

6G 概念及愿景白皮书

赛迪智库无线电研究所

赛迪智库无线电管理研究所

2020 年 3 月

编写组：彭健 孙美玉 滕学强

版权声明

本白皮书版权属于中国电子信息产业发展研究院，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本白皮书文字、观点和数据的，应注明“来源：中国电子信息产业发展研究院”。违反上述声明者，本院有权依法追究其法律责任。

目 录

一、前言	1
二、从 5G 走向 6G：打通虚实空间泛在智联的统一网络 ..	2
三、6G 应用场景展望	5
(一) 人体数字孪生	5
(二) 空中高速上网	5
(三) 基于全息通信的 XR	6
(四) 新型智慧城市群	7
(五) 全域应急通信抢险	7
(六) 智能工厂 PLUS	8
(七) 网联机器人和自治系统	9
四、6G 网络性能指标及潜在关键技术	9
(一) 性能指标	9
(二) 潜在关键技术	10
1、下一代信道编码及调制技术	10
2、新一代天线与射频技术	12
3、太赫兹无线通信技术与系统	13
4、空天海地一体化通信技术	14
5、软件与开源网络关键技术	14
6、基于 AI 的无线通信技术	15
7、区块链技术	15

8、动态频谱共享技术	16
五、ITU 面向 2030 网络及 6G 的研究	16
(一) ITU-T 聚焦 2030 网络的研究	17
(二) ITU-R 正式启动 6G 研究	18
六、世界各国 6G 研究进展	19
(一) 中国	19
(二) 美国	20
(三) 韩国	21
(四) 日本	22
(五) 英国	23
(六) 芬兰	24
七、我国推进 6G 研发的相关建议	25
(一) 加大 6G 候选频段研究力度	25
(二) 推进 6G 国际化合作与发展	25
(三) 突破 6G 潜在关键技术	26

一、前言

当前，全球新一轮科技革命和产业变革正在加速演进，人工智能（AI）、VR/AR、三维（3D）媒体和物联网等新一代信息通信技术的广泛应用产生了巨大的传输数据。资料显示，2010年全球移动数据流量为7.462 EB/月，而到2030年，这一数字将达到5016 EB/月，移动数据流量的快速增长对移动通信系统的迭代提出了更高的要求。此外，在制造、交通、教育、医疗和商业等社会的各个领域，智能化正成为不可逆的趋势。为了实现智慧城市的愿景，数百万个传感器将被嵌入到城市中的车辆、楼房、工厂、道路、家居和其他环境中，需要具有可靠连接性的无线高速通信方式来支持这些应用。随着通信需求的提升，移动通信从1G逐步发展至现在的5G，并且5G已经在全球范围内开始大规模部署。

5G与4G相比，能够提供新功能并实现更好的服务质量（QoS）。尽管如此，以数据为中心的智能化系统的快速增长对5G无线系统的能力带来了巨大挑战。例如要保证虚拟现实（VR）设备良好的用户体验，至少需要10 Gbps的数据速率，这已经是超越5G（B5G）后才能实现的目标。为了克服5G应对新挑战的性能限制，需要开发具有新功能特性的6G无线系统。一方面，6G要实现传统蜂窝网络所有功能的融合，例如支持网络致密化、高吞吐量、高可靠性、低能耗以及大规模连接。另一方面，6G将运用新技术实现服务和

业务的拓展，包括 AI、智能可穿戴设备、自动驾驶汽车、扩展现实（XR）和 3D 投影等。

本白皮书将从 6G 愿景、6G 应用场景、6G 网络性能指标、6G 潜在关键技术、国际组织和各国 6G 研究进展等方面展开讨论，并提出加快我国推进 6G 研发的相关建议。

二、从 5G 走向 6G：打通虚实空间泛在智联的统一网络

自上世纪 80 年代以来，移动通信基本上以十年为周期出现新一代革命性技术（如图 1 所示），持续加快信息产业的迭代升级，不断推动经济社会的繁荣发展，如今已成为连接人类社会不可或缺的基础信息网络。从应用和业务层面来看，4G 之前的移动通信主要聚焦于以人为中心的个人消费市场，5G 则以更快的传输速度、超低的时延、更低功耗及海量连接实现了革命性的技术突破，消费主体将从个体消费者向垂直行业和细分领域全面辐射。特别是在 5G 与人工智能、大数据、边缘计算等新一代信息技术融合创新后，能够进一步赋能工业、医疗、交通、传媒等垂直行业，更好地满足物联网的海量需求以及各行业间深度融合的要求，从而实现从万物互联到万物智联的飞跃。

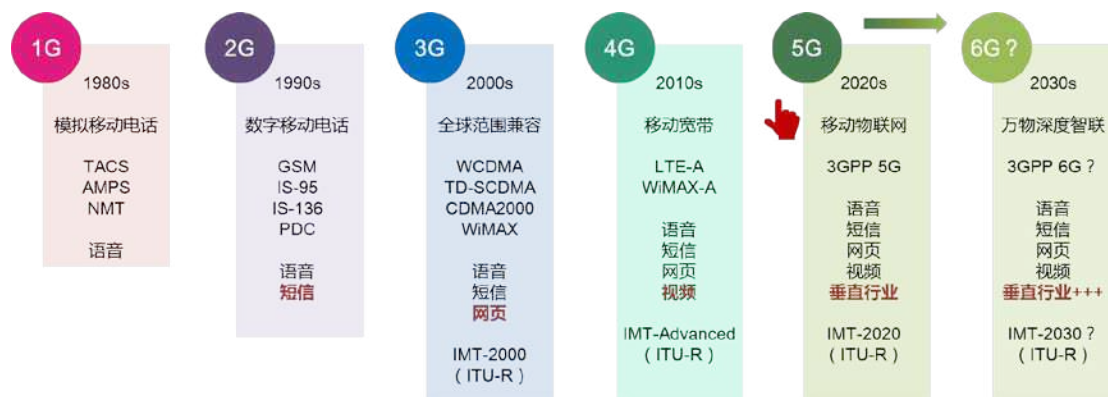


图1 移动通信的演进历程（1G~6G）

5G 的目标是在满足个人用户信息消费需求的同时，向社会各行业和领域广泛渗透，实现移动通信网络从消费型应用向产业型应用的升级。尽管当前 5G 尚未大规模应用和深入渗透，但从 5G 标准的规范来看，仍然在信息交互方面存在空间范围受限和性能指标难以满足某些垂直行业应用的不足。例如，从通信网络空间覆盖范围看，5G 仍然是以基站为中心的发散覆盖，在基站所未覆盖的沙漠、无人区、海洋等区域内将形成通信盲区，预计 5G 时代仍将有 80% 以上的陆地区域和 95% 以上的海洋区域无移动网络信号。此外，5G 的通信对象集中在陆地地表 10km 以内高度的有限空间范围，无法实现“空天海地”无缝覆盖的通信愿景。从行业应用的网络性能需求看，更大的连接数密度、更大的传输带宽、更低的端到端时延、更高的可靠性和确定性以及更智能化的网络特性，是移动通信网络与垂直行业融合应用得以快速推广和长远发展的必然需要。例如，对于智能工厂，6G 能够将时延缩减至亚秒（<math><1\text{ms}</math>）级甚至是微秒（ μs ）级，从而能

够逐步取代工厂内机器间的有线传输，实现制造业更高层级的无线化和弹性化。另外，目前 5G 的连接数密度约为每平方米一个连接设备，随着传感器技术和物联网应用的发展，在很多应用场景下每平方米连接的设备数量将超过 1 个，5G 网络将无法承担更大连接设备的接入，必须依赖下一代 6G 网络超大连接数性能的支持。

基于上，我们认为 6G 总体愿景是基于 5G 愿景的进一步扩展和升级。从网络接入方式看，6G 将包含多样化的接入网，如移动蜂窝、卫星通信、无人机通信、水声通信、可见光通信等多种接入方式。从网络覆盖范围看，6G 愿景下将构建跨地域、跨空域、跨海域的空一天一海一地一体化网络，实现真正意义上的全球无缝覆盖。从网络性能指标看，6G 无论是传输速率、端到端时延、可靠性、连接数密度、频谱效率、网络能效等方面都会有大的提升，从而满足各种垂直行业多样化的网络需求。从网络智能化程度看，6G 愿景下网络 and 用户将作为统一整体，AI 在赋能 6G 网络的同时，更重要的是深入挖掘用户的智能需求，每个用户都将通过 AI 助理（AIA，AI assistant）提升用户体验。从网络服务的边界看，6G 的服务对象将从物理世界的人、机、物拓展至虚拟世界的“境”，通过物理世界和虚拟世界的连接，实现人一机一物一境的协作，满足人类精神和物质的全方位需求。

三、6G 应用场景展望

6G 未来将以 5G 提出的三大应用场景（大带宽，海量连接，超低延迟）为基础，不断通过技术创新来提升性能和优化体验，并且进一步将服务的边界从物理世界延拓至虚拟世界，在人—机—物—境完美协作的基础上，探索新的应用场景、新的业务形态和新的商业模式。

（一）人体数字孪生

当前网络条件下，数字技术对人体健康的监测主要应用于宏观身体指标监测和显性疾病预防等方面，实时性和精准性有待进一步提高。随着 6G 技术的到来，以及生物科学、材料科学、生物电子医学等交叉学科的进一步成熟，未来有望实现完整的“人体数字孪生”，即通过大量智能传感器（>100 个/人）在人体的广泛应用，对重要器官、神经系统、呼吸系统、泌尿系统、肌肉骨骼、情绪状态等进行精确实时的“镜像映射”，形成一个完整人体的虚拟世界的精确复制品，进而实现人体个性化健康数据的实时监测。此外，结合核磁、CT、彩超、血常规、尿生化等专业的影像和生化检查结果，利用 AI 技术可对个体提供健康状况精准评估和及时干预，并且能够为专业医疗机构下一步精准诊断和制定个性化的手术方案提供重要参考。

（二）空中高速上网

为了给乘客提供飞机上的空中上网服务，4G/5G 时代通

信界为此做过大量的努力，但总体而言，目前飞机上的空中上网服务仍然有很大的提升空间。当前空中上网服务主要有两种模式——地面基站模式和卫星模式。如采用地面基站模式，由于飞机具备移动速度快、跨界幅度大等特点，空中上网服务将面临高机动性、多普勒频移、频繁切换以及基站覆盖范围不够广等带来的挑战。如采用卫星通信模式，空中上网服务质量可以相对得到保障，但是成本太高。为了解决这一难题，6G 将采用全新的通信技术以及超越“蜂窝”的新颖网络架构，在降低网络使用成本的同时保证在飞机上为用户提供高质量的空中高速上网服务。

（三）基于全息通信的 XR

虚拟现实与增强现实（AR/VR）被业界认为是 5G 最重要的需求之一。影响 AR/VR 技术、应用和产业快速发展的一大因素是用户使用的移动性和自由度，即不受所处位置的限制，而 5G 网络能够提升这一性能。随着技术的快速发展，可以预期 10 年以后（2030~），信息交互形式将进一步又 AR/VR 逐步演进至高保真扩展现实（XR）交互为主，甚至是基于全息通信的信息交互，最终将全面实现无线全息通信。用户可随时随地享受全息通信和全息显示带来的体验升级——视觉、听觉、触觉、嗅觉、味觉乃至情感将通过高保真 XR 充分被调动，用户将不再受到时间和地点的限制，以“我”为中心享受虚拟教育、虚拟旅游、虚拟运动、虚拟绘画、虚

拟演唱会等完全沉浸式的全息体验。

（四）新型智慧城市群

随着数字时代的不断演进，通信网络成为智慧城市群不可或缺的公共基础设施。对城市管理部门而言，城市公共基础设施的建设和维护是重要职责。目前，由于不同的基础设施由不同的部门分别建设和管理，绝大部分城市公共基础设施的信息感知、传输、分析、控制仍处于各自为政现状，缺乏统一的平台。作为城市群的基础设施之一，6G 将采用统一网络架构，引入新业务场景，构建更高效更完备的网络。未来 6G 网络可由多家运营商投资共建，采用网络虚拟化技术、软件定义网络和网络切片等技术将物理网络和逻辑网络分离。人工智能（AI）深度融入 6G 系统，将在高效传输、无缝组网、内生安全、大规模部署、自动维护等多个层面得到实际应用。

（五）全域应急通信抢险

6G 将由地基、海基、空基和天基网络构建成分布式跨地域、跨空域、跨海域的空一天一海一地一体化网络。到 2030 年以后，“泛在连接”将成为 6G 网络的主要特点之一，完成在沙漠、深海、高山等现有网络盲区的部署，实现全域无缝覆盖。依托其覆盖范围广、灵活部署、超低功耗、超高精度和不易受地面灾害影响等特点，6G 通信网络在应急通信抢险、“无人区”实时监测等领域应用前景广阔。例如，在发

生地震等自然灾害造成地面通信网络毁坏时，可以整合天基网络（卫星）和空基网络（无人机）等通信资源，实现广域无缝覆盖、随时接入、资源集成支撑应急现场远距离保障和扁平化的应急指挥。此外，利用 6G 网络还可以对沙漠、海洋、河流等容易发生自然灾害的区域进行实时动态监控，提供沙尘暴、台风、洪水等预警服务，将灾害损失降到最低。

（六）智能工厂 PLUS

利用 6G 网络的超高带宽、超低时延和超可靠等特性，可以对工厂内车间、机床、零部件等运行数据进行实时采集，利用边缘计算和 AI 等技术，在终端侧直接进行数据监测，并且能够实时下达执行命令。6G 中引入了区块链技术，智能工厂所有终端之间可以直接进行数据交互，而不需要经过云中心，实现去中心化操作，提升生产效率。不仅限于工厂内，6G 可保障对整个产品生命周期的全连接。基于先进的 6G 网络，工厂内任何需要联网的智能设备/终端均可灵活组网，智能装备的组合同样可根据生产线的需求进行灵活调整和快速部署，从而能够主动适应制造业个人化、定制化 C2B 的大趋势。智能工厂 PLUS 将从需求端的客户个性化需求、行业的市场空间，到工厂交付能力、不同工厂间的协作，再到物流、供应链、产品及服务交付，形成端到端的闭环，而 6G 贯穿于闭环的全过程，扮演着重要角色。

（七）网联机器人和自治系统

目前，一些汽车技术人员正在研究智能网联汽车。6G 有助于网联机器人和自主系统的部署，无人机快递系统就是这样的一个案例。基于 6G 无线通信的自动车辆可以极大地改变我们的日常生活方式。6G 系统将促进自动驾驶汽车或无人驾驶汽车的规模部署和应用。自动驾驶汽车通过各种传感器来感知周围环境，如光探测和测距（LiDAR）、雷达、GPS、声纳、里程计和惯性测量装置。6G 系统将支持可靠的车与万物相连（V2X）以及车与服务器之间的连接（vehicle to server）。对于无人机（UAV），6G 将支持无人机与地面控制器之间的通信。无人机在军事、商业、科学、农业、娱乐、城市治理、物流、监视、航拍、抢险救灾等许多领域都有广阔的应用空间。此外，当蜂窝基站不存在或者不工作时，无人机可以作为高空平台站（HAPS）为该区域的用户提供广播和高速上网服务。

四、6G 网络性能指标及潜在关键技术

（一）性能指标

6G 网络将实现甚大容量与极小距离通信（VLC&TIC）、超越尽力而为与高精度通信（BBE&HPC）和融合多类通信（ManyNet），相较于 5G，6G 的峰值速率、用户体验速率、时延、流量密度、连接数密度、移动性、频谱效率、定位能力、频谱支持能力和网络能效等关键指标都有了明显的提升，

具体指标对比如表 1 所示。

表 1 6G 与 5G 关键性能指标对比

指标	6G	5G	提升效果
速率指标	峰值速率：100Gbps-1Tbps 用户体验速率：Gbps	峰值速率：10-20Gbps 用户体验速率：0.1Gbps-1Gbps	10-100倍
时延指标	0.1ms，接近实时处理海量数据时延	1ms	10倍
流量密度	100-10000Tbps/平方公里	10Tbps/平方公里	10-1000倍
连接数密度	最大连接密度可达1亿个连接/平方公里	100万个/平方公里	100倍
移动性	大于1000km/h	500km/h	2倍
频谱效率	200-300bps/Hz	可达100bps/Hz	2-3倍
定位能力	室外1米，室内10厘米	室外十米，室内几米甚至1米以下	10倍
频谱支持能力	常用载波带宽可达到20Ghz，多载波聚合可能实现100Ghz	Sub6G常用载波带宽可达100Mhz，多载波聚合可能实现200Mhz；毫米波频段常用载波带宽可达400Mhz，多载波聚合可能实现800Mhz	50-100倍
网络能效	可达到200bits/J	可达100bits/J	2倍

（二）潜在关键技术

1、下一代信道编码及调制技术

针对各国及相关产业界愿景设想，6G 网络将实现 100Gbps 的数据速率，使用高于 275GHz 频段的太赫兹 (THz) 频段，信道带宽也是以 GHz 为单位。同时面临毫米波、空间、海洋等更为复杂的业务传输场景，对底层的信道编码及调制相关技术提出新的挑战。

（1）新一代信道编码技术

作为无线网络通信的基础技术，新一代信道编码技术应提前对 6G 网络的 Tb/s 的吞吐量、GHz 为单位的大信道带宽、太赫兹 (THz) 信道特性、空天海地网络架构下基于复杂场景干扰的传输模型特征进行研究和优化，对信道编码算法和硬件芯片实现方案进行验证和评估。目前业界已经开始了一

些预先研究，包括结合现有 Turbo、LDPC、Polar 等编码机制，开展未来通信场景应用的编码机制和芯片方案；针对 AI 技术与编码理论的互补研究，开展突破纠错码技术的全新信道编码机制研究等。与此同时，针对 6G 网络多用户/多复杂场景信息传输特性，综合考虑干扰的复杂性，对现有的多用户信道编码机制进行优化。

（2）极化多址接入系统的设计与优化

当前业界普遍观点是非正交多址接入 (NOMA, non-orthogonal multiple access) 将成为当前 5G 和下一代 6G 移动通信的代表性多址接入技术，将当前极化编码技术引入上述系统，依据广义极化的总体原则，优化信道极化分解方案是 5G/6G 发展中不可或缺的一环。由此可见，6G 网络将进一步赋能极化多址接入系统的设计与优化，可以结合 6G 网络和业务场景的需求，对 NOMA 总体架构和关键技术进行深入研究和升级，构建基于多用户（智能化、泛在化“物物”连接）原则的极化编码通信机制，对相应的算法进行进一步优化处理。

（3）基于深度学习的信号处理技术

结合 6G 无线通信关键参数，需要对基于深度学习的信号处理技术进行深入研究和优化，业界目前从基于深度学习的信道估计技术和基于深度学习的干扰检测与抵消技术开展相关工作。基于深度学习的信道估计技术可以通过空-时-

频三维信道估计算法建模，对用户信道、传输环境等关键参数进行自主学习，对 6G 通信系统信道进行预测，主要涉及神经网络、长短期记忆网络等关键技术。基于深度学习的干扰检测与抵消技术主要针对 6G 网络复杂多小区场景的干扰进行自主学习和预测，优化干扰检测与抵消机制，主要基于 CNN、LSTM 等经典神经网络模型。

2、新一代天线与射频技术

6G 系统频段可达太赫兹 (THz)，天线体积小形化，业界称 6G 系统天线将是“纳米天线”，给传统天线及射频、集成电子和新材料等领域带来颠覆性变革，赋能超大规模天线技术、一体化射频前端系统关键技术等。

(1) 超大规模天线技术 (Very Large Scale Antenna)

超大规模天线技术 (Very Large Scale Antenna) 是更好发挥天线增益，提升通信系统频谱效率的重要手段。当前 6G 太赫兹频谱特性研究还处于初级阶段，超大规模天线在理论和工程设计上面临大范围跨频段、空天海地全域覆盖理论与技术设计、射频电路的高功耗和多干扰等问题，需要从以上问题出发，建立新型大规模阵列天线设计理论与技术、高集成度射频电路优化设计理论与实现方法、以及高性能大规模模拟波束成型网络设计技术、新型电子材料及器件研发关键技术等机制，研制实验样机，支撑系统性能验证。

(2) 一体化射频前端系统关键技术

针对 6G 移动通信高集成、大容量等技术特性，应对 6G 网络可用频段范围内大规模天线和射频前端技术进行研究。针对核心频段技术要求和电路建模理论，优化天线架构和系统集成技术。探索高效率易集成收发前端关键元部件以及辐射、散热等关键技术问题，突破超大规模 MIMO 前端系统技术等。同时研究新型器件设计方法，探索基于第三代化合物半导体芯片的集成与封装技术。研究从封装方面提升电路性能的方法，实现毫米波芯片、封装与天线一体化，优化前端系统的整体射频性能。

3、太赫兹无线通信技术与系统

太赫兹技术被业界评为“改变未来世界的十大技术”之一，6G 的一个显著特点就是迈向太赫兹时代。当前，太赫兹通信关键技术研究还不够成熟，很多关键器件还没有研制成功，需要持续突破。结合 6G 网络和业务需求，太赫兹领域主要研究内容包括：太赫兹空间和地面通信和信道传输理论，包括信道测量、建模和算法等；太赫兹信号编码调制技术，包括高速高精度的捕获和跟踪机制、波形&信道编码、太赫兹直接调制、太赫兹混频调制和太赫兹光电调制等；太赫兹天线和射频系统技术，包括新材料研发、新器件研制、太赫兹通信基带、天线关键技术、高速基带信号处理技术和集成电路设计方法等；太赫兹通信系统实验、太赫兹硬件及设备研制等。

4、空天海地一体化通信技术

业界有观点认为，6G 网络是 5G 网络、卫星通信网络及深海远洋网络的有效集成，卫星通信网络涵盖通信、导航、遥感遥测等各个领域，实现空天海地一体化的全球连接。空天地海一体化网络将优化陆（现有陆地蜂窝、非蜂窝网络设施等）、海（海上及海下通信设备、海洋岛屿网络设施等）、空（各类飞行器及设备等）、天（各类卫星、地球站、空间飞行器等）基础设施，实现太空、空中、陆地、海洋等全要素覆盖。当前，卫星通信纳入 6G 网络作为其中一个重要子系统得到普遍认可，需要对网络架构、星间链路方案选择、天基信息处理、卫星系统之间互联互通等关键技术进行深入研究。针对深海远洋通信网络纳入 6G 网络还处于初步论证、争议较大的环节。

5、软件与开源网络关键技术

6G 网络软件和开源的特性将更为明显，以便于软硬件换代升级更加便利和高效。6G 网络的硬件将更为集成化、模块化和白盒化，软件将更为本地化、个性柔性化和开源化，未来网络基础设施建设和优化升级将主要依托云存储资源和软件升级，充分挖掘各类软件与系统对 6G 网络控制作用。基于上述发展趋势，现有软件与开源网络关键技术将得到持续发展，包括大数据挖掘及处理、人工智能 AI、软件无线电（SDR）、软件定义网络（SDN）、数据云化、开源分布式网

络软件及系统、开源网络安全、软硬件系统集成等关键技术。

6、基于 AI 的无线通信技术

6G 网络不可避免涉及高密度网络、天线阵列和数据量等通用问题，但高度自主智能化的超灵活网络是其最为明显的特征之一。6G 智能化应该是贯穿于网络端到端每一个环节的，人工智能 AI 将通过网络数据、业务数据、用户数据等多维数据感知学习，高效实现地面、卫星、机载等设备之间的无缝连接，并可进行实时高速切换，网络的自主管理和控制学习系统将持续得到优化升级，最终实现“无人驾驶”一样的自主自治网络。关键技术包括智能核心网和智能边缘网络、自组织和深度学习网络技术、基于深度学习的信道编解码技术、基于深度学习的信号估计与检测技术、基于深度学习的无线资源分配技术等。

7、区块链技术

5G 网络运营商为了优化服务，采用网络切片等技术控制和处理流量，开展用户差异化质量服务。6G 网络将持续完善用户个性化制定服务，采取更为丰富的手段，针对流量管理、边缘计算等进行每个用户的智能化柔性定制服务，整个网络体系采用自动化分布架构，网络更加趋于扁平化，这就使得新兴的区块链技术备受期待。区块链是分布式数据库，可以利用其分布式信息处理技术，通过数据的去中心化传输和存储保证用户信息不被第三方窃取，稳步提升网络服务节

点之间的协作效率，提高不同运营商网络协同服务能力，甚至改变未来使用无线频谱资源的方式。

8、动态频谱共享技术

6G 的太赫兹频率特性使其网络密度骤增，动态频谱共享成为提高频谱效率、优化网络部署的重要手段。动态频谱共享采用智能化、分布式的频谱共享接入机制，通过灵活扩展频谱可用范围、优化频谱使用规则的方式，进一步满足未来 6G 系统频谱资源使用需求。未来结合 6G 大带宽、超高传输速率、空天海地多场景等需求，基于授权和非授权频段持续优化频谱感知、认知无线电、频谱共享数据库、高效频谱监管技术是必然趋势。同时也可以推进区块链+动态频谱共享、AI+动态频谱共享等技术协同，实现 6G 时代网络智能化频谱共享和监管。

五、ITU 面向 2030 网络及 6G 的研究

虽然ITU目前尚未制定 6G标准，但根据资料显示，2019年5月ITU探讨过IMT-2030¹标准，认为IMT-2030旨在提供革命性的新用户体验，每用户的连接速度在Tbits/s范围内，并且提供一系列全新的感官信息，例如触摸，味觉和嗅觉等。IMT-2030在5G网络的基础上，将是一个多种不同网络构成的混合网络，包括固定、移动蜂窝、高空平台、卫星和其他尚待定义的网络，可认为IMT-2030是5G的升级。

¹ 参照 ITU-R 对于 5G 确定的法定名称“IMT-2020”，未来 ITU-R 对于 6G 的法定名称很可能为“IMT-2030”。

（一）ITU-T 聚焦 2030 网络的研究

2018 年 7 月 16 日至 27 日，ITU-T 第 13 研究组在日内瓦举行的会议上成立了 2030 网络技术焦点组（FG NET-2030），旨在探索面向 2030 年及以后的新兴 ICT 部门网络需求以及 IMT-2020（5G）系统的预期进展，包括新的媒体数据传输技术、新的网络服务和应用及其使能技术、新的网络架构及其演进。该研究统称为“2030 网络”，从广泛的角度探索新的通信机制，不受现有的网络范例概念或任何特定的现有技术的限制，包括完全向后兼容的新理念、新架构、新协议和新的解决方案，以支持现有应用和未来的新应用。

2030 网络焦点组由中国（华为）、美国（Verizon）和韩国（ETRI）联合提案发起，得到来自中国、美国、俄罗斯、意大利和突尼斯等众多国家的支持。值得一提的是，该焦点组的主席由华为网络技术实验室首席科学家 Richard Li 担任。此外，2030 网络焦点组还将与其他标准制定组织合作，包括欧洲电信标准协会（ETSI）、计算机协会数据通信专业组（ACM SIGCOMM）和电气电子工程师学会通信协会（IEEE ComSoc）等。FG NET-2030 作为研究和改进国际联网技术的平台，将研究 2030 年及以后的未来网络架构、需求、用例和网络功能，研究涉及：

- 研究、审查和调查现有技术、平台和标准，以明确 2030 网络的差距和挑战。

- 制定 2030 网络的各个方面，包括愿景、需求、架构、应用、评估方法等。
- 提供标准化路线图的指南。
- 与其他 SDO 建立联系并建立关系。
- 2030 网络专注于固定数据通信网络。

ITU-T 2030 网络焦点组成立至今已经成功召开了多次全会，来自运营商、服务提供商、设备商、学术界等多家单位的代表积极踊跃出席会议，对该焦点组的工作及面向 2030 年的未来网络进行了广泛的探讨。目前焦点组对 6G 网络提出了三方面的目标，具体如图 2 所示。



图 2 ITU-T 2030 网络焦点组对未来网络需求三方面的目标

(二) ITU-R 正式启动 6G 研究

2020 年 2 月 19-26 日，在瑞士日内瓦召开的第 34 次国

际电信联盟无线电通信部门 5G 工作组 (ITU-R WP5G) 会议上，面向 2030 及 6G 的研究工作正式启动。

本次会议初步形成了 6G 研究时间表，包括未来技术趋势研究报告、未来技术展望建议等重要规划节点。ITU 将着手编写“未来技术趋势报告”，并定于 2022 年 6 月完成。本报告描述了 5G 之后 IMT 系统的技术演进方向，包括 IMT 演进技术、高频谱效率技术和部署。

此外，国际电联还计划于 2021 年上半年推出“未来技术展望建议书”，并于 2023 年 6 月完成。该建议书包含了面向 2030 年及之后 IMT 系统的总体目标，如应用场景、主要系统能力等。目前，ITU 尚未确定 6G 标准的制定计划。

六、世界各国 6G 研究进展

(一) 中国

中国已在国家层面正式启动 6G 研发。2019 年 11 月 3 日，中国成立国家 6G 技术研发推进工作组和总体专家组，标志着中国 6G 研发正式启动。目前涉及下一代宽带通信网络的相关技术研究主要包括大规模无线通信物理层基础理论与技术、太赫兹无线通信技术与系统、面向基站的大规模无线通信新型天线与射频技术、兼容 C 波段的毫米波一体化射频前端系统关键技术、基于第三代化合物半导体的射频前端系统技术等。

技术研发方面，中国华为公司已经开始着手研发 6G 技

术，它将与 5G 技术并行推进。华为在加拿大渥太华成立了 6G 研发实验室，目前正处于研发早期理论交流的阶段。华为提出，6G 将拥有更宽的频谱和更高的速率，应该拓展到海陆空甚至水下空间。在硬件方面，天线将更为重要。在软件方面，人工智能在 6G 通信中将扮演重要角色。在太赫兹通信技术领域，中国华讯方舟、四创电子、亨通光电等公司也已开始布局。2019 年 4 月 26 日，毫米波太赫兹产业发展联盟在北京成立。

运营商方面，中国电信、中国移动和中国联通均已启动 6G 研发工作。中国移动和清华大学建立了战略合作关系，双方将面向 6G 通信网络和下一代互联网技术等重点领域进行科学研究合作。中国电信正在研究以毫米波为主频，太赫兹为次频的 6G 技术。中国联通开展了 6G 太赫兹通信技术研究。

（二）美国

早在 2018 年，美国联邦通信委员会（FCC）官员就对 6G 系统进行了展望。2018 年 9 月，美国 FCC 官员首次在公开场合展望 6G 技术，提出 6G 将使用太赫兹频段，6G 基站容量将可达到 5G 基站的 1000 倍。同时指出，美国现有的频谱分配机制将难以胜任 6G 时代对于频谱资源高效利用的需求，基于区块链的动态频谱共享技术将成为发展趋势。

2019 年，美国决定开放部分太赫兹频段，推动 6G 技术

的研发实验。2019年初，美国总统特朗普公开表示要加快美国6G技术的发展。3月份，FCC宣布开放95GHz-3THz频段作为实验频谱，未来可能用于6G服务。

技术研究方面，美国目前主要通过赞助高校开展相关研究项目，主要是开展早期的6G技术包含芯片的研究。纽约大学无线中心(NYU Wireless)正开展使用太赫兹频率的信道传输速率达100Gbps的无线技术。美国加州大学的ComSenTer研究中心获得了2750万美元的赞助，开展“融合太赫兹通信与传感”的研究。加州大学欧文分校纳米通信集成电路实验室研发了一种工作频率在115GHz到135GHz之间微型无线芯片，在30厘米的距离上能实现每秒36Gbps的传输速率。弗吉尼亚理工大学的研究认为，6G将会学习并适应人类用户，智能机时代将走向终结，人们将见证可穿戴设备的通信发展。

美国在空天海地一体化通信特别是卫星互联网通信方面遥遥领先。截至2020年2月底，美国太空探索技术公司(SpaceX)已顺利发射近300颗“星链”(Starlink)卫星，已成为迄今为止全世界拥有卫星数量最多的商业卫星运营商。该公司预计最早将可以在2020年中期开始在美国提供卫星互联网宽带服务。

(三) 韩国

作为全球第一个实现5G商用的国家，韩国同样是最早

开展 6G 研发的国家之一。2019 年 4 月，韩国通信与信息科学研究院召开了 6G 论坛，正式宣布开始开展 6G 研究并组建了 6G 研究小组，任务是定义 6G 及其用例/应用以及开发 6G 核心技术。韩国总统文在寅在 2019 年 6 月访问芬兰时达成协议，两国将合作开发 6G 技术。2020 年 1 月份，韩国政府宣布将于 2028 年在全球率先商用 6G。为此，韩国政府和企业将共同投资 9760 亿韩元。韩国 6G 研发项目目前已通过了可行性调研的技术评估。此外，韩国科学与信息通信技术部公布的 14 个战略课题中把用于 6G 的 100GHz 以上超高频段无线器件研发列为“首要”课题。

技术研发方面，韩国领先的通信企业已经组建了一批企业 6G 研究中心。韩国 LG 在 2019 年 1 月份便宣布设立 6G 实验室。6 月份，韩国最大的移动运营商 SK 宣布与爱立信和诺基亚建立战略合作伙伴关系，共同研发 6G 技术，推动韩国在 6G 通讯市场上提早发展。三星电子也在 2019 年设立了 6G 研究中心，计划与 SK 电讯合作开发 6G 核心技术并探索 6G 商业模式，将把区块链、6G、AI 作为未来发力方向。

（四）日本

日本计划通过官民合作制定 2030 年实现“后 5G”（6G）的综合战略。据报道，该计划由日本东京大学校长担任主席，日本东芝等科技巨头公司将会全力提供技术支持，在 2020 年 6 月前汇总 6G 综合战略。日本经济产业省 2020 年计划投

入 2200 亿日元的预算，主要用于启动 6G 研发。

日本在太赫兹等各项电子通信材料领域全球领先优势明显，这是其发展 6G 的独特优势。广岛大学与信息通信研究机构（NICT）及松下公司合作，在全球最先实现了基于 CMOS 低成本工艺的 300GHz 频段的太赫兹通信。日本电报电话公司（NTT）集团旗下的设备技术实验室利用磷化铟（InP）化合物半导体开发出传输速度可达 5G 五倍的 6G 超高速芯片，目前存在的主要问题是传输距离极短，距离真正的商用还有相当长的一段距离。NTT 集团于 2019 年 6 月份提出了名为“IOWN”的构想，希望该构想能成为全球标准。同时，NTT 还与索尼、英特尔三家公司在 6G 网络研发上合作，将于 2030 年前后推出这一网络技术。

（五）英国

英国是全球较早开展 6G 研究的国家之一，产业界对 6G 系统进行了初步展望。2019 年 6 月，英国电信集团（BT）首席网络架构师 Neil McRae 预计 6G 将在 2025 年得到商用，特征包括“5G+卫星网络（通信、遥测、导航）”、以“无线光纤”等技术实现的高性价比的超快宽带、广泛部署于各处的“纳米天线”、可飞行的传感器等。

技术研发方面，英国企业和大学开展了一些有益的探索。英国布朗大学实现了非直视太赫兹数据链路传输。GBK 国际集团组建了 6G 通讯技术科研小组，并与马来西亚科技网联

合共建 6G 新媒体实验室,共同探索 6G 时代互联网行业与媒体行业跨界合作的全新模式,推动 6G、新媒体、金融银行、物联网、大数据、人工智能、区块链等新兴技术与传媒领域的深度融合。英国贝尔法斯特女王大学等一些大学也正在进行 6G 相关技术的研究。

(六) 芬兰

芬兰信息技术走在世界前列,在大力推广 5G 技术的同时,率先发布了全球首份 6G 白皮书,对于 6G 愿景和技术应用进行了系统展望。2019 年 3 月,芬兰奥卢大学主办了全球首个 6G 峰会。2019 年 10 月份,基于 6G 峰会专家的观点,奥卢大学发布了全球首份 6G 白皮书,提出 6G 将在 2030 年左右部署,6G 服务将无缝覆盖全球,人工智能将与 6G 网络深度融合,同时提出了 6G 网络传输速度、频段、时延、连接密度等关键指标。

芬兰已经启动了多个 6G 研究项目。奥卢大学计划在 8 年内为 6G 项目投入 2540 万美元,已经启动 6G 旗舰研究计划。同时,诺基亚公司、奥卢大学与芬兰国家技术研究中心(VTT)技术研究中心合作开展了“6Genesis——支持 6G 的无线智能社会与生态系统”项目,将在未来 8 年投入超过 2.5 亿欧元的资金。

七、我国推进 6G 研发的相关建议

（一）加大 6G 候选频段研究力度

结合我国 5G 产业发展现状和 6G 研究需求，统筹开展 6G 频谱方案研究工作：一是考虑我国产业节奏和特点，积极推进高频毫米波、太赫兹等候选频段用于现有 5G 和未来 6G 通信网络的相关研究，做好通信产业发展的频谱资源储备。二是持续推进目前低中频频谱高效利用技术的研究，结合 6G 复杂融合场景开展动态频谱共享相关理论研究。三是鼓励支持产业各界加大与候选频谱相关的芯片、设备的技术标准制定、设备试验和研制工作，增加专项资本投入，加大研发力度，增强技术竞争力。

（二）推进 6G 国际化合作与发展

坚持 6G 全球统一标准的工作思路，积极开展国际合作。一是依托产业界力量，强化国内外运营商和设备商沟通协作，鼓励产业界上下游企业积极参与国际组织针对 6G 研究的相关议题，争取机会共同推动 6G 技术标准的制定，把握好全球产业趋势，提升产业协同发展和国际化能力。二是坚持自主创新与国际合作并行推进，在国内推动和建立产学研用一体化的 6G 研发及应用体系，加强平台中各参与者之间的互动，加快 6G 的研发进度，力求掌握更多的知识产权，做好专利储备工作，便于更好开展 6G 产业化战略部署。

（三）突破 6G 潜在关键技术

集中产业界力量突破 6G 潜在关键技术，推动我国 6G 通信设备和终端形成产业规模，在国际产业分工体系中占据有利地位。一是加大资金投入，设立多个细分领域专项课题组，鼓励产业链企业集中突破下一代信道编码、新一代天线射频、太赫兹通信、软件无线电、卫星互联网、人工智能、区块链、动态频谱共享等关键技术。二是积极推进关键产业基础储备，尤其是半导体材料等基础领域和高频器件等前沿领域，通过政策、资金倾斜鼓励高频段、大带宽的射频器件、测量仪器设备厂商开展专项技术突破。三是鼓励企业进行 6G 应用场景的前瞻研究和应用试验，积极引导相关企业开展跨行业协作，促进产业链各方协同发展形成合力，打造上下游生态环境。