DOI 10.15302/J-SSCAE-2024.01.007

基于技术驱动与服务创新的虚拟现实产业发展研究

袁茜茜[1]，吕星月[1]，冯大权[1*]，王振中[2]

（1. 深圳大学数字创意研究中心，深圳 518060；2. 中央广播电视总台技术局，北京 100020）

摘要：虚拟现实（VR）技术以高度沉浸感为用户带来全新的多感官交互体验，推动产生新兴服务业态并以新服务模式促进传统行业转型升级，推动高附加值、高层次和多元化服务产业体系建设。本文梳理了VR产业链结构和关键技术发展现状，剖析了VR与服务业融合应用的前景、方法与场景分类，分析了VR产业的发展趋势以及我国VR产业在产业链供给、应用落地、行业规范和专业人才培育等方面面临的主要问题。研究建议：加强基础研发投入，突破核心技术难点；培育领头试点项目，打造示范应用平台；构建配套服务体系，营造良好的产业发展环境；健全高技能人才队伍建设，提升我国在全球VR产业布局中的竞争优势，加速服务业的智能化、交互性、定制化发展。

关键词：虚拟现实技术；新兴服务业；产业链；技术驱动；融合发展

中图分类号：TP3　　**文献标识码：**A

Development of Virtual Reality Industry Based on Technology Drive and Service Innovation

Yuan Xixi[1], Lyu Xingyue[1], Feng Daquan[1*], Wang Zhenzhong[2]

(1. Digital Creative Technology Research Center of Shenzhen University, Shenzhen 518060, China;
2. Technology Bureau of China Media Group, Beijing 100020, China)

Abstract: The virtual reality (VR) technology brings a new multi-sensory interactive experience to users with a high degree of immersion, generates emerging service formats, empowers the upgrading of traditional industries, and provides high value-added, high-level, and diversified services to society. This study outlines the VR industry chain and the development trends of key technologies, and analyzes the prospects, methods, and scenario classification of the integration of VR and the service industry. The study reveals the development trends and major challenges of China's VR industry in terms of industrial chain supply, application implementation, industry standards, and professional talent cultivation. Furthermore, we propose the following recommendations: (1) strengthening investment in basic research and development, focusing on breaking through core technical difficulties; (2) cultivating leading pilot projects to create demonstration platforms; (3) building a supporting service system to create a sound industrial development environment; and (4) increasing efforts in talent training and international cooperation to enhance China's competitive advantages in the global arrangement of the VR industry, thereby accelerating the intelligent, interactive, and customized development of the service industry.

Keywords: virtual reality technology; emerging service industry; industrial chain; technology drive; integrated development

收稿日期：2023-12-08；**修回日期：**2024-01-19

通讯作者：*冯大权，深圳大学电子与信息工程学院副教授，研究方向为数字创意技术、电信技术；E-mail: fdquan@szu.edu.cn

资助项目：中国工程院咨询项目“‘四链’深度融合下我国战略性新兴产业高质量发展战略研究”(2023-PP-006)

本刊网址：www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

一、前言

虚拟现实（VR）利用计算机和其他高新技术模拟构建三维的虚拟世界，为用户提供包含视觉、听觉、触觉等感官的模拟感受，通过三维显示器和姿势追踪等设备使用户获得沉浸式交互体验[1,2]。VR作为新一代信息技术的主要前沿方向，为新兴服务业提供了重要技术支撑，衍生出新兴服务业态并以新服务模式赋能传统行业改造升级，有助于服务业的现代化和智能化建设，同时也为全球经济发展注入新的活力。《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VR列入数字中国经济建设的重点产业，以数字化转型驱动生产、生活和治理方式变革。目前，我国VR产业初步实现了基础生态体系建设，将进入产业融合创新阶段。

VR技术是驱动VR产业发展和促进服务模式创新的核心动力。近年来，随着元宇宙热潮的兴起以及第五代移动通信（5G）、人工智能（AI）、超高清视频、云计算、大数据等信息技术的快速发展，VR硬件设备和核心软件技术取得了显著的发展成效，在沉浸感、交互性、舒适度等方面得到了进一步提升[3~5]。VR硬件设备，如头戴式显示器和运动追踪系统向轻便、舒适且高效的方向演进[6~10]，图形渲染技术和实时光线追踪技术增加了内容显示的逼真感[11,12]，手势识别、眼球追踪和全身动作捕捉（动捕）等交互技术进一步丰富了用户的沉浸式体验[13~15]。硬件成本、内容质量、技术标准等是当前VR技术发展面临的主要挑战。在产业发展方面，当前全球VR产业呈现出稳步向好的发展态势，全球VR产业链主要集中在美国、欧洲、中国和日本等国家和地区。美国专注于技术研发、科技创新和娱乐内容创作，欧洲以学术研究、高精度研发和多样化内容设计为主，中国和日本则在设备组装、硬件制造以及新型产品研发等方面具备优势[16~19]。随着VR产业的成熟，VR将成为大部分主流内容供应商的主要内容生产平台之一，VR硬件产品在普及率大幅提升的同时将实现多个领域的全面应用。

本文从技术驱动和服务融合创新的角度对VR产业发展现状和趋势进行研究，旨在为VR服务产业高质量发展和加快应用落地提供思路。本文梳理了VR产业链主要模块的发展现状，分析了核心技术的研发趋势，产业链的高效供给是服务业创新发展的重要基础；研究了VR与行业应用融合的方法，并对应用场景进行了分类，有助于挖掘应用潜力和制定战略化发展策略；揭示了当前我国VR产业的发展趋势和面临的主要问题，并提出了加快VR产业发展的对策建议。

二、基于技术驱动的虚拟现实产业发展现状

（一）虚拟现实产业链

VR技术发展形成了一条完整的产业链，主要包括硬件、软件、内容制作与分发、应用与服务四大板块（见图1）。目前，我国VR产业链主要集中在整机设备、开发工具软件、分发平台和近眼显示技术方面，应用则主要分布在文化旅游、教育培训、工业生产、体育健康和智慧城市领域[20,21]。根据国际数据公司（IDC）预测，2021—2026年我国VR市场将以42.2%的复合增长率保持高速增长，在涨幅方面超越美国和西欧等国家和地区，位列全球首位。

1. 硬件板块

硬件设备是用户与虚拟环境交互的重要媒介，

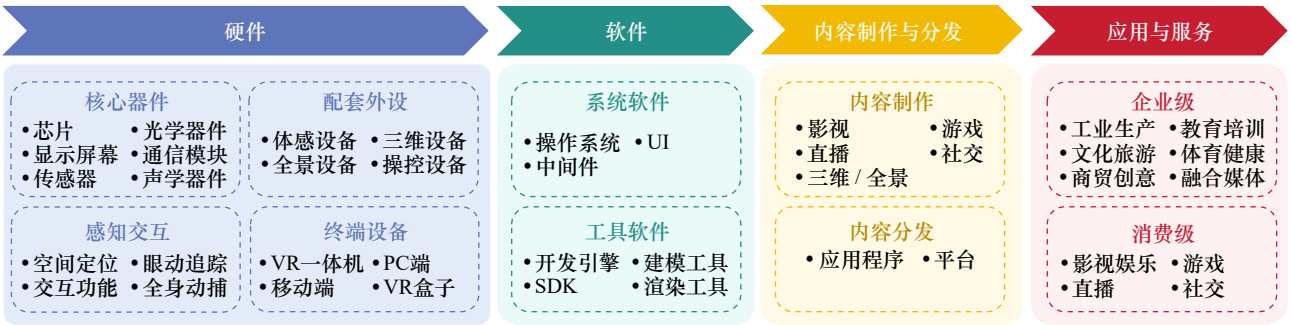

图1 VR产业链梳理图

注：UI为用户界面；PC为个人计算机；SDK为软件开发工具包。

直接影响 VR 体验的真实感和沉浸感，是制约 VR 产业发展的关键。硬件产业链包括核心元器件、感知交互设备、终端设备、配套外设等。VR 终端设备经历了移动式形态、分体式形态和一体式形态的演变进程，其中轻量化一体式 VR 设备以高沉浸感和便捷性成为产业优化的主要方向。据 IDC 预测，2026 年，我国消费级 VR 头戴式显示器（头显）出货量将近 700 万台[22]（见图 2）。芯片是消费级 VR 设备的关键成本，其次是显示模组和光学模组，高通 XR2 芯片是当前 VR 一体机的主流芯片。VR 光学器件经历了非球面透镜、菲涅尔透镜和超短焦光学折叠光路（Pancake）三个发展路径，其中 Pancake 采用的折叠光路设计在轻薄性和成像质量方面具有优势，被视作下一代 VR 近眼光学的首选方案[23]。快速响应液晶显示屏幕采用次毫米发光二极管背光源提升显示亮度，弥补了 Pancake 方案光损高的缺点，将进一步提高短焦 VR 产品的使用体验[24]。

2. 软件板块

VR 软件通过建模和设计虚拟仿真场景，扩展优化应用功能，提升服务效率和创新能力。VR 软件产业包括系统软件和工具软件：系统软件包括操作系统、UI 和中间件；工具软件主要是开发引擎、建模工具、SDK、渲染工具等。操作系统主要基于安卓系统进行设计，开发引擎包括专业开发引擎和用户生成内容引擎。高通 Spaces 平台专注为高通芯片驱动的头显提供开发工具，包括空间定位、手势追踪、环境识别 SDK 等。常见 SDK 包括 Oculus Rift、HTC Vive、PlayStation VR 等提供的与硬件设备通信、跟踪和输入相关的应用程序编程接口（API）和工具[25]。基于头戴式显示器的 VR 系统包含的基本计算模块如图 3 所示。国外软件产业在 VR 领域处于领先地位，国内软件产业也取得了长足发展，推出了一系列创新产品和解决方案。

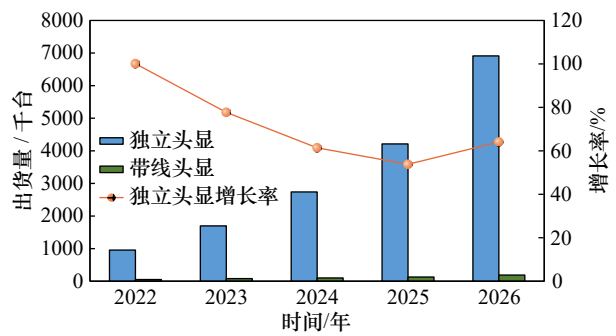

图 2　我国消费级 VR 出货量预测（2022—2026 年）

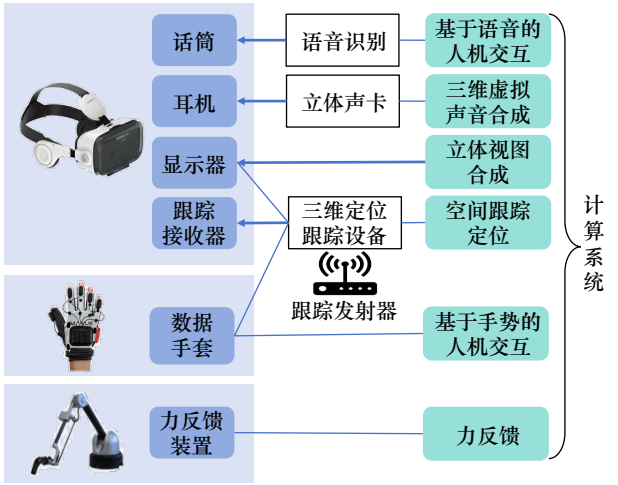

图 3　基于头戴式显示器的 VR 系统基本结构

3. 内容制作与分发板块

VR 内容市场涉及多种垂直行业，内容提供商在多个行业中专注提供内容、构建场景，并利用 VR 技术提供解决方案。内容产业主要包括内容表示、内容生成与制作、内容编码、实时交互、内容储存、内容分发等。内容制作涉及游戏、影视、直播、社交等领域。内容分发主要包括 VR 应用程序和分发平台，如应用商店、网站、播放器、VR 主题公园和体验店等。Steam 平台是创建最早的内容最丰富的 VR 内容平台，为 VR 内容的分发提供了便利的渠道，吸引了大量的开发者和内容创作者入驻。国内互联网平台积极布局 VR 内容产业，为内容创作者提供了更多的展示和分发机会。

4. 应用与服务板块

VR 产业链下游的应用与服务根据用户群体不同主要划分为消费级应用和企业级应用。消费级应用以游戏为主，包括直播、影视、娱乐、社交等。企业级应用主要有医疗健康、教育培训、工业生产、文化旅游等行业。此外，企业级应用涉及部分政府级应用，如军事安防、智慧城市、科普等。国内外 VR 应用产业领域都处于快速发展阶段，VR 技术的应用场景不断丰富，应用服务市场潜力巨大。根据亿欧智库的预测数据，到 2025 年，我国 VR 消费级应用市场将达到 297 亿元人民币，其中娱乐、游戏和购物应用市场将分别达到 81 亿元、63 亿元和 62 亿元；企业级应用市场将达到 931 亿元，其中教育、工业制造和国防军事将分别达到 328 亿元、292 亿元和 97 亿元。

（二）虚拟现实核心技术

VR核心技术是推动VR产业创新发展的内在动力，包括近眼显示、感知交互、内容制作、网络传输和渲染处理技术等。

1. 近眼显示技术

近眼显示设备是VR的重要呈现平台，被认为是继电影屏幕、平板显示之后显示领域的又一次革命。近眼显示设备也被称为头盔显示器，通过显示目镜把显示屏幕成像放大在较远的地方，主要由显示屏幕和显示目镜组成。在VR终端显示领域，快速响应液晶具有超高清和轻薄的特点，硅基有机发光半导体（OLED）可显著改善对比度、功耗与响应时间等方面的表现，成为新近VR终端的主流选择[26,27]。在光学领域，光学架构技术评价参考视觉质量、光学效率、视场角、体积重量等指标。随着硅基OLED、微发光二极管、光场显示等微显示技术的发展，将推动近眼显示技术实现更高分辨率和高效能，增强互动体验的真实感，从而刺激VR产品消费和VR产业升级。根据英国权威调研机构Omdia发布的《扩展现实（XR）应用近眼显示面板的报告—2023年》，XR近眼显示面板市场主要包括VR、增强现实（AR）和混合现实（MR）应用，其规模将在2028年达到8870万片，并且其中VR是主流应用。

2. 感知交互技术

感知交互技术用于实现用户在虚拟场景中的自然感知和交互，包括位置、手势、眼球追踪，语音、气味、视觉识别，脑机接口等。追踪定位是感知交互领域的基础能力，通过听音辨位、空间混响、通感移觉等技术消除定位判断的模糊性，加强视觉和听觉等多感官通道的一致性和关联性，有助于进阶提升VR沉浸体验。通过超声、激光、电磁、惯性导航等多种传感器融合定位，与光学定位相比减少了计算资源消耗，在一定程度上优化了功耗与鲁棒性表现。手势追踪技术消减了用户对交互外设的配置操作与购买成本，增强了在虚拟场景中的体验感，具有更大的内容创作空间。此外，眼动追踪、环境理解和三维重建也将成为VR感知交互研究领域的重要方向。未来，VR感知技术将追求更加沉浸式、自然化和智能化的交互体验，实现更加逼真的感知效果。

3. 渲染处理技术

渲染处理技术使用图形学、光线追踪等技术将虚拟场景的三维图形构建、纹理贴图、光照和阴影效果等模型转化为逼真的二维图像，以增强用户体验。VR渲染处理技术具有实时性、高分辨率、低延迟等特点，以避免画面切换的眩晕感，增强视觉质感。云渲染、AI与注视点技术等进一步优化渲染质量与效率间的平衡。国外英伟达公司（NVIDIA）、超威半导体公司（AMD）等一直在不断推进渲染处理技术发展，推出了各种针对VR的图形处理器、驱动程序和软件开发工具。在国内，华为技术有限公司、联想集团等公司也在积极推动VR渲染处理技术的发展。此外，一些游戏、虚拟旅游、教育等领域也在进行相关技术研究和应用探索，以不断提高VR的图像渲染质量和性能。随着VR技术的不断发展，渲染处理技术的进步将有助于实现更加真实、流畅的虚拟体验。

4. 内容制作技术

VR内容制作技术是用于创作、编辑和制作VR内容的技术，包括三维建模、VR影视制作、VR场景的拍摄和后期制作等，交互性体验和支撑工具发展迅速。VR直播成为丰富VR内容的重要途径，如体育赛事、新闻报告、教育培训和综艺节目等直播事件。VR直播呈现两极化发展趋势，即满足专业生产内容（PGC）高质量、多格式与用户生成内容（UGC）操作便捷、成本可控的发展要求[28]。制作上云将成为简化VR内容摄制流程的关键技术。在游戏和互动教育方面，用户的实时互动将产生个性化专属的虚拟内容，虚拟数字人将形成VR社交的新模式。内容相关的其他支撑性技术发展稳健，面向移动设备的低功耗、可视化开发引擎将助力VR应用开发效率提升。

5. 网络传输技术

高速稳定的网络传输技术能够保障VR应用的智能化实时交互能力和虚拟场景构建的自然逼真效果。借助于终端轻型化和移动化5G技术，高峰值速率、毫秒级的传输时延和千亿级的连接能力，降低了对VR终端的要求，有效提升了VR技术在应用端的体验。多接入边缘计算服务能够降低云化VR业务的网络连接和终端硬件门槛，加速VR业务在5G网络和固定宽带网络的规模化商用，促进商业模式转型和创新。此外，第五代固定网络（FG5）具有大带宽、低时延、能力开放、高稳定全光联接特性，可提升多用户VR体验，IP架构简化、全光

网络、端网协同等成为VR网络传输技术的发展趋势[24]。

三、基于服务创新的虚拟现实应用发展研究

VR应用以新模式、新业态为不同行业的创新发展提供动能。《虚拟现实与行业应用融合发展行动计划（2022—2026年）》提出，到2026年虚拟现实在经济社会重要行业领域实现规模化应用，形成若干具有较强国际竞争力的骨干企业和产业集群，打造技术、产品、服务和应用共同繁荣的产业发展格局。VR与不同行业应用的融合发展已经成为我国新兴产业发展的重要战略窗口。

（一）虚拟现实与服务业融合的前景分析

根据中国社会科学院2035年经济社会发展愿景分析，未来，经济、人口和信息技术的发展将为新兴服务业带来新的机遇。2035年，我国第三产业增加值占国内生产总值（GDP）比重将达62.7%，人均GDP将达2.5万美元，人均消费水平将达1.6万美元。服务业消费的增加将给我国数字经济带来更加丰富的应用场景和发展空间。此外，预计到2035年，我国人口总数将降至约14.5亿人。人口增长的放缓将导致劳动力数量短缺，进一步促进智能化生产的应用，而智能化信息技术是应对人口增长放缓、社会老龄化的重要工具[29]。2035年，信息技术的渗透将更加广泛，将有效促进AI、VR、物联网等技术与新兴服务业的进一步融合，人类活动将全面数据化，智慧社会基本雏形建立，信息消费领域全面爆发，实现消费场景VR化、产品C2M化、服务AI化[30,31]。

VR应用通过提供沉浸性、交互性、多感知性、自主性和构想性等高层次和多元化体验，产生新型服务模式和新服务业态，同时也为传统行业数字化转型升级带来创新发展机遇[32~36]。首先，在沉浸式虚拟环境搭建方面，VR技术通过模拟真实环境，为服务业创建更加逼真的服务场景，如虚拟试衣间、在线教育平台和远程医疗服务，不仅提升了用户体验，还拓展了服务的可达性和便利性。其次，在知识驱动服务方面，VR技术可用于模拟、训练和专业技能培训，如飞行模拟器和手术训练，有助于提高服务质量和安全性。此外，VR技术在促进传统行业转型升级方面发挥着关键作用。例如，通过虚拟展示和体验，传统零售业可以吸引更多线上客户，同时提供个性化的购物体验；在制造业中，VR技术可以用于产品设计和原型测试，加速产品开发周期。因此，VR技术通过创新服务模式提升了服务效率和质量，推动了传统行业与现代技术的融合，正在成为服务业创新发展的重要驱动力。

（二）虚拟技术与服务业融合方法分析

VR与不同行业的融合表现为结合型、绑定型和延伸型三种形态。在结合型融合应用中，VR技术与特定行业紧密集成，形成新的服务模式或产品，能够显著提升现有业务流程或用户体验的领域，如在教育培训领域，VR结合传统教学方法提供沉浸式学习体验，不仅增强了学习效果，也改变了传统的教学方式。在绑定型融合服务中，VR技术与行业的核心业务紧密绑定，用于提供关键功能或解决核心问题，是应用中不可或缺的一部分，如在医疗健康领域，VR技术用于手术模拟和远程诊断，从而提高医疗质量和安全性。延伸型融合是指使用VR技术扩展行业业务范围，VR技术能够提供沉浸式交互体验，创造了新的市场机会或服务领域，如在娱乐行业，VR技术不仅用于游戏和电影，还延伸到音乐会和体育赛事的直播，为观众提供了全新的观赛体验，开辟了新的消费市场。VR技术的融合创新应用不仅改变了现有的业务模式，而且推动了新的商业模式和服务的诞生，为各行各业带来更多的变革和发展机遇。

VR应用的规模化和持续化发展依赖VR关键技术的持续创新和全产业链条的高效供给。VR技术在近眼显示、感知交互和渲染处理等核心技术的创新发展，结合5G、AI、区块链、云计算、数字孪生等新一代信息技术，有助于推进云、网、边、端协同能力体系建设，为VR赋能应用打造高性能的研发环境。VR全产业链的供给能力是实现行业融合应用的基础。VR关键器件、终端外设、内容生产和运营平台等环节的协同发展和高效供给，将确保VR解决方案的完整性、可靠性和高效率，提高VR技术的广泛适用性。研发高性能VR专用处理芯片和近眼显示等关键器件，促进一体式、分体式等多样化终端产品发展，将提升终端体验的舒适度、易用性与安全性。此外，加强产业公共服务平

台建设、构建融合应用标准体系、保障资金和人才支撑，有助于打造专业化、高水平的产业落地服务体系。

（三）虚拟技术与服务业融合场景分类

从服务功能角度进行分类，VR服务应用可分为生活性应用和生产性应用两类。生活性VR应用以提供个人体验和娱乐为主，生产性VR应用则侧重于提高效率、降低成本、增强培训效果和优化工作流程。具体而言，生活性VR应用包括以娱乐和休闲为目的的VR游戏、VR影视剧院、VR旅游和VR健身，以健康养生为主的虚拟诊疗和健康监控，以教育培训为主的虚拟课堂和VR技能培训，以及以零售购物为主的虚拟试衣和家居设计。生产性VR应用较为广泛，包括工程设计行业的VR建筑设计和产品设计，生产制造行业的生产线模拟优化、远程控制和生产设备监控，市场营销行业的VR产品展示、市场环境模拟和消费者行为分析，物流管理行业的模拟仓库布局、物流监控和供应链动态展示等，以及专业技能培训领域的手术模拟、机械操作训练和危险场景安全教育培训等。随着VR技术的成熟和成本的降低，VR应用将在更丰富的服务领域得到不断扩展和深化。

此外，VR应用还可以从VR技术的角度进行归纳分类。根据用户交互方式不同，VR应用可以被分为完全沉浸式应用、半沉浸式桌面VR应用和非沉浸式360°视频应用；根据内容制作类型分为故事驱动型的VR电影或游戏、体验驱动型的虚拟体验、教育驱动型的模拟教学；根据社交互动类型分为单用户VR应用和多人互动的VR社交应用；根据商业模型分为面向个人消费的VR产品和面向企业或特定行业的VR应用；根据实现技术还可以分为基于空间移动的VR主题公园、基于电脑桌面的虚拟交互，以及基于移动设备的VR头显体验。不同分类视角下的VR应用存在交叉现象，有助于更准确地描述VR应用场景。

四、虚拟现实产业发展趋势与存在问题

（一）发展趋势

1. VR硬件和软件核心技术优化迭代加快

随着VR应用需求的持续增长和政策的支持，VR市场规模保持高速增长，软件和硬件技术迭代加快，将为VR服务提供更高质量的技术保障，有效提升用户体验质量。在硬件设备方面，近眼显示技术的加速优化提升了VR硬件设备在显示分辨率、帧率、自由度、延时、交互性能、重量、眩晕感等方面的性能，使硬件设备向轻薄化和超清化方向发展，从而提高用户体验舒适度。在软件和内容方面，VR内容的丰富性和专业应用的拓展正在推动生态系统的成熟。手势识别和眼球追踪等交互技术的创新将有效提升用户体验沉浸感。新技术的涌现为产业发展带来更多可能性，促使VR服务的形式和应用场景向多元化方向发展，其中突破软件及开发工具的技术瓶颈成为提升我国产业竞争力的关键。

2. VR市场应用加速普及

VR产业呈现出从创新应用到常态应用的发展趋势。近几年，我国零接触经济模式发展迅速，VR应用在远程医疗、线上教育、远程运维等方面发挥了积极作用。数字孪生是VR行业主要的技术探索方向，利用数字化技术对实物进行建模、仿真和分析，在工业生产和城市建设等多个领域应用广泛，将产生巨大经济和社会效益，在数字经济发展中扮演着重要角色。随着VR技术水平的不断提高，在行业应用中的广泛渗透，行业需求的增长和跨行业合作的增多，VR产业呈现出加速普及的发展趋势，对提高生产效率、创新服务产品、人才吸引、提升用户体验满意度具有重要意义。

3. VR产业集群分布格局明显

我国VR产业集群分布特征和优势明显。VR作为新一代信息技术融合创新的典型领域，通过区域集群发展聚集大量企业、研发机构、人才和投资资源，便于形成具有竞争优势的VR产业聚集区。我国的VR产业集群以北京、上海、深圳为主，同时一些新兴的创新城市如杭州、成都等也开始崛起，成为VR产业集群的重要区域。国家在VR产业集群地区加大政策、资金、人才和技术支持，为VR产业链的发展提供了良好的支撑环境，如《北京城市副中心元宇宙创新发展行动计划（2022—2024年）》《上海市培育“元宇宙”新赛道行动方案（2022—2025年）》《山东省推动虚拟现实产业高质量发展行动计划（2022—2024年）》等利好政策的出台，助力打造VR应用场景的标杆示范，激发新技术创新，形成良性循环。

4. 算力成为VR行业应用的核心驱动要素

算力是优化和提升VR设备性能、图像质量和交互体验升级的关键，成为未来VR行业应用的核心驱动要素。AI、云计算、5G等技术的快速发展，为VR产业提供了更为强大的算力支持，保障了VR设备数据传输速度和连接稳定性。近年来，随着新型信息基础设施建设的加速，我国“算力中心”规模与技术水平取得了长足进步。截至2022年年底，我国算力总规模达到180 EFlops，位居全球第二，近五年年均增速将近30%，新增算力设施中智能算力占比过半。在充足的算力资源保障下，AI大模型将充分发挥潜能，为VR应用提供个性化内容、革新交互方式、增强训练模拟、优化数据分析、辅助设计创作，深刻影响并推动VR服务业的创新和发展。

（二）存在问题

1. VR产业链短板尚待补齐

当前发展阶段，内容和终端成为影响VR产业发展的关键。在内容制作方面，业内缺乏常态化的内容制作基地和专业开发人员，内容制作成本较高，导致优质VR内容数量受限，进一步带来用户体验的不稳定性，限制了产品的市场接受度。在终端方面，价格门槛、体积形态、视觉质量、端云协同等问题成为影响VR终端发展的重要因素，而且高性能VR头显处理器芯片仍由国外企业主导。此外，国内部分中小型VR企业片面追求芯片、传感器、显示器件等设备的单一性能参数，对“云、网、边、端、用、人”等多领域间的融合创新与技术投入不够，难以满足阶梯化、多层次与分场景的用户需求。VR生态圈业内资源难以整合，造成技术进步缓慢，市场竞争力弱，协同化的产业集群研发平台尚待成型。

2. VR应用落地实践不足

目前，VR应用大多以展厅观摩为主，缺少规模化、可落地和有产出的商业实践。针对工业生产、教育培训、文化旅游，医疗健康、商贸创意等应用领域，业内多数VR解决方案厂商对既有业务流程与现实场景的理解积累有限，难以有效筛选识别多元化、差异化的细分场景需求。此外，在实际应用中，技术成熟度、开发成本、用户接受度和法规标准等对VR应用落地提出挑战。在地方产业发展方面，企业片面追求本地产业链条齐全完善，未有效结合本地实际情况科学配置资源，致使投入产出比例失调，影响后续产业落地措施的连贯性[24]。

3. 行业标准缺乏统一和规范

VR产业正处于蓬勃发展期，行业标准和规范尚未完善。在硬件设备、软件开发、内容生产等方面，缺乏统一的技术标准，导致不同厂商、开发者生产的产品并不完全兼容，使得消费者在使用过程中遇到不匹配问题。建立健全的行业标准和规范，如VR设备接口标准、内容制作和传输标准、用户体验评价标准等，推动整个VR产业向着更加规范化、专业化的方向发展。此外，健全VR服务产业知识产权保护和数据安全法规，有助于保护创作者权益，防止数据泄露、篡改、滥用对用户造成潜在威胁，是VR行业可持续发展的重要基础。

4. VR专业人才培育不足

VR应用在不同行业的广泛普及和全产业链的构建需要大量的专业技术人才提供产品创新能力和产业可持续发展动力。VR技术开发人员需要具备硬件设计、软件开发、美化设计、内容创作，以及特定行业的业务流程知识，VR技术的快速迭代和行业标准的不统一导致专业人才培育难以跟上技术发展的步伐。VR作为一个跨学科领域的技术，需要从业人员具备多方面的知识和技能，进一步加大了人才培育难度。其中软件开发和内容制作领域的人才缺失将直接影响产品质量、降低市场竞争力，造成VR产业的停滞不前。通过加大VR人才培养的投入力度，不仅能够促进技术的成熟和应用的多样化，而且可为社会创造新的就业机会，推动经济增长。

五、对策建议

面向战略性、系统性、创新性、引领性的VR服务产业体系构建，不仅需要技术创新作为驱动力，更需要明确的产业定位、广泛的市场应用和完善的产业生态系统为支撑，以促进VR技术与各行业的深度融合，为经济转型升级提供新动能。为促进VR赋能新兴服务业高质量发展，本文提出如下建议。

（一）加强基础研发投入，突破核心技术难点

建议针对VR产业链尚存短板，加强基础研发投入，致力于突破核心技术难点，加快构建现代化高质量服务体系。加强基础技术的布局研究，在设

备材料、先进计算、核心零部件、高效内容编解码等方面以国家重大技术专项形式攻关突破。开展VR共性技术研究与工程创新，积极推进“产学研用”一体化发展，突破科技成果转化壁垒。强化VR与5G、AI、大模型、云计算等新一代信息技术的深度融合，支持跨产业链条、面向特定场景、具备商用潜能的应用技术研发，提高创新资源利用效率和产出水平。此外，建议政府和企业在基础设施平台搭建、技术标准化制定、加大研发投入和人才培养等方面提供保障。

（二）培育领头试点项目，打造示范应用平台

基于VR技术打造一批兼具技术领先和商业价值的尖端产品，面向新兴业态和跨界创新推广VR应用市场。推动硬件厂商、终端企业、内容开发者以及解决方案提供商协同创新，实现产业链上不同企业的整体联动，形成规模化的先进示范体系。积极发挥各类技术研发实验室的基础创新能力和生产厂商的技术研发能力，加大资本投入，完善成果转化机制。围绕工业生产、教育培训、医疗健康和文化娱乐等应用领域，结合差异化场景需求，使用VR升级传统服务流程，建设特色应用试点，提升用户沉浸式体验满意度，打破展厅式应用瓶颈，形成一批易推广、有产出、可盈利的应用示范。

（三）构建配套服务体系，优化支撑环境

构建适用于VR应用落地的配套服务体系，不仅能够加快高质量服务体系建设，而且有利于公共资源的合理配置，营造良好的创新、开发、投资、监管支撑环境。具体而言，提供技术研发、集成检验、测试评价、知识产权、合作交流、供需对接、人才培养等公共服务，持续健全VR产业发展支撑环境。建立技术认证机制，提供产品设计和工程开发的优化建议，提升产品研发速度。完善政府财政和市场的资金投入机制，集资成立专业化的创新型孵化器、微小企业培育机构，丰富创新创业载体。建立健全行业监督机制，保障VR产品质量、规范开发流程、维护内容制作的知识产权和用户的数据安全，为VR产业提供良好的应用生态体系。

（四）健全高技能人才队伍建设

VR服务产业的高质量快速发展依赖高素质人才队伍建设。VR服务领域的技术研发、内容制作和市场营销等方面的专业人才是行业发展不可或缺的支撑力量，建议政府出台相关政策，向高校、科研院所和培训机构倾斜资源，激励其加强VR领域的人才培养，吸引外来人才加入。具体而言，增加VR领域的专业课程设置，鼓励学生参与企业实践项目，形成校企合作的良性循环。建立职业技能培训和终身学习的机制，为已经从业的人员提供VR技术应用和创新培训服务。开展国际人才双向交流机制，吸引海内外战略科技人才积极投入到产业创新研发和交叉研究工作，夯实基础研究水平和打造高端领先产品。通过政策的支持和引导，保障VR领域人才队伍的全面储备和提升，推动我国VR产业蓬勃发展。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: December 8, 2023; **Revised date:** January 19, 2024

Corresponding author: Feng Daquan is an associate professor from Digital Creative Technology Research Center of Shenzhen University. His major research fields include digital creative technology, telecommunications technology; E-mail: fdquan@szu.edu.cn

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “High-Quality Development of Strategic Emerging Industries Based on Deep Integration of ‘Four Chains’” (2023-PP-06)

参考文献

[1] LaValle S M. Virtual reality [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2023.

[2] 汪成为, 高文, 王行仁. 灵境 (虚拟现实) 技术的理论、实现及应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1996.
Wang C W, Gao W, Wang X R. The theory, implementation and application of virtual reality technology [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1996.

[3] Milgram P, Takemura H, Utsumi A, et al. Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum [C]. Boston: Photonics for Industrial Applications, 1994.

[4] Tian H Y, Lee G A, Bai H D, et al. Using virtual replicas to improve mixed reality remote collaboration [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2023, 29(5): 2785–2795.

[5] Yuan J, Hassan S S, Wu J J, et al. Extended reality for biomedicine [J]. Nature Reviews Methods Primers, 2023, 3: 15.

[6] Dincelli E, Yayla A. Immersive virtual reality in the age of the Metaverse: A hybrid-narrative review based on the technology affordance perspective [J]. The Journal of Strategic Information Systems, 2022, 31(2): 101717.

[7] Bai J Y, Guo J, Wang C C, et al. Deep graph learning for spatially-varying indoor lighting prediction [J]. Science China Information

Sciences, 2023, 66(3): 132106.

[8] Yin K, Hsiang E L, Zou J Y, et al. Advanced liquid crystal devices for augmented reality and virtual reality displays: Principles and applications [J]. Light, Science & Applications, 2022, 11(1): 161.

[9] Marougkas A, Troussas C, Krouska A, et al. Virtual reality in education: A review of learning theories, approaches and methodologies for the last decade [J]. Electronics, 2023, 12(13): 2832.

[10] Carnevale A, Mannocchi I, Sassi M S H, et al. Virtual reality for shoulder rehabilitation: Accuracy evaluation of oculus quest 2 [J]. Sensors, 2022, 22(15): 5511.

[11] Zhou Z, Meng M, Zhou Y, et al. Model-guided 3D stitching for augmented virtual environment [J]. Science China Information Sciences, 2022, 66(1): 112106.

[12] Ma S J, Shen Q, Hou Q M, et al. Neural compositing for real-time augmented reality rendering in low-frequency lighting environments [J]. Science China Information Sciences, 2021, 64(2): 122101.

[13] Tan P C, Han X, Zou Y, et al. Self-powered gesture recognition wristband enabled by machine learning for full keyboard and multi-command input [J]. Advanced Materials, 2022, 34(21): e2200793.

[14] Shadiev R, Li D D. A review study on eye-tracking technology usage in immersive virtual reality learning environments [J]. Computers & Education, 2023, 196: 104681.

[15] Shimada S, Golyanik V, Xu W P, et al. PhysCap: Physically plausible monocular 3D motion capture in real time [J]. ACM Transactions on Graphics, 2020,39(6): 235.

[16] Shamsuzzoha A, Toshev R, Vu Tuan V, et al. Digital factory—Virtual reality environments for industrial training and maintenance [J]. Interactive Learning Environments, 2021, 29(8): 1339–1362.

[17] Lv Z H, Chen D L, Lou R R, et al. Industrial security solution for virtual reality [J]. IEEE Internet of Things Journal, 2021, 8(8): 6273–6281.

[18] 赵沁平, 周忠, 梁晓辉,等. 虚实融合网络空间安全综述 [J/OL]. 中国科学: 信息科学, 2023(2023-12-16)[2023-12-25]. https://doi.org/10.1360/SSI-2023-0188.
Zhao Q P, Zhou Z, Liang X H, et al. A review of cyberspace security integrating virtual and real situations [J/OL]. SCIENTIA SINICA Informationis, 2023(2023-12-16)[2023-12-25]. https://doi.org/10.1360/SSI-2023-0188.

[19] 华信研究院. VR产业发展路径及应用前景分析 [R]. 北京: 华信研究院, 2023.
Huaxin Institute. Analysis of VR industry development path and application prospects [R]. Beijing: Huaxin Institute, 2023.

[20] 中国虚拟现实产业联盟. 2023中国VR50强企业 [R]. 北京: 中国虚拟现实产业联盟, 2023.
China Virtual Reality Industry Association. Top 50 Chinese VR companies in 2023 [R]. Beijing: China Virtual Reality Industry Association, 2023.

[21] 工业和信息化部办公厅, 教育部办公厅, 文化和旅游部办公厅, 等. 2023年度虚拟现实先锋应用案例名单 [EB/OL]. (2023-10-17)[2023-12-25]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202310/content_6910178.htm.
General Office of the Ministry of Industry and Information Technology, General Office of the Ministry of Education, General Office of the Ministry of Culture and Tourism, etc. List of virtual reality pioneer application cases in 2023 [EB/OL]. (2023-10-17)[2023-12-25]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202310/content_6910178.htm.

[22] International Data Corporation. China's consumer VR shipment to reach nearly 7 million units in 2026, according to IDC [EB/OL]. (2022-11-24)[2023-12-25]. https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prCHE49888422.

[23] Kertesz M. Pancake bonding: An unusual pi-stacking interaction [J]. Chemistry, 2019, 25(2): 400–416.

[24] 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 [R]. 北京: 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, 2021.
China Academy of Information and Communications Technology, Huawei Technologies Co., Ltd., BOE Technology Group Co., Ltd. Virtual (Augmented) reality white paper [R]. Beijing: China Academy of Information and Communications Technology, Huawei Technologies Co., Ltd., BOE Technology Group Co., Ltd., 2021.

[25] Angra S, Sharma B, Sharma A. Analysis of virtual reality and augmented reality SDK's and game engines: A comparison [C]. Tamilnadu: 2022 International Conference on Edge Computing and Applications (ICECAA), 2022.

[26] Liao X Q, Song W T, Zhang X Y, et al. A bioinspired analogous nerve towards artificial intelligence [J]. Nature Communications, 2020, 11(1): 268.

[27] Park J H, Lee B. Holographic techniques for augmented reality and virtual reality near-eye displays [J]. Light: Advanced Manufacturing, 2022, 3(1): 1.

[28] Gilardi F, Lam C. New perspective on UGC, PGC, and OGC: Motivating factors of Chinese co-creators' engagement with international television series [J]. Creative Industries Journal, 2022: 1–16.

[29] 中国工程科技发展战略研究院. 中国战略性新兴产业发展报告(2023) [M]. 北京: 科学出版社, 2022.
Chinese Academy of Science and Technology for Development. Report on the development of China's strategic emerging industries (2023) [M]. Beijing: Science Press, 2022.

[30] 夏杰长. 加快发展新兴服务业的意义与战略思路 [J]. 新理财, 2019 (9): 45–47.
Xia J C. Significance and strategic thinking of accelerating the development of emerging service industry [J]. Corporate Finance, 2019 (9): 45–47.

[31] 王元琨, 李健, 靳泽凡. 新兴服务业发展与我国区域经济增长分析: 基于区域发展差异视角 [J]. 商业经济研究, 2019 (6): 169–172.
Wang Y K, Li J, Jin Z F. Analysis on the development of emerging service industry and China's regional economic growth: From the perspective of regional development differences [J]. Journal of Commercial Economics, 2019 (6): 169–172.

[32] 国家财政部. 构建优质高效的服务业新体系 (2023) [EB/OL]. (2023-06-15)[2023-12-25]. https://jdjc.mof.gov.cn/djgz/202306/t20230615_3890763.htm.
Ministry of Finance of the People's Republic of China. Build a new system of high-quality and efficient service industry (2023) [EB/OL].

(2023-06-15)[2023-12-25]. https://jdjc. mof. gov. cn/djgz/202306/t20230615_3890763.htm.

[33] 丁文华. 中国数字创意产业的发展——在BIRTV2017主题报告会上的演讲 [J]. 现代电视技术, 2017 (9): 26–28.
Ding W H. Development of digital creative industry in China—Speech at BIRTV2017 theme report [J]. Advanced Television Engineering, 2017 (9): 26–28.

[34] 陈宝权, 秦学英. 混合现实中的虚实融合与人机智能交融 [J]. 中国科学: 信息科学, 2016, 46(12): 1737–1747.
Chen B Q, Qin X Y. Composition of virtual-real worlds and intelligence integration of human-computer in mixed reality [J]. SCIENTIA SINICA Informationis, 2016, 46(12): 1737–1747.

[35] 张凤军, 戴国忠, 彭晓兰. 虚拟现实的人机交互综述 [J]. 中国科学: 信息科学, 2016, 46(12): 1711–1736.
Zhang F J, Dai G Z, Peng X L. A survey on human-computer interaction in virtual reality [J]. SCIENTIA SINICA Informationis, 2016, 46(12): 1711–1736.

[36] 邓磊, 王妙辉, 范雷东, 等. 我国数字创意技术发展现状与展望 [J]. 中国工程科学, 2020, 22(2): 63–70.
Deng L, Wang M H, Fan L D, et al. Development status and prospects of digital creative technology in China [J]. Strategic Study of CAE, 2020, 22(2): 63–70.