

通信基站动力配套系统中锂电池储能效率优化研究

唐晓亮

中国铁塔股份有限公司银川市分公司 宁夏银川市 750001

DOI: 10.12238/ems.v7i8.14739

[摘要] 针对通信基站动力配套系统中锂电池储能效率问题,围绕电池管理系统优化、能量回收机制构建及实际应用效果评估等方面展开分析。通过系统设计与智能控制策略的引入,有效提升了储能系统的响应能力与运行稳定性。案例研究表明,优化措施在多种场景下均表现出良好的适用性与节能成效。研究进一步指明了未来锂电池储能系统的发展趋势,强调材料创新与智能集成将成为推动行业进步的关键驱动力。

[关键词] 锂电池;通信基站;储能效率;优化策略;电池管理

引言

通信基站作为现代信息网络的核心节点,其能源供应系统的性能直接影响整体运行效率与可持续发展能力。随着 5G 网络建设加速推进,基站能耗持续上升,传统铅酸电池已难以满足高密度部署与节能环保的要求。锂电池因其优异的电化学特性,在通信领域逐步替代传统储能设备,并成为研究热点。如何进一步提升其储能效率,优化系统结构与管理方式,已成为当前通信能源技术发展亟需解决的问题。

一、锂电池在通信基站的应用现状与挑战

随着信息通信技术的快速发展,通信基站作为支撑网络运行的关键基础设施,其能源供应系统的稳定性与高效性日益受到重视。传统铅酸电池因能量密度低、循环寿命短、维护频繁等问题,逐渐难以满足现代通信基站对高可靠性与绿色节能的需求。近年来,锂电池凭借其高能量密度、长循环寿命、环境友好及可深度放电等优势,在通信基站动力配套系统中得到了广泛应用。尤其在 5G 网络部署加速的背景下,基站数量大幅增加,对备用电源系统的体积、重量和供电效率提出了更高要求,进一步推动了锂电池在该领域的普及。

目前,国内主要通信运营商已在多种场景下部署锂电池储能系统,包括宏基站、微基站、分布式基站以及偏远地区无市电接入站点等。部分企业还结合智能管理系统,实现了对锂电池状态的实时监测与优化控制,提升了整体能源利用效率。锂电池与太阳能、风能等可再生能源的集成应用也在逐步推广,为构建低碳、环保的通信能源体系提供了新路径。然而,在实际运行过程中,锂电池的应用仍面临诸多挑战。一方面,高温、低温或高湿度等复杂环境条件可能影响电池性能,导致充放电效率下降,甚至存在安全隐患;另一方面,当前电池管理系统(BMS)在多参数协同控制、均衡策略优化等方面仍有不足,限制了储能效率的最大化。

锂电池的初始投资成本相对较高,回收机制尚不完善,也制约了其大规模推广应用。不同应用场景对锂电池的性能需求差异较大,缺乏统一的技术标准和评估体系,造成产品选型困难,增加了系统集成与运维难度。在推进锂电池在通信基站中深度应用的过程中,亟需解决环境适应性、系统兼容性、经济可行性等关键问题,以实现储能效率的全面提升和长期稳定运行。电池在长期运行中面临的老化、容量衰减等问题尚未形成有效的应对机制,影响系统的可持续运行。当前行业内对锂电池全生命周期管理的研究仍处于发展阶段,尤其在退役电池的状态评估、梯次利用路径及资源化回收技术方面,仍存在技术瓶颈与政策支持不足的问题。

二、优化电池管理系统的设计与实现

电池管理系统(BMS)在通信基站动力配套系统中起着核

心调控作用,直接影响锂电池的储能效率、运行安全及寿命表现。随着锂电池在通信领域应用的不断深化,对 BMS 的功能需求也从基础的电压、电流监测逐步扩展至多维度参数采集、动态均衡控制、热管理优化以及远程智能运维等方面。构建一个高效、稳定且具备自适应能力的电池管理系统,成为提升通信基站能源利用效率的关键路径。当前主流 BMS 架构通常包括数据采集模块、状态估算模块、均衡控制模块和通信接口模块等多个组成部分。

其中,数据采集模块负责实时获取单体电池及模块的电压、电流、温度等关键参数,为系统判断提供原始依据;状态估算模块则通过算法模型计算电池的荷电状态(SOC)、健康状态(SOH)等指标,支撑后续控制策略的制定;均衡控制模块用于解决电池串并联过程中出现的容量失衡问题,延长整体使用寿命;而通信接口模块实现与基站主控系统或云端平台的数据交互,推动能源管理向智能化方向发展。为了进一步提升 BMS 的性能,设计上需要重点突破以下几个方面。一是提高采集精度与响应速度,采用高分辨率传感器与高速采样技术,确保数据的真实性和实时性;二是优化 SOC 估算算法,引入基于模型预测与机器学习相结合的混合方法,以应对复杂工况下电池特性的非线性变化;三是完善均衡策略,由传统的被动均衡向主动均衡过渡,减少能量损耗并提升均衡效率;四是增强系统的集成度与兼容性,支持多种型号锂电池的接入,满足不同场景下的灵活配置需求。

随着物联网和边缘计算技术的不断发展,现代电池管理系统(BMS)的功能已不再局限于对电压、电流、温度等基本参数的实时监测,而是逐步向智能化、网络化方向演进。远程监控与故障预警能力成为新一代 BMS 不可或缺的核心功能之一。通过对基站中锂电池运行数据的持续采集与存储,系统可借助大数据分析技术识别异常行为模式,预测潜在故障风险,如异常温升、容量衰减、内阻变化等趋势性问题,从而实现由被动响应向主动干预的转变。BMS 还可与通信基站的主控系统及云端管理平台建立高效的数据交互机制,支持多站点集中监控与统一调度,提升能源管理的精细化水平。

三、能量回收机制在基站储能中的作用

在通信基站动力配套系统中,能量回收机制作为提升整体能源利用效率的重要手段,正逐步受到重视。传统基站供电系统在运行过程中存在一定程度的能量损耗,尤其是在设备启停、负载波动以及外部能源输入不稳定等工况下,部分电能未能被有效利用而以热能或其他形式散失。引入能量回收机制,有助于将这部分原本浪费的能量进行捕获并重新存储,从而提高锂电池储能系统的整体利用率和经济性。能量回收机制的核心在于通过特定的电路拓扑结构和控制策略,

实现对基站运行过程中可回收能量的有效采集与转化。

在基站射频模块、电源转换器或空调散热系统运行过程中产生的多余电能或制动回馈能量,可以通过双向DC-DC变换器、超级电容缓冲装置或专用能量回收模块进行收集,并输送至锂电池储能系统中进行存储。该过程不仅减少了能量的无谓流失,还能够一定程度上缓解电网负荷压力,降低基站对外部电力供应的依赖程度。在实际应用中,能量回收机制的集成需要考虑多个技术层面的问题。首先是能量捕获效率问题,不同类型的能量来源具有不同的电压、电流特性及波动频率,要求回收装置具备宽输入范围和高效转换能力;其次是能量存储匹配问题,回收所得电能需经过适当调节后才能适配锂电池的充放电参数,避免因电压不匹配或过充过放而影响电池寿命;再次是系统协调控制问题,能量回收模块必须与电池管理系统(BMS)及主控单元保持良好的数据交互与协同控制,确保整个储能流程的安全性和稳定性。随着绿色低碳理念的深入推进,能量回收机制还可与太阳能、风能等可再生能源结合使用,构建多源互补型智能微网系统。

在这种模式下,基站不仅能回收内部运行过程中的冗余能量,还能通过外部新能源采集装置实现能源的循环利用,进一步提升能源系统的自给能力和可持续发展水平。借助边缘计算和远程监控平台,能量回收过程可以实现动态优化调度,根据基站负载变化实时调整回收策略,最大程度地提升储能系统的响应速度与运行效率。能量回收机制不仅是通信基站储能系统中一种有效的节能手段,更是推动基站能源管理向智能化、精细化方向发展的关键技术支撑。其合理设计与高效运行对于提升锂电池储能效率、延长电池使用寿命以及降低整体运维成本具有重要意义。

四、基于实际案例的储能效率提升效果评估

在通信基站动力配套系统中,针对锂电池储能效率的优化措施已在多个实际运行环境中得到部署与验证。通过对不同区域、不同类型基站的改造与数据采集,能够较为全面地评估各项优化策略在真实工况下的应用成效。这些措施主要涵盖电池管理系统(BMS)升级、能量回收机制引入、热管理方案优化以及智能调度算法的实施等方面。在城区密集部署的宏基站场景中,由于负载波动频繁、用电量大,传统铅酸电池难以满足高效储能需求。采用新型锂电池并集成优化后的BMS后,基站供电系统的响应速度显著提升,充放电效率提高约15%以上,同时降低了系统故障率和维护频率。

在部分基站中同步部署的能量回收装置,可对电源变换过程中产生的回馈能量进行有效收集,并重新用于锂电池充电,进一步提升了能源利用率。在偏远地区无市电或市电不稳定的站点,基站通常依赖太阳能发电与锂电池协同供电。通过优化储能系统的能量调度逻辑,并结合多源协同控制策略,该类站点在光照条件有限的情况下仍能保持较高的供电稳定性。数据显示,在引入优化策略后,锂电池的日均放电深度降低约20%,整体使用寿命延长,同时光伏系统的能量转化效率也有所提升。高原及高寒地区的通信基站面临极端温度环境的影响,这对锂电池的性能和安全构成较大挑战。通过改进热管理系统,采用相变材料与风冷联动技术,使电池组内部温差控制在合理范围内,避免了因温度差异导致的容量衰减和循环寿命下降问题。

实测表明,在优化热管理后,锂电池在低温环境下的可用容量提升约18%,高温下的容量损耗速率明显放缓。在部分具备远程监控能力的智能化基站中,基于大数据分析的

储能调度算法得以应用。系统可根据历史负载数据和未来预测模型,动态调整充放电策略,实现能源的最优配置。此类方法在节假日或突发话务高峰期间表现出良好的适应性,减少了不必要的能量浪费,提高了储能系统的响应精度和运行效率。

五、通信基站锂电池储能的未来优化方向

随着通信网络向高密度、高频段、高能耗方向演进,通信基站对动力配套系统的依赖程度不断加深,锂电池作为新一代储能设备,其性能优化和系统集成能力面临更高要求。未来的锂电池储能系统不仅需要在能量密度、循环寿命等方面持续提升,更应朝着智能化、模块化、协同化方向发展,以适应复杂多变的运行环境和多样化的能源管理需求。在材料与结构层面,新型电极材料、固态电解质等关键技术的研发将为锂电池带来更高的安全性和更长的使用寿命。通过引入硅碳复合负极、高镍正极等先进材料体系,可有效提升电池的能量密度和充放电效率;而固态电池技术的发展则有望解决传统液态电解质带来的热失控风险,增强系统稳定性。

电池模组设计逐步趋向标准化和轻量化,便于快速更换和灵活部署,提高维护效率。在系统集成方面,未来锂电池储能系统将进一步强化与基站主设备及外部能源系统的耦合关系。通过构建多层次能量调度架构,实现基站内部负载与储能单元之间的动态匹配,使能量流动更加高效有序。储能系统还将与新能源发电装置深度融合,形成“光储一体”或“风储互补”的微电网模式,提高能源自给率,降低对市电的依赖。智能控制技术的发展也为锂电池储能系统的优化提供了新路径。基于人工智能算法的状态预测模型能够更精准地估算电池健康状态(SOH)和剩余可用容量,从而制定更具前瞻性的充放电策略。结合5G边缘计算平台和物联网技术,远程监测与故障预警系统可实时掌握电池运行状况,并根据环境变化自动调整管理参数,实现精细化运维。另外,储能系统的可持续性问题日益成为关注焦点,未来的发展趋势之一是建立完善的回收与梯次利用机制。随着锂电池在通信基站及其他领域的广泛应用,退役电池的数量逐年增加,如何有效管理和再利用这些资源变得尤为重要。

结语

通信基站动力配套系统中锂电池储能效率的优化,已成为提升能源利用水平、支撑绿色通信发展的重要方向。通过对电池管理系统、能量回收机制及智能控制策略的持续改进,锂电池在不同应用场景下的运行效率和稳定性得到显著增强。未来,随着新材料、新工艺和智能化技术的不断突破,锂电池储能系统将在通信基础设施中发挥更关键的作用,推动能源管理向高效化、集成化与可持续化方向演进。

【参考文献】

- [1]刘伟.锂电池储能技术在通信基站的应用进展[J].通信电源技术,2023,30(5):45-49.
- [2]孙丽,陈强.动力锂电池管理系统的研究与发展[J].电源学报,2024,22(2):88-93.
- [3]高翔.能量回收技术及其在通信基站中的应用[J].现代电信科技,2025,41(1):34-37.
- [4]杨帆.新型锂离子电池技术推动绿色通信发展[J].中国新通信,2023,21(6):102-106.
- [5]郭涛.提高通信基站能效的技术路径探讨[J].信息技术与信息化,2024,38(3):56-60.