



中移智库



中国移动 研究院
China Mobile CMRI



6G 物联网未来应用场景及 能力白皮书

(2023 年)

中国移动通信研究院

前 言

本白皮书通过分析物联网的发展状况、面临的挑战、6G 物联网的特点和研究现状，进而提出 6G 物联网的发展愿景。并通过分析覆盖生活、生产和社会三大类应用领域的 6G 物联网十二个典型应用场景，提炼核心能力要求，希望能够为产业在研究和推进 6G 物联网技术及应用时提供参考。

本白皮书的版权归中国移动所有，未经授权，任何单位或个人不得复制或拷贝本建议之部分或全部内容。

目 录

1. 6G 物联网发展概述	2
1.1 物联网的发展现状及挑战	2
1.2 6G 物联网的概念和特点	3
1.3 6G 物联网的发展愿景	5
2. 6G 物联网未来应用场景	6
2.1 智享生活	7
2.1.1 智慧健康	7
2.1.2 智慧家庭	8
2.1.3 智慧教育	9
2.1.4 智慧文旅	10
2.2 智赋生产	11
2.2.1 智慧工业	11
2.2.2 智慧建造	11
2.2.3 智慧能源	12
2.2.4 智慧农牧	13
2.3 智焕社会	14
2.3.1 智慧城市	14
2.3.2 智慧交通	15
2.3.3 智慧生态	16
2.3.4 智慧零售	17
3. 6G 物联网能力要求	18
3.1 6G 物联网能力维度	18
3.2 6G 物联网能力要求	20
3.2.1 感知	20
3.2.2 通信	21
3.2.3 算力	21
3.2.4 平台	23
3.2.5 智能	23
3.2.6 应用	24
3.2.7 管理	25
3.2.8 安全	26
4. 总结与展望	26
缩略语列表	28
参考文献	29
参编单位及人员	33

1. 6G 物联网发展概述

1.1 物联网的发展现状及挑战

物联网(Internet of Things, IoT)是通过感知设备,按照约定协议,连接物、人、系统和信息资源,实现对物理和虚拟世界的信息进行处理并作出反应的智能服务系统^[1]。随着社会与经济的发展,生活、生产和社会各个领域对物联网的需求逐渐加大,物联网已经广泛服务于国计民生。

迄今,移动通信技术不断演进,移动运营商提供的蜂窝网络具备广阔的覆盖和高质量的服务,成为了社会经济数字化和信息化水平发展的重要推手,并为物联网奠定了坚实的连接基础。4G 提供的高数据速率、低延迟、高可靠性和广泛可用性极大的支持了可穿戴设备、视频监控、工厂 AGV 小车等物联网应用。以 Cat1、Cat4 为代表的移动物联网技术为终端提供低成本连接能力,降低了物联网的实施成本,支持智能抄表、共享单车、环境监测等场景。随着 5G 时代的到来,物联网也迎来了巨大的发展机遇。5G 主要面向 mMTC, uRLLC 和 eMBB 三大类场景,在窄带物联网广覆盖不断完善的基础上,5G 物联网进一步演进了 RedCap 等物联能力,更加突出了对大连接、高可靠、低时延等特性的支持。由此,物联网实现了更大连接、更广覆盖和更优体验,在家居、工业、能源、交通、城市管理等领域的应用初见成效,这些应用便利了人们的生活,提高了生活质量,降低了生产成本,提高了管理智能化和自动化程度,将万物互联带入了生产、生活和社会的方方面面。

随着生产生活不断向数字化和智能化迈进,更多的物有了联网的需求,并衍生出更多的应用场景,这也为当下的物联网带来了诸多挑战。**在网络吞吐量方面**,随着联网设备的增多和高带宽业务的普及,全网数据吞吐量将呈现爆发式增长。据预测^[2],到 2030 年,网络吞吐量将达到 5000EB/月,物联网终端规模将达到 5000 亿,为现有网络承载能力带来了挑战。**在传输速率方面**,随着全息成像等需要实时传输大容量数据的物联网应用的增多,当前物联网的速率需要进一步提高。例如,实时精细的 3D 影像甚至需要 1Tb/s 的传输速率支持^[3]。**在通信时延方面**,5G 已经将时延降低至毫秒级,在远程手术和远程工业控制等极致场景下,

可能要求百微秒级的传输延迟，部分场景需要低于 50 微秒^[4]。在网络覆盖方面，未来 6G 物联网有望面向高空、远海以及地下深处提供连接，并克服由于多普勒效应带来的通信信号失真影响。在功耗方面，许多物联网设备分布在广泛的地理区域，且需要长时间运行，这给电池寿命和充电基础设施带来了挑战，未来物联网的发展需要注重能源效率和可持续性。在信息安全方面，物联网数据易受到网络攻击，导致数据泄露和未经授权的访问等严重后果，信息安全日益重要。在能力融合方面，现有的很多物联网能力是相互独立的，难以实现不同能力间的深度融合。例如，很多物联网终端只具备基础感知能力，缺少网络传输或计算能力，导致无法应用于更丰富的场景中。

综上所述，为满足未来应用的需求，物联网技术将持续演进，确保各类业务的高效、安全和可持续发展。

1.2 6G 物联网的概念和特点

6G 物联网是以 6G 网络为通信基础设施的物联网。6G 为物联网提供超高速、低时延、多连接、高能效、智能化和安全的数据传输，基于 6G 技术的深度赋能，物联网端到端系统能够实现更强大的智能和自主性，能够实时精准感知环境、做出智能决策并提供个性化的服务。6G 物联网将融合下一代移动通信技术和物联网技术，有望成为物联网发展的下一个阶段。

中国移动提出未来 6G 需要具备即插即用、灵活按需部署和扩展、提供按需服务、自治自演进、智慧内生和安全内生等重要特征，以满足全社会的需求，并实现 6G 智能世界的构想。2022 年，中国移动发布了“三体四层五面”的 6G 架构总体设计（图 1）。从空间、逻辑和功能三个维度呈现一个跨域、跨层、多维的 6G 网络。在空间维度，除网络本体外，新定义了管理编排体和数字孪生体，实现 6G 网络从物理空间到数字空间的扩展。在逻辑维度，突出了 6G 架构在分层要素和能力上的丰富，并体现了跨域拉通、多域协同及融合发展的理念。在功能维度，增强传统控制面、用户面功能，并引入新的数据面、智能面和安全面，进一步强化了功能类别。未来 6G 的通信能力将实现大幅提升：一是通信速率更高，特定场景下峰值速率为 50Gbps、100Gbps 和 200Gbps^[5]，甚至有望达到 1Tbps^[6]。二是频谱效率和区域流量密度更高，频谱效率可比 5G 高 1.5-3 倍，区域流量密

度可达到 30Mbps/平米和 50Mbps/平米。三是支持连接数更多、移动性更强，可满足每平方公里 10^6 - 10^8 个设备的接入规模，支持 500-1000km/h 的高移动性。四是时延更低，空口时延可低至 0.1-1 毫秒。五是网络可靠性更高，空口的可靠性可达到 $1-10^{-5}$ 至 $1-10^{-7}$ 。基于灵活的网络架构和强大的通信能力，6G 将进一步缩小现实世界与数字世界的鸿沟，极大的满足人与人、人与物、人与环境之间的沟通交互，提供不受时间空间限制的沉浸化交互体验。



图 1. “三体四层五面”的 6G 总体架构

6G 将在网络特征、系统架构、网络性能等方面带来系统性变革，6G 物联网则需要更加关注与感知、智能、控制、节能等方面的能力融合，以适应更加广阔的场景，具体表现在：

6G 物联网将实现更精细化的多维感知。6G 物联网感知设备将利用多种传感器和智能算法的集成应用，包括图像识别、声音识别、温度感知、压力感知、气味感知、触觉感知等，实现对感知对象不同形态、特征、变化方式的识别和理解。这包含至少两个路径，一是 6G 物联网终端将具备更强的感知能力，甚至包括极低功耗、极低成本终端，例如具备温湿度、振动等多种感知能力的无源标签；二是通信和感知融合化，基于雷达的原理，利用通信信号实现对物体位置和速度的感知能力。

6G 物联网将具有更强的端侧智能水平。人工智能技术将被大量应用于 6G 物联网终端中，结合边侧计算和小样本学习等技术，终端将具有更高的自我学习、自我认知能力来处理更大量的信息，进而实现智能资源分配、智能规划和检测、智能决策等功能，构筑 6G 物联网强大的系统“末梢”，进而通过端边云协同，实现算力资源、智能模型的高效编排和管理，适用于更多行业场景。

6G 物联网将追求极致低功耗。6G 物联网支持终端通过环境能量采集的方式实现自供能，并利用空间射频信号的反向散射通信将终端功耗降低至 10 微瓦左右，让更多终端摆脱供电的限制。同时，考虑到环境受限，更多物联网终端需要长时间运行，需要稳定维持在较低功耗水平。

6G 物联网将支持更微型化的终端形态。未来物联网设备将在更小的空间应用，满足各类狭小空间应用的终端部署需求。物联网微域通信将在人体内、物体内实现自组织网络，并与外界通信。例如，在医疗保健领域，可植入的微型设备能帮助医生实时监测患者的身体状况。

6G 物联网将支持更多样化的连接。通过融合多种异构网络，例如：下一代蓝牙、下一代 Wi-Fi，以及具备“低时延、高可靠、抗干扰”特性的新型短距（端侧直连通信）技术等等，6G 物联网可以充分发挥不同网络的优势，实现更多设备的互联互通，提高信息交互的质量和效率，为生活和生产带来更多便利。

未来，6G 物联网将有望通过更丰富和更精准的感知能力、更广的连接能力、更强的计算能力、更大的安全保障能力、更低的功耗等实现“空、天、地、海”全域物联，在连接的基础上，进一步让物像人一样可思考、可互动、可决策、可实施，推动全人类、全社会的数字化转型，真正实现“万物互联”，并促进创新应用的发展，进而实现“万物智联”。

1.3 6G 物联网的发展愿景

2020 年，中国移动提出“数字孪生、智慧泛在”的 6G 愿景，6G 物联网的愿景是在 6G 愿景的基础上，进一步实现万物智联。未来，6G 物联网能够建立万事万物的数字化映射，与现实世界的物体和场景进行精确的互动，更好地理解 and 预测物理世界的行为和变化，从而优化决策和操作，构建更加便捷、高效、安全和可持续的生态。6G 物联网能够支持智能设备和系统渗透到生活、生产和社会的方方面面，形成智慧的感知、通信、存储、计算、控制、决策和应用，通过无处不在的智慧，优化资源利用、提高效率和响应能力。6G 物联网能够将万事万物有机的连接起来，实现物与物之间的无缝通信和协同工作，通过物体、设备和场景的连接，可进行智能化的监测、控制和管理，进而创造更加智慧、高效和可持续的世界。

未来，6G 物联网将面向生活、生产、社会等领域，进一步提升人民幸福感。**在生活方面**，随着个人与家庭之间的互联需求提升，一方面 6G 物联网需要提供更先进的体征监测技术、更精细的数据分析和处理算法、更高可靠的数据传输和存储能力，以支持人们的健康监测和管理需求，同时将支撑家庭互联化，个人设备之间会形成更加智能化和紧密的联系，提供更精准化、个性化、多样化、沉浸式的娱乐教育与多媒体服务。**在生产方面**，未来企业需要更高精度、更实时的数据收集和处理能力，同时需要实现全链条自动化、智能协作等功能，6G 物联网需要提供更快速、更稳定的通信网络、更高效的计算和储存能力、更精准和多维度的感知技术和更先进的机器学习算法等技术支持。**在社会方面**，面向智慧城市数字化、智能化、人性化等目标，6G 物联网需实现更好的城市物联网覆盖、智慧交通系统、智能环保、智慧公共安全等能力，提供更高速度、更好的网络容量、更可靠的数据安全保障等技术支持。同时，6G 物联网需具备更好的扩展性和兼容性，以积极应对城市快速发展的要求。

2. 6G 物联网未来应用场景

面向未来构筑全域物联、全域智联的可持续数字生态系统的发展目标，6G 物联网将进一步构建智享生活、智赋生产、智焕社会三大类应用场景^[7]，实现人民生活幸福感提升、行业生产全面自治和社会可持续发展。

在智享生活领域，6G 物联网将通过纳米级感知、微域物联、人工智能等技术，精准感知细胞、血管、器官等不同维度对象，实现人体健康状态全生命周期管理。基于新型无源物联网、融合定位、通感一体等技术，实现智慧家庭全连接，并结合 AR、VR 等技术，形成全新的教育和娱乐模式，提升生活幸福感。

在智赋生产领域，6G 物联网将通过多传感融合、确定性传输等能力，解决现有行业老旧设备无法实现信息化改造的问题，实现行业全连接，并通过实时计算、实时交互等能力，结合行业知识模型，实现设备与设备之间可相互理解、沟通和协作，助力行业实现“有人”到“无人”的转变。

在智焕社会领域，6G 物联网将通过全域感知、通感融合、无源物联等能力，实现社会数字化、智能化、平台化，加速交通出行、城市治理的自组织、自运行、

自愈自治，提升社会整体生产效率，实现可持续发展。

2.1 智享生活

2.1.1 智慧健康

基于物联网的环境感知网络和传感基础设施，智慧健康可以为人们提供实时的、智能的、无处不在的医疗保健服务^[8]。通过对人们的数据整合并结合 AI 算法，可提高个人健康医疗服务水平，实现精准化、个性化、感知化、实时化、多元化的健康管理^[9]，及时发现潜在的健康问题。未来智慧健康将改变传统医疗的监测模式，不受时间地点限制，实现微创或无创的实时监测^[10]。

6G 物联网为智慧健康带来更大的价值和更多的可能性（如图 2 所示）。无线脑机接口为用户与医疗设备之间提供智能通信，结合 AI 算法建立完整的大脑活动人工神经模型，进行远程感官信息传输，实时解读人类的想法和行为，有望成为治疗神经系统损伤和疾病的最直接途径，同时提供崭新的人与环境交互模式^[11]。可以预见，人与环境智能交互模式对时延和速率要求更高，其传输时延将小于 1 毫秒，用户体验速率将大于 10Gbps^[12]。身体区域网络数字孪生对人体进行数字建模和虚拟仿真，能够更精准地实现对身体各部位数值化、实时化的监测^[13]，可广泛应用于医疗健康机构，提高急诊室利用率、降低操作成本、增强患者体验并且有助于加速新药和新型医疗器械的研发^[7]。生物纳米物联网将纳米材料与生物传感元件组合，对人体进行高灵敏、高精度检测，利用无线通信技术进行远程监测和控制，对个体或组织的微小变化作出更早阶段的预警，为医疗诊断提供更准确、及时的信息^[14]。



图 2. 智慧健康

为了提供实时、智能、可靠、精确的智慧健康服务，6G 物联网需要提供高速低时延通信，保证数据的实时远程传输和反馈。智慧健康需要大量智能设备、医疗设备、医生和用户之间高效的协同工作，需要借助 6G 物联网支持巨量设备

互联和设备之间的能力分发，实现数据的自动采集、快速传输和智能处理。据测算，医疗场景下 6G 网络的关键性能指标为：下行峰值速率为 1670Gbit/s，上行峰值速率为 10Gbit/s，时延为 1 毫秒^[15]。同时，智慧健康服务采集用户的敏感数据，需要确保 6G 物联网的数据安全不被外泄，其中数据加密传输、数据隐私保护、系统和终端设备安全防护必不可少，区块链技术和量子通信技术有望成为 6G 物联网保障安全的关键^[16]。

2.1.2 智慧家庭

随着物联网技术的深入发展，从冰箱、电视、洗衣机、热水器等集成了传感功能的家用电器，到照明、窗帘、安防等智慧控制系统，家庭环境中联网设备数量不断提升。家庭设备通过 6G 物联网的感知、互联、自动化控制和协同能力，可以实现高度定制化的全屋智能、智慧交互，提供从生活体验到安全环境的全方位自动化控制、监测、管理等多种功能（如图 3 所示）。



图 3. 6G 物联网智慧家庭场景示意图

未来，6G 物联网通感一体的能力可以实现对人为感知和目标定位，进而实现老年人/儿童居家守护等，在智慧家庭中发挥重要作用。例如：利用无线网络感知，对老人的摔倒等危险情况报警，当小孩爬到窗口阳台上，自动开窗器自动关好窗户，防止孩子坠落^[17]。通过 6G 物联网的感知和控制能力还可以实现家庭自动化，提供更加舒适便捷的居住环境。例如，在未来，每个家庭都将拥有 24 小时工作的机器人管家。清晨起床后，机器人管家介绍当日天气和日程，推荐定制化早餐，并协同智能厨房开始快速准备^[18]。智能衣柜会自动筛选出衣柜内适合的单品，并在试衣镜上显示出搭配效果，当服饰搭配被选定后，数据将自动传输至美妆镜，自动展示妆容效果和步骤。此外，6G 物联网极小体积、可清洗、

灵活可折叠的蜂窝无源标签，可以贴在钥匙、护照、手机等易失物品上，实现物品快速定位查找，这需要网络支持数十至数百的标签连接，以及数十米至百米内的室内通信^[19]。

对于智慧家庭场景而言，需要大量的物联网终端互联互通，确保信息得到有效传递，需要 6G 物联网具备海量接入能力、大带宽数据传输能力和低功耗能力，设备能够支持长达 20 年的续航^[12]，以更好的满足智慧家庭未来的各类应用，提高整个智慧家庭系统的效率和可靠性。

2.1.3 智慧教育

6G 物联网可实现身临其境的沉浸式智慧教育，支持与虚拟对象进行互动，或在虚拟场景中探索和操作，提供更具参与感和互动性的学习体验。在虚拟与现实全面交织，人类与机器全面连结，学校与社会全面互动下，最终实现在虚拟世界中开拓教学场所，创造一个完全平行于现实世界的在线数字教学空间，即实现教育元宇宙^[20]。

6G 物联网将通过提供高速、低延迟的通信能力、强大的连接能力、智能感知和交互能力，使虚拟实验室、3D 模型可视化、虚拟社交、个性化学习成为可能，实现跨越时间和空间的学习体验。在未来的沉浸式教室中^[21]，教学互动也不仅限于视频、声音等传统媒介，通过 AI/ML 技术和 XR 技术，学生能够在虚拟实验室中进行各种实验操作，观察反映过程和结果，更好理解科学原理的同时，降低了危险性和成本。在 3D 模型可视化场景中，利用 AR、VR 技术，学生可以观察并操纵虚拟的三维模型，例如：人体解剖结构或复杂的分子结构等，帮助其更好的理解抽象的概念和复杂的体系。在虚拟社交场景中，学生可通过与等比例全息图像构成的虚拟人物进行互动和情感交流，虚拟人物具备每秒 30 帧以上，30Gbits 每帧图像的肉眼视网膜级别精度^[22]，让学生能更好的学习情绪管理、同理心、团队合作等重要的社交和情感技能。在个性化学习场景中，通过对学生的学习数据、个性特征等信息进行精细化感知和数据分析，能够形成个性化的学习内容反馈，使学生获得有针对性的指导和支持。

为支持智慧教育的各类新应用，6G 物联网需要提供更高的数据传输速率和更低的通信延迟，速率需达到 1Tbps 量级，延迟小于 1 毫秒^[23]。还需要提供更广

泛的设备连接和更大规模的数据传输，学生可以随时随地访问各类学习资源。6G 物联网还需要支持精细化的感知能力和各类便捷的交互能力，例如，可以通过姿态、眼控、手势、语音甚至脑机接口等方式来实现虚实交互，并且具备高效的数据处理和分析能力，为个性化学习提供支持。

2.1.4 智慧文旅

智慧文旅，即智慧文化旅游，围绕当地自然景观、历史人物等特色文化资源，利用物联网、大数据、云计算、人工智能等前沿技术，实现文化场馆与旅游景区全面智慧升级。随着信息技术快速发展，5G 物联网让信息传输速度不再成为制约文旅产业智慧化发展的主要障碍，6G 物联网则为智慧文旅的未来开辟出更多的想象空间，让“书与远方”触手可及，助力打造“超越现实，身临其境，移步换景，寻古问今”的文旅新业态。

凭借超低时延、超高带宽等优势，6G 物联网将推动 XR 技术进入全面沉浸化时代，摆脱线缆束缚^[11]，实现用户和环境的语音交互、手势交互、头部交互、眼球交互等复杂业务，让场景体验深化到具体感官，打造极致的文旅体验。6G 物联网赋能沉浸式展览与演艺，可实现高清视频与图片内容海量、实时、高速传输，让观众通过全景式的视、触、听、嗅觉交互体验，“超越现实”、“身临其境”地沉浸在演出情景与艺术体验之中，打造感官震撼与沉浸体验的双重享受。在未来，6G 物联网可以赋能虚拟旅行，打开环球旅行“任意门”，打破旅行时间与空间的限制，让“移步换景”“访古问今”拥有无限可能，足不出户即可感受川流不息的长江与奔涌澎湃的黄河。此外，6G 物联网具备高传输速率和无缝组网的能力，可以实时追踪藏品等馆中物理实体的位置与状态，实现博物馆物理实体全生命周期的智慧化、数字化管理^[24]。

未来智慧文旅的核心在于打造真正的沉浸式用户体验。为实现 XR 沉浸式体验，6G 物联网需支持 16K 超清传输，具备 0.9Gbps 带宽（压缩比 1/400）、低于 2.5 毫秒的空口时延和 Tbps 量级的数据速率，同时还要能识别多形态业务的数据流，满足不同数据流的差异化网络需求^{[25][26]}。此外，沉浸式业务与藏品精细化管理需要更丰富的环境感知信息，需要 6G 物联网实现通信与感知深度融合。

2.2 智赋生产

2.2.1 智慧工业

工业物联网是通过工业资源的网络互连、数据互通和系统互操作，实现制造原料的灵活配置、制造过程的按需执行、制造工艺的合理优化和制造环境的快速适应，达到资源的高效利用，从而构建服务驱动型的新工业生态体系^[27]。6G 物联网是未来工业物联网发展的重要支撑，利用信息技术提升传统工业的创新能力，赋能工业数字化转型和智能化升级，实现智慧工业。

6G 物联网使能的智慧工业可以通过无处不在的连接、通信以及计算资源，将工厂内的生产设备、操作人员、物料、环境及产品等连接起来，利用高精度高可靠的工业传感器实时感知监测生产环境的各种参数，采集的数据通过 6G 网络传输至云端平台并被汇总和存储，基于计算机模拟和实时仿真的技术手段，将实际工业运行行为建模到计算机系统中，构建工业数字孪生，形成工业全生命周期的虚实共生互操作、智能高效闭环的工业体系新范式，实现设备预测性维护、远程监控、智能供应链等各种新型的工业智能化应用^[13]。同时，结合人工智能技术，能够进一步发现新的工业机理，优化方案和实现流程，优化资源利用和供应链管理，提高生产效率和产品质量。

面向智慧工业核心生产控制场景，业务对通信 QoS 要求较高，例如，生产线紧急处理的继电控制器，对于传输时延和传输可靠性有极高要求，时延需要达到微秒级别，抖动需要达到稳定的百纳秒级^[28]，可靠性需达到 7 个 9，时钟同步精度要求达到稳定的百纳秒级，影像采集类业务需要更高带宽支持，同时质量管控类业务对安全和隐私保护的要求很高，需防止敏感信息泄露和网络攻击，大规模的工业感知设备对高密度通信、实时互动、智能协作、低功耗等也提出了较高要求，异构的 DCS、PLC 等智能控制系统也对 6G 物联网提出了高兼容性的能力要求。

2.2.2 智慧建造

智慧建造是以人工智能为代表的新一代信息技术与先进建造技术深度融合形成的工程建造创新模式，通过系统融合物联网、大数据分析、智能算法等技术，实现知识驱动的工程全生命周期建造活动。6G 物联网将深度赋能智慧建造应用

场景，助力形成建筑业高质量发展体系，优化产业结构，保障工程质量安全，大幅提升建筑工业化、数字化、智能化水平。

6G 物联网可以连接建筑工地上的“人机料法环”等关键要素的数据，例如：各种设备和工具实现实时远程监控和管理，通过传感器和摄像头监测施工进度、工人安全以及设备的使用情况，从而提高工程效率，降低事故风险，优化资源配置；需要追踪和管理建筑材料，提高供应链和可视化和透明度，需要跟踪建筑材料的运输、储存和使用情况，提高库存管理和材料的质量控制。未来在建筑行业，建筑机器人应用将越来越广泛，而且建筑材料的品类和数量将会越来越多。6G 物联网可以与建筑机器人及智能装备深度融合，快速实现机器人及智能装备的状态数据接入、设备状态远程监测进行集中一体化监控，对告警与控制设备进行联动，大大的提高建筑机器人及智能装备的运维效率。6G 物联网可以结合无人机（机群）及其测绘技术，为建筑行业提供更加科学的手段和可靠的数据。此外，利用 6G 物联网的高速通信和低延迟特性，可以实现建筑安全监控系统的实时响应和预警。例如：通过将传感器与消防系统、安防系统等集成，可以实时监测火灾、煤气泄漏等紧急情况，并迅速采取行动。

智慧建造对 6G 物联网的需求主要体现在大规模可靠连接，支持边缘计算的高速率、低延迟、大带宽通信，结合低轨卫星提供的高精度定位、大场景语音通信以及融合应用等方面。同时，6G 物联网需要具备强大的数据处理能力，支持海量传感器数据、视频流和建筑相关数据的实时处理、存储和分析。此外，工程建设涉及的数据通常具有一定的敏感性和机密性，6G 物联网需要提供安全和隐私保护的能力，支持加密通信、身份认证和访问控制等安全机制。

2.2.3 智慧能源

智慧能源是一种面向煤矿、电力等能源系统的各类业务环节，综合利用传感器、网络通信、人工智能等技术，通过全面感知、高效应变、灵活处理，协调能源生产、存储、分配、利用等功能的智能化能源系统。未来，6G 物联网将广泛赋能智慧煤矿、智慧电网中能源设备实时监测与维护、能源消费管理和新能源集成与优化等场景。

在 6G 物联网背景下，智慧能源在实现能源系统的智能化管理和优化、提高

能源利用效率和系统稳定性等方面具有巨大潜力。蜂窝无源物联网能够支持更多设备联网，6G网络能够进一步加强数据采集和分析的实时性，进而实现智能决策和精细化运营，降低能源损耗和运维、传输成本。以智慧煤矿为例，通过地压、瓦斯、电力等环境监控节点能够实时监控矿井中的各种参数，其中传感器设备的数据传输频次、通信频次往往受限于供能装置，然而，受限于矿山的地理位置及内部环境因素，设备电池更换及电线部署存在极大不便及安全隐患，同时，信号穿透损耗也导致严重的通信覆盖问题。未来蜂窝无源物联网技术结合6G通信技术，可通过在矿山中或在移动矿车上部署基站，在车辆通行时同步给无源标签进行充电并通信，通过采集环境能量有效延长设备的使用寿命，提高网络通信能力。

在智慧能源领域，6G物联网需要具备广泛覆盖、海量接入等能力，满足能源设备大规模随机间歇性接入能源网络的需要。以电力为例，需要为大范围电力用户参与电网需求侧响应提供基础数据连接需求，为风光互补路灯、风光互补监测控制等提供几乎不受地域范围限制的数据连接。此外，为延长能源行业现场感知设备的使用时间，6G物联网感知终端需要具备环境能量自采集能力，其网络能效需达到5G网络的10-1000倍。同时，在涉及能源设备运行参数等生产敏感信息的传输与交互应用中，6G物联网需要具备安全防护能力，保障能源领域终端安全、数据传输安全、网络管理及平台安全。

2.2.4 智慧农牧

智慧农牧是指通过连接和集成各种农牧设备、传感器、数据平台和决策支持系统，对农场和养殖场进行实时监测、管理和控制，提高农牧业的生产效率和生产质量，实现农牧业的自动化、智能化和可持续发展。

在6G物联网的使能下，农牧业能够实现精准种植、农机自动化、农牧产品溯源和质量监测等创新应用场景，推动农牧业数字化转型。6G物联网可以支持精准农业的实施^[29]，如智能灌溉系统、精准施肥系统和作物生长预测模型，通过精确的传感器和数据分析，根据具体需求通过远程控制的UAV自适应的为农作物提供适当的水和肥料，预测和预防病虫害的发生。在农机自动化场景中，依托6G物联网可以实现农机自动控制和远程操作，例如，通过传感器和远程控制系统，可以监测和控制农机的运行状态，提高农业生产的效率和准确性。在农牧产

品溯源和质量监测场景中，未来蜂窝无源标签将为农作物和牲畜的全生命周期提供准确、高效和可追溯的管理和控制手段。通过统一的数据编码将农牧产品的关键信息记录并保存，如：种植/养殖地点、品种、生长周期、生长条件等，进而追溯农牧产品的整个生产、加工和物流过程，保证信息的透明度和可信任度，确保农牧产品质量和安全性。

在农牧业场景中，大量的农机设备、传感器等具备联网需求，需要 6G 物联网提供大规模的连接支持。高清监控视频、传感器数据等海量数据需要 6G 物联网提供高带宽和低延迟的网络传输能力，并且具备高可靠性和安全性。同时，农牧业中的设备和传感器通常分布在广阔的地理空间，并且需要长时间运行，因此 6G 物联网需要支持低功耗的特性，以减少电池更换的频率和维护成本，并支持 50km 以上的长距离传输^[29]。同时，6G 物联网技术的普及将有助于降低农牧业生产成本和劳动成本，并提高生产的安全性。

2.3 智焕社会

2.3.1 智慧城市

智慧城市是运用信息通信技术，有效整合各类城市管理系统，实现城市各系统间信息资源共享和业务协同，推动城市管理和智慧化，提升城市运行管理和公共服务水平，提高城市居民幸福感和满意度，实现可持续发展的一种创新型城市^[30]。6G 物联网能够促进城市各部门之间的组织与协调，以进一步打通城市各系统间的信息孤岛，实现更加智能化、立体化、精准化的城市治理。

6G 物联网能够为智慧城市提供端到端的技术原动力，进一步支持数字孪生城市创建和运行，赋能应急抢险、社区管理、生态治理等场景。智慧应急可汇聚城市生命线安全风险、公共安全风险、生产安全风险和自然灾害风险等监测数据，如：大气污染、水文水利、地质灾害、桥梁运行、消防隐患、交通情况、高危险企业运行情况等，进行模拟重现和分析复盘，为城市风险防范提供有效的经验指导。在社区治理方面，6G 物联网可支持社区中海量多源异构时空数据的采、传、算、用，实现全量数据归集和资源共享，构建感知、认知于一体的社区治理三维数字孪生底座。在城市生态治理方面，6G 物联网通感一体技术可利用运营商站

点、基于太赫兹的水分子吸收谱特性以及对化学信息的“指纹谱”特性，通过通信信号的变化来实现广域、高精度和实时的降雨量、大气湿度等气候指标的测量、污染气体排放监测以及空气质量监测等^[17]。

面向城市复杂的自然环境、多样化基础设施和个性化应用场景的需求，6G物联网需要具备多维度、精细化、智能化的实时感知能力，支持0.1-10 Gbit/s/m²的流量密度^[31]，提供针对公共场所或建筑内设备的米级至厘米级定位^[32]，需要具备全域网络覆盖能力和数据承载能力，需要具备极高的网络传输速率和可靠性，以实现智慧城市不同系统之间的信息传递，以及未来数字孪生城市物理域和数字域之间的双边信息传递，进一步提升各业务环节的效率 and 准确性，实现城市的精细化管理。

2.3.2 智慧交通

智慧交通是基于人工智能、大数据、数字孪生、物联网等相关技术，利用实时交通数据及数据分析方法，实现交通系统的智能化监测和管理。随着信息技术不断创新突破与多模态交通出行工具持续升级，交通出行的目标和理念逐渐从“到达”向“快乐出行”转变，6G物联网的赋能将进一步促进智慧交通向“智慧驾乘，全域感知，互联共享，自由出行”的方向演进。

6G物联网可以为交通参与者提供更高速率、更可靠、更低时延、更广覆盖的通信服务，实现人、车、路、云之间高效、可靠的连接，支持自动驾驶汽车、交通系统全天候全域实时感知、数字孪生驱动下的交通管理与控制等智慧交通应用^{[33][34]}。同时，6G物联网能为车辆提供更精准的定位和导航服务^[35]，包括超高频定位、毫米波定位等，支持高精度自动驾驶、智能导航和位置感知应用。此外，6G物联网也可以通过在车辆附近部署边缘计算节点和AI模型，实现更快速的数据处理和智能决策，减少对中心服务器的依赖，提高响应速度和隐私保护。未来，6G物联网技术将赋能更多样、立体的超能交通（如图4所示），让新型“海-陆-空-太空”多模态自由出行成为可能，全自动驾驶汽车、飞行汽车、海空两用飞行船、太空巴士、胶囊火车、水中巴士等自由出行方式将走进人们日常生活，真正实现即时的点对点、门到门的智慧出行^[36]。6G物联网将支持智慧交通应用的创新发展，在交通管理方面提升信息互联互通与管理的主观能动性，在出行理念

方面将更加凸显“出行及服务”体验，从而实现交通事故减少、道路拥堵缓解、环境污染降低、出行更为便捷舒适的目标^[37]。



图 4. 超能交通体系构成^[36]

智慧交通对于 6G 物联网的需求主要体现在超低时延、精准定位和全连接通信等方面。未来无人驾驶车辆最高时速将达百公里，相对速度可达 100-300km/h，为确保高速移动场景车辆行驶安全，需要 6G 物联网支持 1 毫秒以下时延、百 Mbps 至 Gbps 量级体验速率，同时需要满足交通终端始终达到厘米级的精准定位。此外，为满足新型“海-陆-空-太空”多模态交通方式出行要求，6G 物联网需支持超过 1000 km/h 移动速度，并需要 10GHz 以下的连续大带宽频率，用以保证无缝的地面覆盖^[35]。同时，6G 物联网需打造集地面、卫星、海洋于一体的全连接通信世界，满足多模态交通出行对沙漠、无人区、海洋等“盲区”信号覆盖的要求。

2.3.3 智慧生态

智慧生态基于环境治理、灾害防护、长期环境检测、生物多样性维护等相关技术，旨在实现对自然环境的智能化监测、管理和保护。智慧生态是绿色化与数字化的融合，以数字化促进绿色化、推动经济社会发展全面绿色转型。随着全球环境问题日益突出，包括气候变化、生物多样性丧失和资源枯竭等，智慧生态成为保护地球生态系统的关键举措。在智慧生态场景中，未来 6G 物联网可以实现对环境污染、自然灾害、生物入侵等问题的实时监测和预警，从而采取针对性的措施进行环境治理和保护。

未来的 6G 物联网将为智慧生态场景带来巨大的价值。首先，6G 物联网的高

速、低延迟通信能力将使得环境监测数据的采集、传输和分析更加高效和实时。通过多传感融合、微瓦级功耗、极小尺寸等特性，可以实现对大规模的环境数据进行持续监测，包括空气质量、水质情况、土壤污染等，为环境治理和保护提供准确的数据支持。智慧生态可以利用 6G 物联网的空天地海全覆盖网络进行无人区及海洋的远程数据采集，支持偏远地区的灾害预防和土地的长期监测等；同时可以利用采集到的大量数据进行环境预测性维护、生物多样性维护等。数字孪生通过 6G 信息通信技术对森林、海洋等生态环境进行数字建模和虚拟仿真，为生态治理全流程提供支撑。

在未来智慧生态场景中，森林、海洋环境的海量数据采集和实时处理需要 6G 物联网提供大规模的连接支持以及大带宽、低延迟的数据传输能力。对生态系统的全面监测和管理需要通过 6G 物联网的空天地海全覆盖网络实现。大量传感器需要部署在偏远地区并长期使用，需要 6G 物联网设备具备超低功耗的特性。

2.3.4 智慧零售

智慧零售是零售业数字化的显性表现形式，其核心是数据驱动，是商品、会员、门店、品牌、营销和订单交付等数字化的集合（如图 5 所示）。6G 物联网将为智慧零售提供更高速率、更多连接、更广覆盖，以满足在高度动态环境中的各类零售应用需求。



图 5. 智慧零售的核心内涵

6G 物联网具备智能化、自主化和共享化的特征^[38]，能为智慧零售注入新的动能。智能化体现在零售终端有更强的感知能力，支持实时交互，能够实时处理多种类型的数据，具有更快的处理速度和更高层次的理解能力。自主化体现在对于无人值守的应用环境，零售终端具备极强的环境适应能力和自我管理能力和自我管理能力，可依

据现有环境进行自组织和自重构，主动处理终端故障、移动及迭代升级等动态变化，学习服务对象的个性化特征。例如，利用蜂窝无源物联网，商店管理系统可根据与传单相同的定价数据源与定价策略自动更新价格标签，避免纸质价格标签可能出现的与广告传单价格不符问题。该场景需要网络支持海量终端接入，特定零售区域的蜂窝无源设备密度可能高达 $50 \text{ 个}/\text{m}^3$ ^[39]。共享化体现在零售终端之间不仅能够实现综合资源的共享，包括数据、知识、算力、通信资源等，使智慧零售应用能及时处理更大规模的数据和更复杂的任务，还可以通过资源共享来增强物联网的容错性，使任务处理更加可靠。

智慧零售对实时交互和边缘计算能力有着迫切需求。通过 6G 物联网的高速低延迟传输，智慧零售可以实现设备、传感器和系统之间的快速数据交换。通过了解用户与 6G 设备、网络资源、业务和应用的交互方式、时间、地带和类型的模式和偏好，为用户提供个性化用户体验。边缘计算能够减少零售数据传输延迟和带宽占用，通过在边缘设备上执行智能算法，实现即时的数据处理和智能决策。

3. 6G 物联网能力要求

3.1 6G 物联网能力维度

面向 6G 物联网智享生活、智赋生产、智焕社会三类应用场景，未来 6G 物联网将实现能力全面提升，不同层次、不同领域的的能力互相融合、互相协同，面向不同场景提供个性化服务，满足下一代物联网“敏捷、融合、协同、安全、极简、共享”的 6S 特征要求^[40]。6G 物联网将在感知、通信、算力、平台、智能、应用、管理和安全等八个维度构建基础核心能力，并通过“全域融合、互相协同、按需组合”的方式实现能力的深度融合，支撑各类应用差异化需求，实现全场景赋能。

感知方面将实现多维度、多领域、多粒度的感知能力，以太赫兹感知、无源传感、环境能量采集等技术为核心，不断探索融合传感能力和新型感知方式。一是实现感知能力的升级，进一步提高感知精度和准确性；二是提高移动性和智能化，解决部署、供电等难题；三是增强融合感知能力，并实现感知能力泛在化。

通信方面将实现超低功耗、超低成本、免维护等通信能力。一是以新型 6G 物联网终端有望通过支持反向散射、环境能量采集、智能能耗管理等能力，进一

步降低或消除人工更换电池的维护成本，提高物联网连接规模和普及率；二是以新型工业无线等为代表的技术有望满足复杂环境下、严苛场景中物联网交互的高可靠性要求；三是通过异构网络融合，形成统一的、无缝衔接的网络体系，实现对异构网络资源和服务的优化整合。

算力方面将通过实时计算、泛在智能算力、智能异构算法等能力，推动物联网从“万物互联”向“万物智联”跃迁升级，未来 6G 物联网的应用场景要求计算层具备更高的智能和更低的算力成本，并通过融合计算实现低时延、高可靠、高安全、低能耗，以满足逐渐增长的节点数量以及异构设备的计算需求。

平台方面包括数据过滤、数据存储、数据管理、信息模型等能力。一方面通过数据过滤、数据存储、数据管理等可能，提高数据的利用效率和资源利用率、实现有效存储、管理、查询、分析和利用；另一方面通过数字孪生数据和模型，提供统一架构和语义统一解析，进一步支持万物智联。

智能方面可以将不同领域的技术和智能相互关联，从而实现物联网应用更高效、更稳定、更智能的普及。智能主要包括领域模型、大模型等能力，实现 6G 物联网各系统的自优化、自愈、自治、自生，从而提升 6G 物联网端到端智能水平。

应用方面包括实时交互、虚拟化控制等能力，真正实现物联网的智能化和个性化，支持智慧生活、智慧城市、智慧工业、智慧医疗等各类应用场景的需求，将“数字世界”融入到“现实世界”中，实现物与物、物与人、人与人之间的实时交互，推动智慧社会的快速发展，实现人类社会的全面变革。

管理方面，6G 物联网将不再局限于对网络和管理终端的管理，而需要实现对 6G 物联网端到端系统的管理。通过轻量运维、分布自治、意图感知等能力，可以实现对物联网业务、系统、设备的智能化监控、运维和调度，结合智能算法和分布式计算技术，实现对网络的自组织和自适应调节。

安全方面基于区块链、量子加密等新技术，结合安全规则、安全评价体系等管理制度对 6G 物联网提供端到端的全域信息安全和隐私保护。能够及时发现 6G 物联网应用中的潜在风险因素，主动发现和掌握各环节中的薄弱环节，自主采取应对措施，建立泛在安全的物联网生态环境。

在上述八个能力维度的基础上，6G 物联网将进一步深化能力融合，能力融

合也是 6G 物联网区别于现有物联网的关键特征。能力融合将进一步实现多层次、多技术、多设备、多业务的融合发展，实现**全域数据打通、全域资源复用、全域技术协同、全域能力拉通**，为 6G 物联网创新发展注入新动能。例如，通过网络资源的融合，能够在不同网络类型和资源之间实现协同共建和资源共享，扩大网络覆盖范围，提高通信质量和效率，实现物联网的智能交互和泛在连接。未来，通过“感-通-算-智”多维度能力的融合，6G 物联网将形成更多新的能力，构筑能量信息融合创新，支撑更加丰富的物联网应用。

3.2 6G 物联网能力要求

3.2.1 感知

感知是物联网的基石，它使得物联网设备能够获取准确、实时的环境数据，并将其用于控制、交互和决策。6G 物联网的感知能力需要具备高精度、微型化、集成化、无线化、无源化、智能化、全融合、泛在化等核心特征。

“高精度、微型化、集成化”的感知能力是 6G 物联网的关键基础。高精度感知的发展将主要体现在传感器敏感材料、传感器加工工艺、匹配电路、识别算法等方面的迭代升级，以进一步提高感知精度和准确性。微型化要求未来传感器体积进一步缩小到微纳级别，满足同体积下传感器容纳更多器件，释放更多空间。集成化通过把多个功能不同的传感元件集成在一起，提高系统功能密度。

“无线化、无源化、智能化”的感知能力是 6G 物联网的重要方向。无线化有利于未来传感器快速部署，增强设备移动性，减少线缆占用空间。无源化可解决传感器在部署、供电方面的痛点问题，自采能技术通过环境能量的采集和转化实现“开源”，能量管理通过关闭空闲模块、降低通信功耗等实现“节流”，二者并用可进一步降低传感设备能耗。智能化是指基于人工智能算法的感知，进一步支持 6G 物联网的自主学习和演化，提高智能化程度。

“全融合，泛在化”的感知能力是 6G 物联网的内在要求。全融合是通过多源异构传感能力的融合，实现数据综合分析、整合和优化，获得更准确、更可靠、更全面的感知结果。泛在化是利用通感一体技术实现无处不在的感知能力，解决传感器在部署、功耗、维护方面的限制。例如：太赫兹通感一体通过从太赫兹无

线信号中提取特征和信息,可实现 Tbit/s 级链路传输速率和毫米级感知精度^[41]。

3.2.2 通信

6G 物联网的通信是指在第六代移动通信技术的基础上,应用于物联网领域的通信方式和技术,旨在通过不同物联网技术融合及能力组合,实现更低功耗、更低成本、更高速、更可靠、更确定、更安全、易部署、免维护的通信,以满足生活、生产、社会三大领域各类场景的差异化需求。

“零功耗、低成本、免维护”是 6G 物联网实现泛在连接的基础。蜂窝无源物联标签可利用环境能量实现电能转化,支撑标签数据传输,其通信终端具备低功耗、低成本、长生命周期等特性。同时,蜂窝无源物联网可实现密集组网,抑制设备互干扰,增强运维管理能力,进一步提升通信距离和传输可靠性,将成为构建万物互联的数字化底座,为产业应用带来革命性变化。

“高可靠、低时延、确定性”是 6G 物联网实现智能交互的核心。为满足未来复杂环境下物联网交互的高可靠要求,6G 物联网将进一步通过物理层、链路层、网络层、应用层等技术突破,结合超短帧、语义通信、面向业务的资源预留、路径规划等技术,实现高可靠、低时延、确定性通信,逐步实现对传统有线网络的替换,实现全场景无线化、柔性化、灵活化。同时可通过对协议性能指标的精确控制,实现网络过程的可预测性和稳定性,降低通信的随机性。

“多网融合、弹性扩容”是 6G 物联网实现一网多能、数据互通的关键。多网融合是指将不同类型的网络(如传统有线网络、短距通信、非地面网络等)进行整合,形成统一、无缝衔接网络体系,使各种网络资源和服务得到优化利用,提供更高效、更灵活、全域化的通信体验。6G 物联网将由传统地面接入向空天地海全方位多维度接入转变,将支持多种异构网络融合,通过网络资源管理和调度、网络动态切换与优化、跨网络管理等能力,以满足复杂多样的场景需求。

3.2.3 算力

未来物联网终端和移动终端产生的实时数据将爆炸式增长,6G 物联网对算力的需求将由大规模中心化算力部署向泛在分布式算力部署转变,新型人工智能场景对低时延和低功耗计算需求强劲,因此,6G 物联网应用场景要求算力满足

高效能、低功耗、高隐私保护、低时延的计算要求。

“高效能、低功耗”的新型计算架构是实现 6G 物联网泛在智能的关键。当前普遍采用的冯·诺依曼计算架构，因计算功能和存储功能分离，导致数据在 CPU 和存储器之间反复搬运，从而产生大量功耗和时延（即“存储墙”和“功耗墙”问题），在人工智能等计算密集和访存密集型场景下问题尤为突出。存算一体技术从材料、器件、计算范式、架构等方面进行革新，可使用存储单元完成计算功能，实现存算零距离，大幅提升芯片算力和能效水平。存算一体正处于多技术路线探索阶段，主要包含近存计算、存内处理以及存内计算三条技术路线（如图 6 所示），其中存内计算可在完成存储功能的电路内同时实现计算功能，彻底消除冯氏架构瓶颈，真正实现“存算一体化”。目前，以 RRAM、MRAM、PRAM 为代表的新型存储器具有非易失、与标准工艺兼容性好、可微缩性强等优点，被广泛应用于存内计算研究，具有广阔的应用前景。



图 6. 广义存算一体分类

“低成本、强算力”的集成电路新技术是实现 6G 物联网万物智联的核心。Chiplet 技术将复杂的 SoC 芯片按照功能单元分解（如图 7 所示），每个单元选择最适合的工艺制程进行制造，通过先进封装技术将各个单元高速互联在一起，可提升系统集成度、降低芯片成本、提升集成规模、提高设计效率。GAAFET 技术通过将 N 型和 P 型晶体管沿垂直方向堆叠的三维集成方式，可进一步改善电路性能和提升电路集成度。基于碳化硅、氮化镓的第三代半导体材料具有高频、高效、高功率、耐高压、耐高温、抗辐射等特性，可广泛应用于新能源汽车、移动通信、能源互联网等领域。而基于氧化镓、锑化物、金刚石的第四代半导体材料，其体积更小、能耗更低、功能更强，能够更好地运用在光电器件、电力电子器件中。新材料与新工艺将持续推动集成电路发展，有望实现摩尔定律的扩展和超越。

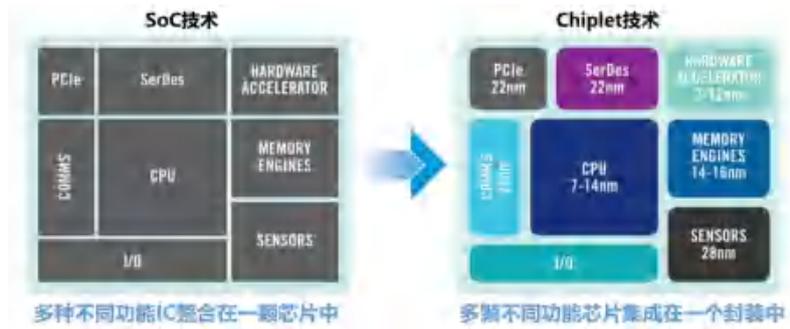


图 7. Chiplet 封装技术

3.2.4 平台

6G 物联网平台将成为汇聚海量物联数据、承载各种 6G 物联网业务的核心基础设施。6G 物联网平台不再只局限于将物联网设备和软件模块进行结合，而是通过数字孪生数据和模型，提升流程管理效率、工具协调性等平台能力。

“高并发+大数据”为 6G 物联网平台提供广泛可靠的基础数据能力。6G 物联网可实现每平方公里 1000 万台设备的超大规模连接，汇聚多重海量信息，创建更广泛更丰富的环境来支撑决策优化。超大连接设备管理平台提供海量设备接入、设备和平台双向消息通信、海量设备管理、远程控制和监控、OTA 升级、设备联动等能力。在 6G 物联网平台中，数据是核心资产和驱动力之一，平台应具备强大的数据处理能力，能够快速采集、存储和处理来自各类物联网设备的海量数据。这些数据需要进行清洗、聚合和分析，以提取有价值的信息和洞察，并为决策和控制提供支持。

“数据+模型”为 6G 物联网平台提供面向应用的数字孪生核心能力。平台是 6G 物联网数字孪生数据和模型的综合载体，通过对物理世界的设备和系统进行信息模型、机理模型等的构建，能够为 6G 物联网对象提供统一架构和语义统一解析，打破数据壁垒。同时，基于人工智能技术对对象的机理模型和数据驱动模型进行表征增强和学习调整，可实现对 6G 物联网应用的实时监测、分析和管管理，从而支持设备的远程监控、故障诊断和预测性维护，为 6G 物联网应用提供更智能化的服务和决策支持。

3.2.5 智能

6G 物联网具有智能化、自主化和共享化的特征。随着物联网的持续快速发

展以及百亿连接的移动通信设备下海量数据的产生,物联网场景逐步呈现计算边缘化、连接泛在化、应用碎片化及终端智能化等趋势,6G 物联网设备需要智能地与外部交互,并在开放环境中持续学习、进化,以不断满足用户个性化的需求^[38]。新型计算范式、物联网知识图谱以及类脑智能是6G 物联网的核心使能技术。

新型计算范式有助于实现功耗低、实时性强、个性化程度高的泛在智能。新型计算范式包含知识驱动学习、协作学习、持续学习、小样本学习、模型压缩等算法,能够在小样本数据情况下快速完成模型构建,且模型具有可解释性。同时,能够在计算资源、存储资源、能量受限物联网设备上实现快速模型推理;能够在数据分布、数据类别、外部环境等发生变化时,快速适应环境并实现模型更新调整,维持稳定的性能。

知识图谱有助于实现物联网设备的智能思考、自主决策与智能协作。知识图谱提供了一种从海量数据中抽取结构化知识并利用图分析进行关系挖掘的手段^[42]。通过物联网知识图谱,可以对知识进行有效组织,为设备的智能协作提供一个共同的知识模型,从而实现设备之间知识共享和语义互通。关键核心技术包括知识图谱自动化构建、知识图谱持续更新和知识图谱可信性验证。

类脑智能有助于满足6G 物联网应用场景的端侧推理和低功耗需求。类脑智能借鉴了生物神经网络的功能机制和行为特点,通过构建新型神经元电路结构及适配的网络算法,有望在终端实现感知、存储、处理功能于一体,可实现更高效更低能耗的端侧推理,进一步加强6G 物联网终端的智能化水平。

3.2.6 应用

6G 物联网将基于6G 网络的超低时延、超广连接和超高可靠的优势,为各场景提供面向实时协同和人机交互的关键应用能力。

应用需要具备实时的云控制能力。6G 物联网控制系统未来将形成基于云计算的云控制技术架构,云控制旨在提供一种控制即服务(Control as a Service, CaaS)的开放体系架构,控制功能可泛在部署、灵活复用,在异构网络下实现设备的即插即“控”。现有控制系统与被控设备、控制系统内部软件与硬件耦合紧密,阻碍控制系统向云控制演进。6G 物联网的高性能网络将助力实现基于开放硬件的控制系统解耦。首先是控制系统软硬分离,基于通用硬件代替专用设备;

其次是控制功能虚拟化，通过可扩展的软件对象实现控制能力；再根据被控设备业务需求和性能要求，分配软硬件资源，实现优化配置和按需部署，最终构建新型的云控制体系，为用户提供实时多元化的交互服务。

应用需要具备基于扩展现实的人机交互能力。与虚拟世界的交互方式决定了用户体验和信息获取、决策的效率，未来 6G 物联网与扩展现实结合将为用户带来全新的沉浸式人机交互体验。6G 网络的高速传输和低延迟能够为用户提供更快速、更流畅的数据传输和更真实的虚拟内容叠加，6G 的大容量能够处理更多的数据和更复杂的虚拟场景，为人机交互提供更丰富、更复杂的虚拟元素和互动体验。此外，6G 网络的广覆盖性能够提供稳定的连接，实现跨地域、跨场所的无缝人机交互体验。通过 6G 网络的高可靠性和安全性，基于扩展现实的人机交互能力可以在各行各业得到广泛应用，包括教育、娱乐、医疗、工业等领域，进一步推动了该能力的创新和普及，为用户带来更具真实性、灵活性的交互体验。

3.2.7 管理

随着 6G 物联网“万物智联”的产业升级，海量终端接入，异构网络复杂，业务差异化的特点对管理能力提出了新的需求，面向服务的全局业务质量保证和面向资源的全局资源掌控和最优化配置将成为 6G 物联网管理的核心。

“集散共存，分布自治”是 6G 物联网管理的数据基础。6G 网络融合多种异构网络，形成“一个 6G 基座+无数私有物联网网络域”的架构，需要全局监控网络、设备、业务，动态调度资源。由于智能化通信资源分属于不同的企业、运营商、第三方或个人等，不同归属的数据融合难度大，敏感隐私数据安全要求高，需以通用指标集中化管理为基础，将个性化精细化管理下沉至业务现场，引入区块链等分布式技术联合各数据方建立去中心化网络管理可信协作机制。

“轻量运维，智慧内生”是 6G 物联网管理的算法核心。智能终端设备指数级增长，但物联网边缘侧资源有限，亟需通过数据挖掘、降维等指标提取技术，语义通信等传输效率提升技术，蒸馏、剪枝等模型压缩技术，降低存储、传输、分析三方面的资源消耗，实现轻量级运维。同时将智能算法内嵌 6G 物联网中，实现网络运维的智慧内生，形成“故障发现-运维处理-算法迭代-故障预测-网络自愈”的自治化管理闭环。

“意图感知，人机交互”是 6G 物联网管理的核心关键。对于智能算法未覆盖的场景，管理中的故障排查和修复仍需部分人工干预，需要提供意图解析等人机交互能力，实现人-机-数据快速联动。通过数字孪生，ChatGPT 等技术实现人机交互智能化，提供跨域管理问题解答，自动化分析诊断依据展示，故障修复建议，实现专家经验与智能算法融合，高效生成故障处置策略。

3.2.8 安全

6G 物联网系统集成功能层级多，应用覆盖广，面向角色多样化的特征使其对安全性有着更高标准、更复杂的需求，优异的网络安全表现是 6G 物联网系统的基础。与此同时，海量物联网应用场景均对网络安全和数据安全有着强烈需求。

网络安全是 6G 物联网实现万物智联的基础保障。由于 6G 物联网设备在未来将构成数以亿计的子网络，如此庞大的规模和诸多无法验证的物联网设备接入请求会给网络安全带来新的挑战。鉴于此，量子通信、后量子加密等创新技术将成为维护 6G 物联网安全的核心能力。量子通信技术利用量子态的纠缠、不确定性等性质实现信息的安全传输，并具有更大传输速率和更低时延^[43]。后量子加密技术利用不依赖量子态特征的数学算法和密码学原理，能确保系统不受量子计算机攻击影响^[44]。

数据安全是 6G 物联网实现健康发展的重要前提。未来 6G 物联网庞大的业务系统中将包含大量的个人隐私数据或行业敏感数据，一旦这些数据遭到泄露，将给个人健康、行业发展、政府运行带来极大的负面影响。6G 物联网数据安全的要求体现在数据的保密性、完整性和可用性等方面，并贯穿数据在采集、汇聚、传输、处理、使用等全生命周期的各个环节中。未来基于分布式账本技术可以在海量设备之间完成更安全的资源同步、分配与认证服务，结合 AI 算法在边缘节点的部署，可在降低时延的同时为 6G 物联网带来隐私性、安全性和可靠性的有力保障^[45]。

4. 总结与展望

近年来，随着物联网终端的爆发式增长，物联网将迎来规模化发展的窗口期

和新一轮生态布局的机遇期，将为 6G 物联网带来广阔的需求市场与发展空间。同时，随着数字技术应用的不断推进与更新，6G 物联网将与人工智能、大数据、先进计算等新型信息技术交叉融合，实现感知、通信、算力、平台、智能、应用、管理、安全等关键基础能力，并进一步实现技术融合、资源融合、能力融合、系统融合、应用融合，夯实存算一体、通感一体、算力网络、云网融合、异构系统融合，实现全域数据打通和全场景融合应用，真正实现由万物互联向万物智联的跃迁，实现智慧泛在的美好未来，使 6G 物联网的愿景成为现实。

6G 物联网发展将包括三个方面：**一是重点实现多维感知与泛在互联。**基于通感一体、蜂窝无源物联网等技术，实现对目标物体的定位、检测、识别、连接等功能，将从支持人与人、人与物的连接，拓展到支持物物间的高效互联，构建智能全连接世界；**二是重点实现智慧内生与安全内生。**基于 AI、移动算力网络、确定性网络等技术实现网络性能跃升，实现感通算等多能力融合，支持各类智能化服务，并通过构建内生安全机制、增强设备安全能力协同等，有效提升网络安全与数字安全；**三是重点实现全域无缝网络覆盖。**借助 6G 所构建的全球无缝覆盖空天地一体化网络，通过星地一体融合组网，能够消除移动通信覆盖盲点，为 6G 物联网提供更加普遍的服务能力，助力物联网业务快速发展。

6G 物联网的发展将在智享生活、智赋生产、智焕社会三个领域催生新的应用场景，包括人体健康监测、全息交互、多模态出行等，将为用户提供更加极致和丰富的业务体验。新需求、新场景和新技术的出现，对 6G 物联网在感知、通信、算力、平台、智能、应用、管理和安全等多维度提出了新的能力要求，也为 6G 物联网技术的革新带来了新的驱动力。中国移动将持续践行“创新驱动发展”的理念，不断寻求新的突破点，提升自主创新能力，通过推动标准发展、开展技术攻关和构筑产业生态等方式，确立面向未来的核心竞争优势，推进 6G 物联网发展。本白皮书结合 6G 物联网典型应用场景，提炼 6G 物联网的核心能力要求，希望继续汇聚产学研用各方智慧与力量，加快推进 6G 物联网技术研究、标准制定与产业落地，为 6G 物联网技术发展与产业成熟贡献力量。

缩略语列表

缩略语	英文全名	中文解释
3D	Three Dimensional	三维
4G	The Fourth-Generation Mobile Communications	第四代移动通信
5G	The Fifth-Generation Mobile Communications	第五代移动通信
6G	The Sixth-Generation Mobile Communications	第六代移动通信
AGV	Automated Guided Vehicle	自动导引运输车
AI	Artificial Intelligence	人工智能
AR	Augmented Reality	增强现实
Cat1	Category 1	终端等级1
Cat4	Category 4	终端等级4
ChatGPT	Chat Generative Pre-trained Transformer	聊天生成型预训练变换模型
CPU	Central Processing Unit	中央处理器
DCS	Distributed Control System	分布式控制系统
eMBB	enhanced Mobile Broadband	增强移动宽带
GAAFET	Gate-all-around Field Effect Transistor	环绕栅极场效应晶体管
IoT	Internet of Things	物联网
ML	Machine Learning	机器学习
mMTC	massive Machine Type Communication	海量机器类通信
MRAM	Magneto-resistive Random Access Memory	磁阻随机存取存储器
OTA	Over The Air	空中下载技术
PLC	Programmable Logic Controller	可编程逻辑控制器
PRAM	Phase-Change Random Access Memory	相变随机存取存储器
QoS	Quality of Service	业务质量
RedCap	Reduced Capability	轻量能力
RRAM	Resistive Random Access Memory	非挥发性阻抗存储器
SoC	System on Chip	系统级芯片
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	无人飞行器
uRLLC	ultra Reliable and Low Latency Communication	超高可靠性低延迟通信
VR	Virtual Reality	虚拟现实
Wi-Fi	Wireless fidelity	无线保真
XR	Extended Reality	扩展现实

参考文献

- [1] GB/T 33745-2017 物联网 术语
- [2] D. C. Nguyen, M. Ding, P. N. Pathirana, A. Seneviratne, J. Li, D. Niyato, et al., “6G Internet of Things: A comprehensive survey”, IEEE Internet Things J., vol. 9, no. 1, pp. 359-383, Jan. 2022.
- [3] M. Alsabah, M. A. Naser, B. M. Mahmmud, S. H. Abdulhussain, M. R. Eissa, A. Al-Baidhani, et al., “6G wireless communications networks: A comprehensive survey”, IEEE Access, vol. 9, pp. 148191-148243, 2021.
- [4] P. Kamble and A. N. Shaikh, "6G Wireless Networks: Vision, Requirements, Applications and Challenges," 2022 5th International Conference on Advances in Science and Technology (ICAST), Mumbai, India, pp. 577-581, 2022
- [5] ITU-R WP5D, Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2030 and beyond, 2023
- [6] W. Jiang, B. Han, M. A. Habibi and H. D. Schotten, "The Road Towards 6G: A Comprehensive Survey," in IEEE Open Journal of the Communications Society, vol. 2, pp. 334-366, 2021
- [7] G. Liu, Y. Huang, N. Li, J. Dong, J. Jin, Q. Wang, et al., “Vision requirements and network architecture of 6G mobile network beyond 2030”, China Commun., vol. 17, no. 9, pp. 92-104, 2020
- [8] 邱宇,王持,齐开悦,沈耀,李超,张成密,过敏意. 智慧健康研究综述:从云端到边缘的系统[J]. 计算机研究与发展,2020,57(01):53-73.
- [9] 翟兴,肖源,王若佳,楚玉鹏,李京忠. 数智环境下智慧健康信息服务体系构建研究[J]. 情报科学,2022,40(10):43-50.
- [10] 杨雪,李玲利,贺婷婷,等. 柔性电子在人体监测领域的研究现状,优势及挑战[J]. 中国医疗设备,38(3):5,2023
- [11] T. A. Kuzovkova, O. I. Sharavova, V. O. Tikhvinskiy and E. E. Devyatkin, “Matching of 6G Network Capabilities to Digital Services Requirements”, 2022 Systems of Signal Synchronization, Generating

- and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO), pp. 1-5, 2022
- [12] IMT-2030(6G)推进组,《6G 总体愿景与潜在关键技术》白皮书,2021.
- [13] C. -X. Wang et al., “On the Road to 6G: Visions, Requirements, Key Technologies, and Testbeds”, in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 25, no. 2, pp. 905-974, 2023
- [14] C. D. Alwis, A. Kalla, Q. -V. Pham, P. Kumar, K. Dev, W. -J. Hwang, et al., “Survey on 6G frontiers: Trends applications requirements technologies and future research”, IEEE Open J. Commun. Soc., vol. 2, pp. 836-886, 2021
- [15] 崔春风, 王森, 李可, 等. 6G 愿景, 业务及网络关键性能指标[J]. 北京邮电大学学报, 2020.
- [16] S. Yrjölä, P. Ahokangas and M. Matinmikko-Blue, “Visions for 6G Futures: a Causal Layered Analysis”, 2022 Joint European Conference on Networks and Communications & 6G Summit (EuCNC/6G Summit), Grenoble, France, pp. 535-540, 2022
- [17] IMT-2030(6G)推进组, 通信感知一体化技术研究报告, 2022
- [18] vivo 通信研究院, 数字生活 2030+, 2020
- [19] OPPO 研究院, 《零功耗通信》白皮书, 2022
- [20] 刘革平;高楠;胡翰林;秦渝超. 教育元宇宙:特征、机理及应用场景[J]. 开放教育研究,2022,(01):24-33.
- [21] Next G Alliance, “Next G Alliance Report:6G Applications and Use Cases”, 2022
- [22] vivo 通信研究院, 6G 愿景、需求与挑战, 2022
- [23] Imoize AL, Adedeji O, Tandiya N, Shetty S. 6G Enabled Smart Infrastructure for Sustainable Society: Opportunities, Challenges, and Research Roadmap. Sensors (Basel). 2021 Mar 2;21(5):1709. 2021
- [24] 王萌. 智慧博物馆在 6G 时代的应用展望[J]. 中国建设信息化, 2022(20):2.
- [25] 王志勤, 杜滢, 从万物互联到万物智联[J], 信息通信技术 2021, 15(5):4-7,2021

- [26] Samsung Research, “6G--The Next Hyper Connected Experience for All” ,2020.
- [27] 中国电子技术标准化研究院, 工业物联网白皮书(2017版), 2017
- [28] 5G-ACIA, “Early considerations for 6G connected industries and automation” , 2023
- [29] one6G, “6G Vertical Use Cases: Descriptions and Analysis” , 2022
- [30] 国家标准 GB/T 37043-2018 《智慧城市 术语》, 2018
- [31] IMT-2030(6G)推进组, 《6G 典型场景和关键能力》白皮书,2022.
- [32] M. A. Uusitalo et al., “6G Vision, Value, Use Cases and Technologies From European 6G Flagship Project Hexa-X,” IEEE Access, vol. 9, pp. 160004 - 160020, Nov. 2021
- [33] Mahmoud H , Amer A A , Ismail T . “6G: A Comprehensive Survey on Technologies, Applications, Challenges, and Research Problems[J]” . Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, 2021:1-14.
- [34] 郎平, 田大新. 面向 6G 的车联网关键技术[J]. 中兴通讯技术, 27(2):4, 2021
- [35] 刘光毅, 王莹莹, 王爱玲. 6G 进展与未来展望 [J] . 无线电通信技术, 47(6) : 668—678, 2021
- [36] 刘光毅,金婧,王启星,等. 6G 愿景与需求: 数字孪生、智能泛在[J]. 移动通信, 44(6): 3-9, 2020
- [37] T. A. Kuzovkova, O. I. Sharavova, V. O. Tikhvinskiy and E. E. Devyatkin, “Matching of 6G Network Capabilities to Digital Services Requirements” , 2022 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO), pp. 1-5, 2022
- [38] Wai CHEN,鲍媛媛. 面向 6G 的智能物联网关键技术[J]. 中兴通讯技术, v. 27; No. 157(02):6-12, 2021
- [39] 3GPP TR 22. 840 V0. 4. 0 (2023-02) -3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects;Study on

Ambient power-enabled Internet of Things (Release 19)

- [40] 中国移动通信研究院, 下一代物联网发展构想白皮书, 2021
- [41] Z. Chen et al., “Terahertz wireless communications for 2030 and beyond: A cutting-edge frontier”, IEEE Commun. Mag., vol. 59, no. 11, pp. 66-72, 2021
- [42] 符山, 吕艾临, 闫树. 知识图谱的概念与应用. 信息通信技术与政策, vol.5, pp 10-13. 2019
- [43] Jian-Wei Pan, “Quantum cryptography: An emerging technology for secure communication”, Science China Physics, Mechanics & Astronomy, 2018.
- [44] 马民虎,寰球密码法律政策发展动态简报. 2022
- [45] Kaur, Ramanpreet, et al. “Artificial Intelligence for Cybersecurity: Literature Review and Future Research Directions.” Information Fusion, vol. 97, p. 101804, 2023

参编单位及人员

(排名不分先后)

中国移动通信研究院：肖善鹏、崔春风、马帅、王启星、孙琳、杨博涵、郑师应、金婧、李源、李小涛、王曦泽、郑银香、敬义天、贾千帆、马泽瑞、宋文静

中国信息通信研究院：黄颖、王涵

中国工业互联网研究院：夏景、白云鹤、刘剑锋

中国电子技术标准化研究院：杨宏、王晓春

北京大学武汉人工智能研究院：吴志强、刘尚

中兴通讯股份有限公司：戴博、黄峰鹤

亚信科技控股有限公司：黄波、李松泽、郭建超

北京欧珀通信有限公司：崔胜江、徐伟杰、唐海

北京五一视界数字孪生科技股份有限公司：王辰康、姚新新、金志国

中建科技集团有限公司：曾涛、苏衍江

广东天物新材料科技有限公司：黄伟聪、冯嘉俊

上海诺基亚贝尔：沈钢、陶涛

北京易智时代数字科技有限公司：王红梅、刘林