

电网侧储能电站监控系统体系架构及关键技术

滕卓男¹ 惠敬一²

1. 许继电气股份有限公司 河南 许昌 461000

2. 河南源网荷储电气研究院有限公司 河南 许昌 461000

摘要: 随着新能源并网规模扩大,电网侧储能电站在电力系统稳定与调峰调频中作用关键。其监控系统涵盖感知、网络、平台与应用多层架构,通过传感器采集数据,经网络传输至平台分析处理,最终在应用层实现储能电站高效管理。电池管理、能量优化调度等关键技术保障储能电站安全、经济运行。各层级架构协同运作与核心技术突破,为提升电网侧储能电站性能、推动新型电力系统建设提供有力支撑。

关键词: 电网侧储能电站;监控系统;体系架构;关键技术

引言

在“双碳”目标驱动下,新能源发电装机容量快速增长,电网侧储能电站成为保障电力系统安全稳定运行、促进新能源消纳的关键设施。监控系统作为储能电站的核心组成部分,其体系架构设计与关键技术应用直接影响储能电站运行效能。本文聚焦电网侧储能电站监控系统,深入剖析感知层、网络层等多层架构的功能特性,探讨电池管理、能量优化调度等核心技术,旨在为提升储能电站智能化管理水平、推动电力系统低碳转型提供理论与技术参考。

1 电网侧储能电站监控系统概述

电网侧储能电站监控系统作为保障储能电站安全、高效运行的核心技术支撑,集数据采集、分析处理、控制决策等功能于一体,通过多源信息融合实现对储能电站全生命周期的智能化管理。该系统依托高精度传感器与智能终端,实时采集储能电站内电池组、变流器、变压器等关键设备的运行参数,涵盖电压、电流、温度、充放电状态等海量数据,为系统分析提供详实的数据基础。基于先进的通信网络架构,监控系统将采集到的数据快速、稳定地传输至中央控制单元。数据传输过程采用冗余设计与加密技术,保障数据完整性和安全性。中央控制单元运用边缘计算与云计算相结合的处理模式,对实时数据进行深度分析,通过构建复杂的数学模型和算法,实现对储能电站运行状态的精准评估,包括电池健康状态(SOH)、剩余容量(SOC)的准确估算,以及对潜在故障的早期预警。在控制决策层面,电网侧储能电站监控系统依据分析结果,协同优化控制策略。通过对储能电站充放电功率、充放电时间的精准调控,实现与电网运行需求的高效匹配,提升电网调峰、调频能力,增强电网稳定性和可靠性。系统具备自主学习与自

适应能力,可根据不同的运行场景和工况,动态调整控制参数,确保储能电站始终保持最优运行状态。监控系统还具备可视化交互界面,以直观的图表、图形展示储能电站运行全貌,方便运维人员实时掌握设备运行状况和电网互动情况。通过远程控制功能,运维人员可在远端对储能电站设备进行操作与维护,极大提高运维效率,降低人力成本,为电网侧储能电站的安全稳定运行与经济效益最大化提供有力保障。

2 电网侧储能电站监控系统体系架构

2.1 感知层

(1) 感知层作为电网侧储能电站监控系统的基础单元,承担着物理世界与数字世界交互的关键角色,通过部署各类传感器实现对储能电站运行状态的实时数据采集。电压、电流传感器精准捕捉储能电池组的电气参数,其测量精度达0.2级,确保功率输出波动等细微变化均能被及时感知;温度传感器采用分布式光纤测温技术,沿电池簇布置形成三维温度监测网络,可实现毫米级空间分辨率与0.1℃温度分辨率,有效预警热失控风险。

(2) 设备状态感知方面,振动传感器与局部放电监测装置协同工作,前者通过加速度计捕捉储能变流器(PCS)机械部件的振动频谱,经FFT算法分析轴承磨损、齿轮箱故障等异常;后者基于特高频检测技术,实时监测电池组及电气设备内部的局部放电信号,提前发现绝缘劣化隐患。(3) 环境感知系统整合温湿度、烟雾、气体浓度等传感器,构建多维环境监测体系。温湿度传感器采用数字式温湿度复合探头,具备自动校准功能,确保环境参数测量误差在 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 与 $\pm 2\%\text{RH}$ 以内;烟雾传感器基于红外散射原理,可在烟雾浓度达到0.01dB/m时触发预警,为储能电站安全运行提供基础数据支撑^[1]。

2.2 网络层

(1) 网络层构建起感知层数据与上层系统间的通信桥梁,采用分层分布式架构实现数据的可靠传输与高效处理。现场总线网络以Modbus TCP/RTU、CAN总线为基础,连接储能电池管理系统(BMS)、PCS及传感器节点,通过冗余通信链路设计,确保数据传输可靠性达99.99%。工业以太网作为主干网络,采用IEEE 802.3协议实现百兆/千兆带宽传输,配合VLAN划分与QoS机制,保障关键控制指令与实时监测数据的优先传输。(2) 无线网络在网络层中承担补充与应急通信功能,4G/5G通信模块作为备用通道,在有线网络故障时自动切换,确保数据不间断传输;低功耗广域网(LPWAN)技术用于环境监测等低速率数据传输,LoRaWAN协议支持的终端节点可实现15公里远距离通信,有效降低系统功耗。(3) 网络安全防护贯穿整个网络层,通过部署工业防火墙、入侵检测系统(IDS)及数据加密模块,实现边界防护与数据传输加密。防火墙采用深度包检测(DPI)技术,对Modbus、IEC 61850等工业协议进行解析过滤;SSL/TLS加密协议确保数据在传输过程中防窃取、防篡改,保障监控系统网络通信的安全性与稳定性。

2.3 平台层

(1) 平台层作为储能电站监控系统的数据中枢与智能核心,基于云计算技术构建弹性可扩展的服务平台。分布式存储系统采用Ceph分布式文件系统,支持PB级数据存储,通过多副本冗余机制实现数据高可用性;实时数据库采用时序数据库技术,凭借其高效架构与优化算法,支持每秒百万级数据写入与查询,精准满足储能电站海量实时数据的存储与快速检索需求。(2) 数据处理模块集成大数据分析引擎,对采集的多维异构数据进行清洗、转换与聚合处理。通过流计算技术实时处理电池充放电曲线、电网功率波动等动态数据,采用机器学习算法对电池健康状态(SOH)进行预测,预测精度可达95%以上;数据挖掘算法从历史运行数据中提取设备运行规律,为优化控制策略提供数据支撑。(3) 平台层提供统一的API接口与服务总线,实现与储能电站能量管理系统(EMS)、电网调度系统的无缝对接。微服务架构将数据服务、分析服务、通信服务等功能模块解耦,支持快速部署与灵活扩展,通过服务编排技术实现跨系统业务协同,为上层应用提供标准化、规范化的数据服务与业务逻辑支撑^[2]。

2.4 应用层

(1) 应用层面向储能电站运维、调度与优化等业务需求,构建可视化、智能化的功能模块体系。实时监控应用通过三维可视化技术,将储能电站设备布局、运行

参数以直观界面呈现,支持多视角、多维度的设备状态查看;报警管理模块采用分级分类策略,对温度异常、电压越限等告警信息进行智能过滤与关联分析,提升运维人员故障处置效率。(2) 优化控制应用基于模型预测控制(MPC)算法,结合电网负荷预测与电价信息,制定储能电站充放电策略。通过滚动优化方式动态调整充放电功率,在保障电网稳定性的同时实现储能电站经济效益最大化;设备健康管理应用利用深度学习算法对设备故障进行诊断与预测,建立故障预测模型,提前规划检修计划,降低设备非计划停机风险。(3) 数据分析应用提供多维度报表与决策支持工具,通过数据可视化技术将储能电站运行效率、收益情况等关键指标以图表形式呈现;智能决策模块基于专家系统与优化算法,对电网运行工况变化、市场电价波动等场景进行模拟分析,为储能电站运营策略制定提供科学依据,实现储能电站全生命周期智能化管理。

3 电网侧储能电站监控系统关键技术

3.1 电池管理技术

电池管理技术是电网侧储能电站实现安全、高效运行的核心支撑,通过对电池组全生命周期状态的精准管控,确保储能系统性能稳定。该技术基于传感器网络实时采集电池电压、电流、温度等关键参数,运用高精度算法解析数据,构建电池状态模型。荷电状态(SoC)估计作为电池管理的核心功能,综合安时积分法、卡尔曼滤波、神经网络等算法优势,消除累计误差并适应复杂工况,将估算精度提升至95%以上,为储能电站充放电策略制定提供可靠依据。健康状态(SoH)评估通过分析电池容量衰减与内阻变化趋势,预测电池剩余寿命,结合热管理系统优化电池工作温度场,避免局部过热引发性能衰减与安全隐患。主动均衡技术在电池组运行过程中,依据单体电池参数差异,采用能量转移型均衡电路,动态调整电池间荷电状态,降低单体电压离散度,有效提升电池组整体性能与使用寿命。电池管理系统与储能电站监控平台深度集成,实现数据实时交互与远程控制,确保电池系统在不同工况下均能保持最优运行状态。

3.2 能量优化调度技术

能量优化调度技术以提升电网侧储能电站综合效益为目标,基于电力系统运行特性与储能设备物理约束,构建多目标优化模型。该技术融合气象预测、负荷预测及电网运行状态数据,运用模型预测控制(MPC)、粒子群优化(PSO)等智能算法,动态生成储能系统充放电策略。在电网调峰场景中,通过分析峰谷电价差与负荷

曲线,制定最优充放电计划,实现储能电站经济收益最大化;在频率调节任务中,依据电网频率波动特性,快速响应并输出精准功率调节指令,维持系统频率稳定。多时间尺度协调控制是能量优化调度的关键,分钟级短期调度用于应对电网实时功率波动,小时级长期调度则结合新能源发电预测与负荷预测,优化储能系统充放电计划。考虑到储能电站与新能源发电、电网负荷的耦合关系,能量优化调度技术通过建立联合运行模型,实现新能源消纳与电网稳定性的协同提升。在分布式储能集群场景下,采用分层控制架构,通过集中控制层与本地控制层的协同,实现多储能电站间的功率分配优化,提升储能资源利用效率与电网调节能力^[3]。

3.3 故障诊断与预警技术

故障诊断与预警技术通过对储能电站运行数据的深度挖掘,实现设备异常状态的早期识别与风险预警。该技术基于多源数据融合,将电池参数、电气参数、环境参数等信息通过数据预处理与特征提取,构建故障诊断特征向量。利用深度学习算法如卷积神经网络(CNN)与长短期记忆网络(LSTM),建立故障诊断模型,实现对电池热失控、电池组短路、功率变换系统故障等复杂故障的精准识别。早期预警机制基于设备运行状态的趋势分析,通过设置动态阈值与健康指标,在故障发生前触发预警信号。例如,针对电池热失控风险,实时监测电池温度梯度与温升速率,结合热失控预警模型,提前数小时发出警报,为运维人员预留处置时间。故障定位技术采用拓扑分析与信号溯源算法,在系统发生故障时快速定位故障点,缩小故障范围,减少故障修复时间。故障诊断与预警系统通过与储能电站监控平台联动,实现故障信息自动上报与处置流程闭环管理,提升储能电站运行可靠性与应急响应能力。

3.4 信息安全防护技术

信息安全防护技术是保障电网侧储能电站稳定运行的关键屏障,通过构建多层次防护体系,抵御网络攻击与数据泄露风险。在物理层防护方面,采用隔离装置与

单向通信设备,切断非授权网络连接,防止外部非法入侵。网络层防护基于工业防火墙、入侵检测系统(IDS)与入侵防御系统(IPS),实时监测网络流量,识别并阻断异常通信行为,抵御病毒、木马等恶意程序传播。应用层安全通过身份认证、访问控制与数据加密技术,确保只有授权用户可访问储能电站监控系统,防止数据篡改与非法获取。在数据传输过程中,采用国密算法对敏感数据进行加密处理,结合数字签名技术保证数据完整性与抗抵赖性。针对储能电站监控系统的智能化特性,采用零信任架构,对每次访问请求进行动态身份验证与权限评估,实现最小权限访问控制。建立安全态势感知平台,通过收集与分析网络安全日志,运用人工智能算法预测潜在安全威胁,及时调整防护策略,保障储能电站信息系统安全稳定运行^[4]。

结束语

综上所述,电网侧储能电站监控系统凭借科学的体系架构与先进的关键技术,实现了对储能电站的全面监测与高效管理。感知层、网络层等多层架构的协同运作确保数据精准采集与可靠传输,电池管理等关键技术有效提升储能电站安全性与经济性。然而,面对新能源快速发展的复杂需求,未来需持续优化监控系统架构,深化关键技术创新,增强储能电站与电网的协同能力,为新型电力系统建设筑牢技术根基。

参考文献

- [1]彭志强,卜强生,袁宇波,等.电网侧储能电站监控系统体系架构及关键技术[J].电力系统保护与控制,2020,48(10):61-70.
- [2]郭子健.规模化电网侧储能电站监控系统的应用[J].电气传动自动化,2021,43(1):25-27.
- [3]李琳,秦泽宇,刘啸.电网侧储能电站监控信息接入验收管控方法研究[J].电气技术,2021,22(7):7-12,18.
- [4]王元凯,周家华,潘郁,等.电网侧储能电站综合评价[J].浙江电力,2020,39(5):1-9.