

5G/6G基站电源基础设施中通信大数据驱动的 能耗分析与智能供能策略

傅海波

福建省邮电工程有限公司 福建 福州 362000

摘要: 5G/6G基站功耗远超前代,对电源系统提出更高要求。本文剖析基站电源基础设施架构,阐述通信大数据内涵及在能耗分析中的适用性,解析基站能耗构成,挖掘能耗影响因素,构建分析模型,并设计通信大数据驱动的智能供能策略,包括电源动态调节、多能源协同、基站休眠与唤醒控制,以实现基站节能高效运行。

关键词: 5G/6G基站;通信大数据;能耗分析;智能供能

引言:随着通信技术向5G/6G迈进,基站是网络至关重要的组成部分,是用户接入的基石,其电源基础设施面临新的挑战。5G/6G基站单站功耗大幅上升,功耗波动加剧,对供电稳定性要求更高。通信大数据蕴含基站运行和用户通信交互等信息,为能耗分析与智能供能策略制定提供了新途径。深入探究通信大数据在基站电源领域的应用,对提升基站运行效率、降低能耗具有重要意义。

1 5G/6G 基站电源基础设施剖析

1.1 架构组成与工作原理概述

交流供电系统架构以市电输入为起点,经低压配电屏分配后接入电源转换设备。系统包含防雷模块,可抵御瞬时过电压冲击,保障后续设备安全^[1]。直流供电系统由整流器、蓄电池组和直流配电单元构成,整流器将交流电转换为稳定直流电,满足基站主设备运行需求。蓄电池组作为后备电源,能在市电中断时快速切换供电,维持基站短时运行,其容量设计需结合基站关键设备的最低运行时长需求。电源转换设备中,整流器通过功率因数校正电路提升电能利用效率,其输出电压可根据负载变化微调,保持稳定。直流配电单元通过多回路设计,将电能分配至不同设备,各回路设有过载保护装置,避免单一设备故障影响整体供电。交流与直流系统通过转换开关连接,切换过程中采用无缝过渡技术,防止供电中断导致设备重启。转换设备还内置智能监控模块,可实时采集电压、电流等运行参数,为能耗分析提供基础数据,模块运行状态也会被实时监测,确保数据采集的连续性。这些监控数据通过内部总线传输至基站管理系统,形成完整的能耗监测链路。

1.2 与4G及前代基站电源设施差异对比

功率需求变化特征表现为,5G/6G基站单站功耗显著上升,主要源于大规模天线阵列和更高频段设备部署。

行业实测显示,5G宏基站单站平均功耗4000-6000W,是4G基站的2-3倍,以某城区5G宏基站为例,其峰值功耗达5800W,而周边同覆盖范围的4G基站峰值功耗仅2100W,毫米波微基站功耗可达8000W以上。这些设备需持续维持较高功率输出,即使业务低谷期,基础功耗也高于前代,且功耗波动幅度更大,业务高峰时功率需求短时间内快速攀升,波动幅度达30%-50%,对电源系统动态响应能力要求更高,功率余量设计需考虑这一特性。供电稳定性要求差异明显,5G/6G基站对电压波动更敏感,允许偏差范围缩小至 $\pm 2\%$,而4G基站通常为 $\pm 5\%$,需电源系统提供更高精度电压控制。前代基站允许的瞬时断电时间无法满足需求,4G基站可耐受50ms以内断电,5G基站则要求后备电源切换时间小于10ms。因部署密度增加,电源设施需适应更复杂环境,抗电磁干扰和散热性能需强化,设备外壳防护等级从4G的IP54提升至5G的IP65,以应对粉尘和湿度影响。电源系统的模块化设计程度也显著提升,模块更换时间从4G基站的2小时缩短至30分钟以内,便于快速更换故障部件,减少维护停机时间。

2 通信大数据基础及在基站能耗领域适用性

2.1 通信大数据内涵及来源梳理

通信大数据涵盖基站运行产生的设备状态数据、用户通信交互信息等,这些数据共同构成分析能耗的基础^[2]。基站运行状态数据通过设备内置传感器获取,包括电源输出参数、温度湿度等环境数据,经内部通信模块传输至数据中心,电源管理系统也会实时记录电压电流波动、设备开关状态等信息,形成连续的运行数据流。用户通信行为数据依托网络信令监测采集,记录用户接入时段、通信时长、数据传输量等信息,通过核心网设备汇总,反映不同时段的业务负载变化,为关联能耗分析

提供依据。

2.2 通信大数据与基站能耗数据的融合技术

异构数据格式统一需通过数据转换接口实现,将电源设备的二进制运行数据、信令系统的文本数据转换为统一格式,便于后续整合分析。转换过程中需保留数据原有特征,确保信息完整性。时序数据对齐以时间戳为基准,通过插值算法填补不同来源数据的时间间隙,使运行状态数据与能耗数据在时间维度上精准匹配,关联规则构建则通过分析数据间的共现关系,建立业务负载与能耗波动的内在联系。数据清洗需过滤异常值,通过滑动窗口算法识别偏离正常范围的数据点,结合设备运行逻辑判断是否为有效数据,噪声过滤采用平滑处理技术,削弱高频干扰信号对能耗趋势分析的影响,保留真实的能耗变化特征。

2.3 大数据技术用于能耗分析可行性论证

海量数据处理技术适配性较强,分布式计算框架可并行处理大规模运行数据,突破传统计算方式的效率限制。数据存储技术能有效整合异构数据,确保运行状态与用户行为数据的完整留存,为长期能耗分析提供支撑。计算节点可根据数据量动态增减,避免资源闲置,存储系统采用分层架构,高频访问数据置于快速存储层,提升分析响应速度。数据挖掘与能耗特征提取逻辑清晰,通过聚类算法划分不同业务负载类型,识别对应能耗模式。关联分析可揭示设备运行参数与能耗之间的潜在联系,提取影响能耗的关键特征。时序分析方法能追踪能耗随时间的变化趋势,结合用户行为数据挖掘波动规律,为后续智能供能策略设计提供数据支持。算法模型可自动学习数据分布特征,无需人工预设规则,适应基站能耗的动态变化特性,提升分析结果的贴合度。

3 基于通信大数据的 5G/6G 基站能耗分析

3.1 基站能耗构成要素解析

射频单元能耗在基站总能耗中占比较高,能耗水平与发射功率直接相关,发射功率随业务负载调整,业务量增大时发射功率提升,能耗随之增加。射频单元工作频段影响能耗,更高频段信号传输需消耗更多能量以维持覆盖范围,设备老化也会导致能耗上升,长期运行后元件性能衰减会降低能量转换效率^[3]。基带处理单元能耗具有持续稳定特性,即使业务低谷期也保持一定基础功耗,因需持续处理信令信息和维持基本运行功能。业务数据处理量影响其能耗波动,数据流量激增时,基带处理单元计算负荷加重,能耗相应增长,处理算法优化程度也会改变能耗水平,高效算法能在相同处理量下减少能量消耗。电源系统自身损耗体现在电能转换和传输过

程中,整流器将交流电转换为直流电时产生能量损耗,转换效率受负载率影响,轻载或过载状态下损耗均会增加。蓄电池在充放电循环中存在能量损失,长期闲置或频繁充放电会加剧损耗程度,线缆传输过程中的电阻也会导致部分电能转化为热能而损耗。

3.2 利用大数据挖掘能耗影响因素

业务流量波动与能耗关联可通过大数据追溯,将不同时段业务流量数据与对应能耗数据比对,能发现流量峰值与能耗高峰的对应关系。短时突发流量会引发能耗快速攀升,持续稳定的流量增长则使能耗呈现渐进式上升,挖掘这种关联可明晰业务变化对能耗的动态影响。基站工作环境中,温度对能耗影响显著,环境温度过高会导致设备散热效率下降,冷却系统需消耗更多能量,进而推高整体能耗。湿度过高可能影响设备绝缘性能,增加漏电损耗,过低则可能导致设备内部元件因干燥出现接触不良,间接增加能耗,这些环境因素与能耗的关联可通过长期数据监测呈现。不同地理区域的能耗模式存在明显差异,城区基站因业务密集且设备运行负荷高,整体能耗水平高于郊区基站。山区基站受地形影响,信号传输需更大功率,能耗特性与平原地区不同,沿海地区高湿度环境也会使设备能耗呈现独特模式,大数据可整合不同区域能耗数据,提炼出具有区域特征的能耗规律。

3.3 能耗分析模型构建思路

建立预测模型需综合考虑多方面因素,历史能耗数据是模型基础,通过分析过去一段时间能耗变化趋势,可捕捉到周期性波动规律。业务量趋势是重要输入变量,结合用户行为数据预测的业务增长或下降趋势,能让模型预判能耗变化方向,设备运行状态参数也需纳入模型,如射频单元功率输出历史和基带处理单元负载记录,这些数据共同提升预测准确性。环境参数的长期影响也需融入模型,如季节交替带来的温度变化对能耗的潜在作用。异常能耗识别模型需选取关键指标,能耗偏离度是核心指标,通过对比实际能耗与预测能耗的偏差值,超出正常范围的偏差可视为异常信号。能耗波动频率也是重要参考,正常情况下能耗随业务变化呈现规律性波动,波动频率突然加快或放缓可能预示异常,设备运行参数的突变同样需作为识别指标,如电压电流异常波动往往伴随能耗异常,这些指标的组合应用能提高异常识别精准度。

4 通信大数据驱动的智能供能策略设计

4.1 电源动态调节策略

依据实时能耗数据调整供电功率,需建立数据与功

率输出的联动机制，通过持续采集基站各单元能耗信息，分析功率需求与实际供给的匹配度。负载下降时自动降低供电功率避免浪费，负载上升时及时提升功率保障设备运行^[4]。调节需平滑过渡，通过算法优化速度，使功率变化与负载波动同步，同时兼顾设备功率调节范围，避免超出额定参数，结合运行温度调整幅度，高温时放缓功率提升以降低过热风险。结合历史负载数据与实时业务信息，识别负载变化规律：低负载时段缩减冗余供电，仅维持核心设备最低需求；中高负载时段全面激活供电能力。针对突发负载增长，预留功率调节余量，预判业务峰值时间并提前调整参数，使电源输出与负载需求动态平衡。多基站协同覆盖区域可通过负载分担调整供电压力，提升匹配精准度。

4.2 多能源协同供能策略

市电与可再生能源协同模式需按供应状况灵活切换，可再生能源充足时优先利用太阳能、风能等以减少市电消耗；供应不足时自动切换至市电为主的模式。切换依托能源监测数据确保稳定，避免供电中断，通过调节转换设备运行状态充分利用自然能源。将季节特性纳入调节逻辑，如夏季增加太阳能比例，冬季侧重风能转换。储能设备承担能量缓冲与应急供电功能：可再生能源产出过剩时储存多余能量，供应不足时释放补充。依据能源供需预测管理充放电，市电电价高时优先使用储能电能以降成本，同时在能源切换间隙维持供电稳定。定期通过大数据评估储能设备健康状态，根据充放电效率调整深度，延长使用寿命。

4.3 基站休眠与唤醒智能控制

基于大数据分析的休眠、唤醒时机算法，需整合历史业务量分布、用户行为模式和实时负载数据。识别凌晨等业务低谷时段启动休眠，或采用符号级关断策略，在OFDM符号间隙关闭射频前端（每毫秒关断1400次），

可降低AAU功耗8–12%。预判高峰前提前唤醒以保障服务。算法需持续学习修正，适应业务模式变化，特殊日期业务波动规律需单独建模以防误判。在保障通信质量前提下节能，可采取分层休眠关闭非核心模块，仅保留必要信令接收与通信能力，调整信号功率和覆盖范围，关闭次要频段载波，协调相邻基站分担业务避免盲区业务分担需预设优先级保障关键通信不受影响。唤醒过程需快速激活模块恢复功能，优化启动顺序缩短过渡时间。唤醒后迅速完成网络同步确保接入请求得到即时响应，恢复时延： $< 50\text{ms}$ ，用户无感知。休眠设备需定期自检，发现故障自动唤醒报修以防故障累积。

结束语

本研究详细探讨了5G/6G基站电源基础设施中的能耗问题，并提出了一系列基于通信大数据的智能供能策略。从基站架构解析到能耗模式识别，再到动态供电调整和多元能源协同供能方案的设计，展示了如何通过科学的数据分析和先进的算法模型提高基站能效。未来的研究可以进一步探索新兴技术如人工智能、边缘计算等在基站能源管理中的应用潜力，同时考虑更加复杂多变的实际环境因素，不断优化现有的策略和技术框架，推动基站向更加绿色、可持续发展的方向发展。

参考文献

- [1] 姚志明, 张磊, 王芳等. 5G通信技术在智能制造中的应用及展望[J]. 通信技术, 2022, 54(03): 83-87.
- [2] 王瑞, 李明, 许强等. 6G时代下的物联网数据融合与传输技术挑战分析[J]. 信息科学, 2022, 36(05): 21-25.
- [3] 雷勇, 熊昊, 苟正锋, 何思远. 5G通信基站节能供电系统运行控制策略研究[J]. 水电能源科学, 2021, 39(2): 150-155.
- [4] 薛恒彬. 5G通信基站电源供电及备电策略[J]. 电气时代, 2024, (02): 12-14.