



中国移动  
China Mobile

研究院  
CMRI

# 绿色 6G 网络 白皮书 (2022)



中国移动通信研究院



## 前 言

当今世界，绿色发展已经成为一个重要趋势，2020年9月习近平主席在联合国大会一般性辩论上向全世界宣布，中国力争于2030年前二氧化碳排放达到峰值，并努力争取2060年前实现碳中和，从而开启了一段以“双碳”目标为引领的高质量绿色发展新征程。面向2030年，绿色发展将在能源、工业、交通、建筑、数字基础设施等各个方面改变人类的工作与生活，而6G作为未来绿色发展的核心设施，其功耗及能效无疑是大家关注的焦点。本文阐述6G网络能效需实现的目标及实现路径，这不仅需要实现6G网络本身能效的大幅提升（“节流”），还需要完成6G网络与新能源的高度融合（“开源”），并最终助力国民经济的绿色发展（“赋能”），实现双碳目标。

首先，通过引入绿色设计理念和原生AI能力，6G在保证最佳业务性能和体验的同时，需将全网整体能效提升至2020年能效的10-100倍，以将控制总能耗的增长。潜在的提高能效的技术横跨网络架构与组网、设备形态、关键器件与算法等领域，我们期望通过技术进步，核心网与数据中心能效提升1倍，而无线网中通过网络架构、空中接口和高效设备与器件分别实现1倍、2倍和5倍左右的能效提升。

其次，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，使绿色能源广泛应用在6G网络中，从而减少碳排放，我们通过新能源。例如，基于6G的数字技术与光伏技术融合，使光伏运维、生产和资产管理变得极简、智能、高效，大幅提升光伏发电效率，再结合光储能和智能电力传输技术，使绿色能源伴随着6G网络互联互通，加速光伏等绿色能源成为6G网络主力能源。

最后，6G网络将赋能电力、工业、交通和建筑等领域以实现深

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。

本白皮书意在抛砖引玉，引起业界对 6G 网络能耗挑战的关注，并将绿色 6G 的理念贯穿于产品的设计、研发与部署等各个环节，以携手移动通信产业链各个环节，共同实现绿色 6G 的愿景。

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.绿色 6G 网络的需求.....	2
1.1 双碳战略.....	2
1.2 6G 高能耗挑战.....	2
2.绿色 6G 愿景.....	3
3.绿色 6G 技术与行业赋绿.....	3
3.1 网络架构.....	4
3.2 核心网与数据中心.....	5
3.2.1 节能技术.....	5
3.2.2 节能即服务.....	5
3.2.3 数据中心节能.....	6
3.3 无线网.....	6
3.3.1 无线网络架构.....	6
3.3.2 高效空口.....	7
3.3.3 高效硬件.....	10
3.4 新能源应用.....	11
3.4.1 泛在的新能源供给.....	11
3.4.2 新能源与 6G 网络深度融合.....	12
3.5 行业赋绿.....	13
4.展望.....	14
缩略语列表.....	15
参考文献.....	16
附录.....	16
A 能耗与能效的评估.....	16

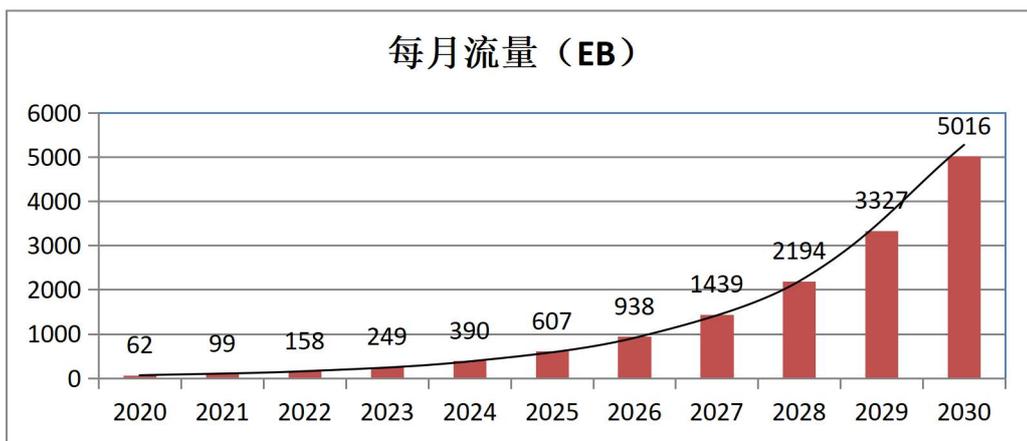
# 1.绿色 6G 网络的需求

## 1.1 双碳战略

2020 年 9 月 22 日，习近平主席在联合国大会上承诺“中国将力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和”，实现双碳战略目标，事关国家可持续发展和构建人类命运共同体。我国将用 30 年时间走完发达国家 60 年的“达峰-中和”进程，面临时间短、任务重、转型难等重重挑战，需要中国以更快速度向高质量发展转型，绿色低碳成为各业共同的目标和使命，促使 ICT 产业系统性思考移动网络绿色发展目标。

## 1.2 6G 高能耗挑战

面向 2030 年及未来，6G 网络将助力实现真实物理世界与虚拟数字世界的深度融合，构建万物智联、数字孪生的全新世界。智慧城市、智慧家庭、智赋工业、智赋农业、超能交通、精准医疗、普智教育以及智慧能源等 6G 全新应用场景将在人民生活、社会生产、公共服务等领域提供全新的服务，实现“智享生活”、“智赋生产”、“智焕社会”，更好支撑经济高质量发展需求，进一步实现社会治理精准化、公共服务高效化和人民生活多样化。



ITU 2030 年流量增长预测

为支撑 2030 年后网络流量快速增长，6G 网络需要更立体的网络、更智能的

能力、更丰富的应用，以提供人机物、全时空、安全、智能的连接和服务，6G 将从服务于人、人与物，进一步拓展到支撑智能体的高效互联，实现由万物互联到万物智联的跃迁，最终助力人类社会实现“万物智联、数字孪生”美好愿景。相比于 5G，6G 网络连接密度将继续大幅度提升，将有更多的设备连接到互联网。为了满足个性化热点区域流量和业务的需要，需要部署更多热点，预计网络规模将是现有网络规模（节点数量）的数倍以上。这些都对 6G 网络的运营和能耗提出了系统性挑战。本书将我们对绿色 6G 网络愿景、关键技术进行阐述，希望能为业界作参考和启示。

## 2.绿色 6G 能效愿景

6G 网络业务应用丰富多彩，网络覆盖广泛，网络规模宏大，这要求网络必须是绿色低碳、低成本、可持续。面对 6G 网络面临的严重能耗挑战，中国移动通信研究院提出“能效百倍提升，绿能泛在互联”的愿景。

**能效百倍提升：**为了实现 2030 年碳达峰需要，届时部署 6G 时，网络能耗相比已有网络增加余地不大，鉴于 2030 年通信流量相对于 2020 年将增长 80 倍以上，在总能耗不变情况下，单位流量所需功耗需同步降低，因此我们期望 6G 的能效相对于 2020 年需提升 10-100 倍。

**绿能泛在互联：**我们预期，6G 网络将支持绿能与传统电能的深度融合。一方面，6G 网络支持网络设备、终端设备灵活使用新能源，另一方面网络可感知移动储能的状态，支持绿能路由。6G 网络支持绿能、算力、信息传输的高度融合，实现绿能与传统电能有机协同。

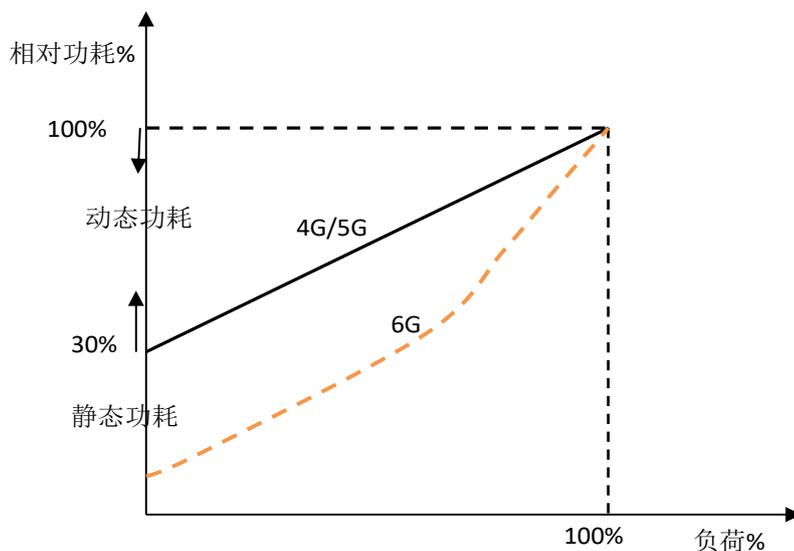
我们希望，6G 网络搭建一个灵活可扩展的平台，结合人工智能、大数据等技术，构建多元智能体，实现物理世界与数字世界的有机整合与多向互动，助力千行百业的数智化转型，极大丰富智能应用场景，实现行业绿色高质量发展。

## 3.绿色 6G 技术与行业赋绿

绿色 6G 是总体目标，需要从设计理念上采用绿色至简的原则，通过核心网

与数据中心、无线网、能量供给等环节的相应方案实现，并应用于千行百业，助力相关行业实现双碳战略。

6G 网络应以绿色节能为优化目标，通过更合理的规划、部署和应用功能网元和网络资源，实现网络功能的按需部署、即插即用。通过服务感知，精准感知业务、用户、区域的功能网元部署需求，按需部署功能网元和服务。当容量需求高时，可以开启较多的功能网元；用户较少或者业务量较低时，按需关闭功能网元，实现健康绿色运行。从而实现网络能耗与业务负荷最佳匹配，接近“0 比特 0 瓦特”的理想目标。



### 3.1 网络架构

6G 网络具备更多能力，性能更强，这要求网络架构设计将由复杂增量式向至简一体式转变。

**坚持至简设计原则，实现一体化至简网络架构。**一方面从整体上结构化极简功能集合，整合零散的服务功能，减少网络复杂度；另一方面进一步深化微服务理念，细化服务和功能的颗粒，减少服务间的耦合度，并支持智能化的组织能力，降低系统维护难度。通过至简接入网架构设计、智能化的端到端内生感知-计算-控制一体化机制、核心网络功能同态化，实现至简一体化的网络架构，降低整体能耗的同时，达到轻量化网络架构的目标。6G 网络可以按照用户需求进行定制化精细功能组合，形成满足需求的最小化网络，实现功能层面的绿色节能。

**采用至简统一的协议，降低 6G 网络协议和信令交互数量。**6G 网络作为社

会基础设施需要支撑纷繁多样的服务需求，支撑的业务或者服务内容不仅千差万别并且服务质量要求越来越高，6G 网络需要有至简统一的协议体系，以降低支撑各类业务时的逻辑约束，新的网络功能和服务可以通过即插即用的方式引入。通过至简设计，使得 6G 网络通信所需的协议数量和信令交互大幅减少，从而降低网络的复杂度，减少系统整体能耗，同时具备韧性、安全性和可靠性的特点。

我们期望通过网络架构的改进，提升能效 1 倍以上的目标。

## 3.2 核心网与数据中心

通过部署和应用核心网和数据中心的能效提升方案，我们期望提升能效 1 倍以上。

### 3.2.1 节能技术

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，可以提升能源利用效率，减少闲时能耗，以达到绿色低碳的目的。

**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。

**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，可以在。通过针对于企业园区等片区，在网络识别到业务量小或者业务停止时，进行网络缩容、关断等措施。

**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。

### 3.2.2 节能即服务

双碳目标对通信产业提出了较高要求，通信产业需要进一步的数字化转型发

展，通过业务合作模式创新构建绿色低碳的通信产业生态。对于 6G 网络架构，也需要在考虑功能的同时，保障整体网络的节能低碳。

在通信产业自身的碳排放控制之外，还需要通过通信产业的 5G、6G、人工智能、大数据等新型信息技术为其他产业的低碳转型提供辅助，通过新型的信息技术有效提高生产、管理效率和智能化水平，降低不必要的能源消耗。6G 网络将需要在自身能耗效率提高的基础上，向外提供更丰富的信息技术服务，推动传统行业加快“上云用数赋智”，促进数字化智能化绿色化融合发展。

在保持 6G 网络内部的低碳绿色的同时，可以将节能作为一种服务提供给用户。可以通过在网络功能中新增能耗相关监测和上报服务，监测负载、能耗，扩展现在的能力开放参数，并基于及增强现有的设备层级能耗信息到服务或终端粒度的能耗信息，并可以将能耗相关的 KPI 或者等级开放给用户，以支持端到端的能耗监控和控制。

### 3.2.3 数据中心节能

随着数据中心的高速发展，能耗快速增长成为数据中心产业发展中不可忽略的问题。根据统计，截止到 2020 年我国数据中心年用电量已占全社会用电的 2.7% 左右，但数据中心利用率只有 50% 左右。传统算力和网络分域优化的模式将导致能耗单域最优而不是全局最优的情况。随着双碳战略的提出，算网分治或运营层面的浅层次协同都将无法满足需求，需要算网一体实现算力域和网络域在调度层面、甚至是基础设施层面的深度协同优化，生成跨域优化的调度策略。“算”和“网”的一体化服务可以有效提升资源利用率，降低整体能耗，助力“双碳”战略。

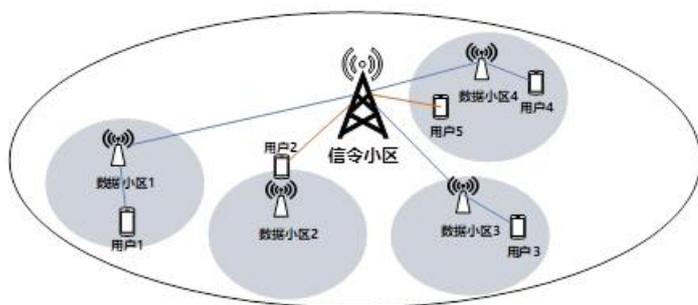
## 3.3 无线网

### 3.3.1 网络架构

为满足未来网络中用户不同的体验诉求，未来 6G 网络将支持更多的频段，涵盖低频、高频、太赫兹等，可用频段中高频部分占比越来越高。传统的“先建后用”、“先广度后深度”的建网思路，将需要部署大量基站，网络能耗也将进

进一步提高。在不影响用户体验的前提下，通过架构设计等手段实现绿色节能，是 6G 设计首先需要考虑的问题，我们希望通过无线网络架构的增强提升能效 2 倍。

无线电波传播特性导致高频段小区覆盖范围有限，高频小区部署走向超密集化，传统的蜂窝组网方式，采用超密集组网提升用户面性能通常会带来切换、负载均衡和干扰问题。6G 无线接入网通过合理的控制与数据分离，实现高低频有机协同，接入网络通过低频的信令小区实现广域的覆盖，中高频的数据小区实现网络按需的数据传输，结合对业务需求的感知，按需开启和关闭数据小区，实现整体能效优化。



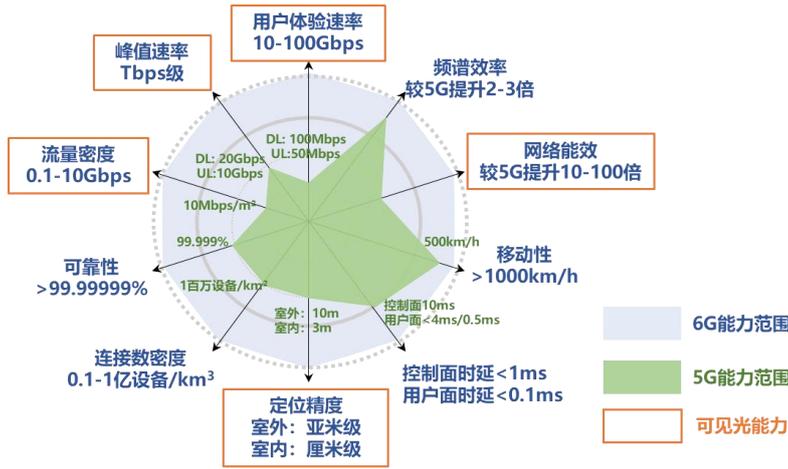
### 3.3.2 高能效空口

高能效的空口是绿色 6G 的基础，绿色 6G 将采取更有效的频谱利用、更简洁的发射技术、更精简的空口流程和物理层技术，并依托智能化 AI 空口实现空口能效的优化设计，我们期望通过高效的空口设计实现能效提升 2 倍以上。

#### ● 频谱共享与功能复用

6G 在现有频谱基础上，进一步向毫米波、太赫兹等更高频段扩展，通过对不同频谱资源的高效利用满足 6G 的高能效和低功耗的需求，通过新开发、重耕、聚合和共享等手段，进一步提升频谱效率和降低网络能耗。以可见光为例展开分析。

可见光通信利用发光二极管等光源进行光信号传输，再通过光电探测器等光电转换器接收信号。VLC 光源可以在现有的成熟器件上进行改造，同时兼具照明和通信功能，合理复用了能源，实现低成本超密集部署，满足高流量密度需求，具有低功耗高能效的优势，是一种高潜力的绿色 6G 通信技术方案。



可见光通信能力示意图

可见光通信在空口传输面临着一些挑战。例如带宽利用率、高低频响应差异大问题、单个 LED 的照明强度有限且调制带宽等问题。

在通感一体化方面，无线通信和无线感知将融合为一体，通信系统可以提供感知服务，感知结果可以提升通信的能效，实现多种功能复用与协作。绿色 6G 的超高频通信中，波束宽度将更小并且波束能量将更加集中，这将大大提升无线感知能力。通过收集和分析经过散射、反射的通信信号，利用经典算法或者 AI 算法，实现定位、成像等不同功能。最后，感知的结果结合其他定位信息可以进一步帮助提升波束的精度，从而提高网络的能效。

### ● 智能超表面与多天线技术

可重构的智能超表面 RIS 技术采用了可编程的新型电磁散射材料，通过数字编码控制系统对入射的电磁波进行控制，从而控制电磁波的幅度、相位等，最终实现在三维空间上的波束赋形和波束管理。智能超表面 RIS 技术可以有效地解决超高频的波束阻挡（beam blocking）问题和小区边缘覆盖差问题。



在多天线方面，MIMO 技术已经用于 4G 和 5G 网络，通过空分复用，大大提高吞吐量。随着频段升高电磁波波长也减小，同时天线和芯片的集成度不断提升，天线阵列规模将不断增加，可以产生宽度更小和能量更加集中的波束，以克

服超高频的带来的路损缺陷，还可降低对发射功率要求，因此可同时有效地提升 6G 的能效，实现更绿色的空口。

### ● 高效物理层技术设计

绿色 6G 的空口物理层技术需要更多的考虑以能效为优化目标的演进，需要信源编码、信道编译码，调制解调、多址接入、波形、MIMO 等在高能效目标牵引下的新的设计和优化，同时考虑技术之间的高效耦合，例如信源信道联合编码，多址和波形的联合设计等。

在信道编码方面，新的 6G LDPC 码的设计将面向行并行或者全并行译码器，需要在性能、功耗、灵活性、成本等多个方面取得全面最优。

在波形和调制方面，可以考虑支持超宽带 1GHz、超高频 THz 或亚 THz（71GHz~1THz）、低 PAPR 的新波形，单载波 QAM、单载波 OFDM 和多载波 OFDM 是潜在的候选方案。另外，概率成形调制技术可进一步提升高阶调制的链路性能，这些调制技术将有效地提升每比特能效。

在多址方面，海量连接的物联网将有助于基于免调度的非正交多址技术的广泛应用。该技术可以提升系统可承载的最大用户数目，并可以明显降低网络能耗。

在双工方面，全双工技术允许下行传输和上行传输使用相同的时频资源，理论上系统的比特能效可以翻倍。全双工技术将面临一系列干扰问题，包括：下行传输和上行传输存在的自干扰，基站间的互干扰以及终端间的互干扰，大规模天线的干扰消除技术至关重要。

### ● 至简的信令流程

至简的信令流程和协议是绿色 6G 空口能效的另一重要特征，免授权传输技术在 6G 中将持续演进以应对新的挑战。此外，同步、切换等在内的移动性管理也需要在 6G 进行简化设计以降低网络和终端的功耗。

空载和低负载时，传统网络中的公共信号，如同步信号、系统消息和寻呼消息等，占空口近 30% 的开销。单频段时在负荷满足条件时通过减少公共信号的传输比例以降低基站能耗，多频段时业务主要在主频段内传输，这意味着较少公共信号传输，网络能耗将大幅降低。

### ● 内生 AI 的高能效空口

AI/ML 在 6G 空口的应用将延伸到包括信道编译码、调制解调、波形和多址

接入、MIMO 和接收机在内的更多领域，以实现谱效和能效的双提升。此外，除了物理层，AI/ML 还可以使能 6G 智能 MAC，实现高效的频谱利用、信道资源分配、QoS 管理、链路自适应、功率控制、干扰管理等，实现业务特征与网络能耗的匹配，提升网络能效。

### 3.3.3 高效设备与器件技术

未来 6G 网络将融合通信、感知、AI、计算等多种能力于一体，因此对底层硬件处理器的高性能、低功耗要求越来越高。近年来，业界在新型材料、器件和实现架构上有较大进展，通过这些器件技术的应用，我们希望助力无线网能效提升 5 倍以上。本文以简要可重构芯片、光生系统和新材料等方面为例进行介绍，希望能抛砖引玉，引发业界更多关注。

#### ● 可重构芯片

除制程的不断提升外，芯片架构改良也可以改善功耗。近年来，越来越多基站逐步采用 FPGA 作为加速器，与通用中央处理器相结合，以提高处理效率与灵活性。但 FPGA 是一种静态的、细粒度的、可重新配置的计算架构，功耗并不理想。

CGRA 是一种时空域计算架构，具有许多并行计算资源，由数据流驱动，性能比 CPU 高。同时，CGRA 的硬件资源可以通过切换配置来重组，配置数据和配置时间比 FPGA 小，可在计算过程中完成，从而实现了性能与灵活性的平衡。

#### ● 光子学技术

为了满足超高带宽通信的需要，太赫兹可见光等超高频段通信也广受关注。以太赫兹通信为例，在提供超高带宽和速率的同时，系统功耗也在增加，在拓展新频段的过程中，功耗成为必须要考虑的一个因素。目前太赫兹通信系统存在电子学方式和光子学方式两种不同的技术路径。

从器件角度，电子学器件在高频通常通过次谐波和高次谐波的方式产生，功耗较高；光子学器件在高频通常采用光电探测器拍频方式产生，由于受到器件量子效率等因素影响，功耗同样相对较高。

从芯片实现角度看，光子学太赫兹技术能够借助异构集成或异质集成，实现片上光电混合集成芯片，能够最大化降低光电转化带来的功耗。电子学太赫兹目前器件均采用独立封装的方式，未来将逐渐走向集成化，但技术难度相比于光子学较高。同时，光子学和电子学对于采用 InP 的 HEMT、HBT 等工艺的功放均难以进行片上集成。

从系统角度，光子学太赫兹相比于电子学太赫兹系统复杂度相对较低，同时，与光网络融合较为容易。未来有望实现光网络与太赫兹无线通信的一体化无缝融合，从组网设计角度降低太赫兹通信系统的功耗水平。

## ● 新材料

目前，在射频器件中以碳化硅(SiC)和氮化镓(GaN)为代表的第三代半导体为基础的功放管得到逐步广泛应用。近年来半导体研究领域对氧化镓的研究不断取得进展，使这种第四代半导体的代表材料走入视野，凭借其比 SiC 和 GaN 更宽的禁带、耐高压、大功率等更优的特性，在功率应用方面具有独特优势。

碳纳米管是由碳原子构成的石墨片层卷成的无缝、中空管状结构，半导体性碳纳米管具有大长径比、无悬键表面、高载流子迁移率、室温弹道输运等独特结构特征和优异电学性质，因而被认为是十纳米以下高性能、低功耗晶体管沟道材料的有力候选，因此有望用于构建超硅微处理器。

## 3.4 新能源应用

经过多年努力，我国在新能源产业取得了显著发展，目前使用的清洁能源主要包括核电、风电、太阳能、水电、生物质能等，清洁能源发电量占比也逐渐上升，预计 2035 年该比例有望超过 60%。

为实现绿色 6G 网络，除了引入先进的节能技术，还要探索利用绿色可再生能源，包括实现泛在的新能源供给，并推动新能源与移动网络的深度融合。

### 3.4.1 泛在的新能源供给

在国家“双碳”战略指引下，我国电力行业将持续加大新能源发电比例，未来 6G 网络也将引入更多的新能源作为供电方式。以光伏为例，可直接采用分布

式叠光方案，即充分利用屋顶、柜顶等基站空间，安装光伏组件，或利用引入太阳能清洁能源，通过叠光/纯光方案降低基站市电消耗，提升清洁能源使用占比；或在光伏园区/数据中心，建设自发自用的小型光伏电站，极大程度提高园区/数据中心能源的清洁度。此外，还可以考虑引入移动储能（如电动车）可再生能源等绿色能源为移动网络供电，需要网络支持绿能与传统电能动态协同的移动网络供能机制，大幅降低移动网络的碳排放。



分布式光伏基站

### 3.4.2 新能源与 6G 网络深度融合

为了提升新能源的应用比例，未来 6G 网络还需支持基于智能控制面的异构移动网络低碳部署与服务架构，面向可再生能源/新能源的智能传输处理算法，利用边缘智能网络节点对可再生能源/新能源供给、无线业务到达和传播环境变化的感知和预测，设计分布式的智能空口传输处理算法，实现复杂环境下传输能耗和处理能耗的折中，在满足业务服务质量和网络覆盖要求的情况下显著降低碳排放量，灵活适配无线资源和卸载业务，保证服务质量，降低整体能耗。

此外，风、光、水等清洁能源发电具有间歇性、随机性特点，存在弃风、弃光等问题，同时新能源大量并网也带来了电网功率平衡的挑战。通信运营商具有大量的存量备电、场地等资源，通过数据采集、分析、管理等智能化手段，可实现基站储能与发电网络的协同，解决新能源大量并网带来的电网功率平衡难题，基站储能系统参与电网需求侧服务，实现削峰填谷、调峰、调频等，助力“双碳”目标下以新能源为主体的电网稳定运行。



### 3.5 行业赋绿

以服务化为中心的 6G 至简网络架构，可实现移动通信网络与行业生产流程的深度融合，通过功能网元和网络资源编排以及可见光通信等空口技术，为行业赋绿提供更灵活、可靠的网络连接，助力传统高能耗行业绿色低碳转型。6G 网络将在机器视觉废钢定级、电解槽漏液/能耗分析、自动抄表、碳足迹管理等方面发挥重要作用，涵盖面向钢铁、石油、石化、电力、交通、建筑等典型能源行业的赋能应用场景。



6G 赋能低碳技术示意图

6G 网络将实现生产全流程中的能耗更加精准的“采集-分析-控制”，通过采集传感器、摄像头等丰富数据，通过统一数据格式、优化图像解析模型、视频

分析算法实现使能双碳应用决策大脑，实现生产环节双碳相关内容智能决策。

## 4.展望

总之，绿色理念已是 6G 需求分析、指标设计和关键方案研发中的核心内容，绿色 6G 是未来网络可行性的必然要素，更是移动通信网络可持续发展的追求。这要求移动通信行业全产业、跨价值链和生态系统的协作，共同实现绿色网络的愿景，为信息社会的建设作出贡献。

## 缩略语列表

缩略语	英文全名	中文解释
AI	Artificial Intelligence	人工智能
CGRA	Coarse Grain Reconfigurable Architecture	动态可重构计算架构
CPU	Central Processing Unit	中央处理单元
D2D	Device—to—Device	设备到设备
FPGA	Field Programmable GateArray	现场可编程门阵列
ICT	Information and Communications Technology	信息通信技术
KPI	Key Performance Indicator	关键性能指标
LDPC	Low Density Parity Check Code	低密度奇偶校验码
LED	Light Emitting Diode	发光二极管
MAC	Media Access control	媒体访问控制
MIMO	Multiple Input Multiple Output	多输入多输出
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	正交频分复用
PAPR	Peak to Average Power Ratio	峰均比
QoS	Quality of Service	服务质量
RIS	Reconfigurable Intelligence Surface	可重构智能超表面
VLC	visible light communication	可见光通信

## 参考文献

- [1] 2022 年联合国秘书长安东尼奥·古特雷斯致辞
- [2] 6G 总体愿望与潜在关键技术白皮书 IMT-2030(6G)推进组 2021 年 6 月
- [3] ITU-R M.2370 [R]

## 附录

### A 能耗与能效的评估

通信系统能耗来源复杂，影响因素众多，为客观评价 6G 网络技术的能效，需对能耗及能效进行分析。

按功耗特点和领域不同，移动通信系统中的主要耗能器件有：

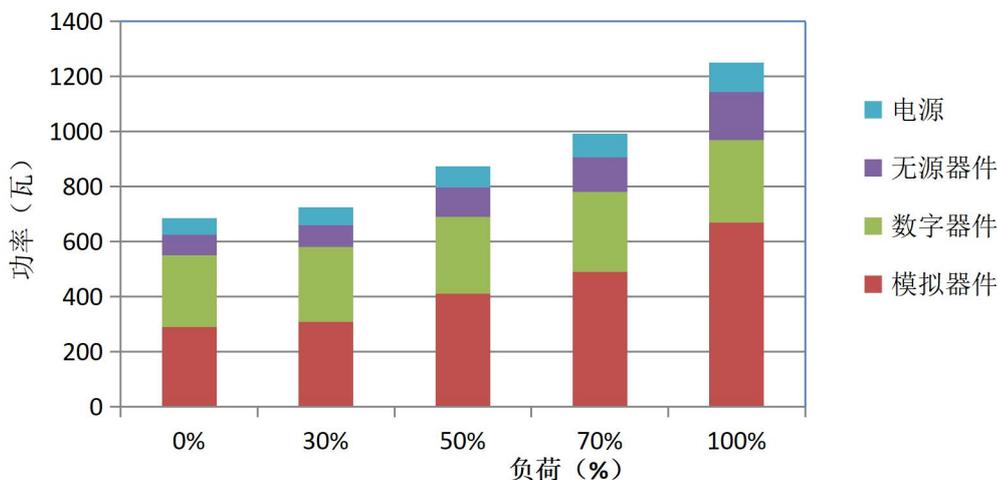
（1）数字电路：处理数字信号，包括运算、存储等功能，其功耗主要来自逻辑门电路翻转过程的电容充放电等，功耗组成为计算和存储功耗。衡量指标有 GOPS/W 或者 TOPS/W 等。

（2）模拟电路：实现模拟信号处理的器件，移动通信网络中的模拟器件主要有功放、收发信机等，有关指标有 PAE（Power Added efficiency）等。

（3）无源器件：该类器件本身并无功耗，但其对能量有衰减，例如滤波器、天线等，衡量指标为插入损耗等。

（4）供电及散热器件等：前者进行电压变换，后者将热散发出去，避免局部过热。有关指标有转换效率和导热率等。

典型情况下，几种器件能耗占比如下所示：



常见的用于评估网络能效的方法有（1）单位面积能耗，即网络的总功耗除

以覆盖面积，单位为瓦/平方米（2）单位比特能耗，定义为网络总吞吐量与能耗比值，例如：

$$EE = \frac{\text{Traffic (Mbps)}}{\text{Energy(watt)}}$$

单位为比特/焦耳。4G 和 5G 基站设备的峰值能效（2020 年基准）如下所示：

表 4G 与 5G 基站能效

负荷	制式	带宽 (MHz)	基站 功耗	吞吐量(Mbps)	能效 (Mb/Joule)
峰值 负荷	4G 8 收发	60	1100	1080	0.98
	5G 64 收发	100	3500	12240	3.5





---

绿色 6G 网络白皮书