



中国移动
China Mobile

研究院
CMRI

6G 国际发展态势报告



中国移动通信研究院（中移智库）

前 言

以科技创新促进人类社会可持续发展，是联合国 2030 可持续发展议程的重要内容。第六代移动通信（简称 6G）既是面向未来，引领创新的前沿科技，也是与经济社会融合交织的复杂技术系统，对于促进数字经济发展，加快产业结构升级，消弭数字鸿沟差距，助力可持续发展目标实现将发挥重要作用。面向 2030+经济社会发展的新需求和新挑战，6G 将在 5G 基础上持续推动通感算一体，实现人、机、物智联，加速物理世界和数字虚拟世界的无缝衔接，赋能生产方式、生活方式和社会治理方式转型升级。

世界各国不仅把 6G 作为构筑未来数字经济与社会发展的重要基石，也将其视为国家间前沿科技竞争的制高点。全球主要国家的多个研究机构和联盟组织相继发布了 6G 总体愿景、技术趋势、网络架构等方面的白皮书和研究报告，陈述各国发展 6G 的宏伟愿景与技术思考。当前，6G 正处于从愿景擘画、技术预研走向建立共识、订制全球标准的重要窗口期，及时跟踪、充分了解主要国家的 6G 愿景诉求，技术路线和应用场景，明晰各国认知差异，对未来凝聚形成共识具有重要价值。

本报告充分考虑新一轮科技革命与产业变革加速演进的时代背景，将联合国 2030+可持续发展议程设置的人类、地球、和平、繁荣与合作五维可持续目标，依托研究情境引申为人机协同共存、环境低碳友好、信息透明可信、技术繁荣创新、产业合作共赢五方面，沿着人机协同需要机物智联，环境友好需要网络低碳，信息畅通要

·

求网络可信，网络演进需要技术创新，产业进步需要建用互促的脉络，提出 6G 国际发展态势五维分析框架：从“以人为本，人机协同的智联网络”、“绿色节能，环境友好的低碳网络”、“互联互通，守牢底线的可信网络”、“迭代升级，技术先进的创新网络”、“创生场景，繁荣产业的赋能网络”五个维度，对美国、欧盟、日本、韩国以及中国的 6G 发展态势展开比较分析。

目前 6G 的研发工作正在加速推进中，未来两年将迎来标准化的关键窗口。本报告旨在总结世界主要国家对 6G 的体系认知与前瞻思考，凝聚共识、汇聚合力，为建立全球统一的 6G 标准做好准备。后续中国移动将联合产业界和学术界及时跟踪 6G 国内外发展态势，为 6G 顶层规划提供借鉴。

本报告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. 背景与思路 1

2. 以人为本，人机协同的智联网络 2

 2.1 人、机、物协同泛在智联 2

 2.2 空、天、地一体广域覆盖 3

 2.3 小结 4

3. 绿色节能，环境友好的低碳网络 5

 3.1 降低能耗，提升能源使用效率 5

 3.2 减少碳排，助推环境可持续发展 7

 3.3 小结 8

4. 互联互通，守牢底线的可信网络 9

 4.1 研发数据和网络安全技术，确保网络韧性稳健 9

 4.2 探索前沿技术，赋能 6G 可信网络服务 11

 4.3 小结 13

5. 迭代升级，技术先进的创新网络 14

 5.1 加强频谱利用预研，启动电磁频谱规划 14

 5.2 软件定义与技术融合影响 6G 技术路线选择 16

 5.3 小结 17

6. 创生场景，繁荣产业的赋能网络 19

 6.1 场景聚焦具身体验和机物智联 19

 6.2 产业聚焦潜力深、辐射广的行业 23

 6.3 小结 26

7. 结语 27

缩略语列表 28

参考文献 30

1. 背景与思路

当前，以 6G 等为代表的前沿数字科技引领新一轮科技革命和产业变革加速演进，建设高速泛在、天地一体、云网融合、智能敏捷、绿色低碳、安全可控的 6G 网络，是打造 2030+智能化综合性数字基础设施，畅通经济社会发展信息“大动脉”的重要基石。从技术演进视角看，6G 既是对 5G 技术的迭代升级，也是面向人机物智联潜在需求，实现通信技术、信息技术、大数据技术、AI 技术、控制技术深度融合的新一代移动通信系统。从复杂系统演化视角看，6G 的发展呈现海量数据、高速带宽和高效算力交织迭代，市场需求与技术供给互为因果，国家战略引领与企业实践探索相互促进的新特征。

伴随大国间科技竞争和产业博弈持续加剧，世界主要国家和地区纷纷加速布局未来产业，构筑未来竞争新优势。按照“使用一代，建设一代，研发一代”的移动通信发展节奏，全球 6G 竞赛已经拉开帷幕。为及时跟踪、充分了解主要国家的 6G 愿景诉求，技术路线和应用场景，明晰各国认知差异，构建图 1 的 6G 国际发展态势分析框架。



图 1 6G 国际发展态势分析框架

后续各章将依托图 1 框架，从“以人为本，人机协同的智联网”、“绿色节能，环境友好的低碳网络”、“互联互通，守牢底线的可信网络”、“迭代升级，技术先进的创新网络和创生场景”、“创生场景，繁荣产业的赋能网络”五方面比较美国、欧盟、日本、韩国和中国的 6G 最新发展动态。

2. 以人为本，人机协同的智联网络

6G 网络通过提供人与人、人与物、物与物之间的连接，以及实现天基、空基、地基互联的网络，延伸信息服务的宽度、广度和深度，期望满足用户个性化的性能需求，实现以人为本的按需服务。

2.1 人、机、物协同泛在智联

美国把人机物协同作为 6G 发展的重心。2022 年 2 月，Next G 联盟提出了美国未来发展 6G 的六大愿景，其中之一即是增强数字世界体验（Digital World Experience,DWE）。面向 6G 的数字世界体验包括各种可以改变物理、数字和生物世界中人类互动的多感官体验，在 6G 技术驱动下，创新的人机界面和人-机通信产生的协同效应将推动数字世界体验更好地发展。

欧盟 5G-PPP 组织主张未来网络架构要适配全新的人、机、物通信需求。未来的人、机、物互联互通不仅要设计全新的人机交互方式，还要考虑终端低功耗、计算存储容量有限的趋势，6G 网络将趋于分布式架构，通过众多靠近机、物地理位置的边缘计算中心实现超高密度人、机、物泛在智联。

日本将人机互联视为构建超智能社会（“社会 5.0”）的必要条件。“社会 5.0”是日本政府提出的一种以人为中心的新型社会，依靠物联网（IoT）、人工智能（AI）等科技手段，融合网络空间与现实物理空间，使所有人都能享受高质量的产品与服务，助推经济可持续发展的同时，解决人口老龄化、劳动力短缺等社会问题。日本国家信息和通信研究所（NICT）描述了人机互联的未来场景：用户通过脑机接口，利用 6G 网络的高数据吞吐量、低延迟和高精度定位能力接收三维触觉反馈。

韩国政府还没有提出人机物智联的明确愿景，但龙头企业有机器互联应用设想。三星研究院指出，随着 6G 时代的到来，无线通信的应用从人与人连接扩展到万物互联，发生了范式转变。三星预计到 2030 年，全球联网设备数量将达到 5000 亿台，随着联网机器数量的指数级增长，“机器互联”将成为未来 6G 应用的一大趋势。

中国将人机物智联作为 6G 发展总体愿景之一。IMT-2030（6G）推进组指出：6G 将构建人机物智慧互联、智能体高效互通的新型网络，在大幅提升网络能力的基础上，具备智慧内生、多维感知、数字孪生等新功能。中国移动提出在未来 2030 年及以后的时代，整个世界将基于物理世界生成一个数字化的孪生虚拟世界，物理世界的人和人、人和物、物和物之间可通过数字化世界来传递信息与智能，6G 将促使世界走向“数字孪生、智慧泛在”，实现“6G 重塑世界”的宏伟目标。

2.2 空、天、地一体广域覆盖

当前，移动通信网络主要在人员活动的城市、乡镇广泛覆盖，人迹罕至但机、物触达的陆地与海洋还存在不少网络接入盲区，拓展从近地轨道到地面更大范围的网络延伸也是 6G 网络发展的重点。

日本强调加快关键技术预研以实现 6G 网络从太空到陆地与海洋的广域覆盖。“扩展性”功能强调终端和基站与卫星和 HAPS（High Altitude Platform Station）等不同的通信系统无缝连接，终端和窗口等各种接口转换为基站（泛在基站），通过设备之间的协调实现无处不在的连接。日本超越 5G 推广联盟提出重点研发高吞吐量和容量技术、低延时技术、物联网的大规模连接技术、激光通信、最优路由选择和多连接技术、量子密码通信、自主操作技术、边缘计算技术共八类关键技术以助推 6G 网络的空天地一体覆盖。

韩国政府高度重视 6G “空天地一体”，将“超空间”作为 6G 技术研发的五大领域之一。韩国科学与信息通信技术部于 2021 年 1 月提出了 6G 技术研发的 5 大领域，在“超空间”领域，韩国表态将研发 3D 移动空间技术和 3D 空间卫星通信技术等。此外，韩国科学与信息通信技术部表示，在 6G 发展过程中，韩国将努力确保低轨道卫星通信技术的竞争力，以适应未来通信服务从地面到空中的扩展业务。为此，韩国将建立试点网络，努力实现核心技术自主自控，目标计划：在 2027 年通过低轨通信卫星试射验证天线、调制解调器等核心技术；在 2030 年后，将这些技术积极应用部署在国防领域。

中国将空天地一体化作为未来 6G 通信发展的重要方向。IMT-2030（6G）推进组指出 6G 将实现地面网络、不同轨道高度上的卫星（高中低轨卫星）以

及不同空域飞行器融合而成全新的移动信息网络，通过地面网络实现城市热点常态化覆盖，利用天基、空基网络实现偏远地区、海上和空中按需覆盖，具有组网灵活、韧性抗毁等突出优势。中国移动高度重视 6G 天地一体的技术发展，提出支持终端融合一体、无缝连接全球的信息服务能力目标愿景，稳步推进架构融合、空口融合、频率融合和多轨融合四大关键技术。

2.3 小结

建设“以人为本，人机协同的智联网络”是 6G 愿景落地的重要体现，各国都强调在 5G 基础上拓展人机物智联的广度与深度，但在联接重点对象，网络覆盖范围方面存在认知差异：美国高度关注人机物协同，看重增强用户的数字世界体验；欧盟主张网络架构要适配全新的人、机、物通信需求；日本提出以人机互联为基础构建未来超智能社会；韩国强调拓展机器互联应用；中国倡议构建人机物智慧互联、智能体高效互通的新型网络。此外，东亚的中、日、韩三国均希望 6G 网络覆盖范围向空、天、地、海延伸。

3. 绿色节能，环境友好的低碳网络

建立健全绿色低碳，循环发展的经济体系，促进经济社会发展全面绿色转型，是世界各国解决资源环境生态问题的基础之策。将绿色规划、绿色设计、绿色建筑思想纳入 6G 全生命周期，融入节能环保、低碳计算等新兴技术，打造绿色节能、环境友好的 6G 低碳网络，是各国实现碳达峰、碳中和目标的重要途径。

3.1 降低能耗，提升能源使用效率

为建立绿色节能的 6G 网络，美国积极研发 6G 低能耗关键技术。为提升 6G 网络和终端的能源使用效率，Next G 联盟指出，需要依赖节能基础设施、AI/ML 动态优化网络、自适应连接协议、超低功率接口的设备等关键设备和技术，达到能源节约目的，为此开展系列关键技术研发，如表 1 所示。

表 1 美国积极研发的 6G 低能耗关键技术

目标	关键技术	技术研发要点
降低能耗， 提升能效	为提高能效而设计的无线电技术和组件，包括数据转换器、片上系统（SOC）和功率放大器	新的波形、编码、调制和多址方案、预失真、超低分辨率数据转换器、具有更高集成水平的 SOC
	具有优化的计算、网络、存储和数据中心设施的节能基础设施。	为降低 6G 网络空闲资源，对现有的基础设施动态调优
	使用 AI/ML 动态优化网络，从而降低基站、设备和核心网络的能耗。	内嵌 A/ML 算法，实现 6G 网络资源的动态优化，提升服务可用性
	自适应连接协议，允许空闲连接，显著降低设备和无线电功率消耗，节省电池和射频功率。	优化射频协议和频谱功率
	具有真正的超低功率接口的设备能量收集，可缓解电池损耗或在其使用寿命内最大限度地减少电池更换的需要。	可再生/零能量损耗设备

日本强调 6G 低能耗设备研发，注重可持续发展。当前日本积极探索光信号转换和传输等方面的低能耗技术。日本信息通信研究机构（NICT）开发了光信号转换部件和光纤无线传输技术，大幅节能并降低成本，有可能用于超高速网联的各类终端，以满足未来社会基础设施低能耗的要求。

韩国十分看重 6G 网络低能耗技术的研发。一方面通过引入人工智能技术降低终端和网络系统能耗开销。韩国科学与信息通信技术部提出，人工智能芯片和人工智能功耗优化系统将应用于总能耗占比较大的基站。另一方面通过基站节能、核心网优化和网络设备节能实现 6G 网络低功耗发展。作为韩国三大运营商之一的 SKT 表示要通过构建绿色内生网络来实现碳中和目标，分别从降低基站功耗、优化核心网功耗、降低设备功耗三方面切入，发展目标与支撑技术总结如表 2 所示。

表 2 SKT 构建绿色内生网络的发展目标及支撑技术

研究方向	发展目标	支撑技术
降低基站功耗	在基站设备设计、开发和运营的各个方面积极降低基站功耗	提出了考虑设备间性能差异的 P-index，以及基于 P-index 的功耗监控方法。此外，正在开发以 P-index 作为 KPI 的设备，计划 6G 商用后持续改进。
优化核心网功耗	在不影响客户服务质量的前提下降低功耗	重点考虑对现有服务器云化并融合 LTE/NSA/SA 系统以节省资源，同时也考虑使用低功耗、高性能的硬件组件以达成目标。 已开发出根据实时流量控制 CPU 动态功耗的技术，并计划实现技术的商业化。
降低设备功耗	在不影响性能的前提下大幅降低 6G 设备功耗	计划使用 UAI 运营机制，实施精细的节电操作。 计划验证 WUS 的性能增益并应用在未来 6G 设备中 讨论应用 RedCap 等轻量级物联网技术，此外计划研发适合各类物联网设备的能量收集技术。 努力克服电池技术的局限性，将持续跟踪固态电池为代表的前沿技术。

中国主要通过节省优化控制面信令交互、简化用户面数据传递，以及对网络功能、网络切片、专网园区进行能耗监控和智能化控制等方式提升能源利用效率，减少能耗。为减少 6G 网络发展能耗，达到绿色低碳的目的，中国移动倡导可以采取以下措施：（1）用户面引入更多更灵活的本地交换，类似 5G LAN 的本地交换，以及 D2D 的终端直接通信等技术手段，通过本地化处理用户数据，减少数据传输，以减少相应的能耗。（2）智能化的能耗监控及能耗控制。增加能耗监控粒度，引入网络功能粒度、网络切片粒度、园区粒度等的能耗监控，并叠加大数据分析预测能力。（3）用户迁移和流量疏导。及时扩缩容、流量疏导，对流量密度低的地区可进行资源与设备节能模式。还可以考虑切片间疏导，空闲切片关闭等。针对热点区域，可以使用潮汐机制，在用户量波谷

时，引入基站间、网元间、切片间的用户无损迁移机制，在保障用户服务质量的同时，减少网络设备的耗电量。

3.2 减少碳排，助推环境可持续发展

为实现绿色低碳的 6G 网络，美国加强研发降低环境影响的关键技术。针对环境可持续性目标，Next G 联盟指出，通过改进制造电子产品所需稀有材料的冶炼工艺，跟踪并减少材料提取，达到减少环境影响目的，如表 3 所示。

表 3 美国降低 6G 环境影响的关键技术

目标	关键技术	技术注意事项
减少环境影响	改进制造电子产品所需稀有材料的冶炼工艺，跟踪并减少材料和稀有材料提取对环境的影响。	提高材料的回收率，减少废料，最大限度降低对环境的负面影响。

欧盟从终端、网络和应用等层面研发降低碳排放技术。5G PPP 架构工作组将 6G 的可持续发展因素贯穿于网络部署、网络管理和服务应用等不同层面，从减少碳排放、节约资源、提高资源利用效率等多方面推动 6G 可持续目标达成。国际电信联盟（ITU）、全球可持续性推动倡议（GeSI）和基于科学的目标倡议（SBTi）共同制定了在 2015 年至 2030 年间将 ICT 环境足迹减少 45% 的方向，以符合巴黎协定温控 1.5℃ 的限制，实现脱碳目标。

中国将助力行业绿色低碳转型作为 6G 发展的主要目标。IMT-2030（6G）推进组认为绿色低碳是 6G 的一个典型特征，倡导将绿色低碳作为网络设计的基本准则，进而在技术创新、系统设计、网络运维等多个环节融入节能理念，降低终端、网络设备能耗，赋能行业低碳发展。高耗能行业的绿色低碳转型亟需 6G 提供更加精准、高效的数字化管理能力。电力行业，智能电网的运行态势监测、应急指挥调度等要求 6G 提供更安全、更可靠、更高效的感知和分析能力，助力电力系统提效；建筑领域，“装配式”建筑工厂推广、智能制造质量管控与安全监管等，要求 6G 提供更完善的数字化设计体系和人机智能交互能力；工业领域，工厂需借助 6G 高速率、海量连接的优势推进工业生产全流程动态优化和精准决策，助力工业企业节能减排。2020 年 9 月，中国宣布力争二氧化碳排放于 2030 年前达到峰值，2060 年努力实现碳中和。为助推实现碳达峰和碳中和目标，中国移动明确了实现路径：（1）推动 6G 网络和终端设备与新能源的集成或深度融合，提升可再生能源占比，将绿色能源广泛应用于 6G

网络，减少碳排放；（2）6G 网络赋能电力、工业、交通和建筑等行业深度脱碳，智赋生产，实现可持续发展，通过广泛互联、智能互动，赋能千行百业的绿色化，为全球工业的可持续发展发挥核心作用。

3.3 小结

构建绿色节能、环境友好的 6G 低碳网络，不仅是促进 2030+ 经济社会绿色转型的重要抓手，也是助推各国实现碳达峰、碳中和目标的重要途径。本节对各国 6G 绿色低碳发展动态的研判发现，随着用户对 6G 更大带宽、更低时延、更高速率期望的攀升，各国均高度重视 6G 网络节能与减排双重目标的达成，但在具体技术手段和实现路径上存在不同看法：美国强调优先研发 6G 相关绿色节能技术；欧盟站在赋能循环经济高度制订 6G 助推环境、社会和经济（ESG）整体可持续发展量化指标；日本强调低能耗设备与传输技术的研发；韩国致力于构建绿色内生网络，引入人工智能技术端到端优化终端与网络设备功耗；中国强调将绿色低碳理念融入 6G 技术研发、架构设计与产业发展各环节，赋能行业实现绿色低碳转型。

4. 互联互通，守牢底线的可信网络

网络的本质在于互联，信息的价值在于互通。纵观人类社会发展历程，每一次重大技术革新，都会给各国安全带来新的挑战。应对网络安全威胁，确保数据安全合规，已成为世界各国共同的利益和需求。

4.1 研发数据和网络安全技术，确保网络韧性稳健

美国积极研发数据安全和网络安全关键技术。Next G 联盟提出未来美国 6G 发展的愿景之一是 6G 网络的信任、安全和韧性，旨在解决 6G 预计采用的新功能、用例和技术带来的全新安全挑战，以满足 6G 在许多关键应用中对可靠性、韧性、抗攻击性等更高的要求。数据安全要求在 6G 网络下使用数据必须合乎道德，尊重数据所有权、隐私和版权，此外，必须维护与个人和权益所有权相关的数据保密性。为保证 6G 网络下的数据安全，美国主要依赖基于信任的身份权限、隐私保护技术、密码计算、后量子密码技术等关键技术。网络安全要求 6G 网络应更具韧性，对连接和中断的响应能力更强，从而带来更高层次的可靠性与可用性。为达到网络安全目标，美国预计从供应链到组件的设计和集成，都将考虑安全性和隐私保护，从各个方面提高用户对网络的信任，并主要通过可解释的网络托管 AI 来实现，如表 4 所示。

表 4 美国保障 6G 网络安全可信关键技术

目标	关键技术	技术注意事项
网络可信任	网络托管 AI 模型可解释可信任，能按照法律和道德标准对 ML 使用进行强有力的制衡	可解释的 AI
	针对第三方功能的数据保护，包括对机器学习数据集和模型参数的一致处理	AI/ML 的安全性和保密性
安全和隐私	所有硬件和软件功能组件的信任链；盲签名、零知识证明和群签名等技术	基于信任的身份权限
	同态加密、多方计算、联合学习	隐私保护技术和协议栈
	关键任务网络切片的机密计算；使用受信任的执行环境	机密计算

	缓解因使用量子计算机危害传统密码方法的风险	后量子密码技术
--	-----------------------	---------

为确保 6G 网络的超安全性和可靠性，日本从“设计”、“运营”和“管理”三方面研发技术。设计方面，研发抗量子公钥加密(后量子加密)和用于机密性和完整性的抗量子对称密钥加密技术，用于身份验证和授权的可信技术；用于追溯的日志、事件和交通流信息收集和管理技术；用于抵御攻击、防范故障的早期预测性攻击行为发现及动态响应和恢复技术。运营方面，研发操作自动化技术，用于集中管理、响应并恢复事件；研发异常和非法通信检测技术，用于防范非法攻击；研发可信网络连接控制技术，以防未经授权用户连接易受攻击的设备。管理方面，研发先进的威胁和风险分析技术，以感知组织可预见的威胁(网络攻击等)，计算威胁对组织的影响程度(量化网络攻击造成的损失危害等)，进而识别预期的风险，同时根据风险分析结果动态优化应对策略；根据网络攻击的变化，全域审核并验证 Beyond 5G 环境的合理性。

韩国政府和企业提出了“构建更加稳健、安全的网络基础设施”的 6G 发展愿景。韩国政府高度支持 6G 安全技术的发展，韩国科学与信息通信技术部表示，韩国通过了“信息安全核心源技术开发项目”，以支持“超可靠”领域的“6G 安全国际化战略技术”的研发工作。在 6G 网络安全方面，韩国科学与信息通信技术部根据未来环境变化提出了两点安全内在需求，分别为“6G 全球网络安全情报的国际化”以及“质量保证型安全的内化”。在 6G 数据安全方面，韩国科学与信息通信技术部提出了“基于后量子密码学的 6G 密码系统的内化”的安全内在需求，如表 5 所示。

表 5 韩国 6G 环境变化及 6G 安全内在需求

未来环境变化	通用人工智能的普及	关键任务服务的扩展	量子计算时代的到来
面临挑战	随着 6G 智能化（通用化），AI 功能障碍和 AI 黑客攻击预计将正式开始。	要确保使用 6G 关键服务，如远程手术和自动驾驶车辆等的应用安全。	量子计算技术引发的常规密码崩溃威胁变得越来越明显
6G 安全内在需求	6G 全球网络安全情报的国际化	质量保证型安全的内化	基于后量子密码学的 6G 密码系统的内化

中国高度重视 6G 网络安全问题，强调发展多模信任的网络内生安全。IMT-2030 推进组提出传统的安全信任模型已经不能满足 6G 安全的需求，需要支持中心化的、第三方背书的以及去中心化的多种信任模式共存。首先，6G 网络满足以用户为中心提供独具特色的服务，要求提供多模、跨域的安全可信体系，

传统的“外挂式”、“补丁式”网络安全机制对抗未来 6G 网络潜在的攻击与安全隐患更具挑战。其次，6G 安全架构应奠定在一个更具包容性的信任模型基础之上，具备韧性且覆盖 6G 网络全生命周期，内生承载更健壮、更智慧、可扩展，涉及多个安全技术方向的安全机制。第三，将安全架构与网络架构的迭代进行一体化设计是关键。通信网安全需兼顾通信和安全，在代价和收益之间做出平衡，同时以“安全防护无止境”为始终，从攻防对抗视角动态度量通信网安全状态，结合区块链等技术的引入不断演进。

4.2 探索前沿技术，赋能 6G 可信网络服务

欧盟积极探索区块链、人工智能技术助推构建 6G 可信网络服务。信息的可信度是 Hexa-X 项目中的六个主要研究挑战之一，并且安全性构成了 6G 连接中所有可信系统化的基础。安全性涵盖网络安全的各个方面，如对抗攻击的弹性、隐私保护以及在网络运营和应用中道德、安全地应用自动化手段（特别是人工智能）。为确保 6G 网络安全，欧盟将采用以下这些新技术。第一，是人工智能/机器学习（AI/ML）技术，其一方面需要仔细考虑安全问题以确保其完整性和可信度，另一方面，它也是创建良好安全机制的强大方法；第二，6G 网络还将了解其用户的许多信息并通过感知技术了解网络覆盖区域内发生的情况，这类应用中对于由网络收集的敏感信息的隐私至关重要，现有的技术是同态加密，这种新的加密方法已经进行了相当长时间的研究且取得了一定成果；第三，必须考虑的另一个重要趋势是量子计算机的发展，使用“量子安全密码学”来保护信息免受未来量子计算机的攻击。第四，6G 网络和服务将涉及多个利益相关者共同合作的场景，并且可能没有完整实体来建立相互信任。在这种情况下，分布式账本技术可能变得有效，可以在多个独立节点之间“分布信任”。欧盟关于 6G 安全架构关键组件如图 2 所示。

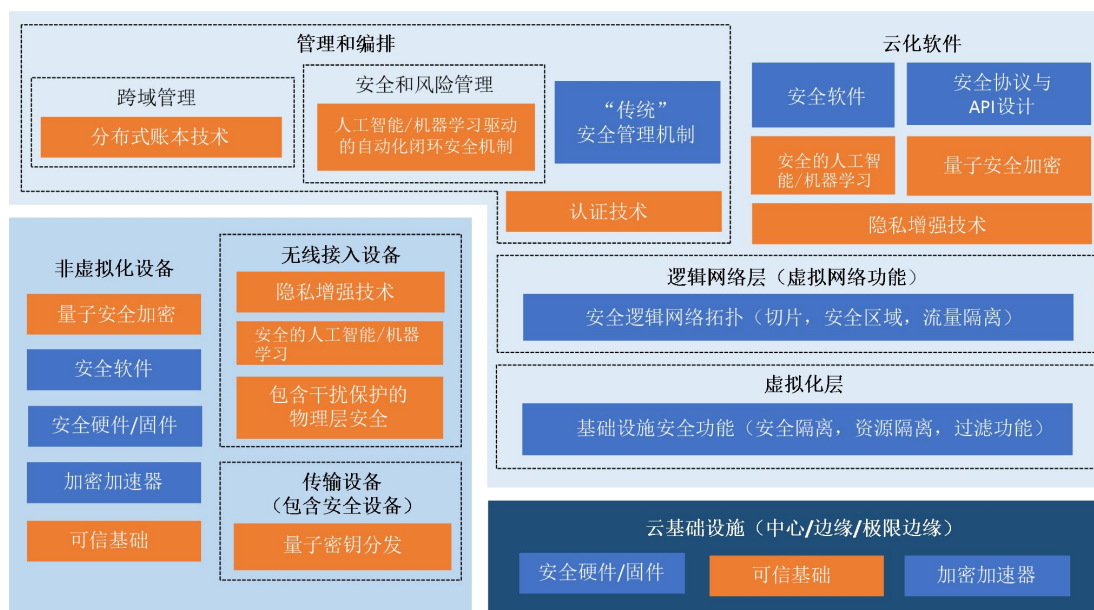


图 2 欧盟 6G 安全架构关键组件构成

日本积极研发超高速大容量技术、超低延迟技术、超大规模连接技术、超低能耗技术、自动化技术、可扩展技术等安全相关技术。超高速大容量技术是用来研发超过 100Gbps 通讯速度的更快、更轻的加密方法，同时可以监控大流量和保护大数据存储资源；超低延迟技术方面，通过使用超高速量子对称密钥加密来确保超低延迟，克服高速共识算法、分布式区块链与集中式网络架构的融合存在的问题；超大规模连接技术保证同时连接大量边缘系统，对连接的边缘系统(用户、设备等)进行认证和授权处理；超低能耗技术考虑通过硬件实现与信任相关的高处理负载(高功耗部分)，通过减少保护机制的重量来开发有助于降低功耗的技术，减少信任启用级别；自动化技术引入自治安全机制以确保对攻击和故障的抵抗力；可扩展技术实现对设备和系统的信任集成管理，引入集成配置管理系统框架，自动掌握扩展后的 Beyond 5G 配置模块与使能信任的设备和系统之间的对应关系。

韩国运营商致力于量子加密技术在网络和设备的应用研发。作为韩国三大运营商之一的 SKT 主要致力于网络安全领域，积极研发量子安全技术。SKT 表示其正在逐步开发 Q-SDN、QKDN Federation 等量子密码网络融合技术，实现不同厂商设备之间、运营商之间、国家之间的量子密码网络的一体化运控。此外，SKT 向 ETSI 标准化组织提出的量子密码网络管理解决方案于 2021 年 12 月获得批准，并于 2023 年 4

月在韩国测试网络中成功演示。此外，SKT 提出下一代设备安全可分为移动网络安全、硬件安全、固件和软件安全、应用和服务安全四个领域。其计划开发相关技术，通过应用基于 SIM 和 OS 的量子技术，实现针对第三方服务提供商的独立安全服务和集成管理。

中国强调通过人工智能、区块链技术、隐私计算赋能 6G 可信网络。随着 6G 网络与人工智能的深度集成，通过对网络数据、业务数据、用户数据、网络攻击行为和安全威胁情报等多维数据进行学习，助力网络安全智能化，提高通信安全自主自治能力，降低网络安全运营成本，建设可度量、可演进的安全内生防护体系。区块链特有的哈希链式基本架构及其关键技术为 6G 安全可信管理、构建信任联盟提供了新的技术支撑。将区块链与身份认证结合，可实现身份自主管控、不可篡改、有限匿名等，解决 6G 多方信任管理、跨域信任传递、海量用户管理等难题。隐私计算作为信息安全的核心技术之一，可以为 6G 网络提供一个时间上持续、场景上普适、隐私信息模态上通用的体系化隐私解决方案，实现对隐私信息的全生命周期保护。

4.3 小结

6G 面向人机物泛在智联与空天地一体化覆盖的宏伟愿景，对网络的稳健性、服务的可靠性提出了更高要求。本节研究发现，各国均强调要从数据、网络和内容等多层面构建安全体系，全方位保障 6G 网络稳健可信。但在具体的安全策略和技术手段上各有侧重，体现在：美国积极研发数据安全与网络安全关键技术，确保网络韧性稳健；欧盟积极探索基于区块链、人工智能技术构建 6G 可信网络服务；日本主张从“设计”、“运营”和“管理”三方面研发数据安全和内容安全关键技术；韩国致力于引入量子技术开发 6G 内化安全技术；中国强调发展多模信任的网络内生安全，融合人工智能、区块链、隐私计算等技术赋能 6G 可信可靠。

5. 迭代升级，技术先进的创新网络

从技术演进的视角看，6G 网络既是对 5G 网络的迭代升级，也是面向用户未来潜在需求，将通信技术、信息技术、大数据技术、AI 技术、控制技术深度融合的新一代移动通信系统。

5.1 加强频谱利用预研，启动电磁频谱规划

美国提出 6G 新服务和新应用的打造，需要更宽的电磁频谱来适应。为满足 6G 新服务对网络带宽的要求，Next G 联盟认为有必要对 7GHz-24GHz 之间的频谱利用展开研究，并扩展到信道带宽更宽的毫米波（mmWave）频段。7GHz-24GHz 范围的频谱可以利用被动多输入多输出（MIMO）技术来确保良好的覆盖，提高与 3GHz-5GHz 中低频段相关的电容，并为毫米波和太赫兹（THz）频率范围提供控制平面。此外，毫米波和太赫兹频谱被认为是提供高数据速率并实现精确定位和传感的技术手段。**美国主张连续频谱选择和高效频谱共享机制以规避 6G 电磁频谱碎片化。**在 6G 电磁频谱选择方面，连续频谱是较好的选择，因为频谱碎片限制了可实现的数据速率和排列分辨率。为了避免频谱碎片化，多个服务提供商之间需要高效的频谱共享机制，6G 系统和现有系统之间可以考虑创新的共存技术，并考虑保护被动服务。高效的频谱共享有助于减少重叠部署之间的干扰，使频谱能够在被许可方之间重复使用，利用高优先级流量突发性的频谱共享创新有助于提高频谱利用率。此外，解耦的网络架构可以帮助有效地重用网络资源（例如，共享无线电单元），也可以用于通过新的频谱共享技术来提高性能。

欧盟电磁频谱规划尚未正式出台，频谱共享方式还在协商。2021 年，欧盟委员会宣布支持欧盟各国将 5945MHz-6425MHz 共计 480MHz 频谱用于 RLAN 系统。对于 6425MHz-7125MHz 频段，尚未确定具体方案。2020 年 7 月，英国无线电监管机构 Ofcom 决定将 5925MHz-6425MHz 共 500MHz 频率用于 RLAN，

同时该频段需满足极低功率业务户外使用要求。2022 年 4 月，Ofcom 就 6GHz 高频部分（6425MHz-7070MHz）是否采用共享方式使用征求意见。

日本 6G 电磁频谱规划主要借鉴欧盟的经验。2022 年 4 月日本总务省将 5925MHz-6425MHz 规划用于 RLAN 系统，6425MHz-7125MHz 频段规划正在制定中。日本的广岛大学致力于在 300GHz 左右的频段上通过使用 CMOS 技术来实现 THz 通信。

韩国政府层面的 6G 电磁频谱规划尚未出台，龙头企业开展高中低各个频段的技术预研探索。作为韩国科技巨头公司，三星提出从低频段到高频段的各种频段都将在未来的 6G 服务中使用，并针对高中低各个频段分别提出了发展路线。首先，在 24GHz-300GHz 的高频段中，三星认为 sub-THz 技术将是 6G 的候选技术之一，并建议将 W 频段（92GHz-114.25GHz）和 D 频段（130GHz-174.8GHz）作为 6G 的潜在候选频段。其次，对于 7GHz-24GHz 的中高频段，三星预计其将在 6G 中发挥关键作用，提出需要探索移动通信和其他服务之间的频谱共享，以灵活有效地利用 6G 的中高频段。对于 1GHz-7GHz 的中低频段，三星提出其中许多现有频段可以重新划分，应考虑在该范围内的附加频谱和新频谱。最后，对于低于 1GHz 的低频段，三星提出其对于实现广域覆盖仍然很重要，探索 6G 满足除移动运营商之外的用户需求的可能性。同时，三星预计开发技术以实现与现有服务共享该频谱，并最大限度地减少干扰。

中国将在高效利用现有频谱资源的基础之上，通过对毫米波、太赫兹、可见光等不同频段频谱资源的综合高效利用来满足 6G 不同层次的发展需求。IMT-2030（6G）推进组认为，6GHz 及其以下频段的新频谱仍然是 6G 发展的战略性资源，通过重耕、聚合、共享等手段，进一步提升频谱使用效率，将为 6G 提供最基本的地面连续覆盖，支持 6G 实现快速、低成本网络部署。高频段将满足 6G 对超高速率、超大容量的频谱需求。随着产业的不断发展和成熟，毫米波频段在 6G 时代将发挥更大作用，其性能和使用效率将大幅提升。太赫兹、可见光等更高频段，受传播特性限制，将重点满足特定场景的短距离大容量需求，这些高频段也将在感知通信一体化、人体域连接等场景发挥重要作用。

5.2 软件定义与技术融合影响 6G 技术路线选择

软件定义和网络虚拟化是美国 6G 网络演进重要方向，开放的无线接入网（Open RAN）是具体的技术实现路径。Open RAN 技术的研发得到美国政府的大力支持,作为提升其在 5G 以及未来 6G 时代的竞争力的关键技术路线。2019 年 8 月新美国安全中心（CNAS）曾公开表示美国政策制定者应该支持 Open RAN 实现硬件白盒化、软件开源化；2020 年 1 月，美国两党参议员组成的团体提出一项立法《利用战略联盟（美国）电信法案》，计划建立一个 Open RAN 研发基金，来刺激开放式架构和基于软件的无线技术发展；2020 年 5 月，Open RAN 政策联盟正式宣布启动，其目的在于倡导有助于推动 Open RAN 技术发展的政府政策。

日本的 6G 网络关键技术存在多种选择，尚在预研阶段。在关键技术路线方面，日本主张包括超高速大容量通信技术、超低延迟超多连接技术、有无线通信网络控制技术、无线系统的多层化 NTN 技术、时空同步技术、超安全可靠技术、超现场感革新的应用程序技术七个方面。

韩国政府高度重视 6G 技术预研，并将“确保 6G 技术领先水平”作为 6G 的发展目标。韩国要通过 6G 标准化阶段的战略性先发研究和技术验证来提高韩国的技术竞争力，确保其在国际标准化讨论中的领先地位，并提出了“确保 6G 技术领先水平”的发展目标。韩国制定了技术研究日程，并根据 5G 的发展经验提出了 6G 核心技术研发在超高性能、超波段、超精密、超空间、超智能、超信任等 6 大重点领域，实现 Tbps 无线通信、Tbps 光通信、THz RF 部件、THz 频率、端到端超精密网络、空间移动通信、空间卫星通信、智能无线接入、智能网络、6G 质保安全技术等 10 项战略任务。中国目前对 6G 关键技术仍在探索中，提出了一些潜在的关键技术方向以及新型网络技术。主要包括内生智能的新型网络、增强型无线空口技术、新物理维度无线传输技术、太赫兹与可见光通信技术、通信感知一体化、分布式自治网络架构、确定性网络、算力感知网络、星地一体融合组网、支持多模信任的网络内生安全十项关键技术，如表 6 所示。

表 6 中国 6G 关键技术方向及新型网络技术

关键技术方向及新型网络技术	技术内容
---------------	------

内生智能的新型网络	人工智能（AI）技术将内生于未来移动通信系统并通过无线架构、无线数据、无线算法和无线应用等呈现出新的智能网络技术体系。
增强型无线空口技术	包括无线空口物理层基础技术、超大规模被动多输入多输出（MIMO）技术、带内全双工技术等。
新物理维度无线传输技术	如智能超表面技术、轨道角动量技术和智能全息无线电技术等，以实现信息传输方式的革命性突破。
太赫兹与可见光通信技术	太赫兹频段（0.1-10THz）位于微波与光波之间，具有传输速率高、抗干扰能力强和易于实现通信探测一体化等特点，重点满足 Tbps 量级大容量、超高传输速率需求。可见光通信，利用 400THz 到 800THz 的超宽频谱高速通信，具有无需授权、高保密、绿色和无电磁辐射的特点。
通信感知一体化	是 6G 潜在关键技术研究热点之一。设计理念旨在让无线通信和无线感知两个独立的功能在同一系统中实现且互惠互利。
分布式自治网络架构	6G 网络将具有超大规模、提供极致网络体验和支持多样化场景接入，实现面向全场景的泛在网络特性，需开展包括接入网和核心网在内的分布式自治网络架构研究。
确定性网络	工业制造、车联网、智能电网等时延敏感类业务的发展，对网络性能提出了确定性需求，包括：端到端的及时交付；各种运行状态下有界的丢包率；数据交付时有上限的乱序等。
算力感知网络	算力感知网络旨在将云边端多样的算力通过网络化的方式连接与协同，实现计算与网络的深度融合及协同感知，达到算力服务的按需调度和高效共享。
星地一体融合组网	6G 将实现地面网络与不同轨道高度卫星以及不同空域飞行器的融合网络覆盖。通过地面网络常态化覆盖城市热点，利用天基、空基网络按需覆盖偏远地区、海上和空中，具有组网灵活、韧性抗毁等突出优势。
支持多模信任的网络内生安全	信息通信技术与数据技术、工业操作技术的融合，边缘化和设施的虚拟化将导致 6G 网络安全边界更加模糊，传统的安全信任模型将被支持中心化、第三方背书以及去中心化的多种安全信任模型替代。

5.3 小结

5G 向 6G 的技术演进具有迭代升级与融合创新特征，本节对各国 6G 网络技术创新领域的最新动态进行了梳理，发现主要国家都强调需要统筹部署、协调推进电磁频谱规划和关键技术路线，但在具体的实施策略上有所不同：美国

期望拓宽电磁频谱范围，高度重视频谱分配的规划和预研，主张选择连续频谱并构建频谱共享机制规避 6G 电磁频谱碎片化可能。同时，美国明确将软件定义和网络虚拟化作为 6G 网络架构演进方向，将开放的无线接入网（Open RAN）视为具体技术实现路径；欧盟、日本和韩国的 6G 电磁频谱规划尚待确定，但都强调加大频谱共享机制与关键技术的探索。日本聚焦七方面的网络关键技术预研，韩国提出“确保 6G 技术领先水平”的发展目标，确立了核心技术研发的六大重点领域及十项战略任务；中国主张一方面高效利用现有频谱资源，另一方面，通过对毫米波、太赫兹、可见光等不同频段资源的合理规划与使用以满足 6G 不同层次用户个性化的频谱需求。此外，中国也提出了 6G 亟待突破的十项潜在关键技术方向及新型网络技术。

6. 创生场景，繁荣产业的赋能网络

发展数字经济，加快数字化转型，开辟新领域新赛道，已成为世界各国重振并繁荣产业的共同心声。作为数字基础设施的重要组成部分，6G 网络不仅是支撑数字产业化、加快数据要素市场化的技术底座，也扮演着赋能产业数字化的重要角色。

2023 年 6 月，国际电信联盟通过了《IMT 面向 2030 及未来发展的框架和总体目标建议书》，提出了 6G 六大应用场景：沉浸式通信、超大规模连接、极高可靠低时延通信、泛在连接、人工智能与通信融合以及感知与通信融合。这六大应用场景可以归为两种类型，一类是连接增强型场景：沉浸式通信、超大规模连接和极高可靠低时延通信是针对 IMT-2020(5G)应用场景的扩展增强，泛在连接是针对人机物覆盖的拓展；另一类是跨域融合型场景：包括人工智能和通信的融合、感知与通信的融合。

6.1 场景聚焦具身体验和机物智联

美国畅想的 6G 应用场景聚焦机器智联。Next G 联盟提出 6G 典型应用场景主要包括网络化的机器人和自主系统、多传感器扩展现实、分布式传感与通信、个性化用户体验四方面，表 7 展示了 4 类应用场景下的典型用例及预期功能。

表 7 美国 6G 典型应用场景及用例

应用场景	典型用例	用例描述
网络化的机器人和自主系统	群操作服务机器人之间的在线协同操作	多代理场景/群操作模型指多个服务机器人一起执行某些任务。6G 网络系统不仅确保一组服务机器人协作构建的应用层数据（如测量数据）高精度时钟同步，还能根据应用层需求，准实时重新连接中断信号。
	用于危险环境的现场机器人	现场机器人主要用于艰苦险难、无人到达的工作环境，通过远程操控完成检查或维护工作。6G 大带宽、超低时延特性可以保障现场机器人的精准可靠操作。
多传感器扩展现实	沉浸式游戏/娱乐	沉浸式游戏是未来游戏的发展趋势，6G 超高速率、超低时延特性能给用户带来身临其境的沉浸体验。

	混合现实遥现体验	混合现实遥现体验可以实现可穿戴设备的组合，每个人都拥有多个可穿戴设备，相互间无缝切换工作，并具有自然、直观的人机界面。
	沉浸式教育	结合多传感器增扩现实和 AI/ML 等新技术，6G 可以帮助学生通过增扩现实耳机、运动传感器等设备，在信息物理空间参与课程学习。
分布式传感与通信	公共安全应用	借助 6G 网络实现超高清视频及配套直播服务，以增进公共安全全程可视化监测。
	同步数据通道	为应对物联网传感器大量布设，采集数据量指数级增长的难题，6G 网络的大带宽、超低时延特性将保障海量数据的实时同步与快捷传输。
个性化用户体验	个性化酒店体验	特色型酒店希望为用户提供智能化、个性化定制服务，6G 网络大带宽、超高速率特性可以保障服务可靠可信。
	虚拟购物体验	虚拟购物中心能为客户提供身临其境的虚拟购物体验，6G 网络的大带宽、超低时延特性将保障虚拟购物体验完整、仿真。

欧盟设想的 6G 应用场景聚焦 5 方面。6G-IA 描绘了欧盟视角的 6G 技术应用典型场景包括智慧城市与智能交通、个人健康监测与远程医疗、随时随地工作生活、孪生合作机器人的协助、可持续食品生产五个方面，如表 8 所示。

表 8 欧盟 6G 典型应用场景及用例

应用场景	典型用例	用例描述
智慧城市与智能交通	智能化城市管理	智能城市的演进增加了通信能力，并强调通信和传感器数据的收集和整合的重要性，允许设备的高密度部署，不同技术的集成以及传感器的移动性支持。
健康监测	个人健康监测和远程医疗	通过个人健康设备（如可穿戴设备、皮肤传感器），可以监测健康状况，并通过 6G 网络向在线分析服务报告。在线医疗服务与普通医疗系统连接，识别潜在的危险或甚至危及生命的情况，甚至以快速而智能的方式向连接的执行器发出命令，例如药物分发器。
随时随地工作生活	远程服务	随时随地以及所有感官参与，它将使人类能够使用所有感官进行交流，交换感知信息，甚至扩展感官能力。
孪生合作机器人的协助	合作机器人	协作机器人将可靠地读取和解释人类的动作和互动，并以值得信赖、安全和高效的方式做出反应。
可持续食品生产	生产区域环境监测	一方面通过部署在广泛地区，主要是农村地区，以及环境恶劣地区（例如山区）的大量传感器收集数据；另一方面是管理所收集的数据，以实时监视作物和环境状况，预警并防止对粮食生产有害的潜在威胁。

日本规划的 6G 典型创生场景主要包括超宽带通信、泛在感知、关键任务通信、普遍覆盖、超大规模连接、智能连接六方面。超宽带通信是 eMBB 场景的

扩展，典型的应用是沉浸式 XR(扩展现实)和全息通信。该场景将需要极高的数据速率，以及更低的延迟和更大的系统容量，不仅包括人口密集的城市，也包括一些农村地区的部署。**泛在感知**是指将感知与通信系统相结合，实现感知数据的泛在感知和接收的技术，例如，定位、姿势/手势识别、跟踪、成像和映射，促进了虚拟世界和物理世界之间的交互。**关键任务通信**通过扩展 5G 的 URLLC 实现，适用于对传输可靠性和时延要求非常严格的用例，如全自动化、远程控制、远程操作、机器人协作、自动驾驶和远程医疗手术等。**普遍覆盖**旨在提供普遍覆盖，使移动宽带和大范围服务能够在地面任何地方实现，包括在农村和偏远地区以及空域和水上。此外，地面网络与非地面网络(如 HAPS、卫星)能够实现互通，可以作为抗灾基础设施，在发生自然灾害时支持通信的救援和恢复工作。**超大规模连接**是对 5G mMTC 场景的扩展，典型的应用包括读取分散的仪表，监测环境条件，以及在日常生活中连接大量可穿戴设备，电子设备或传感器的零星流量的应用，支持大规模同时连接。**智能连接**将 AI- native 功能整合到 Beyond-5G 网络中，支持 AI 驱动的应用程序以及设备内和网络内的 AI 功能，以提高空中接口和网络本身的性能和效率。

韩国三星主张 6G 三大服务场景：真正的沉浸式 XR、高保真移动全息图、数字孪生。首先，沉浸式 XR 得以实现的关键是硬件。XR 应用中的技术需要先进的设备外形（例如手持式组件）来支持移动和活动软件内容，当前的移动设备缺乏足够的独立计算能力。其次，高保真移动全息图作为下一代媒体技术，其通过实时捕获、传输和 3D 渲染技术来获得要显示的内容，并可以通过全息显示来呈现手势和面部表情，该技术需要极高的数据传输速率。第三，6G 的另一大服务是数字孪生。在 6G 环境中，通过数字孪生，用户将不受时间或空间的限制，探索和监控虚拟世界中的现实。

中国 6G 典型应用场景聚焦在超级无线带宽、超大规模连接、极其可靠通信、普惠智能服务、通信感知融合五方面。IMT-2030（6G）推进组提炼的 6G 五大应用场景如图 3 所示：

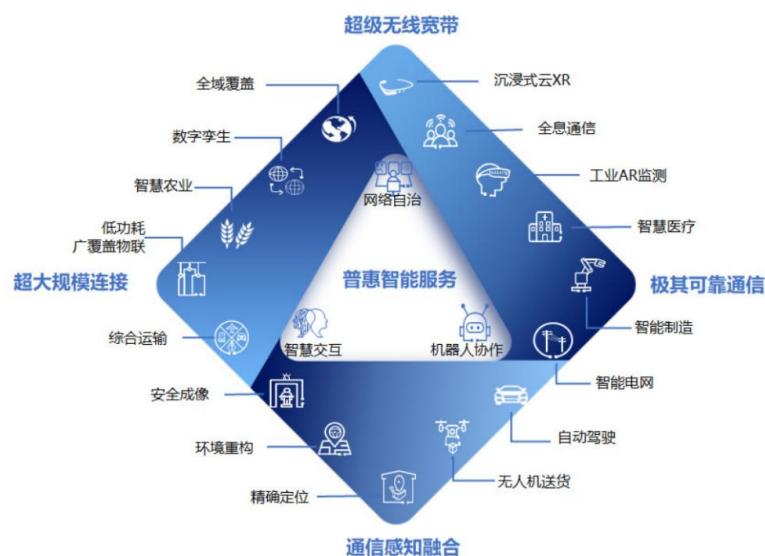


图 3 中国 6G 五大典型应用场景

每个典型应用场景的详细描述及可能用例进一步总结如表 9 所示：

表 9 中国 6G 典型应用场景及用例

典型应用 场景	场景描述	场景用例
超级无线 带宽	超级无线宽带是增强移动宽带（enhanced MobileBroadband, eMBB）的演进和扩展，不仅极大提升以人为中心的沉浸式通信体验，也为用户提供随时随地地上网体验。工作、生活、学习、娱乐等多领域都涉及该场景的应用。	➤ 沉浸式云 XR ➤ 全息通信 ➤ 感官互联
超大规模 连接	超大规模连接旨在拓展全新的应用领域和能力边界。主要用于连网设备数量巨大，流量分发零散且速率供给多样的情形。	➤ 数字孪生
极其可靠 通信	极其可靠通信的典型应用包括智能化工业领域的机器人协作、无人机群和各种人机实时交互操作，智能交通系统中的全自动驾驶，精准医疗中的个性化“数字人”及远程医疗手术。此外，在智慧能源、智能家居等领域也有潜在应用。	➤ 机器控制
普惠智能 服务	普惠智能服务是 6G 的新增典型场景，依托网络对高效分布式智能学习或推理的智能化服务提供集成通信和 AI 算力。不仅服务于特定应用，还将提高网络整体的性能和效率。	➤ 智慧交互 ➤ 智能互联
通信感知 融合	感知和通信的集成将提供高精定位、环境重构、精密成像、实时识别等多元化能力，满足超高分辨率和高精度的应用需求。	➤ 多维感知

6.2 产业聚焦潜力深、辐射广的行业

美国构想的 6G 重点产业覆盖面广。Next G 联盟主张未来美国 6G 应用将重点聚焦于农业，自动驾驶，智慧医疗，教育、游戏和娱乐等行业，既涉及面向企业用户的产业应用，也有服务于个人和家庭的沉浸式体验应用。表 10 总结了美国展望的 6G 重点产业应用及依托的关键技术。

表 10 美国 6G 重点产业应用情况及相关关键技术

重点行业	应用展望	关键技术
智慧农业	有望组合利用大数据、云计算、边缘计算技术，以及低功耗的无线物联网传感技术提升农业播种、栽种效率。	➤ 多应用领域数据的高速传输与高效计算技术 ➤ 数据共享平台构建 ➤ 适配应用场景的时延分级技术 ➤ 通信连通性
自动驾驶	为适应未来汽车呈现的智能连接、自动驾驶和全电驱动趋势，6G 网络将在车辆定位、分布式计算、无线接入、安全/隐私和智能材料等方面发挥重要作用。	➤ 低延迟和高可靠通信 ➤ 分布式计算技术 ➤ 边缘计算技术
智慧医疗	6G 技术在智慧医疗领域发挥着至关重要的作用，它将有助于提供面向病患的远程诊疗服务，并打造场景嵌入，价值为本的新医疗服务。	➤ 智能医院和远程监控中的 6G 网络连接 ➤ 3D 显示组件、设备和系统 ➤ 增强的 3D 成像，实现更准确/更细腻的可视化 ➤ 原生 AI/ML 集成 ➤ 支持数字世界体验的认知系统 ➤ 值得信赖的 AI 支持用户身份验证、访问和隐私保护 ➤ 接近零功耗的设备 ➤ 以用户为中心的隐私防护，支持安全通信与协作 ➤ 高级数据分析 ➤ 围绕患者的微型网络构建
教育、游戏和娱乐	6G 将改善物理、数字和生物世界中的人与人互动，增进诸如教育、游戏和娱乐等体验的真实性。6G 技术的广泛使用将助力北美高等教育在节约成本的同时，提供顶级教育质量，维系全球领先地位，持续影响其他国家和地区。	➤ 短期内提供支持 VR、娱乐和游戏应用的沉浸式体验设备，长远看，为全息体验、设备与传感器的低功耗智联，提供更快数据传输、更高数据处理能力 ➤ 连接技术：提升网络性能，增进用户的网络一致性、可靠性服务体验 ➤ API：保障并实现网络资源可用

		性，智能且动态地优化用户体验
--	--	----------------

欧盟预判 6G 对多个产业的生产方式都将产生颠覆性影响。6G-IA、5G PPP 架构工作组（WG）和 Hexa-X 项目构想的 6G 产业应用聚焦：智能制造、智能交通与智慧物流、智慧医疗、公共事业与灾难救援、智慧农业五方面，如表 11 所示。

表 11 欧盟 6G 重点产业应用场景及说明

应用场景	场景说明
智能制造	通过 6G 的低延迟和高可靠性，可以实现实时的机器人控制和协作，提升生产线的灵活性和自动化水平。此外，6G 还可以支持大规模物联网连接，实现设备和传感器之间的实时互联互通，优化生产流程和质量控制。
智能交通与智慧物流	6G 可用于实时物流跟踪和管理，提高供应链可视化、透明度和追踪能力。通过结合高带宽和低延迟特性，6G 能提供精准的增强现实导航和定位服务，优化交通控制和优化，以及支持大规模物联网连接和传感器网络。
智慧医疗	6G 的高带宽和低延迟特性可以促进远程医疗的发展，包括远程诊断、遥控手术和医疗数据传输。
公共事业与灾难救援	6G 将集成亚太赫兹收发器、无线通信和感知融合等技术，可以提高公共事业管理与灾难救援效率。
智慧农业	6G 支持精准农业技术，如智能灌溉和施肥系统，根据实时数据进行决策和资源管理，优化农业生产可持续性和环境友好性。

日本构想的 6G 重点产业应用多且泛，包括金融、建筑、物流、通信、媒体、能源、汽车、机械、电子、农业、零售、服务、餐饮、娱乐等。在金融领域，全社会数字化转型不断推进，银行、证券、保险等金融行业与 6G 迅速融合和协作，并将推出新的服务，如数字货币、无网点银行服务、先进的安全服务和新兴保险服务等；在建筑行业，利用具有“高速大容量”、“多重连接”、“低延迟”能力的 6G 系统进行无人施工，提高建筑行业的生产率；在物流行业，设想了基于超越 6G 的创新通信和网络技术的各种应用；在电信行业，为用户提供通过化身和机器人访问世界上任何地方的真实体验；在媒体行业，用户不受时间、物理位置或设备的限制，获得与个人生活方式相匹配的广泛服务和内容；在能源行业，引入远程操作机械和无人机监控，降低人员等成本，改善工作环境；在汽车行业，自动驾驶最大限度地减少网络和云数据中心的功耗；

在**机械行业**，通过生产现场数字孪生实现同步生产，实现生产制造和生产工艺灵活应对需求波动；在**电子行业**，满足广泛用户的基本需求，提供兼容性支持；在**农业行业**，加速“智慧农业”和“智慧渔业”的发展；在**零售行业**，建立数据共享和物流基础设施，通过销售产品和商品开发社会/社区服务；在**服务行业**，在网络空间中构建医疗数据库来实现数字孪生，促进先进医疗技术的发展；在**餐饮行业**，机器人、物联网和人工智能等先进技术也有望通过提高食品准备效率、减少人员和其他成本，有效提高餐饮业的销售额；在**娱乐行业**，通过实时连接观众，在虚拟空间中分享感官的热情和统一，成为更加身临其境的娱乐体验。

韩国政府及企业高度重视 6G 的产业赋能。首先在政府层面，韩国科学与信息技术通信部表示韩国将基于 Pre-6G 技术，推动 5 个私营部门和公共部门的 6G 试点项目的结合，以发现早期 6G 融合服务并创建行业生态系统。其中 5 个私营部分分别为，现实内容、智能工厂、自动驾驶汽车、智慧城市、数字医疗。其试点项目中 6G 技术的具体应用场景如表 12 所示。

表 12 韩国设想的 6G 应用场景

应用场景	6G 升级试点服务计划
超高质量互动媒体	实现基于 XR 的沉浸式移动虚拟空间，通过移动+XR（AR+VR+全息等）支持五种感官的超现实沉浸式广播媒体服务。
超精准远程控制	实现基于端到端超低时延技术的无人机超精准远程控制。
近邻空间服务	实现基于低轨卫星的飞机 6G 宽带服务。借助低轨卫星，提供超高速宽带服务，扩大 6G 的空域覆盖范围。
智能工厂	基于数字孪生的高风险设施运行模拟，在虚拟空间中模拟工业事故高风险设施环境（物体、系统、环境等），预测或预判事故发生状况。
自动驾驶	基于超边缘技术的完全自动驾驶。通过创建基于超边缘的有线/无线 0.1ms 响应环境，实现车辆或无人机等的完全自动驾驶。
智慧城市	基于 6G 的超大数据学习以及人工智能快速发展，实现支持 3D 服务的超智能自情感机器人服务。
数字医疗	基于量子密码模拟技术（如区块链等），实现基于实时生物特征信息的医疗管理和诊断护理，并对生物特征加密。

中国移动联合全球运营商及行业合作伙伴，聚焦 4 大类、14 个通用应用场景。中国移动依托下一代移动网络国际平台，与全球运营商及行业伙伴通力合作，将 6G 应用场景归纳为增强的人类通信、增强的机器通信、新的使能业务、

网络的演进 4 个大类，定义了 14 个通用的应用场景，为 6G 行业拓展提供指导，如表 13 所示。此外，还强调 6G 应用场景与 6G 的功能设计应满足社会需要、市场需求和运营需求。

表 13 中国移动构想的 6G 重点应用场景

应用方向	应用场景
增强的人类通信	沉浸式 XR 和全息式远程呈现
	多模远程操作
	基于感觉技能思想共享的智能交互
增强的机器通信	机器人网络结构
	协作机器人交互
新的使能业务	3D 超精定位追踪
	虚实交互
	数字医疗
	自动探测
	智慧产业
	可信服务框架
网络的演进	原生可信 AI
	空天地普遍覆盖
	自主能效优化

6.3 小结

6G 既是加速数据要素流转的重要通道，也是支撑数字产业化发展，赋能产业数字化转型的关键基础设施。本节研究发现，各国构想的 6G 典型场景与产业应用尽管多且泛，但都可以归属为连接增强型和跨域融合型两类场景，只是重点拓展的具体领域有所区别：美国畅想的 6G 应用聚焦机器智联；欧盟设想的 6G 应用涉及智慧城市与智能交通、个人健康监测与远程医疗、随时随地工作生活、孪生合作机器人协助以及可持续食品生产五方面；日本规划的 6G 应用主要包括超宽带通信、泛在感知、关键任务通信、普遍覆盖、超大规模连接和智能连接六方面；韩国主张 6G 服务应重点拓展沉浸式 XR、高保真移动全息图景和数字孪生；中国提出 6G 典型应用涉及超级无线带宽、超大规模连接、极其可靠通信、普惠智能服务、通信感知融合五方面。整体而言，美、欧、日、韩、中，都强调在潜力深、辐射广的行业探索场景化应用创新。

7. 结语

以 6G 科技创新赋能 2030+经济社会可持续发展，是全球各国的重要共识。作为面向未来的智能基础设施底座，6G 愿景的确立，关键技术的预研以及产业生态的布局，不仅影响各国移动通信网络的演进方向，也正在成为主要国家间科技角力的主战场。通过研析美国、欧盟、日本、韩国和中国 6G 发展情况，总结各国对 6G 愿景、技术路线和应用场景的认知异同，提出全球 6G 健康有序发展的两点建议如下：

一是，以可持续发展为宗旨，实现 6G 助推 2030+全球经济、社会、环境协同、包容性发展。6G 既是面向未来的前沿科技创新，也是影响人类社会可持续发展的巨型技术系统。6G 将推动人类经济社会由人与人通联主导的信息时代步入人机物智联的数智化新时代，并重塑人与物理世界和数字世界的交互关系。从 5G 向 6G 的演进要以推动全人类可持续发展为中心任务，通过技术创新与应用创新促进世界各国数字经济均衡发展，加快发展中国家产业结构升级，消弭国家和地区间数字鸿沟差距，让 6G 发展成果更多更公平地惠及各国人民。

二是，以构建全球 6G 发展共同体为目标，强化国家间、政企间多元紧密协作，共促 6G 健康发展。移动通信的过往发展历史表明，开放共享的创新成果、全球统一的技术标准，是推动下一代网络从各国倡议走向共同实践，从构想转化为行动，从愿景转变为现实的重要前提。6G 的健康发展需要凝聚全球智慧，形成发展合力，在技术研发、标准推进、产业培育等方面形成共识，推动形成全球统一的 6G 标准与生态。

本报告构建了 6G 国际态势多维分析框架，介绍了中国移动对美国、欧盟、日本、韩国和中国 6G 最新发展的比较分析，后续将根据研究进展动态更新。

缩略语列表

缩略语	英文全名	中文解释
6G-IA	6G Infrastructure Association	6G智慧网络和业务产业协会
AI	Artificial Intelligence	人工智能
DICT	Data Technology [DT], Information Technology [IT], Communication Technology [CT]	数据技术，信息技术，通信技术
DT	Data Technology	数据技术
IT	Information Technology	信息技术
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output	多输入多输出
OT	Operation Technology	运营技术
SBA	Service-Based Architecture	服务化架构
XR	Extended Reality	扩展现实
IoT	Internet of Things	物联网
HAPS	High Altitude Platform Station	高空平台站
NTN	Non-Terrestrial Network	非地球网络
LEOVLEO	Low Earth Orbit Very Low Earth Orbit	低轨或超低轨卫星
ML	Machine Learning	机器学习
SOC	System-on-a-Chip	片上系统
LTE	Long Term Evolution	长期演进技术
NSA	Non-Standalone	非独立网络
SA	Standalone	独立网络
UAI	UE Assistance Information	UE辅助信息
WUS	Wake Up Signal	唤醒信号
LAN	Local Area Network	局域网
D2D	Device-to-Device	设备对设备
ICT	Information and Communication Technology	信息与通信技术
RAN	Radio Access Network	无线接入网络
Q-SDN	Quantum-Software Defined Networking	量子软件定义网络
QKDN	Quantum Key Distribution Network	量子密钥分发网络
SIM	Subscriber Identity Module	客户识别模块
OS	OperationSystem	操作系统
RLAN	Radio Local Area Network	无线局域网

CMOS	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor	互补性金属氧化物半导体
NLoS	Non Line of Sight	非视距
LoS	Line of Sight	视距
NTN	New-To-Network	新加入网络
ICT	Information and Communications Technology	信息通信领域技术
BMI	Brain-Machine Interface	脑机接口
eMBB	Enhanced Mobile Broadband	增强移动宽带
URLLC	Ultra-Reliable and Low-Latency Communications	超强移动宽带
mMTC	Massive Machine Type Communications	大规模机器通信

参考文献

- [1] Next G Alliance, Roadmap to 6G, 2022.
- [2] Next G Alliance, Beyond Speed: Promoting Social and Economic Opportunities through 6G and Beyond, 2022.
- [3] Next G Alliance, 6G Technologies, 2022.
- [4] Next G Alliance, 6G Applications and Use Cases, 2022.
- [5] Next G Alliance, 6G Roadmap for Vertical Industries, 2022.
- [6] Next G Alliance, Edge Networks, Core Policy Securing America's 6G Future, 2021.
- [7] Next G Alliance, 6G - The Next Frontier of Innovation and Investment, 2022.
- [8] Next G Alliance, 6G Technologies for Wide-Area Cloud Evolution, 2022.
- [9] Next G Alliance, Sustainable 6G Connectivity - A Powerful Means of Doing Good, 2022.
- [10] Next G Alliance, 6G Distributed Cloud and Communications Systems, 2022.
- [11] Next G Alliance, Trust, Security, and Resilience for 6G Systems, 2022.
- [12] Next G Alliance, 6G Sustainability KPI Assessment Introduction and Gap Analysis, 2022.
- [13] 5G PPP, Beyond 5G/6G KPIs and Target Values, 2022.
- [14] 5G PPP, The 6G Architecture Landscape - European Perspective, 2022.
- [15] 6G-IA, 6G IA - What societal values will 6G address?, 2022.
- [16] 5G PPP, Beyond 5G/6G EMF Considerations, 2023.
- [17] 5G PPP, Beyond 5G/6G KPI Measurements, 2023.
- [18] 6G-IA, From 5G to 6G Vision - A Connected and Automated Mobility (CAM) perspective, 2022.
- [19] Beyond 5G Promotion Consortium, Beyond 5G White Paper ~ Message to the 2030s~V1.0, 2022.
- [20] Beyond 5G Promotion Consortium, Beyond 5G White Paper ~ Message to the 2030s~v2.0, 2023.
- [21] NICT, Beyond 5G/6G White Paper v3.0, 2023.
- [22] 日本总务省, 6G 综合战略, 2020.
- [23] 日本总务省, Beyond 5G 推进战略, 2020.
- [24] IOWN, Vision 2030 White Paper v2.0, 2023.
- [25] NTT Docomo, White Paper 5G Evolution and 6G v5.0, 2023.
- [26] MSIT, The Future Mobile Communication R&D Strategy Leading the 6G Era, 2020.
- [27] Samsung, 6G The Next Hyper Connected Experience for All, 2020.
- [28] Samsung, 6G Spectrum Expanding the Frontier, 2022.
- [29] MSIT, K-Network 2030 Strategy, 2023.
- [30] SKT, SK Telecom 6G White Paper, 2023.
- [31] IMT-2030 (6G) 推进组, 6G 总体愿景与潜在关键技术白皮书, 2021.
- [32] IMT-2030 (6G) 推进组, 6G 典型场景和关键能力白皮书, 2022.
- [33] IMT-2030 (6G) 推进组, 6G 网络安全愿景技术研究报告, 2021.
- [34] 中国移动, 2030+经济社会展望与 6G 新理念白皮书, 2022.

- [35]中国移动, 2030+愿景与需求白皮书, 2020.
- [36]中国移动, 2030+技术趋势白皮书, 2020.
- [37]中国移动, 6G 网络架构技术白皮书, 2022.
- [38]中国移动&NGMN, 6G Use Cases and Analysis, 2022.
- [39]中国移动, 绿色网络 6G 白皮书, 2022.
- [40]栗栗, 庄小君, 杜海涛等. 6G 网络内生安全架构研究[J]. 中国科学: 信息科学, 52(2): 205-216, 2022.

参编单位及人员

中国移动通信研究院：林琳、韦穆华、郭海燕、刘慧丽、赵旭宇、张政

北京邮电大学经济管理学院：吴俊、杨洋、曾丽帆、王若茜

中国社会科学院工业经济研究所：李晓华

广州大学粤港澳大湾区网络空间安全治理创新研究院：齐佳音、吴联仁

北京邮电大学现代邮政学院：刘丽娜、杨天剑

上海对外经贸大学工商管理学院：阎海燕