

## 特色专题

# 2025 年扩展现实热点回眸

范丽亚<sup>1,2</sup>, 姚全珠<sup>1,2</sup>, 马介渊<sup>3</sup>, 张婷曼<sup>1,2</sup>

**摘要** 在 5G 演进(5G-Advanced)与生成式人工智能(artificial intelligence, AI)赋能下,2025 年扩展现实(extended reality, XR)产业迈入规模化落地期,中国市场以全球占比 29% 成为核心增长引擎。综述 2025 年 XR 领域关键进展:硬件端,国产 5 nm 空间计算专用芯片实现高性能与低功耗核心突破,光学显示技术差异化突破推动增强现实(augment reality, AR)眼镜轻量化、高保真升级,多模态交互实现高精度控制;软件端,操作系统形成“开源+闭源”二元格局,生成式 AI 使 3D 建模效率提升 6~10 倍;应用端,数字孪生赋能工业、医疗全流程,下沉市场轻量化方案实现民生普惠。研究发现,产业面临核心元器件进口依赖度超 60%、生态碎片化等瓶颈。据此,提出强化核心技术攻坚、统一行业标准、适配多元场景、强化生态保障的建议。XR 产业正朝着“硬件自主化-软件标准化-应用全域化”演进,有望实现从规模化落地到高质量发展的跨越。

**关键词** 扩展现实;空间计算专用芯片;光学显示;生成式人工智能;数字孪生

扩展现实(XR)融合虚拟现实(VR)、增强现实(AR)与混合现实(MR)技术,是空间计算的核心支撑<sup>[1]</sup>。在 5G 演进(5G-Advanced)、生成式人工智能(AI)协同赋能下,2025 年 XR 产业正式从“技术验证期”迈入“规模化落地期”。市场层面,全球 XR 设备呈现“AR 高增、VR 调整”的发展格局,中国 XR 产业规模占全球 29%,消费级 AR 市场实现爆发式增长,成为全球 XR 产业的核心增长引擎<sup>[2]</sup>。技术与应用层面已形成“硬件支撑-软件赋能-应用落地”的闭环体系:硬件实现轻量高保真突破,软件端 3D 内容创作效率提升 10 倍,应用场景从消费娱乐渗透至工业、医疗等垂直行业<sup>[3]</sup>。

当前,中国 XR 产业面临 3 大核心瓶颈:硬件端存在微型发光二极管(MicroLED)成本高、核心元器件进口依赖度高的问题<sup>[4]</sup>;软件端凸显生态碎片化、跨平台兼容性不足的短板<sup>[5]</sup>;应用端面临高质量内容短缺、行业标准不统一的困境<sup>[6]</sup>。本文梳理 2025 年 XR 领域关键技术突破、应用现状与产业瓶颈,从技术攻坚、生态构建、场景深耕、政策保障 4 个维度提出针对性发展建议,为产业高质量发展提供参考。

## 1 硬件侧:核心技术突破夯实产业基础

硬件设备是 XR 技术落地的物理载体,其性能与形态直接决定虚实融合体验的上限。2025 年,行业围绕“高保真+轻量化体验、自然+精准交互、开放兼容+全域适配、场景化终端落地”4 大核心目标,在专用协处理芯片与光学显示技术、多模态交互、开放生态、终端集成 4 大关键领域实现系统性技术突破,打

1. 西安交通大学城市学院,西安 710018

2. 物联网智能感知交互平台陕西省高校工程研究中心,西安 710018

3. 西安高新技术产业开发区创业园发展中心,西安 710077

收稿日期:2025-12-18;修回日期:2026-01-17

基金项目:陕西省社会科学基金项目(2022M007);西安交通大学城市学院校级潜力培育项目(2024PY04);西安交通大学城市学院创新团队项目

作者简介:范丽亚,教授,研究方向为 VR/AR 技术及产业,电子信箱:453830959@qq.com

引用格式:范丽亚,姚全珠,马介渊,等. 2025 年扩展现实热点回眸[J]. 科技导报,2026,44(2): 79-88; doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2025.12.00070

破国外技术在部分核心环节的垄断格局、破解产业瓶颈,为软件创新与内容规模化应用筑牢硬件根基。

1.1 专用协处理芯片:国产化空间计算的高性能-低功耗突破

专用协处理芯片是推动 XR 硬件性能升级与形态创新的关键支撑。在 XR 专用协处理芯片架构(以苹果 R1 为代表)提出之前,全球 XR 设备的核心算力支撑多依赖高通 XR 系列等通用架构的 XR 专用移动处理器,存在算力供给、功耗控制与场景适配性失衡等痛点。2025 年,国内的万有引力科技有限公司推出极智 G-X100 等 3 款自主研发的空间计算专用协处理器,通过制程工艺迭代、异构架构设计与场景化算力分配优化,实现高性能与低功耗核心突破,标志着国产空间计算专用协处理器芯片正式迈入“高性能-低功耗”协同进化新阶段。

核心标杆产品极智 G-X100(图 1)是中国首颗采用 5 nm 制程+Chiplet 异构封装的全功能 MR 芯片。该芯片等效算力达 200 TOPS,存储带宽 70 GB/s,彩色透视端到端延迟≤9 ms,全功能模式功耗仅 3 W。其核心技术创新在于通过异构架构实现空间计算与多模态交互的精准算力分配,可根据 XR 应用场景需求动态调整算力配比,有效缓解高通 XR 系列等传统通用架构 XR 专用处理器在 XR 场景下普遍存在的“算力冗余与算力短缺并存”的矛盾。基于该芯片技术优势,XR 终端设备可轻量化至 100 g 以下,且兼容

多种操作系统。相较于传统通用架构芯片,极智 G-X100 的性能-功耗匹配度实现显著跃升,实现了高性能运算与低功耗控制的协同平衡。另外 2 款芯片分别聚焦轻量化 AI 眼镜的低功耗需求(待机功耗 50 μW)与 XR+机器人的跨界应用场景(适配效率提升 40%),形成多场景覆盖格局<sup>[7]</sup>。



图 1 极智 G-X100

(图片来源:万有引力科技有限公司官网)

上述 3 款芯片同步配套万有引力科技有限公司自研的“极域”全栈解决方案,可减少 70%~80% 的底层代码开发工作量,各芯片核心参数与技术优势对比如表 1 所示。鉴于苹果 R1、高通 XR2 Gen2 的算力、功耗等核心性能参数未完全公开,当前仅能开展延迟维度的跨平台对比:极智 G-X100 的彩色透视端到端延迟较苹果 R1 的光子到光子延迟降低 25%,较高通 XR2 Gen2 的视频透视延迟降低 25%;同时,其功耗较高通 XR2 Gen2 降低 50%。据 XR 产业链上下游合作签约项目及研发进度综合测算,2026 年有望落地 50 款以上基于该系列芯片的应用,为国产 XR 产业从

表 1 芯片核心参数与技术优势对比

| 芯片型号       | 制程工艺/nm | 核心架构               | 关键性能指标                                                     | 性能对比说明                                                |
|------------|---------|--------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 极智G-X100   | 5       | 异构计算架构+Chiplet异构封装 | 等效空间计算算力200 TOPS,彩色透视端到端延迟≤9 ms,全功能模式功耗3 W,支持双目8K/120 Hz输出 | 较苹果R1光子到光子延迟降低25%;较高通 XR2 Gen2 视频透视延迟降低 25 %、功耗降低 50% |
| 极眸G-VX100  | 7       | 低功耗异构多核架构+集成ISP后处理 | 单边封装宽度4.2 mm,功耗260 mW,待机功耗50 μW,支持1600万像素影像输入              | 待机功耗显著低于高通XR2 Gen2                                    |
| 极颜G-EB100  | 12      | 双域算力动态分配架构         | 3D模型重建帧率30 FPS,灵动脸渲染延迟≤15 ms,支持多模态交互数据融合                   | 跨界场景适配效率较高通 XR2 Gen2 提升 40%                           |
| 苹果 R1      | 4       | 专用空间计算架构           | P2P光子到光子延迟≤12 ms                                           | —                                                     |
| 高通XR2 Gen2 | 4       | 异构多核架构             | 全彩视频透视延迟≤12 ms,典型功耗6~8 W, AI算力15 TOPS,支持单眼4.3 K/90 Hz显示    | —                                                     |

注:根据万有引力、高通、苹果公司产品公开数据整理。

“硬件组装”向“核心技术自主”转型提供关键支撑,加速国产 XR 设备的技术迭代与场景化落地进程。

尽管极智 G-X100 已在高性能与低功耗协同优化领域实现关键突破,但该系列芯片产业化仍需攻克散热方案设计、专用算法迭代及生态兼容性构建等核心挑战。从市场格局看,当前 XR 协处理器市场呈现“自研方案与高通方案并存”的竞争特征:海外市场中,苹果 R1 协处理器凭借专属生态树立高端标杆,高通 XR 系列芯片依托通用性主导中高端市场;国内市场则形成“自研突破与高通方案互补”的格局,XREAL、万有引力科技有限公司等厂商正加速专用协处理器的技术场景化落地。其中,万有引力科技有限公司的 3 款芯片已实现 XR 多场景差异化覆盖,但国产自研协处理器若要实现市场突围,仍需突破生态壁垒。

### 1.2 光学显示:全球差异化突破与量产落地格局

光学显示系统是 XR 设备实现轻量化与高性能融合落地的核心支撑。2025 年,国内外企业围绕高分辨率、微型化、低成本 3 大技术方向持续攻坚,形成了“国外前沿探索+国内量产落地”的差异化发展格局。国外技术聚焦极致性能突破,为行业提供长期方向参考。瑞典查尔姆斯理工大学等机构联合研发的“视网膜电子纸”技术,以 560 nm 氧化钨超小像素为核心,依托被动结构色反射原理实现 25000 PPI 超高分辨率,达到人类视觉感知极限,彻底消除“纱窗效应”;其 1.4 mm×1.9 mm 的瞳孔级屏幕尺寸与被动显示的低能耗特性,完美适配 AR 眼镜“轻量化、长续航”的需求(图 2(a)),当前仅需解决全彩化适配过程中的像素串扰问题<sup>[8]</sup>。Meta 公司的光子集成激光显示技术,通过氮化硅光子芯片与硅基液晶(LCoS)面板集成,色域覆盖达 sRGB 标准的 211%,设备厚度仅 2 mm,体积缩减 80%(图 2(b)),破解激光显示“高性能与小型化不可兼得”的行业痛点,适配专业级 AR 场景需求<sup>[9]</sup>。



图 2 国外光学显示技术(图片来源:VR 陀螺网站、腾讯网)

国内技术以“量产落地”为核心导向,形成全价位覆盖体系。高端领域,雷鸟创新联合上海显耀显示科技(JBD)公司建成全球首条全彩 MicroLED 光波导量产线,其雷鸟 X3ProAR 眼镜搭载 0.36 cm<sup>3</sup> 全彩 MicroLED 光机(图 3(a)),峰值入眼亮度 6000 nits,户外强光下彩虹纹抑制率 95%,核心光波导模组良率提升至 80%;凭借该技术优势,雷鸟创新以 39% 的市场份额登顶 2025 年第二季度全球 AR 眼镜销量榜首<sup>[10]</sup>。歌尔光学公司发布碳化硅刻蚀全彩衍射光波导 F30Se(图 3(b)),依托碳化硅高折射率特性,实现镜片厚度 0.65 mm、重量 3.5 g、透过率超 90% 的性能突破;同步推出的 0.2 cm<sup>3</sup> 全彩 MicroLED 光机支持单目 4K 显示,重量仅 0.5 g,为高端 AR 终端提供核心部件支撑<sup>[11]</sup>。中低端领域,谷东智能公司自研偏振体全息光波导技术,与光峰科技公司联合推出“一拖二”方案(单主机适配双眼镜终端),将 AR 眼镜终端价格压缩至 1500~2000 元区间,较行业均价降低 40% 以上,成为推动消费级 AR“千元化”普及的核心推手<sup>[12]</sup>。

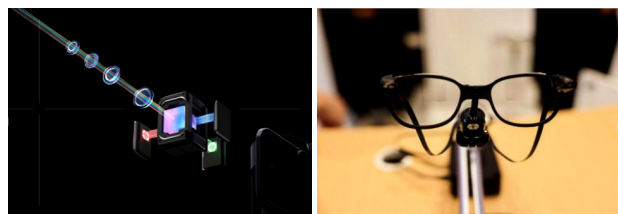


图 3 国内光学显示技术(图片来源:网易号、百度网站)

### 1.3 多模态交互:自然化与精准化的协同升级

交互技术是 XR 实现“虚实融合”的核心桥梁,其精准度与自然度直接决定工业、医疗等场景的应用落地成效。2025 年,XR 交互技术从传统“控制器依赖”模式,转向“手势-眼动-肌电-语音”多模态融合形态,通过单模态性能突破与跨模态协同优化,破解传统交互操作复杂、延迟偏高、场景适配性不足等行业痛点,实现“自然化操控+精准化响应”的双重目标。

单模态技术聚焦“高精度、低干扰、低功耗”核心目标实现关键突破:手势识别可实现毫米级骨骼追踪(延迟 5 ms,准确率 97.3%),眼动追踪采样率 1200 Hz(精度 0.06°RMS),肌电交互无校准离线准确率 92%,语音交互方言识别率 85%,80 dB 噪声环境下准确率 95%,为多模态融合奠定坚实性能基础(表 2)。



表 2 单模态技术核心性能指标参数

| 技术类型 | 代表产品/方案          | 核心性能指标                         | 应用场景         |
|------|------------------|--------------------------------|--------------|
| 手势识别 | Ultraleap第五代传感器  | 毫米级骨骼追踪, 延迟5 ms, 准确率达97.3%     | 通用XR交互       |
| 眼动追踪 | TobiiProSpectrum | 采样率1200 Hz, 追踪精度0.06° RMS      | 专业级精准交互、隐私场景 |
| 肌电交互 | MetasEMG-RD腕带    | 48电极干电极, 2 kHz采样率, 无校准离线准确率92% | 运动控制、穿戴式交互   |
| 语音交互 | 科大讯飞XR专用语音模组     | 方言识别率85%, 噪声环境(80 dB)准确率95%    | 下沉市场民生场景     |

注: 根据相关科技公司官网数据整理。

多模态融合实现从“模态拼接”到“跨模态语义融合”的质变。硬件端, UltraleapSTRATOS 触觉模块集成手部追踪与空中触觉反馈功能, 意法半导体公司的 VD55H1iToF 传感器实现 5 m 测距与低功耗的平衡<sup>[13]</sup>。架构端, 商汤科技公司 NEO 原生多模态架构通过“语义中间层+动态特征对齐”技术, 仅需业界 1/10 的数据量即可达成顶尖性能<sup>[14]</sup>; Meta 公司 EgoNet 模型构建起统一语义表征空间<sup>[15]</sup>。算法端, 苹果公司“关键区域筛选”、中国联通公司 ShortDF、深度求索公司“动态注意力融合”等技术方案, 有效提升复杂场景下交互的鲁棒性。

1.4 开放生态与终端集成: 碎片化破解与双轨格局落地

开放生态领域的技术与标准突破, 有效破解了行业碎片化难题。2025 年, 行业聚焦“接口开放、标准适配、跨生态兼容”3 大方向, 推动 XR 生态从“碎片化”向“互联互通”转型。接口开放方面, 三星公司的 GalaxyXR 头显、XREALOne/OneProAR 眼镜搭载全功能 USB-C 接口(图 4), 可与手机、平板、游戏主机无缝衔接, 使第三方应用适配成本降低 60%<sup>[16-17]</sup>。标准适配方面, OpenXR1.1 标准全面普及, Pico、奇遇等国内主流厂商均完成适配, Unity、UnrealEngine 等引擎开发的跨平台内容可快速适配多终端, 开发周期缩短 40%<sup>[18]</sup>; 谷歌公司的 AndroidXR 扩展套件制定



图 4 三星 GalaxyXR 全功能 USB-C 接口  
(图片来源: 新浪 VR 官网)

HID2.1XR 接口标准与 glTF3.0 内容规范, 显著提升跨品牌设备与内容的兼容率。在接口开放与标准适配的双重驱动下, XR 生态互联互通进程显著加快, 但当前仍面临小众厂商封闭接口、标准落地“最后一公里”难以打通、硬件抽象层架构差异等问题, 行业碎片化的彻底消解仍需全产业链协同突破。

终端集成环节则形成并落地了高端旗舰与消费普及并行的双轨发展格局。2025 年, AR 终端形成高端旗舰与消费普及双轨发展格局。高端旗舰侧, 成都光屿公司的高维 CorayAir2 AR 眼镜搭载 0.7 mm 厚、4 g 重的碳化硅衍射光波导, 搭配全彩 MicroLED 光机, 实现 8-bit 真全彩显示、90% 高透过率、6000 nits 峰值入眼亮度, 显著抑制彩虹纹, 整机重 49 g, 适配医疗、工业等专业场景<sup>[19]</sup>; 湖南三安公司的 6 英寸、8 英寸光学级碳化硅晶片已实现小批量出货, 12 英寸产品进入送样验证阶段, 其产出的碳化硅晶片为高端 AR 眼镜的核心部件供应提供支撑。消费普及侧, 据 CINNOResearch 网站统计, 2025 年第三季度中国消费级 AR 设备销量达 12.9 万台, 同比激增 109%, 其中一体式 AR 眼镜增速高达 355%, 印证了轻量化终端的技术落地成效与市场接受度<sup>[20]</sup>; 雷鸟创新公司的 RayNeo 市场表现突出, 据行业统计, 2025 年第二季度其以 39% 的市场份额登顶全球 AR 眼镜市场, 推出的 Air4 系列采用 1599 元起的定价策略, 推动高端 AR 体验向大众市场下沉, 进一步强化“技术降维—规模增长”的产业传导效应, 助力消费级 AR 实现从“小众尝鲜”到“大众普及”的跨越<sup>[21]</sup>。

1.5 硬件技术核心挑战与应对

尽管 XR 硬件已实现多维度技术突破, 但仍面临 4 大核心瓶颈: 一是制造与体验的平衡难题, MicroLED 巨量转移设备国产化率不足 30%, AR 眼镜在高频使用场景下的续航普遍≤4 h; 二是供应链自主可控风

险, 高端光学材料及精密加工设备的短期进口占比超 60%; 三是复杂场景适配深度不足, 在工业油污、手术室强光等特殊环境下, 多模态交互准确率降至 85% 以下; 四是生态建设碎片化困境, 操作系统与芯片架构适配性不足、应用开发标准不统一, 面对 Android XR 等海外成熟生态的竞争压力, 以极智 G-X100 系列为代表的国产核心芯片, 仍需突破生态兼容性与开发者生态构建的关键挑战。

针对上述瓶颈, 行业已启动针对性攻关: 华兴源创公司研发的 MicroLED 巨量转移设备, 转移良率达 99.5%, 已成功进入头部厂商供应链<sup>[22]</sup>; 商汤科技公司开发的抗干扰多模态算法, 将复杂环境下的交互准确率提升至 92%; 万有引力公司一方面通过 3D 模型面数动态压缩 50% 的技术优化, 实现对下沉市场终端的适配, 另一方面联合视涯科技、雷鸟创新等产业链企业启动“空间计算全栈生态共建计划”, 搭建统一开发平台与适配标准, 加速生态协同; 虹宇科技公司自主研发的 IrisOS 操作系统, 兼容 OpenXR 等主流标准及多芯片方案, 为国产 XR 生态提供底层软件支撑<sup>[23]</sup>。

2 软件侧技术突破: 赋能核心目标落地

软件技术是 XR“高保真体验、精准交互、全域适配、生态协同”4 大核心目标落地的关键支撑。2025 年, XR 软件聚焦操作系统与生成式 AI 2 大核心方向, 构建“系统生态兼容化-内容生成高效化”赋能链, 破解“生态碎片化、内容生产难、实时性不足”3 大痛点, 为场景全域渗透提供坚实技术保障。

2.1 操作系统: 二元格局与跨端兼容突破

XR 操作系统呈现“开源生态扩张、闭源生态深耕”的二元格局, 叠加国产化系统补位, 核心竞争聚焦兼容性与开发者友好度优化。开源生态方面,

MetaHorizonOS 发布《NorthStar》开源项目与 Horizon-Kit 组件库, 第三方应用数量突破 1.2 万款, 同比增长 35%<sup>[24]</sup>; 谷歌公司 AndroidXR 深度融合 Gemini 大模型, 制定统一接口与内容规范, 显著提升跨品牌兼容率<sup>[25]</sup>。闭源生态方面, 苹果公司 VisionOS 升级手部追踪功能(频率达 90 Hz)与眼动操作功能, 兼容 PSVR2Sense(图 5(a))、罗技笔(图 5(b))等多类型控制器, 适配医疗、工业等高精度交互场景, 强化隐私保护能力<sup>[26]</sup>。国产化系统同步实现突破: 华为鸿蒙 XR 版采用分布式架构, 支持跨终端算力调度; 字节跳动 PICOOS 将 VR 交互延迟优化至 12 ms, 兼容 OpenXR 1.1 标准, 第三方应用数量同比增长 150%。

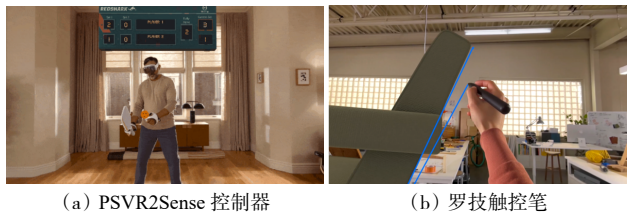


图 5 VisionOS 兼容的控制器(图片来源: VR 陀螺官网)

从“内核架构-核心优势-适配场景”3 个维度对 2025 年 XR 操作系统 4 大核心阵营展开对比: 开源系统以“生态开放、跨设备兼容”为核心竞争力, 侧重消费级与下沉市场覆盖; 闭源系统聚焦“沉浸式体验与隐私保护”, 瞄准高端专业领域; 国产化系统突出“国产硬件适配与低延迟”, 填补本土 XR 设备软件生态空白, 各阵营形成差异化互补格局, 核心优势对比如表 3 所示。

2.2 生成式 AI: 重构 XR 内容创作链路

生成式 AI 通过“多模态输入-模型生成-轻量化优化”的自动化流程, 重构 XR 内容创作链路, 大幅降低制作成本与周期。高保真效果依托多模态融合扩散模型实现物理属性精准还原; 轻量化通过“剪枝+量

表 3 操作系统核心优势对比

| 系统类型 | 代表产品          | 内核架构      | 核心优势          | 适配场景            |
|------|---------------|-----------|---------------|-----------------|
| 开源   | MetaHorizonOS | 基于Linux定制 | 开发者生态完善、商业化闭环 | 消费级VR/AR、社交场景   |
| 开源   | AndroidXR     | Android衍生 | 跨设备兼容强、轻量化适配  | 消费级AR、下沉市场应用    |
| 闭源   | VisionOS      | 自研空间OS    | 沉浸式体验佳、隐私保护强  | 高端专业场景、隐私敏感领域   |
| 国产化  | 鸿蒙XR版         | 分布式架构     | 国产硬件适配优、延迟低   | 全场景国产XR设备、消费级VR |

注: 根据相关科技公司官网数据整理。

化+LOD 细节适配”技术,将 3D 模型体积压缩 70% 以上。核心技术突破与产业价值主要体现在 3 方面:一是标准化场景建模效率实现跃迁,MetaWorldGen 可通过单文本提示在 5 min 内生成 50 m×50 m 的交互式 3D 世界(图 6(a)),避免传统方法视角移动后的质量衰减问题,适用于游戏、沉浸式社交等场景<sup>[27]</sup>;二是个性化与跨场景适配能力提升,腾讯混元 3D 创作引擎支持文字、图片、草图多模态输入,5~10 min 即可生成高质量 3D 作品(图 6(b)),其智能拓扑功能可自动优化模型面数,适配 Unity、UnrealEngine 等专业引擎<sup>[28]</sup>;三是工业级建模精度实现突破,南京大学联合强思数科公司将 AI 建模精度提升至 $\leq \pm 2$  mm,10 min 即可完成流程工业数字孪生建模(传统方法需 5 d),节约 60% 人工工时,适配工业虚拟调试场景<sup>[29]</sup>。

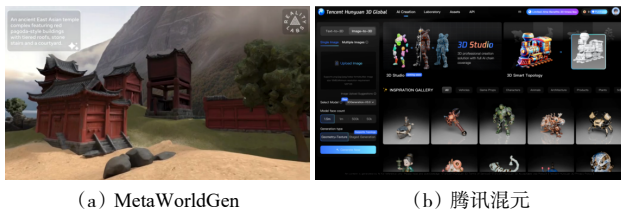


图 6 生成式 AI 内容创作(图片来源:VR 陀螺官网)

当前,生成式 AI 在 XR 领域的应用仍存在 2 大核心瓶颈:一是高精度还原所需的专业领域相应数据集匮乏,制约了高精度建模质量的提升,例如医疗、航空航天等领域;二是版权与同质化问题突出,生成内容容易出现版权纠纷与创意同质化。算力不足、生成内容质量稳定性欠佳等问题同样存在,受篇幅限制,本文聚焦上述 2 大核心瓶颈展开对策研究。应对策略需从数据供给与制度保障双维度发力:一是构建专业化数据集共建共享机制,联合科研机构与行业龙头共建细分领域高精度数据集,例如,中国科学院自动化研究所与北京协和医院共建临床病例 3D 扫描数据集<sup>[30]</sup>,百度智能云搭建工业级 3D 数据标注库<sup>[31]</sup>,通过“产学研协同”模式破解数据稀缺难题;二是建立 AI 生成内容版权规范体系,明确版权归属、使用边界与侵权判定标准,欧盟《人工智能生成内容著作权法案》已率先明确“AI 为工具时版权归人类,独立生成时归数据提供方与模型方共有”的规则,为全球行业提供了制度参考<sup>[32]</sup>。

### 2.3 核心挑战与未来方向

软件侧核心制约聚焦 3 大维度:一是精度与效率

失衡,工业精密建模、医疗器官重建等场景的物理属性还原精度不足,低算力设备运行复杂场景易出现卡顿;二是生态协同不足,跨平台应用兼容率有待提升,垂直场景标准化课程覆盖率偏低;三是内容供给短板,AI 生成内容同质化问题突出,版权界定与保护机制尚未完善。

未来,需从技术层面针对性突破:(1) 算法端构建“精度-效率”自适应优化框架,通过边缘-云端协同计算动态分配算力,平衡复杂场景建模精度与低算力设备运行流畅度;(2) 生态端推进 3D 内容格式统一适配 OpenXR 标准,推广开源标准化组件库,降低跨平台开发与适配成本;(3) 数据端搭建“联邦学习+隐私计算”协同训练平台,联合共建医疗、工业等细分领域专业数据集,支撑垂直场景高质量内容生成,同步完善 AI 生成内容版权追溯技术体系。

## 3 产业应用落地:从高端场景向全域渗透

2025 年,依托“硬件支撑链+软件赋能链”的协同发力,XR 技术从高端专业场景向县城乡镇、民生服务等领域全域渗透,形成“行业级数字孪生规模化应用+下沉市场民生场景普及”的双轨发展格局,全面验证了技术的实践价值与商业化潜力。

### 3.1 行业级数字孪生:垂直行业数字化转型核心引擎

行业级数字孪生基于毫米级精度建模与虚实实时映射技术,高度依赖“硬件算力支撑+软件算法优化”的协同赋能,2025 年在工业、医疗领域实现标志性突破,成为各行业数字化转型的核心驱动力。

1) 工业领域:全流程管控替代单点运维。

XR 数字孪生已从设备单点运维延伸至生产线全流程管控,实现预测性维护、虚拟调试、协同运营的全价值覆盖。四川航天技术研究院基于 MakeReal3D 开发的虚拟装配平台,将某型号卫星初期工艺验证周期压缩至 72 h 内(传统物理模装的行业常规周期为 3~4 周),并使运载火箭贮箱段管路布局迭代次数从 12 次降至 3 次,工艺文件编制时间缩短 68%<sup>[33]</sup>。轻量化 XR 平台为中小企业降本增效提供关键支撑,某装备制造企业采用华为云 XR 轻量化方案后,新员工虚拟培训周期缩短 40%,更将 XR 应用门槛从百万元



级降至 10 万元以内,凸显技术普惠价值。三一重工公司 AR 远程运维系统覆盖 67 个国家,完成 3.2 万次跨国远程干预,设备平均故障处理时间从 96 h 压缩至 43 min;AI 预测性维护可提前 14 d 预警故障,助力设备可用率提升至 99.2%<sup>[34]</sup>。三类案例分别从高端装备优化、中小企业普惠、重型机械运维 3 个维度,为工业领域 XR 数字孪生的规模化落地提供了成熟范式。

2) 医疗领域:从辅助支撑到临床刚需。

XR 技术实现了从医学培训辅助向临床核心应用的跨越,聚焦手术精度提升与全周期健康管理 2 大核心需求。上海市胸科医院“智透眼”系统通过沉浸式操作助力胸肺穿刺手术精准执行,已完成 100 余例临床应用并在全中国推广<sup>[35]</sup>;北京协和医院自主研发的心脏电生理孪生系统,融合多模态医学数据与仿真技术,使手术成功率提升 17%,破解了复杂心律失常手术的技术难题<sup>[36]</sup>。当前该领域应用仍存在局限性:长时间手术佩戴 AR 眼镜易导致医护人员疲劳(连续佩戴极限为 3 h)、强磁场环境(如核磁共振成像室)下设备兼容性不足,需通过硬件升级与抗干扰技术优化逐步解决。

### 3.2 下沉市场民生普惠:轻量化方案赋能基层场景

聚焦县城乡镇民生刚需,通过轻量化 XR 终端、离线适配、方言交互等技术优化降低应用门槛,推动医疗、农业等场景普惠落地,让技术红利向基层深度渗透。

1) 医疗普惠:提升基层诊疗能力。

乡村医生借助轻量化 AR 眼镜,通过 XR 急诊云平台连线上级医院医生,实时接收操作标注指引,有效破解山区病患“看病远、看病难”的问题,实现远程协同救治,显著提升了基层诊疗的精准度与效率<sup>[37]</sup>。

2) 农业赋能:优化农技推广与生产增效。

VR 农技实训已成为农业技术推广的创新载体,种粮大户通过沉浸式体验干旱、病虫害等模拟场景,突破了季节、地域对实训的限制,使抽象的农技知识变得直观易懂,助力农民增收、产业增效,成为乡村振兴的“金钥匙”<sup>[38]</sup>。

总体而言,2025 年 XR 产业应用呈现“高端场景规模化、下沉市场轻量化”的鲜明特征:工业、医疗领域的数字孪生应用,依托高性能硬件与精准交互技术

实现价值跃升;下沉市场则通过技术降维与场景适配,让 XR 从“专业工具”转变为“民生用品”。硬件的轻量化突破、软件的高效化赋能,共同推动 XR 应用从“单点试点”走向“全域渗透”,为产业高质量发展奠定了坚实的实践基础。

## 4 产业发展建议

基于 2025 年 XR 产业“硬件突破、软件赋能、应用渗透”的阶段性成果,针对核心元器件进口依赖度高、生态碎片化、复杂场景适配不足等关键瓶颈,从技术攻坚、生态构建、场景深耕、政策保障 4 大维度,提出系统性发展建议,推动产业从“规模化落地”向“高质量发展”跃升。

### 4.1 技术攻坚:聚焦核心短板,强化自主可控能力

构建“企业主导-高校协同-科研院所支撑”的产学研攻联合体。一是加速核心部件国产化进程,推进 MicroLED 巨量转移设备、12 英寸光学级碳化硅晶片等“卡脖子”环节量产,短期内实现核心部件进口替代率超 50%;二是优化复杂场景适配性能,推广抗干扰多模态算法,开发工业油污、手术室强光等定制化解决方案,将交互准确率提升至 95% 以上;三是适配低算力终端需求,通过 3D 模型动态压缩、功能模块按需加载技术,降低下沉市场应用门槛;四是提升终端使用体验,攻关微型散热模组与低功耗驱动技术,将高频场景续航提升至 6 h 以上。

### 4.2 生态构建:统一标准规范,完善协同支撑体系

以标准化建设破解生态碎片化难题,构建开放协同的产业生态。一方面推进标准统一化,依托 OpenXR1.1 标准建立国家级 XR 产业标准委员会,统筹制定硬件接口、3D 内容格式等关键标准规范;鼓励头部企业开放接口技术方案,搭建跨平台适配测试平台,将第三方应用适配成本降低 70%。另一方面完善内容生态供给,构建“AI 生成-专业制作-开源共享”的多元供给体系:支持 AI 建模工具商业化落地,实现工业运维、医疗培训等重点场景标准化课程覆盖率 60%;设立 XR 应用创新基金,对兼容 3 款以上主流终端的优质内容给予专项补贴;建立“联邦学习+隐私计算”数据共享机制,联合共建医疗、航空航天等细分领域高精度数据集。

#### 4.3 场景深耕:聚焦价值转化,拓展全域应用空间

遵循“高端场景深化+下沉市场普惠”双轨策略,推动 XR 技术规模化复制与落地。在行业级数字孪生领域:工业领域推广 AR 远程运维、虚拟培训等成熟模式,持续优化轻量化 XR 平台服务,推动中小企业 XR 应用门槛从当前的 10 万元内进一步降至 5 万元内;医疗领域加快手术导航、心脏电生理孪生系统等临床应用全国推广,建立临床审批绿色通道。在下沉市场领域:医疗领域搭建省-市-县-乡 4 级协同网络,提升县域医院 XR 设备覆盖率;农业领域推广 VR 农技实训模式,开发方言版离线教学内容,适配基层低成本终端。

#### 4.4 政策保障:精准赋能引导,优化产业发展环境

强化政策引导与制度保障,为产业高质量发展保驾护航。一是强化政策扶持力度,制定 XR 产业专项发展规划,将核心技术研发、标准制定纳入国家战略性新兴产业支持范围;对 MicroLED 量产线、XR 专用芯片等重大研发项目,实行研发费用加计扣除优惠政策;对 XR 医疗设备推行“优先审批+医保报销倾斜”,下沉市场实施“中央补贴+地方配套”政策,推动消费级 AR 眼镜价格下探至 1000 元区间。二是完善制度体系建设,建立 AI 生成内容版权登记与全链条追溯机制,明确侵权判定标准;鼓励国内企业参与 ISO/IEC JTC1 SC29 等国际标准制定,提升国际话语权;培育具备核心竞争力的龙头企业,支持其构建“技术输出+产能合作+品牌出海”的全球化发展格局。

## 5 结论

基于 2025 年 XR 产业发展实践,系统梳理技术演进脉络与市场发展格局后得出如下结论:在 5G-Advanced 与生成式 AI 双重技术驱动下, XR 产业已完成从技术验证期到规模化落地期的关键跨越;中国市场以 29% 的全球占比确立核心增长极地位,形成“硬件自主可控-软件生态协同-场景深度渗透”的产业发展新范式。硬件领域,国产 5 nm 空间计算专用芯片在高性能与低功耗的技术平衡上实现核心突破,凭借 9 ms 超低延迟、200 TOPS 等效算力等关键指标打破国际技术壁垒,为设备形态轻量化筑牢核心算力底座;光学显示技术构建起全球差异化突破与量产落

地的产业格局,碳化硅光波导、全彩 Micro LED 光机等高端光学组件国产化率大幅提升,直接推动 AR 眼镜同步实现轻量化形态革新与高保真显示升级。多模态交互精度升级为专业场景应用提供支撑;软件层面,操作系统“开源+闭源”二元格局持续优化,跨设备兼容性显著提升,生成式 AI 技术将 3D 建模效率提升 6~10 倍;应用端形成“高端提质、大众普惠”的双轨发展格局,数字孪生技术延伸至工业、医疗等行业全流程管控,轻量化方案让技术红利惠及下沉市场。

当前, XR 产业仍面临核心元器件进口依赖度超 60%、生态碎片化、复杂场景适配不足与优质内容短缺等突出瓶颈。针对上述瓶颈,未来需以“全产业链协同创新”为核心破解路径:硬件端聚焦上游材料与核心设备攻关,加速国产化替代进程;软件端依托 OpenXR 标准构建统一生态体系,深化 AI 与专业场景的融合应用;应用端提炼可复制、可推广的落地方案,持续拓展智慧文旅、智能建造等新兴场景。随着硬件自主化、软件标准化、应用全域化进程的持续推进, XR 产业有望突破现有发展瓶颈,成为数字经济赋能实体经济的核心载体,为产业数字化转型与民生服务提质升级提供重要支撑。

#### 参考文献(References)

- [1] 范丽亚, 马介渊, 刘希涛, 等. 2023年扩展现实(XR)热点回眸[J]. 科技导报, 2024, 42(1): 296-305.
- [2] 智能眼镜双11暴涨25倍, AR设备成XR市场核心增长引擎[EB/OL]. (2025-11-19) [2025-12-01]. <https://www.163.com/dy/article/KENJMPBH05269O3G.html>.
- [3] 陈宇, 马原野, 王灏晨. 扩展现实产业发展研究[J]. 新经济导刊, 2025(增刊1): 115-123.
- [4] 毛彦尊, 唐梓涵, 俞立凡, 等. 基于FPGA的多分区MiniLED Backlight混合调光设计[J]. 中国照明电器, 2025(8): 64-69, 90.
- [5] 周焕银, 李文涛, 刘怡佳, 等. 基于虚拟仿真平台的水环境及水下机器人建模研究综述[J/OL]. 计算机工程与应用, [2025-12-18]. <https://link.cnki.net/urlid/11.2127.TP.20251216.1604.004>.
- [6] 范丽亚, 王梅, 马介渊. 扩展现实研究关键技术及发展趋势[J]. 科技导报, 2025, 43(17): 107-121.
- [7] 打破世界纪录, 对话“万有引力”CEO王超昊, 中国首颗全功能空间计算MR芯片的诞生[EB/OL]. (2025-11-28) [2025-12-10]. <https://vrtuoluo.cn/544207.html>.



- [8] Santosa A S S, Chang Y W, Dahlin A B, et al. Video-rate tunable colour electronic paper with human resolution[J]. Nature, 2025, 646(8087): 1089–1095.
- [9] Shi Z, Cheng R, Wei G, et al. Flat-panel laser displays through large-scale photonic integrated circuits[J]. Nature, 2025, 644: 652–659.
- [10] 彩色AR眼镜迎来拐点!JBD携手应用材料公司与雷鸟创新, 突破AR显示画质瓶颈[EB/OL]. (2025-09-22) [2025-11-24]. <https://www.163.com/dy/article/KA2UKSIH0511CS15.htm>.
- [11] 2025光博会直击: 从AR碳化硅到VRPancake, 歌尔光学13款新品亮相[EB/OL]. (2025-09-12) [2025-10-28]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1843026561220613606&wfr=spider&for=pc>.
- [12] 光峰科技在LIPA2025大会发声: 激光+LCoS方案引领AR眼镜体验革新[EB/OL]. (2025-11-18) [2025-11-20]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1849110515061900188&wfr=spider&for=pc>.
- [13] 意法半导体. VD55H1 3D iTo fsensor[EB/OL]. (2025-08-27) [2025-10-24]. <https://www.st.com.cn/zh/imaging-and-photonics-solutions/vd55h1.html>.
- [14] 商汤科技. NEO原生多模态架构技术白皮书[R]. 上海: 商汤科技研究院, 2025.
- [15] MetaRealityLabs. EgoNet: Unified semantic middle layer[J]. IEEE TPAMI, 2025, 47(8): 2987–3001.
- [16] 三星GalaxyXR具有USB-C接口, 可连接多款外设[EB/OL]. (2025-10-27) [2025-12-08]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1847115032172986979&wfr=spider&for=pc>.
- [17] XREAL眼镜入选《时代》2025最佳发明[EB/OL]. (2025-10-14) [2025-12-10]. <http://finance.people.com.cn/n1/2025/1014/c1004-40581945.html>.
- [18] 为什么UEPICOOpenXRPlugin1.5版本至关重要?[EB/OL]. (2025-07-10) [2025-10-10]. [https://news.qq.com/rain/a/20250710A02SHU00?suid=&media\\_id](https://news.qq.com/rain/a/20250710A02SHU00?suid=&media_id).
- [19] 成都光屿高维旗下品牌Coray推出全彩碳化硅波导AR眼镜[EB/OL]. (2025-07-17) [2025-11-01]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1837871567958464110&wfr=spider&for=pc>.
- [20] IDC. 2025年第三季度中国消费级AR市场跟踪报告[R]. 北京: IDC中国, 2025.
- [21] 雷鸟Air4正式发布智能眼镜加速走向大众市场[EB/OL]. (2025-10-23) [2025-12-06]. [http://m.toutiao.com/group/7564407114699440681/?upstream\\_biz=doubao](http://m.toutiao.com/group/7564407114699440681/?upstream_biz=doubao).
- [22] 赛迪顾问. 2025年中国Micro-LED设备产业研究报告[R]. 北京: 赛迪顾问物联网产业研究中心, 2025.
- [23] 虹宇科技赋能国产XR操作系统, 入选世界VR大会十大创新成果[EB/OL]. (2025-10-21) [2025-12-12]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1846559403513606156&wfr=spider&for=pc>.
- [24] Meta分享: Unity与MetaHorizonOS融合, 在Unite2025看见VR开发的未来[EB/OL]. (2025-11-26) [2025-12-06]. <https://zhuanlan.zhihu.com/p/1977326963493475399>.
- [25] Google. Android XR developer preview2025[R]. Mountain-View: Google Inc., 2025.
- [26] Apple Inc. Vision OS 26 release notes[R]. Cupertino: Apple Inc., 2025.
- [27] Meta推出生成式AI“WorldGen”, 几分钟内生成可交互的3D世界[EB/OL]. (2025-11-24) [2025-11-30]. <https://vrtu-oluo.cn/544168.html>.
- [28] 腾讯混元3D上线国际站[EB/OL]. (2025-11-28) [2025-12-02]. <https://vrtuoluo.cn/544203.html>.
- [29] 强思数科AI技术赋能工业三维建模质效跃升[EB/OL]. (2025-07-29) [2025-10-03]. <https://www.nju.edu.cn/info/1056/433751.htm>.
- [30] 中国科学院科学数据中心临床手术影像配准数据集(协和医院联合构建)[EB/OL]. (2025-12-01) [2025-12-03]. <https://www.casdc.cn/dataDetails/a44495d7f88d449fb2dc8c5f41e6b9c5>.
- [31] 百度智能云在长三角建首个大模型数据标注基地, 聚焦工业级3D标注[EB/OL]. (2025-08-29) [2025-11-28]. [https://m.sohu.com/a/929885487\\_122328931](https://m.sohu.com/a/929885487_122328931).
- [32] European Union. Directive on copyright in the digital single market (AIGCAmendment)[S]. Brussels: European Parliament, 2025.
- [33] 数智孪生技术破解航天装备复杂装配难题[EB/OL]. (2025-04-01) [2025-12-12]. [https://m.sohu.com/a/878332101\\_122014422](https://m.sohu.com/a/878332101_122014422).
- [34] 5G+AI远程运维革命: 三一重工如何让非洲泵车维修“零时差”?[EB/OL]. (2025-07-18) [2025-10-08]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1837945689230107617&wfr=spider&for=pc>.
- [35] 徐汇区3个场景入选!上海市元宇宙重大应用场景建设成果名单(第二批)发布[EB/OL]. (2025-02-07) [2025-08-28]. <https://www.shanghai.gov.cn/nw15343/20250207/7287cdb3c3b54e4c8500879f28dda178.html?siteId=1>.
- [36] 北京协和医院心脏电生理孪生系统: 数字孪生技术赋能精准医疗新范式[EB/OL]. (2025-06-20) [2025-9-30]. <https://blog.csdn.net/beige888/article/details/148782287>.
- [37] 福建厦门: 数字医疗为山区病患提供实时诊疗[EB/OL]. (2025-05-20) [2025-12-10]. [https://news.gmw.cn/2025-05/20/content\\_38034733.htm](https://news.gmw.cn/2025-05/20/content_38034733.htm).
- [38] 定州市农广校: VR技术让农技培训“活”起来[EB/OL]. (2025-09-17) [2025-12-12]. [https://mp.weixin.qq.com/s/\\_\\_\\_biz27](https://mp.weixin.qq.com/s/___biz27).

## Review on the hot spots of extended reality in 2025

FAN Liya<sup>1,2</sup>, YAO Quanzhu<sup>1,2</sup>, MA Jieyuan<sup>3</sup>, ZHANG Tingman<sup>1,2</sup>

1. Xi'an Jiaotong University City College, Xi'an 710018, China

2. Engineering Research Center of IoT Intelligent Sensing Interactive Platform, Universities of Shaanxi Province, Xi'an 710018, China

3. Xi'an Pioneering Park Development Center, Xi'an 710077, China

**Abstract** Empowered by 5G-Advanced and generative AI, the extended reality (XR) industry will enter a period of large-scale implementation in 2025, with the Chinese market becoming the core growth engine, accounting for 29% of the global market share. This paper systematically summarizes its key progress: on the hardware side, domestically developed 5-nm dedicated spatial computing chips achieve pivotal breakthroughs in the balance between high performance and low power consumption. Meanwhile, differentiated advances in optical display technologies propel the upgrading of AR glasses toward both lightweight form factors and high-fidelity display, and multi-modal interaction technologies enables high-precision control. On the software side, the operating system has formed a dual pattern of "open-source+closed-source", and Generative AI increases 3D modeling efficiency by 6~10 times. On the application side, digital twins empower the entire processes of industry and medical care, while lightweight solutions for the lower-tier market achieve people's livelihood benefits. The study finds that the industry faces bottlenecks such as over 60% import dependence on core components and ecological fragmentation. Accordingly, suggestions are put forward: strengthening core technology research, unifying industry standards, adapting to diverse scenarios, and enhancing ecological support. The XR industry is evolving towards "hardware independence-software standardization-all-scenario application", and is expected to realize the leap from large-scale implementation to high-quality development.

**Keywords** extended reality; dedicated spatial computing chip; optical display; generative AI; digital twin ●



(责任编辑 徐丽娇)