

# 室外带三角支架机柜基站节能减排技术研究

闵国旗

中国联合网络通信有限公司杭州市分公司

DOI:10.12238/etd.v5i3.7827

**[摘要]** 室外带三角支架机柜基站广泛应用于移动通信网络,但其能耗问题日益突出,给运营商带来巨大的经济压力和环境挑战。本文系统分析了室外带三角支架机柜基站的能耗特点,重点研究了高效电源转换、被动散热管理和智能电力优化三项关键节能减排技术。通过实验验证,证实了所提出的技术方案能够显著降低基站能耗,提高电源效率,改善散热效果,优化负载预测和功率控制。研究成果对于指导运营商开展基站节能减排实践,推动绿色低碳发展具有重要意义。

**[关键词]** 三角支架机柜基站; 节能减排; 高效电源转换; 被动散热管理

中图分类号: TE08 文献标识码: A

## Research on Energy Saving and Emission Reduction Technology of Outdoor Base Station with Triangular Bracket Cabinet

Guoqi Min

China United Network Communications Co., Ltd. Hangzhou Branch

**[Abstract]** Outdoor base stations with triangular rack cabinets are widely used in mobile communication networks, but their energy consumption is becoming more and more prominent, which brings huge economic pressure and environmental challenges to operators. This paper systematically analyzes the energy consumption characteristics of outdoor base stations with triangular bracket cabinets, and focuses on three key energy saving and emission reduction technologies, namely, high-efficiency power conversion, passive heat dissipation management and intelligent power optimization. Through experimental verification, it is confirmed that the proposed technical solutions can significantly reduce the energy consumption of base stations, improve power efficiency, improve heat dissipation, and optimize load prediction and power control. The research results are of great significance in guiding operators to carry out the practice of energy saving and emission reduction in base stations and promoting green and low-carbon development.

**[Key words]** triangle bracket cabinet base station; energy saving and emission reduction; efficient power conversion; passive thermal management

### 引言

通信技术的快速发展和移动互联网的广泛应用,促使移动通信基站数量不断增长。据统计,截至2022年底,中国移动通信基站总数已超过990万个,预计到2025年将突破1200万个<sup>[1]</sup>。室外带三角支架机柜基站是目前广泛使用的一种基站类型,具有安装灵活、易于维护等优点。然而,海量基站的能耗问题日益突出,给运营商带来巨大的经济压力和环境挑战。因此,研究室外带三角支架机柜基站的节能减排技术,对于降低运营商能耗、实现绿色通信具有重要意义。

### 1 室外带三角支架机柜基站概述

室外带三角支架机柜基站是一种广泛应用于移动通信网络中的基站类型,其主要由基站设备、机柜、三角支架等组成<sup>[2]</sup>。

基站设备包括移动通信系统所需的无线收发信机、基带处理单元、射频功率放大器等,负责实现无线信号的收发、处理和放大。机柜为基站设备提供安装、保护和散热的封闭空间,采用金属材料制成,具有良好的电磁屏蔽性能和气候防护能力。三角支架是一种稳固的支撑结构,通常由热镀锌钢材焊接而成,用于将机柜固定在混凝土基础上,并为外接天线提供安装平台。与室内基站和一体化基站相比,室外带三角支架机柜基站具有安装灵活、站址获取容易、扩容便捷等优势。通过合理选址和站型规划,可以有效扩大网络覆盖范围,满足不同地理环境和业务需求。同时,该类型基站易于维护升级,可根据网络发展需要灵活调整设备配置和容量。

### 2 室外带三角支架机柜基站能耗分析

室外带三角支架机柜基站的能耗问题日益受到关注。为深入分析该类型基站的能耗特点,需要从多个角度进行综合考量。第一,电源能耗是一个值得关注的问题。基站的供电系统通常由交流配电系统和开关电源系统组成,能耗比重较大<sup>[3]</sup>。传统的电源系统转换效率偏低,在电能转换过程中会产生大量的损耗,白白浪费电能,增加了基站的总体能耗。第二,机柜内的环境温度对设备能耗有显著影响。温度过高会导致设备可靠性下降,同时增加制冷系统的耗能。因此,合理控制机柜内部温度对降低能耗至关重要。第三,基站的负载水平也是影响能耗的关键因素。移动通信网络具有显著的业务波动特性,基站负载在一天内和一周内都有较大变化。在低负载期间,若基站设备能够根据业务量动态调整自身状态和资源分配,将有助于减少不必要的能量浪费。

### 3 三角支架机柜基站的节能减排关键技术分析

#### 3.1 高效能电源转换技术

高效能电源转换技术是实现三角支架机柜基站节能减排的关键手段之一。该技术通过优化电源系统的设计和控制策略,提高电能转换效率,减少能量损耗。在传统的电源转换技术中,如铅酸电池和开关电源,其转换效率相对较低,导致电能损耗大,热量产生多。为了克服这些问题,高效能电源转换技术应运而生。该技术采用先进的数字化控制和高频开关技术,结合新型功率半导体器件,实现了电源转换效率的显著提升。数字化电源利用数字信号处理技术和智能控制算法,对电源转换过程进行实时监测和动态优化,根据负载需求调整输出电压和电流,最小化能量损耗<sup>[4]</sup>;高频开关电源则通过提高开关频率和采用软开关技术,降低电源转换过程中的损耗。同时,使用碳化硅(SiC)和氮化镓(GaN)等宽禁带半导体材料制作的高性能电源开关器件,凭借其优异的电学和热学特性,进一步降低了导通损耗和开关损耗。

#### 3.2 被动散热管理技术

被动散热管理技术是实现三角支架机柜基站节能减排的另一项关键技术。该技术通过优化机柜内部的散热设计,利用自然力实现高效热量传递和耗散,从而降低基站能耗。传统的机柜散热主要依赖风扇或空调等主动制冷设备,这些设备本身就消耗大量电能,增加了基站的总体能耗。被动散热管理技术则充分利用热传导、对流和辐射等自然热传递方式,通过合理设计散热结构和热流路径,实现高效而经济的散热效果。其中,热管技术是被动散热管理的核心之一。热管是一种高效导热元件,利用内部工质的相变传热原理,可以快速传递热量。通过在机柜内部部署热管,可以有效收集电子设备产生的热量,并将其导向机柜外部,利用外界环境实现自然散热<sup>[5]</sup>。

同时,相变材料的应用也为被动散热提供了新的思路。相变材料可以在特定温度下发生固-液相变,吸收或释放大容量潜热,起到调节温度的作用。将相变材料应用于机柜散热设计中,可以在设备高负载时吸收多余热量,而在负载降低时释放热量,从而实现散热过程的“峰谷”调节,减少温度波动对设备可靠性的影

响。此外,合理的气流组织和机柜结构设计也是被动散热管理技术的重要内容。通过优化机柜内部布局,减少气流阻力,促进自然对流,可以加强热量耗散。通过综合应用热管、相变材料、气流组织等被动散热管理技术,可以显著提升三角支架机柜基站的散热效率,降低对主动制冷的依赖,从而减少制冷设备的能耗,实现节能减排的目标。

#### 3.3 智能电力优化技术

智能电力优化技术是实现三角支架机柜基站节能减排的创新方法。该技术利用人工智能、大数据分析和自适应控制等先进技术,将智能电力优化技术应用于基站的电力系统,可以进行实时监测、预测和优化,从而最小化能量消耗。传统的基站电力管理主要依赖静态配置和人工干预,难以适应复杂多变的通信环境和业务需求。智能电力优化技术则通过动态感知基站运行状态和外部环境,自主学习和决策,实现电力资源的精准分配和高效利用。其中,基于机器学习的负载预测是智能电力优化的重要组成部分。通过收集和分析海量的历史数据,如业务量、用户分布、网络质量等,利用先进的机器学习算法,如支持向量机(SVM)、长短期记忆(LSTM)神经网络等,建立高精度的负载预测模型。这些模型能够捕捉负载变化的时空特征,对未来一段时间内的基站负载进行精准预估。基于负载预测结果,电力系统可以提前调整基站资源配置,如动态调整载波数量、调度无线资源等,避免过度配置导致的能量浪费。同时,自适应功率控制也是智能电力优化技术的关键环节。根据实时的网络状态和用户需求,动态调整基站发射功率,在保证覆盖质量的同时最小化能量消耗。当业务量较低时,电力系统可以适当降低发射功率,减少不必要的能量浪费;而在高负载时段,则可以提高发射功率,满足用户的通信需求。此外,多基站协同工作也是智能电力优化技术的重要应用场景。通过基站间的负载均衡和分布式协作,可以在更大范围内优化电力资源配置,提高整个网络的能效水平。例如,在负载较低的基站间动态分配业务,关闭部分基站或进入休眠状态,从而减少总体能耗。

## 4 实验验证

#### 4.1 实验方案设计

为验证前文提出的三角支架机柜基站节能减排关键技术的有效性,本文设计了一套完整的实验方案。实验在真实的户外环境中进行,选取了具有代表性的三角支架机柜基站进行改造和测试。实验基站位于某城市郊区,周边环境相对开阔,远离高大建筑物和其他电磁干扰源。基站配置为典型的三扇区设计,每个扇区安装有4根远端射频拉远天线,天线高度为25米。机柜内安装有3G和4G基站设备,包括基带处理单元(BBU)、射频拉远单元(RRU)、传输设备等,机柜总功耗约为2.5kW。实验期间,基站维持正常的业务运行,平均业务量约为50Mbps。

实验方案的设计遵循科学性、系统性和可重复性的原则。首先,对基站进行全面的能耗监测和分析,通过功率计和数据采集系统记录基站各子系统的功耗数据,建立详细的能耗分布模型。其次,针对高能耗的子系统 and 环节,分别应用高效能

电源转换技术、被动散热管理技术和智能电力优化技术进行改造和优化。在电源系统方面,更换高效电源模块,提高电源转换效率;在散热系统方面,优化机柜内部布局,增加被动散热元件,改善散热效果;在电力优化方面,部署智能电力管理系统,实现负载预测和自适应功率控制。同时,设置对照组,保持原有的系统配置和管理方式不变,用于比较和评估节能减排技术的实际效果。实验评价指标包括:电源转换效率、机柜温度分布、基站负载预测准确率、自适应功率控制响应时间等。通过对实验数据的统计分析和比较,全面评估各项节能减排技术的应用效果,为后续的优化完善提供数据支撑和决策依据。

#### 4.2 实验结果分析

通过为期3个月的实验测试和数据分析,本文所提出的三角支架机柜基站节能减排关键技术取得了显著的效果。实验中设置了对照组,保持原有的系统配置和管理方式不变,用于比较和评估节能减排技术的实际效果。实验结果表明(见表1),与对照组相比,应用高效能电源转换技术、被动散热管理技术和智能电力优化技术后,实验组的能耗降低率达到了17.4%,电源转换效率提高了6.3%,机柜内部的平均温度降低了7.1°C,基站负载预测的准确率提高了14.7%,自适应功率控制的响应时间缩短了65.8%。表3给出了实验期间对照组和实验组各项性能指标的对比统计。从表中可以看出,实验组在各项指标上均取得了显著的改善,证明了本文提出的节能减排关键技术的有效性。综合实验数据分析,三角支架机柜基站节能减排关键技术在实际应用中取得了预期的效果,验证了技术方案的可行性和优越性。与传统的配置和管理方式相比,该技术在能耗降低、电源效率提升、散热改善、负载预测和功率控制等方面都展现出了明显的优势,为后续在更大范围内推广和应用奠定了坚实的基础,对于推动通信行业的节能减排和可持续发展具有重要意义。

表1 实验结果

指标	对照组	实验组	优化幅度
电源转换效率(%)	90.2	96.5	6.3%
机柜平均温度(°C)	45.3	38.2	-7.1°C
基站负载预测准确率(%)	80.4	95.1	14.7%
自适应功率控制响应时间(ms)	783	268	-65.8%

#### 5 结语

本文全面分析了室外带三角支架机柜基站的能耗问题,深入研究了高效能电源转换、被动散热管理和智能电力优化等关键节能减排技术。通过实验验证,证实了这些技术在实际应用中的显著效果,为运营商降低能耗、实现绿色通信提供了可行的解决方案。展望未来,随着5G等新一代通信技术的加速部署,基站能耗问题将日益突出。同时,国家碳达峰、碳中和目标的提出,也对通信行业的节能减排提出了更高要求。在此背景下,运营商需要与设备商、科研机构等加强合作,加大节能减排技术的研发和应用力度,推动基站能效水平的持续提升。同时,积极探索新材料、新工艺、新架构,从多个维度挖掘节能潜力,为实现绿色、低碳、可持续的通信网络演进贡献力量。

#### [参考文献]

- [1]崔四齐,张毅,白静,等.通信基站用空调热管一体化设备性能测试及适用性研究[J].建筑科学,2024,40(02):94-99+119.
- [2]崔四齐,张毅,白静,等.通信户外机柜用温控设备节能措施及运行效果分析[J].流体机械,2024,52(01):90-95+104.
- [3]张毅,崔四齐,白静,等.通信机柜用空调热管一体化设备过渡季性能实测研究[J/OL].制冷学报,1-10[2024-06-22].
- [4]张晟,朱琳.通信基站新风技术应用优化分析[J].电信工程技术与标准化,2023,36(S1):241-246.
- [5]虎佐翰,王振,艾兴华.室外带三角支架迷你机柜基站节能减排研究[J].电信工程技术与标准化,2023,36(S1):342-344.