



E²四化八大方向
共建绿色网络
点亮低碳未来

GREEN 5G
WHITE PAPER

绿色5G白皮书

CONTENTS

目录 ▶▶▶

01	前言	3
02	绿色5G，低碳未来	4
03	E ² ：建立能效评估体系，牵引绿色5G网络发展	5
04	四化：绿色5G网络发展特征	8
	4.1 设备高集成化	8
	4.2 站点极简化的	9
	4.3 网络智能化	10
	4.4 全生命周期低碳化	11
05	八大方向：绿色5G网络发展的技术趋势	12
	5.1 方向一：射频走向多天线	12
	5.2 方向二：设备走向超宽频	14
	5.3 方向三：硬件功耗随负载走向线性变化	15
	5.4 方向四：站点走向极简	16
	5.5 方向五：整站走向联动	17
	5.6 方向六：网络走向智能	18
	5.7 方向七：业务承载走向高制式	20
	5.8 方向八：全生命周期走向循环经济	21
06	无线网络2030年远景目标	22
	缩略语	23

01 前言



气候变化是一项跨越国界的全球性挑战。要解决这一问题，需要在各个层面进行协调，需要国际合作，帮助各国向低碳经济转型。目前，全球共有189个国家加入了《巴黎协定》，并且世界主要经济体纷纷做出碳中和目标的承诺：欧盟委员会推出长期战略愿景，至2050年实现碳中和，此战略愿景几乎贯穿于欧盟各项政策中。中国作为发展中国家，则承诺在2030年实现碳达峰、2060年实现碳中和。美国则在2019年退出巴黎协定后，于2021年重返巴黎协定。

ICT行业作为第一个响应巴黎气候协定的行业，正在积极行动。

一方面加强对社会节能减排的贡献。随着通信技术的不断创新与发展，移动网络也经历着从2G、3G、4G到5G时代的变革，网络的变革更加丰富了人们的沟通与生活，移动网络不再是仅提供语音服务，更多的是提供高清语音、移动视频、个人应用、以及新兴领域平台等众多方面，移动网络已经成为人们生活中不可或缺的一部分。尤其是5G，作为新型信息基础设施，正在融入千行百业，与社会经济各领域深度融合，助力全社会数智化转型，促进数智化深度嵌入各行业生产运营全流程、各环节，实现流程优化、精准控制、高效运营，从而提高传统行业的能源使用效率，支撑整个社会的低碳化。GSMA《The Enablement Effect》报告指出，在欧洲和北美范围，移动通信技术对社会节能减排的贡献在2015年达到1:5，这意味着移动通信每消耗一度电的同时，降低社会用电达到5度电。GSMA认为，这一数字将在2025年达到1:10。

一方面积极降低自身的碳排放，制定碳中和目标，全球多家运营商例如德国电信、沃达丰、法国电信、Telefonica、中国移动、中国电信、中国联通等均将“绿色”作为集团的战略目标。

现在，全球将“碳中和”提到了一个新的高度和要求。ITU要求，在2030年，ICT产业碳排放需要降低45%以上。多家运营商已经公布碳中和目标及相关行动计划。

基于此，华为发布《绿色5G白皮书》，旨在与产业一起建立切实有效的能效衡量体系、探讨绿色无线的技术方向，高效实现碳达峰、碳中和的愿景目标。



02 绿色5G，低碳未来

5G 网络处于快速发展期。目前，全球已经有超过 176 家运营商商用部署了 5G 网络，全球 5G 用户超过 4.6 亿，5G 在垂直行业已开始大规模商用复制，5G 家宽用户数已经超过 120 万，50+ 运营商已经部署 5G FWA¹ 业务，5G ToC/ToB/ToH 业务飞速发展。5G 网络势必还将持续保持快速发展，满足人们和社会日益提升的网络需求。

运营商一方面需要持续为个人用户、企业用户等提供优异的网络服务，满足社会发展的需求；一方面需要寻求节能减排的手段，践行碳达峰、碳中和目标。在 5G 建设的当口，网络建设除需考虑优质的体验、良好的覆盖等高性能外，“绿色”成为 5G 目标网建设的重要考虑因素。

我们提出“E² 四化八大技术演进方向”的绿色 5G 目标网，从网络演进视角，站在今天看明天，系统性的给出绿色网络建设建议，为碳达峰、碳中和战略目标达成做参考。

E² 为 Energy Efficiency，绿色网络衡量指标体系。

四化为绿色网络特征。

八大方向为网络绿色技术演进方向和趋势。



03 E²:建立能效评估体系 牵引绿色5G网络发展

能效评估贯穿网络的生命周期

规划建设

绿色目标网规划，选择合适的指标体系刻画未来网络的 Energy Performance，根据网络发展和绿色要求，设定合理的能效目标，并基于此进行技术和方案分解。

运行优化

能效评估有助于更好地了解网络，解析和识别自身能效现状，针对自身能效短板，对现网进行合理的配置调整，加强节能减排方案部署等。

升级改造

识别能效落后的 Top 区域并进行根因分析，给出能效提升潜力，选择高效能方案，制定针对性精准投资改造。

多维度综合评估

能效评估的关键是要选择合理的指标来刻画网络的 Energy Performance，能效的传统定义为单位能耗所提供的有效输出，实际应用中常用业务量，例如流量来替代，也就是通过流量和能耗的比值来评价网络能效，此处称之为流量能效。

基于流量能效，业界已经进行了研究和实践。运营商基于现网能效评估分析，指导网络能效提升改进。

随着网络的发展，新业务、新场景不断涌现。不同的业务类型，对网络速率要求不同。运营商既关注日益增长的流量需求，也关注对业务体验的要求。

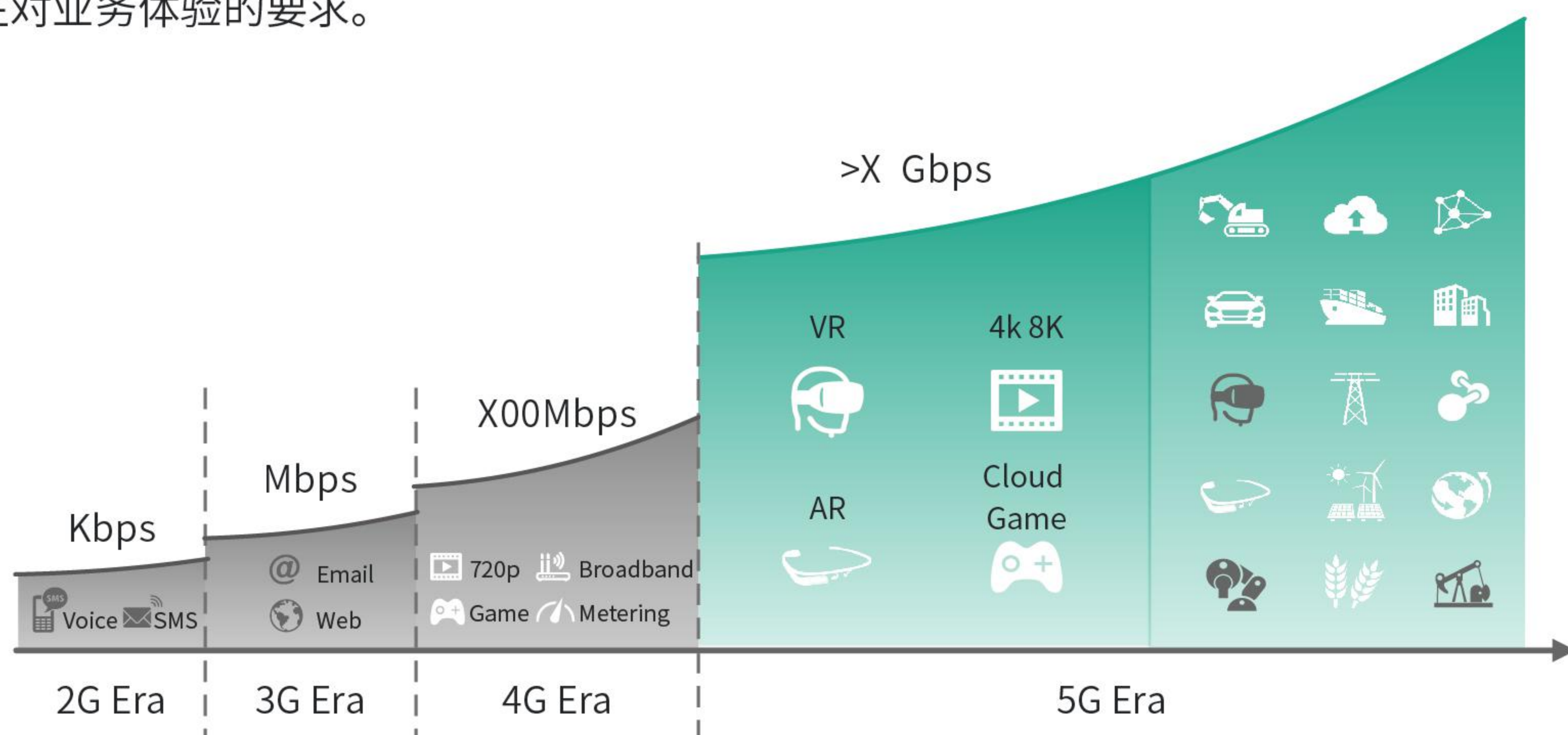


图 1 不同业务类型对网络速率要求

我们和全球多家运营商合作，对近多个区域的网络进行能效分析，发现部分网络虽然流量能效差不多，但体验速率差距较大。

流量能效仅评估业务的“量”，并不能涵盖业务的“质”。



表 1 不同网络的流量能效和体验速率对比

网络	流量能效 (GB/kWh)	下行体验速率 (Mbps)
A	6.4	6.3
B	6.2	9.6
C	6.7	20.1

为了更全面的评价网络能效，评价体系需不断演进。从单一的流量能效，走向流量能效、体验能效等多维度综合评价。

根据网络发展的不同阶段，不同场景的业务重心差异，选择合理的多维度指标进行综合评估。牵引无线网络持续朝着以更少的能耗提供更多的业务量，以及更好的业务体验的方向发展。

图 2 能效随网络发展而演进



未来针对网络更多的业务类型，例如 uRLLC² 和 mMTC³，以及更多的业务场景，例如 RAN-Sharing, Network Slicing 等，网络能效的评估体系还将继续演进。

基于客观因素的分类评估

影响网络能效的因素很多，一类是客观因素，例如人口密度，气候，地理等，另一类是主观因素，例如建网标准，组网架构，硬件配置，特性部署等。为减少客观因素对网络能效评估的干扰，在评估前先进行归一化处理，或者根据客观因素对不同网络进行分类，在类内进行对比分析，更有利于找到能效短板，指导能效优化。

例如，对于不同子网，运营商可以先根据人口密度差异进行分类，再进行网络级的能效评估，而对于同一子网的不同区域，则可根据站间距等维度进行进一步分类。例如可将站间距较小的密集城区的不同区域放在一起对比分析，而将站间距较大的农村的不同区域作为另一类进行对比分析。

网络能效动态发展

网络能效并非一成不变，相同区域在忙闲时的能效存在较大波动，高话务时段流量能效高，但体验速率较低，而低话务时段则相反。

在网络运行生命周期的不同阶段，能效也不断变化。在网络设备部署初期，流量能效较低，随着流量增长，流量能效不断增大。

网络能效关键影响因素

总体来说，影响能效的因素大致分为如下几类：

组网架构：例如机房集中化和室外化、各频段频谱的演进策略。

设备效率：硬件更替的节奏，宽频化、高密化设备使用，以及节能特性的部署应用。

空口性能：空口干扰和谱效的差异，高增益天线的应用等。

业务和负载：负载的高低，5G 用户话务比例，用户业务类型组成和分布的差异等。

针对不同场景，基于关键影响因素分析，根据不同区域的实际情况，选择合适方案，进行能效的精准优化。



04 四化:绿色5G网络发展特征

从 GSM 时代到现在，无线网络随着新技术的引入，一方面频谱效率持续提升，提供越来越高的网络性能；一方面能效持续提升，消耗越来越低的 OPEX⁴。

4.1 设备高集成化

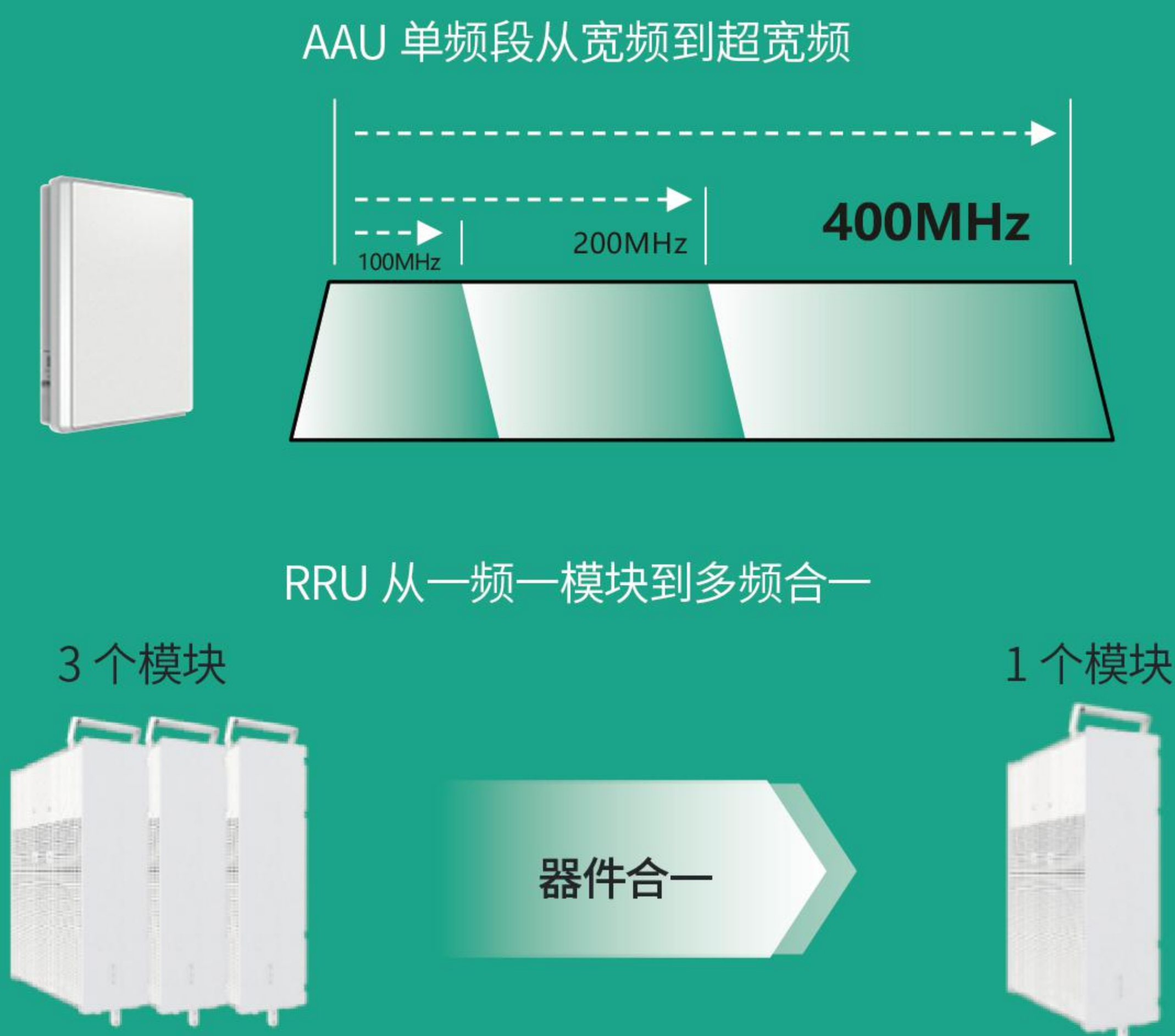
随着多学科的融合和基础学科的突破，无线设备从仅支持单频单制式到支持多频多制式，应对多制式、多网络的融合部署、平滑演进与高效运营。设备高集成化降低了多网络场景部署所需的设备数量、多设备合一降低了网络能耗，简化了站点形态和降低站点部署要求。

随着网络更多频段的引入，设备将持续向高集成化演进，化零为整。

图 3 多学科融合



图 4 设备高集成化

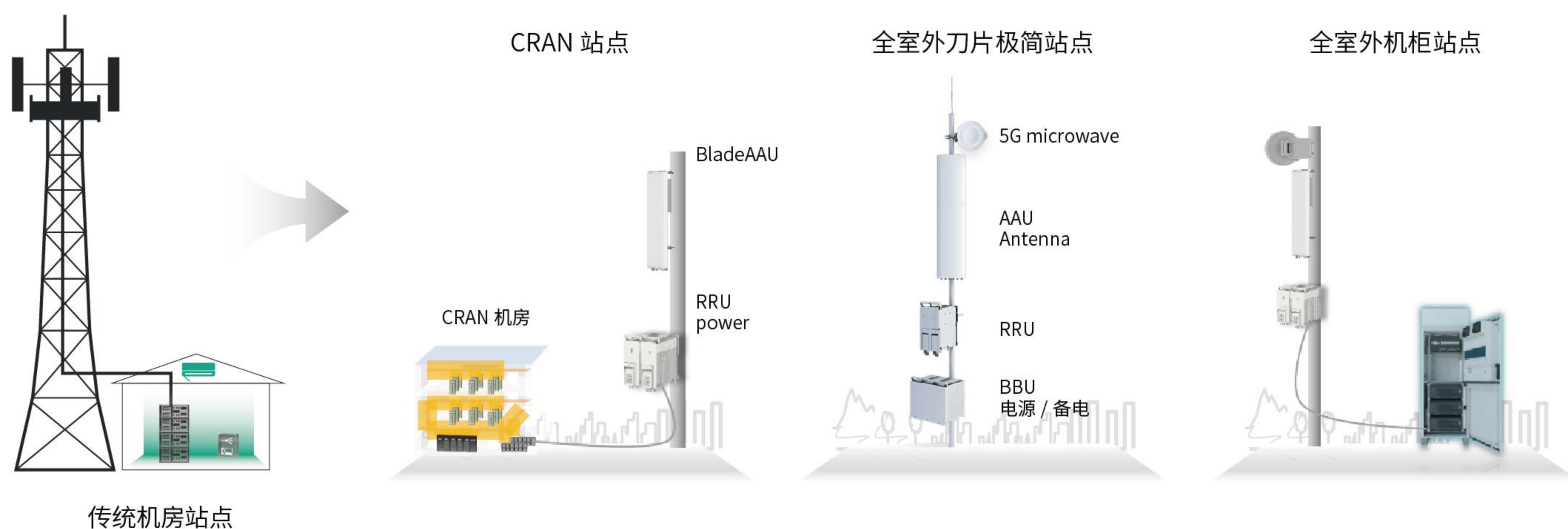


4.2 站点极简

信息流流动从终端 - 空口 - AAU⁵/RRU⁶ 主设备 - BBU⁷ - 传输网 - 核心网。降低站点功耗，一方面提升信息在流动过程中的效率，另一方面降低其它设备、部件消耗的能量。

站点走向极简的过程就是降低其它设备能源消耗的过程。传统的 DRAN⁸ 站点，每个物理站点配套一个站点机房，机房产生大量无效能源消耗，空调低效运转。站点化繁为简，去机房、去空调，电源和传输极简，提升整体站点效率。

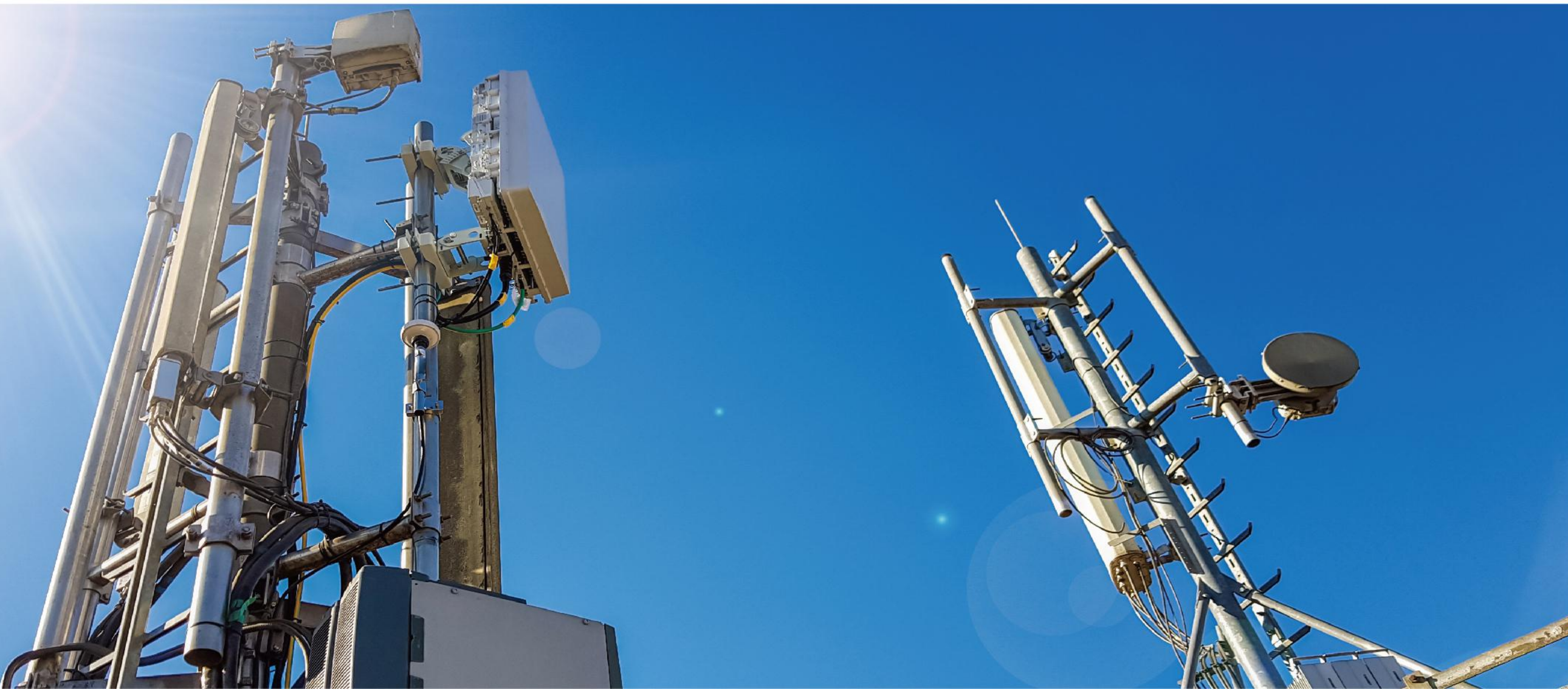
图 5 极简站点



形态极简，从传统机房到机柜，再到刀片式电源，极大的节省了占地面积、降低了能耗损失。在中国贵州铁塔，以 1 柜替 3 柜，租金电费节省¥ 4400/ 月，运维节省 75%。在中国北京廊坊，通过刀片电源极简部署，站点能效提升至 96%，温控损耗减少 700kWh/ 年，线损减少 50%。

供电极简，交流、直流一体化供电，多种供电制式输出，电源与储能系统进一步融合联动，带来能源供电进一步极简。

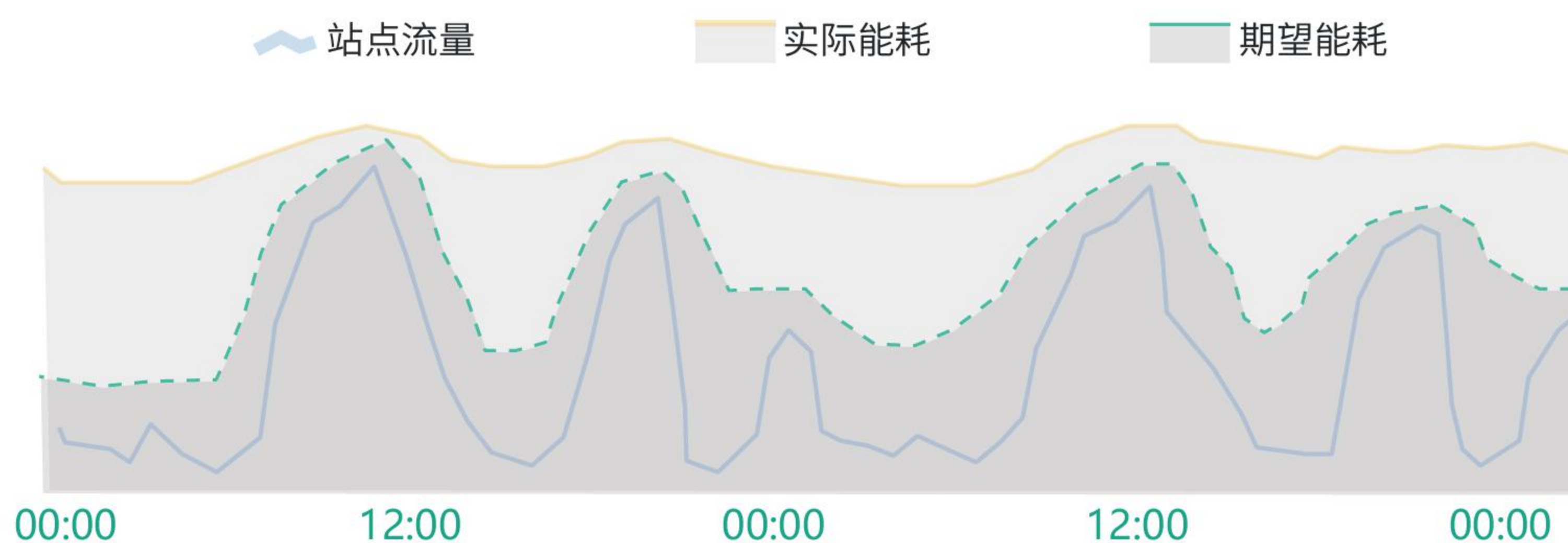
传输极简，从室内到室外，全面实现站点全室外极简。



4.3 网络智能化

一天 24 小时中，业务有闲时、忙时之分，能效也有高低之差。软件节能是提升闲时能效的关键手段之一，休眠相应的资源，例如载波、通道、符号，以及调整发射功率等。但一直以来，运营商对节能软件是想用但不敢用。“想用”，降低网络能耗；“不敢用”，担心关闭网络资源后对网络性能产生影响。

图 6 网络忙闲时能效差异



网络智能化，从人工到智能，基于 AI，进行 AI 话务预测、AI KPI⁹ 寻优、AI 节能寻优、AI 节能效果预测。在话务突增时，对休眠资源及时唤醒。在网络性能需求发生变化时，及时变更休眠策略。

网络智能化最大化节能收益和保障网络性能，实现节能效果和网络性能双优。

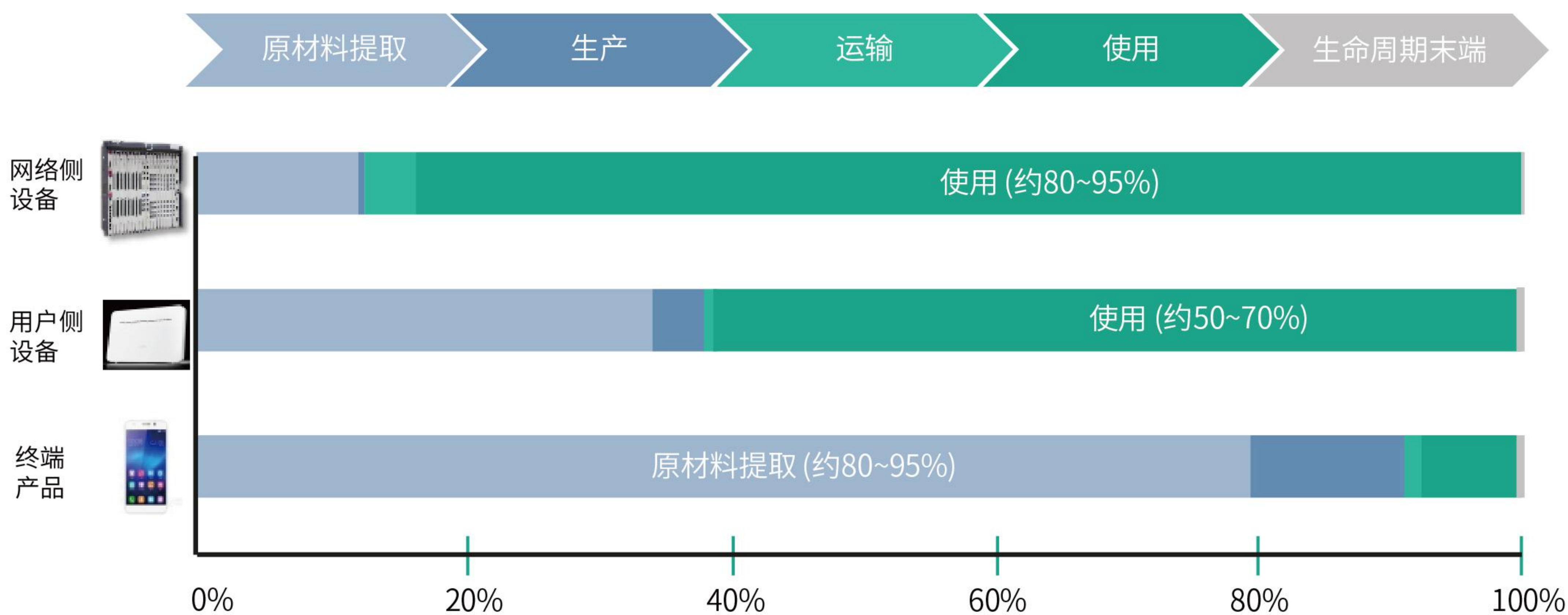
图 7 AI 节能



4.4 全生命周期环保化

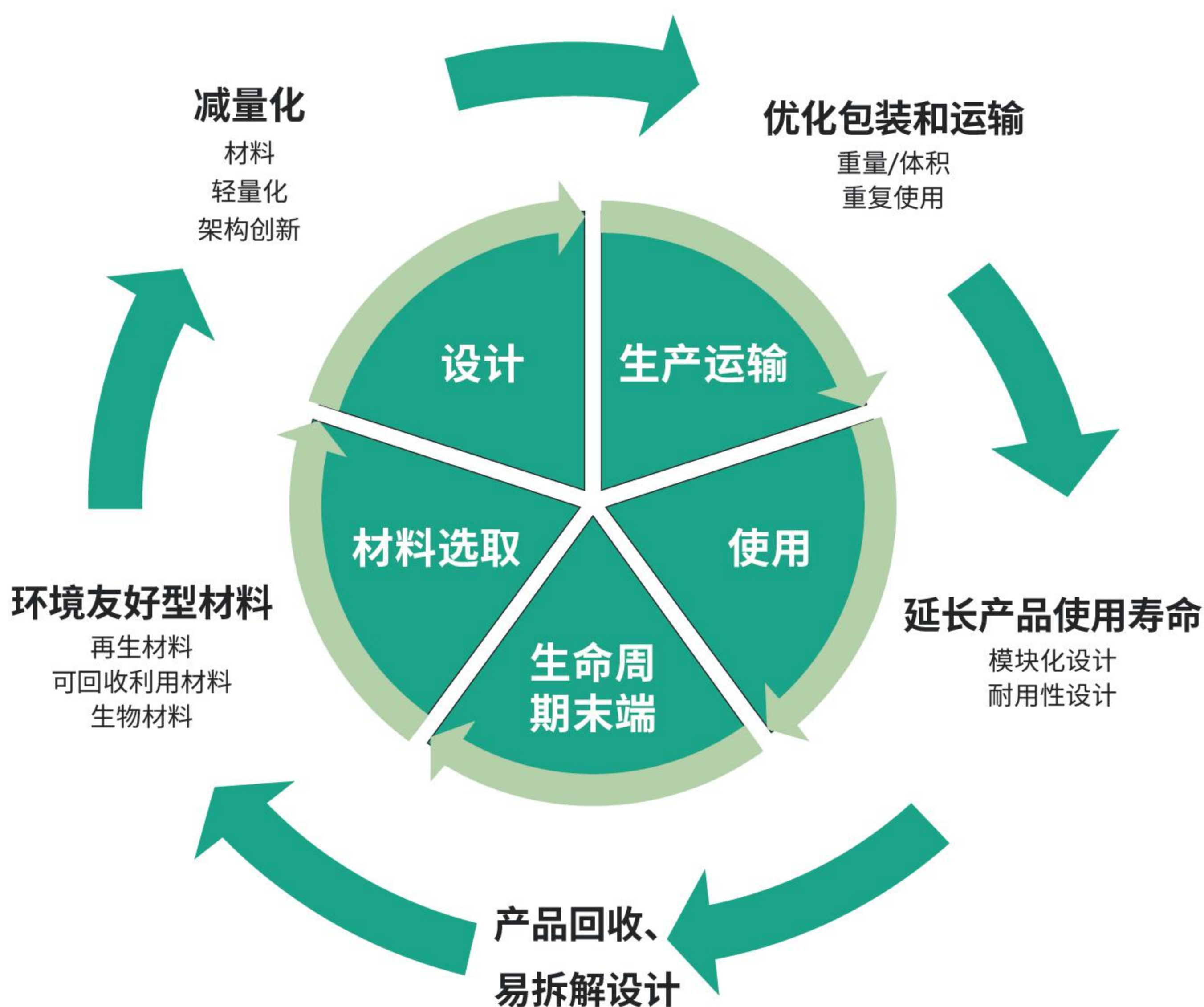
产品全生命周期包括：材料选取阶段、设计阶段、生产运输阶段、运行使用阶段、生命周期末端。

图 8 不同类型的产品各生命周期阶段碳排占比



循环经济理念融入产品全生命周期管理，减少自然资源依赖。材料选取环境友好型材料，产品设计减量化，优化包装和运输，延长产品使用寿命，产品可回收、易拆解设计。

图 9 循环经济理念



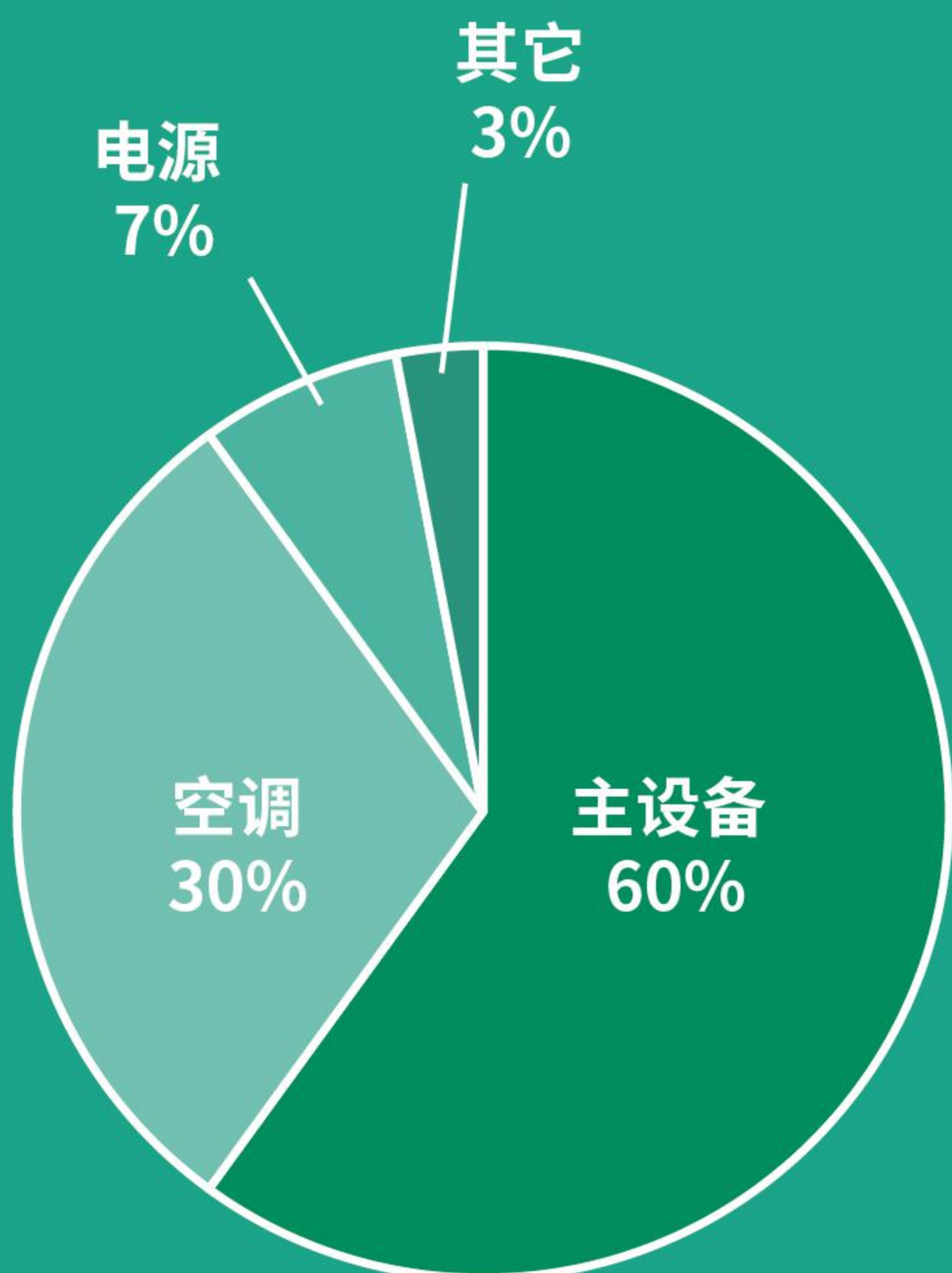
05 八大方向:绿色5G网络发展的技术趋势

有了科学的能效评估标准和定义了网络特征，还要找到正确的技术方向，这样才能建设一张绿色的 5G 网络。

方向一：射频走向多天线，大幅提升设备比特能效和能量传输效率

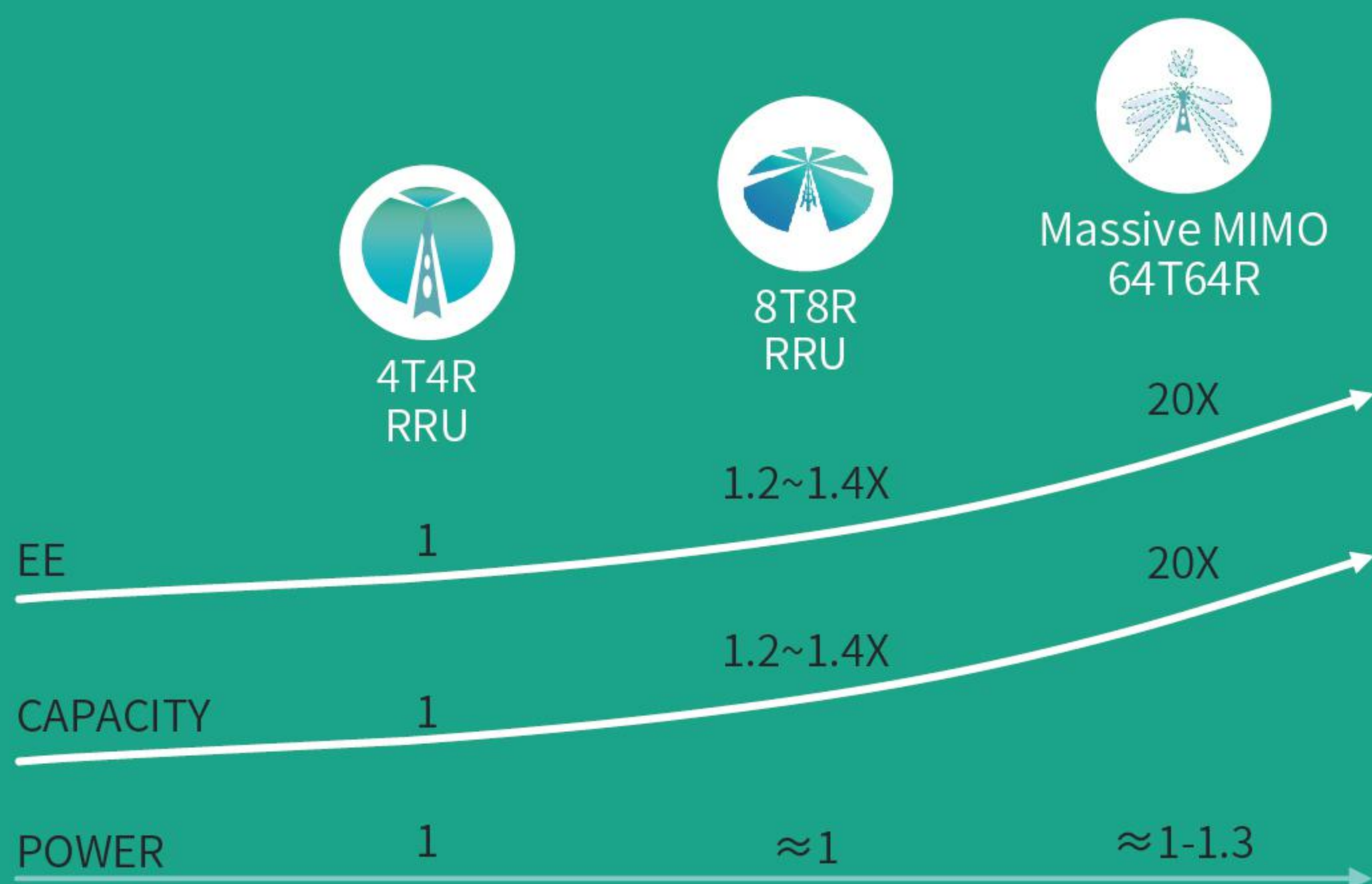
无线站点能耗，射频主设备占 60% 左右，是绿色 5G 网络发展的关键。

图 10 站点能耗组成



射频从 1T2R、2T4R、到 4R4R、8T8R，再到现在 5G 网络普遍使用的 AAU 64T64R，逐步走向多天线的过程，也是大幅提升比特能效的过程。

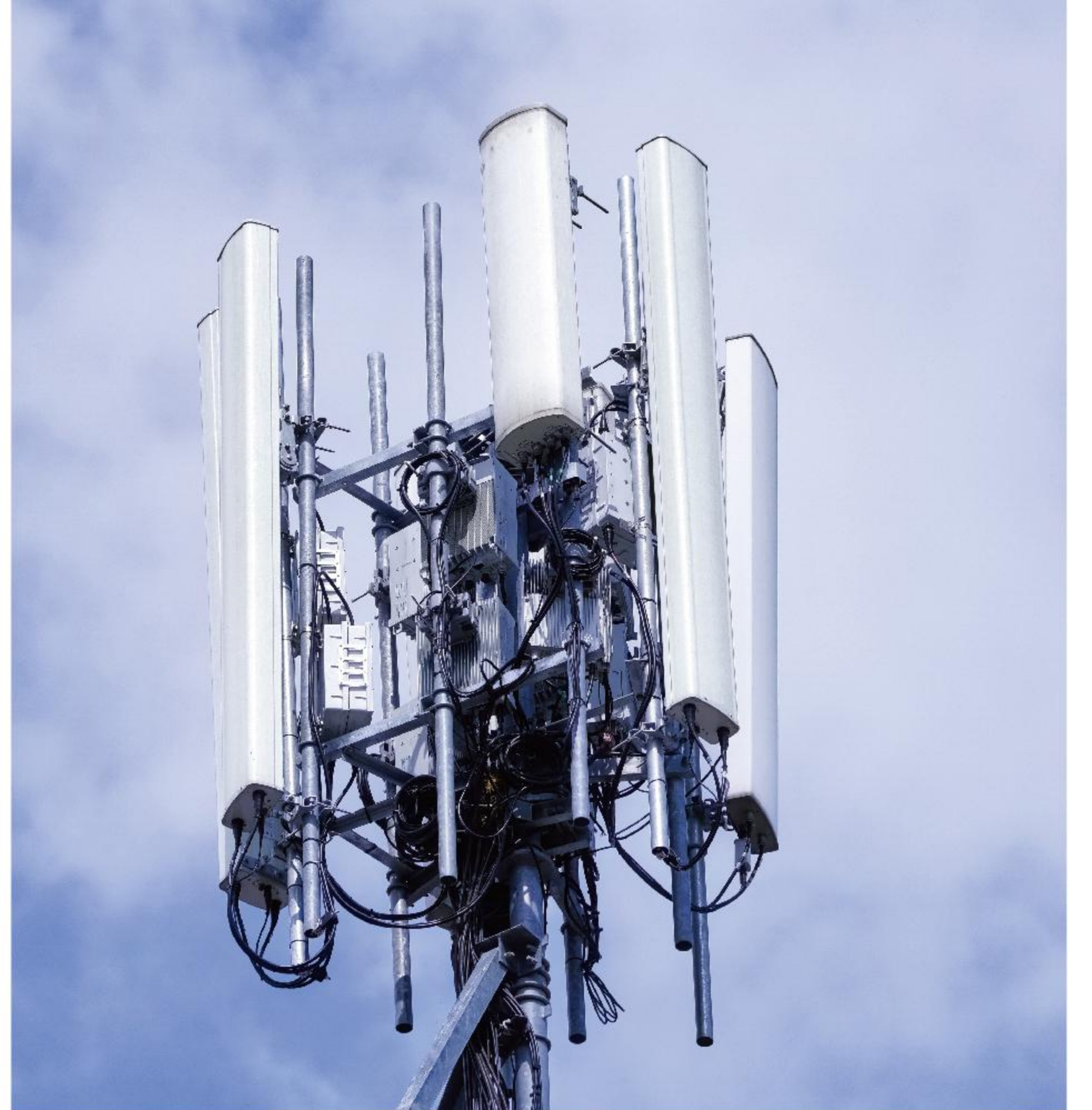
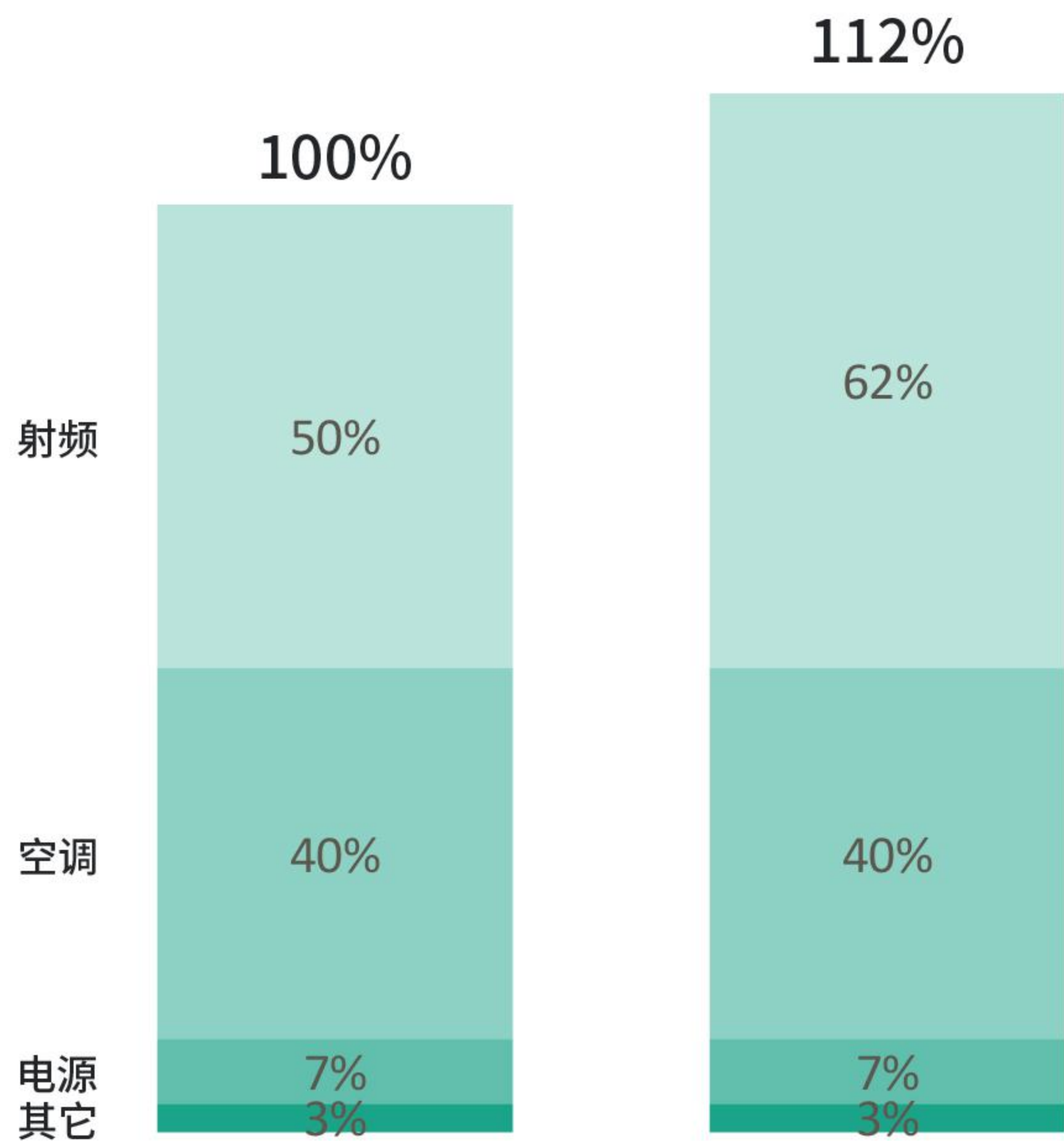
图 11 多天线技术提升设备能效



AAU 基于多天线、多通道设计，不仅能通过空间复用大幅提升系统容量，还可通过调整多天线的幅度和相位，使无线信号能量集中于更窄的波束上，并精准指向用户的位置，从而提升能量传输效率，大幅提升比特能效。同时，持续通过多学科融合，提升功放效率等，持续降低绝对能耗。未来随着人们和行业需求的不断提升，网络流量将持续增长，AAU 将是运营商承载不断提升的人们和行业需求，及不断增长的网络流量不二选择。

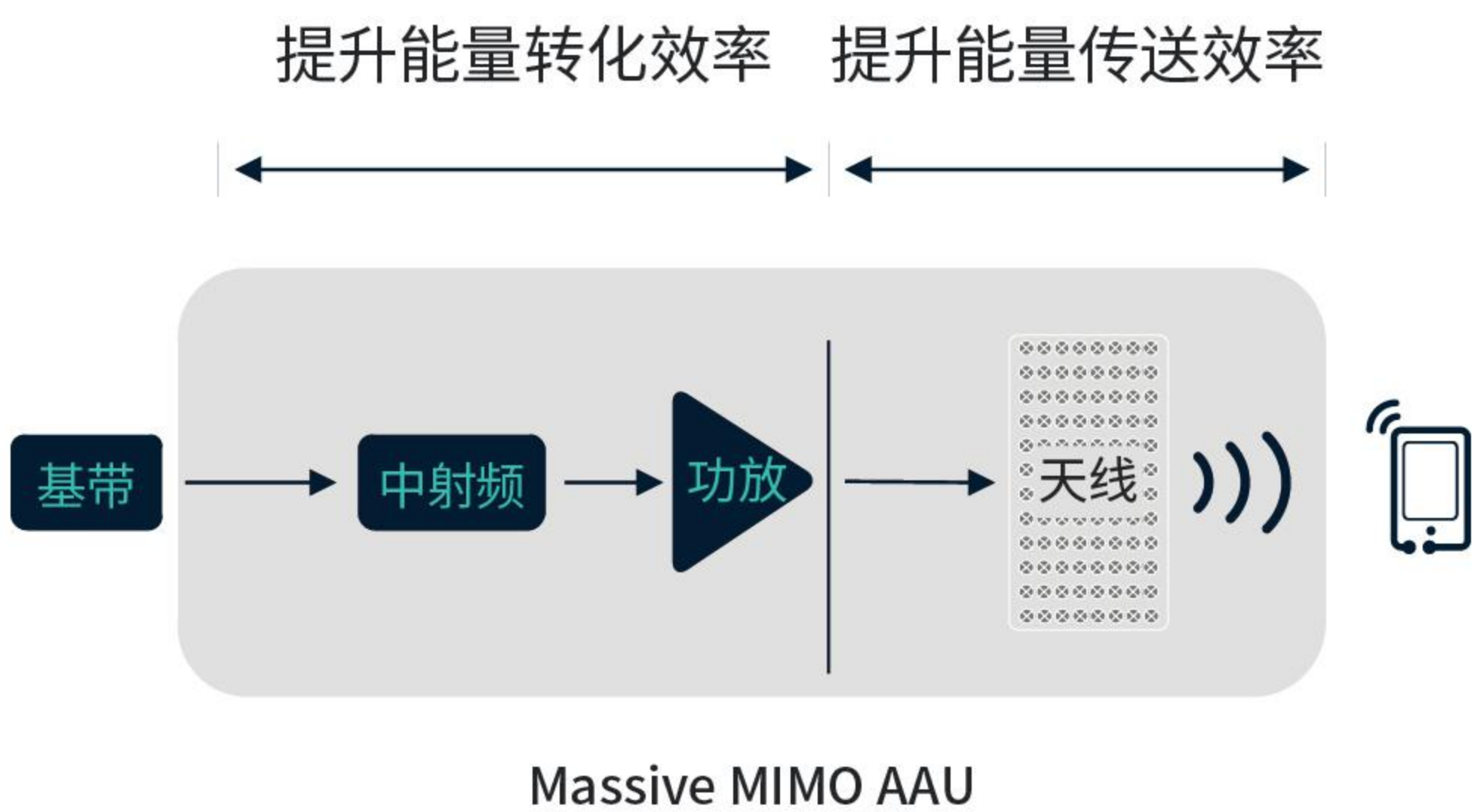
随着网络制式越来越多、频谱资源带宽越来越大，基站射频总发射功率也越来越高，而继续增大发射功率和绿色节能目标不符。

图 12 基站发射功率增加 1dB，站点功耗增加约 10%



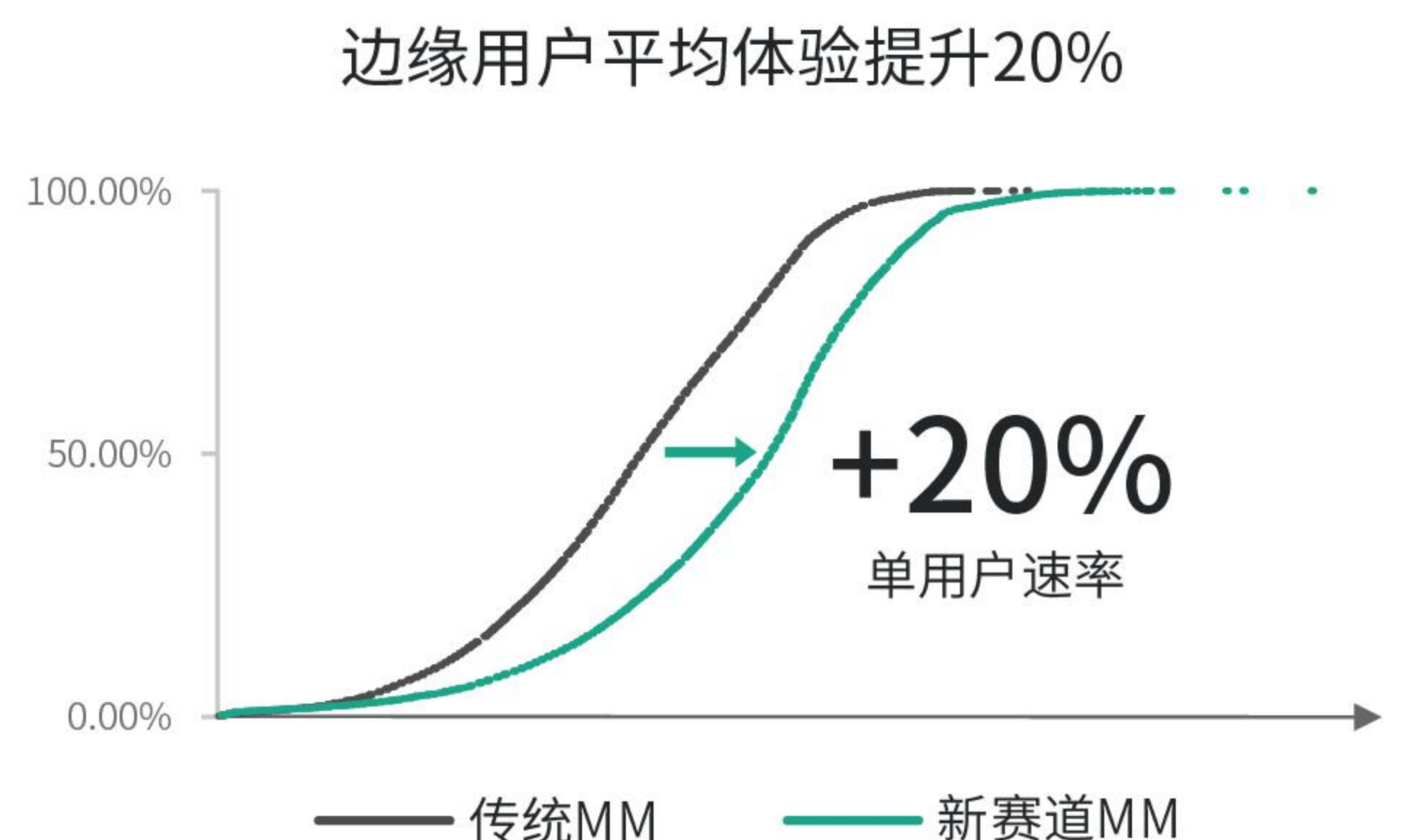
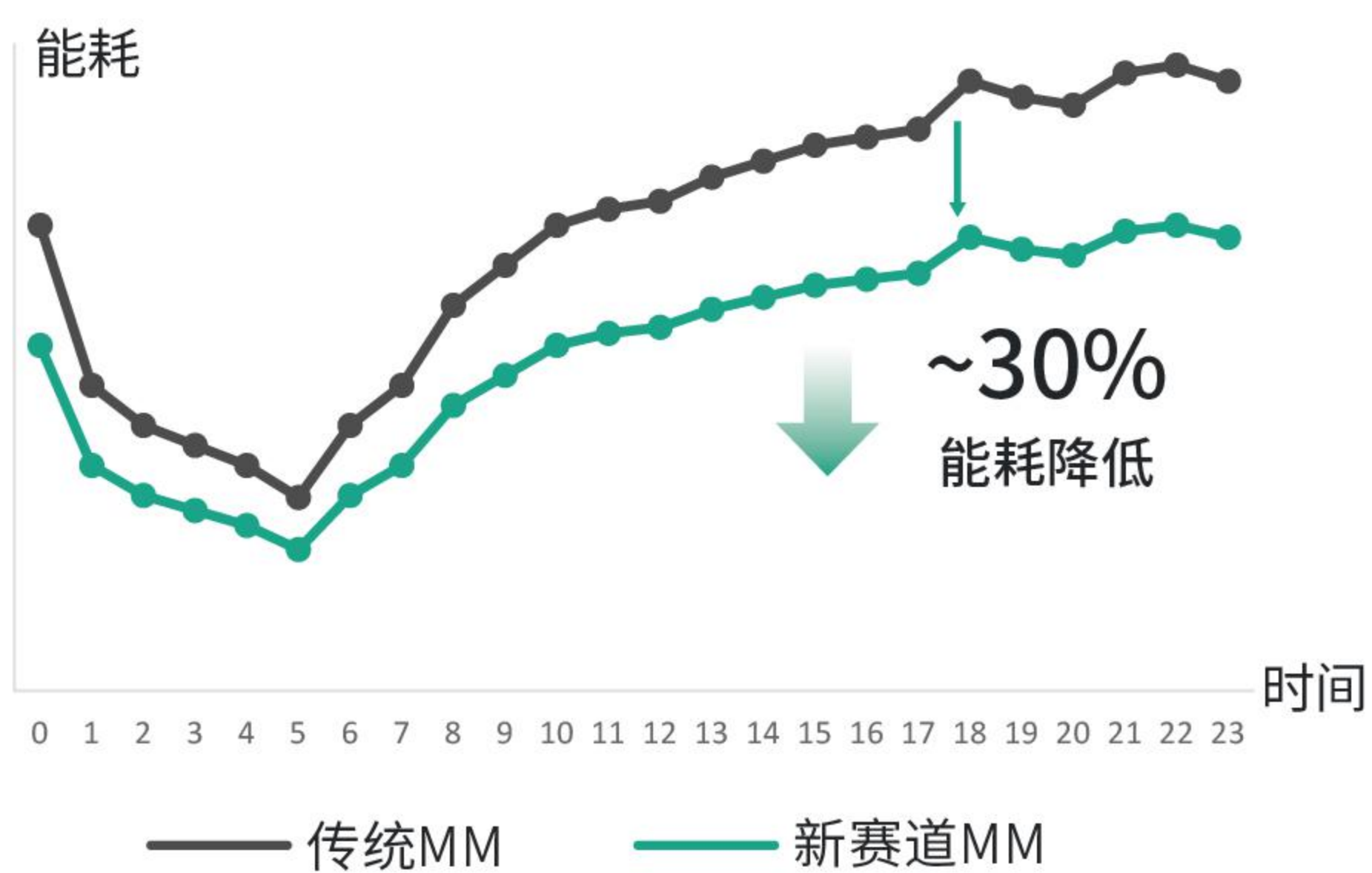
提升能量传送效率是 AAU 节能发展的新赛道。采用超大规模天线阵列，对基带算法、天线等软硬件创新，最大化天面利用，实现绿色节能和更好的体验覆盖。理论分析，在边缘用户体验覆盖相同的前提下，超大规模天线阵列可以降低能耗 30% 以上。

图 13 AAU 节能新赛道



	发射功率	设备功耗	下行覆盖	上行覆盖
传统 MM	↑	↑	↑	→
新赛道 MM	→	↓	↑	↑

图 14 超大规模天线阵列节能收益



方向二：设备走向超宽频，多频合一降能耗

频段越多，天面越复杂，功耗面临挑战

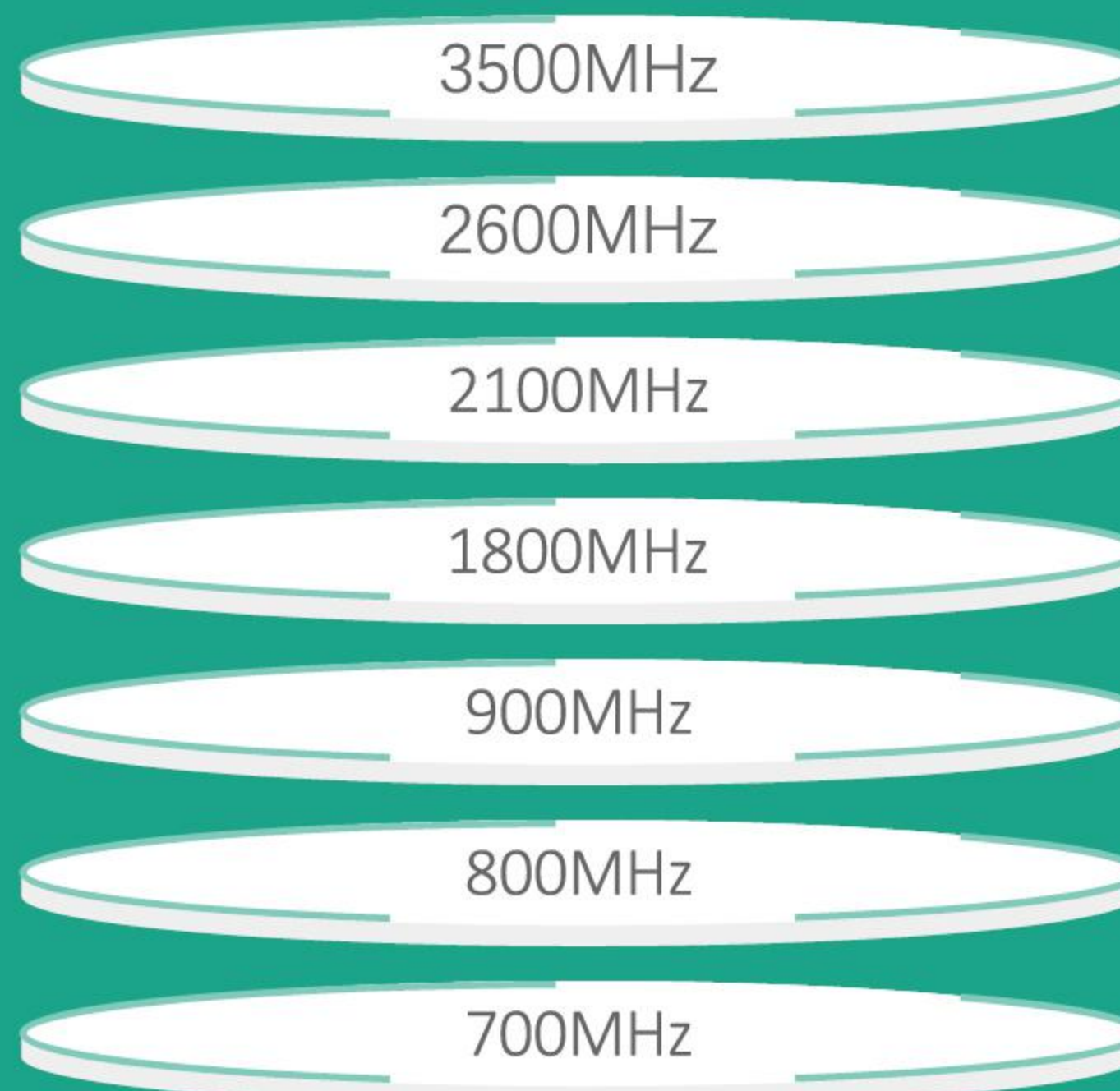
随着网络发展，网络频段数量越来越多，天面的射频模块数量也越来越多，站点功耗越来越高。

超宽频，极简天面，加频不加功耗

设备集成度持续提升，从单模块支持单频段到支持多频段、超宽频段。将原来一个频段对应一个 RRU 或 AAU 设备的部署形式，转变为多频合一、多个模块合一的部署方式，从而可大幅减少设备部署数量和部署成本、降低设备能耗。

以 700MHz、800MHz、900MHz、1800MHz、2100MHz、2600MHz，六频举例，传统基站每扇区需要部署 6 个 RRU/AAU 射频模块，采用超宽频方案，仅需 2 个 RRU/AAU 射频模块。700~900MHz 和 1800~2600MHz 分别采用一个超宽频模块。

图 15 运营商频谱资源



在荷兰，运营商从原来的 800MHz 和 900MHz 频段采用 2 个射频模块建网，到现在 700MHz、800MHz 和 900MHz 采用 1 个超宽频射频模块建网，能耗基本相当，实现加频不加功耗。

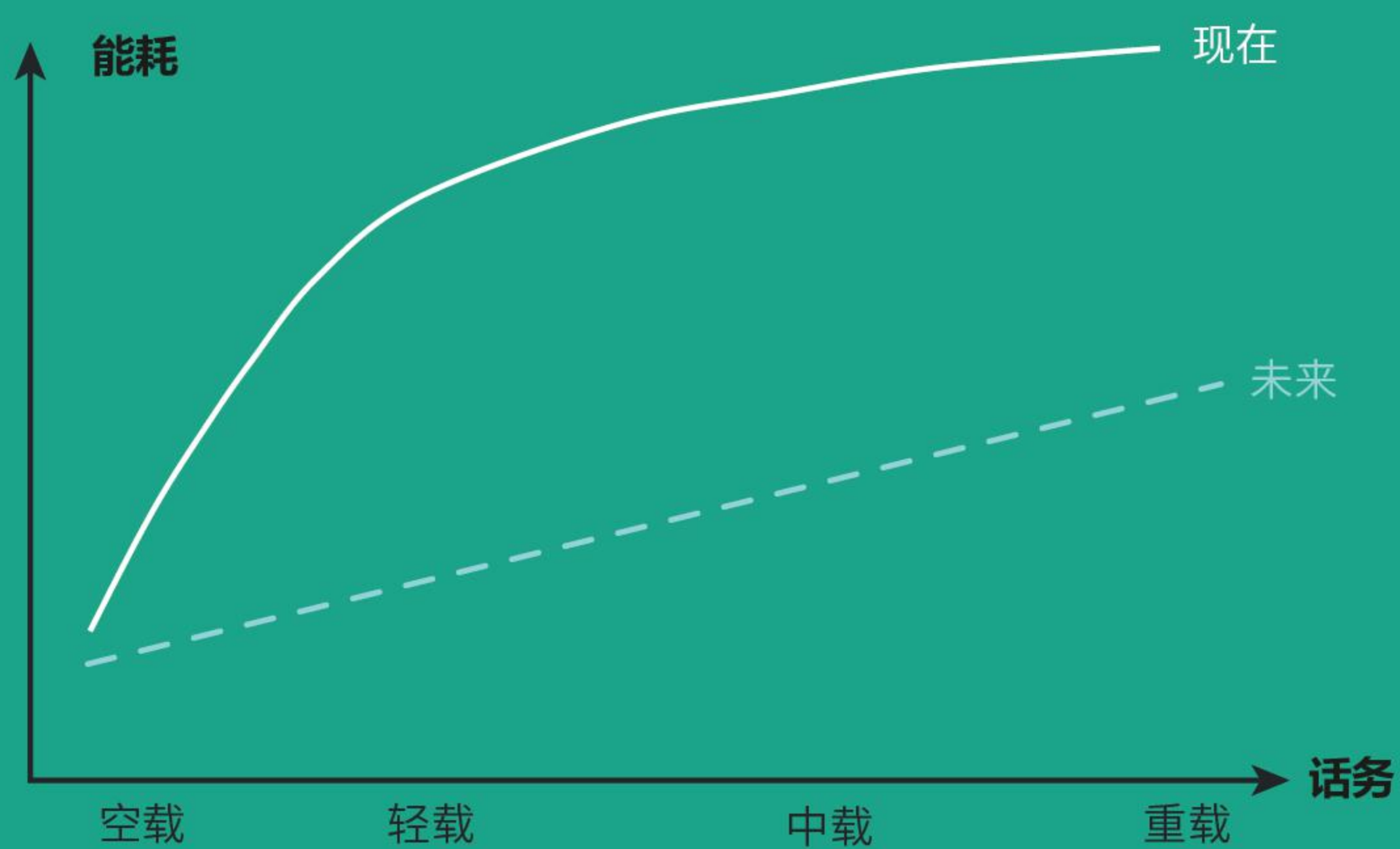




方向三：硬件功耗随负载逐渐逼近线性变化，持续降低中低负载能耗



图 16 硬件效率随负载非线性变化



业界，射频硬件效率随话务负载变化而变化，负载高时效率高；负载低时效率低，部分器件一直处于工作状态，无法根据负载的变化而自动进行状态调整。

在硬件设计上，保障可靠性的前提下，器件，如中频、基带部分等，随话务的动态变化而处于待命 - 休眠 - 工作等状态，休眠深度越来越深，响应时间越来越短，硬件功耗随负载逐渐逼近线性变化。

另一方面，作为射频硬件功耗的重要组成部分，持续提升功放（PA, power amplifier）在中低负载场景的功放效率。

在中国，低负载场景应用深度休眠后，能耗降低 60% 以上。



方向四：站点走向极简，去机房去空调

据统计，全球还有大量的 DRAN 站点，机房空调的能耗约占站点总能耗的 40% 左右，站点效率低。

- 通过 BBU 集中化的方式，将原来“一站一空调”演变为“多站一空调”的部署方式，未来，甚至可将 BBU 集中机房的制冷方式由空调转变为液冷等自然冷却方式，从而实现大幅节省空调能耗。在中国，通过 BBU 集中化的方式，单站点每年约可降低 17000 度电。
- 通过“站点室外化”，以“一站一柜”、“一站一刀”替代“一站一空调”的部署方式。采用“一站一柜”的部署方式，可以让冷媒更贴近热源（设备），实现更加精准化、定量化的制冷，从而可大幅降低制冷能耗。“一站一刀”部署方式，其将设备直接挂杆，省去了机柜，可通过自然散热的方式来替代空调，从而可进一步降低站点能耗。站点的效率从原来的 60% 最高可提升至 97%。

图 17 一站一柜，1 柜替 3 柜 @ 中国，单站年节能 7%



图 18 一站一刀 @ 中国，单站年省 8 吨碳排放



方向五：整站走向联动，综合能源高效利用

整站由供能、储能、用能等部件组成。传统整站方案中供能、储能部件利用能源与用能部件消耗能源之间各自独立、无法相互感知，导致端到端供电和备电效率低，极度增加了站点功耗。

整个站点走向联动，供能、储能与用能部件间高效协同，实现根据业务负载实时调节供电或用电效率，真正做到电随业动、温随业动、能随业动、传随业动，进而减少能源浪费，达成整站节能的目标。

电随业动，平滑、高效引入清洁能源。传统站点主要由市电或者柴油发电机发电，未来供电能源将更加多样化、清洁化。新能源，特别是太阳能将逐步引入到站点供电能源中。电随业动，业务和太阳能、市电有机结合，将使太阳能光伏板始终工作在最高效率状态，并形成多样化最优供电方案。

温随业动，机房温度根据业务状态、设备能力而进行自适应调整。机房温度升高 10°C，机房能耗降低 20%。

能随业动，电源模块和备电根据业务状态而进行自适应调整，通过负载用电预测、电池高精度 SOC¹⁰/SOH¹¹ 预测，实现最优市电错峰用电，从而节约电费。在中国浙江，通过智能错峰功能，站点每年节省 17.1% 电费。

图 19 太阳能供电 @ 希腊，年节电 14500 度

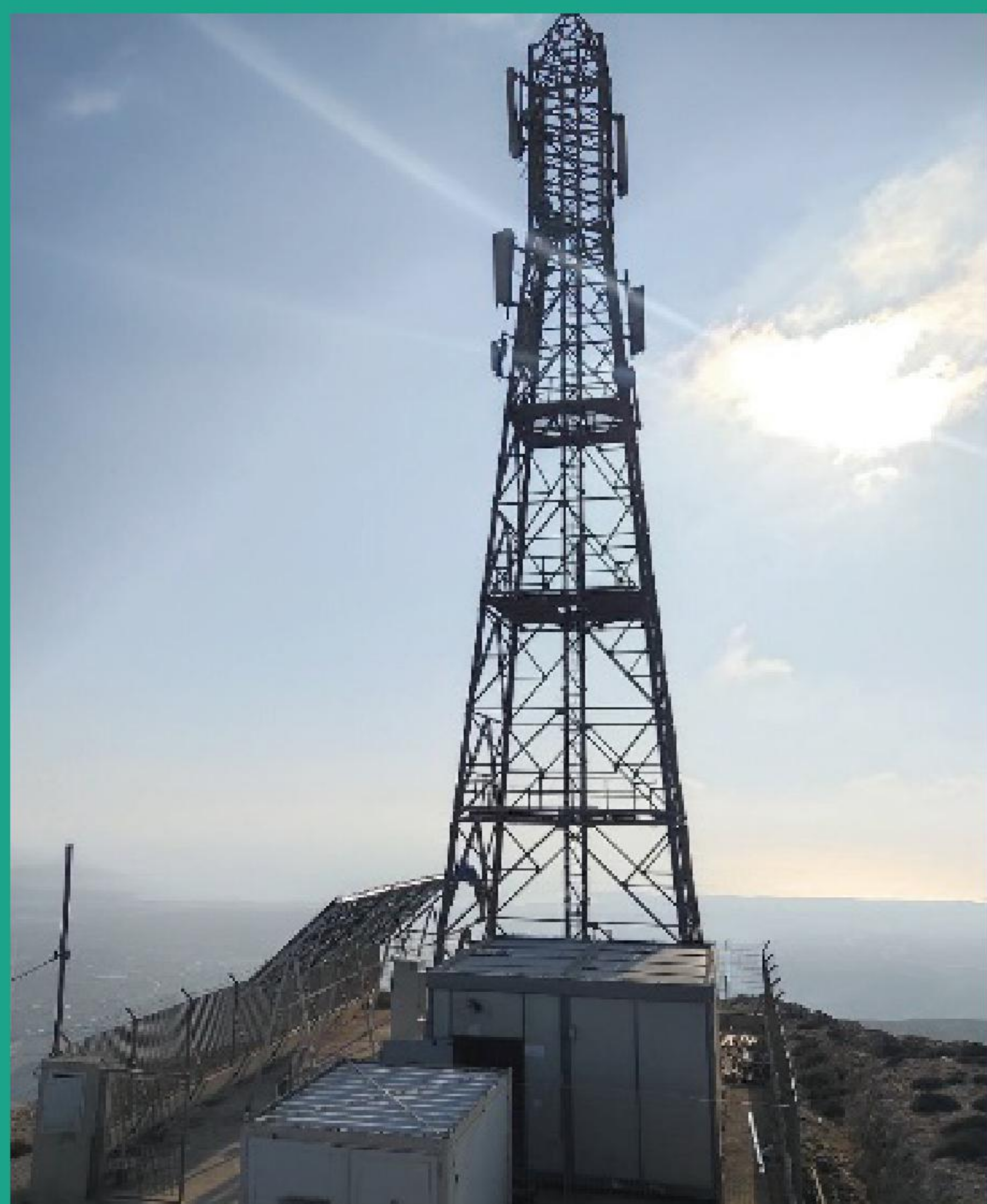


图 20 以光去油 @ 巴基斯坦，OPEX 节省 81%/ 年



在希腊，通过站点高效引入太阳能光伏供电，运营商降低了 51.2% 的市电使用，年节省电达到 14500 度。

在巴基斯坦，通过在站点应用光伏和联动技术，大幅降低油机运行时间，年节省 OPEX 81%。

方向六：网络走向智能，节能和网络性能双优

基站小区处于低负载状态下，通过关闭部分有源硬件的供电，即通过有源硬件休眠来减少无效功耗、降低能源浪费是运营商常采用的节能机制。过去，运营商节能机制主要有载波级关断和通道级关断两种，即在固定某时刻或低于某负载门限时关闭部分载波或射频通道，继而达到减少设备功耗的目的。

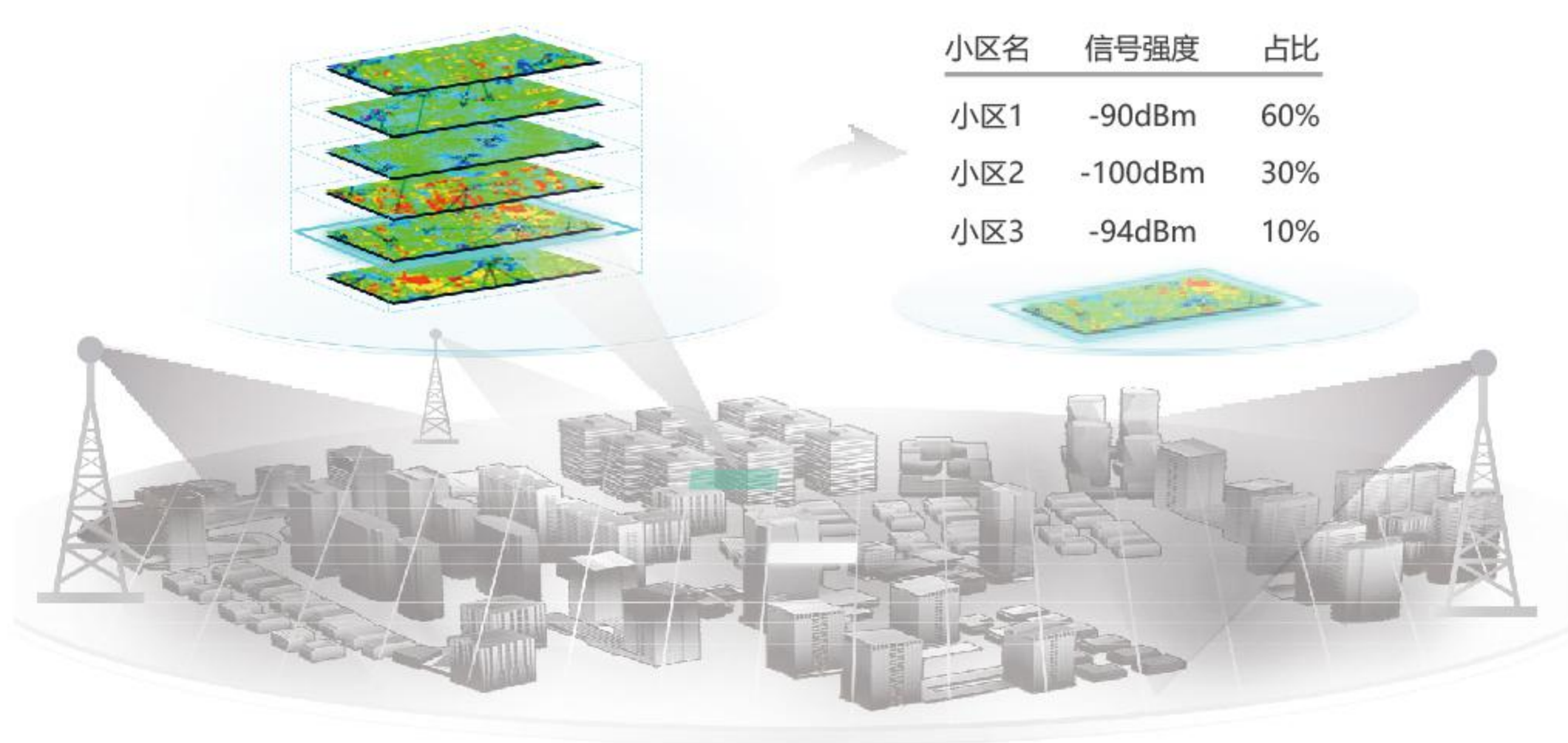
然而，移动通信网络内多制式、多频段并存，多个站点和小区交叉、重叠覆盖，不同小区覆盖场景、业务特征不同，对不同站点、不同小区需要逐个设置和管理关断门限来控制休眠的开启和关闭，否则网络质量和用户体验无法保证。

网络节能方案向智能化方向发展，通过 AI 机制，根据网络制式、频段、覆盖场景、业务特征及网络运行状况等实时计算关断门限，调整网络、频谱等资源的分配，进而实施最优节能方案，实现节能效果和网络性能双优。

基于AI的节电方案：

- 精准共覆盖分析，增加可节电小区

图 21 准共覆盖分析，增加可节电小区



- 多频多制式协同，网络级节能联动

- 基于载波能效，进行业务最佳分配

- 使能参数寻优，实现节能与网络性能的最佳平衡

- 基于历史业务负荷特征，动态关断

图 22 基于历史话务特征，业务量预测

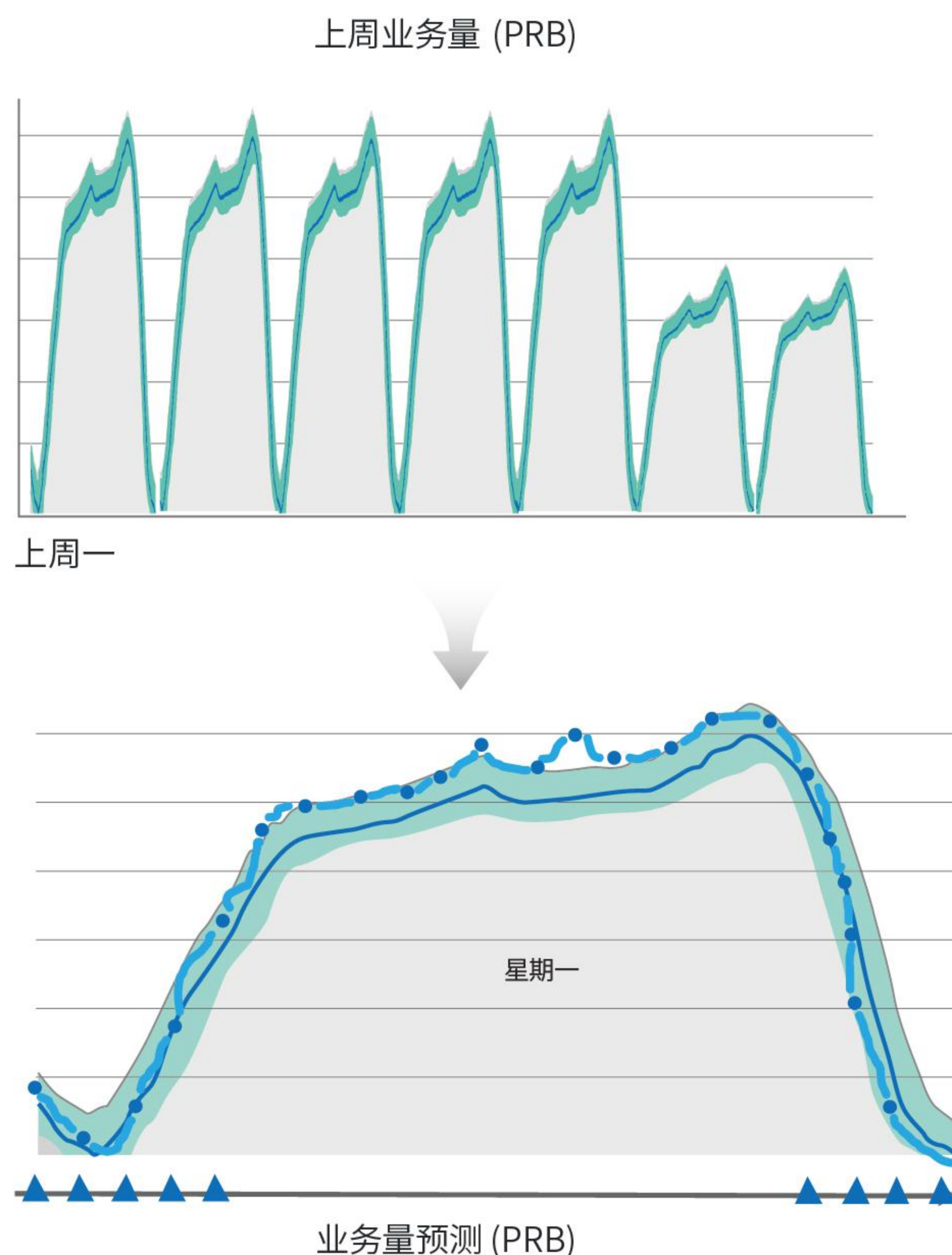
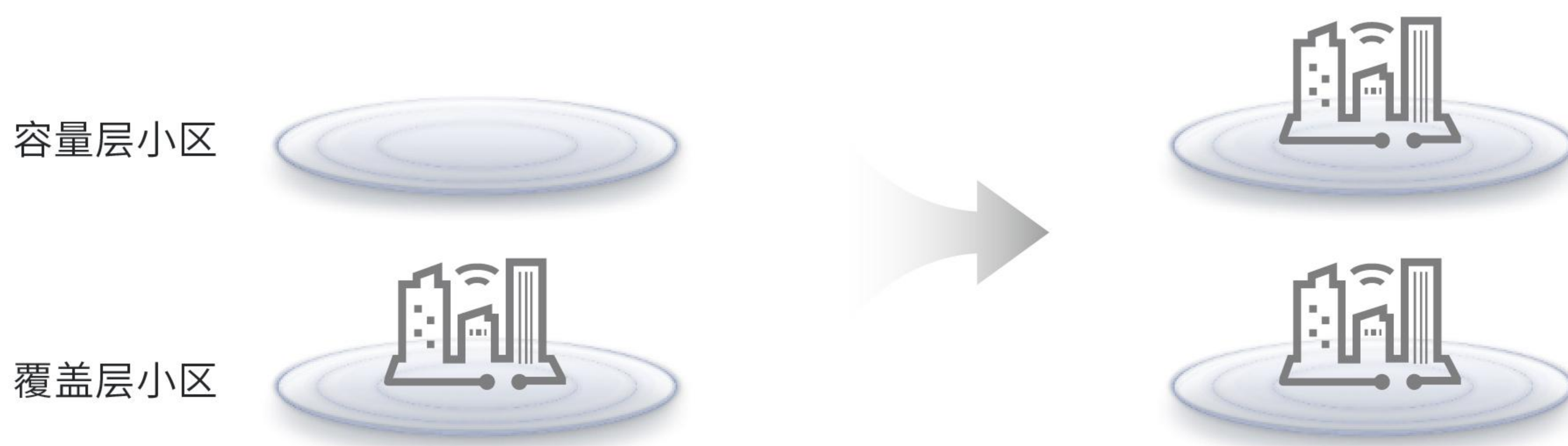


图 23 保障话务和网络性能



· 预估节能收益，进而制定最佳部署方案

在中国长沙，网络智能化带来网络能耗节省 20% 以上，同时保障网络性能不变。随着网络智能化的持续演进，将持续降低网络能耗。



方向七：业务承载走向高制式，充分发挥 5G 高能效优势

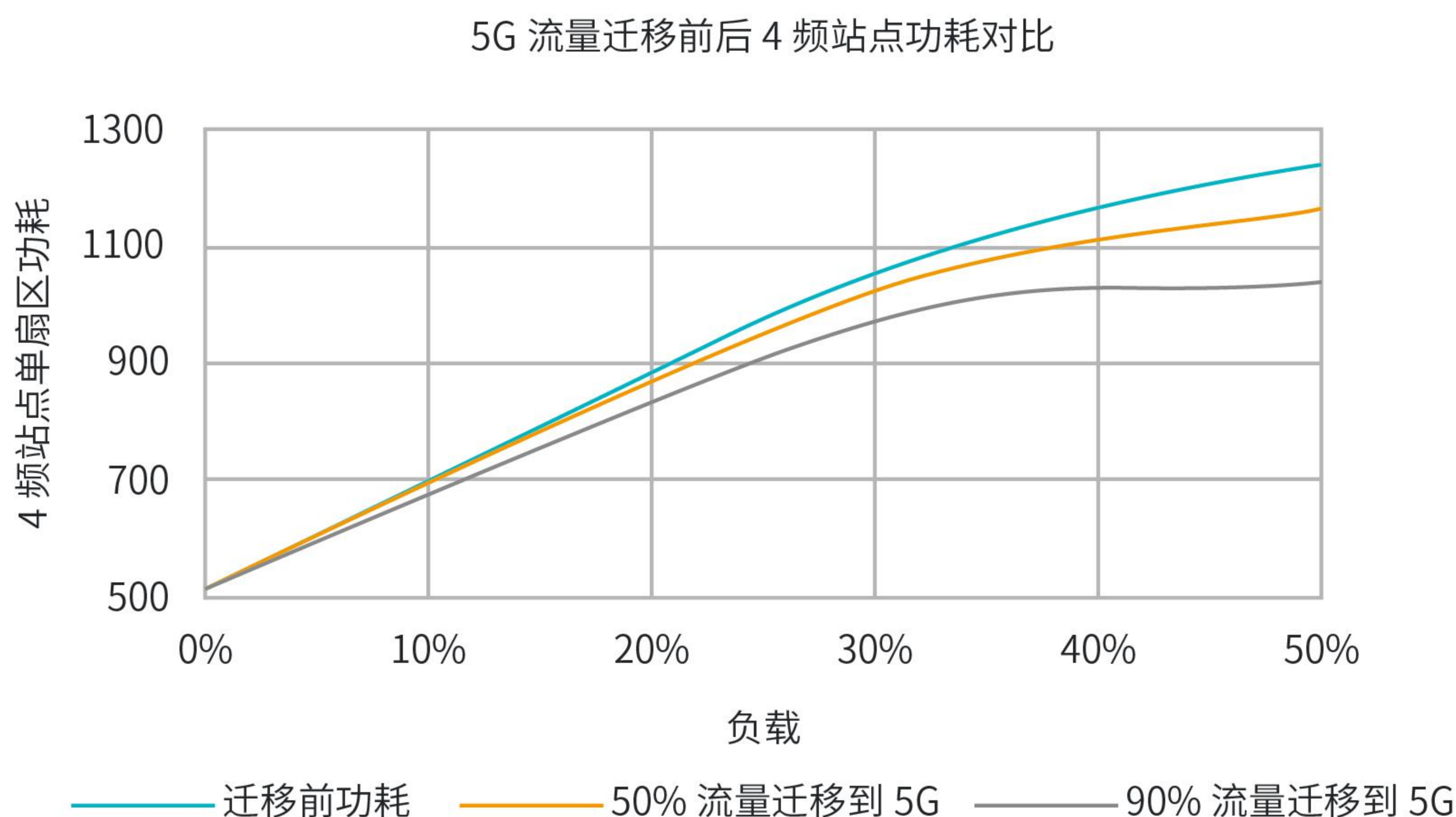
据统计，4G 网络能效是 3G 的 7-10 倍，而 5G 网络能效是 4G 的 20 倍。

- 1 5G 的协议更利于节能，比如没有 CRS 导频，公共信号的周期可调整，支持用户级功率控制等。5G 的频谱效率优于 LTE，未来将持续提升；
- 2 5G 采用更优的编码方式，Polar 码等，提升 5G 能效；
- 3 Massive MIMO 波束赋形有效提升信噪比，能效获得有效提升；
- 4 5G 频谱带宽普遍大于 LTE 频谱带宽，加上谱效的差异，单位时间内可以发送的数据是 LTE 的 10 倍，每比特分担的模块基础功耗更低。

业务向 5G 迁移后整网能效提升、能耗降低

随着流量向 5G 的迁移，网络能耗随之降低；流量迁移越多，功耗下降越明显。

图 24 网络功耗和话务迁移的关系



另一方面，加速业务向 5G 迁移后，存量频段将可以进行有效重耕，发挥出更大的价值。

当前多地 5G 网络部署经验表明，5G 新技术的持续引入正推动网络能效持续增长。故而，面向未来可见的由 AR¹²/VR¹³、智能工厂、智慧城市等应用带来指数级流量增长，引领业务向高制式承载，有助于充分利用 5G 高能效优势，降低网络能源消耗。



方向八：全生命周期走向循环经济，减少自然资源依赖

ICT 产品设计生产、运输使用等均是耗能、产生碳排放的过程。减少 ICT 行业碳排放，还需要将循环经济的理念融入产品全生命周期管理，在生产、制造、运输等各个非网络运行态环节减少对自然资源的依赖、实现全生命周期低碳。

在生产运输过程中，选用环境友好型材料作为产品生产材料，并通过减量化设计、包装和运输优化减少资源消耗。在产品使用和生命周期末端，通过模块化、耐用性等设计延长产品的使用寿命，并采用可回收材料和易拆解设计支撑材料的循环利用，进一步减少资源消耗和自然资源依赖。

图 25 塑钢轻质可回收运输托盘



06 无线网络2030年远景目标

5G 开启了无线通信将以前所未有的深度和广度融入千行百业的序幕。5G 商用已在全球快速铺开，进一步提升了通信能力，不仅拓展了“人联”，更在千行百业的终端之间建立了“物联”，标志着移动通信实现了从“人联”走向“万物互联”。未来十年，沉浸式云 XR、全息通信、感官互联、智能交互、通信感知、智慧内生、数字孪生、全域覆盖等新业务新需求不断涌现，将驱动无线网络跨越人联和物联，迈向万物智联，并带来网络流量需求增长百倍。

为了避免移动网络的功耗随着流量线性增长，网络的能效也应百倍提升，达到比特增长瓦特基本不增。为了实现这一目标，需要全方位探索节能减碳手段。

- **新空口性能** 包括：5G/5.5G 空口持续提升、6G 空口代际提升、THz 超带宽
- **新网络架构** 包括：空地一体、近场覆盖、按需投送
- **新站点形态** 包括：叠光叠风分布式能源供给，能（源）/（功）耗自闭环
- **新硬件平台** 包括：新材料、新架构、功放效率持续提升
- **新节能技术** 包括：动态线性关断，原生 AI

未来，通过持续引入绿色的设计理念和原生 AI 的优化能力，在保障极致性能和体验的同时，致力于围绕全网端到端能效百倍提升，整体 ICT 基础设施及终端设备总体能耗不高于 5G，并作为数字经济核心基础设施为人类可持续发展贡献力量。



缩略语

序号	缩略语	中文名称	英文名称
1	FWA	固定无线接入	Fixed Wireless Access
2	uRLLC	低时延高可靠	Ultra Reliable Low Latency Communication
3	mMTC	大规模机器类通信	Massive Machine Type Communication
4	OPEX	运营成本	Operating Expense
5	AAU	有源天线单元	Active Antenna Unit
6	RRU	射频拉远单元	Remote Radio Unit
7	BBU	基带单元	Baseband Unit
8	DRAN	分布式 RAN 站点	Distributed RAN
9	KPI	关键性能指标	Key Performance Indicator
10	SOC	荷电状态	State of Charge
11	SOH	健康状况	State of Health
12	AR	增强现实	Augmented Reality
13	VR	虚拟现实	Virtual Reality

免责声明

本文档可能含有预测信息，包括但不限于有关未来的财务、运营、产品系列、新技术等信息。由于实践中存在很多不确定因素，可能导致实际结果与预测信息有很大的差别。因此，本文档信息仅供参考，不构成任何要约或承诺，华为不对您在本文档基础上做出的任何行为承担责任。华为可能不经通知修改上述信息，恕不另行通知。

版权所有 © 2021 华为。保留一切权利。

允许转载、摘编或利用其它方式使用本白皮书文字或者观点，但需注明来源：华为。