需强化虚实同步与多感官反馈;跨行

业通用场景侧重普适性与易用性,需推进轻量化部署与标准化适配。因此,VR技术在工业领域的推广应用,需坚持“场景化定制”思路,结合不同行业需求制定技术路线,同时政府与行业协会应牵头推进标准统一,依据ISO/IEC相关标准构建工业VR标准体系,加大对中小企业的政策扶持与资金支持,加强复合型人才培养,营造良好产业生态。

## 5.2. 未来研究与应用方向

今后VR在工业领域的应用将朝着技术融合化、应用规模化、体验极致化的发展趋势,主要研究及应用方向有以下内容:多技术深度融合。加强VR和数字孪生、人工智能、5G、脑机接口等多种技术的融合,打造更加智能、更加精准、更加高效的各种工业VR应用系统。如将VR技术与数字孪生相结合,在整个工业生产流程中进行虚实映射并进行智能化管理;将AI技术融入其中,让VR系统具有更强的对所处环境的理解能力和对设备的故障预测及处理能力。第关键技术研究。针对目前VR在虚实同步、实时场景绘制以及人机交互等方面的不足,展开深入的研究工作。核心技术攻关,突破高精度、低时延的虚实同步技术,对工业动态场景进行精确映射;研究实时渲染技术,提高大规模复杂工业场景渲染速度;研制多维触觉、力反馈装备,增强真实性和自然感。标准化及产业化发展,加快VR工业应用相关技术标准、数据标准、安全标准等出台,实现系统间兼容及数据共享。推动VR工业应用产业链的完善,培育专业的建模、开发、运维服务企业,降低应用门槛与成本,促进VR技术在工业领域的规模化应用。

## 基金项目

2026年成都信息工程大学大学生创新创业训练计划项目(X202610621151)。

## 参考文献

- [1] 姬晓婷. 工业: VR加速企业数字化转型[N]. 中国电子报, 2022-11-08 (006)
- [2] 林鹏. 虚拟现实(VR)技术在工业领域的应用研究[J]. 丝网印刷, 2024(8): 92-94.
- [3] 曹伟智. 工业设计领域下VR和AR技术的新融合[J]. 美术大观, 2018(11): 90-91.
- [4] 马颖峰, 任辉. VR化学实验模型的设计[J]. 中国远程教育, 2002(4): 59-61.
- [5] 张顺堂. VR技术在矿工安全培训中的应用研究[J]. 黄金, 2008, 29(8): 32-34.
- [6] 郭雅楠. 工业数字孪生中VR驱动的虚实同步误差补偿模型[J]. 无线互联科技, 2025, 22(16): 45-48.
- [7] Yang, Z., Tomita, K. and Kamimura, A. (2025) VR-Based Teleoperation of UAV—Manipulator Systems: From Single-UAV Control to Dual-UAV Cooperative Manipulation. *Applied Sciences*, **15**, Article 11086. <https://doi.org/10.3390/app152011086>
- [8] 季元吉, 金艳萍, 王磊, 等. 基于VR全景摄影和三维激光扫描的逆向建模在既有工业建筑中的研究应用[C]//中国建设科技集团股份有限公司, 中南建筑设计院股份有限公司, 湖北省勘察设计协会, 湖北省土木建筑学会. 第十届建筑结构技术交流会论文集(下册). 上海: 上海市建筑科学研究院有限公司, 上海市工程结构安全重点实验室, 2025: 368-372.
- [9] Piszcz, A., Rojek, I., Náprstková, N. and Mikołajewski, D. (2025) Using VR and BCI to Improve Communication between a Cyber-Physical System and an Operator in the Industrial Internet of Things. *Applied Sciences*, **15**, Article 12805. <https://doi.org/10.3390/app152312805>
- [10] 马啸. 交互与升维: VR影像场景设计的工业美学研究[J]. 电影评介, 2023(17): 42-46.
- [11] 席涛. 论虚拟现实技术(VR)引导工业设计的发展[J]. 包装工程, 2007(7): 124-126.
- [12] Singh, A.K. (2025) VR/AR in Ergonomics and Workspace Design: A Dual-Perspective Analysis of Applications and Implications. *Applied Ergonomics*, **129**, Article 104612. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2025.104612>
- [13] Singh, A., Dwivedi, R.K. and Singh, V.K. (2025) An Ingenious DGS Based Door Lever Shaped-Flexible Ultra-Wide Band Antenna with Reduced SAR for Remote Healthcare, Bioelectronics, and Advancing Future AR and VR Technology. *International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields*, **38**, e70088. <https://doi.org/10.1002/jnm.70088>

- 
- [14] 余思柳. 基于 VR 技术的工业设计常用材料与工艺应用和建模标准试验研究[J]. 造纸装备及材料, 2025, 54(6): 101-103.
- [15] 樊树海, Amanda Elizabeth, 倪卫红, 等. 工业工程实验室经济型 VR/3D 改造方案探究[J]. 实验室研究与探索, 2011, 30(8): 210-212+235.
- [16] 张倩. 基于 VR 技术的工业生产环境交互技术探讨[J]. 科技风, 2022(9): 58-60.
- [17] 管磊. VR 技术在建筑行业的应用优势[J]. 建筑, 2023(5): 139-141.
- [18] Teng, J., Cho, S. and Lee, S. (2025) Human-Robot Interaction: Integrating BCI-Controlled Virtual Robotic Arm with Manual Control in VR Environment. *Computer Animation and Virtual Worlds*, **36**, e70072. <https://doi.org/10.1002/cav.70072>
- [19] 郁有建. 基于 VR 与 AR 和移动互联技术的工业智能化综合服务平台研发[Z]. 天津: 天津梅迪亚科技有限公司, 2022.
- [20] 田磊, 王婕. VR 眼镜后组装生产线流程优化研究[J]. 制造技术与机床, 2020(3): 139-144.
- [21] 左文娟, 宁萌, 张秋菊, 等. 基于沉浸式 VR 递阶的机器人实训平台设计[J]. 实验技术与管理, 2021, 38(12): 184-187.
- [22] 范仁晶, 张德智, 沈成银, 等. 基于虚拟现实(VR)的联轴器监控系统研究[J]. 重型机械, 2024(6): 68-72.
- [23] 张顺堂. 基于 VR 仿真技术的矿山安全培训系统的设计与实现[J]. 中国煤炭, 2008(3): 80-83+4.
- [24] 黄广国, 赵磊, 胡志诚. VR 技术的建筑受限空间起重机械布局控制方法分析[J]. 自动化应用, 2022(4): 59-61.
- [25] 王戈静. 基于 VR 技术的工业场景导览互动系统设计与应用[J]. 自动化与仪器仪表, 2017(10): 124-125.