



北京 2022 年冬奥会官方合作伙伴
Official Partner of the Olympic Winter Games Beijing 2022

中国联通 5G 智能节能技术白皮书

中国联通
2019 年 6 月

目录

1	引言	1
1.1	背景	1
1.2	技术愿景	2
1.3	白皮书目标	3
2	5G 网络节能需求与挑战	4
2.1	需求	4
2.2	挑战分析	4
3	5G 网络节能技术及解决方案	7
3.1	基站硬件节能方案	7
3.2	软件节能功能	8
4	5G 智能网络节能技术演进	12
4.1	5G 基站设备功耗阶段目标	12
4.2	节能技术方案演进路标.....	12
4.3	基于 AI 的智能节能技术方案.....	14
5	总结与展望.....	15

1 引言

1.1 背景

全球能源消耗带来全球温室效应和一系列的自然灾害。为了保护环境，遏制全球变暖成了人类生存和发展面临的重要挑战。绿色低碳成为当前社会可持续发展的内在需求。

随着通信网络建设规模逐年增加，各种通信设备对能源的需求与日俱增，主要表现在电信网络的电量消耗逐年增加，通信行业已经成为一个高能耗和高排放行业。节能减排不仅是电信运营商必须承担的社会责任，也是电信运营商不断推进降低电费成本，提高市场竞争力的内在发展需要。目前，发达国家电费已经达到运营商 OPEX 的 15%；而在发展中国家，电费占运营商 OPEX 高于 15%，甚至达到 30%。因此，电信运营商一直密切关注节能减排技术，持续降低电信运营商 OPEX 中的电费成本，提高市场竞争力。

随着 5G 时代到来，各类新业务层出不穷、应用场景不断涌现、设备连接向海量连接的发展趋势不可逆转，不断推动移动数据流量爆发式的增长。2010 年到 2020 年，中国移动数据流量增速预计将增长 300 倍，国内重点城市及其热点地区的移动数据流量增速更大。为了满足未来 5G 业务及数据流量迅猛增长的发展要求，5G 网络不仅需要使用更多的频谱资源、更大的系统带宽，也采用新型多址、大规模天线阵列、超密集组网等新技术来大幅提高移动网的总容量，为国内数字经济发展奠定坚实的基础。

随着 5G 网络建设快速增长，5G 网络耗电量预计将超过 4G 网络耗电量的若干倍以上。预计到 2025 年，通信行业将消耗全球 20% 的电力，电费将成为决定运营商经营能力的重要因素。因此，移动通信网络数据增长与高能耗问题之间的矛盾进一步加剧，节能降耗是未来移动通信行业可持续发展的长期存在的首要需求。

1.2 技术愿景

节能技术一直都是业界关注的热点，随着 5G 技术的成熟，设备节能成为重要的研究方向。目前，业界对 5G 网络的节能目标、技术方案、节能技术演进目标还没有形成统一认识，节能技术方案还不成熟，难以满足运营商 5G 网络规模化部署的需求。

为了整合行业力量，加快推进 5G 基站设备智能节能技术方案商用化，持续推进降低基站设备能耗、节省 5G 网络运营成本、实现移动通信行业节能减排目标，白皮书将从智能节能解决方案、节能目标路标、基于人工智能（AI）的节能方案等几方面，展示通信行业具有应用前景的智能节能技术方案。

传统的基站节能技术方案从软件功能、硬件设计两个方面着手，不断优化基站产品实际功耗。如下图“节能技术方案金字塔”所示，5G 时代的智能节能技术以设备的硬件设计为基础，软件功能为优化手段，以 AI 技术为创新突破口，实现多张移动通信网络协同的综合智能节能技术方案。

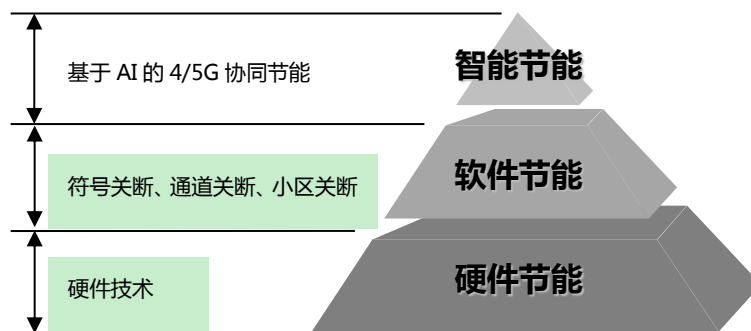


图 1-1 节能技术方案“金字塔”

基站的硬件架构从根本上决定基站设备的最低能耗水平。而基站设备组网运行过程中，软件功能可以根据不同的业务场景采用相应的节能优化手段，从而达到功耗最佳应用效果。软件节能可以从器件级、设备级、网络级几个层面考虑技术方案，具体的，在保障用户业务体验的同时，可以采用器件关断、业务调度、网间协作等方案来降低基站设备能耗。

未来，5G 节能技术将向着智能化方向发展。结合大数据技术及人工智能技术，5G 网络将实现节能策略选择智能化、参数配置自动化、效果评估全面化，达

到全网运行效率最优、综合节能效率最优的节能目标，不断降低移动通信网络的运维成本，助力电信运营商在 5G 网络建设向更高水平持续发展。

1.3 白皮书目标

白皮书从 5G 节能的需求出发，总结运营商 5G 网络节能所面临的挑战、多种节能技术方案。在此基础上，根据中国联通网络现状及发展需求，提出 5G 基站设备的能耗演进目标和节能技术方案规划，最后，介绍基于 AI 技术的智能节能方案及其应用前景。

中国联通呼吁合作伙伴携手并进，积极参与 5G 节能技术的研究和应用，共同推进 5G 产业链的成熟发展，加快新技术、新工艺、新产品在 5G 设备中的商用应用，加速智能化节能技术的相关开发。让我们共同推进 5G 基站设备节能方案演进，共同促进 5G 网络快速发展。

2 5G 网络节能需求与挑战

2.1 需求

电信运营商为了保证网络业务质量，建设了数百万的无线基站。这些基站设备地理分布广泛、数量巨大，其能耗在运营商电费支出成本中占有加大比重。从 4G 发展到 5G，移动通信技术与产品都发生了深刻变化，随着高清视频、VR、AR、在线游戏等 5G 新业务的不断涌现、数据流量激增，运营商需要不断扩大 5G 基站建设规模，而 5G 网络能耗激增将带来越来越大的运营成本压力。5G 网络带来的不仅是更高速率、更低时延、更大连接密度的全新网络能力和崭新的数字化生态圈，同时对运营商网络建设、运营、管理也带来新的挑战。在 5G 大规模化商用部署到来之际，持续深入研究 5G 智能节能技术，大力推动降低 5G 单站能耗水平、降低 5G 网络运营成本，是运营商面临的当务之急。

2.2 挑战分析

为了满足 5G 丰富的业务场景的要求，3GPP R15 规范定义了 NR 新空口标准，对 5G 基站设备的硬件能力、软件功能等都提出更高要求。例如，5G 基站需要支持更大带宽，在 Sub-6GHz 频段支持 100MHz 带宽，毫米波频段支持 400 至 800MHz 带宽，大带宽对软件、硬件处理能力要求更高，功耗需求也更大。

2.2.1 基站能耗占比分析

基站站点一般包括基站设备、传输设备、空调设备和电源电池等耗能设备。

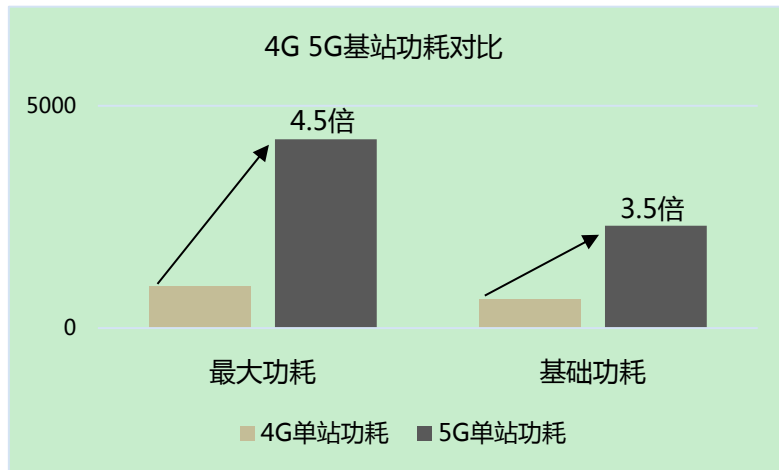


图 2-1 4G/5G 基站功耗对比图

根据基站设备测试结果，4G 基站设备（S111 单站）最大能耗约为 900W，随着 5G 技术发展，5G 单站（S111）基站设备功耗大幅增加至 3950W，5G 基站设备能耗在单个站点（机房）能耗比例预计将达到 50%。因此降低 5G 基站设备能耗将是未来提升无线网络能效的重要手段之一。

2.2.2 AAU 能耗占单基站能耗比例

根据 5G 基站功耗的测试数据分析，基站设备中 AAU 设备（64T64R AAU）在 5G 基站设备总能耗占比约 90%，提高 AAU 的能效水平可有效降低单站总能耗。5G AAU 与传统的 4G RRU 设备有很大差别，例如 AAU 内部集成了天线阵列、支持高达 64 个射频通道、以及部分基带功能等，这些使得 AAU 内部在功放模块、数字基带、收发机等器件的功耗数值和功耗占比都有较大幅度增加。此外，AAU 的功耗还要考虑时钟模块、电源模块、滤波器等其它模块增加的热耗。

为了提高 AAU 设备的能效，需要从功放模块、数字基带（含数字中频、基带模块）、收发机等对功耗影响较大的关键器件入手进行技术提升，例如提高芯片的性能与集成度，同时采用更高工艺（如 7nm 技术）来减少芯片面积，使得在提高集成度和处理能力，AAU 将需要更少芯片，从而降低热耗。

5G 国内首发频段为 3.5GHz、2.6GHz、4.8GHz 等频段，与 4G、3G 等现有移动通信网络形成多制式多频组网。4G 网络和 5G 网络都用于承载数据业务，在 4G/5G 网络业务负荷动态变化较大的场景，不同制式网络之间使用 4G 和 5G 网络协同的人工智能算法，可以综合考虑各制式网络资源使用情况，将移动用户动态

迁移到某一制式网络，从而实现整体网络功耗最优的效果。

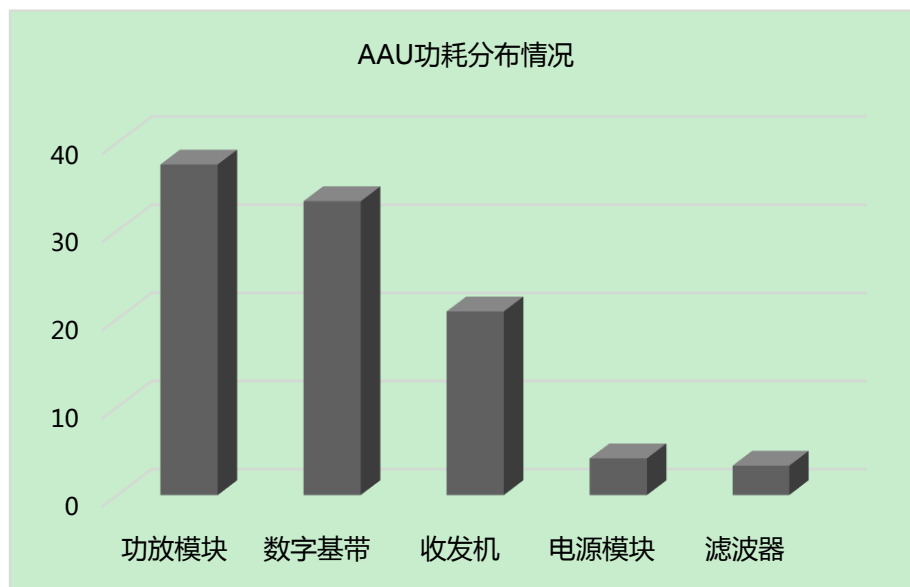


图 2-2 AAU 主要模块功耗分布图

3 5G 网络节能技术及解决方案

通信网络节能方案可以划分为基站节能方案和网络级节能方案。基站节能方案主要考虑从设备硬件、软件特性等方面优化设备能耗，而网络级节能方案考虑多制式网络之间协作实现全网能耗最优的效果。

基站设备节能方案主要有两种节能方式，即硬件节能方案和软件节能方案，硬件节能降低基站设备的基础功耗，软件节能从业务运营角度出发对硬件资源进行合理调配，让基站设备更高效运行。

3.1 基站硬件节能方案

硬件节能方案主要通过优化设备硬件设计、改进生产工艺以及设备集成度等手段达到降低基站设备基础能耗、不断提高基站设备能源利用率的目的。

5G 基站设备已经从试验网设备向商用产品转化，第一代商用设备已经推出，甚至第二代商用设备处于规划阶段，基站设备硬件节能方案可以考虑以下几方面工作。

- 提高硬件平台集成度，特别是基带处理芯片、数字中频芯片、射频模块等关键器件。加快 ASIC 等高集成度器件替代 FPGA 等高功耗器件的进程，在保证 5G 系统性能及后续升级能力的基础上，提高器件集成度，从而降低设备基础功耗。
- 加快半导体工艺更新换代，例如加快从 65nm/40nm 工艺升级至 28nm/14nm 甚至 10nm/7nm 工艺。半导体新工艺的使用，将减少单片面积、提高芯片集成度，有利于优化 IC 设计，不仅大幅提高 5G 系统性能，也有利于进一步降低基站设备功耗。
- 加快新材料、新技术、新工艺等技术创新和产品应用，持续降低基站设备能耗水平。例如 GaN 等新材料的使用，能够提供较高的基站功放效率，不断优化 AAU 设备功放效率。

5G 基站设备能耗优化需要产业链合作伙伴共同参与，在产品的设计、研发、生产、优化等各流程中都把降低基站硬件功耗作为设备能力的重要指标之一，使 5G

基站功耗将持续不断下降，满足运营商降本增效的需求。

3.2 软件节能功能

通信业务一般具有较明显的业务特征，例如，时间段分为业务忙和业务闲时，业务分布也具有某些地理特征等，软件节能技术可根据业务在时间、空间等分布特征，以及网络负荷的变化，在保证预定指标的前提下，通过调整基站软件功能配置对硬件资源进行合理调配，从而达到节约基站能耗的目的。

基于软件功能实现节能功能应当满足如下条件，否则，不适合采用软件节能功能。

- 基站能耗下降：软件节能功能开启时，必须达到降低基站能耗的预定目标；
- 功能可灵活配置：软件节能功能须支持根据运营商策略灵活配置，支持通过 OMC 配置相关参数；
- 保证网络质量：软件节能特性启动时，不影响原有网络性能及用户业务质量；
- 可靠性要求：软件节能功能启动时，不影响设备的可靠性和使用寿命。

3.2.1 符号关断

符号关断功能在网络低负荷时通过不连续发射来降低功放模块消耗的总功率。当符号关断功能开启时，在下行符号没有用户数据发送的时候，基站设备通过主动关闭射频部分中功放模块的发射功率来实现节能的目的。

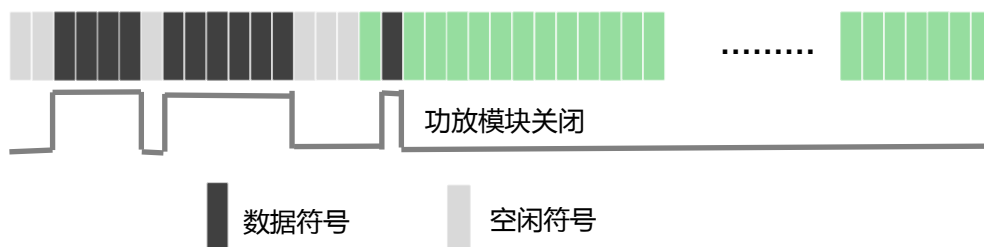


图 3-1 符号关断功能示意图

对于必要的控制信道和信号，例如 5G 系统中的 CSI-RS，SSS，PSS 和 PBCH 等，仍保持原有发射周期和功率，并且当基站业务量增加时，功放模块立即进入工作状态，符号关断功能终止，保证 5G 网络性能不受影响。

在低负荷场景下，待发送的用户数据在调度器中是随机零散分布，降耗效果有限，且符号关断功能的开启使功放模块开关频繁切换。为了提高节能效果，可采用优化调度算法，延迟某些用户数据块的发送，将小数据包集中在特定时隙调度，增加空白符号的数量，从而达到更优的节能效果。

3.2.2 通道关断

5G 标准引入 Massive-MIMO 技术，在基站业务负荷较低场景，比如夜间闲时、非容量小区场景等，可考虑关闭部分射频通道的发射功率，达到节能效果。当基站业务负荷增加达到一定阈值时，开启已关闭的射频通道，恢复多通道发射状态。启用通道关断方案，一般会影响系统容量，同时由于总发射功率的降低会改变下行天线波束形状，影响原有覆盖和某些业务性能。

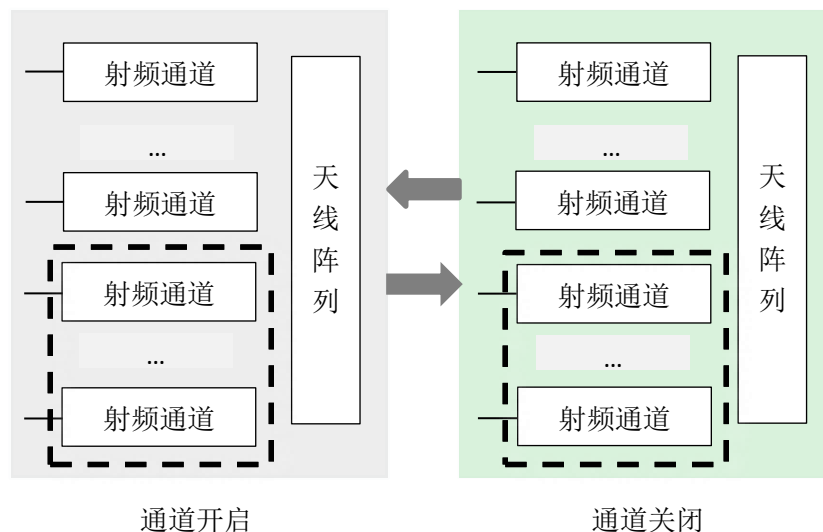


图 3-2 通道关断功能示意图

基站实施通道关断时，一方面需要考虑对网络 KPI 的影响，另一方面还需要考虑上行接收性能，避免由于通道数的降低而导致终端接入的漏检概率增加，错

误估计业务负荷情况。因此，也可以分别考虑上下行通道关断功能，即只对下行进行通道关断，上行仍然维持原接收通道数。

3.2.3 小区关断/深度休眠

小区关断功能主要用于某一小区同时有两个或多个频点同时覆盖的场景，其中一个频点为基础覆盖小区，其他为补热小区。小区关断功能通过判断小区的覆盖情况和容量状态，自动识别低业务小区或者无业务小区，并对该小区进行关断，以达到节能的目的。例如，在容量层 5G 小区业务负荷较低的情况下，关断 5G 小区、保留提供覆盖层的 LTE 小区，达到减少 5G 设备能耗的目的。传统的小区关断方案只关闭功放模块，其他硬件资源功耗之和仍然占总能耗一定比例，节能效果受限于关断功放数量。随着节能技术不断演进，结合工艺、架构、算法等软件、硬件技术的发展，需要考虑关闭尽可能多的射频硬件资源，例如：射频模块、功放器件、数字中频、甚至基带芯片等器件，仅保留接口（如 eCPRI 接口）部分的少量电路，让 AAU 设备进入深度休眠模式。当业务量增加并超过预定门限，则通过 BBU 设备激活 AAU 设备，灵活实现基站设备节能功能。

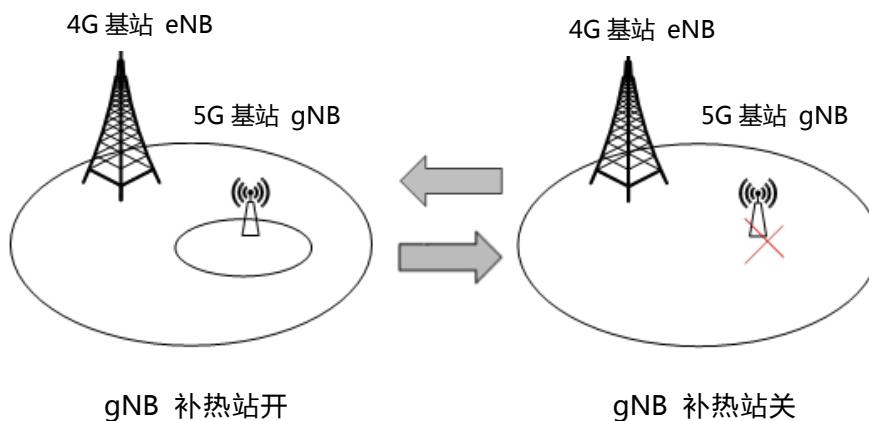


图 3-3 NSA 场景小区关断功能示意图

3.2.4 功放调压

功放器件的总功耗在 5G AAU 设备（64T64R 设备）总功耗占比约 40%，因此，提高功放效率是提升基站设备能效的关键点之一。目前，功放普遍采用 GaN 等材

料，功放模块的高度集成，再结合包络跟踪技术，以静态或动态的方式调整功放输入直流电压等级、提高小功率信号的功放效率，可进一步提高功放输出功率，达到提升功放器件效率并降低功放热耗的使用效果。

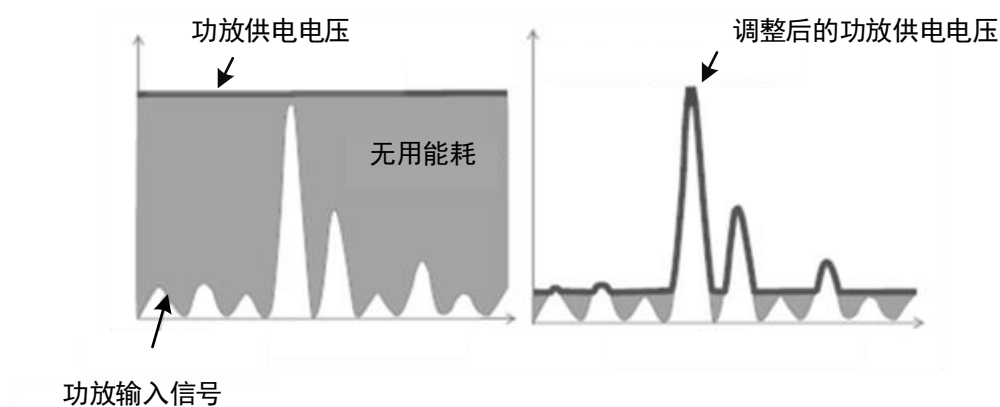


图 3-4 功放调压示意图

4 5G 智能网络节能技术演进

4.1 5G 基站设备功耗阶段目标

随着 5G 商用网络快速建设，5G 基站设备也在研发新基站设备。随着 5G 基站设备在集成度、工艺、软件功能等方面的不断优化，5G 基站设备的功耗将大幅降低，整机功率效率不断提高。根据 5G 产业链发展情况预测，预计未来两到三年时间，5G 基站设备的能耗水平将达到商用产品最佳功耗水平。

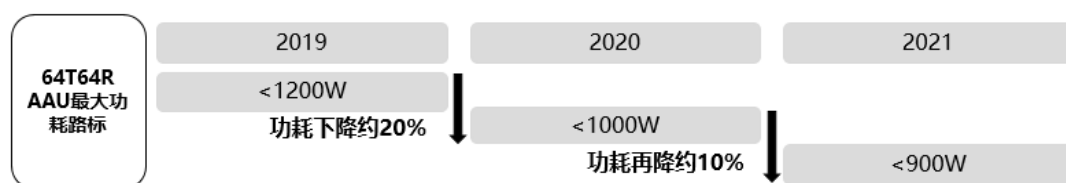


图 4-1 AAU 功耗演进路标

至 2019 年底，64T64R AAU 设备其最大发射功率为 200W，在满载情况下，商用 AAU 最大功耗应低于 1200W。预计 2020 年，新一代硬件平台将大量使用高集成度器件，64T64R AAU 最大功耗和静态功率下降幅度约 20%。预计至 2021 年，AAU 设备经过优化关键器件及其算法，最大功耗和静态功耗下降幅度约 10%。

其他低通道数类型 AAU 或 RRU 设备，由于商用产品时间一般晚于 64T64R AAU 设备，其产品硬件平台和软件算法相对比较成熟，预估未来两年到三年时间，低通道数类型 AAU/RRU 设备最大功耗和静态功耗下降幅度约 10%。

4.2 节能技术方案演进路标

考虑 5G 基站设备成熟度和后续演进，基站设备节能方案应考虑在未来两到三年时间内分步骤支持如下演进路标。

2019 年支持：

- ✓ 基于调度算法的智能符号关断技术
- ✓ 基站小区关断技术，支持 OMC 控制的小区关断功能
- ✓ 功放等器件算法优化
- ✓ 硬件平台应规划采用更高集成度（例如，应用 ASIC）、更高制程（最高

工艺应达到 7nm 或同等工艺) 的新一代硬件平台

- ✓ 开展基于 AI 智能节能原型开发

2020 年支持:

- ✓ 智能通道关断技术
- ✓ 小区关断技术, 支持灵活配置的小区关断方案
- ✓ 基站深度休眠技术, 支持更多硬件器件的智能关断(除功放器件外), 支持 AAU 设备唤醒功能
- ✓ 功放等器件的优化算法
- ✓ 商用设备应基于更高集成度、更高制程(最高工艺达到 7nm) 的新一代硬件平台
- ✓ 商用基于 AI 智能节能方案, 支持 4G/5G 系统智能节能

2021 年支持:

- ✓ 基站深度休眠方案
- ✓ 功放等器件的增强优化算法
- ✓ 硬件平台规划采用下一代高集成度、更高制程(最高工艺达到 4nm/3nm) 的新一代硬件平台
- ✓ 商用增强型 AI 智能节能方案, 优化 AI 算法, 支持多制式系统智能节能

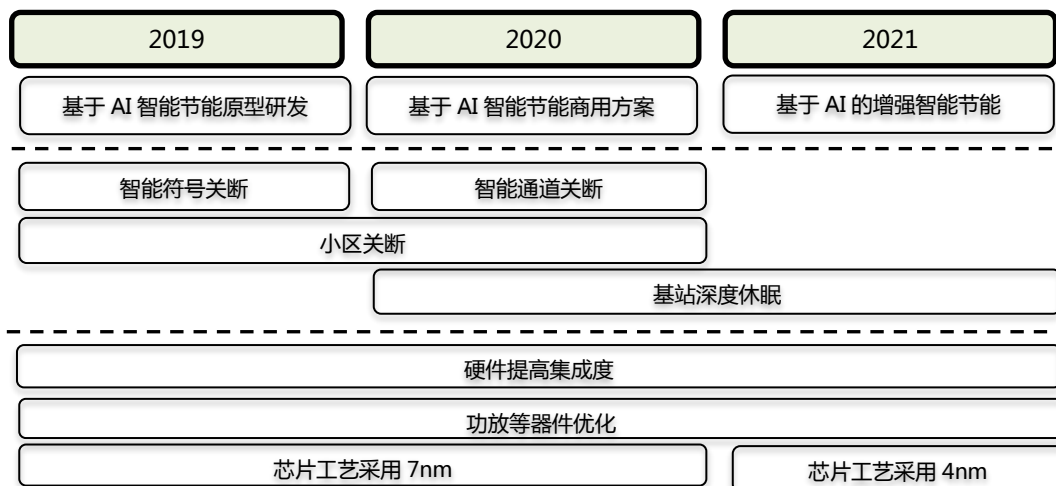


图 4-2 节能技术规划

4.3 基于 AI 的智能节能技术方案

5G 时代，2G、3G、4G、5G 多种制式系统会在一段时期内共存，随着云化架构的演进，多制式系统将逐步融合。需要从全网最优的角度综合考虑网络能力和能耗成本。因此，基于 AI 的 4G/5G 智能节能方案将是未来技术创新研究的重点方向。

智能节能方案，结合日益成熟的人工智能及机器学习技术，可以实现多制式网络的整体节能效果最佳的配置方案；同时，基于 AI 的智能节能方案应用在无线接入网将有更大的灵活性、扩展性和持续演进能力。

基于 AI 的智能节电方案可以考虑支持如下基本功能：

- ✓ 多网协同控制：自动识别基础覆盖小区和补热小区，应支持与基站设备及 OMC 管理平台的接口，热点覆盖小区可根据业务量等指标变化进入节能模式，实现更灵活的节能效果；
- ✓ 业务预测：基于 AI 算法、基于现网基站数据，训练业务负载模型，实现对网络业务负荷的精确预测；
- ✓ 节能策略选择：基于业务预测结果，支持节能策略的自动选择、调整、配置更新和自动执行功能，同时满足预设置的节能目标和 KPI 目标；
- ✓ 能效评估：具备后向评估节能效果以及对网络 KPI 性能的综合分析能力。

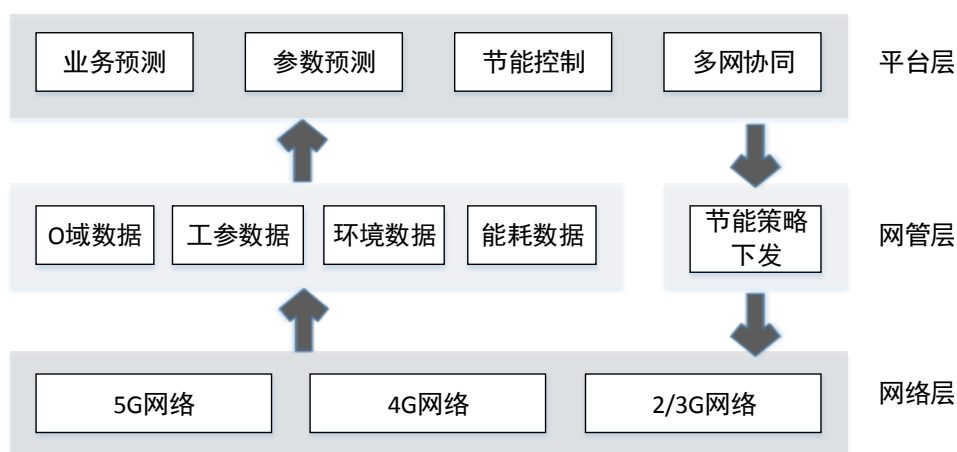


图 4-3 基于 AI 的智能节能方案流程图

5 总结与展望

5G 时代即将到来，运营商为广大用户提供网络能力更强、用户体验更优的 5G 商用网络。与 4G 网络相比，5G 网络能提供更高速率、更低时延、更大连接密度等网络能力，也在承担显著增加的 OPEX 成本。据估算，5G 基站功耗是 OPEX 成本中增量较大、增幅较高的支出成本。在巨大经营压力下，我们强烈呼吁业界尽快研发相关的节能减排技术方案，共同应对 5G 能耗带来的严峻挑战。

5G 基站设备节能方案应结合通信行业产业链的实际发展情况，不断采用新工艺、新材料、新方案、新设计等创新技术，不断改进基站设备产品设计，逐步降低商用设备基础功耗；同时，加快节能软件功能的研发进度，商用设备应尽早支持智能符号关断、深度休眠、通道关断等节能方案。从网络层面、4G/5G 等多制式系统的协同管理入手，尽快支持 4G/5G 智能协同节能平台，将人工智能技术应用在通信网络智能化、自动化的智能管理，以达到综合网络能力强、用户体验优、能耗低的目标，真正降低运营商 OPEX 成本，提高网络整体竞争力和持续盈利能力。