

降低爆破产生的冲击则是另一种策略。通过预裂爆破的应用,可以有效减缓岩体的整体性破坏。预裂爆破在主爆之前形成裂缝,引导爆破波的传播路径,从而减少震动的传递。预裂爆破通常与缓慢升阶技术结合使用,以优化爆破效果并减少震动扰动。

控制爆破震动还需要控制炸药的用量和布置方式。采用小药量爆破技术,通过减少每次爆破的炸药量,可以显著降低爆破震动。增加爆炸点的数量并适当设置间隔,可以分散爆炸能量,使得震动影响更加均匀且缓和。药量的精准控制是一种技术性的考量,其能有效调节爆破强度,进而优化震动效应。

保护性爆破技术,作为重要的创新方法,在实际应用中得到积极推广。此种技术通过改变传统爆破的方式,如使用柔性炸药和先进炸药布置技术,来限制震动能量传输。柔性炸药能够减少炸药与周围介质的直接接触面积,降低震动传递效率。优化炸药排列方式使得每批次爆破的能量释放更加均衡,进一步减少震动影响。

上述爆破技术在实际操作中,不仅需要科学的技术理论支持,更需通过现代化的技术手段来实施。在实施这些技术过程中,应充分考虑矿山的地理条件、岩体性质以及环境限制,以确保爆破作业的安全性与环保性。通过实时监测设备,实现对震动效应的动态评估,加深对爆破技术选择及实施效果的认识,从而最终确保露天矿山的安全、高效作业与生态环保。控制技术的发展和创,使得露天矿山的爆破震动控制迈向精细化、智能化,保障矿山作业整体安全与可持续发展。

5 露天矿山爆破震动的实时监控

5.1 采用现代测量设备

露天矿山爆破震动的实时监控对于确保矿山安全生产至关重要。现代测量设备的采用显著提高了爆破震动的检测和分析能力。地震检波器是当前广泛应用的设备之一,它能够生成高精度震动数据并对爆破过程中的震动波形进行详细分析。数据采集系统的结合则使得所测得的数据能够被迅速收录、传输和处理。三轴向震动传感器作为另一关键设备,可测量震动的三个不同方向,进而提供全面的震动特性数据,使爆破震动的监控更加精准。激光测距仪在实时测量中也发挥了作用,它不仅可以监测爆炸后的位移变化,还能进行精确的空间定位。全站仪利用其精确的定位和测量能力,为危险区域的动态监控提供了可靠的技术支持。有这些现代设备的支持,露天矿山爆破震动监控的及时性和准确性得到极大提升,为优化爆破设计和减少不利影响提供了科学依

据。通过这些技术手段,震动监测呈现出更为动态和全面的特征,使安全生产水平进一步提高。

5.2 利用监控技术

在露天矿山爆破震动的监控中,监控技术的应用能够有效提升震动数据的获取和分析能力。通过部署地震传感器和加速度计等高精度监测设备,实时捕捉震动波的频率、幅度等特征参数,确保对爆破过程中的震动情况进行全面监测。利用无线传输和数据云存储技术,能够实现远程数据收集和分析,为及时调整爆破方案和采取预防措施提供科学依据。结合地理信息系统(GIS)和数据分析软件,可对震动场进行可视化处理,有助于更直观地评估爆破对环境的影响。通过上述技术手段的应用,能够显著提升露天矿山的安全管理水平,并为制定高效的震动控制策略奠定基础。

5.3 预防性措施的设定及实施

在露天矿山爆破作业中,为减少爆破震动的影响,设定并实施预防性措施是保障矿山安全的重要手段。这些措施包括制定详细的作业计划和震动监测方案。通过合理安排爆破时间,避开高风险时段,能有效减少对周边环境的影响。加强人员培训,提高作业人员对震动风险的认知与应对能力,确保紧急状况时能够迅速反应。建立完善的预警系统,通过实时监控数据的分析,提前识别可能的震动风险,并及时采取措施进行调整和防护。预防性措施的有效执行可显著提升矿山作业的安全性,减少震动对环境和设施的潜在威胁。

6 结语

本研究通过深入探讨了露天矿山爆破震动的产生原理和传播规律,系统地分析了不同因素对爆破震动影响的作用,并通过优化爆破参数及技术措施,显著减小了爆破震动的影响。目前对爆破震动控制效果的实时监控技术还存在一定的局限,需要开发更高精度、更实用的监测设备和方法。未来的研究需要继续深化对爆破震动控制机理的认识,特别是在不同地质条件下的爆破震动特性研究。同时,还应致力于开发新型的爆破技术和监测工具,以提高爆破震动控制的效果和实时监测的精度。

参考文献

- [1] 李想.露天矿山爆破震动控制技术分析[J].中国金属通报,2021(12):35-36.
- [2] 杨广亮.降低露天矿山爆破震动危害技术[J].中国科技期刊数据库 工业A,2020(07).
- [3] 周其江,钱旭林,张进涛,韩金潮.露天矿山爆破震动控制技术的综合评价[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2020(09).

Research on cooperative power supply strategy of port shore power system and distributed photovoltaic / wind power

Hengyi Liang

Guangxi Beibu Gulf International Container Terminal Co., Ltd., Qinzhou, Guangxi, 535000, China

Abstract

Port is the core node of the global logistics network, but now the pollution problem caused by traditional ship fuel power supply is becoming more and more prominent. Driven by the stricter emission standards of the International Maritime Organization and the goal of “double carbon,” the port shore power system is accelerating. However, there is still the limitation of indirect transfer of carbon emissions. At the same time, the large-scale application of distributed photovoltaic, wind power and other renewable energy in the port area provides a new direction for the optimization of port energy structure. How to realize the efficient coordination of shore power system and wind and solar energy has become the key research direction of industry development. This paper explores the coordinated power supply strategy of port shore power system and distributed photovoltaic and wind power, hoping to provide some research help for the development of its industry technology.

Keywords

port shore power system; distributed photovoltaic / wind power system; collaborative power supply; strategy exploration

港口岸电系统与分布式光伏 / 风电的协同供电策略研究

梁恒溢

广西北部湾国际集装箱码头有限公司，中国 · 广西 钦州 535000

摘 要

港口作为全球物流网络的核心节点，但现在传统船舶燃油供电带来的污染问题日益突出，在国际海事组织的排放标准趋严及“双碳”目标驱动下，港口岸电系统加速普及，然而岸电依赖电网供电仍存在碳排放间接转移的局限性。与此同时，分布式光伏、风电等可再生能源在港区的规模化应用，为港口能源结构优化提供了新方向。如何实现岸电系统与风光能源的高效协同，已然成为如今行业发展的关键研究方向。本文就对港口岸电系统与分布式光伏、风电的协同供电策略展开探究，希望能够对其行业技术发展提供一定的研究帮助。

关键词

港口岸电系统；分布式光伏/风电系统；协同供电；策略探究

1 引言

港口岸电系统作为船舶靠港期间替代传统燃油发电的清洁供电方式，与分布式光伏 / 风电等可再生能源的协同应用，是推动港口低碳化转型的关键路径。本文分析了协同供电模式的特点与难点，并提出以智能调度及储能集成等相关的技术措施，希望以此能够有效降低港口的碳排放与运营成本，为港口绿色化发展提供理论支撑。

2 协同供电的特点与难点

2.1 能源供需的时空不匹配

分布式光伏发电完全依赖日照条件，其出力曲线呈现

明显的昼夜周期性变化，通常在正午时段达到峰值，而在夜间出力为零；风电则受气象条件影响更大，不仅存在日内波动，还可能面临持续数日的低风速天气，导致发电量锐减。相比之下，港口岸电系统的负荷需求具有相对稳定的特点，船舶靠港作业期间的电力需求往往持续且集中，特别是在集装箱装卸或冷链物流等场景下，供电中断或电压波动可能直接导致作业停滞，造成重大经济损失。一般来说大型集装箱码头在船舶接驳期间需维持 3-6MW 的稳定负荷，而大多数的光伏电站出力高峰出现在午间 12 点至 14 点，与晚间的船舶靠港高峰期完全错位，此类时间维度的不匹配使得光伏发电无法直接满足岸电需求，必须通过储能系统或电网调峰进行补充^[1]。并且季节性差异也进一步加剧了供需矛盾，如我国南方港口冬季日照时间短且风力强，而夏季则可能面临连续阴雨天气，导致可再生能源出力与港口作业旺季的电力需求难以同步。

【作者简介】梁恒溢（1992-），男，壮族，中国广西钦州人，本科，工程师，从事新能源发电技术、智能电网与新型电力系统、港口水运供配电系统研究。

2.2 系统兼容性挑战

从系统架构来看,现代港口岸电需要同时支持多种电压制式,只有这样才能满足不同吨位船舶的多样化用电需求,然而分布式光伏发电通过逆变器输出的通常是 380V 或 690V 交流电,风电则多采用 690V 或 1kV 交流输出,此类电源特性与岸电系统的多制式需求之间存在明显的接口不匹配问题。更为复杂的是,可再生能源的间歇性发电特性通过逆变器并网时,会引入一系列电能质量问题:首先是谐波污染,光伏逆变器开关器件的高频动作会产生 5 到 7 次等特征谐波,这会造成电流波形畸变,实测数据显示某些港口光伏并网点的总谐波畸变率可能超过 8%,远超 IEEE Std 519-2014 规定的 5% 限值;然后是电压波动与闪变问题,当风速突变导致风机出力在秒级时间尺度上发生 10%~15% 的功率波动时,会引起公共连接点电压偏差超过 $\pm 10\%$ 的允许范围,直接影响精密装卸设备的正常运行;还有就是频率稳定的问题,当可再生能源渗透率达到 30% 以上时,系统的惯性响应能力会进一步下降,在负荷突变情况下可能出现 0.5Hz 以上的频率偏移^[2]。并且如此多的兼容性问题还会在港口特殊环境中被进一步放大,港口区域通常存在大量变频驱动的门吊等大功率非线性负载,其运行产生的背景谐波与可再生能源并网谐波相互叠加,形成复杂的谐波谐振现象,某沿海港口的实测案例显示,在特定工况下谐波电压放大倍数可达 3~5 倍,更严重的甚至会威胁到电气设备绝缘寿命。

2.3 投资成本压力

完整的协同供电系统需要包含三大核心投资板块:首先是可再生能源发电设施,以典型的 10MW 级港口光伏电站为例,包含光伏组件、支架系统以及逆变设备等在内的单位投资成本约为 4~5 元/W,总投资额达到 4000 万~5000 万元;随后是储能系统的配套建设,考虑到港口需要同时满足调峰与应急供电的需求,一般需配置 2~4 小时的储能容量,按照当前主流磷酸铁锂电池储能系统 1.6~2.0 元/Wh 的价格计算,10MWh 储能系统的投资约为 1600 万~2000 万元;还有智能管理系统的开发部署,包括能源管理系统以及智能调度平台等软件系统,此类智能化改造的投资规模通常在 500 万~800 万元区间。以广西北部湾钦州港为例,其岸电系统需要同时满足 6.6kV/60Hz 或 6kV/50Hz 高压以及 380~400V 低压两种供电标准,为此必须配置具备自动切换功能的双绕组变压器还有多功能整流逆变装置等系统,这便造成单位功率建设成本比单一制式岸电高出 30%~40%,单个泊位的改造费用超过 300 万元。除了直接成本以外,协同供电系统还面临着可观的隐性成本,在电网接入方面,当可再生能源渗透率超过 25% 时需要升级港口变电站的并网设备,其改造费用可能达到 500 万~1000 万元;运营维护方面,多能互补系统的年维护成本约为初始投资的 2%~3%,远高于传统供电系统 1% 左右的水平。从全生命周期成本角

度分析,虽然协同供电系统在后期运营中能节省可观的燃油替代费用与碳减排收益,但较长的投资回收期仍然会对港口企业的资金周转造成较大压力。

3 解决方案与技术措施

3.1 多能源互补与智能调度

3.1.1 动态负荷匹配

动态负荷匹配需要通过多层次的技术体系来实现,在感知层方面,需要建立全覆盖的物联网监测网络,通过在光伏阵列部署辐照度传感器,在风机安装振动监测装置,在配电节点配置电能质量分析仪,以及在各泊位设置负荷监测终端,形成分钟级精度的全系统数据采集能力;在数据处理层,需采用混合预测算法模型,将物理模型与机器学习相结合,对于光伏发电预测,要采用结合数值天气预报的 LSTM 神经网络模型,可实现未来 72 小时发电功率预测误差小于 8%,对于风电预测则应用基于 SCADA 数据的时间序列分析与极端梯度提升的组合算法,将超短期预测精度提升至 90% 以上;在决策优化层,需要开发多目标动态调度算法,该算法需同时考虑经济性环保目标,采用改进的粒子群优化算法进行求解;在执行控制层要构建分级控制系统,上层能源管理系统负责制定调度计划,中层区域控制器实现功率分配,底层设备控制器执行具体操作指令,通过 OPC UA 通信协议确保各层级间的实时数据交互,控制响应时间控制在 200ms 以内^[3]。

3.1.2 混合储能系统

当前主流的“电池+氢能”组合储能方案,在技术架构上形成了四级储能体系:超级电容应对秒级至分钟级的瞬时功率波动;锂离子电池处理分钟级至小时级的能量调节;氢能储能系统解决数小时至数日的长时调峰需求;而季节性储氢则可应对风光资源在季度尺度上的不均衡分布。以青岛港的示范项目为例,该系统整合了 2MW/4MWh 的磷酸铁锂电池,1MW 的质子交换膜电解槽,200kg 的固态储氢装置以及 500kW 的燃料电池,实现了对港口 10MW 风光装机容量的全时段平滑输出。在技术集成方面,该项目创新性地将岸电整流装置与储能变流器共用一套功率转换系统,通过智能切换开关实现不同工作模式的自动转换,此设计不仅节省了约 30% 的设备投资,还将关键设备的利用率从传统方案的 60% 提升至 85% 以上。系统运行数据显示,混合储能方案可将可再生能源的弃电率从 15% 降至 5% 以下,同时通过参与电网辅助服务获得的额外收益可达项目总收入的 12%~15%。从技术经济性角度看,虽然氢能系统的初始投资较高,但其 20 年以上的使用寿命及其近乎无限的循环次数使其全生命周期成本反而低于单纯扩建电池储能。

3.2 多制式兼容与柔性并网技术

3.2.1 变频变压装置

现代港口对岸电系统的要求日益复杂,既要满足国际