



能效与性能双优的未来绿色低碳无线网络研究

高峰, 方媛, 沈骛, 祁新特, 徐泽涛
(中国移动通信集团设计院有限公司, 北京 100080)

摘要: 为满足无线网络低碳发展需求, 总结并前瞻性规划无线网络节能发展方向是十分必要的。首先, 总结了无线网络节能现状。其次, 梳理了国内外标准化组织对无线网络能效的评估标准研究, 并提出了一种多层次、多维度、多场景、可演进的无线网络能效指标体系, 以优化无线网络能效评估方法, 适配绿色无线网络“低能耗、高能效、优感知”发展特性。最后, 基于无线网络节能体系, 分别在无线网络规划、建设、运维、优化各阶段总结并分析了相应的节能方案, 为构建能效与性能双优的绿色低碳无线网络提供参考。

关键词: 无线网络; 绿色低碳; 智能节能; 能效; 能耗

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2025020

Research on future green and low-carbon wireless networks with optimal energy efficiency and performance

GAO Feng, FANG Yuan, SHEN Ao, QI Xinte, XU Zetao
China Mobile Group Design Institute Co., Ltd., Beijing 100080, China

Abstract: In order to meet the demand for low-carbon development of wireless networks, it is necessary to summarize and prospectively plan the development direction of energy-saving in wireless networks. Firstly, the current status of energy saving in wireless networks were summarized. Secondly, the research on wireless network energy efficiency assessment standards of domestic and foreign standardization organizations were sorted out, and a multi-level, multi-dimensional, multi-scenario, and evolvable wireless networks energy efficiency index system was proposed to optimize the wireless networks energy efficiency evaluation method, and to adapt to the development characteristics of green wireless networks, such as “low energy consumption, high energy efficiency, and excellent perception”. Finally, based on the wireless network energy-saving system, the corresponding energy-saving schemes were summarized and analyzed in the stages of wireless networks planning, construction, operation&maintenance, and optimization. It provides a reference for building a green low-carbon wireless network with both energy efficiency and performance.

Key words: wireless network, green and low-carbon, intelligent energy saving, energy efficiency, energy consumption

0 引言

为积极响应全球气候变化问题, 满足目前我

国经济社会可持续发展需求, 我国提出了“双碳”目标, “双碳”目标的实现依赖各行各业为绿色、低碳做出更扎实、更积极的努力。通信运



营商作为网络强国、数字中国和智慧社会建设的主力军,未来将有更多5G基站落地,而5G基站是传统的能耗大户,这将使通信运营商的碳排放量及网络成本快速增长,从而给通信运营商的可持续发展带来巨大挑战^[1-2]。通信运营商自身“双碳”目标的实现既是履行社会责任所需,也是实现自身高效可持续发展的内在驱动力^[3-4]。

相关数据表明,通信网络能耗占运营商总体能耗的70%~80%,其中无线网络能耗占通信网络能耗的70%^[5-6]。随着5G基站需求加大,通信运营商总体能耗逐年增长。为落实“双碳”目标,满足无线网络绿色低碳发展需求,持续提升5G无线网络的能效水平,系统构建5G无线网络节能技术体系,并前瞻性规划节能技术发展方向是十分必要和迫切的。本文将立足于无线网络的高效可持续发展,总结现有无线网络能效评估方案,并提出绿色低碳无线网络评估优化方法及相关建议,以便为绿色低碳无线网络高速发展指引方向。与此同时,本文还将结合现有无线网络节能技术体系,从无线网络的规划、建设、运维、优化4个阶段分别总结并分析现有绿色节能方案,为构建能效与性能双优的绿色低碳无线网络提供参考。

1 绿色低碳无线网络评估

研究表明,能耗和业务量相关,承载业务量越高,单站能耗也越高。因此,传统直接基于基站单站能耗对节能效果进行评估的方式不够客观。“能效”这一概念的引进,初步解决了传统评估方式所存在的问题。最初能效的定义为有效输出和能耗输入的比值,或者单位能耗的有效输出,如式(1)所示。目前,能效的常见定义为每瓦特能量可以承载的信息比特,对应无线网络业务流量和能耗的比值,如式(2)所示。

$$\text{传统能效} = \frac{\text{有效输出}}{\text{能耗输入}} \quad (1)$$

$$\text{无线网络能效} = \frac{\text{业务流量}}{\text{能耗}} \quad (2)$$

无线网络能效的定义普遍适用于评估单基站的节能效果,但对于通信网络运营商而言,面向复杂的现网场景,需要一套更加完善的网络能效评估方法,既可以衡量使用先进节能技术后带来的能效提升,又可以衡量不同区域及不同场景下的网络能效,从而采取相关优化措施。目前,欧洲电信标准组织(European Telecommunications Standards Institute, ETSI)、国际电信联盟电信标准化部门(International Telecommunication Union for Telecommunication Standardization Sector, ITU-T)、第三代合作伙伴计划(3rd Generation Partnership Project, 3GPP)等国外标准化组织均开展了无线网络能效研究,针对设备、站点和网络不同层级给出了相应的能效定义。国内标准化组织的研究主要集中在设备功耗分级和测试方面,而对5G无线网络能效的研究相对较少。国内外无线网络能效标准化研究内容见表1。

从标准研究进展来看,已有能效评估方法多停留在理论研究层面,缺乏针对全场景、多维度,以及融合网络质量、体验指标的网络级能效评估方案,且覆盖、体验等维度缺乏量化计算方案,可操作性不足,不利于牵引绿色网络的正向演进和能耗的精细化管控。针对上述问题,本文提出一种无线网络能效指标体系,如图1所示,对无线网络能效进行多维度、多层级评估的同时兼顾业务场景和未来演进。设计思路如下。

- 多层级:从设备、站点到网络,实现能耗的分级描述。
- 多维度:引入体验速率、覆盖质量、覆盖面积等多个性能维度,牵引高质量建网。
- 场景化:基于不同场景业务需求特性,

表 1 国内外无线网络能效标准化研究内容

标准组织	标准名称	主要研究内容	层级
ETSI EE	ES 203 228 Assessment of mobile network energy efficiency	网络级能效=网络有效输出/网络能耗, 有效输出包含流量、覆盖面积、时延、连接数	网络级
ITU-T SG5	L.1350 Energy efficiency metrics of base station site	站点级能效=主设备能耗/站点总能耗	站点级
ETSI EE	TS 103 786 Dynamic energy performance measurement method of 5G Base Station	基站设备级能效=基站流量/基站能耗	基站级
中国通信标准化协会 (China Communications Standards Association, CCSA)	基站及基站控制器节能分级: YD/T 3018-2016	无线网基站和基站控制器设备的节能分级指标要求	基站级
	5G NR 基站功耗测试方法: YD/T 4765-2024	5G 基站的功耗与整机效率的测试方法及过程	基站级
中国国家标准化管理委员会 (National Standardization Administration of the People's Republic of China, SAC)	移动通信设备节能参数和测试方法 基站: GB/T 29239-2012	移动通信基站设备的节能参数和测量方法	基站级

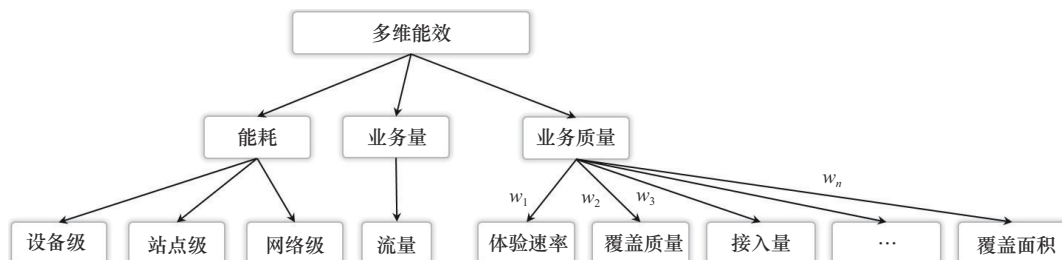


图 1 无线网络能效指标体系

灵活调整分子中的维度及权重。

- 可演进：兼顾未来通信技术演进（如 5.5G），可根据需要向三大典型应用（eMMB、mMTC、URLLC）拓展。

本文提出的无线网络能效评估方法如式（3）所示。其中，业务场景代表不同场景下的体验速

率、覆盖面积、连接数等多维度的有效输出，并可根据不同业务场景在网络覆盖、业务性能要求等方面的差异，对指标的维度及权重进行调整。比如在 eMBB 场景下，同时关注流量和业务体验速率，需要在业务流量的基础上，增加业务体验速率指标维度的场景修正因子，如式（4）所示。

$$\text{多维能效} = \sum_{\text{网络}} \sum_{\text{站点}} \sum_{\text{设备}} \frac{\text{Service}(\text{业务量}, \text{业务场景})}{\text{能耗}} = \sum_{\text{网络}} \sum_{\text{站点}} \sum_{\text{设备}} \frac{\text{业务量}}{\text{能耗}} \times F \quad (3)$$

其中， F 表示业务场景修正因子。

$$F = \frac{\text{网络平均体验速率}}{\text{目标体验速率}} \quad (4)$$

其中，网络平均体验速率指网络中所有用户的传输有效数据/网络中所有用户总的有效数传时长。目标体验速率可以依据不同网络场景、网络发展不同时期自行定义调整。 F 的上下限取值可以依据不同场景，对体验的权重差异自行

调整，若 $F > 2$ ，则 F 取 2；若 $F < 0.5$ ，则取 0.5。举个应用的例子，应用上述方案同时对 A、B、C、D 4 个 eMBB 场景下的网络进行评估，在现有业务量能效评估的基础上，引入体验速率维度的修正因子，可以得到修正后的能效指标，在 eMBB 场景下的网络能效评估应用实例见表 2。



表2 在eMBB场景下的网络能效评估应用实例

网络	流量 能效/(GB·(kW·h) ⁻¹)	网络平均体验 速率/(Mbit·s ⁻¹)	目标体验 速率/(Mbit·s ⁻¹)	网络平均体验 速率/目标体验速率	F	修正后流量 能效/(GB·(kW·h) ⁻¹)
A	5	144	60	$144 \div 60 = 2.4$	2	$5 \times 2 = 10$
B	7	66		$66 \div 60 = 1.1$	1.1	$7 \times 1.1 = 7.7$
C	8	54		$54 \div 60 = 0.9$	0.9	$8 \times 0.9 = 7.2$
D	12	24		$24 \div 60 = 0.4$	0.5	$12 \times 0.5 = 6$

2 绿色低碳无线网络构建

如图2所示,现阶段无线网络节能技术体系包括设备级、站点级和网络级三层架构^[7-8],涵盖多种节能技术方案。

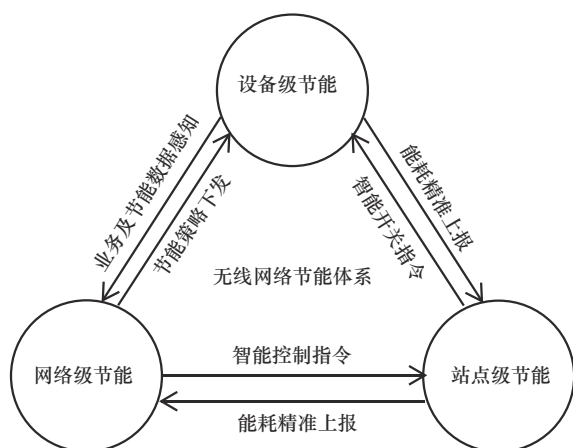


图2 三层架构全方位提升无线网络能效

- 设备级节能：在硬件层面，通过优化设备工艺、算法和架构降低设备静态功耗，提高硬件能效水平，如推动功放模块升级，提高功放效率；利用高性能导热材料，提高模块自然散热能力等。在软件层面，除亚帧关断、通道关断、浅层休眠、深度休眠等基础节能技术外，还利用动态调压、极致休眠等增强型节能技术，更大程度地降低设备动态功耗。
- 站点级节能：综合能效、业务、成本等多维度资源，简化网络架构，制订站点规划方案，并引入设备与配套的新技术和新能力进行站点极简改造等，有效降

低站点能耗，构建智能极简绿色站点。同时，基于站点资源可视化、功耗数据精准上报、分路智能供电、远程操控等技术，自动感知基站的负载情况、供电质量、电池备电时长、温度等运行数据，实现远程智能控制，降低站点能耗。

- 网络级节能：基于无线网智能节电平台，实现自动化数据采集纳管、智能化节电策略下发、能效及性能指标实时监控与评估。AI赋能，持续优化节能方案，例如，精准共覆盖挖掘以定位更多节能小区、场景聚类以分场景优化小区节能策略及门限、业务负荷预测以挖掘更多节能时段等，最终实现多层网高效协同节能^[9-11]。

构建绿色低碳无线网络的过程中，在网络的规划、建设、运维、优化各个阶段都要保证尽可能提升节能收益的同时保障用户服务感知，从而打造出能效与性能双优的绿色低碳无线网络。

在网络规划阶段，如何实现弹性、高效建网，确保投资效益最大化的同时提升用户感知，是能效与性能双优无线网络建设的前提^[12-13]。面向新站规划，综合考虑网络结构、邻区特点，基于海量站址快速完成新站选址是一项极其繁重的工作。仅依靠传统专家经验进行站址规划，难以兼顾无线网络各项发展需求。充分利用优质频段进行组网，简化网络结构，并根据覆盖和容量需求，采取智能化手段，对海量站址特征进行综合价值评估，从而实现精准选址，可以在提升规划效率、实现深度覆盖的同时提升用户满意度，为

能效与性能双优无线网络建设打下坚实的基础^[14-18]。面向特殊需求场景,精准规划微型站址,在宏基站广覆盖基础上,发挥微基站“低成本、快部署”优势,实现宏微高效协同,均衡网络负荷,进一步降本增效。

在站点建设阶段,分别针对设备、站点、网络3个层面进行绿色建设布局,降低网络总体能耗。面向设备,选用高能效材料、器件、架构的硬件设备,并通过多模改造、基带处理单元(bulding baseband unit, BBU)合并,降低主设备能耗。面向站点,合理优化机房布局,利用集中化无线接入网(centralized radio access network, C-RAN)进行集中化改造,动态智能化组网,有效减小干扰,提升频谱效率,降低站点能耗^[19-23]。基于C-RAN集中化部署BBU所导致的机房局部热点问题,采用高效制冷设备,加大绿色能源应用比例,降低机房空调能耗^[24-25]。面向网络,全面部署符号关断、通道关断、载波关断、深度休眠、极致休眠等软件节能功能,降低主设备动态功耗^[8-9]。合理采用智能硬关断技术,在业务空载情况下实现主设备安全下电,机房环境温度满足设备正常运行条件下实现空调安全下电。

在网络运维阶段,从设备类型、业务场景、不同区域等方面深入剖析宏观和微观层面能效影响因素,建立多层级无线网络能效评估体系,并对在网设备运行情况进行实时监控。面向不同设备类型,分别构建能耗基准模型,将不同类型设备静态功耗纳入考量,合理评估不同类型设备在各种业务负荷情况下的能效水平,以此作为设备优化、改造、退网的依据。与此同时,对在网设备的运行能耗进行实时监控,以便及时发现问题设备,并进行问题排查,避免因设备故障影响网络能效^[26]。面向不同场景,基于多维业务量数据进行场景聚类,深入剖析各业务场景能效影响因素,细化绿色无线网络能效评估标准。面向不同区域,基于多层级、全方面能效基准精准定位低

能效区域,实现对全网能效的精细化评估和管控,扎实推进绿色无线网络能效提升。

在网络优化阶段,引入大数据分析和人工智能技术,搭建智能化节能管理平台,实现多系统、多制式、多频段的网络级智能节能。利用智能化算法识别节能和覆盖小区类型,挖掘小区更多节能空间的同时保障覆盖小区用户体验。基于人工智能算法实现长时和短时业务预测,根据长时预测结果及设备各项软关断、硬关断节能技术制订最佳节能策略^[27],根据当前网络关键性能指标(key performance indicator, KPI)及短时预测结果不断优化节能参数配置,从而实现一站一策的最佳节能方案,并在保证网络质量的前提下,充分挖掘无线网络的节能潜力,实现节能收益最大化。与此同时,通过构建智能化节电量测算模型,提升节电量测算的准确性,精准衡量节能收益,实现节能优化闭环。

3 结束语

在无线网络实现“双碳”目标的过程中,需要一种适用于目前无线网络复杂现状及未来发展方向的绿色评估方案,以便为绿色低碳无线网络高速发展指引方向。为此,本文梳理了国内外主要的标准化组织对无线网络能效的评估标准研究,并提出了一种多层级、多维度、多场景、可演进的无线网络能效指标体系,以优化无线网络能效评估方法,适配绿色无线网络“低能耗、高能效、优感知”发展特性。本文还总结并分析了现有无线网络节能体系,提出了无线网络规划、建设、运维、优化各阶段的节能方案,为构建能效与性能双优的绿色低碳无线网络提供参考。后续,我们将全面开展多层级能效评估体系的现网应用,识别现网低能效区域,分析低能效原因并采用相应节能技术手段予以解决。同时,也将持续跟踪总结国内外通信领域绿色低碳相关研发成果及趋势,继续探索绿色低碳无线网络评估的优化方法。



参考文献:

- [1] 王钦, 薛俊伟, 王国庆. “双碳”目标下通信基站建设模式研究[J]. 通信电源技术, 2022, 39(13): 31-34.
WANG Q, XUE J W, WANG G Q. Research on construction of communication base station under the double carbon target[J]. Telecom Power Technology, 2022, 39(13): 31-34.
- [2] 牛志升, 周盛, 孙宇璇. 面向“双碳”战略的绿色通信与网络: 挑战与对策[J]. 通信学报, 2022, 43(2): 1-14.
NIU Z S, ZHOU S, SUN Y X. Green communication and networking for carbon-peaking and carbon-neutrality: challenges and solutions[J]. Journal on Communications, 2022, 43(2): 1-14.
- [3] 张涌. 通信运营商的碳达峰、碳中和之路探讨[J]. 邮电设计技术, 2021(6): 1-4.
ZHANG Y. Discussion on road of carbon peak and carbon neutralization for communication operators[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2021(6): 1-4.
- [4] 王一涵. 信息与通信技术在碳达峰碳中和战略中的应用研究[J]. 石河子科技, 2023(1): 46-48.
WANG Y H. Research on the application of information and communication technology in peak carbon dioxide emissions's carbon neutralization strategy[J]. Shihezi Science and Technology, 2023(1): 46-48.
- [5] 包其齐, 刘俊杰. 浅析5G基站的能效管理[J]. 通信电源技术, 2023, 40(2): 122-124.
BAO Q Q, LIU J J. Analysis of energy efficiency management of 5G base stations[J]. Telecom Power Technology, 2023, 40(2): 122-124.
- [6] 李奥, 王未, 刘绚, 等. 通信基站能效影响因素分析[J]. 通信电源技术, 2021, 38(14): 52-56.
LI A, WANG W, LIU X, et al. Analysis of influencing factors on energy efficiency of communication base station[J]. Telecom Power Technology, 2021, 38(14): 52-56.
- [7] 曹恒, 尚海波, 席向涛, 等. 5G基站能效评估影响因素分析及分级体系初探[J]. 邮电设计技术, 2023(10): 26-32.
CAO H, SHANG H B, XI X T, et al. Analysis of influencing factors of 5G base station energy efficiency evaluation and primary exploration of grading system[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2023(10): 26-32.
- [8] 卢如东, 刘磊, 廖敏. 移动通信基站能效评估体系研究[J]. 广东通信技术, 2020, 40(3): 24-28.
LU R D, LIU L, LIAO M. Research on energy efficiency evaluation system of mobile communication base station[J]. Guangdong Communication Technology, 2020, 40(3): 24-28.
- [9] 李涛, 范英鹰, 刘静静. 一种基于AI技术的5G基站节能自适应设计方案[J]. 电信工程技术与标准化, 2023, 36(2): 8-14, 19.
LI T, FAN Y Y, LIU J J. A design of AI technology self-adaption energy saving for 5G NR[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2023, 36(2): 8-14, 19.
- [10] 马敏, 王昕, 冷明全. 4G/5G基站智能节能研究与应用[J]. 电信工程技术与标准化, 2023, 36(6): 54-58.
MA M, WANG X, LENG M Q. Research and application on intelligent energy saving of 4G/5G base station[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2023, 36(6): 54-58.
- [11] 于英姿, 张妍, 顾鹏, 等. 基于数据挖掘和AI模型的基站降碳智慧平台[J]. 电子通信与计算机科学, 2023, 5(4): 198-201.
YU Y Z, ZHANG Y, GU P, et al. A smart platform for base station carbon reduction based on data mining and AI models [J]. Electronic Communication and Computer Science, 2023, 5(4): 198-201.
- [12] 孟繁丽, 薛伟, 汪况伦, 等. 5G无线网络智能化规划体系及实现[J]. 移动通信, 2019, 43(6): 52-59.
MENG F L, XUE W, WANG K L, et al. Intelligent planning system and implementation of 5G wireless networks[J]. Mobile Communications, 2019, 43(6): 52-59.
- [13] 白波, 刘舜, 董鹏, 等. 面向双碳目标的移动基站基础设施规划方法研究[J]. 电子技术应用, 2023, 49(12): 60-64.
BAI B, LIU S, DONG P, et al. Research on mobile base station infrastructure planning method for dual carbon goals[J]. Application of Electronic Technique, 2023, 49(12): 60-64.
- [14] 刘红阳. 5G无线网智能规划研究[J]. 河南科技, 2023, 42(13): 11-16.
LIU H Y. Research on intelligent planning of 5G wireless network[J]. Henan Science and Technology, 2023, 42(13): 11-16.
- [15] 赵巍, 张智森, 肖佳康, 等. 基于人工智能的5G通信网络运维规划方法[J]. 长江信息通信, 2022, 35(3): 219-222.
ZHAO W, ZHANG Z S, XIAO J K, et al. Operation and maintenance planning method of 5G communication network based on artificial intelligence[J]. Changjiang Information & Communications, 2022, 35(3): 219-222.
- [16] 沈瑶. 基于大数据的基站流量预测与网络规划算法研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2019.
SHEN Y. Research on algorithm of base station traffic prediction and network planning based on big data[D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2019.
- [17] 江枫, 程日涛, 孟繁丽, 等. 基于跨域特征融合的基站价值智能评估的研究与实现[C]//5G网络创新研讨会. 2022: 7-12.
JIANG F, CHENG R T, MENG F L, et al. Research and implementation of intelligent evaluation of base station value based on cross domain feature fusion [C]//5G Network Innovation

- Seminar. 2022: 7-12.
- [18] 石强, 郭翔, 马翼飞, 等. 基于“5G+物联网”的智慧能源新技术研究及应用: 通信基站智能化用电规划及管理[J]. 通信电源技术, 2022, 39(19): 139-144.
- SHI Q, GUO X, MA Y F, et al. Research and application of new smart energy technology based on “5G+Internet of things”: intelligent power planning and management of communication base stations[J]. Telecom Power Technologies, 2022, 39(19): 139-144.
- [19] 雷秋燕, 张治中, 程方, 等. 基于 C-RAN 的 5G 无线接入网架构[J]. 电信科学, 2015, 31(1): 112-121.
- LEI Q Y, ZHANG Z Z, CHENG F, et al. 5G radio access network architecture based on C-RAN[J]. Telecommunications Science, 2015, 31(1): 112-121.
- [20] 陈宇, 彭星, 许俊蕾, 等. 无线网络极简改造[J]. 通信电源技术, 2023, 40(16): 206-208.
- CHEN Y, PENG X, XU J L, et al. Wireless network simplicity modification[J]. Telecom Power Technology, 2023, 40(16): 206-208.
- [21] 温亮, 朱惠斌. 极简网络视角下机房演进趋势分析[J]. 广东通信技术, 2022, 42(4): 69-71, 75.
- WEN L, ZHU H B. Analysis on the evolution trend of computer room from the perspective of minimalist network[J]. Guangdong Communication Technology, 2022, 42(4): 69-71, 75.
- [22] 陈先凌, 郑骏文, 宋嘉皓, 等. 绿色低碳站点极简改造方案研究[J]. 通信电源技术, 2022, 39(19): 205-208.
- CHEN X L, ZHENG J W, SONG J H, et al. Research on minimalist renovation plan for green and low-carbon sites[J]. Telecom Power Technologies, 2022, 39(19): 205-208.
- [23] 张净, 陈昀昊, 张瑜. 通信站点低碳极简建设研究[J]. 通信电源技术, 2022, 39(19): 192-193, 196.
- ZHANG J, CHEN Y H, ZHANG Y. Research on low-carbon and minimalist construction of communication sites[J]. Telecom Power Technologies, 2022, 39(19): 192-193, 196.
- [24] 王未, 李玉昇, 张瑜, 等. 汇聚机房设备散热问题分析及方案探讨[J]. 通信电源技术, 2020, 37(S1): 166-170.
- WANG W, LI Y S, ZHANG Y, et al. Heat dissipation problem and solution for communication equipments in C-RAN room[J]. Telecom Power Technologies, 2020, 37(S1): 166-170.
- [25] 赵贺朋, 王未, 刘绚, 等. 机柜级制冷技术应用于 C-RAN 站点的节能效果分析[J]. 通信电源技术, 2021, 38(14): 115-120.
- ZHAO H P, WANG W, LIU X, et al. Analysis of energy-saving effect of cabinet-level refrigeration technology applied to C-RAN site[J]. Telecom Power Technology, 2021, 38(14): 115-120.
- [26] FANG Y, QI X T, ZHANG S, et al. Research on abnormal energy consumption monitoring of base station equipment based on LightGBM[C]//2023 IEEE 23rd International Conference on Communication Technology (ICCT). Piscataway: IEEE Press, 2023: 794-798.
- [27] WANG X, LIN X J. Short-term wireless load indicator forecasting method based on multi-model fusion[C]//2022 International Conference on Frontiers of Artificial Intelligence and Machine Learning (FAIML). Piscataway: IEEE Press, 2022: 22-26.

[作者简介]



高峰 (1975-), 男, 博士, 中国移动通信集团设计院有限公司正高级工程师, 主要研究方向为移动通信天线与无线网络优化等。



方媛 (1981-), 女, 中国移动通信集团设计院有限公司高级工程师, 主要研究方向为无线网络优化和节能技术等。



沈鹏 (1985-), 男, 中国移动通信集团设计院有限公司高级工程师, 主要研究方向为无线网络优化和节能技术等。



祁新特 (1997-), 女, 中国移动通信集团设计院有限公司工程师, 主要研究方向为无线网络节能技术等。



徐泽涛 (1994-), 男, 中国移动通信集团设计院有限公司工程师, 主要研究方向为无线网络节能技术等。