

# 6G愿景与技术 白皮书



中国电信研究院  
2022年12月

---



## 内容提要



**愿景** 通过对历代移动通信系统演进的总结，以及根据用户和业界对6G的期待，本白皮书将6G的愿景概括为：“虚实通感，全域智联”。具体包括以下十个特征：全域泛在、瞬时极速、节能高效、虚实孪生、沉浸全息、通感多维、智能普惠、安全可靠、确定可靠和柔性开放。

**6G驱动力** 与5G相似，6G的主要特点之一极有可能是继续通过技术手段，将性能改善10倍以上，以大幅降低每比特的传输成本，从而触发竞争驱动，推进新设备的大规模部署。因此，在竞争、技术、商业、社会和环境五个驱动力中，竞争与技术是主要的驱动力。由于性能的显著改善，用户月平均流量也将从4G时代的十几G，5G时代的几百G到6G时代的近TB。月流量的持续增长也将进一步催化数字经济的快速增长。虽然目前移动通信系统的演进节奏是每10年更新一代，但其商业驱动实际上相对乏力。造成在历史上，奇数代1G，3G，5G的发展，远不如偶数代的2G和4G，商业需求的周期很可能更接近20年一代的速度。基于以上观察及目前的发展趋势，本白皮书预测，移动通信奇数代不如偶数代的现象极有可能会在6G持续。

**应用场景及关键能力指标** 根据对业界的调研，本白皮书认为，5G的三大场景极有可能会被扩展到7个场景。从5G的部署经验来看，在给出的众多6G系统性能指标KPI中，基站功率效率的提升也显得至关重要。目前流行的节能KPI由于没考虑覆盖面积，使得基站越小，性能指标就越好，完全不符合UDN已证实在商业模式上行不通的现实。因此，本白皮书建议基站节能的KPI，从目前的比特/焦耳改成更实用的比特面积/焦耳，并且将该能效指标设为6G性能测试必选指标。

**空口标准** 从目前6G科研方向来看，“高频”几乎成为6G在空口演进的主要方向之一。6G从微波、毫米波到太赫兹的讨论车水马龙，异常热烈。基于已知的高频信号衰减特性，以及超密集组网的实践在4G和5G时代的失宠，业界部分专家提出，蜂窝技术的大规模覆盖部署，也许在5G时代已经基本接近顶点。6G应该是一个通过高频的热点覆盖来优化现行4G和5G覆盖的演进。根据对目前移动通信发展趋势的研究及运营商对用户需求的理解，本白皮书提出了以下两个观点和建议：

**01** 6G国际标准的制定，应该还是基于广覆盖和热点覆盖多方面的完整标准。其标准的制定应该延续5G的低频（FR1，6GHz以下）、中频（FR2，毫米波），并扩展到更高频段。多频系统的标准化和部署，应成为6G的一个标志性的特征之一；

**02** 从目前移动通信关键技术的发展趋势来看，6G系统的性能改善空间，可能主要会集中在超大规模天线、先进的双工技术、智能反射技术和人工智能等方面。空口传统的波形设计领域，包括信道编码、多址、调制和子帧设计等方面的发展，基本上进入了瓶颈期。基于以上观察，本白皮书建议，在与5G带宽相同的条件下，6G的空口波形设计不妨与5G的设计后向兼容。在5G没定义的更大带宽上，支持6G空口波形的更灵活的设计。对于运营商来说，这个建议至少有两大大商业优点。第一，该建议能在不影响6G性能改善的条件下，更有效地保护运营商在5G覆盖上的大量和快速的投入。第二，6G系统在一定带宽内对5G的后向兼容有利于解决6G卫星发射周期与6G国际标准进展相互制约的矛盾。使得在2030年前发射的卫星系统，能在适合卫星的速率和带宽的条件下，完全符合和支持6G空口国际标准。

**网络架构** 本白皮书根据移动通信的发展趋势及用户对6G的需求，提出了三层（云网资源层、网络功能层和应用使能层）和四面（控制面、用户面、数据面、智能面）的整体6G网络框架，并根据在终端、基站、或核心网等层面的网络需求，提出了具体的创新建议。在核心网层面，提出了向确定性网络，分布式网络，智能协同框架发展的建议。在运营方面，提出了向可编程，通算一体，智慧随愿网络迈进的建议。在终端层面，提出了分布式的P-RAN架构。在接入层面，讨论了低轨卫星系统等非地面连接方式：

**01** 高频的利用是6G的发展趋势之一。由于高频的物理特性，高频覆盖成为6G的痛点之一。本白皮书提出的P-RAN分布式网络架构，主要解决高频和室内覆盖难题，并使得运营商能掌握“在场”用户的入口（类比如谷歌、百度是网页的入口，脸书、微信是社交的入口）。P-RAN的挑战和创新至少包括六方面：在架构上是蜂窝的扩展、在部署上是分布式的



探索、在运营上是轻资产的尝试、在商业模式上是Web 3.0的创新(用户参与并拥有网络的一部分)、在资源上是空闲算力的利用、在实施上是货真价实的软件定义网络的实现。通过增加P-RAN这个新的部署工具,希望6G的高频覆盖可以由多天线、智能反射面和分布式P-RAN技术为基础,辅以小基站、直放站、室内分布等其他方法来得以解决;

**02** 全域覆盖是移动通信用户多年的期待,但由于成本原因,至今还未大规模实现。6G有可能将卫星或其它空天传输能力做进智能手机(而不是目前SpaceX的卫星锅的方式)以达到全域覆盖。通过建议6G的空口波形设计与5G的设计后向兼容,卫星的开发和发射可以有独立的时间表,不用等到2030年后发射。这将极大地促进我国的空天通信在6G的蓬勃发展。

**最后** 全球6G研究投入逐步加强,但离技术标准化还有一段距离,具体应用场景需求,网络架构和关键技术还需要逐步深入研究。本白皮书是基于现阶段对6G愿景及需求的展望而引出的对6G网络技术的初步研判,未来随着技术的发展以及研究的推进,将视需求适时更新迭代和发布。——6G如何改变世界,让我们拭目以待。



# 目 录



|                        |    |
|------------------------|----|
| 内容提要 .....             | 01 |
| 目 录 .....              | 03 |
| 1. 6G愿景 .....          | 05 |
| 1.1 全域泛在 .....         | 05 |
| 1.2 瞬时极速 .....         | 05 |
| 1.3 节能高效 .....         | 05 |
| 1.4 虚实孪生 .....         | 06 |
| 1.5 沉浸全息 .....         | 06 |
| 1.6 通感多维 .....         | 06 |
| 1.7 智能普惠 .....         | 06 |
| 1.8 安全可信 .....         | 07 |
| 1.9 确定可靠 .....         | 07 |
| 1.10 柔性开放 .....        | 07 |
| 2. 6G驱动力 .....         | 07 |
| 2.1 竞争驱动 .....         | 07 |
| 2.2 技术驱动 .....         | 07 |
| 2.3 商业驱动 .....         | 09 |
| 2.4 社会驱动 .....         | 09 |
| 2.5 环境驱动 .....         | 10 |
| 3. 面向终端用户的6G创新应用 ..... | 10 |
| 3.1 虚实相生 .....         | 10 |
| 3.2 多维感知 .....         | 11 |
| 3.3 空天地海 .....         | 11 |
| 3.4 身临其境 .....         | 12 |
| 3.5 全息通信 .....         | 12 |
| 3.6 机器智能 .....         | 12 |
| 4. 6G对垂直行业的影响 .....    | 13 |
| 4.1 智慧城市 .....         | 14 |
| 4.2 智慧制造 .....         | 14 |
| 4.3 智慧医疗 .....         | 15 |
| 4.4 智慧能源 .....         | 15 |
| 4.5 智慧金融 .....         | 16 |
| 4.6 智慧交通 .....         | 16 |
| 4.7 智慧教育 .....         | 17 |
| 4.8 智慧农业 .....         | 17 |



# 目 录



|                            |    |
|----------------------------|----|
| <b>5. 6G典型应用场景与关键能力指标</b>  | 18 |
| 5.1 6G典型应用场景               | 18 |
| 5.2 超高速宽带                  | 18 |
| 5.3 高移动性宽带                 | 18 |
| 5.4 超低时延高可靠                | 18 |
| 5.5 灵活通感                   | 18 |
| 5.6 低速率巨连接                 | 18 |
| 5.7 高速率大连接                 | 18 |
| 5.8 稀疏广域通信                 | 19 |
| 5.9 6G关键能力指标展望             | 19 |
| <b>6. 6G网络架构展望及潜在技术</b>    | 23 |
| 6.1 6G网络总体框架               | 23 |
| 6.2 无线接入网                  | 25 |
| 6.3 核心网                    | 31 |
| 6.4 承载及运营网络                | 35 |
| <b>7. 6G无线空口潜在技术</b>       | 39 |
| 7.1 全频谱融合                  | 39 |
| 7.2 空域使能技术                 | 41 |
| 7.3 无线空口智能化                | 43 |
| 7.4 通感一体化                  | 46 |
| 7.5 语义通信空口技术               | 48 |
| <b>8. 6G泛终端技术特点展望及关键技术</b> | 50 |
| 8.1 无线通信                   | 51 |
| 8.2 传感定位                   | 51 |
| 8.3 人工智能                   | 51 |
| 8.4 端边云协同                  | 51 |
| 8.5 D2D直通                  | 52 |
| 8.6 操作系统                   | 52 |
| 8.7 无线携能                   | 53 |
| <b>9. 6G安全架构展望与潜在关键技术</b>  | 53 |
| 9.1 移动通信及6G安全发展            | 53 |
| 9.2 6G安全架构模型               | 54 |
| 9.3 6G安全关键技术               | 55 |
| <b>附录1:缩略语</b>             | 57 |
| <b>附录2:参考文献</b>            | 60 |



## 01 6G愿景

基于人们对未来生活的美好愿景、社会发展需求的进一步提升以及通信技术的不断进步，作为继5G之后的全新一代移动通信系统，未来6G网络相比5G除了提供极致的通信体验，还将提供除了连接之外的更为丰富的服务能力。一方面，6G将具备更高的速率、更低的时延、更高的可靠性、更广的覆盖、更为密集的连接和流量密度；另一方面，6G除了提供传统的通信能力之外，还将具备感知、计算和智能等能力。未来，6G将成为连接物理世界和数字世界的重要通道及基础设施。为了实现上述目标，本白皮书认为，未来6G网络的核心是“虚实通感，全域智联”，并提出了十大6G愿景，包括：全域泛在、瞬时极速、节能高效、虚实孪生、沉浸全息、通感多维、智能普惠、安全可信、确定可靠、柔性开放（如图1所示）。



图1-6G愿景

### 1.1 全域泛在

未来对于“全域泛在”的6G网络愿景，在5G网络基础上将进一步拓展空间维度的网络覆盖，为用户提供无缝连续接入服务。

从空间覆盖维度，未来6G将基于统一的网络层技术，实现卫星、地面网络、其他非地面网络节点和平台等多种网络相互融合和协同发展，构建覆盖空、天、地、海的一体化网络，打破全球通信网络互联互通壁垒，消除地域间数字鸿沟，支持空天地海的全球泛在广域接入，尤其是海洋、荒漠、太空等人迹罕至地区的全域无缝覆盖。

从用户体验维度，未来6G将提供即插即用的标准接口，为物理世界全要素之间的交互提供即时连接服务。未来人体和环境周围都将遍布多样化的终端形态，6G将提供无所不在的连接体验，构建一个万物智联的世界。6G

网络将支持更高业务速率、更高可靠性、更高移动性等多种特殊需求情况下的泛在接入，实现用户无缝连续体验。

### 1.2 瞬时极速

对于6G愿景“瞬时极速”，“瞬时”意味着极低的时延，“极速”意味着极高的数据速率，以期6G提供多元化的业务类型，满足用户更加多样化的场景需求。

从时延维度来看，未来6G基于网络架构和无线关键技术的进一步增强，将支持更低的端到端时延，涵盖空口时延、网络时延、处理时延等，可支持全息通信、VR/AR游戏、高清赛况转播等场景，为用户带来极致的沉浸式体验。

从速率维度来看，未来6G的速率需求将远远大于5G，包括峰值速率、用户体验速率等。依托于丰富的6G频谱资源和无线空口技术的革新，6G速率有望达到十倍甚至千倍于5G系统的速率，以支持超大容量、超大带宽、超高速率，从而大大提升网络性能，带来极致的用户体验。

### 1.3 节能高效

考虑5G在快速发展的同时，自身能耗问题也成为发展瓶颈受到众多关注，对于“节能高效”的网络愿景将寄希望于6G实现，而且未来6G网络的速率、带宽需求远远大于5G网络，很可能采用更高频率，能耗相对5G而言必然会增加，如果不突破能效问题，将阻碍其商用发展。因此，节能高效将成为未来6G等移动通信设施存在的基本要求。未来6G需要有明确的低碳减排目标，以绿色节能为基本原则，提升系统的能量效率，实施生态运营，做到真正的内生节能、内生智能和内生安全。

一方面，6G节能高效的实现将加速推动各大产业节能和绿色化改造。为了满足6G绿色通信要求，业界已开始重点关注多接入融合、泛终端的低能耗传感设备、智能使能的无线空口等关键技术。

另一方面，智能高效的网络架构以及基础设施将助力6G网络达到节能高效目标。共享能够在提供一致用户体验的同时提高网络效能，未来6G大规模的网络，需要多方参与，在一定程度上网络共享，从而提高网络整体效率。6G网络将需要在绿色、可持续的基础上实现无线资源、基础设施、网络功能、能力平台等的多方共享。