

扩展现实（XR）产业和标准化 研究报告 （2025 版）

中国电子技术标准化研究院

2025 年 11 月

目 录

前 言	III
第一章 基础通用	5
1. 关键器件	5
2. 基础软件	15
3. 基础技术	21
第二章 内容生产	30
1. 内容采集	30
2. 内容制作	33
第三章 内容分发	39
1. 分发传输	39
2. 业务运营平台	42
第四章 内容呈现与交互	44
1. 内容呈现	44
2. 感知交互	46
第五章 产业应用	57

1. 工业生产	57
2. 文旅娱乐	58
3. 商贸创意	60
4. 教育培训	61
5. 医疗体育辅助	63
6. 安全应急	63
第六章 扩展现实标准化体系	66
1. 标准体系规划更新	66
2. 国际标准化组织标准化现状	79
3. 国内标准化组织标准化现状	84
4. 国际/国内联盟组织标准化现状	87
5. 标准化工作规划	88

前 言

《扩展现实（XR）产业与标准化研究报告（2025 版）》是在 2024 版报告基础上，对全球 XR 产业最新进展与未来趋势的持续追踪与深度研判。本报告承袭既往框架，旨在系统更新年度内容，重点聚焦技术突破与产业演化的核心动向。

本报告主要参编单位有（排名不分先后）：

中国电子技术标准化研究院、歌尔股份有限公司、歌尔光学科技有限公司、北京津发科技股份有限公司、海信电子科技（深圳）有限公司、海信视像科技股份有限公司、之江实验室、网易（杭州）网络有限公司、北京微视威信息科技有限公司、维沃移动通信有限公司、甬江实验室、星鲨科技集团有限公司、广州卓远虚拟现实科技股份有限公司、杭州冠理科技有限公司、人民网股份有限公司、南昌虚拟现实研究院有限公司、青岛虚拟现实研究院有限公司、北京弘宇飞拓科技有限公司、应急管理部天津消防研究所、中仪英斯泰克科技有限公司、立讯精密科技（南京）有限公司、咪咕文化科技有限公司、北京渲光科技有限公司、雷鸟创新技术（深圳）有限公司、上海蓝鳍信息科技有限公司、华为技术有限公司、香港科技大学（广州）、万有引力（宁波）电子技术有限公司、咪咕新空文化科技（厦门）有限公司、广西质量工程职业技术学院、上海市质量监督检验技术研究院有限公

司、上海天数智芯半导体股份有限公司。

本报告主要参编人有（排名不分先后）：

范科峰、潘榕、董桂官、孙齐锋、耿一丹、程璐、赵晓莺、李婧欣、宋文琦、许知涯、王平平、张庆凯、周鸣岐、杨春、王凡、刘杰、赵起超、王清菊、石磊、曾杰、郑贵桢、张宏伟、盖孟、赵化民、董丙银、王亚忠、赵蕾、梁娇娇、刘诗雅、钱志锋、刘倍倍、姜军毅、黄玉筠、张冬明、靳国庆、杨子杰、孙其民、张旭升、胡小刚、王雨农、李洪鹏、张力予、严小天、刘宁、王惠青、陶鹏宇、姜芊叶、贺钦、韦也娜、刘博、许国军、陈朋波、毕蕾、李琳、冯健峰、方顺、崔铭、张君杰、欧阳琼林、米海峰、王志刚、贾金原、张凯涵、陈春明、王乐、罗伟泰、于西龙、盖鲁江。

本报告公开发布。转载、摘编或利用其他方式使用本研究报告文字或观点的，请注明：“来源：《扩展现实（XR）产业和标准化研究报告（2025版）》”。本报告将结合 XR 产业发展和国内国际标准化进展，持续更新。感谢关注！



潘榕



耿一丹



微信搜一搜

计算机图形图像与多媒体标准化

报告编制组

2025年11月18日

第一章 基础通用

1. 关键器件

1.1 核心计算芯片

XR 核心计算芯片主要包含主控芯片与协处理芯片两大品类，2025 年二者在制程工艺、功能适配方面均实现阶段性突破。

2025 年，XR 主控芯片国际已实现 3nm/4nm 制程规模化应用。持续推动渲染分辨率、交互精度与算力上限的提升。同时，为兼顾性能与供应链安全，部分厂商积极采用 Chiplet 等先进封装技术，在成熟制程（如 7nm）基础上实现性能跃升，并为向更先进制程（如 5nm）的规模化落地铺平道路。

XR 协处理芯片制程上多采用 22nm-28nm 成熟工艺，兼顾成本控制与场景适配。2025 年 XR 协处理芯片聚焦细分功能赋能，与主控芯片形成高效协同，低功耗与实时性优化成为核心方向。制程上整体兼顾成本与场景适配需求，国际厂商凭借高效架构设计，在传感器数据处理与延迟控制上建立优势，国内企业则发力低功耗技术突破，推动多模态交互能力向端侧下沉，逐步缩小与国际标杆的差距。同时，协处理

芯片与 AI 技术的融合不断深化，端侧大模型推理能力持续提升，为 XR 设备进阶交互体验提供支撑。

市场格局上，高端协处理芯片市场由国际头部企业主导，其产品凭借稳定性能与生态适配性，深度绑定旗舰 XR 设备。国内企业则立足消费级与行业场景寻求突破，依托本土供应链与场景需求，推出针对性解决方案，在工业巡检、消费级 AR 等领域逐步积累市场份额。

1.2 传感器

2025 年 XR 传感器技术加速迭代、多维融合，作为沉浸式体验核心硬件，在精度、功耗与场景适配性上实现跨越式提升，推动 XR 设备向全场景渗透。制程上高低端差异化发展，高端传感器依托 Soc 集成及芯片级封装等先进封装工艺，向微型化、低功耗升级；中低端产品则依托成熟制程平衡成本与稳定性。技术层面，超表面光学在高端光学模组试点应用，事件传感器已用于部分 MR 设备的低延迟追踪。

功能上，XR 传感器已构建全场景感知闭环，毫米级定位已普及，可实现精细化人机交互及眼动、心率等基础健康指标监测；非侵入式生物电信号读取技术目前多在医疗、工业等专业场景试点。场格局呈现差异化竞争，国际头部厂商主导高端医疗级、多模态融合方案，深度绑定旗舰设备；国内企业聚焦消费级与行业细分场景，凭借性价比与本土供应

链优势，在中低端模块领域快速渗透，扩大市场份额。

生态层面，行业协同与标准建设同步推进。头部 XR 设备厂商与传感器企业深度联调，构建“硬件 - 算法 - 场景”生态闭环；OpenXR 标准新增空间感知接口规范，国内同步布局传感精度、接口兼容及数据安全标准，推动产业规范化发展，为技术规模化落地筑牢基础。

未来，XR 传感器将向多模态深度融合、无感集成与智能升级方向演进，结合标准体系，加速在医疗、工业、消费等场景深度渗透，进一步释放 XR 技术的沉浸式体验价值。

1.3 显示屏

2025 年，近眼显示（NED）器件作为 XR 设备核心，呈现技术路线分化竞争、场景适配精准化的发展现状，成为推动 XR 设备向消费级、行业级规模化渗透的关键支撑。当前主流技术路线聚焦硅基 OLED、Micro-LED、LCoS 三大方向，新兴激光光束扫描（Laser Beam Scanning, LBS）技术和薄膜可切换显示（Film-Switchable Display, FSD）仍处于探索阶段，未形成规模化应用。

场景适配方面，高端 VR/MR 设备已普遍采用硅基 OLED 器件；AR 领域随 AI 眼镜落地拐点到来，加速向光波导 + Micro-LED/LCoS 方案迭代，逐步替代传统 OLED + BirdBath

方案，解决体积、视场角及环境光干扰等痛点，适配日常佩戴与全天候使用需求。

核心工艺层面，2025 年实现多维度突破。硅基 OLED 已迈入 12 英寸产线布局阶段，通过背板工艺优化，提升像素密度与稳定性；Micro-LED 聚焦巨量转移和单片集成技术，逐步突破量产瓶颈，结合光波导方案，实现数万尼特超高亮度，适配户外强光场景；LCoS 依托定制化半导体制程，持续在光利用效率、响应速度等方面进行优化。功能上，行业已逐步达成 30PPD 单眼角分辨率、100Hz 以上刷新率及毫秒级响应时间的行业共识目标，有效降低眩晕感，兼顾低功耗与轻薄化，支撑 XR 设备形态升级。

市场格局上，硅基 OLED 领域由国际巨头领跑，国内产业链正加速成熟，配套能力快速提升。Micro-LED 因量产成本高，目前仅在高端工业 AR 设备与部分消费级 AI 眼镜中少量应用；LCoS 则凭借轻量化、低功耗与成本优势，已成为众多消费级轻量 AR 眼镜的主流选择。

未来，硅基 OLED 将伴随 12 英寸产线产能释放，逐步降低成本，向中端市场渗透；Micro-LED 有望在 3 年内实现消费级场景落地。技术融合方面，显示器件将与 AI、传感技术深度协同，实现可变景深、自适应亮度调节等进阶功能，强化视觉沉浸感。同时，在政策推动下，我国将加速掌握近

眼显示关键核心专利与标准，缩小与国际巨头的技术差距，推动产业整体实力进入全球前列，助力 XR 技术在工业、消费、医疗等多场景深度渗透。

表 1 关键评价指标

评价指标	含义	对 AR/VR 的影响	关键技术要求
PPD (Pixels Per Degree)	角分辨率： 每 1° 视角内含有的像素数量。	决定图像清晰度，人眼极限约为 60PPD。PPD 越高，越能消除“纱窗效应”（Screen Door Effect, SDE），提供真实的视觉体验。AR/VR 设备需在高 FoV(视场角)下同时实现高 PPD。	超高 PPI(像素密度)和精密光学设计。
PPI (Pixels Per Inch)	像素密度 每英寸所含的像素数量。	硬件基础。决定显示器件本身的细腻程度。由于近眼放大，VR 设备通常要求 PPI 达到 800-1500，而 AR/VR 微显示器则要求达到 2000PPI 以上，高端产品甚至挑战 5000+PPI。	像素尺寸微缩化，高集成度的硅基背板工艺。
亮度 (Brightness)	显示画面发出的光强度（cd/m ² 或尼特）。	AR/VR 差异性指标。VR：需要高亮度来穿透复杂的 Pancake 光学器件。AR：图像需叠加在真实环境中，要求极高亮度（通常需达到数千甚至上万尼特）才能在户外强光下可见。	提升光源效率或采用自发光高亮材料（如 Micro-LED）。
对比度 (Contrast Ratio)	最亮白与最暗黑之间的差异比值。	影响沉浸感。决定图像的层次感和立体感。高对比度能实现“真黑”，对 AR 视觉融合至关重要。	像素自发光或高效控光能力。
刷新率 (Refresh Rate)	屏幕每秒更新图像的次数（Hz）。	影响画面流畅性和用户的眩晕感。AR/VR 要求 90Hz 甚至 120Hz 以上。	高速驱动电路设计
响应时间 (Response Time)	像素从一种状态变化到另一种状态所需的时间。	抑制运动模糊。决定运动画面的清晰度。响应时间越短，越能减少快速头部运动带来的“运动模糊”和“拖影”，有效降低用户眩晕感。	纳秒级（ns）或微秒级（μs）。
功耗 (Power Consumption)	器件工作时消耗的电能。	决定设备续航能力和发热量。AR/VR 通常为电池供电，对功耗要求极严。	采用高效率发光或光调制机制。

1.4 光学器件

2025 年，XR 光学器件进入技术路线集中化、场景适配精细化的发展阶段，成为推动设备形态升级与用户体验优化的核心支撑。VR 领域已全面迈入短焦光学时代，Pancake 折叠光路凭借轻薄化优势替代菲涅尔透镜，成为中高端设备标配，虽仍面临光效不足、高端膜材依赖进口等瓶颈，但已实现体验质的飞跃。AR 领域呈现“BirdBath 主流支撑”与“光波导重点突破”并存格局，随着 AI 眼镜消费级落地进程加快，光波导技术凭借类普通眼镜形态与高透光率优势，开始在中高端及轻量化产品中取得应用，争夺未来市场主导权。

2025 年，XR 光学器件制造工艺向高精度与规模化快速演进。AR 领域衍射光波导迈入晶圆级量产阶段，头部厂商积极布局 12 英寸晶圆级光波导产线建设，大幅提升衍射光波导量产效率与一致性；VR Pancake 模组则推进曲面贴膜与 COC 材料模内注塑工艺规模化应用，进一步优化视场角与像质表现。

技术方面，VR 侧通过精密主动对准工艺，有效缓解 Pancake 光路对位精度难题；AR 侧表面浮雕光栅光波导（SRG）技术持续优化，偏振体全息光波导（PVG）在光效与漏光抑制上取得进展，几何阵列光波导则巩固专业领域优势。功能

上，行业逐步突破大视场角与轻薄化的矛盾，VR Pancake 模组实现视场角突破 120°，AR 光波导器件支持全彩显示与更大动眼框，部分高端设备集成屈光度调节功能，缓解用户视觉使用痛点。

市场格局与生态协同层面，呈现头部集聚与产业链绑定深化特征。全球 XR 光学市场集中度持续提升，已形成由少数具备核心技术、量产能力与核心客户资源的头部厂商主导的竞争态势。在 VR 光学领域，Pancake 方案已成为中高端设备的绝对主流；AR 光学领域，光波导作为前沿方向，其市场由国际领先企业与快速崛起的国内龙头共同主导，国内厂商凭借在微纳光学、精密制造领域的持续投入，已在全球高端供应链中占据关键席位，市场竞争呈现动态平衡格局。生态协同层面，主流厂商着力打造“光学器件 - 整机代工 - 终端客户”的闭环，强化产业链各环节协同联动，提升产业整体竞争力。

未来，XR 光学器件将向工艺精进、技术融合与材料突破方向演进。VR 领域聚焦光效提升与成本优化，推动 Pancake 技术向中低端设备渗透，同时探索光场显示与可变焦技术，缓解视觉辐辏调节冲突，进一步优化用户体验。AR 领域重点突破光波导技术瓶颈，探索碳化硅等高性能基底材料的产业化应用，实现大视场角与低功耗的平衡。技术融合层面，光学器件将与 AI、传感技术深度协同，实现自适应亮

度调节、场景化像质优化等进阶功能。同时，国内产业链在反射偏振膜、精密光学镜片等关键部件领域的技术攻关与量产能力持续取得突破。未来将依托行业标准体系完善与产业链协同发力，提升我国 XR 光学产业全球竞争力。

1.5 通信模块

2025 年，XR 通信技术迈入多网络融合、智能协同的关键发展阶段，形成“Wi-Fi 主导、蜂窝补充、边缘赋能”的应用格局，成为支撑 XR 设备全场景落地的核心基础设施。Wi-Fi 6（含 6E）已成为 XR 终端主力连接标准，凭借高带宽与低延迟特性满足室内局域交互需求；5G-A 依托 3GPP R18 标准的成熟基础，进入规模化商用筹备期，主要聚焦工业专网、远程协作等专业场景试点；短距通信（蓝牙、UWB）持续保障定位与音频交互稳定性，而网络架构正从单链路传输向多链路智能协同升级，边缘计算与云渲染融合成为产业核心发力方向。当前技术瓶颈集中于蜂窝通信在 XR 终端的集成度不足，多数设备仍依赖外挂或共享连接模式，多网络协同的标准化与适配性有待完善。

技术与功能层面，2025 年实现全方位突破与优化。技术上，Wi-Fi 7 的 MLO 多链路冗余技术逐步落地试点，提供 5~6 Gbps 稳定带宽；5G-A 通过网络切片、上行配置授权等技术，将端到端延迟压缩至 10ms 以内，爱立信、高通与 T-Mobile

已在商用 5G SA 网络完成 XR 试验，验证低延迟传输与分布式空间计算能力。功能上，AI 智能调度技术落地应用，可动态分配 Wi-Fi、蜂窝、短距通信链路资源，实现室内外场景无缝切换，同时边缘节点与终端的联合渲染功能逐步完善，有效平衡设备算力与能耗矛盾。

市场格局与生态协同呈现头部集聚、标准共建的特征。市场格局上，国际芯片巨头凭借其主流 XR 通信平台占据全球高端市场主导地位，其方案广泛应用于行业旗舰设备；国内通信设备商则依托 5G-A 技术优势，在工业 XR 专网领域快速渗透，与头部制造企业达成深度合作。生态层面，标准协同进程加速，3GPP R18 已将 XR 业务纳入 QoS 类别，明确 XR 流识别、节能调度等技术框架，R19 正推进 AI 驱动网络与边缘协同机制研发；头部企业加速产业链绑定，形成“芯片 - 网络 - 终端 - 内容”协同生态，通过联合试验与技术迭代，推动 XR 通信方案的场景化落地。

未来，XR 通信技术将沿着“可靠化、集成化、标准化”方向深度演进。技术层面，未来 Wi-Fi 8 的商用，将稳定提升高密度环境传输能力，5G-A 将向确定性低时延（<5ms）升级。应用层面，蜂窝通信将突破终端集成瓶颈，成为户外及专业场景核心支撑，推动工业巡检、远程医疗等 XR 应用规模化落地，为全场景沉浸式体验奠定基础。

2. 基础软件

2.1 开发引擎

2025 年，XR 开发引擎作为内容创作核心基座，进入 AI 深度融合、生态协同升级的发展阶段，成为支撑 XR 产业规模化落地的关键支撑。当前行业呈现“国际双巨头主导、国产引擎差异化突围”的格局，平台化、智能化成为核心发展导向，引擎已从单纯的工具载体升级为“技术封装+生态聚合”的综合赋能平台。随着谷歌与三星联手打造的安卓 XR 平台正式落地，引擎与统一系统生态的适配性成为竞争焦点，同时生成式 AI 工具的集成应用，大幅降低了 XR 内容开发门槛，推动独立开发者与中小团队参与内容创新，加速了工业仿真、教育培训等垂直场景的内容迭代。

技术层面，2025 年 XR 开发引擎实现 AI 原生与性能优化双重突破。技术上，生成式 AI 全面融入引擎工具链，Unity 与 Epic 均推出原生 AI 插件，支持通过自然语言指令自动生成 3D 模型、材质纹理及动画片段，Unreal Engine 5.4 版本升级动态全局光照与虚拟化几何体技术，结合 AI 驱动的降噪算法，能够在保持影视级画质的基础上，显著提升 XR 场景的渲染效率。

功能上，引擎强化多模态交互与跨平台适配能力，安卓 XR 平台搭载的 Gemini 大模型，实现“可见即可说”的自然语义交互，支持开发者快速构建语音、手势协同的 XR 交互逻辑；同时，引擎的跨平台适配性成为竞争焦点，行业正推动对 WebXR 等开放标准的全面兼容，以实现一次开发、即可面向 XR 眼镜、手机及平板等多终端的高效部署，从而满足内容轻量化传播与降低开发门槛的普遍需求。

市场格局与生态协同呈现头部集聚与生态路径分化的特征。市场格局上，国际主流商业引擎凭借其性能与生态优势，在消费级与高端专业领域形成主导：轻量化与跨平台能力强的引擎主导消费级内容开发；而追求影视级画质与高物理精度的引擎则在高端工业仿真等领域建立壁垒，深度配套行业旗舰设备。国内自研引擎则通过聚焦垂直领域与特定技术栈，取得差异化进展，已在航空模拟等高端工业场景实现深度应用，并通过适配国产信创环境，服务于对自主性有明确要求的市场。

未来，XR 开发引擎将沿 AI 原生深化、云边端协同、行业定制化三大方向演进进一步缩短内容开发周期，降低交互延迟，适配多样应用场景；同时加速扩张开源生态，降低中小团队技术门槛，推动 XR 内容生态规模化、规范化发展。

2.2 操作系统

2025 年，XR 操作系统迈入原生架构迭代与生态多元竞争的关键阶段，行业正加速脱离“基于安卓底层优化”的过渡模式，向专为空间计算设计原生系统转型，成为决定 XR 设备交互体验与规模化落地的核心枢纽。谷歌、三星与高通联合研发的 Android XR 操作系统于 2024 年底发布预览版，标志着安卓生态向 XR 领域的标准化延伸；苹果 visionOS、Meta Horizon OS 形成各具特色的生态闭环布局，国内方面，产业正通过开源协作、自研迭代及产学研联合等多条路径并行探索，积极构建面向未来的 XR 操作系统底层能力。其中，基于开源技术路线的社区与厂商正加速推进原生系统的研发与适配；同时，面向工业、教育等垂直领域的定制化系统解决方案也在持续涌现，整体呈现“国际巨头引领、国内多路径并举”的竞争与发展态势。

技术与功能层面，2025 年 XR 操作系统迎来关键技术突破，核心围绕 AI 能力深度融合、交互体验低时延优化及场景化功能升级展开。Android XR 完成底层技术架构的针对性优化，全面接入 AI 能力实现环境感知与情境化交互，同时完成工具链的多轮升级迭代，持续提升开发适配的稳定性与设备交互体验，还落地了跨设备协同、移动场景适配等实用能力。苹果 visionOS 持续强化核心的空间计算与虚实融合技术，进一步丰富空间交互的应用体验；Meta Horizon OS 则聚焦交互体验升级，深化核心交互技术与自有生态的协同效果。

国内方面，openKylin 开源社区的 XR SIG 稳步推进技术研发，围绕开源架构打造适配 XR 场景的技术体系，持续完善国产 XR 操作系统的底层能力，填补了国产开源 XR 赛道的技术空白。

市场格局上，基于硬件与系统深度协同的封闭生态在高端空间计算设备领域占据主导；依托国际主流移动生态的 XR 系统则通过联盟化策略加速终端落地，其首发硬件产品已于 2025 年下半年陆续上市，并与多家消费级及行业级设备商达成合作，快速抢占中端市场。生态层面，主流生态联盟正积极推进其官方内容商店的落地与全球部署，并通过持续的开发者工具迭代吸引应用生态迁移，已在部分先发地区开展场景验证；国内以开源协同为主导的技术路线正联动产学研力量，推动系统底层技术的迭代与适配，但目前仍处于生态构建与能力积累阶段。

未来，XR 操作系统将与 AI 与空间计算深度融合，实现交互意图预判、动态资源调度与自适应场景优化，进一步降低时延、强化沉浸感，跨设备协同与拟真交互功能将成为迭代重点；同时操作系统将面向工业、医疗、教育等垂直场景推进定制化优化，推动 XR 技术与实体经济深度融合，构建多元化、安全可控的产业生态。

2.3 设计建模软件

2025 年，三维设计建模软件作为 XR 虚拟世界构建的核心基石，伴随 XR 技术向航空航天、工业仿真等核心业务深度渗透，进入需求升级与技术迭代的关键阶段。行业已从传统演示验证场景的基础建模需求，转向核心业务流程融合下的高维度能力诉求，建模工具需同时兼顾高保真构建、多源数据融合与 XR 场景适配性，国际主流软件与国产自研工具协同发展，OpenUSD 等开放标准成为生态协同的核心纽带，整体呈现“专业化升级、智能化赋能、国产化突破”的发展态势。

技术与功能层面，2025 年建模软件以标准融合、智能迭代与工业级精度优化为核心突破方向。技术上，OpenUSD 标准深度融入主流工具链，NVIDIA 在台北国际电脑展发布的 Isaac Sim 5.0 基于该标准推出机器人与关节摩擦 USD Schema，支持传感器噪声建模与工业级关节摩擦参数校准，精准模拟真实硬件行为，提升 Sim2Real 迁移鲁棒性，适配 XR 工业仿真场景；3D AIGC 依托文本或图像双模态输入快速生成高精度模型，结合程序化建模实现宏观到精细场景的自动化构建，提升搭建效率。功能上，软件强化 XR 适配：一方面通过 OpenUSD 优化多源异构数据融合精度，满足航空航天领域严苛要求；另一方面升级模型轻量化与动态组件生成，适配 XR 低时延诉求，部分工具兼容 OpenXR 标准保障跨平台一致性。

市场格局与生态协同呈现“国际主导、国产突围”的差异化特征。市场格局上，国际主流三维创作软件凭借成熟的工作流与 OpenUSD 标准的深度融合优势，叠加对 glTF 等标准的适配，占据全球中高端市场主导地位；同时，一批专注于沉浸式场景的 VR 原生设计工具快速崛起，聚焦沉浸式设计场景形成细分优势。国内市场，自主化进程加速推进，自主研发的三维工具与工业软件持续推进技术迭代与生态适配，已实现在国产主流软硬件环境下的稳定运行，在航空航天、高端制造等等对供应链安全性有较高要求的领域获得实质性应用。

未来，XR 三维设计建模软件将沿智能化深化、标准统一与场景定制化三大方向演进。技术上，3D AIGC 将与建模全流程深度融合，实现从模型生成、材质优化到动态交互逻辑构建的全链路智能赋能，进一步降低 XR 内容创作门槛；OpenUSD 标准将逐步成为跨工具、跨平台的统一规范，推动建模、渲染、仿真等环节的无缝协同。产业层面，国内自主研发的工具将聚焦工业级精度与核心技术自主化，突破高端算法与底层架构瓶颈，强化在航空航天、工业仿真等关键领域的场景适配能力。应用层面，软件将向垂直场景定制化发展，针对 XR 不同细分场景推出专属功能模块，结合 AI 与仿真技术的深度协同，构建“建模 - 仿真 - 交互”一体化工具链，推动 XR 技术与实体经济的深度融合。

3. 基础技术

3.1 编解码技术

2025 年，XR 编解码技术作为沉浸式体验的核心支撑，伴随 XR 向工业、消费等全场景渗透，进入高效化、多模态融合与标准体系化的关键发展阶段。其核心目标聚焦于有限带宽与算力约束下，实现高分辨率、低延迟的音视频传输与交互渲染，当前已形成视觉、音频、交互数据多维度协同优化的格局，2025 年多项国家级标准正式落地，推动技术应用规范化，同时端边云协同编解码成为突破终端硬件限制的核心路径，整体呈现“技术迭代提速、标准落地赋能、国产自主突破”的发展态势。

技术层面，2025 年 XR 编解码以精准压缩、低延迟协同与多模态适配为核心突破方向。视觉编码领域，H.266/VVC 标准规模化落地，其 QTMT 灵活块划分结构深度适配 VR 注视点渲染技术，仅对视线中心区域高分辨率编码，可减少 30% 以上数据量，搭配 ABR 动态码率调整技术，在网络波动时实现多分辨率平滑切换；AVS3 标准持续优化，通过扩展四叉树划分、复杂帧内预测模式升级，适配 8K 超高清 XR 内容传输需求。音频编码方面，三维声技术实现质效提升，Audio Vivid 菁彩声技术支持 3DoF/6DoF 声场重构与头部跟

踪动态适配，搭配 LHDC、L2HC 等蓝牙编解码技术，构建低延迟高清无线音频传输链路。交互与协同技术上，针对位姿、点云等数据的轻量化编解码技术日趋成熟，在保障精度前提下压缩数据量、提升加载效率；端边云协同深化，边缘服务器通过 AI 超分重建修复压缩损失、动态裁剪非注视区域数据，将端到端交互延迟压缩至 20ms 以内，支撑复杂场景实时渲染。

生态层面，形成“国际标准主导兼容、国家标准突破创新”的协同格局，标准体系与产业应用深度绑定。国际端，H.266/VVC、AV1 标准凭借高效压缩性能占据中高端 XR 市场主导地位，MPEG 组织持续推进点云、自由视点视频等新型媒体格式编解码标准制定，完善沉浸媒体生态。国内端，2025 年多项关键国标正式发布，8 月实施的 GB/T 46269《信息技术 高动态范围（HDR）视频技术》系列标准，提供适配不同终端的 HDR 编解码方案；GB/T 46271-2025 作为全球首个全流程三维声标准，基于 Audio Vivid 技术规范音频制作、渲染全环节，GB/T 44115.3—2025 则明确 VR 音频应用场景的制作与回放要求。产业协同上，国内企业依托自主标准加速生态构建，Audio Vivid 已适配主流 XR 终端，AVS3 与 5G-A 网络深度联调优化传输效率，产学研协同推动技术从标准走向规模化应用。

未来，XR 编解码技术将沿智能融合、标准统一与场景定制化方向演进。技术层面，AI 将深度融入编解码全流程，实现自适应场景的码率调度、智能修复与内容预判，进一步提升压缩效率与交互流畅度；端边云协同架构持续优化，结合 6G 技术实现亚毫秒级延迟传输，突破极致沉浸体验瓶颈。标准层面，国际将加速新型沉浸媒体格式标准融合，国内则推动 AVS3、Audio Vivid 等标准国际化，强化在国际标准制定中的话语权。应用层面，针对工业仿真、远程医疗等垂直场景，开发定制化编解码方案，平衡精度、延迟与带宽需求；同时推动多模态编解码一体化发展，实现音视频、交互数据的协同编码传输，为 XR 技术与实体经济深度融合提供核心支撑。

3.2 3D 数据格式

2025 年，3D 数据格式作为 XR 内容生产与流通的核心标准化载体，伴随 XR 与数字孪生、工业仿真的深度融合，进入标准化深化、场景化适配的关键阶段。其核心价值在于通过统一存储结构、解析规则与交互协议，打破跨软件、跨平台的数据壁垒。轻量化适配与高精度兼容成为 XR 场景核心诉求，Info3D 等国家标准落地提速，为 XR 内容规模化流通与产业协同奠定基础。

技术层面，2025 年 3D 数据格式以轻量化优化、多要素

集成与 XR 场景适配为核心突破方向。国际主流格式持续迭代，OpenUSD 格式通过新增 AI 生成内容兼容模块，实现模型、材质、动画数据的一体化存储与跨引擎无缝流转，适配 Blender、Maya 等主流工具及 XR 终端；glTF 2.0 新一代扩展版本强化轻量化能力，采用新型纹理压缩算法，在保障模型精度前提下将 XR 设备加载效率提升 40%，同时支持骨骼动画与物理属性联动编码。国内技术同步升级，Info3D 国标优化几何数据与纹理材质的关联存储架构，提升工业级场景下的参数还原精度，可精准适配 XR 设备的虚实融合渲染需求；材质格式方面，基于国内编码技术的轻量化纹理格式落地，兼顾色彩保真度与低算力消耗，适配 XR 眼镜等便携终端。

生态层面，国际端，OpenUSD、glTF 构建了成熟的产业生态，已实现与 Unity、Unreal Engine 等 XR 引擎的深度适配，Meta、苹果等头部企业将其纳入 XR 内容分发标准，推动跨平台内容互通。国内端，Info3D 国标通过产学研协同加速落地，已适配中望 3D 等国产软件，在航空航天、数字医学等关键领域开展试点应用，成为国内 XR 内容生产的重要基准。产业协同上，国内依托全国信标委计算机图形图像处理及环境数据表示分委会（TC28/SC24），推动 Info3D 三维模型格式，解决 XR 终端格式支持碎片化问题。

未来，3D 数据格式将沿一体化集成、智能适配与标准协同方向演进。技术层面，AI 将深度融入格式编码全流程，

实现模型、材质、动画数据的智能压缩与跨平台自适应转换，进一步降低 XR 终端算力依赖；轻量化与高精度的平衡技术持续突破，满足工业 XR 场景的参数精准性与消费级设备的流畅性需求。标准层面，国际将加速 OpenUSD 与 glTF 的互操作适配。应用层面，针对工业仿真、远程医疗等垂直 XR 场景，开发基于基础标准的定制化语义扩展与参数适配模块，实现专业属性与交互需求的深度适配，推动 3D 数据格式成为 XR 与实体经济融合的核心支撑。

3.3 空间计算

2025 年，空间计算作为 XR 沉浸式体验构建的核心基石，伴随与 AI、数字孪生技术的深度融合，进入规模化落地、标准化提速的关键发展阶段。其核心价值在于通过三维空间信息的精准捕获、实时计算与虚实融合，打破传统平面交互局限，为 XR 技术从概念验证走向工业、医疗等垂直场景赋能提供核心支撑。当前行业呈现“技术迭代深化、标准体系成型、场景多元渗透”的态势，2025 年国内首个空间计算国家标准《虚拟空间计算指南》立项落地，生成式 AI 与空间计算的融合成为年度核心趋势，推动 XR 体验从“空间追踪”向“智能理解”跨越。

技术层面，2025 年空间计算以 AI 赋能、精度升级与协同能力强化为核心突破方向。感知与建模领域，SLAM 算法

实现语义化迭代，结合深度学习可精准识别环境物体类别与属性，搭配轻量化 LiDAR 传感器，实现大规模场景的快速重建与动态更新。定位与交互技术持续优化，视觉惯性里程计（VIO）提升复杂环境下位姿估算稳定性。生成式 AI 深度融入流程，可基于空间感知数据实时生成适配场景的虚拟内容，提升内容创作效率。映射融合层面，实时光照估计与遮挡处理技术升级，结合超分辨率渲染增强，使虚拟物体光影与真实环境高度契合，强化沉浸感。

生态层面，头部科技公司构建封闭但体验优化的生态闭环，并持续将空间计算底层能力（如空间锚点）开放给开发者，以丰富应用场景。国内，主要 XR 硬件厂商则深度融入全球主流开发引擎（如 Unity、Unreal Engine）生态，通过积极适配引擎版本、提供定制化 SDK 与开发工具等方式，显著降低开发门槛，推动应用生态的繁荣。

未来，空间计算将沿智能协同、标准统一与场景定制化方向深度演进。技术层面，AI 与空间计算的融合将从内容生成延伸至决策赋能，实现用户意图预判与空间场景智能优化；跨终端空间协同能力强化，依托 5G-A/6G 技术实现多设备空间信息实时同步，构建全场景虚实融合生态。标准层面，国内将加速推进系列标准研制，完善空间计算技术体系架构与测评规范，同时推动自主标准国际化，提升国际话语权；国际层面将聚焦跨平台空间锚点兼容、数据交互等标准协同，

打破生态壁垒。应用层面，针对工业巡检、虚拟教学等垂直场景，开发定制化空间计算方案，优化精度与实时性适配；硬件端将推动传感器轻量化与芯片集成化，降低 XR 设备门槛，推动空间计算成为 XR 与实体经济融合的核心引擎，助力元宇宙场景落地。

3.4 AI+XR 融合技术

2025 年，生成式 AI 与 XR 技术的深度融合进入规模化赋能、体验革新的关键阶段，成为重塑 XR 内容创作范式、拓展交互边界的核心驱动力。二者融合已从早期技术探索转向垂直场景落地，核心聚焦 3D 场景构建、虚拟人制作、沉浸式内容生成及实时交互四大领域，推动互联网从 2D 平面向 3D 沉浸式形态演进，实现虚拟场景生成从“随机创造”向“可控可导”的跨越。当前行业呈现“技术迭代提速、场景多元渗透、挑战与机遇并存”的态势，AI 驱动的个性化 XR 体验成为消费级市场核心卖点，专业领域的精度与一致性优化则成为技术攻坚重点。

技术层面，2025 年 AI+XR 以可控生成、实时交互优化、多模态融合为核心突破方向。3D 内容构建领域，AI 工具实现 2D 素材向 3D 内容的快速转化，依托语义理解算法确保生成模型的物理合理性与任务适配性，适配机器人训练等专业场景需求；开源模型迭代升级，可将卡通或低质量人像实时

转化为超写实形象，大幅降低虚拟人制作门槛。虚拟人技术迈入“实时智能交互”新阶段，通过神经辐射场（NeRF）与大语言模型协同，实现虚拟人的动态表情、语音语调与交互逻辑的实时驱动，支持高质量多模态面对面交流。沉浸式体验优化方面，AI 赋能 XR 个性化服务落地，体育赛事直播场景中已实现用户自主视角选择与定制化观赛席位生成；文旅领域通过 AI 与 XR 大空间技术融合，构建“虚实共生”的文化遗址沉浸体验，实现对封闭遗址的数字化复原与交互探索。同时，技术瓶颈仍较突出，NVIDIA Lyra 系统等主流方案在生成场景的规模与一致性上，仍受底层视频生成模型能力限制，AI 生成内容的精准度与真实性优化成为行业共性课题。

生态层面，形成“国际巨头引领技术迭代、国内场景驱动创新落地”的差异化协同格局。国际端，NVIDIA、Meta 等企业持续完善技术生态，通过开源模型与开发工具包降低 AI+XR 融合开发门槛，将实时交互、可控生成等核心技术嵌入 XR 引擎，适配全球旗舰 XR 设备的体验升级。国内端，场景化创新成效显著，文旅、体育、虚拟人等领域成为融合应用主战场，头部 XR 企业与 AI 厂商深度协同，构建“硬件 - 算法 - 内容”闭环生态，推动沉浸式体验规模化落地。

未来，AI 与 XR 的融合将沿技术深化、场景渗透、生态完善三大方向演进。技术层面，生成式 AI 将实现从“内容生成”向“逻辑赋能”跨越，通过强化环境语义理解与物理规则复

刻，解决场景规模一致性与内容真实性问题；多模态交互技术持续升级，实现虚拟人与用户的情感感知、意图预判，进一步提升交互自然度。场景层面，将从消费级场景向工业、医疗、教育等专业领域深度延伸，AI+XR 方案将适配工业设备虚拟调试、医疗手术模拟等高精度需求，通过算法优化实现专业场景的精准赋能。生态与标准层面，将加速形成 AI 生成 XR 内容的统一规范，覆盖数据安全、版权保护、质量评估等全流程。

第二章 内容生产

1. 内容采集

1.1 “被动光场+双目视觉”

2025 年，被动光场与双目视觉技术伴随 XR 沉浸式业态升级，进入消费级与工业级场景协同渗透阶段。虚拟影院、VR 大空间等业态推动用户从“旁观”转向“参与”，需求从高清沉浸向可交互、可编辑形态演进，对深度数据集的精准度与适配性提出更高要求。该技术方案凭借模拟人眼视差、生成贴合头显体验的深度数据优势广泛应用，但复杂光照下的信息误差、视角局限及复杂场景三维还原不足等瓶颈，仍制约其规模化落地。

技术层面，2025 年聚焦瓶颈优化与场景化适配升级。苹果迭代优化定制化 Blackmagic URSA Cine Immersive 方案，依托双 5870 万像素传感器与定制镜头，以 90 帧/秒速率采集空间深度信息，搭配 DaVinci Resolve Studio 实现高效后期制作，强化复杂场景的细节还原能力。基于该方案，苹果已完成《Tour De Force》等逾 10 部沉浸式影视作品制作。国内企业同步突破，通过融合超低延迟编解码、瞳距自适应及镜头

清洁系统，解决工业场景复杂光照与视角问题，提升技术在专业领域的适配性，推动方案从影视向工业遥操延伸。



图 2 Blackmagic URSA Cine Immersive 拍摄实践

1.2 “主动光场+多目视觉”

主动光场技术通过主动发射特定光线，可有效抵御环境光干扰，精准捕获场景深度与纹理信息；多目视觉系统依托多摄像头多角度同步采集，提升数据冗余性与互补性，显著优化三维重建精度与可靠性。二者融合的内容采集方案，能实现场景信息的精准全面捕捉，通过平面阵列、球面阵列等多相机排列模式同步拍摄，经图像分析处理重建全维度光场数据，在沉浸式影视、游戏制作等领域具备广阔应用前景，是 XR 高品质内容采集的核心技术路径之一。

国际领域，相关技术已形成成熟应用案例。南加州大学 Paul Debevec 团队 2000 年研发初代 Light Stage 系统，其中 Light Stage 5 凭借反射场低阶采样技术，成为脸部模型采集的成熟方案，应用于《本杰明·巴顿》《蜘蛛侠》等电影特效制作；新一代 Lightstage X 可实现全身采集，2014 年曾用于

奥巴马模型拍摄。Google 2018 年推出“欢迎来到光场”系统（Welcome to Light Fields），通过 16 台运动相机构建沉浸空间，但受固定机位限制，交互范围仅 180°且光源控制不足，增加编辑难度，其商业化产品 Project Beam 聚焦 3D 视频会议场景，实现技术落地。

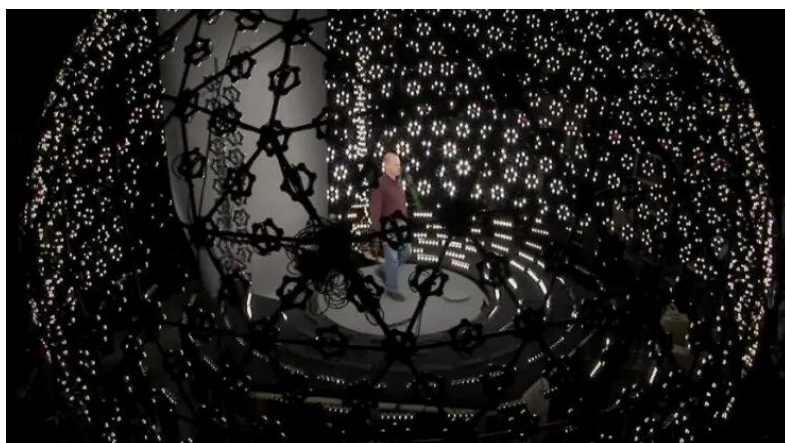


图 1 Lightstage X

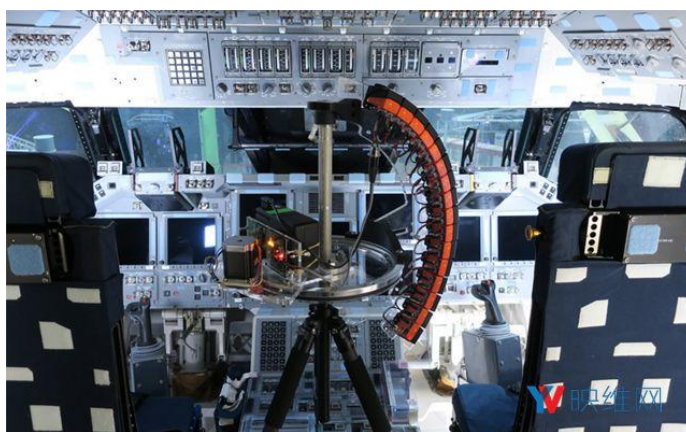


图 2 Welcome to Light Fields 采集系统

国内在数智内容制作领域的技术能力与平台建设正快速提升，产学研机构通过建设大型“主动光场+多目视觉”创新平台，推动高拟真数字内容生产的工业化与标准化。此类平台集成了由数百台高速高清相机与可编程光源构成的多维

光场采集系统，能够全方位捕捉动态物体在不同光照下的细节信息，实现高精度、高保真的三维重建。同时，通过研发移动式采集阵列与自动化处理流程，可高效完成复杂场景的光声场数据采集与结构化数据集构建。结合高性能图形基座进行后期处理，能够快速生成适用于影视、虚拟人、数字孪生等多场景的“人、物、场”高质量数字资产，为 XR 与元宇宙等内容生态的规模化供给提供了底层技术支撑与基础设施保障。

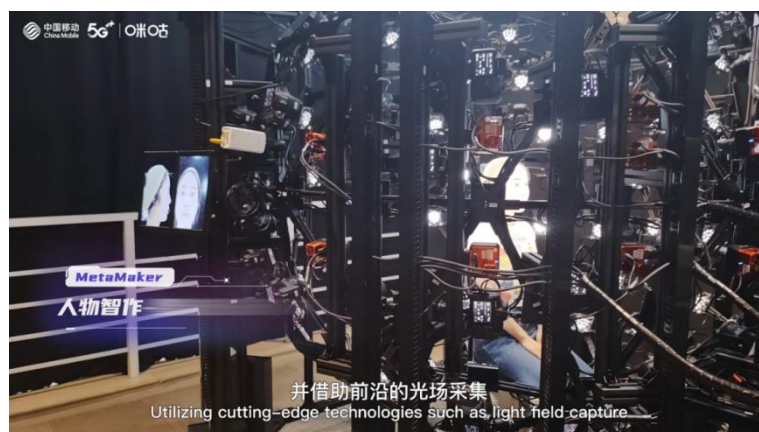


图 3 7D 人体采集重建球形装置数据采集现场

2. 内容制作

2.1 基于 3D 高斯的内容生成

2025 年，3D 高斯溅射（3DGS）技术成为突破 XR 产业 3D 内容生产瓶颈的核心路径，推动产业从专业 PGC 模式向全民 UGC 模式跨越。此前 DCC（Digital Content Creation）

建模、扫描建模及 NeRF 技术（神经辐射场）均存在效率低、成本高或门槛高的局限，无法满足 XR 规模化落地需求。自 2023 年 3DGS 技术问世以来，凭借训练速度、渲染效率与视觉质量的综合优势，快速渗透至数字孪生、游戏建模等场景。

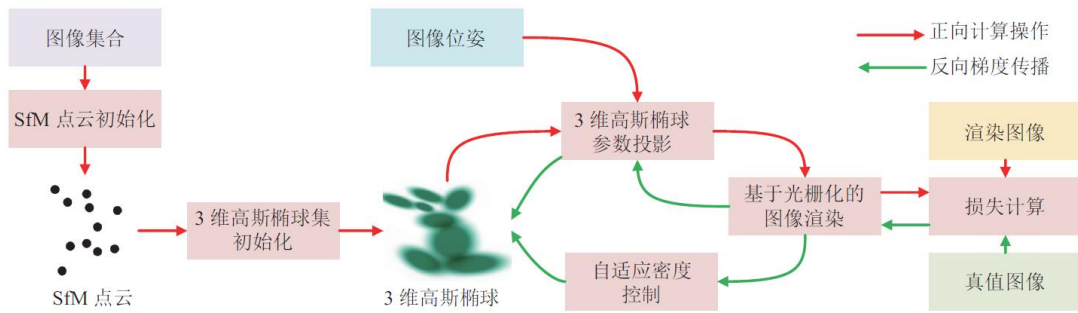


图 4 基于 3D 高斯的内容生产流程

技术层面，2025 年 3DGS 实现场景理解、光效编辑与落地门槛的多维突破，AI 融合与轻量化成为核心趋势。国际端，6 月阿姆斯特丹大学、苏黎世联邦理工学院联合发布 SceneSplat 框架，作为首个在 3DGS 上原生运行的端到端室内场景理解方案，解决了传统方法依赖 2D/文本模态的局限，支持自然语言查询响应，配套的 SceneSplat-7K 数据集涵盖 7916 个场景、112.7 亿高斯点，重建质量达 PSNR 29.64 dB，大幅提升 3D 场景智能交互能力。同时，3DGS 与移动设备的适配持续优化，通过手机拍摄图像即可在分钟级生成 3D 内容并实现端侧实时渲染，Niantic Scaniverse 将其与地图、社交属性融合，纽约时报用于新闻报道制作，拓展应用边界。

国内端，产学研机构持续攻关新一代光场建模与编辑算

法。相关研究通过创新的光照解耦等技术路径，致力于实现“一次采集、多次编辑”的高效 workflow，能基于物理原理生成多样化的光照效果数据集。这类突破旨在显著降低高质量数字内容的数据采集成本与后期编辑难度，为光场融合、动态场景编辑等高端应用提供更可行的技术方案。同时，硬件与软件工具厂商正通过深度集成前沿算法，大幅降低高精度三维重建的技术与硬件门槛。

3DGS 技术将沿智能深化、标准统一、生态协同方向演进，成为 XR 内容生产的核心支撑。技术迭代上，将持续推进 AI 与 3DGS 的深度融合，优化动态场景重建与实时交互能力，进一步降低终端硬件依赖，实现更轻量化、高效化的内容生成。标准建设上，UWA 联盟已与 Khronos Group 达成战略合作，2025 年底正式启动全球统一 3DGS 格式标准制定，双方在应用场景、编解码等方面达成共识，依托清华大学等产学研力量协同推进，同时 UWA 联盟正联合多方编制 3DGS 图像共享格式标准，探索与高德在标准落地中的合作可能，破解生态碎片化难题，推动内容跨终端互联互通。

2.2 基于 4D 高斯的内容生成

2025 年，4D 高斯已经成为动态场景重建渲染的主要理论研究方向，其研究成果将逐步从实验室走向市场应用。

2025 年 6 月，针对动态场景快速建模和渲染产生的高斯预测冗余问题，Meta Reality Labs 发布一种新型动态场景重建方法——4DGT（4D Gaussian Transformer），实现从真实世界的单目视频中高效地重建出场景的几何和外观信息。该方法引入动态高斯的生命周期属性，能够有效地从背景中区分出动态内容，并生成逼真的光流和运动分割结果。同时创新密度控制策略和多级注意力机制，进一步降低了计算成本，保持对长时序数据的处理能力。

2025 年 6 月，针对动态高斯表示中长程运动建模难题，浙江大学和吉利汽车研究院发布全新的 4D 表示方法——FreeTimeGS。与传统的规范高斯基元相比，该方法为每个高斯基元赋予了独特的运动函数，高斯基元能够随着时间推移移动到相邻区域，有效减少了时间冗余，极大地提升了对动态 3D 场景的建模能力，有望在虚拟现实交互体验、自动驾驶场景感知、影视特效制作等领域发挥重要作用。

未来，高斯技术将向高维融合、轻量化落地与标准统一演进。技术上，将推进 4D 与视角维度融合（如 7DGS），在实时渲染基础上优化视角依赖效应，实现更高质量动态场景还原，同时深化 AI 与高斯技术融合，进一步降低终端算力依赖。

2.2 基于 AI 的内容生成

2025 年，基于 AI 世界模型的 XR 内容生成技术进入轻量化突破与场景探索阶段，成为重构 XR 内容创作范式的核心力量。2025 年 10 月李飞飞团队的 World Labs 发布实时生成式世界模型 RTFM（Real-Time Frame Model），凭借高效神经网络架构、自回归扩散 Transformer 及空间记忆技术，仅需单张 H100 GPU 即可实现实时推理，大幅降低运行门槛。该模型支持从单张图像生成含反射、阴影等效果的 3D 场景，可处理多类场景与风格，已开放预览版体验。同期，谷歌 Genie 3 实现 720p 分辨率、20-24 帧/秒的实时生成，昆仑万维模型则具备“一图入实境”能力，行业整体向高保真、实时交互方向迭代，为 XR 沉浸式内容生产提效 10 倍以上。

但当前世界模型尚处于起步阶段，生成的数字空间内容分辨率及帧率较低（以 720p/1080p 为主，每秒帧率普遍不足 30 帧）、游玩时间短（普遍为 10s—5min）且生成成本较为高昂，还需计算机视觉、深度学习、三维表示学习、多模态学习等底层技术/算法取得持续突破。

2.3 音频内容制作

2025 年音频内容制作以 Unity、Unreal、FMOD、Wwise 等引擎为核心工具，通过渲染技术生成空间音频，按应用场景分为静态与动态两类，分别适配预制作内容与实时交互场景，回放以双耳耳机、多扬声器为主要方式。

音频内容制作使用 Unity、UNREAL、FMOD 和 Wwise 等制作引擎将不同类型的音频文件通过渲染技术处理，生成具有沉浸感的空间音频，流程如图所示。

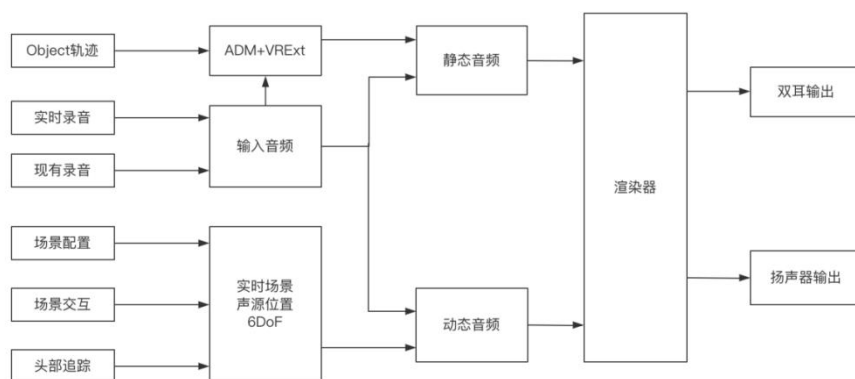


图 5 音频内容流程

静态音频指的是可提前制作的音频，例如音乐、影片等，常用的格式是 ADM-BW64 或已经渲染的双耳音频和扬声器音频，一般使用数字音频工作站 DAW 制作。动态音频指音频内容不能提前制作，需要根据场景和环境实时渲染，例如直播、游戏等场景，一般使用游戏引擎制作。静态音频有时可作为动态音频的输入以制作交互音频。

未来，随着 XR 直播、虚实协同场景扩容，动态音频实时渲染与跨终端适配需求激增，XR 音频将沿智能协同、场景定制与标准统一方向演进，解决多设备音质一致性、复杂场景音频同步等瓶颈。

第三章 内容分发

1. 分发传输

2025 年随着 5G-A 网络技术升级，XR 内容分发围绕“低时延、高适配、广覆盖”目标实现技术体系升级，结合网络技术演进与算力架构优化，解决多终端兼容、大用户并发、复杂场景适配等核心问题，为 XR 内容规模化落地提供支撑。

1.1 帧级全链路管控技术

2025 年，XR 分发传输帧级全链路管控技术依托 5G-A 网络实现规模化商用突破。中国移动联合华为、中兴完成商用验证，3GPP R18 协议通过 10 本专项标准构建技术框架，帧级保障能力已在 VR 大空间、沉浸式展演等场景验证成效。帧级全链路管控技术主要有三大关键点：

一是帧导入机制。基于用户面管理功能（UPF）构建“转发-导入”双平面架构。转发平面通过深度包检测技术复制 XR 业务流量，确保原始传输无中断；导入平面通过统一 API 接口加载适配不同协议的软件开发工具包（SDK），可提取通用格式（如 FMP4、RTP）及企业私有加密格式的帧元数据（帧位置、时间戳等），无需破解加密内容即可获取关键

信息，为后续处理奠定基础。

二是帧识别技术。针对明文 XR 业务，通过增强型深度包检测（DPI）解析实时流传输协议（RTP）头部，提取帧序列号、帧结束标记及网络抽象层单元（NALU）中的关键帧标志位，完成帧类型与重要性判定；针对加密或私有协议业务，采用智算 UPF 方案，通过 AI 模型训练识别应用类别与帧特征，摆脱对明文解析的依赖，具备泛化适配与快速迭代能力，降低人工规则设计成本。

三是帧保障策略。引入 PDU 集时延预算（PSDB）参数，核心网向基站下发单帧传输时限，基站实时计算帧传输余量并动态调整调度优先级，确保帧在时限内完成传输。同时，核心网通过动态策略向基站下发“丢单包”或“丢整帧”指令，基站为关键帧（I 帧）与非关键帧（P/B 帧）配置差异化超时丢弃定时器，在高拥塞场景（物理资源块利用率 $\geq 95\%$ ）下，关键帧传输时延可控制在 10ms 以内，99%的帧端到端传输时延不超过 20ms，非关键帧选择性丢弃可提升带宽利用率 30%以上。

1.2 L4S 拥塞控制协同机制

在交互式 XR 游戏、AR 远程协作等时延敏感场景，部署 L4S（低延迟低损耗可扩展）拥塞控制技术，构建网业端闭环协同机制是优化时延敏感场景的核心方案。

2025 年已构建较成熟的 L4S 网业端闭环协同机制，与帧级管控方案深度融合实现效能倍增。XR 业务平台在 IP 包头拥塞通知（ECN）标记 L4S 能力，明确 XR 业务的低时延需求。5G-A 网络为 L4S 与非 L4S 流量配置独立队列，基站监测 L4S 队列排队时延，超预设门限时依据时延比例定义拥塞程度，对数据包 ECN 标识进行拥塞置位（CE）并反馈至终端。终端接收标记后，经上层协议向业务平台上报拥塞状态，平台根据拥塞程度调整发送速率，实测端到端传输时延性能增益超 10%，时延抖动性能增益超 40%。

1.3 异构网络融合传输方案

2025 年，XR 异构网络融合传输技术依托 5G-A 与 Wi-Fi 协同架构实现规模化试点落地，成为解决用户室内外移动场景传输连续性的核心方案，与帧级管控、L4S 机制共同构建全场景传输保障体系。针对 XR 用户室内外移动场景的传输需求，构建 5G-A 与 Wi-Fi 协同传输架构：

初期阶段，UPF 直接连接 Wi-Fi 接入点（AP），实现 5G 与 Wi-Fi 双路接入，室内场景（如 XR 体验厅）通过 Wi-Fi 传输高带宽内容，室外场景切换至 5G-A 网络，保障移动过程中传输连续性；中远期阶段，采用演进型分组数据网关（ePDG）架构，XR 终端经 Wi-Fi AP 接入 ePDG 完成认证授权计费（AAA），实现 5G 网络对 Wi-Fi 接入的内生管理。

同时，分阶段落地智能协同功能：初期支持冗余传输、无感切换与流量聚合；后期引入 AI 模块，通过链路性能检测与质量预测，动态优化传输路径，提升网络资源利用率与传输稳定性。

2. 业务运营平台

围绕 XR 内容分发的监管、效率与体验需求，构建模块化业务运营平台。业务运营平台在 2025 年实现与 5G-A 网络的深度协同，覆盖 XR 业务全生命周期管理。

2.1 内容监管模块

本年度，内容监管模块对接 5G-A 网络帧级管控能力，构建 XR 内容全流程监管体系：通过统一媒体协商接口，获取 UPF 与运营播控系统交互的串流元数据（含网络元数据、媒体元数据），明确监管对象与范围；基于帧导入与识别数据，实时抽取 XR 业务帧进行内容审查，识别违规信息后，通过 UPF 南向阻断对应流量，同时北向推送告警至监管平台，包含违规帧标识、用户终端 IP、端口等信息，实现违规内容的快速处置与溯源，填补 XR 行业监管技术空白。

2.2 坪效优化模块

2025 年坪效优化模块的核心特性是 AI 驱动的全场景动

态资源调度，实现资源利用率与运营效益的双重跃升。该模块集成资源调度与适配功能，助力企业降低成本、提升单位面积使用效率：提供非关键帧丢弃策略配置界面，企业可根据业务场景设定丢弃阈值，带宽紧张时通过基站动态丢弃非关键帧，提升带宽利用率；内置动态速率保障引擎，核心网为 XR 业务建立保证比特速率（GBR）承载时，额外下发多组备选服务质量（QoS）参数集，基站根据小区资源状况动态切换保障速率，避免静态带宽分配导致的资源浪费；支持异构网络接入管理，实现 5G-A 与 Wi-Fi 的智能选路与负载均衡，在多用户并发场景下，单位面积用户承载量可提升 50%。

2.3 体验保障模块

该模块构建动态监测与优化闭环，确保 XR 业务传输质量，提升 XR 业务体验稳定性：实时采集帧传输时延、关键帧丢失率、L4S 适配状态等指标，设定“时延 > 20ms”“关键帧丢失率 > 0.1%”等阈值告警机制；触发告警后，自动向网络侧推送参数调整建议（如更新 PSDB、优化调度策略），或向业务侧反馈适配需求（如降低编码分辨率、调整帧周期），形成“监测 - 告警 - 优化”闭环；针对轻量化 AR 终端，优化“即点即渲染”技术，通过 AI 算法压缩帧内纹理数据，在保证解码质量的前提下缩短加载时间，实现秒级内容启动。

第四章 内容呈现与交互

1. 内容呈现

1.1 终端形态

XR 内容呈现终端形态是承载虚拟内容展示、实现虚实融合体验的硬件基础，核心功能为适配不同场景需求，完成虚拟内容的精准输出与交互响应，按产品形态可划分为一体式、分体式、桌面式、座舱式、洞穴式及云化终端六大类，覆盖消费级娱乐、专业级仿真、工业实训、车载交互等多元场景。各类终端虽定位不同，但均以显示效果优化、算力适配升级、便携性提升为核心迭代方向，是 XR 内容价值落地的关键载体。

2025 年，XR 终端形态呈现“全品类迭代、场景化深耕”的核心趋势，各类终端技术突破显著，适配能力持续增强。分体式终端聚焦轻量化与性能平衡，在 AR 领域尤为突出，持续优化视场角与便携性设计，满足日常佩戴需求。云化终端升级端边云协同架构，实现算力动态调度，可流畅呈现高质量光场内容，大幅降低终端硬件成本。一体式 VR 终端在显示精度上持续突破，视网膜级分辨率成为高端机型标配，有效降低视觉眩晕感。专业级终端中，洞穴式终端集成多通

道同步渲染技术，优化虚拟场景与物理空间的融合精度，广泛应用于高端工业仿真与医疗培训；座舱式终端则与智能汽车深度融合，通过车载 XR 系统实现导航、娱乐等内容的沉浸式呈现。

1.2 AR/VR 眼镜

AR/VR 眼镜是 XR 内容呈现的核心轻量化形态，其中 VR 眼镜侧重构建全虚拟沉浸式场景，通过封闭光学系统隔绝外界干扰，实现虚拟内容的全景呈现（包括通过摄像头将外界环境实时在 VR 眼镜内部呈现的视频透射式 MR 形态）；AR 眼镜聚焦虚实融合，依托光波导等光学技术，将虚拟内容精准叠加于物理环境（光学透射式），二者共同构成消费级与专业级 XR 内容呈现的核心硬件矩阵，核心功能为兼顾内容显示精度与自然交互体验，推动 XR 技术向日常化、场景化渗透。

2025 年，AR/VR 眼镜在终端侧 AI、硬件轻量化、传感融合三大领域实现协同突破，内容呈现能力与用户体验大幅升级。AR 眼镜方面，终端侧 AI 能力迎来质的飞跃，新一代专用芯片平台在尺寸优化的同时，集成高性能 NPU，推动生成式 AI 交互向端侧迁移，无需依赖云端或手机即可完成交互，支持实时生成个性化虚拟内容并精准叠加。行业在整机轻量化上持续突破，部分前沿产品已能将重量控制在极低水

平（如 60 克左右），并广泛应用亲肤材料与人体工学设计。结合持续薄型化的光波导显示模组，AR 眼镜正朝着全天候舒适佩戴的目标加速演进。VR 眼镜方面，通过升级光学显示模组并整合动态刷新率调节等技术，在提升视觉沉浸感的同时，有效管理系统功耗，延长使用时长。集成的多维度传感器实现 6DoF 空间追踪与眼动追踪协同，优化内容渲染精度。

标准化方面，SJ/T 11965-2025《超高清虚拟现实显示设备通用规范》规定了超高清虚拟现实显示设备的性能要求和测试方法。GB/T 45286-2025 和 GB/T 45287-2025 对移动设备增强现实系统进行了规范。此外，GB/T 38259-2019《信息技术 虚拟现实头戴式显示设备通用规范》拟进行修订，光学透射式增强现实头显的技术规范国家标准也正在推进立项。

2. 感知交互

2.1 交互介质

2.1.1 手柄

XR 手柄是主流交互设备，通过按键、摇杆等实现虚拟场景操控，依托震动反馈提供触觉体验，分为 3DOF 与 6DOF 两类，核心由控制器、传感器、IR LED 阵列等组件构成，通过蓝牙或 2.4GHz 协议与头显通信，行业传输时延已控制在

30ms 内，人机工程设计与定位精度是核心考量，光学追踪为当前 6DOF 手柄主流方案。

2025 年，XR 手柄以轻量化、高精度、场景化适配为核心发展趋势，技术与形态实现多维突破。隐灯环方案全面规模化落地，替代传统灯环手柄成为 VR/MR 头显标配，通过精简 LED 结构大幅减重减体积，降低运动碰撞概率，同时融合 2025 年迭代的 3D 手势识别技术，解决 LED 数量减少导致的追踪丢失问题，确保 6DOF 交互精度持平传统灯环方案。

技术层面，2025 年手柄实现精准度与体验感双升级。光学追踪方案叠加 AI 遮挡补盲算法，优化头显视场角限制与 LED 遮挡场景的追踪稳定性，抗干扰能力显著提升；自追踪方案依托芯片制程升级，在维持广范围追踪优势的同时，功耗与成本降低 20% 以上，缩小与光学方案差距。震动反馈向精细化演进，集成高精度差异化震动模组，可模拟材质纹理、力度梯度等多元触感，适配办公与娱乐场景需求。人机工程设计针对性优化，采用亲肤轻量化材质与符合人体工学的握把形态，结合压力传感技术动态调整按键反馈灵敏度，同步完善 IR LED 遮挡评估体系，适配复杂交互姿态。

XR 手柄实现了类似游戏手柄的摇杆与按键的输入形式，并继承了游戏手柄的强震动反馈功能，除简单的振子马达反馈外，各种差异化震动反馈技术也集成在手柄中，模拟不同

的震感，比如不同的枪击反馈。此外，部分手柄针对办公场景，增加了压力触控笔的功能，使得在不同平面应用压力触控进行书写绘画输入工作。

未来，手柄将持续向“轻量化、无感化、多模态”演进，通过融合肌电传感、语音控制等技术拓展交互维度，进一步降低握持负担。同时，随着 XR 办公、文旅场景渗透，场景定制化手柄将成为新方向，实现功能与形态的精准适配，助力 XR 交互体验向更自然、高效升级。

目前，手柄方面的相关国际标准有 IEEE 3069 – 2024 《Recommended Practice for Consumer AR/VR Handheld-Controller Location Technology Based on Active Infrared Optics》。

2.1.2 智能指环

智能指环是佩戴于手指的微型智能穿戴设备，集成多传感器、处理单元、无线通信模块与先进算法，核心适配 XR 产品、AI 眼镜等终端，以无感佩戴为核心特点，兼具精准人机交互与无干扰健康监测双重价值，依托手指细微动作操作、不干扰他人，平衡实用性、便携性与时尚性。

2025 年，智能指环在 XR 多模态交互、触觉反馈与健康监测领域实现关键突破，成为轻量化 XR 交互主力。前沿研究通过柔性驱动与复合反馈机制（如液压/气动协同），已能

够模拟物体表面的粗糙度甚至纹理，并在 XR 环境中实现高准确度的触觉反馈，为沉浸式交互提供了真实的物理感知维度。

当前智能指环已形成完善功能体系，同时针对性突破技术瓶颈。交互层面，基于 IMU 传感器的动作捕捉精度升级，融合超声波、麦克风等多模态技术，实现菜单切换、语音指令等复杂操作，部分方案新增环境光与温度监测功能，拓展场景适配性。健康监测层面，高端型号支持心率、血氧、睡眠及血压趋势评估，数据精准度较上年提升 20%，满足日常健康管理需求。反馈技术上，震动反馈持续精细化，而电触觉、气囊触觉仍处于研发阶段，荷兰团队的液压气动方案为沉浸式反馈落地提供了新路径，逐步缩小与主流 XR 交互设备的体验差距。

未来，智能指环将沿多模态交互深化、XR 生态适配与健康交互融合方向演进。技术上，持续优化传感器微型化与手势识别算法，进一步降低功耗；场景上，从消费级办公、娱乐向工业 XR 巡检、医疗辅助延伸，推出定制化产品；生态上，加速与 XR 终端的适配标准统一，深化多设备协同，凭借无感佩戴优势逐步成为 XR 轻量化交互的主流形态。

2.1.3 肌电交互设备

XR 肌电交互设备是基于非侵入式神经运动接口的新型

交互工具，通过采集手腕肌肉表面电信号实现人机交互，无需手柄、键盘等实体配件，可依托虚空操作完成输入，有效解决机器视觉交互中的遮挡、光照不足等痛点。其核心应用场景分为沉浸式输入交互、场景化体验增强、生理感知与反馈三类，当前由 Meta 主导研究并推出相关产品，技术整体处于发展阶段，在康复领域已有假肢应用落地。

2025 年，XR 肌电交互技术在多模态融合、算法精度与场景适配等维度取得显著突破，成为拓展自然、无障碍交互体验的关键路径。技术进展方面，肌电信号采集与解码能力实现系统性提升。新一代高灵敏度生物信号传感器与解码算法的结合，显著提高了对细微肌肉活动的识别精度与稳定性。多模态信号融合成为新趋势，部分设备集成肌电、皮肤电、脉搏信号采集功能，可实时追踪用户情绪变化，动态适配 XR 内容以强化体验，适配 VR 教育、心理干预等场景。场景落地方面，除康复假肢外，已适配轻量化 XR 设备，实现虚空文本输入、微手势控制，在办公私密交互、无障碍操控中完成试点应用。

当前，产业在提升交互的实时性和流畅度方面仍面临持续挑战。未来，技术将向更强大的环境抗干扰能力、更低的功耗以及更开放的标准协议方向演进，以加速其规模化商用进程。

2.2 交互技术

2.2.1 眼动追踪

眼动追踪是 XR 感知交互核心技术，支撑变焦控制、显示优化与视觉交互，也是认知分析的重要途径，正从单一红外检测向多技术融合演进。按光源配置可分为明瞳与暗瞳追踪两类，均依托红外技术实现非接触检测，主流方案为瞳孔角膜反射法，通过红外 LED 与摄像头组合定位眼动轨迹，核心应用于 VR/AR 设备。

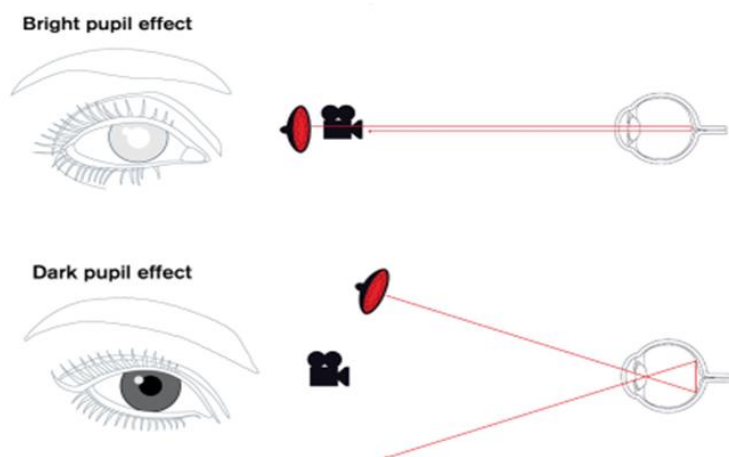


图 6 明瞳追踪和暗瞳追踪原理示意图

2025 年，眼动追踪技术向轻量化、智能化与多模态融合突破。行业积极探索不同技术路线以克服传统方案在设备体积、环境抗干扰与佩戴容差方面的局限。例如，双视图光学方案通过融合直接成像与反射信息，有效缓解因设备滑动或外部强光导致的跟踪失效；计算光学与神经解码结合的路径，

则尝试以编码感知替代复杂光学组件，在维持高数据密度的同时显著降低硬件功耗与模组厚度，为面向全天候佩戴的轻量化 AR 眼镜提供可能。此外，眼动数据不再仅用于注视点渲染或简单选择，而是更深层次地融入 XR 系统的交互逻辑中，与手势、语音等模态实时协同，形成更直觉、更高效的复合交互框架。

尽管眼动追踪技术历经多年发展，仍面临许多问题，主要挑战有米达斯接触问题、数据准确性、佩戴舒适度与多通道整合等核心挑战。在应用支持层面，眼动追踪产品之间缺乏统一协议标准，限制了应用软件与不同眼动系统的集成与互操作，也增加了应用开发与分发的难度。建立眼动系统与应用软件之间的通用接口规范，将有效解耦软硬件绑定，促进应用生态的健康发展。

2.2.3 语音识别

XR 语音识别是依托声学传感器与智能算法，捕捉解析语音指令并与视觉、手势交互融合的核心技术，推动交互模式向自然化演进。其核心功能是实现人与虚拟环境的实时语音交互，依托语音+唇形+环境音多模态对齐技术，优化复杂声场下的识别精度与响应速度，解决传统交互唤醒失败、指令误触等痛点。但受语音信号复杂性、发音个体差异及环境干扰影响，存在交互效率低、语义理解偏差等问题，需通过

AI 技术迭代突破。

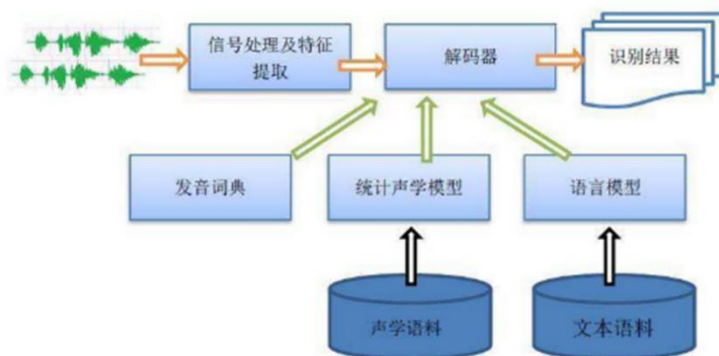


图 7 语音识别原理框图

2025 年, XR 语音识别以 AI 大模型赋能与多模态深度融合为核心趋势, 技术性能与实用性显著提升。算法层面, 轻量化大模型与专用小模型协同部署, 在降低 XR 终端功耗的同时, 通过增量学习适配个体发音差异, 减少冗余指令输入, 解决交互效率问题。多模态对齐技术升级, 结合视觉语言模型 (VLM) 实现语音与唇形、场景画面的深度联动, 大幅提升复杂环境下的识别正确性。硬件端, 多 MEMS 麦克风阵列与骨传导技术普及, 强化噪音抑制能力, 进一步缩短响应延迟。

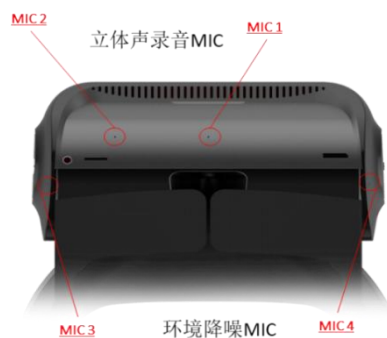


图 8 麦克风阵列位置布局示意图

主流厂商聚焦技术优化落地，三星、歌尔等在 XR 设备中集成定制化声学模组与自研 AI 算法，实现低延迟、高精度语音交互，翻译准确率逼近 100%；同时，实时语义理解能力升级，可精准捕捉上下文语境，减少指令冗余问题，推动技术从简单指令控制向自然对话交互演进。

2.2.4 手势识别

XR 手势识别是解析人类手势转化为机器指令的核心交互技术，需实现静态手势识别、复杂手指运动三维追踪及实时响应，为自然交互奠定基础。其技术历经二维 RGB 方案、三维深度感知阶段，当前进入 AI 驱动多模态融合阶段，结合 CNN 与 Transformer 架构实现连续手势语义理解，可与语音、眼动协同，核心依托视觉深度传感、肌电感知等硬件方案及深度学习算法迭代优化。

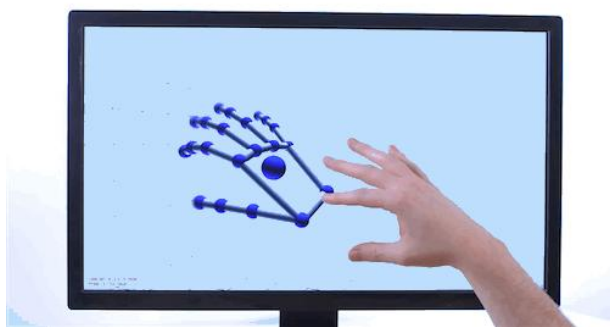


图 9 手势特征点示意图

2025 年，XR 手势识别以深度传感升级、AI 算法优化及低功耗集成化为核心趋势。硬件端，结构光技术采用双频角度复用方案，通过单帧长曝光解码多时刻动态信息，大幅提

升三维成像帧率与精度；光飞时间方案优化光子飞行距离计算逻辑，增强复杂场景景深适配能力。算法上，深度学习模型迭代，融合物理先验知识优化手部网格重建，实现动作与虚拟模型毫秒级同步，肌电感知结合轻量级 AI 模型，提升“无可见动作”交互稳定性。

当前，普通摄像头手势识别在准确性、实时性上进步显著，超声波、肌电等新兴技术补充应用，GB/T 38665 系列标准《信息技术 手势交互系统 第 1 部分：通用技术要求》和《信息技术 手势交互系统 第 2 部分：系统外部接口》规范了技术要求与接口，推动产业发展。

2.2.5 表情追踪

XR 表情追踪是通过光学、传感设备捕捉面部动态特征，依托 AI 与计算机图形学将真实表情映射至虚拟化身的核心交互技术，核心价值在于强化虚拟场景情感传递的真实性与沉浸感。其技术历经实验室验证阶段，2025 年随着 AI 算法升级与硬件轻量化突破，加速向消费级、行业级场景渗透，技术实现涵盖表情捕捉、识别、映射三大核心环节。

2025 年，表情追踪技术以 AI 赋能、硬件适配与场景拓展为核心趋势。算法层面，基于大模型的表情分析能力升级，可精准处理复杂光照、遮挡场景下的特征捕捉，实现情绪分类与意图解析的双重突破。硬件端，高频单色摄像头与轻量

化深度传感器普及，通过通用接口直连设备即可实时捕捉面部细微动态并映射至虚拟化身，同时支持自定义表情参数，适配不同虚拟角色表达需求，进一步验证了硬件轻量化与精准捕捉的协同可行性。虚拟社交场景中，高端头显配备面部追踪与眼动追踪模块，结合表情追踪技术捕捉用户面部动态，可根据表情变化辅助判断情绪状态，在虚拟对话中提供适配性交互建议，强化社交沉浸感。

在表情追踪方面暂无相关国家标准，围绕表情数据采集与虚拟化身映射、虚拟表情渲染、面部特征点等方向推进国家标准研制，有利于推动 XR 设备向更沉浸、更协同方向发展，同时在虚拟数字人生成等领域进一步统一技术基准，显著提升数字人开发效率。

第五章 产业应用

1. 工业生产

XR 在工业生产领域的应用已从“演示”“试点”正式进入设计、生产、运维的全流程。依托 5G 边缘计算与 AI 赋能，头显在定位精度、显示稳定性上持续升级，广泛应用于装配工艺模拟、远程专家协同、设备巡检维护等核心环节。有效缩短研发周期、降低实物试错成本。在航空制造等高精度工业装配领域，XR 技术已形成以“AR+空间计算+实时数据融合”为核心的典型应用模式。工业装配人员只需佩戴 AR 眼镜设备，可快速定位目标设备，并实时显示设备状态、运行参数等，辅助装配人员完成设备安装、状态检查、异常识别、调整、测试等工作，显著提升生产效率。

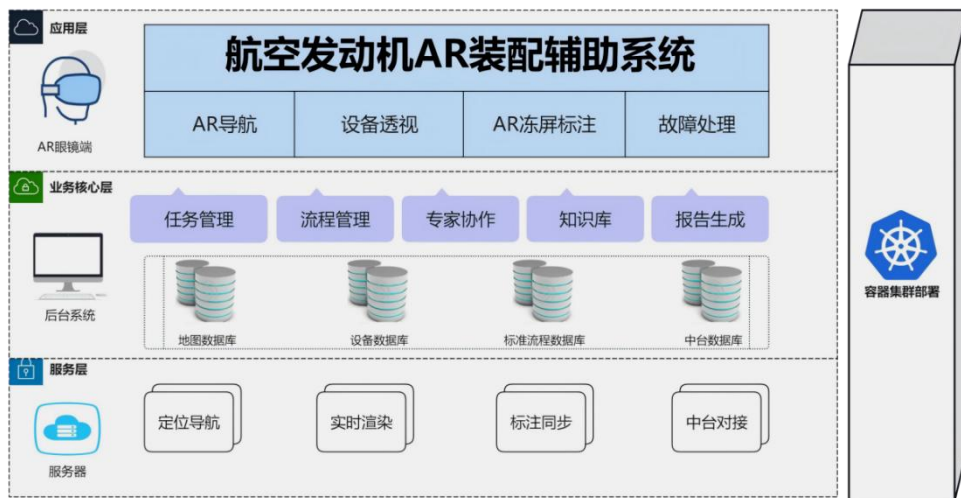


图 10 航空发动机 AR 装配辅助系统整体架构

2. 文旅娱乐

2025 年，文旅娱乐行业正迎来 XR 应用的规模化爆发与深度创新。政策层面，国家电影局已将虚拟现实电影正式纳入行业管理体系，标志着该类内容步入规范化、标准化发展轨道，为产业注入强劲信心。在技术与业态层面，VR 大空间漫步、沉浸式电影、交互展览、虚拟演唱会等新形态加速落地，推动体验从“观看”走向“参与”与“沉浸”。

借助日益轻量化的 XR 终端，游客在历史遗址中不仅能见证古迹的数字复原，更能与虚拟历史人物进行互动，甚至亲身体验关键历史事件的决策过程。在主题公园与线下娱乐场景中，通过集成运动平台、多感官模拟（风、热、震动等）及动态剧情分支的 XR 骑乘设备，为游客提供每次游玩都不同的高强度沉浸体验。此类应用充分展现了 XR 技术在打造独特文化 IP、构建深度叙事体验与创造个性化消费记忆方面的巨大潜力，正成为文旅产业创新升级的关键路径。



图 11 体积视频拍摄系统图

基于 AI 大模型的智能硬件正推动智能导览发生根本性变革。这类设备通常采用轻便的头戴或耳戴式设计，集成多模态传感器，在解放用户双手的同时，实现了“能听、能看、能对话”的深度交互。其核心在于，通过本地或云端的大模型能力，硬件不仅能以高度拟人化的语音和风格进行专业解说，更能实时感知环境与用户状态，进行上下文理解与多轮自然对话，并动态生成个性化游览路线与互动叙事内容。这标志着智能导览从单向播报，全面进化为提供“智能交互对话、个性化内容生成、无缝导航导览”三位一体服务的 AI 伴游智能体。

3. 商贸创意

2025 年，XR 技术在商贸与创意营销领域的应用呈现纵深发展态势，其核心价值正从技术创新验证转向规模化商业落地与流程重塑。

在零售电商领域，AR 虚拟试穿、试戴已从亮点功能演进为标准配置。通过高精度人体/空间扫描，结合轻量化 AR Web 技术，让消费者在家中就能以毫米级精度虚拟试戴珠宝、试穿服装、预览家具在家中的实际效果，解决传统消费场景中“体验不足”与“退货率高”的痛点。

在线下会展与活动营销场景，轻量化、自动化、可复制的 XR 互动解决方案日趋成熟。一种高度集成化、自动化的 XR 拍摄解决方案已成为典型应用。该方案在标准化空间内，整合电影级 LED 屏、XR 实时合成、UE 引擎渲染与运动控制系统，实现“一镜到底”的无人值守拍摄。用户扫码进入后，可实时合成虚实结合的创意内容，并在线完成包装、一键生成与下载高质量短视频。该模式形成了“高画质、低门槛、快传播”的轻量化打卡体验，并配套完整的小程序下单、后台管理及分账系统，适合高客流场景快速复制与规模化落地。此类方案已在服贸会、国家大剧院开放日等多元场景中验证其传播效率与运营可行性，展现出 XR 技术在促进线下互动、沉淀数字内容与赋能即时分享方面的强大潜力。

4. 教育培训

2025 年 XR 技术重塑教育培训模式，尤其在职业教育领域，虚拟仿真实训室成为院校标配，解决传统实训中“高成本、高风险、难复刻”的难题。VR 设备结合多模态交互技术，构建高度还原的职业场景，支持学生反复实操训练，同时通过系统数据反馈实现精准教学评估。从康养、汽修到焊接等专业，XR 技术实现“以虚带实”，推动产教深度融合，培养适应新质生产力需求的技能人才。

在体育教学领域，XR 技术正推动训练方式向沉浸化、标准化与数据化演进。通过能够构建高度还原的运动场景，支持从基础动作学习、趣味训练到专业进阶的全流程沉浸式教学。此类方案有效解决了传统体育教学中场地限制、师资不均、反馈滞后等问题，使学习者可在安全、可控的虚拟环境中进行高强度、重复性技能训练，并通过实时数据反馈实现动作分析与训练评估的精准化。

在飞行训练领域，基于 XR 的视景与模拟系统已成为关键技术路径。通过自研图形引擎与高精度建模，能够快速构建复杂气象条件与逼真三维场景，并运用视频透视等混合现实技术，实现驾驶舱内外画面的无缝虚实融合。此类系统高度还原了飞行操作的视觉与触觉体验，在保证高沉浸感与训

练真实性的同时，显著降低了传统飞行模拟器在成本、部署与维护方面的门槛，支持开展高强度、可复现的全天候训练，为飞行员培养提供了安全、高效且可扩展的现代化训练手段。

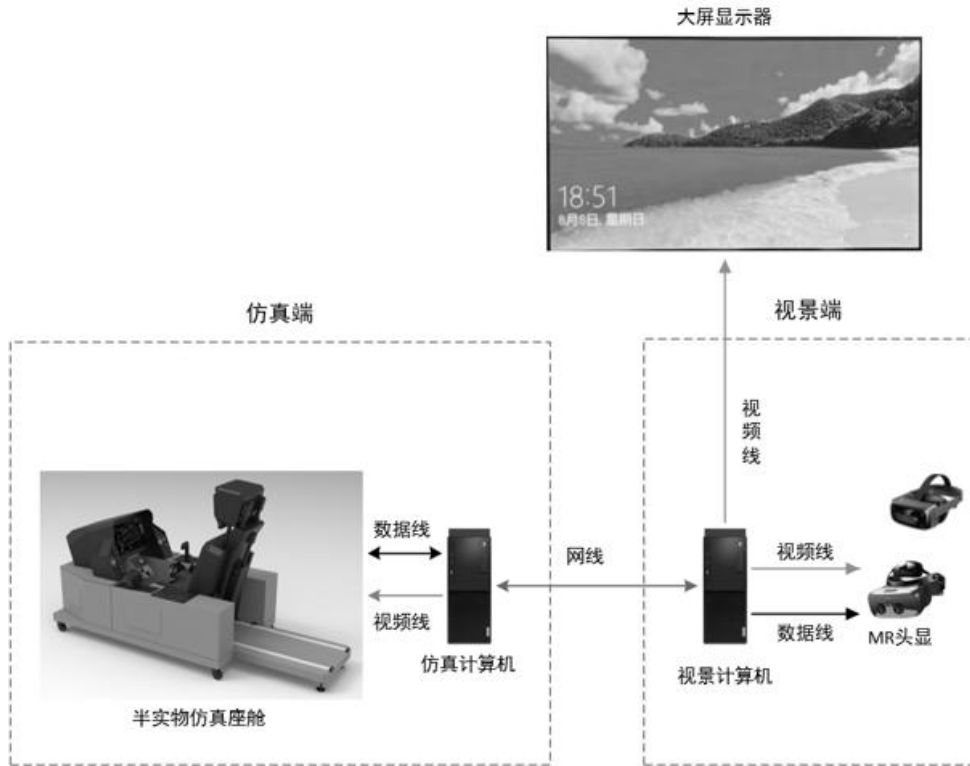


图 12 飞行仿真模拟训练系统设计



图 13 飞行模拟仿真系统

5. 医疗体育辅助

在医疗与体育领域，XR 技术正从“可视化辅助”工具，全面向康复训练与运动表现提升延伸。医疗场景中，XR 与 AI 的融合正推动康复训练向个性化、量化与闭环管理演进。系统能依据个体数据生成个性化康复方案，并通过高精度动作捕捉与实时生物反馈，实现训练过程的智能量化评估与动态调整。这种“评估 - 训练 - 管理”一体化模式，为肩关节等部位的功能障碍康复提供了可追踪、可调节的数字化康复路径，提升了康复效率与患者依从性。在体育领域，XR 不仅用于运动员的姿态分析、战术模拟与损伤康复，更深度融合于全民健身、赛事呈现与互动体验中。在大众健身方面，集成万向移动平台与 AI 算法的 XR 体育设备，创造了沉浸式的虚拟运动环境与互动课程，降低了参与门槛并增加了锻炼趣味性。在赛事呈现与传播中，通过 AR 技术对运动数据（如乒乓球轨迹、马拉松路线）进行三维可视化还原与场景化交互，极大地增强了赛事的沉浸感、叙事张力与观众参与度，展现出 XR 技术重塑体育培训、大众参与及文化传播模式的综合潜力。

6. 安全应急

2025 年 XR 技术成为安全应急培训与指挥的核心工具，替代传统演练模式，实现“零风险、高还原、可复盘”的演练效果。VR 安全体验系统结合震动地板、环绕声效、触觉反馈等技术，构建坍塌、火灾、透水等险情场景，让体验者身临其境感受危险后果。同时，数字化指挥平台与 XR 设备联动，实现演练过程实时监控、数据化评估，推动安全管理从“被动应对”向“主动预防”转变。

在专业救援培训方面，XR 系统通过深度融合 VR 仿真、智能穿戴装备与环境模拟装置（如烟热、震动），构建出高层建筑、地下空间、工业现场等多种高还原度灾害场景。参训人员可在拟真环境中进行反复实操，系统同步集成生理监测与行为评估模块，实现对训练过程与救援技能的一体化精准考评。这有效解决了传统实战化训练中场景受限、成本高昂、风险不可控的普遍难题。

在公众安全教育领域，XR 技术以体验式、互动式学习为核心，显著提升了科普的参与感与有效性。通过体感模拟平台与 VR 场景的结合，公众能够在高度仿真的自然灾害或火灾情境中，学习并实践逃生自救技能。系统常采用问题导向的设计，引导体验者完成从险情识别到正确应对的全过程，并支持集中管理与数据反馈，实现规模化、可评估的安全教育。

在精准技能实训层面，以混合现实为代表的 XR 技术正应用于心肺复苏等关键急救技能的标准化培训。通过 MR 设备与高保真模拟人的联动，可在多种预设事故情境下开展操作训练，并实现动作规范性、流程完整性的实时指导与自动化考核，推动应急技能培训向更科学、更规范的方向发展。

总体而言，XR 技术通过构建可反复演练、安全可控、数据可溯的虚拟应急场景，正在重塑从专业到公众、从预防到处置的全链条安全能力建设模式。



图 14 消防员典型灾害事故虚实融合模拟训练系统

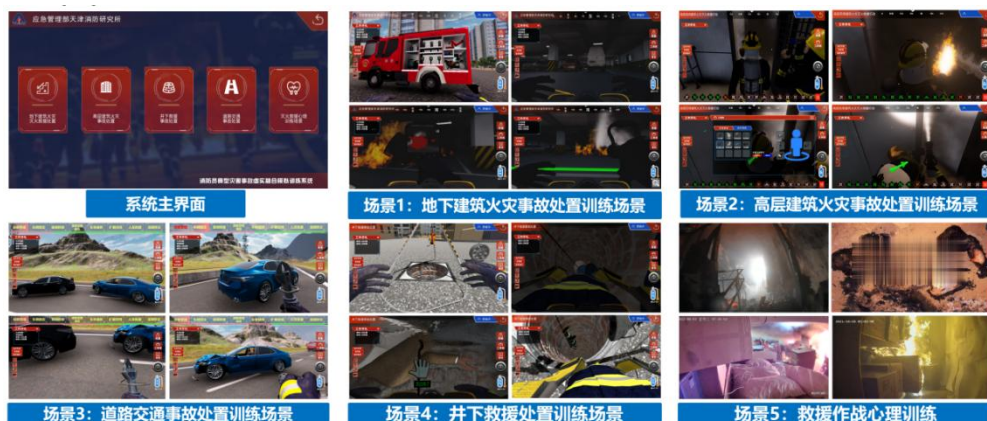


图 15 模拟训练系统场景设计

第六章 扩展现实标准化体系

1. 标准体系规划更新

本标准体系规划（2025 版）在 2024 版基础上，深度融合技术发展趋势与产业实践需求，系统性地构建了由基础通用、关键技术、呈现与交互、测试与质量评价、安全与伦理、行业应用六大板块组成的标准体系。新版体系重点聚焦于关键器件，并强化了感知交互、编解码、建模生成、渲染计算、链接与接口、通信与网络等核心技术链条的标准化布局，旨在为多种显示终端与交互设备的互联互通与体验升级提供坚实支撑，引领产业有序发展。

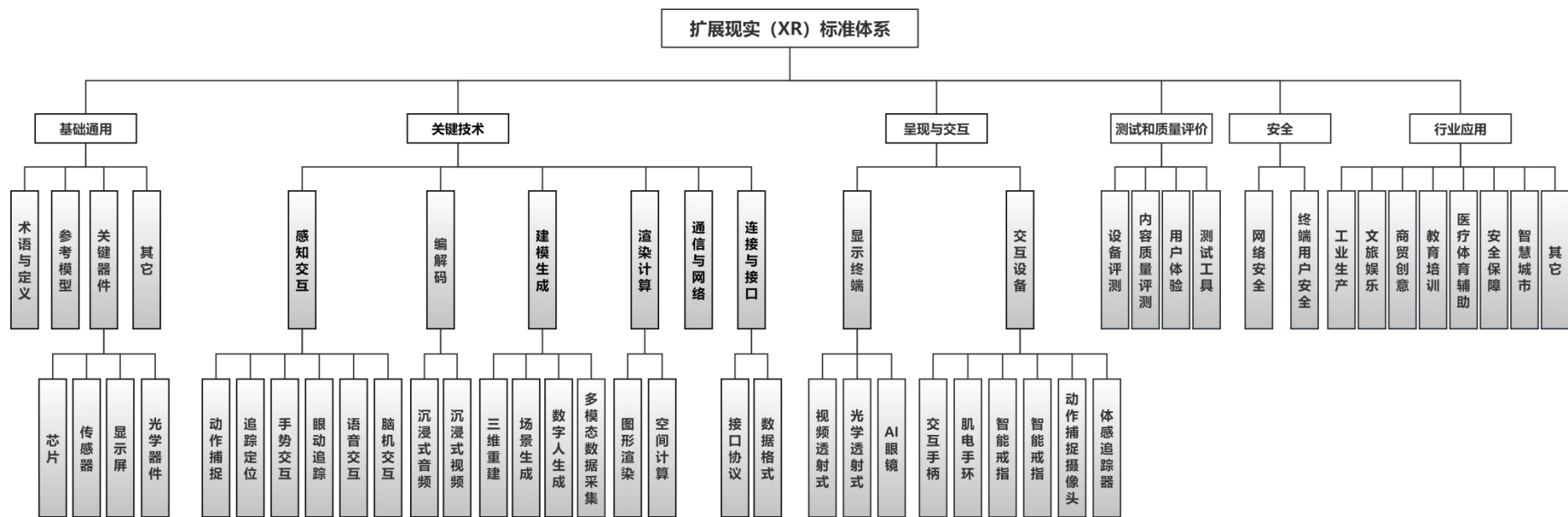


图 16 扩展现实标准体系

1.1 基础通用标准

基础通用标准用于统一和规范 XR 术语与定义、参考模型等基础通用内容，为其他部分标准的制定提供支撑。主要包括术语与定义、参考模型、关键器件以及其他基础通用类标准。

1.1.1 术语与定义标准

研究 XR 的基本术语和定义标准，统一对 XR 的主要概念的认知和理解，规范行业和领域用语，为 XR 标准体系提供一致性的用语和概念。

1.1.2 参考模型标准

研究 XR 硬件、交互、软件开发、虚实融合等相关的参考架构和参考模型标准，规范大空间范围技术、语音手势交互等核心技术能力要求，为计划开发与应用 XR 技术产品和系统的组织提供参考。

1.1.3 关键器件标准

1.1.3.1 芯片标准

针对 XR 设备的核心计算芯片，规定其架构、性能与功能要求的统一规范，涉及算力分配、实时渲染、多传感器融合效率及能效比等核心指标，保障 XR 设备的系统性能、能效控制与沉浸式体验。

1.1.3.2 传感器标准

面向 XR 专用陀螺仪、加速度计、磁力计、光学传感器、眼动追踪传感器、触觉反馈传感器等多种类型的传感器，明确传感器分类，规范性能指标技术要求、安全要求、传感器信息采集质量要求、数据和电源接口通用要求、测试方法等，保障扩展现实终端设备的感知与交互功能及其质量。

1.1.3.3 显示屏标准

主要规范用于 XR 的显示屏本身的分辨率、像素密度、刷新率、响应时间、亮度、对比度等技术参数，屏幕寿命、视觉健康等性能指标，以及测试方法，确保显示基础元件的一致性、可比性和高质量。

1.1.3.4 光学器件标准

主要规范将显示屏的图像传递到人眼的过程中，所涉及的光学系统（如自由曲面、菲涅尔透镜、Pancake、Birdbath、光波导等）的性能和测量方法，包括视场角、畸变、色散、鬼影、虚实融合、瞳距、重量与体积等关键指标。

1.2 关键技术标准

面向内容采集、制作/生成、呈现与交互、分发与传输等关键环节，关键技术标准包括感知交互、编解码、建模生成、渲染计算、通信与网络、连接与接口、多模态数据采集等，

为 XR 应用提供技术支撑。

1.2.1 感知交互标准

1.2.1.1 动作捕捉标准

针对光学、惯性等不同类型的动作捕捉技术，规范数据采集流程中的骨骼模型、软件应用接口与数据格式，以及空间精度、延迟等关键性能指标和测试方法，实现从数据采集到应用交互的全程标准化，保障不同动捕设备与 XR 应用间的无缝对接与数据互通。

1.2.2.2 追踪定位标准

为 Inside-Out、Outside-In 等不同定位技术制定统一的软件接口，规范定位精度、抖动、抗遮挡能力等关键指标技术要求 and 性能测试方法，确保用户及设备在物理空间中的位置及朝向的准确性。

1.2.2.3 手势交互标准

针对手势交互技术，规范统一的手势语义库、手部模型与数据接口，以及识别准确率、延迟等关键性能指标和测试方法，实现跨平台与跨应用的手势交互逻辑一致性与体验流畅性。

1.2.2.4 眼动追踪标准

针对瞳孔角膜反射等不同类型的眼动追踪方案，规范其

数据输出格式、注视点精度和采样率等关键性能指标以及测试方法，实现不同技术方案下数据的准确性和一致性，为上层应用提供可靠的注视点交互基础。

1.2.2.5 语音交互标准

针对语音交互技术，规范其硬件性能、基础指令集、3D 语音接口及核心性能指标，实现跨平台语音控制的准确识别、低延迟响应与沉浸式空间音频交互体验。

1.2.2.6 脑机交互标准

针对非侵入式等脑机交互形式，规范其信号采集流程、数据与算法接口，以及核心交互范式与性能基准，旨在实现异构硬件与算法之间的互操作，并为 VR 应用集成提供稳定、可靠的标准化控制接口。

1.2.3 编解码标准

1.2.3.1 沉浸式音频标准

规范用于 XR 沉浸式视频的高效编解码、多视点内容合成方法，确保沉浸式视频内容在不同带宽条件下支持多视角、高分辨率、全景和三维场景的实时交互与渲染。

1.2.3.2 沉浸式视频标准

规范用于 XR 沉浸式音频的高效编解码、渲染方法，音

频格式、元数据结构、渲染接口等技术参数，以及空间声场重构性能评价方法等测试评价方法，确保全景音频录播与实时交互，在社交、游戏等场景实现声音空间化。

1.2.4 建模生成标准

1.2.4.1 三维重建标准

针对小规模高精度重建、室内空间重建及室外城市场景重建等典型应用，分别定义其特有的几何精度、模型完整度与重建效率要求。对基于多视图几何、基于图像渲染（如神经辐射场-NeRF）及基于新兴算法（如 3D 高斯泼溅）等不同技术路线的重建流程、输入数据要求和核心参数进行系统规范。

1.2.4.2 场景生成标准

针对程序化生成、AI 生成等不同场景生成方式，规范输入数据、模型文件格式、空间坐标系、精度等方面，定义视觉保真度、几何精度、物理合理性、生成效率等关键指标，构建模型质量评估流程，建立测试用例库，加速 XR 内容生产，并保障用户体验的一致性。

1.2.4.3 数字人生成标准

针对 XR 领域中虚拟数字人形象和动作生成、处理等环节，规范数据格式、接口、生产流程等技术规范标准，构建

虚拟数字人质量分级和评估标准，推动 XR 领域数字人的规模化与高质量发展。

1.2.4.4 多模态数据采集标准

对 XR 交互体验中语音、视觉、情感、触觉等多模态交互需求，规范多源数据（如音频、图像、点云、生理信号、力反馈信号）的采集流程、质量控制方法、数据交换格式与时空同步机制；针对光场采集、光学动作捕捉、惯性动作捕捉等多种技术路线，规范其特有的设备配置、输出数据结构和核心性能指标。

1.2.5 渲染计算标准

1.2.5.1 图形渲染标准

规范 XR 图形渲染架构，重点确立光线追踪、多视图渲染、注视点渲染及云渲染等方面的技术要求，旨在为从全功能设备到移动端设备的上层应用提供可伸缩的高质量渲染方案，保障产业生态内视觉体验的一致性与互联互通。

1.2.5.2 空间计算标准

规范 XR 空间计算参考架构、三维注册、三维重建、感知理解、空间交互、跟踪注册等方面的要求，为上层应用提供稳定、可靠的空间计算基础，推动沉浸式体验的创新与产业生态的互联互通。

1.2.6 通信与网络标准

规范 XR 领域中 5G-Advanced/6G、Wi-Fi 7、边缘计算、网络切片及确定性传输等方面的技术要求，为上层应用提供低时延、高带宽、高可靠的沉浸式通信基础，推动无界云端渲染与分布式交互体验的规模化商用与产业生态协同创新。

1.2.7 连接与接口标准

1.2.7.1 接口协议标准

研究用于 XR 设备、软件或平台之间进行通信和数据传输的接口协议标准，主要包括通信规范、数据格式规范、传输协议、兼容性等方面的标准化工作，为实现互联互通，提高 XR 用户体验提供统一的规范和支持。

1.2.7.2 数据格式标准

面向 XR 空间中的场景、人物、物品等信息，以及图像、视频和声音等多媒体数据，研究三维模型格式、动画数据格式、视频格式、声音格式等内容的标准，提高数据兼容性和互通性。

1.3 呈现与交互标准

1.3.1 显示终端标准

研究一体式、分体式、桌面式、车载式、云化终端等多形态 XR 终端设备以及三维声回放等专业配套设备产品及系

统技术标准，提升终端产品的轻型化、舒适度、易用性和安全性。

1.3.2 交互设备标准

研究包括手柄、体感体验、眼动追踪、表情追踪、语音手势识别、脑机接口等用于人机交互的设备产品及系统标准，提升 XR 系统的互动性和实时性。

1.4 测试和质量评价标准

1.4.1 设备评测标准

针对 XR 内容呈现和感知交互设备，综合考虑设备显示质量、物理舒适性、操作方式、交互和响应速度、连接和兼容性、电池续航等因素，以及视觉追踪，空间定位、手势和面部识别、语音控制、触觉反馈等感知交互能力，研究相关的呈现和交互测试方法标准，优化设备功能、性能和用户体验。

1.4.2 内容质量评测标准

针对虚拟数字人、虚拟静动态场景、三维声等虚拟现实内容，围绕数字人动作和语言表达的自然流畅程度等要求，以及服务数字人、身份型数字人等专业类型数字人制定质量评测标准；围绕 XR 图像和视频在清晰度、图像噪声、运动效果等方面，制定 XR 画面评测标准；围绕三维声的还原度、

立体声效果等方面，制定 XR 音质评测标准，为用户提供高质量 XR 内容。

1.4.3 用户体验标准

以用户为核心，综合平衡包括真实感、沉浸感、交互性和操作体验、视觉效果、音效和音频体验、动作感知和触觉反馈、舒适性、连接体验、听损听障等多方面的因素，研究面向 XR 设备和内容质量的用户体验评测标准，致力于提升 XR 用户的沉浸式体验。

1.4.4 测试工具标准

研究 XR 专用测试工具、测试集等标准，为 XR 测试和质量评价提供统一、标准的测试工具和测试素材，提高测试和质量评价准确性和效率。

1.5 安全标准

安全标准包括数据安全和终端用户安全标准。旨在增强 XR 重点产品安全防护及预警能力，规范 XR 领域重要数据安全。

1.5.1 数据安全标准

针对 XR 数据采集、存储、处理、传输等数据流通关键环节以及生理信息等内容，研究 XR 数据安全和伪造鉴别相关标准，保护 XR 系统全流程数据和内容安全。

1.5.2 终端用户安全标准

针对 XR 头显、手柄等各类终端设备，研究 XR 终端安全标准；研究针对未成年人使用 XR 终端设备的使用安全、心理安全等标准。保障用户在沉浸式使用 XR 设备时的人身安全，为 XR 设备的安全保障提供规范和指导。

1.6 行业应用标准

行业应用标准旨在深化 XR 在工业生产、文旅娱乐、商贸创意、教育培训、医疗体育辅助、安全应急、智慧城市等多行业多场景融合应用，发挥标准支撑作用，规范 XR 与重点行业领域融合健康发展。

1.6.1 工业生产应用标准

面向设计、制造、运维、培训等工业生产全生命周期重点环节，研究支持多人协作和模拟仿真的 XR 开放式服务平台标准、虚实融合的远程运维标准、先进制造技术的员工技能培训标准，推动 XR 和工业互联网深度融合，加速工业企业数字化、智能化转型。

1.6.2 文旅娱乐应用标准

面向文化、旅游、娱乐等领域，制定虚拟和虚实融合的文化展馆、演播直播、旅游场所、互动社交、电竞游戏等相关标准，实现交互式沉浸式的数字化体验；研究服务型、身

份型等各类型虚拟数字人及其在各领域的应用标准，推动数字人技术的规范化规模化健康发展。

1.6.3 商贸创意应用标准

在智慧家装、虚拟看房、大型会展、时尚创意、视频会议、远程办公、智慧商圈、外卖零售等领域，落地推广 XR 技术支撑的典型案列，推动服务型、交互型等各类虚拟数字人的落地推广，打造创意商贸新形式。

1.6.4 教育培训应用标准

面向学前教育、初等教育、中等教育和高等教育，以及职业教学、技能培训等各类形式的教育培训形式，研究 XR 数字课程、模拟实验、远程教学标准，以及自主探究、协作学习的沉浸式新课堂标准，提供更真实直观的学习体验、更安全便捷的实验环境和更高效便捷的教学方式；研究成体系的 XR 技术和应用开发人员标准，培养 XR 领域各层次的优秀人才。

1.6.5 医疗体育辅助应用标准

面向临床诊治、康复护理、成瘾戒断、心理辅导、关怀探视、手术导航等医疗健康场景，研究医用虚拟数字人、医学手术仿真训练、虚拟数字医院医生、远程探视陪护、创伤后应激等心理疾病虚拟诊疗系统等应用标准；面向体育用品、运动设施、健身软件及平台，研究 XR 终端及内容兼容适配

等方面标准；面向残障弱势群体，研究相关的 XR 残障辅助设备产品和应用标准，为其出行、社交、购物、教育、就业等提供便利。

1.6.6 安全应急应用标准

面向矿山、危化品等领域的紧急事故以及洪灾、地震等自然灾害场景，以及社会重大活动保障等需要，研究综合性沉浸式演练模型标准和不同领域紧急情况救援人员模拟训练模型标准，为消防、出警、医疗等安全应急提供高效率的演练环境和模拟训练方式。

1.6.7 智慧城市应用标准

面向城市管理、社会治理、智慧交通、智慧政务以及健康养老等民生服务场景，研究 XR 与智慧城市融合应用标准，包括城市可视化管理标准、数字空间运营服务标准、室内外实景三维商业化标准等，打造虚实融合、高效便捷的城市运营方案和个性化智慧生活信息服务。

2. 国际标准化组织标准化现状

国际标准化组织协同推进扩展现实（XR）及元宇宙相关标准化工作。

ISO/IEC JTC1/SC24（计算机图形、图像处理及环境数据

表示分委会）聚焦多维度基础通用与应用规范，围绕混合现实/增强现实的传感器表示（信息建模）、安全沉浸指南、视觉定位系统构建，以及元宇宙的概念定义、教育与培训系统信息建模等制定标准，支撑 XR 核心技术与元宇宙基础理论的规范化。

ISO/IEC JTC 1/SC 29（多媒体编码分委会）专注沉浸式媒体编码，针对场景描述的一致性与参考软件（涉及触觉、增强现实、化身集成等维度）制定标准，保障 XR 媒体内容的编码与交互体验。

ISO/IEC JTC 1/SC 36（学习、教育与培训分委会）则面向行业应用，围绕面向 LET（学习、教育与培训）的元宇宙服务制定标准，助力 XR 技术在教育领域的落地。

IEC TC 100（音频、视频及多媒体系统与设备标委会）已成立 TA21，制定增强现实、虚拟现实和混合现实领域中消费级和企业级电子设备及系统相关的国际标准，助力终端设备的研发和用户体验。

IEC TC 110（电子显示设备标委会）正在主导制定针对眼镜式/头戴式显示器（包括 AR 眼镜）的图像质量测量国际标准（如 IEC 63145 系列），旨在规范 XR 显示设备的硬件光学与图像性能的评估方法。

ITU-T 侧重云化与系统架构类标准，研制基于云的增强现实系统要求与框架、云虚拟现实系统功能架构，以及元宇

宙平台间物联网设备身份互操作性等标准，推动 XR 的云化部署与跨系统互操作。

《扩展现实（XR）产业和标准化研究报告（2025版）》

表 2 国际标准清单

序号	标准体系位置	标准号/计划号	标准项目名称	标准组织
1	基础通用	ISO/IEC 5927:2024	增强现实与虚拟现实安全——安全沉浸、设置与使用指南	JTC1/SC24
2		ISO/IEC AWI 23595	AR/MR/VR 用户体验设计	
3		ISO/IEC DIS 24931-1	VR/AR/MR 系统集成 第 1 部分：术语和定义	
4		ISO/IEC AWI 24940	计算机视觉 术语	
5		ISO/IEC AWI 25689	VR/AR/MR 系统集成用户案例分类	
6		ISO/IEC DIS 24931-1	元宇宙 第 1 部分：概念、定义和术语	
7		PWI 100-69	多边和协作的元宇宙（MCM）系统的需求	
8	关键技术	ISO/IEC TR 16088:2025	混合现实和增强现实（MAR）中视觉定位系统的结构	JTC1/SC24
9		ISO/IEC AWI 9234	信息技术 — 基于 VR/AR/MR 的教育和培训系统的信息建模	
10		ISO/IEC CD 18038-2	混合现实与增强现实中的传感器表示 第 2 部分：信息建模	
11		ISO/IEC AWI 25767	XR 眼镜佩戴者交流中的裸露脸部表示	
12		ISO/IEC AWI 25768	用于远程协作的增强互空间表示	
13		ISO/IEC CD TR 23090-1	沉浸媒体编码表示 第 1 部分：沉浸媒体框架	JTC1/SC29
14		ISO/IEC 23090-3:2024	沉浸媒体编码表示 第 3 部分：通用视频编码	
15		ISO/IEC 23090-4:2025	沉浸媒体编码表示 第 4 部分：MPEG-I 沉浸音频	
16		ISO/IEC 23090-5:2025	沉浸媒体编码表示 第 5 部分：基于视频的视觉体积编码（V3C）和基于视频的点云压缩（V-PCC）	
17		ISO/IEC 23090-8:2025	沉浸媒体编码表示 第 8 部分：基于网络的媒体处理	
18		ISO/IEC 23090-12:2025	沉浸媒体编码表示 第 12 部分：MPEG 沉浸式视频	
19		ISO/IEC 23090-13:2024	沉浸媒体编码表示 第 13 部分：沉浸式媒体的视频解码接口	
20		ISO/IEC 23090-14:2025	沉浸媒体编码表示 第 14 部分：场景描述	
21		ISO/IEC 23090-15:2024	沉浸媒体编码表示 第 15 部分：通用视频编码的一致性测试	
22		ISO/IEC TR 23090-27:2025	沉浸媒体编码表示 第 27 部分：基于渲染的系统 and 应用程序的媒体和架构	
23		ISO/IEC FDIS 23090-28	沉浸媒体编码表示 第 28 部分：可互换的基于场景的媒体表示	

《扩展现实（XR）产业和标准化研究报告（2025版）》

24		ISO/IEC FDIS 23090-29	沉浸媒体编码表示 第 29 部分：视频动态网格编码（V-DMC）		
25		ISO/IEC 23090-31:2025	沉浸媒体编码表示 第 31 部分：触觉技术编码		
26		ISO/IEC DIS 23090-39	沉浸媒体编码表示 第 39 部分：虚拟化身表示格式		
27		ISO/IEC AWI 23090-41	沉浸媒体编码表示 第 41 部分：基于几何的实体点云压缩		
28		ITU-T F.740.11 (03/2025)	基于云的增强现实系统的要求与框架		ITU-T
29		ITU-T H.431.1 (01/2024)	云虚拟现实系统的功能架构		
30		ITU-T Y.4812 (03/2025)	元宇宙平台间物联网设备身份的互操作性		
31	呈现与交互	IEC TR 63614-1 ED1	元宇宙多媒体系统和设备 第 1 部分：总则	IEC TC 100	
32		IEC TS 63614-2 ED1	元宇宙多媒体系统和设备 第 2 部分：分类		
33		IEC TR 63614-3 ED1	元宇宙多媒体系统和设备 第 3 部分：差距分析		
34		IEC TR 63610 ED1	增强和混合现实设备和系统 技术和标准要求		
35		IEC 63611-1 ED1	VR/AR/MR 系统和设备 术语词汇		
36		IEC 63611-2-1 ED1	VR/AR/MR 系统和设备 消费级 VR/AR/MR 设备 第 1 部分：参考模型		
37	测试和质量评价	ISO/IEC PRF 21134	基于航位推算的室内综合定位与跟踪方法的基准测试	JTC1/SC24	
38		PWI 100-71	元宇宙环境下色彩准确度的测量方法	IEC TC 100	
39		PWI 100-76	元宇宙系统中视觉质量的管理		
40		PWI 100-56	VR/AR/MR 系统和设备 测试方法 第 1 部分：增强现实设备的耐久性评估及测试程序		
41		PWI 100-70	VR/AR/MR 系统和设备 测量方法 第 1 部分：AR 设备环境条件下的色差		
42		IEC 63145-22-20:2024	眼镜显示屏 第 22-20 部分：AR 型专用测量方法 图像质量	IEC110	
43	行业应用	ISO/IEC DIS 20538	基于 VR 智慧城市的人类信息数据模型	JTC1/SC24	
44		ISO/IEC CD TR 25468	学习、教育与培训——面向 LET 的元宇宙服务	JTC1/SC36	

3. 国内标准化组织标准化现状

国内标准化技术组织立足各自专业领域，协同推进 XR 标准化工作向精细化、体系化发展。

全国信息技术标准化技术委员会（SAC/TC28）下属的 SC24（计算机图形图像和环境数据表示分委会），聚焦计算机图形图像处理与环境数据表示方向，围绕混合现实、增强现实场景中图形图像的精准表达、样式定义，以及基于图像渲染的对象与环境表示等维度制定标准，为这类场景下的技术衔接与交互提供支撑。

TC28/SC29（多媒体编码分委会）专注于虚拟现实多媒体内容的编码与表达，规范虚拟现实音频、视频内容的技术呈现规则。

SAC/TC242（音频、视频及多媒体系统与设备标准化技术委员会）覆盖多环节：在内容制作领域，明确扩展现实内容的生产流程规范；在内容呈现和交互领域，围绕虚拟现实设备的定位接口、超高清显示设备技术要求、一体机总体性能等维度制定标准，保障 XR 设备的交互体验与性能表现。

《扩展现实（XR）产业和标准化研究报告（2025版）》

表 3 国内标准清单

序号	标准体系位置	标准号/计划号	标准项目名称	标准组织
1	基础通用	GB/T 38247-2019	信息技术 增强现实 术语	TC28/SC24
2		20255688-T-469	计算机图形、图像处理和环境数据表示 增强和虚拟现实安全 安全沉浸、设置和使用指南	
3	关键技术	GB/T 44247-2024	信息技术 增强现实 软件构件接口	TC28/SC24
4		GB/T 38665.1-2020	信息技术 手势交互系统 第1部分：通用技术要求	
5		GB/T 38665.2-2020	信息技术 手势交互系统 第2部分：系统外部接口	
6		20240831-T-469	信息技术 大规模场景多视图三维重建系统技术规范	
7		GB/T 44020-2024	信息技术 计算机图形图像处理和环境数据表示 混合与增强现实中实时人物肖像和实体的表示	
8		20241980-T-469	信息技术 手语数字人技术规范	
9		GB/T 46483-2025	信息技术 客服型虚拟数字人通用技术要求	
10		20251828-Z-469	信息技术 计算机图形图像处理及环境数据表示 虚拟、混合和增强现实（VR/MAR）中对象基于模型的触觉仿真的材料属性和参数表示	
11		20251702-T-469	信息技术 计算机图形图像处理及环境数据表示 虚拟/混合和增强现实（VR/MAR）中基于图像渲染的对象/环境表示	
12		20251697-T-469	信息技术 计算机图形图像处理及环境数据表示 混合与增强现实中的样式表示	
13		20252527-T-469	信息技术 形状建模信息表示 第1部分：框架和基本组件	
14		20252526-T-469	信息技术 形状建模信息表示 第2部分：特征约束	
15		20252529-T-469	信息技术 形状建模信息表示 第3部分：流式传输	
16		20252528-T-469	信息技术 形状建模信息表示 第4部分：存储格式	
17		20243457-T-469	信息技术 计算机图形图像处理及环境数据表示 第1部分：类人动画体系结构	
18		20243456-T-469	信息技术 计算机图形图像处理及环境数据表示 第2部分：类人	

《扩展现实（XR）产业和标准化研究报告（2025版）》

			动画动作数据动画	
19		20250652-T-469	动作捕捉系统性能测试方法	
20		GB/T 45287-2025	信息技术 移动设备增强现实系统应用程序接口	
21		GB/T 45286-2025	信息技术 手持式移动设备增强现实系统技术规范	
22		GB/T 33475.1-2019	信息技术 高效多媒体编码 第1部分：系统	TC28/SC29
23		GB/T 33475.2-2016	信息技术 高效多媒体编码 第2部分：视频	
24		GB/T 33475.3-2018	信息技术 高效多媒体编码 第3部分：音频	
25		20192085-T-469	信息技术 高效多媒体编码 第6部分：智能媒体传输	
26		20190776-T-469	信息技术 虚拟现实内容表示编码 第1部分：系统	
27		GB/T 44115.2-2024	信息技术 虚拟现实内容表达 第2部分：视频	
28		GB/T 44115.3-2025	信息技术 虚拟现实内容表达 第3部分：音频	
29		GB/T 44465-2024	虚拟/增强现实内容制作流程规范	TC242
30		YD/T 4449-2024	基于电信网的云化虚拟现实 云平台技术要求	中国通信标准化协会
31		YD/T 4913-2024	基于电信网的云化虚拟现实 终端技术要求	
32		YD/T 4912-2024	基于电信网的云化虚拟现实 端到端业务质量要求和监测方法	
33		YD/T 4911-2024	基于电信网的云化虚拟现实 网络技术要求	
34		YD/T 4910-2024	基于电信网的云化虚拟现实 总体技术要求	
35	呈现与交互	GB/T 38259-2019	信息技术 虚拟现实头戴式显示设备通用规范	TC28/SC24
36		GB/T 44220-2024	虚拟现实设备接口 定位设备	TC242
37		SJ/T 11965-2025	超高清虚拟现实显示设备技术规范	
38		YD/T 6283-2024	虚拟现实一体机总体技术要求	中国通信标准化协会
39	测试和质量评价	GB/T 38258-2019	信息技术 虚拟现实应用软件基本要求和测试方法	TC28/SC24
40		SJ/T 11910-2023	虚拟现实音频主观评价方法	TC242

4.国际/国内联盟组织标准化现状

4.1 国际联盟组织标准化现状

Khronos Group 是专注图形、视觉与计算技术标准化的行业联盟。2024—2025 年，该组织更新了 Vulkan 图形规范和 OpenXR 接口规范，并被 Meta、微软等头部公司采用。该更新优化了跨平台兼容性，同时还发布了物理渲染色彩标准、开源着色器编制工具等相关计划，整体以加速 XR 设备、3D 应用的跨端普及，推动 XR 产业规模化发展。

Web3D Consortium 是致力于 Web 端 3D 技术标准化的组织。2024—2025 年该组织，启动 X3D 4.1 版本，新增混合/增强现实（MAR）设备适配、人体动画（HAnim）医疗模型标准，以及 JSON 和流式二进制编码规范，以提升 3D 内容跨平台传输效率。

4.2 国内联盟组织标准化现状

世界超高清联盟(UWA)在 2024—2025 年,突破了 Audio Vivid、HDR Vivid 两大国际标准,车载三维声、菁彩影院等团体标准落地,系统性推动 XR 领域的视听技术标准化,同时,在 UWA2030 战略规划中也提到了虚拟现实技术发展潜力巨大。UWA 的成果不仅支撑消费级 VR/AR 设备的体验升

级，更在车载、文旅、工业等行业形成标杆应用，为元宇宙基础设施建设提供了中国方案。

中国通信标准化协会（CCSA）聚焦基于电信网的云化虚拟现实，制定云平台技术要求、终端技术要求、端到端业务质量要求和技术方法、网络技术要求、总体技术要求等维度推进标准化布局，依托电信网（含 5G、算力网络等）的连接与算力优势，为云化虚拟现实在行业具体应用上提供标准化支撑。

5. 标准化工作规划

5.1 面向国家重大战略，用标准支撑关键核心需求

深入贯彻落实《虚拟现实与行业应用融合发展行动计划（2022—2026 年）》《新产业标准化领航工程实施方案（2023—2035 年）》和《元宇宙产业创新发展三年行动计划（2023—2025 年）》等政策，图形图像分委会持续完善扩展现实标准体系依托 XR 标准工作组和虚拟数字人工作组，持续完善扩展现实标准体系，在标准体系框架内开展 XR、虚拟数字人、元宇宙等领域的标准化工作。全面梳理图形计算产业的相关标准，明确图形计算领域关键的图形 API、3D 文件格式等标准的现状、技术优劣势、发展趋势，开展中国牵头的图形计算标准制定工作。

5.2 面向发展新形势，推动重点行业融合应用标准

XR 是新一代信息技术的集大成者，生成式人工智能、大模型、智慧城市等技术迅速兴起，对图形图像领域如何与新技术融合发展提出新的要求。图形图像分委会将加强跨部门、跨行业、跨领域标准化重要事项的统筹协调，建立健全相关标准化组织合作机制，系统推进虚拟现实行业应用标准体系建设及相关政策措施落实。系统推进重点行业 XR 融合应用标准研究，明确标准化重点方向，加强基础共性标准、重点行业解决方案标准的研制，加快标准化通用化进程，突破重点领域融合标准研究和制定。

5.3 面向国际新格局，以国际标准带动产业走出去

在当前国际竞争新格局下，深化国际标准合作，对于支撑我国自主研制标准走出去尤为重要。进一步加强与 ISO、IEC、ITU 等国际标准化组织和联盟的交流，建立和畅通图形图像国际标准化出口和渠道；鼓励我国龙头企业与行业专家在国际上积极贡献我国自主的技术标准方案，牵头开展国际标准制定，提升我国国际影响力和竞争力，带动产业高质量发展和全球化布局。