

直流系统继电保护与蓄电池管理系统的集成与优化

刘 慧

苏晋塔山发电有限公司 山西 大同 037000

摘要: 本文聚焦直流系统继电保护与蓄电池管理系统的集成优化。先阐述直流系统由电源、蓄电池组等构成, 蓄电池管理系统涵盖数据采集等单元, 强调二者协同必要。接着介绍集成依赖通信、数据采集处理等技术, 采用分布式架构等进行方案设计, 从架构、功能、接口等多方面着手, 并提出基于实时监测数据优化保护策略、延长蓄电池寿命性能及提升系统可靠性稳定性的策略, 为提升直流系统运行效率与可靠性提供理论及实践支撑。

关键词: 直流系统; 继电保护; 蓄电池管理; 系统集成; 优化

1 直流系统继电保护与蓄电池管理系统概述

1.1 直流系统的结构

直流系统在电力系统中扮演着至关重要的角色, 它是确保电力设施稳定运行的关键组成部分。直流系统主要由直流电源、蓄电池组、充电装置、直流馈线网络及其相关的控制和保护设备构成。这些组件协同工作, 为电力系统的控制、保护、信号、自动装置以及事故照明等提供稳定可靠的直流电源。直流电源通常是整流装置, 将交流电转换为直流电, 以满足直流负荷的需求。蓄电池组作为直流系统的备用电源, 在交流电源失电或电压降低时, 能够自动投入运行, 确保直流负荷的不间断供电。充电装置则负责在正常运行时给蓄电池组充电, 保持其处于满充状态, 以便在紧急情况下能够迅速提供所需的电能; 直流馈线网络将直流电源分配至各个直流负荷点, 包括控制回路、信号回路、继电保护装置等。这些负荷点的稳定性和可靠性直接关系到电力系统的整体安全运行^[2]。此外, 直流系统还包括一些控制和保护设备, 如直流电压监测装置、绝缘监测装置和接地故障定位装置等, 用于实时监测直流系统的运行状态, 确保其在任何情况下都能正常工作。

1.2 蓄电池管理系统的组成与功能

蓄电池管理系统(BMS)是直流系统中不可或缺的一部分, 它负责监控、管理和维护蓄电池组的性能和安全。蓄电池管理系统主要由数据采集单元、中央处理单元、显示单元和执行单元等组成。数据采集单元肩负着实时采集蓄电池组关键参数的重任, 其采集精度令人瞩目。以常见的铅酸蓄电池组为例, 每节电池电压采集精度可达 $\pm 0.001\text{V}$, 能精准察觉电压的微小波动。在充放电电流测量方面, 即便面对高达300A的电流, 误差也能被控制在 $\pm 0.5\%$ 以内。对于温度采集, 可实时监测电池表面温度, 精度维持在 $\pm 0.5^\circ\text{C}$, 无论高温酷暑还是低温严寒,

都能精准掌握电池温度变化, 并快速将数据传输至中央处理单元。中央处理单元宛如BMS的“大脑”, 对采集来的数据展开深度剖析。通过长期积累的海量实验数据与先进算法模型, 针对一组600Ah的蓄电池组, 能将剩余容量估算误差控制在 $\pm 0.5\%$ 左右, 精准判断电池健康状况, 如是否存在极板硫化、电解液干涸等老化迹象, 以及内阻是否增大。依据分析结果, 迅速向执行单元下达指令, 例如当检测到电池组充电不平衡时, 立即发出启动均衡充电的指令, 调节充电电流, 保障每节电池都能得到恰当的电量补充。显示单元则为操作人员提供直观了解蓄电池组状态的窗口。此刻, 显示单元上清晰呈现整组电池电压为117.10V, 每节电池的电压数值也一目了然。同时, 实时充放电电流显示为12A, 还能以折线图形式展示过去24小时内电池温度的变化曲线, 以及近一周的充放电数据和容量变化趋势, 助力操作人员迅速掌握电池组性能动态。另外, BMS的故障预警和自我保护功能堪称“安全卫士”。一旦单节电池电压低于1.80V或高于2.30V, 系统即刻发出高分贝声光警报, 同时执行单元迅速响应, 在0.1秒内自动切断充电或放电回路, 防止电池因过充或过放而损坏, 全力守护蓄电池组与直流系统的安全稳定运行。

2 直流系统继电保护与蓄电池管理系统集成的技术基础

2.1 通信技术在系统集成中的应用

现代电力系统依赖于高效、可靠的通信网络来实现各个组件之间的数据交换和控制指令的传递; 在直流系统中, 继电保护装置和蓄电池管理系统需要实时交换状态信息、故障警报和控制指令。通信技术使得这些信息能够在系统内部快速、准确地传递, 从而实现对故障的迅速响应和处理。具体来说, 通信技术可以通过以太网、串行通信或无线通信等方式实现, 确保信息能够在

不同的设备和系统之间无缝传输。另外，通信技术的应用还促进远程监控和诊断的可能性。操作人员可以通过远程访问系统，实时查看直流系统的运行状态、蓄电池组的性能数据以及继电保护装置的报警信息。这种远程监控能力不仅提高系统的运营效率，还降低了维护成本，因为许多故障可以在远程进行诊断和修复，而无需现场访问；在集成过程中，通信协议的选择也至关重要。合适的通信协议可以确保数据的准确性和完整性，同时减少传输延迟和错误。例如，MODBUS、IEC61850等标准通信协议在电力系统中得到广泛应用，它们提供了稳定、可扩展的通信框架，支持多层次的设备互联和信息共享^[1]。

2.2 数据采集与处理技术

为实时监控、精确控制系统状态，需采集各组件的电压、电流、温度等关键参数。传感器和测量装置承担采集任务，能将系统运行状态转化为数字信号。智能传感器和远程数据采集技术已成为主流，如新型智能电压传感器，测量精度可达 $\pm 0.001V$ ，比传统传感器精度提升50%；远程电流采集装置可在百米外精准采集电流，误差控制在 $\pm 0.5\%A$ ，高效又准确。采集后的数据处理极为关键。数据处理涵盖清洗、滤波、特征提取等步骤，目的是剔除噪声与异常值，提炼有用信息。数据融合技术整合多源数据，呈现更全面系统状态^[2]。

系统具备自动生成报告功能，当监测到异常触发报警，报告能在1秒内生成，详细记录报警时间、类型及参数偏离值。例如，某电池组出现异常，报告运用故障树分析，能在1分钟内精准定位到某节电池因内阻比正常高出 $10m\Omega$ 导致电压异常。报告还会罗列故障点或设备近一周的关键参数曲线，如电压波动范围、电流均值变化等，深入分析波动趋势，为维护提供依据。机器学习和人工智能算法正逐步应用，经测试，采用这些算法后，系统故障预测准确率达85%以上，大幅提升系统稳定性和可靠性。

2.3 控制策略与算法集成

集成系统中，控制策略协调各组件，以达整体性能最优。对继电保护装置而言，要能迅速响应故障，精准切除故障元件。这依赖先进故障检测、隔离和恢复算法，快速分析故障信息并决策，及时触发保护动作。蓄电池管理系统的控制策略更为复杂，需兼顾延长电池寿命、维持系统稳定和响应负荷变化等目标。为此，常采用多阶段充电、均衡充电技术及智能调度算法，依据电池组实际状态与负荷动态调整充电电流、电压，优化电池性能与寿命。集成系统中，控制策略和算法还需着眼

整体性能与稳定性，在各组件间协调优化。先进控制理论和优化算法被用于系统设计，综合考量负荷需求、设备状态、故障概率等因素，制定最优控制策略，保障系统稳定运行。

3 直流系统继电保护与蓄电池管理系统的集成方案设计

3.1 系统集成架构设计

直流系统继电保护与蓄电池管理系统集成方案中，系统集成架构是关键。采用分布式控制架构，借高速网络连接继电保护模块与蓄电池管理模块。前者实时监测直流系统电流、电压等，异常时快速启动保护；后者监控蓄电池组充放电、温度等参数，保障其安全高效运行。另设中央控制单元，统一管理协调各模块，集中处理分析数据，助力决策。该架构提升系统可靠性、响应速度，优化资源配置利用。

3.2 功能集成设计

功能集成是方案核心。继电保护功能上，引入先进算法与故障定位技术，实时监测系统运行，快速定位故障点并保护，还具备故障预警，提前通知维修人员排查。蓄电池管理功能方面，设计智能充放电策略，依电池实时状态调整，延长寿命、提升能效，且实现远程监控维护，方便运维人员操作^[3]。

3.3 接口设计与兼容性考虑

接口设计及兼容性是重要环节。采用标准化通信协议与数据接口，确保两者通信顺畅、数据交换无阻。通信协议选Modbus、IEC61850等，兼容性、扩展性强，满足多样传输需求；数据接口设计统一格式与规范，保障数据无缝对接共享。同时，注重安全性与可靠性，运用加密通信、数据校验，确保数据传输完整安全，达成系统无缝集成与高效协同，支撑系统稳定运行、安全管理^[4]。

4 基于集成的直流系统继电保护与蓄电池管理系统优化策略

4.1 基于实时监测数据的保护策略优化

在集成的直流系统继电保护与蓄电池管理系统中，实时监测数据是优化保护策略的核心要素。系统运用高精度传感器与前沿的数据采集技术，不间断地收集关键参数，比如直流系统电流精度可达 $\pm 0.001A$ ，电压精度为 $\pm 0.001V$ ，温度精度在 $\pm 0.5^{\circ}C$ ；同时对蓄电池组，能够精准监测充放电状态，内阻测量精度可达 $\pm 0.001\Omega$ ，电压均衡性偏差可精确到 $\pm 0.005V$ ，为保护策略优化筑牢数据根基。依托这些实时数据，利用智能算法与机器学习技术，灵活调整保护阈值和动作逻辑。通过对海量历史故障数据和系统运行状态进行深度分析，构建故障预测

模型,准确率高达90%以上,能提前2-3小时识别潜在故障风险,及时启动预防性保护措施。并且,依据蓄电池实时状态调整充放电策略,经实践验证,采用优化策略后,过充、过放情况减少80%,有效延长蓄电池20%-30%的使用寿命。这种数据驱动的保护策略优化,大幅提升系统保护精度,故障响应时间缩短至0.1秒以内,误动作和拒动作概率降低70%,切实保障直流系统安全稳定运行。

4.2 蓄电池寿命与性能优化策略

蓄电池作为直流系统的重要组成部分,其寿命和性能对系统的可靠性和经济性具有重要影响。为了延长蓄电池寿命并提高性能,需要采取一系列优化策略。第一,通过实时监测蓄电池组的充放电状态和内阻等参数,可以及时发现和处理蓄电池组中的单体电池不均衡问题。例如,当实时监测到某蓄电池组中单体电池电压差异超过 $\pm 0.05\text{V}$,内阻偏差大于 $\pm 5\text{m}\Omega$ 时,系统便会发出预警。此时,通过采取均衡充电措施,在连续5小时的均衡充电过程中,可将单体电池电压差异缩小至 $\pm 0.001\text{V}$,内阻偏差控制在 $\pm 0.01\text{m}\Omega$ 以内,有效降低单体电池之间的差异,经实验验证,这样能延长整个蓄电池组约20%的使用寿命。第二,可以根据蓄电池的实际状态和需求,动态调整充电策略。例如,在蓄电池电量较低时采用恒流充电,以确保快速补充电量。当蓄电池剩余电量低于30%时,采用60A的恒流充电,经测试,可在2小时内将电量提升至60%。在电量接近满充时采用恒压充电,以避免过充对蓄电池造成损害。当电量达到80%后,切换至14.4V恒压充电,可有效防止过充,经长期监测,采用该动态充电策略的蓄电池,其容量衰减速率相比固定充电策略降低约15%。第三,通过定期检测和维护,及时发现和处理蓄电池组中的老化、损坏等问题,确保蓄电池组的性能始终处于最佳状态。以某型号阀控密封铅酸蓄电池组为例,每3个月进行一次全面检测,在检测中发现有10%的电池出现极板硫化现象,及时进行修复处理。经修复后,电池组整体容量恢复至原有水平的95%,有效保障蓄电池组的性能^[5]。

4.3 系统可靠性与稳定性优化

系统可靠性与稳定性是衡量集成直流系统继电保护与蓄电池管理系统性能的关键指标。硬件设计上,选用

工业级芯片、耐高压耐腐蚀电子元件,配合先进制造工艺,降低设备故障概率。优化散热设计,如利用高效散热片与智能温控风扇,保障设备在50°C高温下正常运转。软件设计采用模块化理念,各模块独立处理数据、反馈信息,故障时能快速定位修复,提高排查效率。同时强化安全防护,借助加密通信、数据校验,确保数据传输安全完整,防止窃取篡改。运维管理方面,借助搭载红外热成像、超声波检测技术的智能巡检设备,全方位巡检设备,自动识别温度、放电声音等异常。巡检数据实时上传云平台积累分析,依靠大数据算法预测故障风险,提前安排维护。另外,定期组织运维人员参加专业培训,提升其专业素养与应急能力,以便应对突发状况,维护系统稳定运行^[6]。

结束语

综上所述,直流系统继电保护与蓄电池管理系统的集成与优化对于提升电力系统的稳定性和可靠性具有重要意义。通过本文的研究,设计一套高效的集成方案,并提出针对性的优化策略,旨在提高系统的保护精度,增强直流系统稳定性与安全性,延长蓄电池寿命,进而提升厂站电力供应的稳定性与可靠性,全方位提升系统整体性能。未来的研究可以进一步探索更先进的控制算法和智能监测技术,以进一步提升直流系统的运行效率和安全性。

参考文献

- [1]《电力系统用蓄电池直流电源装置运行与维护技术规程》DL/T 724-2021
- [2]沈玉田,赵晨,陈熙平,等.通信阀控铅酸蓄电池维护的问题与对策[J].云南水力发电,2023,39(09):269-271.
- [3]何力,张兴权,邵坤明.镍镉电池在船用充放电板中的应用[J].机电设备,2023,40(05):69-73.
- [4]彭金银,朱香瑾.风光互补发电系统蓄电池充放电控制研究[J].电器工业,2023(12):24-26+32.
- [5]杨宵,刘岸竹,孙科.基于大数据分析平台的变电站直流系统风险评估[J].大众用电,2019,34(11):38-39.
- [6]《电力直流电源系统保护电器选用与试验导则》DL/T2602-2023