



中移智库



中国移动
China Mobile

研究院
CMRI



虚拟现实与元宇宙产业联盟
(XRMA)

泛 XR 产业发展白皮书

数字基础设施篇

华为技术有限公司

中移智库 中国移动通信研究院

虚拟现实与元宇宙产业联盟 XRMA

2024 年 11 月

前言

随着全球新一轮科技革命和产业变革突飞猛进，信息技术和经济社会发展加速渗透融合，虚拟现实¹作为构建新质生产力和壮大数字经济的重大前瞻领域，技术创新进入空前密集活跃期，终端形态百花齐放，视听体验沉浸升级，应用融合日新月异，基础设施全面增强，产业整体迈入以“泛 XR”为特征的蓬勃发展新阶段。

建立整体视图



为把握发展机遇，剖析发展趋势，我们系统建立了“泛 XR”发展视图，研究提出其概念特征、发展路径和演进节奏，即泛 XR 是指融合新型视听、智能传感、先进计算、网络传输、人工智能等多元化技术，丰富人类感知能力和互动体验，实现虚实融合和沉浸交互的产品和服务。目前，泛 XR 已形成新场景驱动、新视听驱动、新终端驱动三条路径，并依次成为推动未来泛 XR 创新发展和演进升级的阶段主线。

融入产业应用



泛 XR 凭借强大带动效应和产业赋能价值，已渗透至大众消费、行业赋能、公共服务等诸多行业场景中，初步展现出广阔应用空间。为研判应用发展趋势，我们建立了泛 XR 规模化应用评估模型，综合政策、市场、技术等影响因素，对泛 XR 融合应用场景进行了系统梳理评估，同时展望未来 3-5 年，提出了有望实现规模化应用的潜力场景，为泛 XR 融合应用的供需双方提供参考。

深入基础设施



作为畅通技术链、产业链和应用链创新发展的“大动脉”，泛 XR 数字基础设施展现出提档升级的迫切需求，强化其与终端之间的能力组合可极大释放出融合创新的潜在空间。报告中系统提出了泛 XR 数字基础设施的典型架构，即具备视听流化、拟真计算、空间计算、智能计算四大功能组件，贯穿端、边、云、网四层基础设施体系，覆盖技术体系、应用体系、生态模式三维视角，形成网络确定性、算力多样性、平台双引擎、端边云网协同、统一数字身份体系五大发展趋势，以期加速泛 XR 数字基础设施发展，破解当前水平不足、融合不深等痛难点，助力泛 XR 产业高质量发展。

投入行业实践



面向工业生产、文化旅游、媒体娱乐等行业场景，报告中阐述了采用泛 XR 数字基础设施高效开展案例实践，实现赋能行业数智转型、企业降本增效和用户体验提升，旨在为产业链各方提供规划和落地部署的参考指引。

¹ 本白皮书中采取广义界定，虚拟现实概念范畴包括虚拟现实（VR）、增强现实（AR）、混合现实（MR）和扩展现实（XR），并统称为 XR。

目 录

第一章 泛 XR 整体发展趋势 01

1.1 发展背景 02

1.2 概念特征 03

1.3 发展态势 04

1.4 演进阶段 08

第二章 泛 XR 融合应用洞察 09

2.1 发展现状 10

2.2 评估模型 12

2.3 潜力场景 15

2.4 应用展望 20

第三章 泛 XR 数字基础设施架构体系 21

3.1 发展需求 22

3.2 典型架构 24

3.3 网络确定性 26

3.4 算力多样性 28

3.5 平台双引擎 29

3.6 端边云网协同 31

3.7 数字身份体系 34

第四章 泛 XR 数字基础设施助力行业创新实践 36

4.1 工业实践 - 运维巡检 37

4.2 教育实践 - 虚拟课堂 38

4.3 智慧家庭 -XR 运动健身 39

4.4 娱乐实践 - 多人互动 40

4.5 媒体实践 - 车载媒体 41

4.6 文旅实践 - 沉浸研游 42

4.7 文旅实践 - XR 大空间 43

4.8 商业实践 -AR 营销 45

第五章 未来倡议 46



第一章

泛 XR 整体发展趋势

■ 1.1 发展背景

虚拟现实是新一代信息技术的重要前沿方向，是数字经济的重大前瞻领域，凭借创新的交互方式和沉浸的用户体验，将深刻影响和改变人类的生产生活方式，为经济社会发展带来新的增长动能。目前全球领先国家和地区已逐渐意识到虚拟现实的战略意义，纷纷开启顶层布局。

美国注重 XR 技术创新布局

2024 年，美国国家科学技术委员会发布《关键和新兴技术清单》中，新增空间计算等虚拟现实关键技术。2021 年，美国国会通过《美国创新和竞争法案》，用于促进美国未来十年的科研创新，将“先进的通信和虚拟现实为代表的沉浸式技术”与“人工智能”“高性能计算”等同，列入十项重大技术领域。同期，美国国会研究服务局发布研究报告《元宇宙：概念内涵及国会考虑的问题》，总结支撑元宇宙发展的三大核心技术—虚拟现实、5G/6G、区块链。

欧盟抢抓虚拟世界变革机遇

2023 年，欧盟委员会发布《Web4.0 和虚拟世界倡议》，提出推进虚实融合等技术的前瞻性部署，旨在引领以虚拟融合、人机交互为特征的下一代互联网变革机遇。具体举措包括支持探索虚拟世界新商业模式，打造 Web 4.0 产业生态系统；推进虚拟世界和 Web 4.0 的数字基础设施建设，完善虚拟世界和 Web 4.0 的开发和创新资源；引导支持虚拟现实技术创新应用，赋能民生服务、城市发展和社会进步；开展全球标准和治理合作，促进共同构建开放设计、可互操作的虚拟世界等。

韩国全面推进沉浸式经济战略

2024 年，韩国国会通过《虚拟融合产业振兴法》，首次通过法律手段强化政策支持、财政补助等，促进虚实融合类产业的振兴发展。2022 年韩国政府公布《元宇宙新产业领先战略—培育数字新政 2.0 引领新产业发展》，即以沉浸式经济发展为政策主体，进一步提出“数字新大陆，迈向元宇宙的韩国”的愿景口号，至 2026 年元宇宙产业规模迈入全球先进水平。

我国积极推进虚拟现实产业发展

虚拟现实早已被列入多项国家重大文件中，《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》就将虚拟现实和扩展现实列为数字经济七大重点产业之一。2022 年 10 月，工业和信息化部等五部门联合发布《虚拟现实与行业应用融合发展行动计划（2022—2026 年）》，强调提升我国虚拟现实产业核心技术创新能力，加快虚拟现实与行业应用融合发展，构建完善虚拟现实产业创新发展生态。2023 年 9 月，工业和信息化部等五部门印发《元宇宙产业创新发展三年行动计划（2023-2025 年）》，强化人工智能、云计算、虚拟现实等新一代信息技术集成突破，构建先进元宇宙技术和产业体系。

整体看来，在全球经济发展放缓背景下，

以 XR 为代表的沉浸式技术有望带来新的技术变革和经济增长动能，或将对全球数字治理格局和未来数字网络空间发展产生重大影响。加快虚拟现实战略布局，促进数字世界与现实世界的有机融合，充分释放虚实互促价值潜力，已形成发展共识。

1.2 概念特征

虚拟现实起源于上世纪六十年代，指利用计算机技术模拟和生成逼真的视、听、触觉一体化的虚拟环境，用户借助接入终端在虚拟环境中进行人机互动，获取身临其境的感知和交互体验。伴随软硬件门槛的大幅降低、视听交互体验的不断进阶、数字基础设施的支撑升级，虚拟现实技术产业快速发展，概念边界持续演进、不断扩充，业界开始引入扩展现实来指代虚拟现实、增强现实和混合现实等各种新型沉浸式技术。在具体实践过程中，对 XR 的探索不再局限于特定终端和视听形态，而是更加关注沉浸式技术与应用场景的融合落地，泛 XR 概念及趋势逐渐涌现。基于 2018 年工信部印发《关于加快推进虚拟现实产业发展的指导意见》（以下简称《指导意见》）中对虚拟现实概念的界定，我们认为

泛 XR 是指融合新型视听、智能传感、先进计算、网络传输、人工智能等多元化技术，丰富人类感知能力和互动体验，实现虚实融合和沉浸交互的产品和服务。

泛 XR 发展呈现三大新特征。一是，强调多技术融合升级。相较于《指导意见》提出的虚拟现实技术体系，泛 XR 概念体系既涵盖新型视听、智能传感、先进计算、网络传输、人工智能等技术创新升级，又强调各类信息技术在虚拟场景中的集成应用和协同突破。二是，兼顾虚实融合和沉浸交互两大要素。其中，虚实融合

体现由实入虚和由虚入实两条路径，前者强调虚拟世界的真实性构建，后者聚焦物理世界的数字信息锚定叠加。沉浸交互强调临场感体验，即为用户提供了由三维数字与物理世界虚实融合带来的视听临场感，涉及适人化新型智能终端、三维交互性音视频等。三是，呈现多路径同步探索态势。随着技术和产业的持续演进，当前泛 XR 发展展现出以新终端驱动、新视听驱动、新场景驱动等为代表的多路径同步探索的发展趋势（见图 1）。

虚拟现实产业迈入新一轮提速发展期。虚拟现实兴起与快速发展源自于大众视听交互体验的不断进阶、软硬件门槛的大幅降低、行业融合应用的需求增长、行业资本与政策聚焦等促进因素共同作用。自首代消费级 VR 终端问世以来，虚拟现实产业经历了技术和产品的持续迭代，实现用户体验从“部分沉浸”向“深度沉浸”进阶。当前，泛 XR 产业正迈入发展新阶段，苹果等传统智能硬件巨头入局，加速 XR 终端设备的规模化推广；3D 数字内容生态显现雏形，有望引领视听影音的流行风向标；应用场景加速拓展至生产生活各维度，虚拟教学、远程协作、虚拟健身等融合应用新场景持续涌现；5G/5G-A、云计算、人工智能等数字基础设施能力升级，政策支持、行业资金等环境要素的逐渐储备，为产业的发展提供强有力的支撑。综上，泛 XR 产业正迎来前所未有的发展契机，有望实现新一轮蓬勃发展态势。

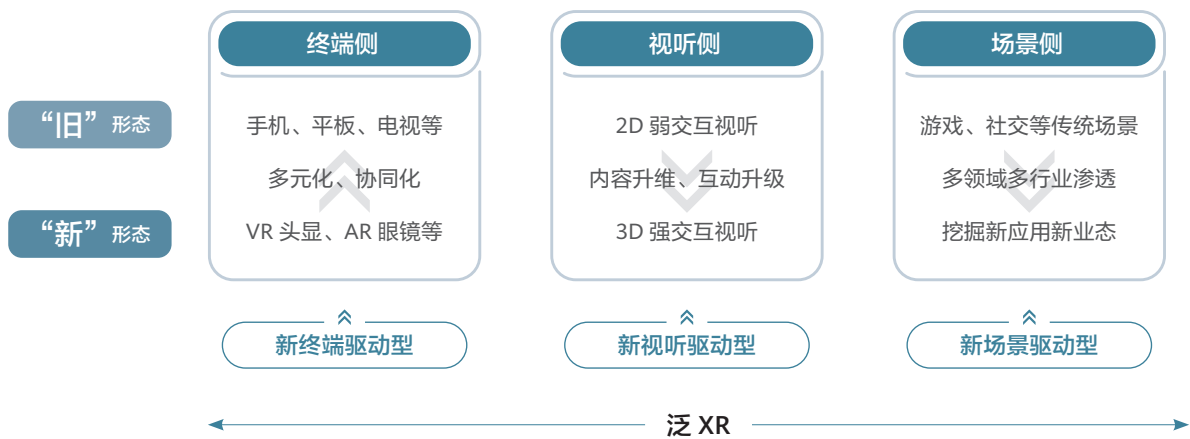


图 1 泛 XR 产业创新发展的主要路径

1.3 发展态势

接入终端、沉浸视听和应用场景的持续发展和演进正在不断推动着 XR 产业的创新。

1.3.1 接入终端

沉浸式技术开辟智能终端新航道。在沉浸式技术语境下，终端入口或将是“体验式的”，即以信息处理为中心向以适人化体验为中心演进。《虚拟现实与行业应用融合发展行动计划（2022-2026 年）》提出“发展新一代适人化虚拟现实终端”的总体目标。其中，视听优质、自然交互、使用舒适成为 XR 新终端适人化体验的主要特点。视听优质契合沉浸式业务中数字信息虚实融合的体验形态，助力推动 3D 音视频处理、渲染与空间计算能力发展。自然交互旨在让用户专注于交互活动本身，忽略终端界面的存在，推动人机交互

互向更加自然化、情景化和智能化方向发展。使用舒适则强调结合人因工程、社交通识等因素，重点关注接入终端的佩戴舒适性与大众的使用接受度。

泛 XR 新终端有望加速推广。发展 XR 新终端已成为 Meta、苹果、三星、谷歌、高通等智能终端巨头的布局共识。2023 年 6 月，苹果发布首款头戴式设备 Vision Pro，将其定义为引领空间计算时代的“iPhone”，开创性地成为首款集成 3D 空间计算操作系统、首款无须交互外设的智能头显，全面提升了沉浸体验性与使用舒适性，并从近眼显示、感知交互、渲染处理等方面实现了“能用”到“好用”的体验跨越，有望加速 XR 新终端产业发展进程。根据 IDC 数据，预计到 2028 年，全球 XR 终端出货量将超过 2 千万台，复合年均增长率超过 36%。与此同时，行业新进入的参与者将带来更多创新和竞争，推动泛 XR 技术创新与应用场景挖掘。



图 2 XR 新终端适人化体验需求

泛 XR 终端向多元化、协同化拓展。

裸眼 3D 带来全新沉浸式视听体验

1

裸眼 3D 可协助用户在无需佩戴外置设备条件下，体验沉浸观看 3D 立体视听效果。目前裸眼 3D 终端技术日渐成熟，智能手机、笔记本、显示屏、平板电脑等裸眼 3D 产品不断涌现，支持 2K 以上分辨率和 2D/3D 显示自动切换，持续丰富用户体验，并有望在工业、文旅、教育、医疗等领域获得更加广泛的应用。

传统终端成为 XR 应用和用户培育的重要入口

2

大力培育 XR 终端生态的战略价值不仅体现在 XR 眼镜、智能头显等“新终端”的发展，还涵盖了将 XR 新技术、新功能引入手机、电视等传统“旧终端”类型，用于拓展增值功能和创新用户体验。同时，针对手机、电视等传统终端用户量大、普及率高的优势，通过引入轻量化和相对沉浸的 XR 应用，不仅能拓宽 XR 的应用范围，还有助于提高用户对沉浸式技术的接受度和使用率。

多端协同、多屏互补提升 XR 应用多维体验

3

如通过手机与 AR 眼镜协同实现手机 2D APP 的 3D 体验视角。苹果的智能头显引入隔空投屏功能，实现头显中画面内容实时镜像至 PC 或手机等其他终端屏幕上，极大地提升内容分享的便捷性和灵活性。

1.3.2 沉浸视听

沉浸式技术为视听影音发展提供新机遇。音视频是信息呈现与传播的主要媒介，也是信息产业的基础技术之一。当前大众对美好生活的进阶需求，对数字内容的体验方式提出了新的要求，分辨率、帧率等视听质量维度的常规迭代难以带来用户体验的增量跃升。泛 XR 将触发内容应用交互的新体验，推动构建从 2D 弱交互向 3D 强交互升级的沉浸视听新业态，突破传统互联网业务的局限，实现虚实融合、身临其境。一是信息形态，加速推进 2D 到 3D 音视频的生态建设。相比 2D 平面媒介，3D 技术产业链的垂直突破与水平协同将驱动虚实融合三维数字空间成型，背后需要 3D 采集、编辑、播放、传输等全链路的整体演进，以及加快统一 3D 数据模型的格式定义，推进 3D 开发软件与终端之间的软硬协同发展。此外，AI 技术日渐成熟也将推动 3D 制作成本的大幅降低，例如通过 2D 到 3D 内容 AI 自动转换等技术，将会释放海量 2D 资源，

丰富和拓展 3D 内容业态。二是交互模式，推进弱交互到强交互音视频的生态建设，即由当前侧重于交互精度、频度、广度向基于虚实融合的交互深度演进拓展，进一步增强信息丰富度、扩展社交影响力。强交互视频主要包括 VR 全景视频、自由视角、体积视频、非线性视频等。例如，杭州亚运会场馆通过部署 4K/8K 超高清全景相机和全景视频合成技术，实现观众能够 360 度全方位观赛，获得身临其境的观赛体验。非线性视频通过获取用户实时心率、眼动、语音、微表情等生理信息，为用户个性定制情感共鸣的视频内容。

3D 沉浸视听有望加速普及。为把握 3D 化发展机遇，全球 ICT 巨头正在积极布局 3D 数字内容等 3D 视听相关领域，推进 3D 工具链、3D 数据格式等关键环节和产业链建设。3D 工具链方面，2023 年，苹果推出的 iPhone 15 Pro 系列手机与智能头显 Vision Pro 协同，实现了使用大众化消费级设备拍摄和播放 3D 空间图片与视频的全新体验，同时支持手机、PC 等终端



设备以普通格式进行播放，进一步促进 3D 内容流通。3D 数据格式方面，同年，皮克斯、英伟达、苹果、Adobe、Autodesk 宣布成立 OpenUSD 联盟（AOUSD），旨在面向全球范围推广面向 3D 场景和环境的统一数据格式标准 OpenUSD，提升 3D 工具和数据的互操作性和可移植性。此外，国内企业也在积极研发布局，尤其是在 3D 建模、渲染、仿真、动作捕捉以及人工智能辅助等领域，推出一系列开发引擎和创新工具，不断扩展功能并提升易用性。

强交互视听技术产业体系迅速发展。一方面，强交互视听技术日渐成熟。全景视频广泛应用于体育赛事、云上旅游、虚拟演唱会等领域，创造出自由选择视角、身临其境观影体验。体积视频也在教育培训、3D 设计等场景展现应用前景，协助用户更加直观地理解虚拟物品和 3D 模型等。此外，部分 3D 数字内容生成平台和工具链通过引入物理引擎，增加骨骼动画和更多动态特效，进一步增强交互的真实感。另一方面，泛 XR 交互技术赋能传统业务焕发新生。例如中国移动推出“5G 新通话”服务，即围绕交互性、智能化发展需求，结合虚拟现实技术带来 AR 互动、表情动效等趣味通话体验，迎合个性化潮流。此外，Meta 旗下 Messenger 视频通话上线 Group Effects 功能，为多人视频通话提供 AR 特效和互动体验。

AIGC 正在重塑 3D 数字内容生产业态。现阶段，以生成式人工智能（AIGC）为代表的新一代人工智能仍处于技术创新迭代密集期，大型语言模型取得重大突破，多模态和跨模态技术不断升级，有望革新传统数字内容生产范式，加速图像、音频、视频和文本等各类数字内容的智能化创作、高效化生成和真实感模拟，例如，传统的 3D 建模方式需要数天甚至数周才能完成，而利用 AIGC 技术可将所需时间缩短至数小时，同时 AIGC 与用户生成内容（UGC）模式结合，进一步降低技术门槛，使得创作者能够更高效地产出 3D 创意作品，为 3D 数字内容的流行注入新动能。国内外创新企业正在积极推进 AI 内容生成技术及工具开发。谷歌早在 2022 年发布了文本 3D 生成模型 DreamFusion，将文生图扩散模型与神经辐射场（NeRF）技术结合，实现基于 2D 数据获取任意角度、光照和环境中的 3D 生成建模，但仍存在分辨率和生成效率等问题。英伟达 Omniverse 平台集成 Audio2Face、Audio2Gesture 等系列 AI 工具应用，可根据音频内容自动生成面部表情、手势动作等，使 3D 数字人的表现更加生动和自然。2024 年初，OpenAI 发布视频生成模型 Sora，可根据文本或图像指令生成长达一分钟的高质量视频内容，展现出视频生成技术的发展雏形与应用潜力，有望加速视听内容产业升级。

1.3.3 应用场景

新场景持续涌现。从应用类型看，根据泛 XR 虚拟融合路径可分为两种类别，一种是虚拟世界真实化，即纯粹建立在虚拟世界里的数字空间，可独立于现实世界自主运行，例如，游戏娱乐、线上消费等多元体验发生在虚拟世界，通过虚拟世界真实化带来全新的用户体验。其中，根据 Newzoo《2023 年全球游戏市场数据》显示，2023 年全球 VR 游戏的下载量达到 3080 万次，保持 15.6% 的同比增速，展现出 VR 游戏市场的稳步增长态势。另一种是物理世界数字化，通过数字信息、虚拟对象与真实物理环境无缝衔接与逼真交互，增强用户的感知能力。当前，谷歌、苹果、Meta、华为等企业积极围绕自身在增强现实领域的优势积累，大力构建与现实世界强关联的 AR/MR 应用，提供空间交互、可视化、“全息生活助理”等功能，带给用户更加个性化的服务体验。2023 年，谷歌地图升级 AR 功能“Lens in Map”，在沉浸式的 3D 街景图像基础上增添了 AR

导航和标记等功能，从而实现更加精准的定位和直观的寻路体验。中国移动在杭州亚运会期间打造了“数实同屏、瞬时定位、实时互动”的 AR 互动环节。从应用领域看，在消费场景中，泛 XR 应用领域逐步从游戏娱乐等传统场景向衣食住行等更多领域渗透，催生虚拟社交、虚拟试衣、虚拟健身等多样化应用场景，满足多元化用户需求。例如，华为与中国移动智家中心携手打造家庭云 XR 健身应用，利用家庭 FTTR 宽带设备和智能机顶盒，接入云渲染等能力，实现用户无需额外购置 VR 设备，便可在电视大屏上畅享多人娱乐健身活动，开启了运动健身的全新体验。在行业场景中，泛 XR 沉浸式业态已广泛渗透至工业生产、教育培训、商贸创意、融合媒体、医疗健康、安全应急、故障辅助、智慧城市等领域，融合形成无界办公、智慧教育、沉浸会展、工业互联网等场景，助力改善用户体验、变革协作模式、提升工作效率，加速行业数字化升级。



1.4 演进阶段

现阶段，支撑狭义 XR 快速发展的前置技术产业要素尚未完全就位，具体表现为产品供给能力低，智能眼镜、智能头显等 XR 终端的普及渗透率尚不足手机的百分之一，设备的体验性和舒适性有待进一步提升；内容和应用开发门槛高，3D 内容产业链存在断点，制作成本高；应用需求的释放速度较慢，缺乏特色爆款级应用，且现有应用的碎片化和同质化现象突出；数字基础设施的融合性不足，规模性、针对性部署不足，数字身份系统碎片化。综合产业准备、用户体验、发展动力等维度，我们提出了泛 XR 发展路线图，展望未来十年，泛 XR 技术产业或将按照三个阶段逐步升级。

在 L1 阶段，泛 XR 入口仍以手机等传统终端为主，并开始向电视等多类型旧终端扩展，提供手机 AR、手机 3D 卡通应用、大屏应用等中低沉浸弱交互的应用体验。在此阶段，加快沉浸式技术向多行业、多领域渗透，挖掘新应用新业态，壮大潜力用户规模，成为产业生

态构建的重心。随着 3D 沉浸式数字内容数量由千万达到亿级水平，高拟真数字人可实现较为精准与较低时延的捕捉驱动能力，外貌与动作拟真度提高，开发成本降低至万元水平，整体发展将迈入 **L2 阶段**，产业驱动力将由新场景转向“新视听驱动 + 新场景拓展”的“两新”双轮协同，沉浸视听的 3D 开发工具链与全景视频、自由视角、体积视频等方向的主导设计形成，AI 内容制作技术规模应用，提供用户中级沉浸、中级交互体验。随着新型 XR 终端完成主导设计，出货量规模由当前千万级达到亿级水平，产业发展正式迈入 **L3 阶段**，形成新终端为主引擎，联动新视听、新场景构成“三驾马车”加速发展态势，泛 XR 核心产品体系形态趋于稳定，具备深度沉浸、强交互体验的应用业态丰富，面向消费、企业与工业元宇宙的融合应用开始规模化普及。从长远期看，随着触觉互联网、脑机接口等颠覆式技术走向产业化成熟落地，虚拟现实技术产业将逐步实现虚实共生、极致沉浸的发展突破。

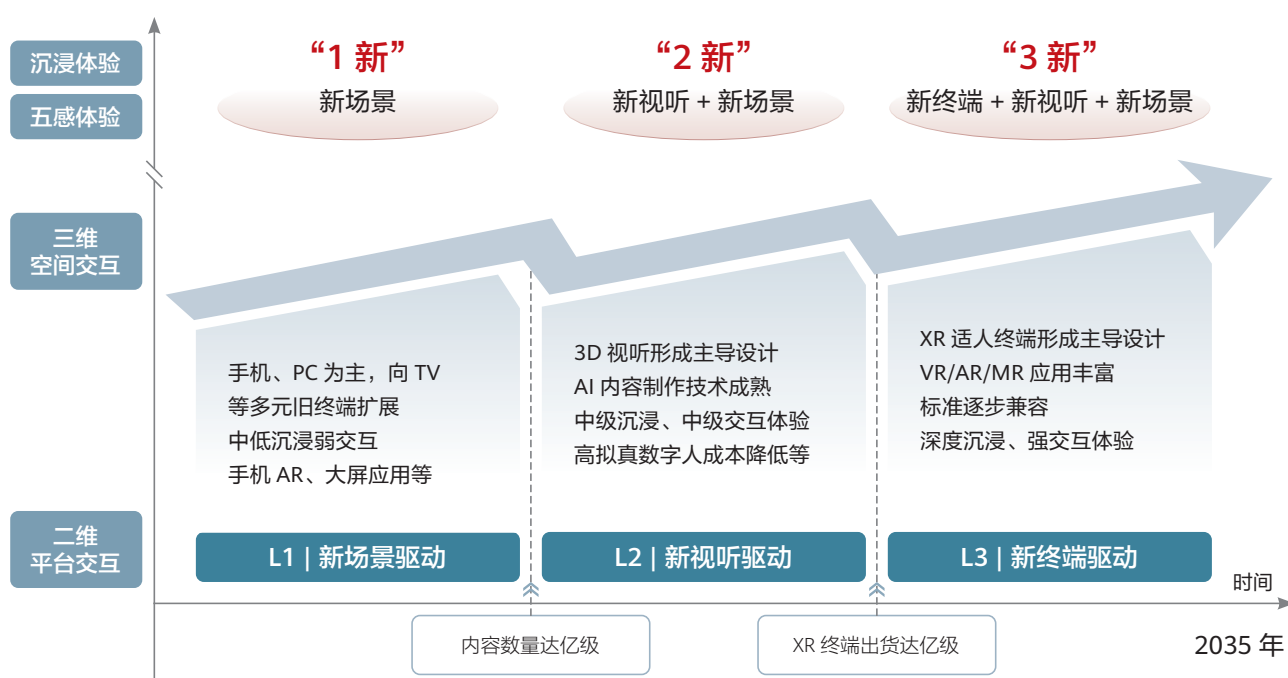


图 3 泛 XR 发展路线图



第二章

泛 XR 融合应用洞察

泛 XR 作为新一代信息技术融合创新的典型领域，展现出巨大的应用价值潜力，不仅为用户提供更加身临其境和个性定制的全新体验，改变了大众生活和工作方式，也将为各行各业开辟了新的发展空间，带来创新创业和市场增长的商机。

2.1 发展现状

泛 XR 行业应用正迈入融合共生的发展新阶段。经过多年发展，泛 XR 行业应用逐步由展厅级向产业级迈进，小众化向规模化升级，同质化向个性化发展，应用体验的沉浸性和舒适性持续优化，新场景、新模式、新业态不断涌现，加速驱动生产和生活方式变革，有力激发新型消费增长活力，切实赋能行业数字化发展。

从融合应用的广度看，泛 XR 技术已经更加广泛触及到生产生活诸多场景中。2023 年 7 月，工业和信息化部、教育部、文化和旅游部、国家广播电视总局和国家体育总局联合征集“虚拟现实先锋应用案例”，旨在加速技术落地推广，树立行业先进标杆。根据入选案例名单，虚拟现实技术已渗透至工业生产、文化

旅游、融合媒体、教育培训、体育健康、商贸创意、演艺娱乐等众多行业中，涌现出一系列融入生活生产的应用场景和独具特色的创新实践，为数字中国建设提供有力支撑。其中，教育培训、文化旅游、工业生产、体育健康、商贸创意等成为现阶段虚拟现实融合应用相对活跃的行业领域。例如教育培训行业，以 VR 为代表的泛 XR 技术已经应用在基础教育、高等教育、职业教育等领域，衍生形成多元化应用类型。全景视频、沉浸式内容、虚拟教师等技术应用可以激发学生学习兴趣和积极性，提高知识吸收和理解效果；虚拟仿真实训基地与各类沉浸式 VR 实验、实训系统搭配，营造更具真实性、临场感、启发性的学习和实践环境，提升学员技能训练效果。



图 4 泛 XR 应用图谱

从融合应用的深度看，泛 XR 技术应用逐步从单一场景向全阶段全周期拓展，并向核心环节渗透。在工业生产领域，泛 XR 融合应用已经能够覆盖到研发设计、生产制造、运行管理、售后服务等产品服务全生命周期，衍生形成协同设计、数字孪生、现场巡检、虚拟培训、远程维保、远程验货等价值场景，促进工业关键流程的数实融合，实现工业生产提质、增效、降本，赋能新型工业化发展。在工厂具体实践中，进一步将工业 AR 技术与物联网、人工智能等技术能力协同嵌入现有工业互联网、产品全生命周期管理等工业数字化平台中，并与制造执行系统（MES）、企业资源规划系统（ERP）、内容管理系统（CMS）等第三方信息系统无缝对接，最终面向制造、装配、运营、服务和培训等环节提供沉浸式 AR 解决方案，提升现场工人的生产力、敏捷性和安全性。在文化旅游领域，虚拟现实融合应用已经能够覆盖到行前规划、游中体验、游后营销服务等全流程，提供 VR 云观景、VR 直播、AR 导游导览、AR 互动、AR 营销、数字藏品等丰富多样的应用形式，游客借助智能手机、AR 眼镜等多类型终端，即可沉浸体验数字艺术展示、文旅数字人互动等众多线上线下协同创新

应用，完成从吸引客流、实地游览、良好体验到旅后消费的完整闭环，促进文化遗产与传播，释放旅游消费潜力，推动旅游业高质量发展。例如，2024 年龙年春晚中，融合历史文化与沉浸式科技的《山河诗长安》节目惊艳亮相，借助虚拟李白与实景人物的对诗互动，虚实时间与空间的重叠交汇，科技创新与文旅活动的高效结合，进一步宣传促进西安旅游热度攀至高峰。

与此同时，泛 XR 融合应用仍存在刚性需求释放不够、研发成本投入较高、用户体验仍需提升、基础设施支撑不足等问题，随着硬件设备不断完善、用户需求与日俱增、应用成本持续降低、产业供给能力进一步增强，泛 XR 融合应用将不断深化，呈现分行业、渐进性、梯次性的发展特征，即优先面向部分行业、特定场景形成一批创新型、规模化、可复制的价值场景，逐步建立可持续、自循环的应用机制和商业模式，应用生态渐次成熟。为进一步分析应用发展趋势、研判价值场景，我们研究构建了泛 XR 规模化应用评估模型，通过分析影响规模化应用的关键因素，研提泛 XR 潜力应用场景，为行业应用企业和解决方案商提供参考建议。



2.2 评估模型

2.2.1 模型建立

泛 XR 作为重要的前沿技术方向，从技术创新到规模化应用同样遵循新技术成果转化²的客观规律，需历经研究到开发、小试到中试、中试到产业化等一系列攻坚克难的过程，完成初试阶段、开发阶段、商业转化阶段到产业规模化的梯次进阶。具体而言，初试阶段中市场需求占主导地位，需要提出应用需求，论证应用可行性，尝试应用场景实践。开发阶段也是生产样机阶段，政策支持和技术能力成为主要影响因素，需要在具体环境中进行实践，挖掘共性痛点，消除需求不确定性。商业转化阶段将技术成果转化为产品，逐步小批量生产，探索合适的商业模式，构建行业标准规范³，形成性能稳定、成本合理、商业可行的产品及解决方案。

此外，影响新技术优势向市场化优势转化的关键因素包括精准定位应用场景、“对症”开展技术攻关、巩固建立产品优势。其中，应用场景的准确性主要受市场需求的影响，市场投资情况在一定程度上反映出关键应用场景和推进力度，尤其是在市场需求强劲、投资力度大的领域，新技术应用往往能够迅速实现推广。在新技术攻关方面，政策引导和资金支持是必要的，以促进创新生态环境和数字基础设施的持续完善，实现产业供给能力的提升和供需协同发展。而在巩固产品优势方面，关注重点在于产品集成化和标准化的推进过程。

以可观测、易评价、可量化为原则，结合泛 XR 技术成果转化的发展阶段和影响因素，我们建立了泛 XR 规模化应用评估模型，如图 5 所示。基于评估模型，分析不同应用场景下的泛 XR 应用规模化发展进程和规模应用前景。

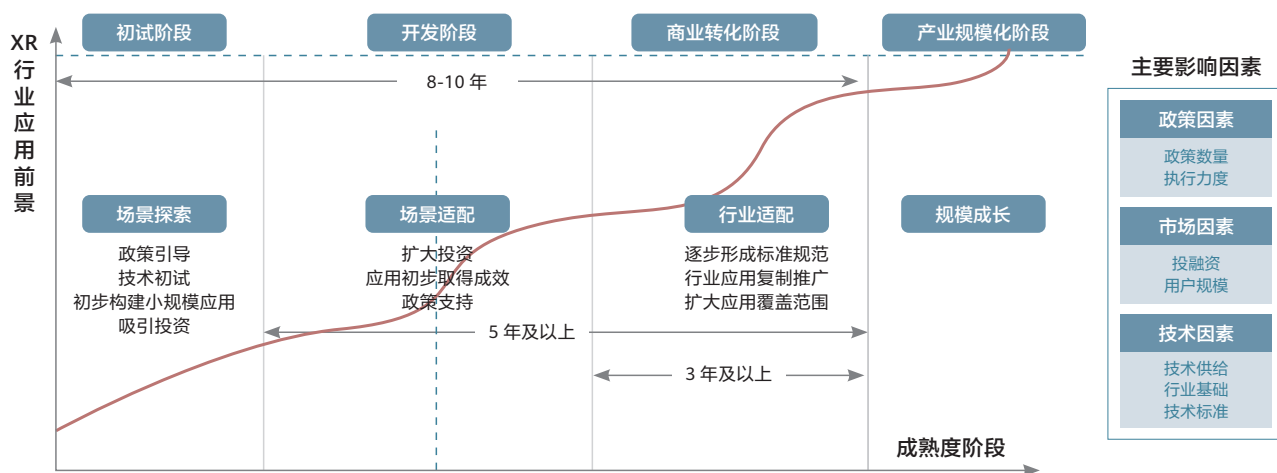
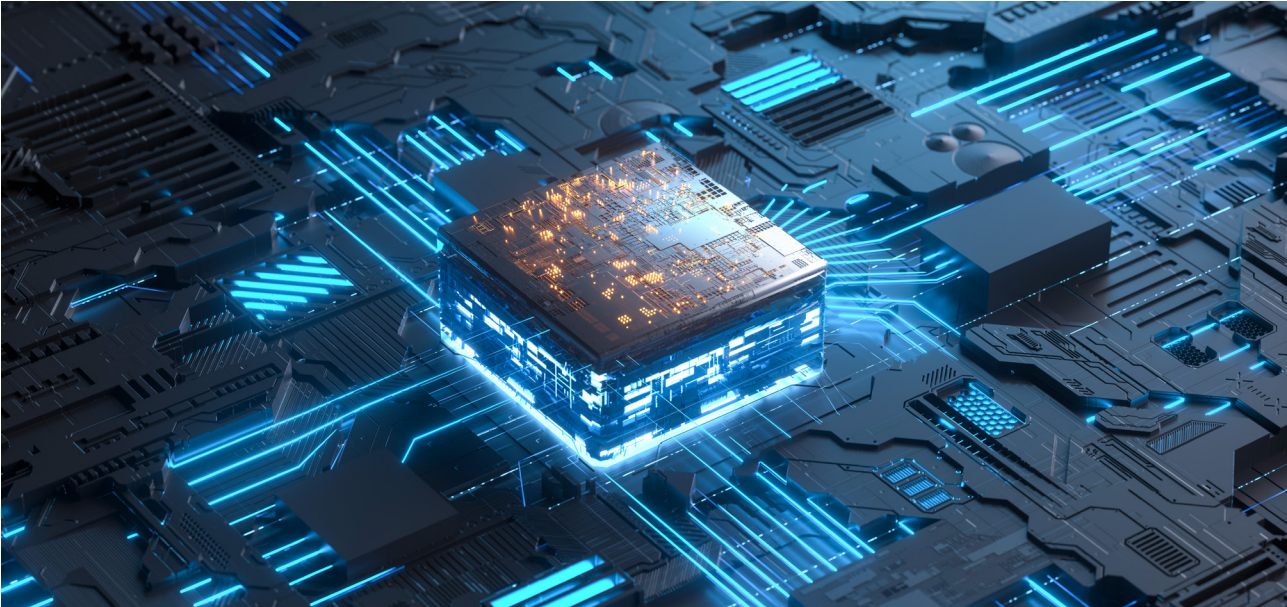


图 5 泛 XR 规模化应用评估模型

2 吴寿仁：科技成果转化若干热点问题解析（十一）：关于科技成果成熟度的思考[J]。科技中国，2018(4)：28-35。WU S R. Analysis of several hot issues in the transformation of scientific and technological achievements (XI): reflections on the maturity of scientific and technological achievements [J]. China Scitechnology Business, 2018(4): 28-35.

3 GANS J. The disruption dilemma[M]. Cambridge, MA: The MIT Press, 2016.



2.2.2 政策维度

2022 年，工业和信息化部等五部门印发《虚拟现实与行业应用融合发展行动计划（2022—2026 年）》，指出虚拟现实产业发展正迈入产业升级和融合应用为主线的战略窗口期，政策引导重点将聚焦虚拟现实行业应用融合创新，多措并举加速推进多行业多场景应用落地，构建生态发展新局面。本部分重点总结了自 2021 年起国内发布的虚拟现实相关政策，累计 30 余项，对其中涉及融合应用的重点行业、热点场景以及政策措施等进行了梳理和分析，初步筛选出 11 大重点行业的热点应用场景，并绘制形成重点场景政策热度图，如图 6 所示。

从政策聚焦度看，工业生产、文化旅游、演艺娱乐领域的热度相对较高。在工业生产领域，虚拟现实作为构建数字世界和现实世界的交互界面，已成为推进新型工业化发展的重要抓手，可有效解决设计与生产协同、工人技能培训协同、产品营销与远程售后等实际问题，助力推动工业数字化、智能化升级。政策落地多强调推进虚拟现实和工业互联网深度融合，开展虚拟现实技术在工业生产各个环节的应用推广，发展多人协作、模拟仿真等虚拟现实开放式服务平台，探索远程运维解决方案等创新模式等，重点场景涉及产品生产的全生命周期，包括数字孪生、运维巡检、虚拟培训等热点场景。在文化旅游领域，多强调面向文化



图 6 泛 XR 重点场景政策热度分布

展馆、旅游场所、特色街区等，利用虚拟现实等技术开展导游导览、沉浸空间等创新应用，带动优秀传统文化传播，提升旅游资源活力。同时，文化和旅游部组织开展了“智慧旅游沉浸式体验新空间”“‘5G+ 智慧旅游’应用试点项目”等工作，鼓励采用增强现实、虚拟现实、人工智能、5G/5G-A 等数字技术，通过文旅融合、虚实结合等方式与文化创意元素有机融合，创新文化旅游新产品、打造消费新场景，并运用重点培育、项目支持、交流合作、媒体宣传等方式促进优秀模式复制推广。在演艺娱乐领域，虚拟现实技术提供的沉浸式体验与演艺活动天然契合，既能融入数字化演艺制作流程，提高制作效率、降低成本，又能丰富演艺活动形式和演艺内容，增强观众的娱乐感受。已出台的政策多鼓励利用虚拟现实技术丰富虚拟娱乐体验内容，提升线下娱乐的数字化水平，热点应用场景包括演艺直播、虚拟主播、沉浸展演等。

除了热点行业外，一些细分领域的应用场景也成为政策关注重点。在教育培训领域，强调利用虚拟现实技术服务国家重大战略，其中多项政策提及面向中小学校、高等教育、职业学校等建设一批虚拟现实课堂、教研室、实验室与虚拟仿真实训基地，发展“虚拟仿真实验教学 2.0”，并通过运营奖惩、供需对接等方式促进应用扩展。在体育运动领域，结合“大体育 大健康”发展需求，支持虚拟现实落地户外与室内、单人与多人、休闲与竞技等多元场景，发展线上线下结合的数字化、智能化、沉浸化的新型体育运动解决方案，构建大众健身新业态。

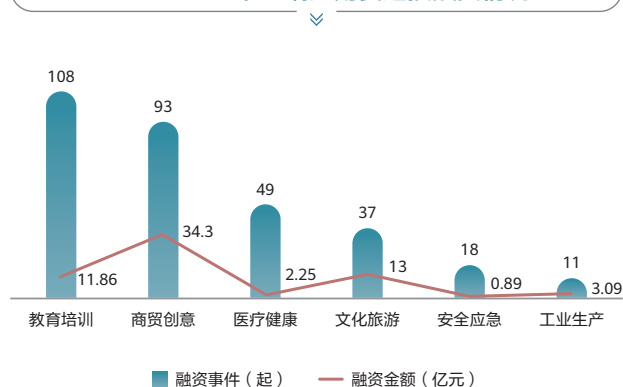
2.2.3 市场维度

影响泛 XR 应用规模化发展的市场要素主要从市场投融资、潜在用户规模进行分析。

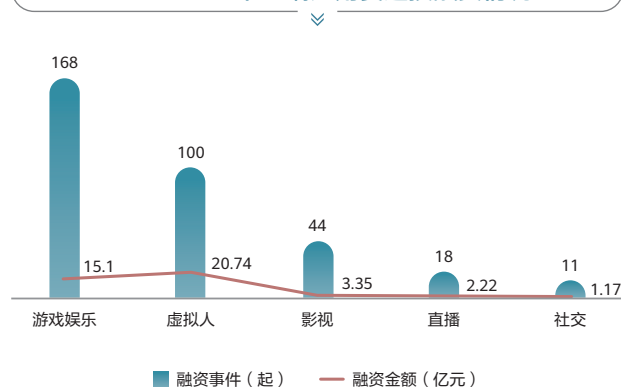
从市场关注度看，针对消费端场景，截至 2023 年底，泛 XR 在消费端的应用主要集中在游戏娱乐、影视、直播、社交等场景，呈现头部集中度持续提升、单笔金额量不断增大的发展趋势，其中游戏娱乐累计吸收投资金额最高，数字人受关注程度快速提升。针对行业端场景，2016 年至 2023 年期间，教育培训和商贸创意赛道获取的投融资资金相对较高，医疗健康、文化旅游、应急安防等领域次之。其中，基于泛 XR 技术的在线教育、虚拟培训等场景更受资本市场青睐。

从潜在用户规模看，泛 XR 能够为用户提供更加沉浸的感官体验，在消费端场景中 XR 技术能够进一步激发用户的沉浸感，提升应用的吸引力。因此，面向娱乐、体育健身、短视频、视频通话（新通话）等领域，泛 XR 有更大的机会迅速获得用户的认可和推广。当泛 XR 应用在消费端市场获得爆款级别的成功时，其用户规模将迅速扩大，进而推动整体规模化进程，带动更多的用户反馈和口碑传播，吸引更多的投资和资源，推动应用持续创新发展。

2016-2023 年 B 端应用赛道投融资情况



2016-2023 年 C 端应用赛道投融资情况



数据来源：VR 陀螺、瑞普分析、中国信通院整理

图 7 2016-2023 年我国应用赛道投融资情况

2.2.4 技术维度

尽管泛 XR 行业应用整体遵循四个阶段发展，但由于各行业的数字化基础、行业需求以及对新技术的认知度和接受度存在偏差，导致不同场景发展进度和市场节奏不一致。综合各行业领域的发展现状及特点，结合对行业专家判断、领域数字化基础、技术标准研制情况等因素，对重点行业及热点场景进行评估分析。

其中，工业生产领域中，受工业数字化转型的浪潮驱动，数字孪生、运维巡检已形成较好的信息基础设施；教育培训领域，随着信息化建设普及应用，虚拟课堂、实训基地已经基本消除了行业需求的不确定性，率先进入成长阶段；文旅、商贸、体育等行业领域需求正在逐步清晰，有望成为下一批进入成长阶段的行业。

2.3 潜力场景

基于泛 XR 行业应用规模化发展分析模型，我们从政策、市场、技术等影响要素，分析了行业端和消费端不同场景的规模化应用潜力，研究提出未来 3-5 年有望形成规模化应用的潜力场景，如图 8 所示。虚拟课堂、数字孪生、运维巡检等为代表的潜力场景（橙色椭圆标注），信息化和标准化基础相对较好，具备较为清晰的商业化解解决方案以及可持续的商业模式，基本处

于从商业转化向产业规模化升级的发展阶段。体育健身、新通话、导游导览等为代表的潜力场景（蓝色椭圆标注）主要以消费端应用为主，具备潜在用户规模大、应用范围覆盖广等优势，潜力爆款应用引发的强市场需求将加速推进规模化应用进程，缩减从开发阶段向成熟化、规模化发展跃迁的时间周期。

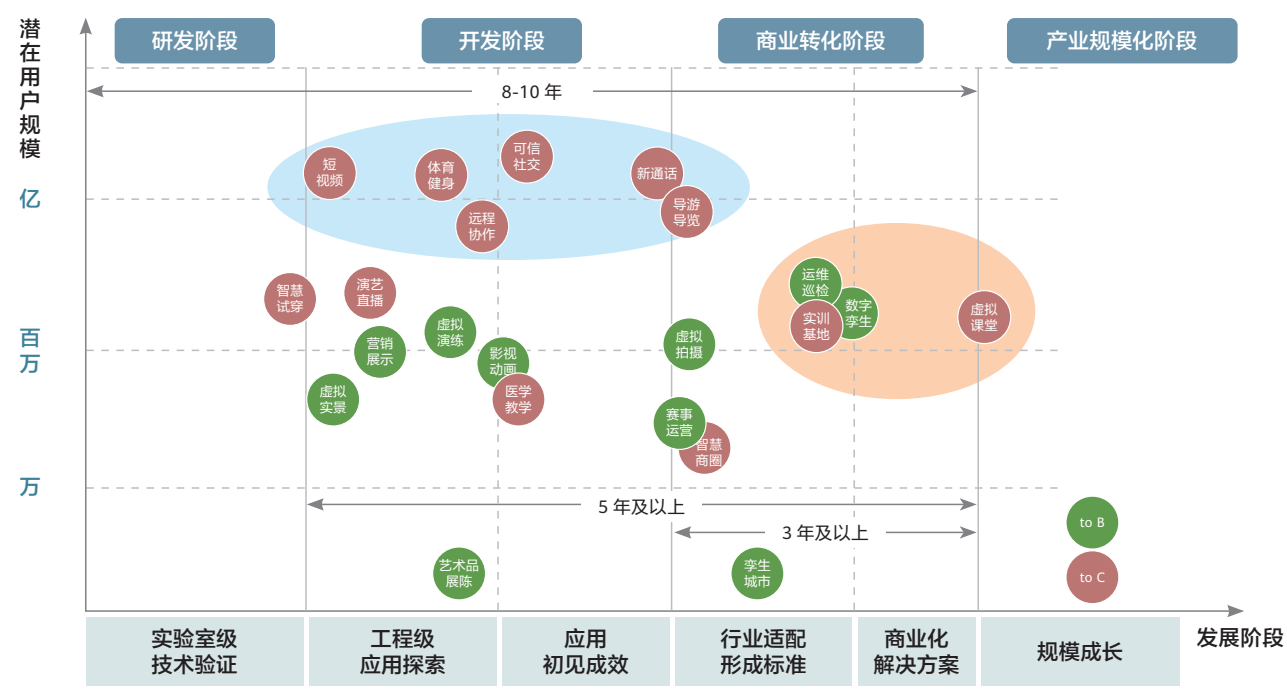


图 8 重点场景应用潜力

2.3.1 虚拟课堂

行业需求：随着在线教育的普及和技术的进步，越来越多的学校、教育机构和企业开始采用虚拟课堂来进行远程教学和培训，以期解决传统课堂存在的教育资源分配不均、学生沉浸体验差、线上培训效果欠佳等问题，通过沉浸式的教学体验，能够提升学生学习效果。

实现模式：通过提供虚拟教室环境，学生和老师可以实时互动讨论，促进了学习氛围的形成，也可利用 XR 技术提供模拟实验环境，让学生在虚拟场景中进行实验操作和观察，提升实践能力。虚拟课堂的发展不仅促进了教育资源的公平分配，提升了教育过程的趣味性，也降低了部分课程可能带来的实践风险。

应用领域：教学、培训等。

2.3.2 数字孪生

行业需求：在产品工艺设计过程中，需要专人专岗进行产品结构化统筹，主观设计无法实时同步，难以在实际制造过程中发现设计问题，从而导致返工返修成本居高不下。此外，传统工艺设计重复“造轮子”现象明显，导致工艺设计效率提升困难。

实现模式：一是基于 XR 开发引擎的多通道人机协同交互方法，建立眼动、手势、穿戴设备等协同的交互范式；二是通过在数字化环境中对工艺进行虚拟仿真验证，对产线进行虚拟调试，可以在设计阶段对工艺准确性进行全面验证，降低生产、调试成本。

应用行业：汽车、航空航天、轨道交通、石油化工等。





2.3.3 实训基地

行业需求：在生产制造和安防巡检等培训中，常存在对教具进行破坏性操作导致无法反复利用，增加了培训成本。受此限制，传统实训以视频案例和教师讲解为主，偶尔辅以演示性操作，存在学生缺乏亲身实践操作等问题，导致培训和考核效果不佳。

实现模式：虚拟现实技术融入实训基地中，一是能够根据实际工作场景和设备设施，构建高度真实的仿真环境，模拟场景中可能遇到的各种突发情况，使学生可以在安全、可控的情况下反复进行实践操作，加深理解和技能掌握，提升实训效果。二是根据实际需求持续对软件系统进行扩展升级，拓展实训知识技能，节约成本和资源。三是可选择添加数据手套等感知设备，高度模拟真实的技能操作流程，实现学生在安全可控的情况下进行实践操作，提升实训效果。

应用领域：职业培训等。

2.3.4 运维巡检

行业需求：在传统巡检中，通常采用现场值守管理模式，员工需要管理多个生产场站和设备，涉及的巡检项目和工作内容复杂繁多，对操作员的素质和技能水平提出了较高要求，迫切需要引入信息化手段，提升日常巡检工作的质量和效率。

实现模式：运维巡检场景可利用 AR 技术将设备信息、操作步骤等实时叠加至真实环境中，为运维人员提供更直观的指导和信息展示。在巡检作业中，运维人员可以利用 AR 眼镜、平板电脑、手机等设备，现场完成巡检点的数据采集分析，快速定位问题，提高故障排除效率，提升设备的可靠性和稳定性。此外，也可远程实时查看设备状态、数据指标等运行信息，降低运维成本和时间周期。

应用行业：输电配电、油气管道等。



2.3.5 体育健身

行业需求：近年来，随着大众生活水平的提高和健康意识的增强，全民健身的社会氛围愈加浓厚，室内场景下的运动健身正成为用户的新需求，“云健身”“虚拟健身”等健身新业态和消费新趋势逐渐显现，结合泛 XR 技术提供身临其境的体验、个性化训练和定制化服务，实现在家中或健身房中享受登山、滑雪等多样化的运动形式，激发用户的主动参与动力。

应用模式：运动健身具备潜在用户基数大、市场空间广等特征，尤其是家庭场景下可直接利用智能电视、机顶盒等硬件终端，实现电视大屏联动、多人实时交互、智能动作捕捉等功能，加之云游戏等相关技术已经较

为成熟，健身内容不断丰富，具有较高的应用开发价值。在具体实现上，一是基于电视大屏的 XR 运动健身技术通过提供虚拟场景和双向交互，解决了传统居家运动健身的枯燥、单调和缺乏科学性问题；二是借助定制机顶盒、移动手机、电视大屏等实现用户肢体姿态、动作力度等数据捕捉，能够通过智能分析和数据反馈提供个性化的训练建议，帮助用户更好地了解自身状况和训练进展；三是智能电视和机顶盒支持多样化的网络接入，与智能传感设备互联互通，实现低延迟、安全可靠的使用体验。

应用领域：家庭健身、健身房健身、多人运动游戏等。



2.3.6 5G 新通话

行业需求：5G 新通话作为 5G 技术的特色创新应用，是运营商的基础通话业务的升级，提供超清语音通话、视频通话业务以及智能翻译、趣味通话、视频客服等丰富内容应用，旨在为大众用户带来可视化、富媒体、交互性的全新通话体验，为行业客户构建开放化、普惠化、智能化的公共信息服务平台。

应用方式：泛 XR 技术与 5G 新通话业务融合将促进传统音视频通话向 AR 实时通话的功能升级，提供 AR 互动、数字人形象、AR 标注等多元化与趣味性的社交模式，这些能力需求对 5G 新通话网络架构进行功能扩展升级。一是，在 IMS 网络架构中引入支持 AR 应用的逻辑功能模块，并增添 AR 会话管理和多媒体处理能力，实现 AR 实时通话能力。二是，融入 AR 技术的视频电话业务，相较于普通音视频通话的流量需求进一步提高，流量指标与分辨率、视场角、帧率等紧密相关，强调了增强网络容量的保障机制，提升网络资源动态变化的自适应调节能力，以保障 AR 视频质量。

发展进展：目前，5G 新通话技术已经在我国 31 个省份部署，可支撑超过千万用户，未来也将于欧洲、拉美等全球多个地区启动广泛验证和正式商用。总体而言，5G 新通话作为 5G、AR 与通话业务融合创新的新型业务，满足了用户对优质通信质量的需求，同时拓展了通话服务的应用领域，有助于推动通信行业向数字化、智能化发展。

2.3.7 导游导览

行业需求：当前，科技与文旅融合发展步伐不断加快，传统走马观花式旅行已无法满足游客对多样化、个性化、体验性的需求。随着 AR 技术的不断成熟和普及，越来越多的文旅景区开始尝试引入 AR 导游导览服务，以提升游客体验、增加景区吸引力，助力文旅产业创新发展和转型升级。

发展模式：导游导览可借助 AR、数字人等技术提供更加全面和新型的导游导览方式。AR 导游导览利用增强现实技术，将景区信息、历史介绍、音频讲解等内容实时叠加在现实场景中，通过 AR 眼镜、手机等设备呈现给游客，让游客能够亲身参与互动和体验虚拟场景，获得更加丰富的信息和体验。数字人导游导览则利用数字人形象结合语音识别、自然语言处理等技术，提供具备个性服务、互动交流特征的服务模式，实现导游体验更加个性化、互动化和智能化。

应用场景：景区、博物馆、街区、商圈等。

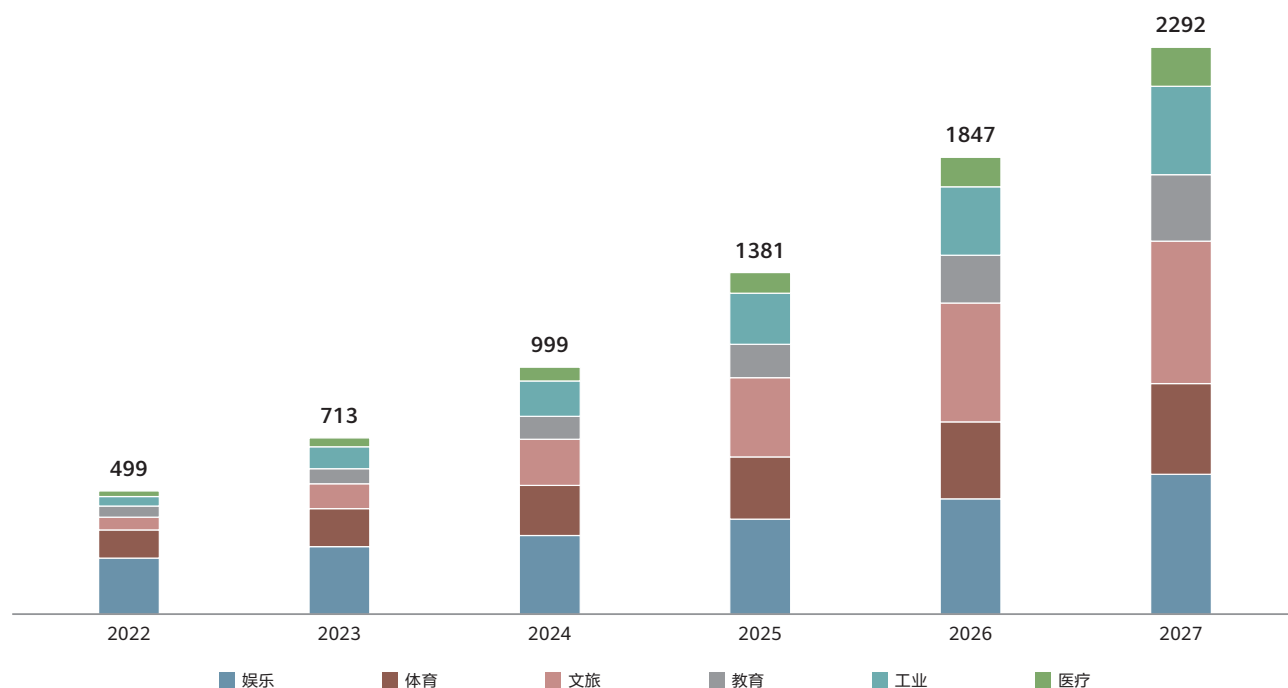
2.3.8 可信社交

行业需求：泛 XR 应用中的数字人、数字物和数字场景给用户沉浸式的体验，提升了应用的吸引力，但虚拟空间中身份无法辨别真伪，真实身份信息不能得到有效保护，使应用的拓展受到限制。

应用模式：社区类的泛 XR 应用可以支持用户参与其中开展社交活动，如在社交广场参加聚会、观看演唱会、观看球赛、参加展会，在政务大厅办理业务等，用户的应用中获得身临其境的感受。将应用接入数字身份体系后，每个人都以可信的数字身份参与其中，并且真实的身份信息在数字身份体系中被有效的保护，不会被滥用，保障了虚拟社区的安全发展。

应用领域：展会、数字孪生城市、电子政务等。

■ 2.4 应用展望



来源：中国信通院、IDC、Grand View Research、VR 陀螺等

图 9 我国泛 XR 行业应用市场规模预测（单位：亿元）

泛 XR 融合应用展现出较高增长潜力。根据中国信通院、IDC 等数据预测，2024 年泛 XR 行业应用市场规模将接近千亿，保持高达 34% 的复合增长率持续提升，有望在 2027 年接近 2300 亿元，展现出蓬勃发展势头。从细分行业看，泛 XR 的沉浸体验契合文化旅游、消费娱乐市场需求，有利于加速文旅和娱乐消费规模提升，预计两大行业市场将在 2027 年分别超过 500 亿元；体育健身、工业生产也将成为泛 XR 的重要应用市场，预计在 2027 年超过 300 亿元。例如

在工业领域，虚拟现实技术在工厂设备运维与员工培训领域已有大量应用落地，随着虚拟现实技术的进步、终端设备成本下降以及网络等基础配套设施的普及，虚拟现实技术将会应用到工业设计、柔性制造等更多的工业生产场景。在体育领域，泛 XR 与生物识别、智能传感器等技术深度融合，面向体育、健康、保险等融合应用，创建更真实的训练场景，提供个性化训练和健康管理方案。



第三章

泛 XR 数字基础设施 架构体系

3.1 发展需求

数字基础设施建设已成为拉动投资、促进消费、稳定就业和提升综合实力的重要抓手，如何构建高质量的业务生态成为释放新型数字基础设施发展动能的关键。当前，泛 XR 正在成为传统行业转型升级和新型消费持续壮大的重要抓手，释放出巨大的应用潜力，也将带动数字基础设施的创新升级需求和广阔市场前景。

从需求侧看，泛 XR 驱动数字基础设施提档升级。根据中国信通院、IDC 等数据预测，2027 年我国泛 XR 产业驱动的数字基础设施市场规模有望超过 600 亿元，其中，算力基础设施规模将超过 500 亿，占比超过 80%，基础软件和网络基础设施占比分别约为 10% 和 7%。与此同时，泛 XR 创新发展存在多重技术挑战，表现出对数字基础设施更加迫切的需求。

接入终端视角，泛 XR 终端由信息处理向适人体验为中心转变，强调功能性能与舒适性的再平衡，追求视听优质、自然交互、使用舒适三者兼具，然而当前终端沉浸体验与重量体积、眩晕控制等部分舒适性指标之间存在设计冲突，利用云端算网能力进行协同处理已成为攻克技术瓶颈的有效路径。XR 新终端以逼近人的感知能力为导向，支持双眼 4K 和实时 3D 云渲染能力，超越

深度沉浸的交互式体验。裸眼 3D 终端持续增强 3D 分辨率体验，支持 AI 眼动实时追踪且时延低于 20ms。

沉浸视听视角，用户在三维数字空间中获取立体化、强交互的音视频内容，有赖于算网基础设施的支持。例如，视听体验从 2D 向 3D 内容立体升维，将带动大量的数据和视频信息传输需求，促进平均每户每月上网流量（DOU）达到 5-10 倍提升⁵，对网络速率和稳定性提出较高要求。随着用户规模的持续提升，实现三维沉浸视听、万人同服互动、实时永续在线、多重互操作性等理想状态，将加速网路能力持续从千兆向万兆升级。此外，AIGC、UGC 等模式在数字创作领域的发展迅速，在提升 3D 内容生成效率的同时，将进一步拉动对云端超大算力和高效传输的需求。

融合应用视角，从基础设施类型看，泛 XR 业务诸多应用场景和多元应用需求，对支撑数字基础设施功能和性能要求存在差异，目前主要形成视听流化、拟真计算、空间计算三类。例如，视听流化方面，虚拟赛事和演艺直播等场景正在向 4K/8K 超高清、自由视角等方向发展，其庞大规模的数据传输需求对串流能力要求较高，需求进一步提升网络带宽及连接密度、业务

要求	初级沉浸	部分沉浸	深度沉浸	人的感知	终极沉浸
视频分辨率	全景 4K	全景 8K	全景 12K	> 全景 20K	全景 24K
单眼分辨率	1k	1.5K-2K	4K	>8k	>9K
FOV	100x100	110x110	120x120	150x135	150x150
刷新率	60	90	120	120	200
PPD	10	17	32	60	64
未压缩比特率	11Gb/s	63Gb/s	239GB/s	1008GB/s	1911GB/s
低时延压缩比特率 (20:1)	530Mb/s	3Gb/s (全景) 796Mb/s (Fov)	12Gb/s (全景) 5Gb/s (FoV)	50Gb/s (全景) 31Gb/s (Fov)	96Gb/s (全景) 66Gb/s (Fov)
RTT	10ms	10ms	5ms	10ms	5ms

表 1 VR 终端服务质量需求⁴

4 数据来源：《Extended-Reality-and-3GPP-Evolution》

5 数据来源：《迈向智能世界白皮书 2023 移动网络》



平台实时渲染性能、音视频编解码效率等基础设施关键指标。拟真计算方面，数字孪生、虚拟课堂、虚拟演唱会等场景正追求渲染真实性、交互自由度和时空在线数等关键能力，强调现有基础设施能力在高保真度图形渲染基础上进一步增强对视觉、力学、光学等展示效果的物理模拟，提升内容拟真度，主要支持数字孪生、虚拟课堂等场景。空间计算方面，主要面向运维巡检、AR 导游导览等场景，正面临大规模三维重建、点云地图更新、用户超大规模并发等问题，需求端云协同部署以支持超大规模场景体验并有效降低终端侧算力要求与电量消耗。从应用场景看，不同行业对 XR 数字基础设施建设需求存在差异。根据中国信通院等数据测算，医疗健康、教育培训等行业的泛 XR 项目以视听流化类数字基础设施为主，建设投入占比较高，超过 35%；工业生产行业应用类型覆盖视听流化、空间计算等类型，项目的数字基础设施建设投入超过 30%；体育健身、文化旅游等行业泛 XR 项目以消费场景为主，基础设施投入超过 10%。值得注意的是，家庭已成为承载泛 XR 业务体验的重要场所，从

简单大屏娱乐逐步向高清直播、云游戏、远程办公、在线教育、居家健身等多元化场景覆盖，向智能手机、平板电脑、XR 终端、摄像头、智能家居等多端协同拓展，实现 4K/8K 超高清、3D 视频、6DoF 交互、XR 多人互动等沉浸多感体验，以满足人们在日常工作、学习和生活等方面的多重需求，进一步提高了对家庭网络带宽的需求。综上，对于泛 XR 业务诸多阶梯化、多层次、分场景、泛终端的用户体验需求，特定单一维度的局部最优难以支撑用户体验所需的全局最优，基于 ICT 数字基础设施与终端之间的能力组合可极大释放融合创新的潜在空间。

从供给侧看，业界积极拓展泛 XR 数字基础设施赛道。

当前，行业企业纷纷围绕算力、网络、软件工具、人工智能等基础设施关键环节发力，建立多元化、垂直化的产品矩阵和平台能力，并协同合作伙伴打造端到端完整应用解决方案，拓展新市场空间，加速泛 XR 技术产品和融合应用的规模化发展。英伟达立足 GPU 拟真计算、视听流化、智能算力等优势，研发工业元宇宙平台 Omniverse，可面向工业、建筑等众多行业应用提供 3D 模拟仿真与协同开发环境，同时兼容主流第三方 3D 工具链和应用程序。苹果在传统终端市场疲软的挑战下，长期推进空间计算技术布局，先后发布 ARKit、RealityKit 等开发平台，增强物体捕捉、空间交互、图形渲染等技术实力，并协同最新智能头显 Vision Pro 拓展 MR 应用场景，深度挖掘空间计算发展潜力。此外，人工智能已成为泛 XR 数字基础设施的必要组成部分，也是企业核心竞争力之一，部分企业的开发平台开始内嵌 AIGC 工具，实现快速自动进行虚拟内容制作。



图 10 家庭场景泛 XR 业务驱动网络带宽升级

3.2 典型架构

泛 XR 业务基础设施主要包含四大能力组件。综合概览国内外代表企业的泛 XR 业务基础设施能力组件以及主要应用场景对基础设施的诉求,主要包括视听流化、拟真计算、空间计算、智能计算四大类型。从落地模式看,泛 XR 业务基础设施并非单点应用,而是类似“乐高积木”组合化的,落地模式强调协同组合。

泛 XR 数字基础设施参考架构涵盖技术体系、应用体系、生态模式多维视图。总体构建思路强调以适人体验为中心,面向多元化行业应用,基于拟真计算、空间计算、视听流化、智能计算四大基础能力组件,构建端边云网协同的基础设施体系,同时注重泛 XR 数字基础设施与终端间的协同创新,与应用场景间融合突破,与生态模式间的互促共进,以支撑泛 XR 虚实融合沉浸式业态高质量发展。

技术体系方面,数字基础设施旨在支撑泛 XR 虚实融合、沉浸交互体验,涉及拟真计算、空间计算、视听流化、智能计算四大基础能力模块,纵向跨越端、边、云、网四层体系,提供网络、算力、软件、平台、身份等基础设施支持,并面向泛 XR 多元创新应用提供价值场景的技术支持和解决方案。具体而言,终端侧强调支持 VR 头显、AR 眼镜、交互外设、手机、平板电脑等多元化终端的统一接入;网络侧提供低延迟、高稳定、高流畅、可信身份的服务保障;云侧,以软硬协同构建平台能力,硬件基础设施层多采用高性能计算/渲染集群、海量存储资源、高速互联等,强调云边协同,即边缘云以轻算力部署提供实时处理能力,中心云面向大场景承载高算力任务,并负责用户信息管理和认证,实现针对 XR 及元宇宙海量多维数据运算需求提供专用高效、灵活扩展的能力支持;软件基础设施层嵌入拟真计算引擎、空间计算引擎、视听流化引擎、智

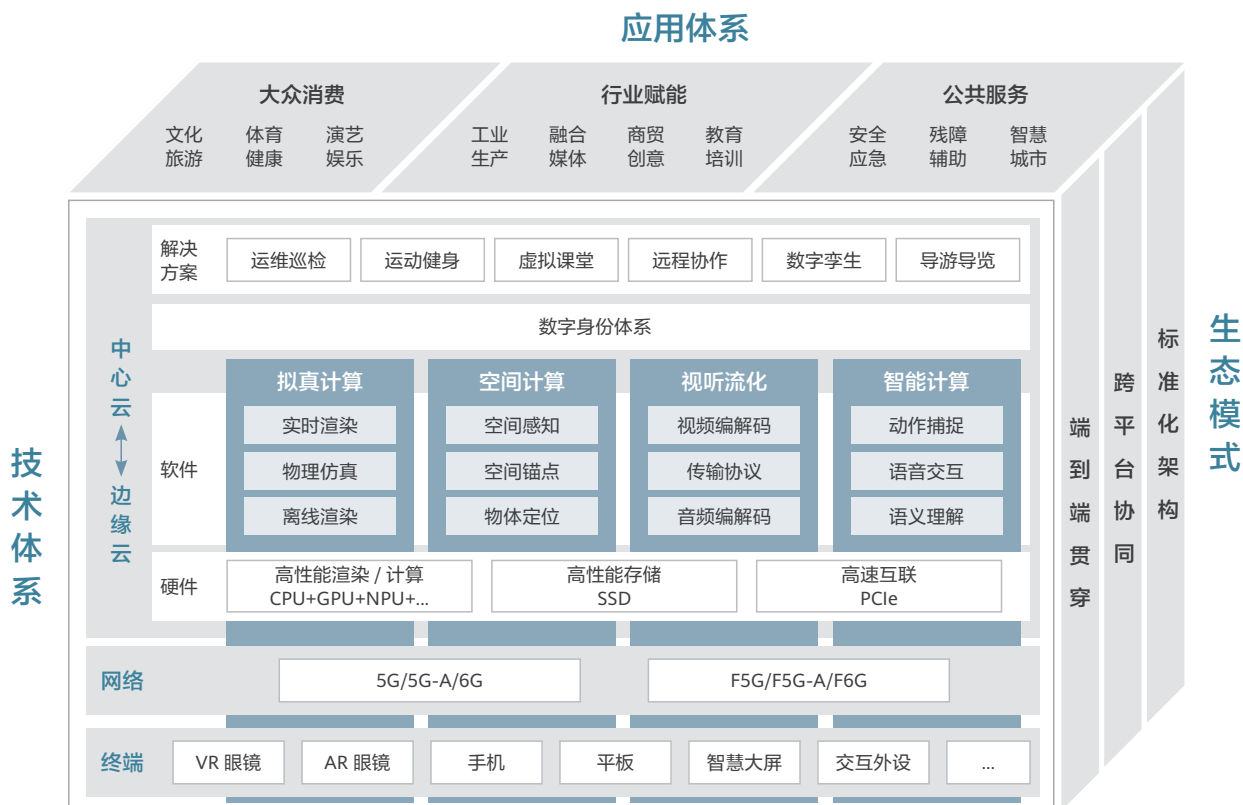


图 11 泛 XR 数字基础设施典型架构参考视图



能计算引擎等开发引擎及功能套件。**应用体系方面**，旨在解决生产生活诸多方面的差异化需求，涉及文化旅游、体育健身、演艺娱乐等大众消费场景，工业生产、商贸创意、教育培训、融合媒体、医疗健康等行业赋能场景，安全应急、残障辅助、智慧城市等公共服务场景。**生态模式方面**，发挥基础设施硬科技与生态构建软模式间互促共进的关系，强调以基础设施核心技术能力构建生态发展支点，以开放协同模式联动合作伙伴加速端到端能力建设，促进泛 XR 生态创新发展。

基于泛 XR 数字基础设施典型架构，我们提出了泛 XR 数字基础设施的发展趋势，涵盖从技术视角展开的网络确定性、算力多样性、平台双引擎，部署视角强调的端边云网协同，期望加速泛 XR 数字基础设施发展，解决当前基础设施投入不够、水平不足、融合不深等发展问题，助力泛 XR 产业高质量发展。



图 12 泛 XR 数字基础设施发展趋势

3.3 网络确定性

3.3.1 行业需求

泛 XR 业务具有高并发、大流量、间歇性、不规则等流量特征，需求高带宽、低延迟、高可靠以及双向传输、多接入等多重网络能力支持，以确保用户能够获得高速内容传输和高清视听体验。当前阶段，泛 XR 业务形态丰富，不同业务场景所产生的多模态数据流对网络带宽、时延、容量等关键网络指标呈现出差异化需求。伴随泛 XR 业务向虚实共生、规模普及演进，用户体验从深度沉浸到人类感知逼近，最终达成全球万人同服、实时多感官交互、随时随地接入、临场感体验增强等终极沉浸体验诉求，将对现有网络提出速率、时延、容量等更多方面的新挑战，需要进一步加强对泛 XR 沉浸式多媒体通信业务的系统性支持，通过优化网络架构和促进技术融合，在提升 20ms MTP 时延、90fps 高帧率、高吞吐双向链路等基础指标之上，提高业务可达性和体验确定性。

3.3.2 发展趋势

从 ICT 演进历程看，通信技术革新升级是催生新产业、构建新业务的关键契机。当前，通信技术迈入发展新阶段，移动通信开启 5G-A 发展元年，正从追求峰值速率转向效率的提升，业务变化需要通信网络体验升级，从“泛在千兆”走向 5.5G “下行万兆 + 上行千兆 + 确定性沉浸体验”；光纤通信进入 F5G 成长期，第七代 Wi-Fi 无线网络迎来商用，可在家庭、教育和娱乐等场景中提供更加优质普惠的网络服务，保障泛 XR

业务沉浸多感体验。同时，针对泛 XR 业务的网络升级诉求，在应用 5G/5G-A、F5G/F5G-A 等先进网络技术基础上，

网络确定性是强调改变传统网络尽力而为的服务理念，综合网业协同、接入超宽、固移协同、交互低时延等模式，提供稳定可靠的网络环境，确保跨域互联、虚实交互、数据传输等泛 XR 场景用户体验的确定性。

网业协同。网络与业务协同发展是网络系统能力增强的重要方向之一，具体包括两方面：一是网络智能感知业务，通过支持泛 XR 业务流量特征、QoS 指标等多类型指标的实时监测和智能分析，感知上下行 XR 业务特征，优化网络资源配置，保障泛 XR 业务运行的可靠性和稳定性。多流协同传输支持 XR 业务不同模态数据流的同步传输，为一组关联数据提供相同的策略保障。网络可基于第三方泛 XR 应用提供的流量特征感知并识别媒体帧，实现基于帧粒度的差异化 QoS 保障及完整性传输，提升系统容量。二是业务自动适配网络，主要技术包括速率自适应、智能预调度等，前者表示应用层所产生的业务速率与无线信道的实际带宽进行动态适应，避免业务时延突增等情况发生；后者可利用人工智能学习建立泛 XR 周期业务模型，采用预调度方法匹配终端数据发送规律，降低终端数据等待发送时间，提升空口带宽利用效率。通过用户面实时开放网络信息，可实现快速高效的网业信息交互，业务层



图 13 泛 XR 网络确定性能力

编码 / 速率调整以匹配网络状态，降低传输时延、减少网络拥塞、保障用户业务体验。

固移协同。在网络技术选择上，移动网络具有灵活性高、移动性强、连接数大等优势，适用于室外移动场景；固定网络具有传输带宽大、抗干扰性强、微秒级连接等优势，适用于室内和固定场景。在实际场景中，协同 5G/5G-A、Wi-Fi7 等无线接入，FTTH/FTTR/FTTO（光纤到户 / 光纤到室 / 光纤到办公室）等宽带网络部署，为用户提供固定和移动网络接入能力，通过无缝切换、负载均衡、资源共享等模式，既可提高通信网络的整体覆盖范围，保障室内和室外泛 XR 业务的超大带宽、超低时延、先进可靠等服务质量，又有助于提高网络资源利用率，降低网络运营成本。此外，固移协同也应遵循适配场景的原则，针对用户位置和网络负载等因素，按需、灵活、柔性配置接入的固移网络资源，以满足特定业务需求。

接入超宽。当前，5G 和千兆光网组成的“双千兆”网络实现商用覆盖，改善了 4K/8K 视频、VR 游戏、社交互动等泛 XR 基础业务的访问支持。当前，5G-A 和万兆光网加速开启网络“双万兆”时代，有助于支持更高清晰度、自由度、多感官的沉浸应用体验，深入挖掘虚实融合应用赋能潜力，加速泛 XR 行业迈入新一轮创新周期。在网络规划中，应统筹短期投入和长期维护的成本权衡，按照适度超前设计理念，保障中长期技术兼容和网络平滑升级的能力。其中，50G PON 作为使能万兆体验的关键技术，正处于小规模商用阶段，相较于 10G PON 千兆光网，10Gbps 带宽、us 级时延等能力保障以及网络切片、AI 技术支持，可广泛应用于家庭、园区等场景以及工业、医疗等关键行业，满足实时互动等确定性体验。

交互低时延。交互低时延侧重于优先传输保障用户体验的数据来优化网络容量和性能的技术，涉及网络切

片、帧完整性传输、多流协同等方案，对 XR 数据流进行完整性 QoS 传输保障，实现针对性容量增强，尽可能满足用户的时延和可靠性需求。例如，网络切片技术是指网络可根据 XR 业务的需求，为不同应用场景提供定制化的网络服务，通过灵活的网络切片配置，满足室内和室外泛 XR 业务对带宽、时延和可靠性的差异需求。目前，借助交互低时延技术，相较于 5G 网络，5G-A 对 XR 业务能力提升 5 倍以上，支持同时传输 20 路 16~32K 的 120fps 视频，单向时延低于 4ms。

3.3.3 关键技术

5G-A 作为 5G 的演进和增强，具有万兆泛在体验、千亿智慧连接等优势。目前，3GPP 已经确定了 5G-A 的第一批关键技术，相较于 5G 技术，5G-A 在速率、能效和时延等方面将有 10 倍的提升和改进。在商用部署方面，5G-A 步入商用元年。

Wi-Fi 7 作为下一代 Wi-Fi 标准，是在 Wi-Fi 6 的基础上实现 320MHz 频宽、4096-QAM、Multi-RU、多链路操作、增强 MU-MIMO、多 AP 协作等能力，提供更高的数据传输速率和更低的时延。能够为万人同屏互动、4K/8K 视频流、XR 业务等各类应用场景提供强大的网络支持。目前，各大厂商和标准化组织正积极合作，进行 Wi-Fi 7 技术的研发、测试和验证工作，以确保其能够满足未来新型应用对网络的高要求。

FTTR 技术是 FTTH 的一种演进方式，将光纤从户外的网络节点直接引入住宅或建筑物的每个房间，具备高速传输、大带宽、低延迟和强抗干扰等特点。目前，FTTR 发展步入快车道，已广泛应用于智能制造、智慧城市、公安监控等商用场景，并逐步向住宅小区和写字楼等场所推广，以支撑家庭娱乐场景、VR/AR 健身、智能家居等智能应用。

	Wi-Fi6		Wi-Fi7		Wi-Fi7/Wi-Fi6
编码方式	1024-QAM 调制	10	4096-QAM 调制	12	1.2 倍
最大信道有效子载波数量	160MHz 宽带	1960	320MHz 宽带	3920	2 倍
空间流数量	8x8 MU-MIMO	8	16x16 MU-MIMO	16	2 倍
峰值速率	9.6Gbps		46.12Gbps		4.8 倍

表 2 Wi-Fi7 相较于 Wi-Fi6 速率提升显著

■ 3.4 算力多样性

3.4.1 行业需求

算力作为数字经济时代的核心生产力，同样也是支撑泛 XR 产业高速发展的重要驱动力。泛 XR 应用场景中，虚拟世界沉浸式体验涉及逼真的图形渲染、高维的建模仿真、复杂的物理模拟和流畅的人机交互等多类型计算任务，均离不开高性能算力的支持。伴随云计算技术成熟发展，在算网深度融合趋势下，未来算力基础设施的布局重点不仅限于算力规模的持续扩展，更需进一步提高算力效率，特别是算力和能源已成为科技竞争的重要资源，能够在限定能源条件下提升算力效率将成为竞争的核心。

3.4.2 发展趋势

泛 XR 业务类型涉及海量数据、超高并发、实时处理等复杂运算任务，具备数据的多源性和计算的多类型等特征，对算力资源需求差异巨大，仅依靠单一通用计算平台难以高效响应业务需求，推进算力多样性布局已成为必然选择。

算力多样性是指综合利用不同类型的计算芯片、计算系统和整机设备，构建多样性算力资源池，根据不同场景、不同类型的计算任务按需动态选择合适的算力资源，提升计算效率和能效，实现更高维、更逼真的沉浸体验。泛 XR 场景下的算力多样性主要强调智能增强、专用加速、泛在协同和软硬融合。

智能增强。全球算力结构发生革命性调整，智能算力规模已经超过基础算力，成为算力增长的主要驱动力。随着深度学习、大模型等人工智能技术在泛 XR 领域的融合渗透和落地应用，智能算力已成为算力多样性的必备选项。智能芯片方面，多引入专用计算单元、高带宽内存、混合精度运算等技术，提升人工智能模型训练和推理部署效能，满足 DLSS、音视频编解码、机

器视觉、对话式 AI 等端到端智能计算需求。例如，英伟达 GPU 芯片架构采用 Transformer 引擎，针对性增强大模型处理性能。华为海思昇腾 AI 芯片持续兼容主流加速库和开发套件，持续提升对主流大模型的支持。智能系统方面，一是，不断深化智能计算与通用计算协同发展。英伟达自研 CPU 芯片补齐智能计算体系缺口，华为打造“鲲鹏 CPU+ 昇腾 AI”双芯协同优势。二是，智能计算集群成为布局重点。伴随文生 3D 模型、文生视频模型等生成式人工智能技术的快速发展，参数规模从亿级到万亿级突破，数据样本从 GB 级向 TB 级拓展，将引发智能算力需求成几何倍增长，远超摩尔定律提升速度，强化芯片架构、互联网络、开发框架、软件堆栈协同创新，打造千卡 / 万卡芯片集群提升并行处理效能，将成为千亿参数大模型训练的标准配置。

专用加速。采用专用加速芯片处理高频次、大算力任务，是增强整体算力效率和效能的重要路径之一。目前，泛 XR 领域的代表性场景包括图形渲染、音视频编解码等。图形渲染计算架构已从 CPU 渲染向“CPU+GPU”异构渲染演进，GPU 芯片作为高性能图形渲染加速的主要芯片，能够快速执行大规模渲染任务，CPU 负责控制和复杂渲染场景，两者协同能够高效率、低成本地实现逼真显示效果。目前英伟达、AMD 等 GPU 厂商以及 Maya 等应用软件已经支持异构渲染架构。此外，谷歌、腾讯、华为等国内外云服务厂商均已开始布局音视频编解码芯片（VPU），旨在提高编解码处理效率，提升压缩比例。

泛在协同。泛 XR 场景下，泛在协同是指通过充分利用智能手机、可穿戴设备、物联网设备等分散闲置的计算资源，实现计算任务的分布式处理，提升计算效率，降低算力成本。例如，利用手机 /PC 搭建与 AR 眼镜间的分布式计算架构，AR 眼镜端进行感知交互等高实时性处理，手机 /PC 承担重型计算和图形渲染等任务，两方基于无线传输实现协同运算，解决 AR 眼镜算力不足等问题。又如，在家庭场景中，通过电视大屏、智能机顶盒、移动终端等组合实现健身内容高清显示、用户动作捕捉、智能分析反馈等功能，增强家庭健身体验。

软硬协同。软硬协同是指在计算系统中，通过软件和硬件之间的协同配合和深度优化，以实现更高效、更优化的系统性能。在协同模式上，除了软件定义芯片实现硬件级加速外，还包括强化软件层操作系统、计算框架与底层芯片之间紧密合作。操作系统方面，泛 XR 数字基础设施中的操作系统需具备分布式、安全性等特性，分布式是指结合分布式软总线等技术实现多重功能，即支持泛 XR 多终端设备的统一连接和分布式

管理，结合数据库实现应用程序数据和用户数据的分布式管理，以及终端设备与云端之间的紧密协作等；安全性强调保障设备安全、访问安全、数据隐私安全等，防止恶意攻击和数据泄露。计算框架方面，针对大模型、图形渲染等特定任务，通过编译器、编程语言、加速库、开发框架等之间的深度优化和软硬协同，实现算力高效调度、模型极致加速、开发灵活易用。

3.5 平台双引擎

3.5.1 行业需求

当前，云计算、大数据、人工智能、先进计算等技术融合赋能，将进一步加速虚拟现实应用开发和内容生产模式向工具集成化、接口标准化、开发自动化发展，提升内容创作效率和质量，降低开发成本和时间，促进泛 XR 应用生态创新发展。在此背景下，企业需要采用更灵活、可扩展的软件解决方案，以更好地适应快速变化的市场需求和不断进阶的开发门槛。然而，受限于拟真计算、空间计算、智能计算等技术产业储备，现有应用平台和软件开发工具链碎片化、同质化问题严重，也存在渲染真实性不足、空间定位精度不够、开发环境体验不佳等关键性能挑战，难以满足行业高速发展需求。

3.5.2 发展趋势

面向多元化、差异化的泛 XR 业务场景，平台双引擎强调将“XR+AI”关键技术与核心算法抽象为平台核心能力，构建拟真计算、空间计算、视听流化、智能计算等泛 XR 软件栈，面向企业和开发者提供一站式、组合式、开放式的平台服务模式，实现个性定制、快速部署，促进泛 XR 行业创新发展。

XR 引擎

拟真计算引擎套件可基于 GPU 算力提供渲染资源分配



图 14 泛 XR 软件“XR+AI”双引擎架构

和调度管理，支持实时渲染、离线渲染等多种可视化渲染能力，以及光线追踪、路径追踪、着色、阴影等高级渲染算法，并能兼容主流图形和物理引擎，满足 XR 游戏、数字人系统等不同场景下复杂的拟真渲染效果。此外，借助云端算力加持，可利用人工智能技术实现 DLSS、自适应渲染、智能材质生成等多类型功能，进一步优化渲染流程，丰富渲染结果，提升渲染效率。

空间计算引擎套件面向空间场景中“人、物、场”，提供空间感知、视觉定位、环境理解、三维重建、编辑共享等基础技术能力，实现将数字信息叠加至现实世界，满足开发者构建 AR 地图、AR 导航、AR 互动、多人互动等多类虚实交互应用。例如，AR 地图服务场景，多强调支持自动生产、灵活建图、多精度定位、跨域覆盖等功能，以实现面向城市 - 米级、街区 - 分米级、室内 - 厘米级等不同场景体验需求。

视听流化引擎套件提供音视频编码、高效传输协议等泛 XR 媒体传输技术，结合高带宽低时延网络，将云端高保真 XR 内容实时传输至终端设备中，实现用户即时观看沉浸音视频内容。视听流化引擎与网络确定性技术协同，动态调整传输设置，有效降低用户终端设备要求，同时还具备可灵活接入、多设备兼容等特性，实现用户随时随地获取高速率、高可靠、沉浸式的视听体验。

AI 引擎

智能计算引擎套件。随着人工智能与 XR 技术融合程度日渐加深，智能计算引擎套件基于自然语言理解、计算机视觉、多模态大模型等算法，提供图像识别、语音交互、语义理解、动作捕捉、智能推荐、虚拟助手等智能化功能。同时，智能化能力也在融入拟真渲染、空间计算、视听流化等领域，带来更加智能化、沉浸式和个性化的沉浸体验。

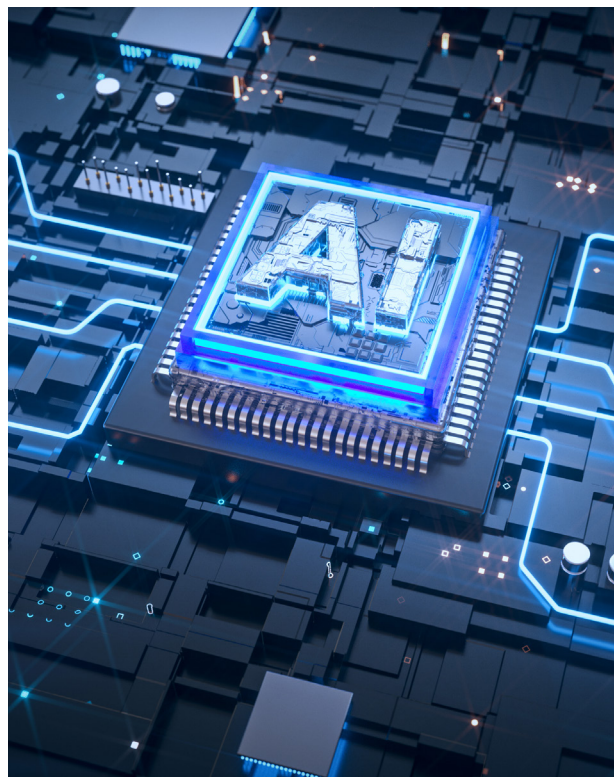
3.5.3 服务模式

一站式服务。针对泛 XR 开发工具链不健全、技术门槛高等问题，通过统一能力平台集成拟真计算、空间计算、视听流化、智能计算四大软件能力套件以及各类管理服务模块，提供一站式、灵活性、可扩展的开发

环境和服务能力，让开发者可根据需求定制开发各类应用解决方案，满足不同行业、不同场景的特定需求，减少跨系统、跨平台的协作成本和开发周期。

组合式服务。主要指在四大能力组件基础上，泛 XR 业务基础设施的软件能力部署往往是组合式的。例如，家庭健身场景，需要借助拟真计算引擎提供真实感的渲染画面，空间计算引擎构建环境场景地图，实现与真实环境和物品之间的虚实交互。此外，通过组合形成的复合型能力，可能催生出新应用和新业态。例如，借助拟真计算和空间计算引擎协同，扩展 MR 交互的新业态；利用拟真计算和智能计算引擎组合，赋能数字人形象拟人、思维类人。

开放式服务。强调按照能力开放、标准兼容的思路，联合产业链上下游伙伴，推进平台业务运营与开发成本由边际向固定转移，构建从技术架构、解决方案到应用生态的良性循环，实现泛 XR 产业生态共建共享。开放式服务强调平台配置标准化接口，实现对主流内容开发工具链低成本打通，满足多端、多屏、多系统的统一接入，同时与行业工作流衔接内嵌，加速产品快速落地应用。



3.6 端边云网协同

3.6.1 行业需求

随着云计算技术的创新发展，网联式云化虚拟现实已成为单机版的重要补充，通过计算处理与显示输出进行一定程度分割，将实时渲染等计算密集、时延敏感型任务通过高带宽低时延网络上传至云端处理，光学显示和场景感知等实时性操作仍由终端实现，通过端云协同分工，借助云端海量计算资源及高速网络传输的优势弥补单机性能和功耗的限制，旨在满足不断进阶的视听沉浸性与内容交互性的同时，降低大众软硬件购置成本，实现用户体验性与经济性的有效平衡。此外，以中心云为代表的集中式处理模式受限于网络带宽等资源影响，难以快速响应泛 XR 终端所产生的海量数据，将算网资源靠近用户侧和数据源部署已成为必然选择。

3.6.2 发展趋势

端边云网协同是指在高带宽低时延网络支持下，通过终端设备、边缘计算节点和云计算平台之间的协同工作，实现更高效、更优质的服务质量和用户体验。

其中，端设备承担着实时交互和感知的任务，包括传感器数据采集、图像处理和用户交互等。边缘计算提供靠近用户侧的计算和存储资源，可以进行实时的数

据处理和分析，减少对云端的依赖。云计算则提供高性能的计算和存储能力，用于处理复杂的计算和大规模数据处理任务。

就近访问是指根据业务类型和需求，在泛 XR 应用中将计算和服务部署到离用户更近的边缘侧，即借助多接入边缘计算（MEC）降低核心网和传输网的拥塞与负载，减缓网络带宽压力，实现以更低通信时延、更高数据处理效率提供更优质的服务。一方面，实时云渲染、VR 游戏、远程协作、高清视频会议等实时性高、交互性强的泛 XR 业务类型，对网络带宽和时延需求严苛，借助 5G MEC 的用户面下沉、软件定义网络等技术，将业务部署从中心云向本地侧、向边缘侧逐渐下沉，按需选择用户数据和算网资源存储位置，可显著降低端到端通信时延，节约传输带宽资源，提升用户交互体验。另一方面，MEC 可按需结合具体业务类型提供更加灵活性的云服务，定制化集成 CPU、GPU、NPU 等多样性算力与高性能存储、高速互联等基础设施能力，配置云渲染、云 AR、数字人等具体功能，满足不同行业、不同场景的个性需求。此外，针对医疗健康、教育培训、政务服务、工业生产等涉及大量敏感信息的行业，对于数据隐私安全和合规处理具有较高要求，通常会选择搭建自有数据中心或使用专用服务器来部署私有云，以实现端侧设备与私有云之间的端云协同部署模式，不仅有利于提升数据访问速度，也能保障数据控制权和安全性。



图 15 基于 MEC 实现泛 XR 业务就近访问⁶

6 参考来源：《迈向智能世界白皮书 2022 云核心网》

灵活组网。面向不同的应用场景和需求，根据用户位置和网络负载等因素，通过灵活配置和组合网络资源，保障不同环境下提供更稳定、更高速的连接。例如，面向家庭场景，通过推进 10G PON 向 50G PON 升级改造，结合高性能 Wi-Fi7 和 FTTH/FTTR 部署，提供大带宽、低时延、高稳定的全光联接，实现高质量的虚拟现实体验。面向行业场景，积极引入 Wi-Fi7、FTTO、网络切片等技术，支持从 GPON、10GPON 到 50GPON 平滑升级，满足办公场所、产业园区等网络流量高并发、高突发等带宽诉求。

跨层优化。按照系统性工程思路，通过跨层级的信息交互和资源协同，实现综合优化，以提高系统整体性能和资源利用率。例如，在网络传输方面，通过将应用层的传输需求和网络状态信息实时反馈到网络层和传输层，借助动态路由选择、拥塞控制、流量调度、QoS 保障等技术，实现网络系统的自适应优化调度，保障数据传输的稳定性。又如，在全景视频串流业务中，采用 FOV 传输技术，需要终端实时上传用户 FOV 预测姿态，以便云端发送相应姿态的视频帧数据，从而降低实时数据传输量，减少网络带宽需求，实现全局最优化。

3.6.3 协同类型

视听流化上云。视听流化上云业务主要面向全景视频直播 / 点播、在线会议等泛 XR 场景，提供多媒体流的编码、传输和交互等功能，实现流畅的业务体验。目前业内多围绕端边云网协同、音视频编码等方向优化视听流化的画面质量和消耗时延。**端边云网协同维度**，多强调利用边缘云的就近访问，提供全景视频拼接、VPU/GPU 硬件编码、分区 / 分层编码、视角预测等功能，并结合网络带宽和终端性能动态调整传输需求、平衡传输质量，网络侧则借助 5G L4S 技术、QoS 算法等改善网络条件，降低传输时延。**音视频编解码维度**，AVC、HEVC 等传统视频编解码技术已在互联网视频领域得到广泛应用，借助高压缩率降低数据传输负载消耗，但对于泛 XR 业务则难以保障传输时延和图像质量，目前业内正在探索利用浅压缩方案，即采用压缩率相对较低的算法，结合块行级并行编解码、编码端稳定码控等技术，通过更少算力和配套设备来实现更低的串流延迟和更高的画质，但代价是带宽消耗增大，即以“带宽换时延”的思路满足时延和画质敏感型应用。

	深压缩（传统 H264/H265）	浅压缩
画质是否有损	有损压缩、肉眼可见	视觉无损
编解码串流时延	>40ms	<3ms
算法复杂度 & 功耗	高	低
压缩率	1/200~1/350	1/10~1/40
编解码硬件	ASIC	FPGA/ASIC

表 3 深压缩和浅压缩参数对比（4K@60FPS 为例）

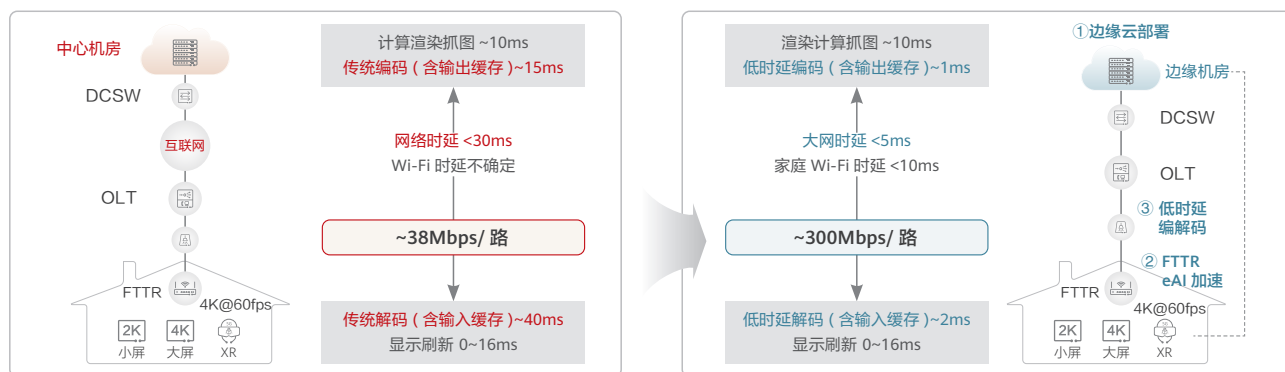


图 16 采用边缘计算和浅压缩方案（右）获取低时延体验

借助端边云网协同的业务架构，视听流化业务正在向超高清、交互性方向升级，实现单目 4K 终端支持 12K 全景视频直播，引入 6DoF 交互、虚拟化身同频对话等新功能，提升实时互动和社交体验。

拟真计算上云。主要是指借助 5G/5G-A、Wi-Fi7、千兆光网等高带宽网络导入云渲染能力，通过端云异步渲染将串行任务解耦为并行处理，终端侧主要承载实时交互类任务，并结合动作姿态预测、异步时间扭曲、畸变补偿渲染等技术，保障在较低算力消耗前提下，提升最终渲染画面的连贯性，有效降低硬件体验门槛；同时，通过利用云端海量分布式存算资源，引入复杂高级的渲染功能，实时生成更加逼真的画质。此外，在端边云网协同架构中，将实时云渲染任务卸载至边缘计算节点协同处理，可将渲染时延降低至 50ms 量级，解决传统云渲染方案中高延迟、高负载等问题。具体部署时，边缘云可根据应用场景和用户需求提供灵活可定制的渲染解决方案，支持 GPU 加速渲染、自适应渲染、注视点渲染、分布式渲染等功能；中心云主要处理非时延敏感型、计算密集型任务，如利用深度学习等技术辅助图像生成和渲染优化，实现更高分辨率的渲染结果。

空间计算上云。针对空间计算高算力、大并发等需求，利用端边云网协同部署，提供针对超大规模并发场景的支持，降低端侧算力与能耗需求。在协同模式上，云化的空间计算服务主要利用云端的算力支持，匹配网络的确定性保障，其中，边缘侧主要部署图像检索、视觉定位等算法，结合终端特征采集和基站粗定位等信息，提供精准空间定位等实时响应功能；云侧结合三维重建、特征点匹配、环境语义理解等技术实现三

维点云地图重建、存储和更新，并通过统一开放接口支持多类型终端调用，实现可共享、可持续、可进化、易理解的时空体验。

智能计算上云。伴随智能算力的需求激增，以智能计算为核心的系统化创新将成为算力产业升级的主航道。采用端边云网协同架构，借助云化服务模式，整合云计算平台、边缘计算节点、终端算力组建多层次、多样性、分布式的智能算力资源池，通过云原生、软件定义、网络编排等技术完成算网资源的统一调度、弹性伸缩和按需服务，实现“一点接入、即取即用”的智能算力服务能力。在具体部署中，边缘计算节点，针对智能推理和数据存储等特定场景的特定任务，采用智能小站布局模式，配置软硬件一体化交付、平台服务统一化管理的智能一体机，实现数据本地存储，具备快速部署、简单运维等优势。中心云节点，部署高性能的智能算力集群，用于处理大规模的模型训练、数据分析等任务。针对大模型等海量数据、巨量模型的计算任务，考虑到单计算中心集群的指数级增长成本，探索借助高带宽网络协同多计算中心的分布式资源，打造跨云协同、跨域部署的智能计算集群，成为突破算力竞争的重要路径。其中，算力效率和通信时延将是跨云协同需要攻克的两大难题，前者多采用分布式调度、软硬协同、模型分割、访存优化、数据并行等技术，提升云上分布式计算效率；后者是限制当前云端承载百亿级规模以上大模型处理任务的关键，尤其是当智算中心之间的出口带宽达到百 G 甚至 T 级，进一步利用 5G-A、Wi-Fi7、NG-OTN、OXC、SRv6 等先进技术，提升网络带宽和带宽利用率，打造智能无损的网络能力，则是满足大模型训练和推理业务的重点。

■ 3.7 数字身份体系

3.7.1 行业需求

数字身份的应用生态包括数字身份的签发方、验证方、所有方和验证需求方，各方通过一系列软硬件设备进行交互、协作，共同组成了数字身份体系。其中签发方是创建和分发数字身份的机构或实体；验证方负责验证数字身份信息的准确性；所有方是指拥有数字身份的主体；验证需求方是对用户身份验证提出需求的实体，一般为各类应用提供方。

为满足数字身份的发展需求，数字身份体系的构建模式在不断发展变化，逐渐形成了多种数字身份体系构建模式。对于不同的模式，数字身份体系生态各方的关系有所不同。根据数字身份签发方和验证需求方的关系分类，数字身份体系有两大类模式：

身份专用：数字身份签发方和验证需求方两种角色合一，均为应用提供方。应用提供方各自为其用户签发专用的数字身份，每种数字身份仅在应用内使用，并在应用内验证。

身份通用：这种模式的数字身份签发方和验证需求方两种角色分离，用户的数字身份由应用之外的第三方签发，用户可以同时在多个应用内使用通用的数字身份。

根据数字身份的验证方式不同，身份通用类模式分为两类：

身份集中验证：用户的数字身份验证集中在数字身份签发方完成，IDP（Identity Provider，身份提供方）同时承担数字身份签发方和验证方的角色。

身份分布验证：数字身份签发方仅负责签发数字身份并提供数字身份真实性验证凭证，无需提供数字身份验证功能；用户自主保存数字身份属性信息和凭证；数字身份验证需求方根据用户自行出示的凭证即可对用户身份真实性进行验证。用户数字身份属性信息和凭证被保存用户侧的安全设备中，通常在用户的手机或 SIM 卡中。

随着泛 XR 应用的发展，用户可以沉浸式的体验在其中开展社会、经济、文化等活动并在其中创造价值。目前各个应用场景都是独立发展，用户在各场景中的身份是多样化、碎片化的，相对独立、不能互通互信。建立统一的数字身份体系，有助于实现数字身份在各应用之间互信互认，满足人们在虚拟空间任意遨游的需求。可信的数字身份是维护虚拟空间安全有序的基础。丰富的泛 XR 应用通过逼真的数字人等多种手段带给人们沉浸式的体验，这种逼真的虚拟场景一方面会使人更加难以辨别身份真伪，另一方面也可能产生



新型的行为上的犯罪。倘若缺失可信的数字身份，则可能会引发社会治理的安全隐患。建立数字身份体系，关联现实世界和虚拟世界的责任关系，使虚拟世界的数字人受到法律和道德行为约束，可以有力地支撑虚拟世界的社会治理。除了自由活动的数字人，数字物也是虚拟空间必不可少的组成部分。建立数字身份体系，通过权益管理能力，保护数字物所有者的权益，可大力促进泛 XR 应用的创新发展。

3.7.2 发展趋势

泛 XR 应用数字身份体系的构建涵盖虚拟世界的数字人和数字物，并兼顾虚拟世界与现实世界之间的映射与联系。泛 XR 应用的虚拟空间需要与现实空间一样安全有序，虚拟空间中的数字人言行需要遵循秩序规则约束，在现实空间有实体对其负责；虚拟空间物品具有更强的资产属性，需要与现实空间的经济密切关联。虚实融合的特征，使数字身份的承载和内涵进一步延伸。泛 XR 应用数字身份体系为虚拟空间的社会治理和

持续发展提供了支撑，是在虚拟空间开展可信社交等社会活动的数字基础设施。

泛 XR 应用数字身份体系由数字身份服务方、泛 XR 应用、数字身份主体和权威管理机构共同组成。

泛 XR 应用数字身份服务方为泛 XR 应用提供数字人和数字物的身份服务，实现虚拟世界与现实世界身份的关联，并确保现实世界身份的准确性。

泛 XR 应用是数字人参与各类社会活动的虚拟空间，是数字物实现价值的场所，遵循数字身份体系基本规则，使用数字身份服务方提供的能力，确保数字人和数字物安全可信，从而实现自身的安全可信。

数字身份主体是数字人和数字物，在虚拟空间中展示或互动，是构成应用场景的基本元素。

权威管理机构负责现实世界的身份管理，为数字身份服务方提供真实身份核验能力。

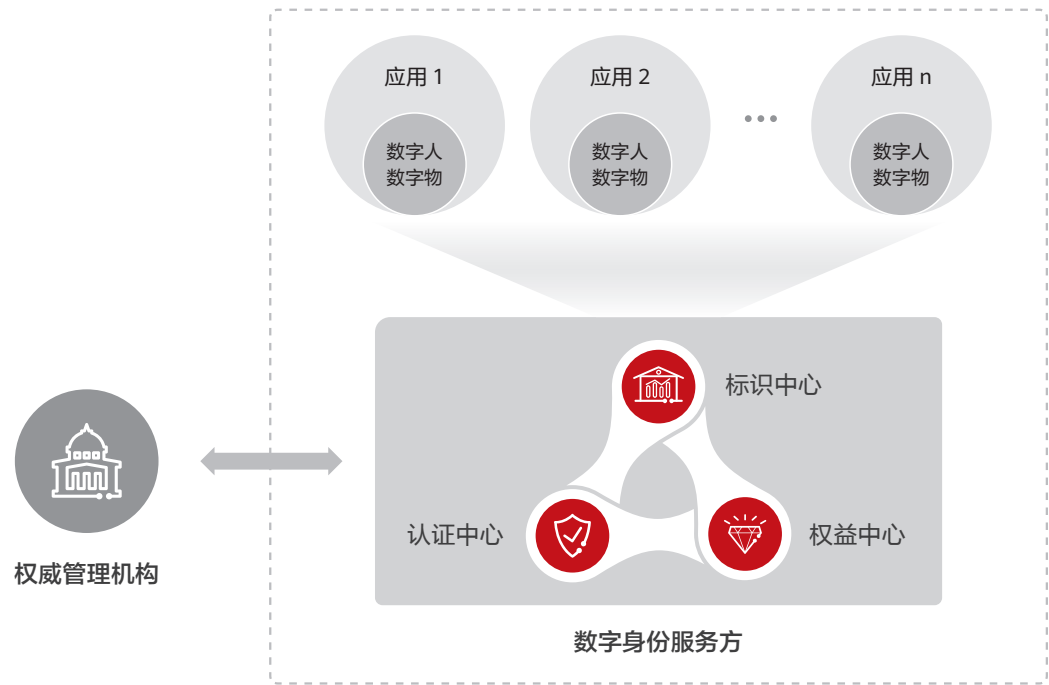


图 17 泛 XR 数字身份体系总体架构



第四章

泛 XR 数字基础设施 助力行业创新实践

4.1 工业实践 - 运维巡检

行业背景

在天然气场站生产中，为保障各类设备正常运转，必须定期按照规定路线和工作标准开展现场巡检工作。传统的巡检方式大多依赖人工填写工作表，仅能满足记录要求，存在无法有效控制巡检质量、无法即时获取设备状态信息、不支持远程作业指导等问题，难以较好地适应信息化环境下天然气场站巡检工作的需求。

解决方案

本方案面向油气田公司，借助云边端协同的 AR 技术架构，实现系统算力分层布局，能够有效解决 AR 眼镜单机性能不足和用户体验之间的矛盾，同时满足了企业对数据安全保护的关键需求。在具体实践中，充分发挥端边云 AR 分层协同架构优势，通过 5G 和智能边缘技术将算力重新分配，通过云侧实时性要求高的服务下沉，终端侧算力要求高的服务上移，实现：一是厘米级精度视觉定位，即在不部署额外设备的情况下，构建低成本的高精度定位方案，可推广用于路径导航、空间锚定、人员定位、电力围栏等场景；二是

秒级快速 3D 物体定位追踪，利用 AI 特征对抗弱纹理等技术输出物体在世界坐标系下的 6DoF 位姿，实现物体在全局地图的定位和追踪，可用于设备状态呈现、设备维修等场景；三是稳定可靠的实时 3D 空间远程标注，综合利用高效的 AR 物体平面检测、空间碰撞检测算法以及音视频通信等技术，可极大降低现场巡检和维修人员门槛，提高巡检效率。

效果价值

本案例通过端边云网协同架构拓展了传统 AR 单机系统的应用规模限制，协助油气田行业员工更加准确高效地完成巡检任务，提升巡检效率，及时发现设备问题，避免安全事故。目前，已在中国石油西南油气田公司川中北部采气管理处北 2 集气站上线，应用情况良好，使用系统后整体巡检效率提升 20%，现场巡检班组人员可由 3 人减为 2 人，减轻作业员工的工作量，提升了员工的技能。该方案在推动油气田行业数智化转型方面具有引领示范作用，未来可进一步探索推广应用到其他领域，如电力、矿山、公共事业等，以释放更大的潜在价值。

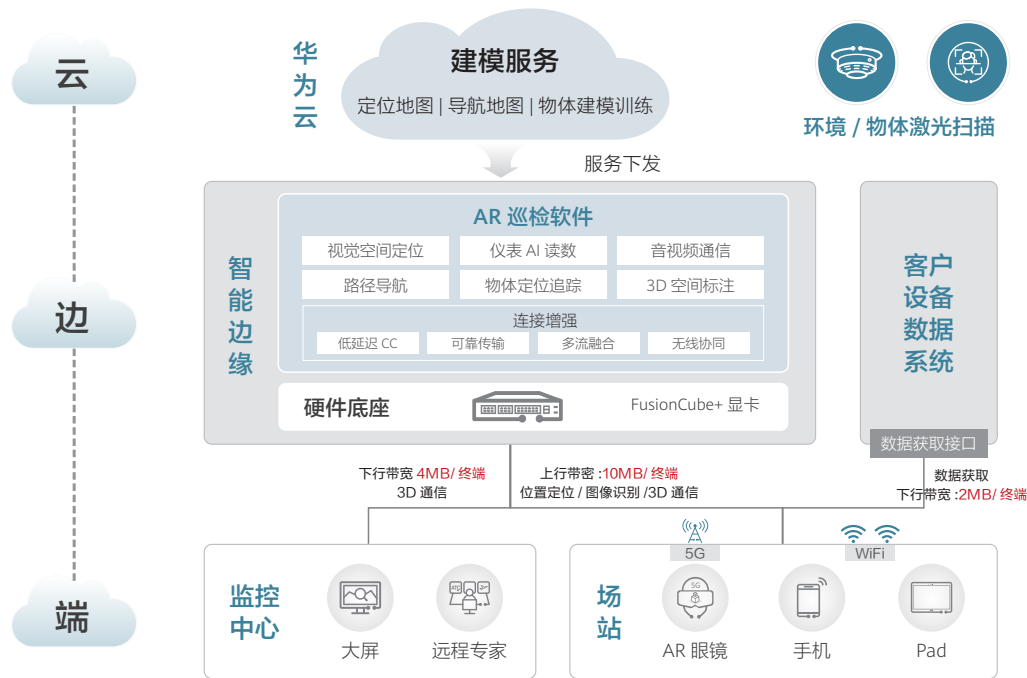


图 18 华为 AR 油气智慧巡检系统解决方案架构图

4.2 教育实践 - 虚拟课堂

行业背景

XR 因其具备沉浸感、交互性和构想性的优势，可应用于普教物化生实验教学、高职高教的实训教学等虚拟课堂场景，有助于学生提高认知效率、加深理解记忆、熟悉作业环境和熟练作业技能。目前，虚拟课堂建设项目多采用功能教室的建设方式，存在物理空间和设施难以共享、设备利用率低、系统难以扩展等客观问题，导致规模推广面临挑战。

解决方案

虚拟课堂项目采用“云-边-网-端”分层协同部署方案，边缘侧部署渲染算力资源池解决云端高额带宽成本，基于鲲鹏计算底座构建图形计算技术栈能力，支撑云渲染平台发挥算力集中共享优势；网络侧通过双 5G 构建光电网络，支持学校所有教学区域的虚拟课堂泛

在接入能力，满足高并发场景。该方面集中统筹建设虚拟教学算力，打破传统消费级功能教室的专用空间和设备限制，让老师根据教学科目选择合适教学终端，实现课件内容和计算平台解耦，教学内容和教学终端灵活组合，形成覆盖全校范围的随地接入服务能力，推动虚拟仿真教学的规模化应用与常态化开展，把虚拟仿真教学带入每一间教室的愿景。

实践成效

从实现效果上，XR 虚拟课堂项目可支撑跨二级学院虚拟仿真教学，实现多个专业虚拟仿真实训课程分时共享，带来单班 45 人集中并发高带宽（4.5Gbps）、低时延（5-10ms）云渲染良好教学体验；从建设成本上，可为学校节省 40% 基础设施重复建设投资；从内容开发上，支持虚拟课堂内容开发创作的开放接入和持续开发，避免课件兼容性和持续演进等问题。

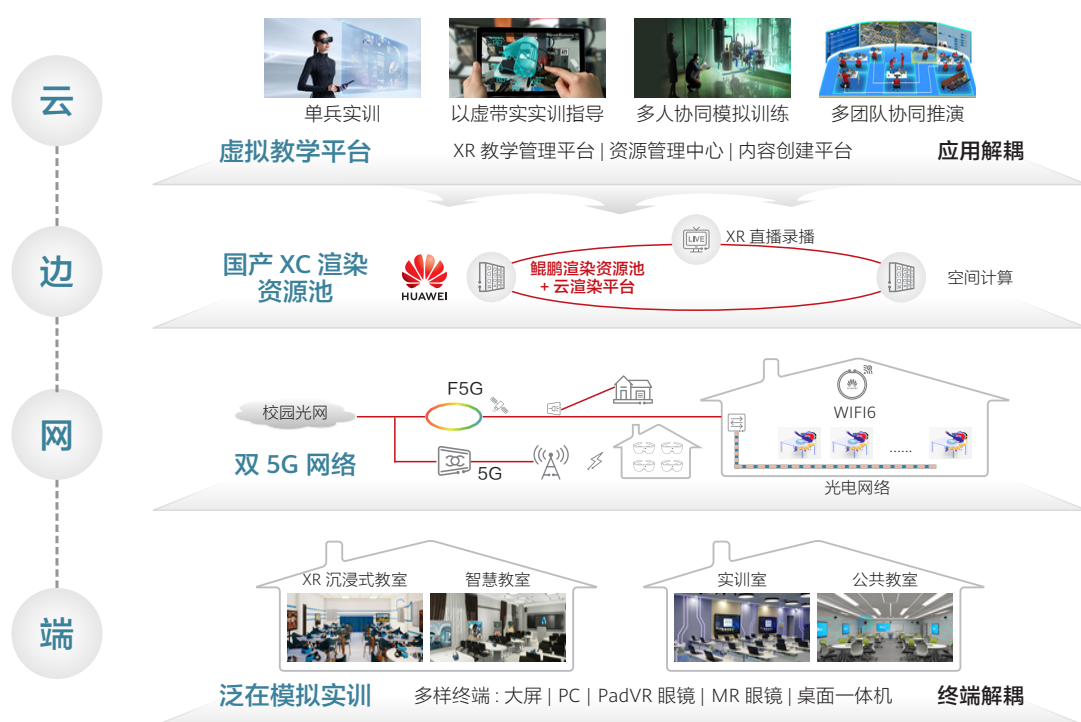


图 19 华为 XR 虚拟课堂“云-边-网-端”协同部署方案示意图

4.3 智慧家庭 -XR 运动健身

行业背景

居家运动健身成为趋势，越来越多的人群在家使用线上方式进行锻炼。传统线下健身存在健身方式单调，高质量内容匮乏；受时间和空间限制，实际出勤率偏低，缺乏趣味性，导致难以长期坚持等问题。将 XR 新技术引入运动健身场景，可以帮助提高业务趣味性和科学性。例如，通过佩戴一体化 VR 头盔进行线上健身可以提供一定的沉浸感，但也面临运动过程中舒适度较低，难以及时擦汗；在快速移动中可能出现黑屏或卡顿问题，导致眩晕感；一体化 VR 头盔业务普及率不高，发展规模受限等问题，影响健身体验。

解决方案

基于云网边端协同架构，采用“FTTR 高质量网络 + 云 XR 服务 + 智能机顶盒 + 大屏电视”体系，构建居

家运动健身解决方案。通过 WiFi-7 提供无线超大带宽（80M~800Mbps）、超低时延（单向时延 <70ms，双向时延 <130ms）、高速率全覆盖、无缝快速切换等关键能力。IPTV over WiFi 技术，实现 4K/8K 超高清视频稳定可靠承载；视频轻压缩编码技术，通过带宽换时延，满足强交互类业务需求，同时降低端侧设备算力要求和功耗，有利于 XR 运动健身业务规模推广。

实践成效

基于云网端协同，将 XR 先进技术融入家庭业务，为用户提供沉浸式健身体验。基于家庭广泛存在的大屏电视与机顶盒设备，通过 FTTR 高速网络连接到云平台，提供丰富内容应用、AI 动作实时指导、多人音视频以及动作交互等，提高业务趣味性。通过云助端方案，简化整体方案部署难度，降低硬件设备算力和功耗需求，满足广大家庭规模化普及需求，惠及广大普通用户。



图 20 华为 XR 运动健身方案架构示意图

4.4 娱乐实践 - 多人互动

行业背景

《消失的法则》等项目热度出圈，引发业界对于多人大空间的 VR 数智竞技类项目的关注度。当前，这一领域已进入商用阶段，但面临一些技术挑战。例如，项目体验需要用户配戴 VR 设备并在一定空间内活动，然而长时间佩戴可能引发用户不适，导致游戏体验大幅下滑；现有 VR 轻量设备的性能不足也难以支持多用户同时进行高质量、高帧率的体验，易造成画面延迟、卡顿等问题。

解决方案

利用端云网协同架构，形成多人互动体验的解决方案。在网络侧，依托 5G-A 提供万兆体验能力，将网络部

署耗时大幅缩减；并结合 Layered QoS 技术保障视频帧的完整性传输，实现基于轻量级云端方案的本地无损体验，摆脱了线缆对体验者的束缚。在云平台侧，将渲染算力上移至云端，提供高性能云渲染技术，释放了用户在多人大空间体验过程中的负重，让体验更沉浸、交互更自由。

实践成效

通过打通端 - 管 - 云 - 应用，为多人大空间 VR 应用提供了除背包方案之外的新选择，节省了硬件投资，实现更沉浸用户体验。该方案具备复制性，可扩展性地应用到体育竞技、文旅沉浸空间、虚拟课堂、工业检测等众多场景，促进 XR 工业级、消费级应用的推广普及。



来源：咪咕

图 21 咪咕 XR 数智竞技项目架构示意图

■ 4.5 媒体实践 - 车载媒体

行业背景

随着汽车智能化水平的逐渐提升，消费者对于智能座舱的交互需求愈发强烈。在车载移动场景下，用户通过佩戴 XR 设备可畅享近眼大屏 4K/8K 超清娱乐体验，但仍面临车载娱乐晕动问题和移动网络时延考验等问题。

解决方案

华为公司与小象智能合作，将 XR 设备融入车载智能座舱，实现车载 XR 娱乐新体验。一是，利用端、云、网的协调联动架构，通过车载联网终端 TBOX、用户级智能终端、XR 终端连接，充分利用 5G-A 确定性网络能力，接入高性能云端渲染能力，保障 XR 设备的 MTP 时延，实现车载移动场景下，基于 XR 设备的 4K/8K 超高清沉浸娱乐体验；二是，加载双定位算法、顺滑和预测算法等动态神经平衡算法集，实现车载硬件、场景库、先进算法之间的软硬协同，达到“模态

感知一致性”的要求，极大程度降低乘客的晕动感受，实现舒适畅快的车载娱乐体验。三是，完成包括硬件厂商、软件开发商、内容提供商等多个环节的产业链整合，拓展丰富的娱乐场景与方式，给业界树立了可供参考和复制的标杆典范。

实践成效

一方面，案例实现 4K/8K 超清娱乐体验，通过场景营造和内容导入，为用户带来更加丰富多彩的 XR 沉浸式体验，结合视觉、听觉、触觉等多重感官体验，减轻用户在旅途中可能出现的晕动症状，使旅程更加舒适愉悦。另一方面，车载 XR 娱乐有望带动云渲染服务、车载 5G-A 通信管道、XR 应用服务的一体化建设，促进车载无线通讯流量使用增加、车载 5G TBOX 搭载量上升、城市无线通信基站及设备组建、车载沉浸式出行领域相关评价检测设施建设等，全面加速车载 XR 产业链发展。



4.6 文旅实践 - 沉浸研游

行业背景

沉浸研游是将教育元素融入旅游体验，通过虚拟现实技术和实地考察学习相结合，为游客提供更丰富、更深入的文化历史体验，以及更具教育性、趣味性的学习经历，进一步激发学习兴趣和动力。

解决方案

本方案以福建省福州市严复故里为实施地，利用泛 XR 技术打造“行前 VR 实景云游 + 行中 AR 互动体验 + 行后数字展馆”解决方案。行前借助 VR 云游，在手机上云畅游严复故里；行中运用“AR+MR”的技术，从虚实两端对传统研游方式进行创新，以 AR 任务的形式驱动学生学习，带来沉浸式、开放性的研游体验；

行后运用数字展馆，通过记录学生研游过程数据，收录和展示学生研游过程中后的进程及成果。实施部署采用端边云网协同架构，能够充分释放云端高真实感渲染、高精度 AR 地图构建、大场景厘米级空间定位、人工智能场景理解等核心技术能力，并借助福元宇宙城市基础设施平台，推进多重技术的融合创新。

实践成效

沉浸研游方案具备可复制可推广性，不仅有助于促进文化交流和传播，提升学生的综合素质，培养创新精神和实践技能，还能提供新的商业模式，促进虚拟现实设备、软件开发、内容制作等相关产业发展，促进经济增长和就业增加。



图 22 华为沉浸研游项目解决方案架构示意图

4.7 文旅实践 - XR 大空间

行业背景

当前国内文化产业数字化发展过程中存在景区的数字孪生资源价值待挖掘、当地文化 IP 故事呈现方式单一、情感交互类体验产品不足等痛点，文化产业数字化升级还需打造一批新空间、新场景、新业态、新模式，XR 大空间既是对网络、数字孪生、渲染、扩展现实等跨领域技术及优质 IP/ 剧本内容的高度融合，以数字空间与虚拟空间融合呈现的方式为观众带来身临其境的全新交互体验，有效推动文化产业提档升级。

解决方案

XR 大空间整体解决方案以能力平台为基础、热门场地为依托、热点 IP 为纽带，协同行业生态合作伙伴优势，拉通内容稳定供给、赋能线下空间的新消费场景。其中，大空间能力平台的核心能力主要体现在以下三个方面：

XR 内容创作上，针对过往数字内容制作时间及人力成本较高的问题，融合 AIGC 能力，打造了内容生产能力基座，整体涵盖数据采集管线、三大智能生产管线、数字资产库等能力，提供从“人、物、场”数据采集、数字内容重建、数字资产库管理等全栈式 XR 数字内容创作支持，综合效率较传统创作模式提升 60%。

XR 内容渲染上，针对终端渲染算力羸弱问题，以分布式实时云渲染技术为核心，融合算网服务能力，打造了元宇宙内容运行能力基座，通过提供分布式实时云渲染平台及配套的开发套件，综合提升 XR 数字内容渲染效率超 50%，有助于降低终端设备性能要求，增强终端设备便携性。

XR 交互体验上，一是采用 ArUco 码 + 纹理增强的场地部署方式，最大搭建 XR 大空间达 3000 平方米，并具备高水平全局定位准确度；二是采用 Nolo、Pico 和 HTC 等高性能终端设备，实现对用户动作的全面追；



图 23 咪咕 XR 大空间整体解决方案



三是针对云端 4K/8K 级数字内容在多台终端设备间传输的超低时延、高并发、高抗干扰性网络要求，突破 Wifi 部署组网密度限制，进一步部署 5G-A XR 专属网络方案，可为 1000 平方米场地提供超过 60 路用户并发能力，同时支持基站侧部署云渲染服务器，满足用户体验低时延要求。

实践成效

一是创新文化 IP 内容推广方式，借助 XR 大空间形式以更加生动形象、富有情感的交互方式向大众呈现，

既丰富了文旅景区和博物馆等展览地区的文化内涵，又能吸引更多年轻消费者关注参与。二是革新室内文娱业态及运营模式。XR 大空间支持观众随时入场，通过精细的时间管理和空间利用，实现更高效的客流承载能力、场地运营和盈利潜力。以《琴岛奇遇》项目为例，体验全程仅半小时，客单价超过 70 元，每组 2-6 人，每 20 分钟进行场次轮换，单个 400 平方米场地月均可接待超过三千名游客。此外，单一空间可采用“巡回展览模式”不断更换 XR 内容，持续吸引用户，实现稳定的盈利模式和良性内容生态循环发展，推动数字文化产业整体提升。

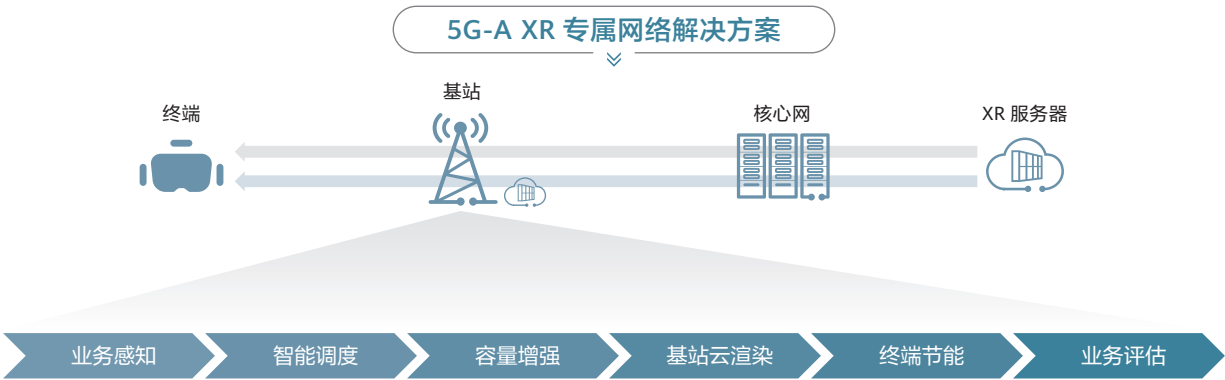


图 24 5G-A XR 专属网络方案

■ 4.8 商业实践 - AR 营销

行业背景

随着信息技术的快速升级，借助数字技术加速营销模式创新已成为重要的探索方向。其中，AR 营销作为一种利用增强现实技术提升营销活动效果的新型方式，与传统广告营销形式有所不同，借助科技感的视效、高效便捷的功能、创新的表达理念，更易获得年轻群体认可，助力传统文旅经济突破时空壁垒、触达受众成本、受众体验转化率等易受限的要素，加速实现数智化转型。"数游溪村"项目将现场 AR 体验和 AR 营销相结合，已形成产品化能力和持续性产品体验，并经过华为开发者大会 2023 的有效终端用户的验证，能够赋能文旅文博、数字招商、数字园区、数字商圈、数字展会、数字社区等领域营销创新。

解决方案

采用实景三维重建和 AR 地图构建等模式，通过端云协同，端侧通过 H5 页面呈现区域识别、线路规划、POI 搜索、AR 内容制作、AR 远程部署测试等功能，并借助云侧渲染实现实景三维溪村的体验，并提供用户实地 AR 步行导航、AR 广告、AR 打卡测试等系列营销功能。本方案的先进性主要体现在三方面：一是高清真实的实景三维重建能力，借助自研显示辐射场技术，实现建筑纹理真实还原和几何构造清晰展现。二是自动化 AR 地图生产线，利用全景和激光采集方式协同，实现高价值、城市级、地标级建筑物多精度

覆盖及 AR 地图快速更新。三是精准 AR 地图运行服务，基于 AR 地图运行服务的空间计算能力，解决四季不同、白天夜晚不同、重复纹理、远景的定位不准等难题，实现跨域连续精准覆盖。

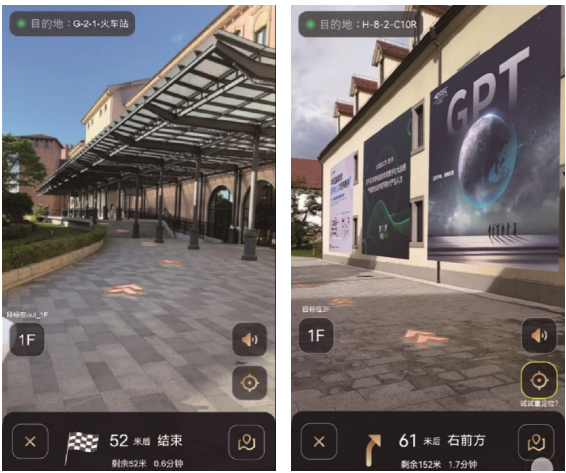


图 23 华为“AR 导航 +AR 营销”服务

实践成效

AR 营销打破了文旅、商圈、展会、园区等传统的营销推广模式，更有助于提升社交媒体影响力，增强用户的注意力和个性化体验。“数游溪村”项目覆盖溪村 729 万平方米，AR 步行导航覆盖室内外，首次发布获得 10 家客户投放 AR 数字空间广告，3 天内活跃使用人次超六千次。



第五章

未来倡议

展望未来，泛 XR 作为发展新质生产力的重要组成部分，夯实泛 XR 数字基础设施，强化行业融合应用，将在推动用户体验升级、促进业务模式创新、赋能企业提质增效等方面发挥重要作用，有助于激发行业数字化转型的新活力，满足人民群众对美好生活的新需要。

站在新起点，我们倡议产业链各方携手合作，共同推进泛 XR 数字基础设施建设与升级，共同构建泛 XR 创新发展生态，共同创造美好新未来。

编制组成员

周小红	华为 ICT 新机会孵化部
罗云峰	华为 ICT 新机会孵化部
杨世海	华为 ICT 新机会孵化部
惠军锐	华为 ICT 新机会孵化部
冀煜康	华为 ICT 新机会孵化部
周 华	华为 ICT 新机会孵化部
李大为	华为 ICT 新机会孵化部
邵 刚	华为战略研究院
王志刚	华为战略研究院
赵晓东	华为 iLab 实验室
黄 茵	华为 iLab 实验室
包盛花	华为无线应用场景实验室
朱家悦	华为无线应用场景实验室
贺甲辉	华为云核营销工程部
姜明哲	华为服务营销工程部
张 雯	华为云 aPaaS 服务产品部
许钟生	华为数据存储营销工程部
舒 帆	华为数据存储营销工程部

李 征	中国移动通信研究院
乐祖晖	中国移动通信研究院
罗 烽	中国移动通信研究院
张慧媛	中国移动通信研究院
刘婧雯	中国移动通信研究院
殷 舒	中国移动通信研究院
李一萌	中国移动通信研究院

陈 磊	中国信息通信研究院信息化与工业化融合研究所
陈 曦	中国信息通信研究院信息化与工业化融合研究所
丛瑛瑛	中国信息通信研究院信息化与工业化融合研究所
翟 云	中国信息通信研究院信息化与工业化融合研究所
向 潇	中国信息通信研究院信息化与工业化融合研究所
索文静	中国信息通信研究院信息化与工业化融合研究所
许闻苑	中国信息通信研究院信息化与工业化融合研究所

毕 蕾	咪咕文化科技有限公司
陈春明	咪咕文化科技有限公司
盖 孟	北京微视威信息科技有限公司
汪 磊	北京飞天云动科技有限公司
周世晟	北京飞天云动科技有限公司
裴 熬	北京飞天云动科技有限公司
钱代友	杭州趣看科技有限公司
贺 波	杭州趣看科技有限公司
赵 鹏	寰宇信任（北京）技术有限公司
李都伊	寰宇信任（北京）技术有限公司
曹 俊	南京睿悦信息技术有限公司
王文远	南京睿悦信息技术有限公司
赵 蕾	万有引力（宁波）有限公司

华为技术有限公司

深圳市龙岗区坂田华为基地
电话: (0755) 28780808
邮编: 518129
www.huawei.com

中国移动通信研究院

北京市西城区宣武门西大街32号
邮编: 100032
cmri.chinamobile.com

虚拟现实与元宇宙产业联盟XRMA

电话: (010) 62304596
邮箱: congyingying@caict.ac.cn

其他参编单位（排名不分先后）

北京微视威信息科技有限公司
北京飞天云动科技有限公司
杭州趣看科技有限公司
寰宇信任(北京)技术有限公司
咪咕文化科技有限公司
南京睿悦信息技术有限公司
万有引力（宁波）有限公司

商标声明

 是华为技术有限公司的商标或者注册商标。

 是中国移动通信研究院的商标或者注册商标。

 虚拟现实与元宇宙产业联盟 (XRMA) 是虚拟现实与元宇宙产业联盟的商标或者注册商标。

在本手册中以及本手册描述的产品中，出现的其他商标、产品名称、服务名称以及公司名称，由其各自的所有人拥有。

免责声明

本文档可能含有预测信息，包括但不限于有关未来的财务、运营、产品系列、新技术等信息。由于实践中存在很多不确定因素，可能导致实际结果与预测信息有很大的差别。因此，本文档信息仅供参考，不构成任何要约或承诺，华为、中国移动通信研究院、虚拟现实与元宇宙产业联盟不对您在本文档基础上做出的任何行为承担责任，也可能不经通知修改上述信息，恕不另行通知。

版权所有 © 华为技术有限公司 © 中国移动通信研究院 © 虚拟现实与元宇宙产业联盟。保留一切权利。

非经华为技术有限公司、中国移动通信研究院、虚拟现实与元宇宙产业联盟书面同意，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本手册内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。