

政企业务前沿技术和业态

第十二期



前言

我们正站在 5G 商用化与 6G 愿景化交汇的历史节点。第五代移动通信技术 (5G) 的深入部署，正持续赋能千行百业的数字化变革。然而，面对 2030 年及未来万物智联、数字孪生、全息通信等宏大愿景，通信网络在吞吐量、延迟、连接密度、智能化水平乃至覆盖范围上均需实现质的飞跃。第六代移动通信技术 (6G) 因此应运而生，旨在构建一个空天地海一体化、通信感知计算深度融合的智能网络体系，成为支撑未来社会和经济发展的数字基石。为系统、全面地解析这一关乎未来的战略性技术，本报告将从四个核心部分展开深入研究：

第一部分：6G 通信行业概述。本部分将首先厘清 6G 通信的基本定义与特点，并通过与 5G 的多维度比较分析，清晰展现其代际跨越的革命性意义。同时，我们将简要回顾 6G 技术从概念萌芽到研究深化的发展历程。**第二部分：全球 6G 通信行业发展现状及生态。**本部分将聚焦全球，扫描主要国家和地区在 6G 领域的战略布局、研发进展与竞争态势，勾勒出全球 6G 竞合的宏观图景。**第三部分：6G 通信行业关键技术分析。**本部分探讨太赫兹通信、人工智能与通信融合、通信感知一体化、分布式 MIMO 技术等。分析其原理、潜力与面临的挑战。**第四部分：6G 标准制定的情况与挑战。**本部分审视全球 6G 标准化工作的当前进展，探讨在标准路径选择、技术融合、知识产权以及全球合作与竞争中所面临的复杂挑战与潜在机遇。

江苏有线数据公司

产品技术部

2025 年 8 月

目录

6G 通信行业概述

6G 通信的定义与特点	5
6G 通信与 5G 通信的比较分析	8
6G 通信技术的发展历程	11
主要国家和地区的 6G 战略布局	15
一、中国 6G 发展战略与成果	15
二、美国 6G 战略规划与行动	17
三、欧盟 6G 研究计划与进展	18
四、其他国家的 6G 发展动态	19
6G 通信行业生态	23
一、产业链结构	23
二、主要企业的布局与合作	25
三、产业发展面临的挑战与应对策略	26
全球 6G 通信行业关键技术分析	30
一、6G 通信核心技术	30
二、技术难点与突破方向	37
二、AI 和 6G 如何有效融合	39
国际标准组织的推动	43
标准制定的复杂性与挑战	46
一、技术复杂性与技术挑战	46
二、标准制定与国际合作的挑战	47
三、其他各方面的挑战	47
开放与协作的重要性	49

6G 通信行业概述

- 一、6G 通信的定义与特点
- 二、6G 通信与 5G 通信的比较分析
- 三、6G 通信技术的发展历程

6G 通信的定义与特点

当前 6G 通信技术被视为未来十年乃至更长时间内全球最重要的综合性数字信息基础设施之一，其发展对于全球经济、社会和科技的进步具有深远影响。从经济层面来看，6G 将成为新一轮科技革命和产业变革的关键驱动力，大幅提升生产方式和国际分工效率，加速产业数字化和全球经济一体化进程。

6G 即第六代移动通信技术(6th Generation Mobile Communications)，作为 5G 的升级演进版本，承载着通信领域对未来网络连接的更高追求，被定位为“新质生产力的核心驱动力”，有望引领人类社会步入更加智能、高效的数字时代。它不仅仅是简单的通信速率提升，更是在通信能力、网络架构、应用场景等多维度的全方位变革，旨在实现全域智能网络覆盖，构建万物智联的全新生态。

从技术层面来看，6G 具备一系列令人瞩目的特点，这些特点使其在未来通信领域中展现出巨大的潜力。首先，在传输速率方面，6G 有着质的飞跃。业内普遍预计，6G 网络的通信能力将达到 5G 的 10 倍以上，理论峰值传输速率有望达到每秒 1TB(1Tbps)，这意味着在 6G 时代，下载一部高清电影仅需短短数秒，相比 5G 时代进一步缩短了等待时间，能够满足用户对海量数据快速传输的极致需求，为高清视频、虚拟现实(VR)、增强现实(AR)、扩展现实(XR)等对带宽要求极高的应用提供坚实的网络基础。

其次，在通信时延上，6G 将实现从毫秒级到微秒级的跨越，时延可降低至 0.1 毫秒甚至更低。这种超低时延特性对于一些对实时性要求极高的应用，如远程医疗中的远程手术、工业互联网中的高精度实时控制、智能交通中的自动驾驶等至关重要。以远程手术为例，6G 的超低时延能够确保医生的操作指令能够实时、准确地传输到手术设备

上，避免因时延导致的操作误差，极大地提高手术的成功率和安全性；在自动驾驶场景中，车辆与车辆（V2V）、车辆与基础设施（V2I）之间能够实现近乎实时的信息交互，使车辆能够及时对路况变化做出反应，有效减少交通事故的发生，提升交通效率。

再者，6G 在连接数密度方面也将实现大幅提升。随着物联网的快速发展，未来将有海量的智能设备接入网络，6G 能够支持每平方公里数百万甚至上千万个设备的连接，满足智能家居、智能城市、工业物联网等领域中众多设备同时在线通信的需求，真正实现万物互联，推动各行业的数字化转型和智能化升级。例如，在智能城市中，路灯、摄像头、垃圾桶、交通信号灯等各种城市基础设施都可以通过 6G 网络连接起来，实现数据的实时采集和交互，为城市的精细化管理提供有力支持；在工业物联网中，工厂内的生产设备、传感器、机器人等能够无缝连接，实现生产过程的自动化、智能化控制，提高生产效率和产品质量。

此外，6G 还具备更广的覆盖范围，能够实现全球无缝覆盖，包括偏远的山区、海洋、沙漠等 5G 难以触及的区域。通过融合地面蜂窝移动通信和非地面通信（如卫星通信、高空平台通信等），6G 构建起空天地海一体化的立体网络架构，确保无论身处世界何处，用户都能享受到高质量的通信服务。这对于实现全球范围内的信息共享、促进偏远地区的经济发展、提升应急通信能力等具有重要意义。例如，在海洋运输中，船舶可以通过 6G 网络与陆地保持实时通信，实现船舶的远程监控、导航优化和货物追踪；在发生自然灾害时，6G 网络能够快速搭建应急通信系统，为救援工作提供通信保障。

在应用场景方面，6G 将催生出更加丰富多样的应用。除了对 5G 现有应用场景的进一步深化和拓展，如增强移动宽带（eMBB）、海量机器类通信（mMTC）和超高可靠低时延通信（uRLLC），6G 还

将引入通信与 AI 融合、通信与感知融合以及泛在互联等全新的应用场景。在通信与 AI 融合方面，6G 网络将具备强大的智能感知、决策和自优化能力，能够根据用户的需求和网络状态实时调整网络资源分配，提供个性化的通信服务；在通信与感知融合方面，6G 信号不仅能够传输数据，还能够感知周围环境的信息，实现对物体的高精度定位、识别和监测，为智能安防、智能家居、智能物流等领域带来新的发展机遇；泛在互联则意味着 6G 将实现人与物、物与物之间更加紧密、无处不在的连接，创造出更加智能、便捷的生活和工作环境，如全息通信、数字孪生、沉浸式云 XR 等应用将逐渐走进人们的生活，改变人们的沟通和交互方式。

6G 通信与 5G 通信的比较分析

6G 作为 5G 的下一代演进技术，在技术性能和应用场景等方面都实现了显著的升级和拓展，二者存在诸多差异。

在技术性能上，最直观的便是传输速率的巨大提升。5G 网络的理论峰值传输速率可达 10Gbps，而在部分区域的实际网络速度能够达到 1Gbps，相比 4G 有了大幅进步，满足了高清视频流、在线游戏等对带宽要求较高的应用需求。然而，6G 的传输速度预计至少比 5G 快 100 倍，峰值网速可达 100Gbps 甚至 1Tbps。这一巨大的速率提升使得 6G 能够支持更加高清、流畅的视频内容传输，如 8K 甚至 16K 超高清视频，为用户带来更加逼真的视觉体验；在 VR/AR 应用中，6G 的高速率能够实现低延迟的沉浸式交互，避免画面卡顿和延迟，让用户仿佛身临其境；对于企业级应用，如大规模数据传输、云计算和边缘计算之间的数据交互等，6G 的高速率也将极大地提高工作效率，推动企业数字化转型。

时延方面，5G 的低时延特性已经为许多实时性应用提供了可能，其端到端时延可低至 1 毫秒，能够满足自动驾驶、远程医疗会诊等对时延较为敏感的应用场景。但 6G 在时延上更进一步，目标是将通信时延降低到 0.1 毫秒，是 5G 的十分之一。这一提升对于那些对实时性要求极高的应用具有决定性意义。以远程手术为例，5G 的时延虽然在一定程度上可以支持远程手术的开展，但仍存在一定的风险，因为手术过程中任何微小的时延都可能导致操作误差，影响手术效果。而 6G 的微秒级时延能够几乎实现实时的指令传输，医生可以更加精准地控制手术器械，如同在现场操作一样，大大提高了远程手术的安全性和成功率；在工业自动化领域，6G 的超低时延可以实现设备之间的实时协同控制，提高生产效率和产品质量，减少生产过程中的误

差和浪费。

在连接数密度上，5G 能够支持每平方公里约 100 万个设备的连接，为物联网的发展奠定了基础，使得智能家居、智能城市等应用成为可能。但随着物联网的不断发展，未来将有更多的设备接入网络，5G 的连接数密度逐渐难以满足需求。6G 则能够支持更大规模的设备连接，每平方公里可容纳数百万甚至上千万个设备，这将进一步推动物联网的发展，实现万物智联的愿景。在智能城市中，除了现有的智能设备，未来可能会有更多的传感器、智能终端等接入网络，用于监测环境、交通、能源等各种信息，6G 的高连接数密度能够确保这些设备都能够稳定、高效地与网络通信，为城市的智能化管理提供全面的数据支持；在工业物联网中，工厂内的大量生产设备、机器人、传感器等都需要实时连接到网络，6G 的高连接数密度可以满足工厂对设备管理和生产流程优化的需求，实现智能制造。

在覆盖范围上，5G 主要依赖地面基站进行组网，虽然在城市等人口密集区域能够实现较好的覆盖，但在偏远地区、山区、海洋等环境下，由于基站建设难度大、成本高，覆盖效果往往不尽如人意。而 6G 以卫星为基础，融合了全球卫星定位系统、电信卫星系统、地球图像卫星系统和 6G 地面网络，构建了空天地海一体化的网络架构，能够实现全球无缝覆盖。这意味着在 6G 时代，即使是身处偏远的海岛、深山之中，或者是在远洋航行的船舶上，用户都能够享受到与城市中相同质量的通信服务，真正实现了通信的无处不在。例如，对于海洋科研人员来说，6G 的全球覆盖能力可以让他们在远离陆地的海洋中实时传输科研数据，与陆地的研究团队保持紧密的沟通和协作；对于偏远地区的居民，6G 可以为他们提供高速的互联网接入，促进教育、医疗等公共服务的均等化，缩小城乡数字鸿沟。

从应用场景来看，5G 主要聚焦于移动互联网和物联网领域，推动

了智慧城市、工业互联网、智能交通等应用的初步发展。在智慧城市中，5G 网络支持智能路灯、智能安防摄像头等设备的连接，实现城市管理的智能化；在工业互联网中，5G 能够实现生产设备的远程监控和控制，提高生产效率；在智能交通领域，5G 为车联网提供了通信基础，支持车辆的智能驾驶和交通流量的优化。然而，6G 在 5G 的基础上，进一步拓展了应用边界，引入了全息通信、数字孪生、沉浸式云 XR 等高级应用场景。全息通信可以实现逼真的远程面对面交流，让人们即使相隔千里也能感受到对方的真实存在，这将对远程办公、远程教育、远程医疗等领域产生深远影响；数字孪生技术通过在虚拟世界中构建与现实世界一一对应的模型，实现对物理实体的实时监测、分析和控制，可应用于工业制造、城市规划、能源管理等多个领域，提高生产效率和决策的科学性；沉浸式云 XR 融合了 VR、AR 和混合现实（MR）技术，为用户提供更加沉浸式的体验，可广泛应用于娱乐、教育、培训等领域，如沉浸式游戏、虚拟课堂、虚拟培训等，改变人们的学习和娱乐方式。

6G 通信技术的发展历程

6G 通信技术的发展是通信领域不断探索和创新的过程，自概念提出以来，全球各国和地区的科研机构、企业纷纷投入大量资源，推动其从理论研究逐步走向技术实现。

2018 年被视为 6G 发展的重要起点，这一年，全球主要通信技术公司和科研机构开始对 6G 的愿景和需求进行初步探讨，6G 的概念首次被提出。随着 5G 商用化进程的加快，各界逐渐认识到 6G 在推动未来通信发展和社会变革中的重要作用，对 6G 的期望也逐渐明确。6G 不仅被认为将在通信速度和连接能力上实现显著提升，还被寄予厚望，希望其在推动物联网（IoT）发展、实现万物智联方面发挥关键作用。

2019 年，6G 研发进入实质性启动阶段。国际电信联盟（ITU）在年底启动了“IMT-2030”项目，旨在为 6G 技术的标准制定和推广提供指导，引领全球 6G 研发的方向。与此同时，各国政府也纷纷加大对 6G 研发的支持力度，美国、中国、日本、韩国等国家相继成立了专门的 6G 研究机构，积极投入 6G 技术的研发。中国工信部成立了 6G 推进组 IMT-2030，华为公司成立 6G 研发实验室，并宣布全面布局和推进 6G 的研究工作，重点研究通信、远程医疗、智慧教育等领域的应用；美国联邦通讯委员会（FCC）的官员也开始在公开场合展望 6G，并推动相关政策和研究计划的制定；日本和韩国则在政府的支持下，组织国内企业和科研机构开展 6G 技术的联合研发。

进入 2020 年，各大科技公司开始加速 6G 关键技术的研发。华为、诺基亚、三星等公司纷纷宣布了各自的 6G 研发计划，并投入大量资源进行技术攻关。华为专注于太赫兹通信、超高速率传输等技术的研究，致力于突破 6G 通信中的关键技术瓶颈；诺基亚提出了“6G

计划”，旨在通过与各国科研机构的合作，共同推动 6G 技术的发展，其研究内容涵盖了空天地海一体化通信、智能网络等多个方面；三星则在人工智能与通信融合、新型天线技术等领域进行深入探索，为 6G 网络的智能化和高效化提供技术支持。同年 11 月 6 日，全球首颗 6G 试验卫星“电子科技大学号”搭载长征六号运载火箭在中国太原卫星发射中心成功升空，并顺利进入预定轨道，标志着 6G 卫星通信技术的研究迈出了重要一步，为后续的 6G 天地一体化网络建设提供了试验基础。

2021 年，ITU 发布了 6G 愿景白皮书，详细阐述了 6G 的技术目标和应用场景。白皮书指出，6G 将在速率、时延、连接数量等方面实现全面突破，支持虚拟现实（VR）、增强现实（AR）、远程医疗、无人驾驶等前沿应用。同时，白皮书还强调了 6G 在环境可持续性和能源效率方面的重要性，呼吁各界在 6G 研发过程中关注绿色通信技术的发展，这为全球 6G 研发提供了重要的参考和指导，进一步明确了 6G 的发展方向和目标。

2022 年，全球主要通信技术公司和研究机构联合成立了 6G 联盟，旨在通过合作加速 6G 技术的研发和推广。联盟成员包括华为、诺基亚、三星、爱立信等全球领先的通信设备制造商，以及多所知名大学和科研机构。联盟的成立标志着 6G 研发进入了一个新的阶段，各方将共同致力于推动 6G 技术的标准化和商业化进程，加强技术交流与合作，共同攻克 6G 发展过程中的技术难题，促进 6G 技术在全球范围内的广泛应用。

近年来，6G 技术研发取得了一系列重要进展。在太赫兹通信技术方面，紫金山实验室实现了 1Tbps 传输速率，创造了全球纪录，为 6G 高速通信提供了关键技术支持；在卫星组网技术方面，华为、中兴等企业完成了低轨卫星与地面网络协同验证，拓展了网络覆盖能力，使

6G 能够覆盖深海、沙漠等偏远区域；在 AI 深度集成方面，中国移动联合高校研发内生智能网络，支持实时动态资源调度，提升了网络的智能化水平和资源利用效率。

2024 年 9 月 13 日，由中国移动代表担任主报告人的 6G 场景用例与需求研究项目，在澳大利亚墨尔本召开的第三代合作伙伴计划业务与系统技术规范组全会上获得通过，这是 3GPP 的首个 6G 标准项目，标志着全球 6G 标准化工作正式进入实质阶段。这一里程碑事件对于 6G 的发展具有重要意义，将加速 6G 技术的成熟和商用进程，推动全球 6G 产业的协同发展。

目前，6G 技术仍处于关键技术攻关和标准研究阶段。根据全球移动通信标准组织 3GPP 规划及国内推进组最新披露，中国 6G 发展时间表已明确：2025 年 6 月启动 6G 技术预研，聚焦太赫兹通信、AI 融合网络等核心方向；2027 年前完成关键技术攻关，包括空天地海一体化组网、通感一体化等前沿领域；2029 年 3 月发布首个 6G 技术规范（3GPP Release 21），奠定全球统一标准基础；预计 2030 年实现 6G 规模化商用。随着技术的不断进步和全球合作的深入推进，6G 有望在未来几年内取得更多突破，为全球通信领域带来新的变革。

全球 6G 通信行业发展现状及生态

- 一、主要国家和地区的 6G 战略布局
- 二、6G 通信行业生态

主要国家和地区的 6G 战略布局

在全球发展态势上，中国、美国、欧盟以及其他国家都在积极布局 6G，通过战略规划、资金投入、技术研发等多种方式，力求在全球 6G 竞争中占据有利地位。国际标准制定工作也在有序推进，国际电信联盟（ITU）和第三代合作伙伴计划（3GPP）等国际组织发挥着关键作用，为 6G 技术的全球推广和产业发展奠定基础。

一、中国 6G 发展战略与成果

中国高度重视 6G 技术的研发与战略布局，将其视为推动国家科技进步和经济发展的重要驱动力。在国家层面，中国通过一系列举措，积极推进 6G 技术的研究与创新，取得了显著的成果。

自 2019 年起，中国便成立了 IMT - 2030（6G）推进组，旨在统筹产学研各方力量，协同推进 6G 技术的研发与创新，推动开发全球统一的 6G 国际标准。该推进组整合了高校、科研机构以及企业等多方面的资源，形成了强大的研发合力。在推进组的协调下，清华大学、北京邮电大学等高校在 6G 关键技术研究方面发挥了重要的理论支撑作用；中国信息通信研究院等科研机构则在技术标准研究、产业发展趋势分析等方面提供了专业的研究成果；华为、中兴、中国移动、中国电信、中国联通等企业积极投入研发资源，在 6G 技术试验、设备研发、应用探索等方面取得了多项突破，为 6G 技术的发展奠定了坚实的基础。

在频段划分方面，工信部率先在全球将 6GHz 频段划分用于 5G/6G 系统，这一前瞻性的举措为 6G 技术的发展预留了宝贵的频谱资源，有助于提升 6G 网络的性能和容量，为未来 6G 应用的广泛开展提供了保障。频段划分是通信技术发展的重要基础，合理的频段分

配能够有效避免信号干扰，提高频谱利用率，促进通信技术的高效发展。中国在 6GHz 频段划分上的领先，展示了其在通信领域的战略眼光和技术实力。

在技术试验方面，中国积极开展 6G 技术试验，加快 6G 候选技术可行性验证。通过搭建 6G 试验平台，对太赫兹通信、人工智能与通信融合、通感一体化、分布式 MIMO 等关键技术进行了深入研究和验证。2024 年 11 月，在上海举办的 2024 全球 6G 发展大会上，中国展示了多项 6G 关键技术的研究成果。紫金山实验室在太赫兹通信技术领域取得了重大突破，实现了 1Tbps 传输速率，创造了全球纪录，为 6G 高速通信提供了关键技术支持；中国移动在 6G 网络架构研究方面取得进展，提出了新型的分布式自治网络架构，能够实现网络的智能管理和高效运行；中国电信在通感一体化技术试验中取得成果，实现了通信与感知功能的协同工作，为智能交通、智能安防等领域的应用提供了技术支撑。

在标准制定方面，中国积极参与全球 6G 国际标准研制，为 6G 国际标准的制定贡献了中国智慧和力量。中国在 6G 标准制定过程中发挥了重要作用，提出的多项技术方案和标准建议得到了国际电信联盟（ITU）和第三代合作伙伴计划（3GPP）等国际标准组织的认可和采纳。2023 年，由中国提出的 5 类 6G 典型场景和 14 个关键能力指标已全部被 ITU 采纳，这些场景和指标涵盖了沉浸式通信、超大规模连接、极高可靠低时延、人工智能与通信的融合、感知与通信的融合、泛在连接等多个方面，为 6G 技术的发展和应用提供了明确的方向和目标。在 3GPP 框架内，中国企业积极参与 6G 标准项目的立项和研究工作，担任多个重要标准项目的报告人，推动了 6G 标准的制定进程。

在卫星网络建设方面，中国加速推进“天地一体”卫星互联网布

局。中国电科集团公司自主研发的太赫兹芯片累计出货量已超过十万只，为卫星通信提供了关键的芯片支持；“千帆星座”项目计划向近地轨道发射约 1.4 万颗卫星，构建更加完善的卫星通信网络，其首批 18 颗组网卫星已于 8 月 6 日成功发射，标志着中国在 6G 卫星网络建设上迈出了坚实的一步。这些卫星将与地面通信网络相互融合，实现全球无缝覆盖，为 6G 的全球化应用提供了重要的基础设施保障。

二、美国 6G 战略规划与行动

美国将 6G 视为重塑其在全球通信领域主导地位的关键契机，通过一系列战略规划和实际行动，全力推进 6G 技术的研发与发展。

在频谱资源规划方面，美国积极为 6G 发展预留优质频谱资源。2023 年，美国启动国家频谱战略，为 6G 预留了特定的带宽资源，确保 6G 在未来发展中有充足的频谱支持。频谱资源是通信技术发展的核心要素之一，充足的频谱资源能够保障通信系统的性能和容量，满足未来 6G 海量设备连接和高速数据传输的需求。美国通过提前规划频谱资源，为 6G 技术的发展奠定了坚实的基础。

在战略规划方面，2023 年 4 月，白宫与美国企业、政府技术官员和学术专家会晤，着手制定 6G 通信技术的目标和战略。此次会晤旨在吸取 5G 技术发展的教训，重新确立美国及其盟友在电信领域的领导地位。美国认识到，在 5G 时代，其在全球通信领域的主导地位受到了挑战，因此希望通过提前布局 6G，加强技术研发和国际合作，重新夺回通信领域的主导权。美国计划出资数十亿美元研发 6G 技术，意图在移动通信网络的智能化、云化和开放方面扮演主导角色，利用其在 GPU 等核心芯片、操作系统等软件方面的产业优势，重塑其 6G 时代的产业主导地位。美国在芯片领域拥有英特尔、英伟达等全球领先的企业，在操作系统方面，微软的 Windows 系统占据了全球桌面

操作系统的大部分市场份额，这些优势将有助于美国在 6G 网络的智能化和云化发展中发挥重要作用。

在国际合作方面，美国积极联合盟友加强国际 6G 技术与标准合作。美国先后与欧盟、韩国、英国、日本、印度等经济体达成协议，共同开展 6G 技术研发和标准制定工作。2024 年 2 月，美国联合英国、法国、日本、韩国、瑞典、芬兰、捷克、加拿大和澳大利亚发表联合声明，称就 6G 研发达成共同原则，支持“安全、有弹性并能保护隐私”，加速 6G 落地。通过与盟友的合作，美国试图在 6G 国际标准制定中掌握话语权，推动符合其利益的 6G 技术和标准的发展。美国还大力扶持马斯克的 SpaceX 公司的星链计划，该计划通过发射大量近地轨道卫星，为全球提供高速互联网接入服务。截至目前，星链公司已发射的卫星数量已超过 6600 颗，占据了大量近地卫星轨道资源，用户数量也迅速增长，已跃过 300 万大关，覆盖全球 100 多个市场。星链计划为美国在 6G 领域的发展注入了新的动力，有望在未来 6G 天地一体化网络中发挥重要作用。

三、欧盟 6G 研究计划与进展

欧盟将 6G 视为推动欧洲数字化转型和提升全球竞争力的关键技术，通过一系列战略举措和资金支持，积极推进 6G 技术的研究与发展。

在战略举措方面，早在 2019 年前后，欧盟就意识到 5G 和 6G 前沿技术发展的重要性。为落实欧洲“数字时代”“数字未来”发展方向以及成为全球行业领先的战略目标，欧盟于 2021 年 11 月成立欧洲智能网络服务重大项目联合执行体（The European Smart Networks and Services Joint Undertaking, SNS JU）。SNS JU 承担着欧洲 5G 和 6G 领域行业发展的重大任务，协助落实《欧洲产业战略》《欧盟网络安全战略》，促进欧洲数字化和绿色转型。其主要任务包括实施研

究创新计划（R&I），在 2025 年前后实现概念验证和标准化，强化欧洲在 6G 领域的技术主权；推动欧洲 5G 部署，发展数字领先市场，推动经济和社会数字化和绿色转型。

在资金支持方面，SNS JU 的经费一方面由“地平线欧洲”提供支持，2021 - 2027 年预算为 9 亿欧元；另一方面由私营部门提供同等数量资助。欧盟委员会（EC）和 6G 智能网络服务行业协会（6G-IA）分别作为公共机构和私营部门代表，共同为 SNS JU 提供指导。充足的资金保障为欧盟 6G 技术的研究和项目开展提供了有力支持。

在项目实施方面，SNS JU 自成立至今已多次发布项目征集指南，选拔出 60 余个项目，目前这些 6G 项目均已进入系统研究阶段。2024 年 4 月，欧盟启动了一项新的 1.04 亿欧元的项目，旨在支持最新一代移动网络的尖端技术创新，推动欧洲在下一代电信技术开发方面的卓越表现，并加强对颠覆性 6G 技术的关注。该项目由 SNS JU 管理，将欧洲行业、学术界和研究机构聚集在一起，共同致力于构建欧洲的数字未来，重点关注可持续性、安全性和社会影响。在技术研究方面，欧盟在 6G 关键技术领域取得了一定的进展。在太赫兹通信技术研究中，欧盟的科研团队对太赫兹频段的信号传播特性、器件研发等方面进行了深入研究，为太赫兹通信在 6G 中的应用提供了理论支持；在网络架构研究方面，欧盟提出了一些新型的网络架构理念，如基于软件定义网络（SDN）和网络功能虚拟化（NFV）的 6G 网络架构，旨在提高网络的灵活性和可扩展性。

四、其他国家的 6G 发展动态

除了中国、美国和欧盟，其他国家也在积极布局 6G 技术的研究与发展，力求在全球 6G 竞争中占据一席之地。

韩国政府高度重视 6G 技术的发展，将其列为 12 项国家战略目

标技术之一，并发布多项战略推动 6G 商业化进程。2023 年 2 月，韩国发布“K - Network2030”战略，将原计划 2026 年启动的 6G 商业化项目提前到 2024 年实施，并鼓励本土公司在国内生产制造用于 6G 的材料、零部件和设备等，以提升本国在 6G 产业链中的地位。2023 年 11 月，韩国发布 6G 研发推进战略，重点推进中高频段技术、扩大覆盖范围技术、以软件为中心的网络等关键技术领域。在技术研发方面，韩国的三星电子等企业在 6G 关键技术研究上投入了大量资源，在新型天线技术、通信芯片研发等方面取得了一定的成果，为韩国 6G 技术的发展提供了技术支持。

日本紧跟美国步伐，积极开展 6G 技术研究。日本设立 4.5 亿美元 6G 研究基金，全方位布局 6G 关键技术研究，建设共享的 6G 研究基础设施，并通过日本企业主导的产业联盟积极研发相关技术与产品。在通信与感知融合、人工智能在通信中的应用等领域，日本的科研机构和企业开展了深入的研究，取得了一些阶段性的成果。日本还加强了与美国等国家的合作，共同推进 6G 技术的发展和标准制定，试图在全球 6G 竞争中提升自身的影响力。印度也在积极推动 6G 技术的发展。印度发布 6G 愿景，成立“巴拉特 6G 联盟”（B6GA），系统规划 6G 发展。该联盟整合了印度国内的高校、科研机构和企业等资源，共同开展 6G 技术的研究和应用探索。印度在 6G 技术研究方面主要聚焦于适合本国国情的应用场景开发，如在农村地区的通信覆盖、农业物联网等领域，力求通过 6G 技术的应用推动本国经济和社会的发展。

2、国际标准制定进展

国际标准的制定对于 6G 技术的全球推广和产业发展至关重要，它能够确保不同国家和地区的 6G 设备和系统之间的兼容性和互操作性，促进 6G 产业的健康发展。目前，国际电信联盟（ITU）和第

三代合作伙伴计划（3GPP）等国际组织在 6G 国际标准制定中发挥着核心作用，推动着 6G 标准的逐步完善。

ITU 作为全球通信领域的权威国际组织，在 6G 愿景定义和基础标准制定方面发挥了引领性作用。2023 年 6 月，ITU 发布了《IMT 面向 2030 及未来发展的框架和总体目标建议书》，这一纲领性文件正式明确了 6G 的六大应用场景，包括沉浸式通信、超高可靠低时延、海量通信、泛在连接、通感一体化、通智算一体化。这些应用场景的确定为 6G 技术的研发和应用指明了方向，涵盖了未来通信领域对高速率、低时延、大规模连接以及与新兴技术融合等多方面的需求。ITU 还明确了 6G 的基本参数，如峰值速率将达到 100Gbps，较 5G 提升 10 倍，时延将降至 0.1 毫秒，仅为 5G 的十分之一，这些参数为 6G 技术的发展设定了具体的目标和要求，有助于全球科研机构和企业统一的框架下开展 6G 技术研发工作。

3GPP 作为制定全球移动通信标准的重要组织，其制定的标准对 6G 设备研发和网络部署具有重要指导意义。2024 年是 6G 标准制定的关键节点，3GPP 在这一年积极推进 6G 标准项目的研究和立项工作。2024 年 5 月 8 至 10 日，3GPP 在荷兰鹿特丹举办了 6G 需求场景国际研讨会，来自全球的专家学者和企业代表就 6G 的需求和场景进行了深入探讨，为 6G 标准的制定提供了重要的参考依据。5 月 27 至 31 日，3GPP 又在韩国济州岛举办的另一场工作组会议，开始了关于 6G 的讨论，有 40 余家公司提交了相关的文稿，众多企业的积极参与为 6G 标准制定注入了强大的动力。9 月，在澳大利亚墨尔本召开的 3GPP 业务与系统技术规范组(SA)105 次全会上，3GPP 首个 6G 标准项目——6G 场景用例与需求研究项目获得通过，标志着全球 6G 标准化工作正式进入实质阶段。该项目将负责研究 6G 技术性能需求、潜在技术方向和部署场景，并负责与 ITU 在 6G 需求

指标制定上进行协调，确保 6G 标准的一致性和兼容性。近期，在西班牙马德里召开的无线接入技术规范组（RAN）第 106 次全会通过了 3GPP 无线接入网首个 6G 标准项目——6G 场景与需求研究项目（Study on 6G Scenarios and requirements），该项目获得全球超 50 家公司联署支持，中国移动、美国运营商 Verizon、日本运营商 NTT DOCOMO、欧洲运营商德国电信共同担任报告人，未来将进一步深入研究 6G 技术的相关细节，推动 6G 标准的不断完善。

根据 3GPP 的规划，预计最早在 2024 年底启动 6G 业务场景与需求的研究，2025 年开始标准研究项目，预计在 2029 年 6 月完成第一版 6G 国际标准规范，业界期望 6G 能在 2030 年前后具备商用能力。在这一过程中，全球各国的科研机构、企业和组织将继续紧密合作，共同推进 6G 标准的制定和完善，为 6G 技术的全球商用奠定坚实的基础。

6G 通信行业生态

一、产业链结构

6G 产业链涵盖了从上游关键技术研发与核心元器件制造，到中游通信设备制造与网络建设，再到下游应用服务与终端设备的广泛领域，各环节相互关联、协同发展，共同构成了 6G 产业的生态系统。

在上游，关键技术研发是整个产业链的核心驱动力。太赫兹通信技术作为 6G 的核心突破点之一，其研发进展直接影响着 6G 网络的传输速率和性能。太赫兹波频率介于微波与红外之间，具备极宽的带宽和超高的传输速率，能够满足 6G 时代海量数据的高速传输需求，但目前仍面临信号传输损耗大、器件性能有待提升等挑战。智能超表面技术通过对电磁波的灵活操控，实现信号的定向传输、增强覆盖范围和提升频谱效率，相关企业正在积极研发其制造工艺和控制算法，推动其商业化应用。空天地一体化网络技术融合了地面通信网络、卫星通信网络和高空平台通信网络，是 6G 实现全球无缝覆盖的关键，我国已在该领域取得一系列成果，如“鸿雁”星座、“虹云”工程等，为 6G 全球组网奠定基础。

核心元器件在 6G 通信系统中起着至关重要的作用。射频芯片负责信号的发射、接收和处理，随着 6G 向高频段发展，对其性能提出了更高要求，需要具备更高的工作频率、更大的带宽和更低的功耗。光芯片用于实现电信号与光信号的相互转换，6G 时代对其速率、集成度和功耗等方面提出了更严苛挑战，科研人员不断探索新的材料和工艺，如采用磷化铟（InP）、硅光等技术，以提高其性能。滤波器作为射频前端的重要组成部分，用于筛选特定频率的信号，抑制干扰信号，在 6G 通信中，随着频段的增加和信号复杂度的提高，对其性能要求也越来越高，体声波（BAW）滤波器和薄膜体声波（FBAR）

滤波器因其优异性能，成为 6G 滤波器的主流发展方向。

中游的通信设备制造与网络建设是 6G 产业发展的重要支撑。设备制造商为网络建设提供各种核心设备，是通信网络的硬件基础。华为作为全球通信设备领域的领军企业，在 6G 研发方面一直处于前沿位置，早在 5G 商用阶段就前瞻性地布局 6G 技术研究，投入大量研发资源。中兴通讯也在 6G 的各关键技术领域持续投入，推进关键技术研发，在 2024 年中国 IMT - 2030 (6G) 推进组组织的原型验证测试中，圆满完成了通信感知一体化、无线人工智能、智能超表面等多方面的测试任务。

在网络建设方面，6G 网络的搭建需要大量的基站建设和网络优化工作。与 5G 相比，6G 基站将采用更先进的技术，如大规模天线阵列技术，以增强信号发射与接收能力，克服信号衰减问题。同时，6G 网络还需要实现与卫星通信网络的融合，构建空天地一体化的网络架构，以实现全球无缝覆盖。运营商在 6G 网络建设中扮演着重要角色，中国移动作为国内通信行业的龙头企业，始终坚持以科技创新引领产业创新，率先启动 6G 研发，打造 6G 原创技术策源地，目前正全力推动 6G 研发及标准制定，为未来的长远发展做好充分准备。下游的应用服务与终端设备是 6G 技术实现价值的关键环节。随着 6G 技术的发展，将催生出众多新兴的应用场景，如全息通信、虚拟现实(VR)、增强现实(AR)、扩展现实(XR)等，这些应用将为用户带来更加沉浸式的体验。在智能交通领域，6G 技术将实现车辆与道路、车辆与车辆之间的实时通信和协同，提高交通效率和安全性；在智能制造领域，6G 技术将实现生产设备的远程监控和智能调度，提高生产效率和产品质量。终端设备制造商也在积极布局 6G 领域，研发支持 6G 网络的智能手机、智能穿戴设备、智能家居设备等，以满足用户对 6G 应用的需求。

二、主要企业的布局与合作

在 6G 产业的发展进程中，众多企业积极布局，通过技术研发、标准制定和产业合作等多方面举措，推动 6G 技术的进步与产业生态的完善。

华为作为全球通信领域的领军企业，在 6G 布局上展现出强大的技术实力和前瞻性的战略眼光。在技术研发方面，华为在太赫兹通信、轨道角动量复用等领域取得关键进展，实现单载波 100Gbps 传输速率，较 5G 提升 10 倍。华为已向国际电信联盟 (ITU) 提交 6G 技术提案 387 项，主导制定《6G 网络智能化分级评估标准》等 7 项国际标准，为全球 6G 标准制定提供中国方案。在产业合作方面，华为联合紫金山实验室、东南大学等机构启动 "6G 概念验证中心"，在南京、深圳等地部署空天地融合网络试验床，计划 2026 年完成毫米波频段外场测试，通过与各方的紧密合作，加速 6G 技术的研发和商用进程。

中兴通讯同样在 6G 领域持续深耕，全面布局关键技术研发。中兴通讯在 6G 的太赫兹通信、智能超表面、卫星互联网等 12 项关键技术领域进行持续投入，推进技术研发，全球 6G 专利占比达 21.7%，毫米波技术专利申请量全球第二。在 2024 年中国 IMT - 2030 (6G) 推进组组织的原型验证测试中，圆满完成通信感知一体化、无线人工智能、智能超表面等多方面的测试任务，展示了其在 6G 技术研发上的雄厚实力。在产业合作方面，中兴通讯积极与产业链上下游企业合作，共同探索 6G 技术的应用场景和商业模式，如在 MWC25 期间，与宇树等国内机器人企业合作，共同探索面向 6G 的具身智能机器人，结合网络连接与云端算力，拓展机器人应用场景。

中国移动作为国内通信运营商的龙头企业，在 6G 发展中发挥着重要的引领作用。在技术研发上，中国移动率先启动 6G 研发，打造

6G 原创技术策源地，培养和集聚了一批高素质科技创新人才。公司聚焦关键技术攻关，推动 6G 与 AI 等前沿技术攻关和一体贯通，开展 6G+AI 技术研发与验证，致力于实现空天地海全域覆盖、通感算智深度融合。在标准制定方面，中国移动全力推动 6G 相关标准的制定，为未来的长远发展做好充分准备。在产业合作方面，中国移动持续发挥移动信息现代产业链“链长”作用，全面深化产学研用协同、大中小企业融通，依托中国移动“1+3+N”移动信息产业协同创新基地，持续建强 6G 开放试验装置，为全产业提供开放、场景化试验验证环境及能力，贯通创新链、对接产业链，助力 6G“从研到用、以用促研”，实现产业互利互惠、合作共赢。

除了上述企业，众多其他企业也在 6G 领域积极布局。中国卫通作为国内唯一商用卫星电信运营商，布局低轨卫星星座，推动卫星互联网与 6G 融合，垄断国内高通量卫星资源，Ka 频段技术领先，适配 6G 天地一体化组网需求，卫星通信市占率超 70%，与华为、中兴合作开发星地融合技术。信科移动作为中国信科旗下 6G 核心研发平台，聚焦移动通信网络设备及测试技术，参与国家 6G 专项课题，是全球首款 6G 测试仪研发者，技术获国际认可，覆盖天地一体化网络架构，拥有太赫兹技术专利，承担国家 6G 试验网建设，技术验证进度领先。盛路通信按“天基组网 + 地网跨代”思路布局 6G，研发太赫兹通信、卫星互联网融合技术，太赫兹技术专利储备国内领先，已完成 6G 通信与感知融合试验系统开发，毫米波组件业务占比预计 2025 年提升至 30%，深度参与低轨卫星项目。这些企业在 6G 产业链的不同环节发挥着各自的优势，通过相互合作与协同创新，共同推动 6G 产业生态的繁荣发展。

三、产业发展面临的挑战与应对策略

6G 产业在发展过程中面临着诸多挑战，这些挑战涉及技术、频谱、

成本以及国际竞争等多个关键领域，需要产业界、政府和科研机构共同努力，采取有效的应对策略，以推动 6G 产业的健康、可持续发展。

在技术创新方面，尽管 6G 在关键技术研究上取得了一定进展，但仍面临着诸多技术瓶颈。太赫兹通信技术虽然具备极宽的带宽和超高的传输速率，但其信号在大气中传输时衰减严重，尤其是在潮湿环境下，水分子对太赫兹波的吸收会导致信号强度急剧下降，这限制了其传输距离和覆盖范围。太赫兹频段的器件研发难度较大，目前缺乏高效、低成本的太赫兹源和探测器，传统的电子器件在太赫兹频段的性能受到限制，难以满足 6G 通信对高速率、低功耗的要求；而基于光子学的太赫兹器件虽然性能较好，但存在成本高、集成度低等问题。为应对这些技术挑战，需要加大科研投入，鼓励高校、科研机构和企业开展产学研合作，共同攻克关键技术难题。在太赫兹通信技术研发中，探索新型信号调制解调技术和器件材料，研究多进制调制、正交频分复用（OFDM）等技术，提高信号的抗干扰能力和传输效率；开发基于石墨烯等新型材料的太赫兹器件，利用其优异的电学性能和高载流子迁移率，有望实现高性能、低成本的太赫兹源和探测器。

频谱资源分配是 6G 产业发展面临的另一个重要挑战。随着通信技术的不断发展，频谱资源日益紧张，6G 对频谱资源的需求更为迫切，如何合理分配频谱资源，确保 6G 系统与其他通信系统之间的兼容性和共存性，成为亟待解决的问题。不同国家和地区在频谱规划和分配上存在差异，这也给 6G 的全球统一标准制定和产业发展带来了困难。为解决频谱资源分配问题，需要加强国际合作，各国应在国际电信联盟（ITU）等国际组织的框架下，共同协商制定全球统一的频谱规划和分配方案。加强频谱监测和管理，提高频谱利用率，采用动态频谱接入、频谱共享等技术，实现频谱资源的高效利用。

技术成本也是制约 6G 产业发展的关键因素之一。6G 技术的研发

和部署需要大量的资金投入，从关键技术研发、设备制造到网络建设和运营，各个环节都面临着高昂的成本压力。6G 设备的研发和生产需要先进的工艺和技术，这使得设备成本居高不下；6G 网络建设需要部署大量的基站和配套设施，建设成本和运营成本也相对较高。为降低技术成本，一方面，企业应加大研发投入，通过技术创新提高生产效率，降低设备和网络建设成本；推动产业规模化发展，通过规模效应降低成本。政府也应出台相关政策，对 6G 产业给予财政补贴和税收优惠，支持企业开展技术研发和产业应用，降低企业的成本压力。

国际竞争也是 6G 产业发展面临的重要挑战。6G 作为未来通信领域的制高点，全球各国都在积极布局 and 研发，国际竞争日益激烈。一些国家在贸易领域对中国施加限制，在移动通信标准化进程中也出现了很多不确定因素，科技交流与合作受阻、供应链断裂以及市场封锁，都对 6G 形成全球统一标准构成了巨大挑战。面对国际竞争，中国应加强自主创新能力，加大对 6G 关键技术的研发投入，提高我国在 6G 领域的核心竞争力。积极参与国际标准制定，加强与其他国家和地区的合作与交流，推动全球 6G 标准的统一和产业的协同发展。加强知识产权保护，鼓励企业申请专利，提高我国在 6G 领域的知识产权储备，维护我国企业的合法权益。

6G 通信行业关键技术分析

- (一) 6G 通信核心技术
- (二) 技术难点与突破方向
- (三) AI 与 6G 如何有效融合

全球 6G 通信行业关键技术分析

从社会层面而言，6G 技术将支持更科学精准的决策和动态实时的事件响应，提升公共服务体验，助力应对人口老龄化和贫富差距等社会挑战。在智慧医疗领域，6G 网络能够支持高清视频会诊、远程手术等复杂医疗应用，使优质医疗资源能够更便捷地覆盖偏远地区，提高医疗服务的可及性和公平性，改善全民健康水平；在智能交通领域，6G 可为自动驾驶提供低时延、高可靠的通信保障，实现车辆与车辆（V2V）、车辆与基础设施（V2I）之间的高效信息交互，减少交通事故，缓解交通拥堵，提升出行安全性和便捷性。

一、6G 通信核心技术

（一）太赫兹通信技术

太赫兹频段是指频率在 0.1THz 至 10THz（波长为 3mm 至 30 μm ）范围内的电磁波频段，处于微波与红外光之间，是宏观电子学向微观光子学过渡的频段，也是人类尚未完全认知和利用的频段，被称为电磁波频谱资源中的“太赫兹空隙”。太赫兹波具有诸多独特的性质，使其在 6G 通信中展现出巨大的应用潜力。

太赫兹波的高频率特性是实现高速率通信的关键。其频率远高于当前 5G 通信所使用的毫米波频段，能够承载更大量的数据信息。根据香农定理，信道容量与带宽成正比，太赫兹频段拥有极宽的带宽资源，理论上可提供高达 100Gbps 甚至 1Tbps 的数据传输速率，相比 5G 通信有了质的飞跃，能够满足未来高清视频、虚拟现实（VR）、

增强现实（AR）、扩展现实（XR）等对带宽要求极高的应用场景需求。例如，在 VR/AR 应用中，6G 太赫兹通信技术可实现低延迟的沉浸式交互，用户佩戴 VR/AR 设备时，能够实时、流畅地获取高清的虚拟场景画面，避免画面卡顿和延迟，仿佛身临其境；在高清视频传输方面，可实现 8K 甚至 16K 超高清视频的秒级下载，为用户带来极致的视觉体验。

太赫兹波还具有良好的方向性和穿透性。其波长短，使得信号在传输过程中能够形成更窄的波束，具有很强的方向性，这不仅有利于提高信号的传输效率，减少信号干扰，还能实现更精确的信号定位和跟踪。在城市复杂的通信环境中，太赫兹通信可以通过精确的波束赋形技术，将信号准确地传输到目标接收设备，避免信号在传输过程中受到建筑物等障碍物的干扰，提高通信的可靠性。同时，太赫兹波对许多非极性物质，如塑料、布料、纸张等包装材料具有较高的穿透性，这一特性使其在安检、质检等领域具有重要应用价值。在机场安检中，利用太赫兹波的穿透性，可以检测行李内部的物品，实现对危险物品的快速、准确识别，保障航空安全。

此外，太赫兹波的光子能量低，不会对生物组织造成电离损伤，具有安全性高的特点。这使得太赫兹通信在生物医学领域具有广阔的应用前景，例如可用于生物活体检测、医疗诊断等。通过太赫兹波对人体组织进行检测，可以获取人体组织的生理信息，实现对疾病的早期诊断和治疗，为医疗健康领域带来新的技术手段。

在 6G 通信中，太赫兹通信技术的应用场景十分广泛。在高速无

线接入方面，可作为基站与用户设备之间的高速数据传输链路，为用户提供超高速的网络接入服务；在卫星通信领域，太赫兹通信能够实现卫星与地面站之间的大容量数据传输，提高卫星通信的效率和容量，支持更多的卫星应用，如高清卫星图像传输、卫星互联网等；在室内通信场景中，太赫兹通信可用于构建高速的室内局域网，实现智能家居设备之间的高速互联，以及支持室内的 VR/AR 等沉浸式应用。

（二）人工智能与通信融合技术

随着人工智能（AI）技术的飞速发展，将其与 6G 通信技术深度融合已成为未来通信发展的重要趋势。AI 在 6G 通信中的应用贯穿了网络的各个层面，从物理层到网络层，为提升 6G 网络性能、优化网络管理、降低功耗等方面提供了强大的技术支持。

在网络性能优化方面，AI 可通过对网络状态的实时监测和数据分析，实现智能的资源分配和调度。6G 网络需要支持海量的设备连接和多样化的业务需求，不同业务对网络资源的需求差异巨大，如高清视频业务需要大量的带宽资源，而物联网设备通信则对时延和连接数有较高要求。AI 算法能够根据实时的业务需求和网络负载情况，动态地调整网络资源分配，将带宽、功率等资源合理地分配给不同的用户和业务，提高网络资源的利用率，保障各类业务的服务质量（QoS）。在网络拥塞时，AI 可以快速识别拥塞区域和拥塞业务，通过调整资源分配策略，优先保障关键业务的通信需求，缓解网络拥塞，提高网络的整体性能。

在波束管理方面，AI 技术能够实现更高效的波束赋形和跟踪。6G

通信采用了大规模天线阵列技术，通过波束赋形可以将信号能量集中在特定方向，提高信号强度和覆盖范围。然而，在复杂的通信环境中，信号容易受到多径效应、遮挡等因素的影响，导致波束指向不准确，通信质量下降。AI 可以利用机器学习算法，对信道状态信息进行实时分析和预测，根据环境变化动态地调整波束方向和形状，实现波束的智能跟踪和优化，确保信号始终能够准确地传输到目标用户设备，提高通信的可靠性和稳定性。例如，通过深度学习算法对大量的信道数据进行训练，建立信道模型，从而实现对信道状态的准确预测和波束的自适应调整。

在电路设计方面，AI 为 6G 通信设备的电路设计带来了创新思路。传统的电路设计方法往往依赖于工程师的经验和反复的试验，设计周期长，成本高。而 AI 可以通过自动化设计工具，利用优化算法和机器学习模型，快速生成满足性能要求的电路设计方案。AI 还能够对电路进行智能优化，提高电路的性能和可靠性，降低功耗。通过强化学习算法，让 AI 系统在不断的试验和反馈中优化电路参数，实现电路性能的最大化。这不仅可以缩短电路设计的周期，降低设计成本，还能提高电路的性能和可靠性，为 6G 通信设备的小型化、低功耗和高性能发展提供支持。

在功耗降低方面，AI 技术能够帮助 6G 网络实现智能的功耗管理。6G 网络中的基站和设备数量众多，功耗问题成为制约其发展的重要因素之一。AI 可以通过对网络流量和用户行为的分析，预测网络负载的变化情况，根据实际需求动态地调整基站和设备的工作状态，

实现节能降耗。在夜间或网络流量较低的时段，AI 可以自动调整基站的发射功率，关闭部分不必要的设备或模块，降低网络的整体功耗；当网络流量增加时，再及时调整设备状态，保障网络的正常运行。通过这种智能的功耗管理方式，6G 网络能够在满足用户通信需求的同时，有效地降低能源消耗，实现绿色通信。

（三）通感一体化技术

通感一体化技术是 6G 通信的关键技术之一，它将通信与感知功能深度融合，使通信系统不仅能够实现数据的传输，还具备对周围环境的感知能力，为未来智能交通、智能安防、智能家居等领域带来了全新的应用体验和发展机遇。

通信与感知融合的原理基于两者在信号处理和传输上的相似性。在传统通信系统中，信号主要用于携带信息进行传输，而在感知系统中，信号则用于获取目标物体的位置、形状、速度等信息。通感一体化技术通过共享硬件资源和信号处理算法，实现了通信与感知功能的有机结合。在同一频段上，利用通信信号的反射、散射等特性，获取周围环境的信息，实现对目标物体的感知；同时，感知信息又可以辅助通信系统进行信道估计、波束赋形等操作，提高通信系统的性能。

在智能交通领域，通感一体化技术有着广泛的应用前景。在车联网中，车辆可以通过通信信号感知周围车辆的位置、速度和行驶方向等信息，实现车辆之间的智能协作和安全驾驶。当车辆检测到前方车辆突然减速或变道时，能够及时调整自身的行驶速度和方向，避免发

生碰撞事故；在智能交通管理系统中，通过路边基站的通感一体化设备，可以实时监测道路交通流量、车辆行驶状态等信息，为交通信号控制、道路规划等提供数据支持，优化交通流量，缓解交通拥堵。

在环境监测方面，通感一体化技术能够实现对环境参数的实时监测和分析。通过分布在不同区域的通感一体化设备，可以感知大气中的污染物浓度、温湿度、风速等环境信息，并将这些信息通过通信网络传输到监测中心，实现对环境的全面监测和预警。在发生自然灾害时，如地震、洪水等，通感一体化设备还可以快速感知灾区的情况，为救援工作提供重要的信息支持。

在智能家居领域，通感一体化技术为用户带来了更加智能、便捷的生活体验。智能家居设备可以通过通信信号感知用户的位置、行为习惯等信息，自动调整家居设备的工作状态。当用户回家时，智能门锁可以通过感知用户的身份信息自动解锁，灯光、空调等设备可以根据用户的习惯自动开启和调节；在用户离开家后，设备可以自动进入节能模式，实现家居的智能化管理。

（四）分布式 MIMO 技术

分布式 MIMO（Multiple-Input Multiple-Output）技术是 6G 通信中的一项关键技术，它通过将多个天线分布在不同的地理位置，实现信号的协同传输和接收，从而有效提升信号覆盖范围和系统容量，满足 6G 网络对高速率、大容量通信的需求。

分布式 MIMO 技术的原理基于多天线系统的空间分集和复用增益。在传统的集中式 MIMO 系统中，多个天线集中部署在基站端，

虽然能够在一定程度上提高频谱效率和系统容量，但在信号覆盖范围和抗干扰能力方面存在一定的局限性。而分布式 MIMO 技术将天线分散部署在不同的位置，形成分布式天线阵列，这些天线可以同时与用户设备进行通信，通过信号的协同处理，实现空间分集和复用增益的最大化。不同位置的天线接收到的信号具有不同的衰落特性，通过对这些信号进行合并处理，可以提高信号的可靠性，降低误码率；通过空间复用技术，多个天线可以同时传输不同的数据流，从而提高系统的传输速率和容量。

在 6G 网络中，分布式 MIMO 技术具有显著的应用优势。它能够有效扩大信号覆盖范围，解决传统通信系统中存在的信号盲区问题。在城市复杂的通信环境中，建筑物、地形等因素会对信号传播产生阻挡和干扰，导致部分区域信号覆盖不佳。分布式 MIMO 技术通过在不同位置部署天线，能够从多个方向对信号进行传输和接收，绕过障碍物，实现对信号盲区的有效覆盖，确保用户在任何位置都能获得稳定、高质量的通信服务。

分布式 MIMO 技术可以提高系统的容量和频谱效率。随着物联网的发展，未来将有海量的设备接入 6G 网络，对系统容量和频谱效率提出了更高的要求。分布式 MIMO 技术通过空间复用技术，能够在相同的时间和频率资源上传输更多的数据，提高频谱效率；同时，多个天线的协同工作可以增加系统的容量，满足大量设备同时通信的需求。在高密度的城市区域或大型场馆等场景中，分布式 MIMO 技术能够为众多用户提供高速、稳定的通信服务，保障用户的通信体验。

分布式 MIMO 技术还具有较强的抗干扰能力。在复杂的通信环境中，信号容易受到其他信号的干扰，影响通信质量。分布式 MIMO 技术通过对多个天线接收到的信号进行联合处理，能够有效地抑制干扰信号，提高信号的信噪比，保障通信的可靠性。在干扰较强的工业环境或无线通信频段拥挤的区域，分布式 MIMO 技术能够发挥其抗干扰优势，确保通信系统的正常运行。

二、技术难点与突破方向

尽管 6G 通信技术展现出了广阔的应用前景，但在关键技术的研发和应用过程中，仍面临着诸多技术难点，需要不断探索突破方向。

太赫兹通信技术在信号传输和器件研发方面存在挑战。太赫兹波在大气中传输时，信号衰减严重，尤其是在潮湿环境下，水分子对太赫兹波的吸收会导致信号强度急剧下降，这限制了太赫兹通信的传输距离和覆盖范围。太赫兹频段的器件研发难度较大，目前缺乏高效、低成本的太赫兹源和探测器。传统的电子器件在太赫兹频段的性能受到限制，难以满足 6G 通信对高速率、低功耗的要求；而基于光子学的太赫兹器件虽然性能较好，但存在成本高、集成度低等问题。为突破这些难点，研究方向主要集中在新型信号调制解调技术和器件材料的研发上。在信号调制解调方面，探索采用多进制调制、正交频分复用（OFDM）等技术，提高信号的抗干扰能力和传输效率；在器件材料方面，研究新型的半导体材料、超材料等，以降低器件成本，提

高器件性能和集成度。开发基于石墨烯等新型材料的太赫兹器件，利用其优异的电学性能和高载流子迁移率，有望实现高性能、低成本的太赫兹源和探测器。

人工智能在 6G 通信中的应用面临模型训练和验证的难题。6G 通信网络规模庞大，数据量巨大，需要训练复杂的 AI 模型来实现网络优化和管理。然而，大规模的模型训练需要消耗大量的计算资源和时间，且在实际应用中，模型的准确性和可靠性还需要进一步验证。不同的通信场景和网络环境对 AI 模型的要求不同，如何使模型具有更好的泛化能力，适应复杂多变的通信环境，也是需要解决的问题。针对这些难点，未来的突破方向包括发展分布式计算和联邦学习技术，实现模型的分布式训练，降低计算资源需求和训练时间；建立完善的模型验证和评估体系，通过大量的实际数据和仿真实验，验证模型的性能和可靠性；采用迁移学习、强化学习等技术，提高模型的泛化能力，使其能够快速适应不同的通信场景和网络环境。

通感一体化技术在信号处理和干扰协调方面存在技术瓶颈。通感一体化系统中，通信和感知信号共用频谱资源，信号处理复杂度高，如何实现通信和感知功能的高效协同，避免信号之间的干扰，是亟待解决的问题。在复杂的通信环境中，存在多种干扰源，如其他通信系统的干扰、环境噪声等，如何有效地协调通感一体化系统与其他系统之间的干扰，保障通信和感知的准确性，也是一大挑战。为解决这些问题，研究重点在于开发先进的信号处理算法和干扰协调机制。在信号处理算法方面，研究多目标优化算法，实现通信和感知性能的同时

优化；在干扰协调机制方面，探索基于认知无线电的干扰感知和避让技术，使通感一体化系统能够实时感知周围的干扰情况，并自动调整信号传输参数，避免干扰。

分布式 MIMO 技术在天线部署和同步技术上存在困难。分布式 MIMO 系统中，天线分布在不同位置，天线之间的距离较远，这给天线的部署和安装带来了挑战，需要考虑地理环境、电磁兼容性等因素。多个天线之间的同步问题也至关重要，同步误差会导致信号传输质量下降，影响系统性能。为克服这些难点，需要研究智能天线部署算法，根据地理环境、用户分布等因素，优化天线的部署位置和数量，提高系统性能；开发高精度的同步技术，如基于卫星导航系统的同步技术、基于时间戳的同步技术等，确保多个天线之间的精确同步。

二、AI 和 6G 如何有效融合

AI 和 6G 怎样有效地融合？是不是可以把大模型直接拿来用于 6G？对此，尤肖虎表示，这些问题业界还存在着各种争议。尤肖虎表示，在技术方面达成共识变得非常重要，“标准化过程就是技术达成共识过程，现在 6G 领域还有很多研究方向并没有真正达成广泛共识。”尤肖虎介绍，目前，紫金山实验室围绕 6G 六大应用场景开展系列研究，并且在无线传输、系统构架及关键核心芯片方面都取得一系列重要突破，包括通过实验手段把 5G 的传输能力十倍甚至百倍地提高；在通感一体方面建立通信感知融合实验室以及外场实验环境，能够实现高精度的感知和通信的融合；借助于低空经济，实现空中网

络和地面网络的融合。“我们正在推动这些成果和企业进行结合，逐渐能够投入使用。”尤肖虎说。“6G 首先要解决 5G 遗留的体验问题。”邬贺铨认为，6G 与人工智能结合将催生新终端形态，未来面向消费应用具有不确定性，例如 AI 终端可能具备用户生成内容能力，对网络的低时延、高可靠性提出更高要求。人工智能在 6G 时代被寄予非常大的期望，但邬贺铨提醒，AI 需要大量算力，采集数据和计算需要时间，而通信要求实时性，如何在满足复杂性和实时性的情况下，让人工智能发挥作用，是 6G 需要面对的新挑战。邬贺铨说：“6G 不仅要在 5G 和其他无线技术很难支持的特殊场景证明其不可替代性，还要在大众消费的刚需方面，包括未来的 AI 能力提升上以及机器视觉、遥控、远程检修大量的工业应用场景上，能够证明其有效性和经济性。这将是 6G 的价值所在。”

共建全球 6G 生态圈国际电信联盟（ITU）数据显示，中国提交的 6G 标准提案占全球总量的 37%。截至 2025 年年初，中国在 6G 相关专利的申请和授权数量上位居全球前列，占比超过 48%，远超美国的 35.2% 和日本的 9.9%。邬贺铨表示，当前研究 6G 与 10 年前研究 5G 相比，国际形势发生很大变化，一些国家在贸易、标准化、供应链上进行封堵，科技交流受限、市场封锁等问题，对形成全球统一标准构成非常大的挑战。他说，6G 目标是“内生性安全、泛在性连接、绿色化生态、可信性服务”，这需要全球协作，而当前环境使得技术创新与生态构建难上加难。面对挑战，邬贺铨表示，6G 需聚焦“人机物互联、天空地协同”等战略目标，“需要很大的创新才能支撑”。我国优势在于 5G 积累的产业基

础、庞大的应用场景，可在车联网、远程医疗等大众刚需领域先行落地，同时加快突破超表面无线反射等关键技术。6G 发展需产学研用深度协同，在技术研发、标准制定、产业培育上同步发力，每一个挑战都是创新的机会，唯有如此，才能在“截然不同”的 6G 生态中打造中国方案。“今年既是 6G 全球统一标准制定的起始年，也是 6G 与 AI 融合发展的关键之年。”科技部五司副司长、一级巡视员邱钢在会上呼吁，各国政府、科研机构、企业界应合力推动形成 6G 国际统一标准，共建开放包容、合作共赢的全球 6G 生态圈。统一的全球 6G 标准，将打破隔阂和边界，更加高效公平地为我们带来一个智能便捷和智联万物的新时代。多位与会专家表示，当前正处于 6G 发展的关键转折期，要坚持“全行业共同定义 6G”的理念，强调 6G 不再是信息通信行业的“独奏”，而是一场全行业、全领域的“大合唱”。

6G 标准制定

- (一) 国际标准组织的推动
- (二) 标准制定的复杂性与挑战
- (三) 开放与协作的重要性

国际标准组织的推动

国际电信联盟（ITU-R）和 3GPP 是 6G 标准制定的核心机构。根据 NGMN 联盟发布的《6G 需求与设计考虑》报告，6G 标准的制定将围绕系统架构、区域容量、峰值速率、用户体验、可靠性、延迟、覆盖范围 等关键指标展开。此外，3GPP 已于 2024 年 9 月启动首个 6G 标准项目——6G 场景用例与需求研究项目，标志着全球 6G 标准制定进入实质阶段。

6G 标准制定的现状与挑战，尤其是在国际标准组织的推动方面，呈现出复杂而多变的态势。目前，6G 仍处于标准制定的初始阶段，尚未真正进入全面启动阶段，因此“6G 元年”的提法并不准确。然而，全球范围内的 6G 标准化工作正在逐步推进，国际电信联盟（ITU）和第三代合作伙伴计划（3GPP）等国际组织在 6G 国际标准制定中发挥着核心作用。

根据国际通信标准组织（3GPP）的计划，今年 6 月将启动 6G 技术标准研究，2025-2027 年完成技术研究阶段，2029 年 3 月完成第一个版本的技术规范。业界普遍预计，6G 技术将在 2030 年开始商用。

2025 年作为 6G 发展的关键时间点，被业界认为是 6G 标准制定元年，全球统一标准的推进将迈出重要步伐。

4 月 10-12 日，由未来移动通信论坛、紫金山实验室主办的 2025 全球 6G 技术与产业生态大会在南京召开。邬贺铨、刘韵洁、尤肖虎等多位院士围绕 6G 前沿方向与战略布局建言献策，提出真知灼见。

开启“万物智联”

“截至目前，我国 5G 基站数已突破 425 万个，占全国移动通信基站总数 1/3，5G 用户数已超过全国移动用户总数的一半。”中国工程院院士邬贺铨介绍道，中国在 5G 建设方面继续保持全球领先，5G 基站数量占全球 60%、用户数占比约 50%。

邬贺铨表示，目前 5G 在工业互联网等领域的探索已经初具成效，特别是在高带宽、低时延、广连接等场景中逐步落地，为后续 6G 探索奠定了产业经验和技術路径。尽管当前部分垂直行业的应用仍面临标准碎片化、网络架构适配等挑战，但这正为 6G 的差异化创新提供契机。

“1G 到 4G 聚焦个人通信，5G 开启行业应用，而 6G 将构建‘万物智联’新生态。”邬贺铨说。中国科学院院士、紫金山实验室主任、未来移动通信论坛副理事长兼秘书长尤肖虎表示，6G 是一个基础性使能技术，对未来整个社会的智能化转型，赋能千行百业，能力将会比现有的 5G 再提升一个量级甚至两个量级。

尤肖虎表示，6G 还能够实现通感、通信、智能以及泛在的融合，包括地面网络和非地面网络的融合。这些技术到 2030 年左右将会逐渐投入商用，从而再次改变人们的生活以及工作方式，支撑新变革。

针对 6G 空天地一体化、人机物互联的愿景，邬贺铨表示，6G 频率要扩展，要覆盖地面汽车、空中无人机、卫星等应用，既要满足特殊场景需要，又要满足大众刚需，在同一个频段、同一个网络上兼容，并不是想象那么容易。这不仅需要频段扩展技术，更要突破传统网络架构，实现“通感算融合、云边端协同”的泛在连接。

邬贺铨说，未来的通信不再是点到点，可能是点到多点、多点到点，

同时支持多归属、多连接、多接口，6G 连接模式从“大下行”转向“大上行”，需构建更灵活智能的架构以适应人到机、机到物多元化需求。

标准制定的复杂性与挑战

6G 标准的制定涉及多个利益相关方，包括运营商、设备制造商、学术机构、政府监管机构等。这些主体在技术路线、频谱分配、商业模式等方面存在分歧，导致标准制定过程复杂且充满不确定性。此外，地缘政治因素也对 6G 标准的统一性构成挑战，各国在标准制定中可能采取不同的策略，影响全球生态的协同发展。

一、技术复杂性与技术挑战

6G 技术相比 5G 在多个方面具有更高的复杂性，这主要体现在以下几个方面：

技术复杂性与研发难度

6G 技术涉及太赫兹通信、空天地一体化网络、人工智能与网络的深度融合等前沿技术，这些技术尚处于早期开发阶段，研发难度大，开发周期长，部署成本高。此外，6G 技术的复杂性还体现在其对高频段通信、能效管理、网络架构设计等方面的挑战。

频谱资源与可用性

6G 需要使用新的频段（如太赫兹频段），但这些频段在全球范围内并非所有地区都可用，导致频谱资源的分配和管理面临挑战。此外，频谱资源的稀缺性也增加了网络部署的复杂性。

安全与隐私问题

6G 网络将处理大量数据，涉及用户隐私和数据安全问题。随着联网设备数量的增加，需要新的安全措施和协议来保障用户隐私和数据安全。

能效与散热问题

6G 技术的高频段通信和大规模 MIMO 等技术会显著增加功耗和散热问题，如何提高能效和散热技术是一个重要挑战。

二、标准制定与国际合作的挑战

6G 标准的制定不仅是一场技术竞赛，更是一场国际间的博弈与合作。由于各国在 6G 技术研发和产业发展方面存在差异，各国在标准制定上的侧重点和利益诉求不同，导致标准制定过程中的分歧和竞争，可能导致标准碎片化，增加全球 6G 产业协同发展的难度。

全球标准统一的挑战

6G 标准的制定需要全球范围内的合作和协调，但各国之间的利益和技术路线可能存在差异，标准化进程复杂且漫长。此外，地缘政治因素（如中美紧张局势）也可能影响标准制定的进程。

标准制定的复杂性

6G 标准的制定涉及多个技术领域和利益相关方，需要全球产业达成共识，再以标准形式确定。然而，由于技术复杂性和地缘政治因素，共识达成过程更加复杂。

标准碎片化风险

不同国家和地区可能在 6G 技术标准上采取不同的标准，导致标准碎片化，影响全球 6G 技术的统一应用和产业规模效应的发挥。

三、其他各方面的挑战

经济与资源投入的挑战：6G 技术研发和部署需要巨大的资金投入，全球范围内 6G 技术研发的资金需求预计将达到数千亿美元。此外，6G 技术的复杂性和跨学科特性决定了单一国家或地区难以独立完成标准的制定，因此国际合作显得尤为重要。

时间与进度的挑战：6G 标准的制定和部署需要较长的时间，预计 6G 技术将在 2030 年左右实现网络可用性。然而，由于技术复杂性和全球合作的复杂性，6G 标准的制定和部署可能面临时间上的不确定性。

社会与政策的挑战：6G 技术的发展还面临社会和政策层面的挑战，包括公众对新技术的接受度、政策法规的制定、以及如何平衡技术创新与社会利益之间的关系

开放与协作的重要性

为避免标准碎片化，6G 标准的制定必须坚持开放、协作的原则。CUTS International 的报告指出，6G 标准应基于规则、协议和技术规范，确保设备和网络之间的互操作性。同时，开放生态是移动通信技术保持创新活力的关键，5G 的经验表明，开放的生态系统能够促进人工智能、无人驾驶、低空经济等新业态的发展。

开放生态与协作的重要性

开放生态和协作是 6G 标准制定的核心原则之一。开放生态倡导共享知识、技术和资源，促进不同参与者之间的协同创新，推动技术的普及与应用。开放和协作的标准制定过程强调透明、共识和包容性，确保全球利益相关方的参与，从而实现更具包容性和透明度的标准。这种开放性有助于促进不同设备和网络之间的互操作性，确保技术的无缝协作和市场竞争能力。

全球统一标准的必要性

6G 技术的发展需要全球统一的标准，以确保全球通信网络的互操作性、可扩展性和经济性。统一标准有助于降低市场壁垒，减少重复投资和资源浪费，促进全球通信技术的共同发展和进步。同时，统一标准有助于推动技术创新和产业链的协同发展，为全球通信产业提供明确的技术方向和规范。

国际合作与开放合作的重要性

6G 标准的制定需要全球范围内的合作与协作。各国政府、国际组织、企业、研究机构和学术界需要共同努力，推动 6G 标准的制定和推广。国

际合作不仅有助于平衡不同国家的利益诉求，还能避免技术分裂和标准碎片化。例如，美国、澳大利亚、加拿大等国家联合发布的《支持第六代移动通信技术（6G）原则的联合声明》强调了安全、开放和弹性设计的重要性。

技术创新与产业发展的推动

开放和协作的标准制定有助于推动技术创新和产业进步。通过开放标准，企业可以更灵活地参与技术创新和产品开发，促进新业务和新应用的出现。同时，开放标准有助于降低技术门槛，促进全球范围内的创新和竞争。

地缘政治与标准制定的挑战

尽管开放和协作是 6G 标准制定的重要原则，但地缘政治紧张局势可能对标准制定产生影响。例如，中美之间的紧张关系可能影响 6G 标准的制定进程，导致标准碎片化。因此，加强国际合作和对话，推动全球标准的统一和协调，是应对这一挑战的关键。

标准制定的复杂性与挑战

6G 标准的制定涉及多个利益相关方，包括技术贡献者、政策制定者、标准制定组织和行业参与者等。标准制定过程复杂，需要平衡不同利益相关方的需求和利益。此外，标准制定需要考虑技术、经济、安全和可持续性等多个方面，确保标准的可行性和可持续性。

未来展望与关键窗口期

6G 技术的发展正处于关键窗口期，全球各国和相关组织正在积极推动 6G 标准的制定和研究。未来，6G 标准的制定将更加注重开放性、协作性

和创新性，以推动全球通信技术的进一步发展。