

一种蓄电池开路智能防护装置研制方法

刘青松, 王桂烁, 张向成*, 武鹏飞, 隋敬麒

(国网东营供电公司, 山东 东营 257100)

摘要 本研究设计出一种新的蓄电池开路智能守护装置, 它的主要功能是避免因电池组突然断路造成系统停机的现象发生, 该设备包含四部分关键内容: 故障瞬时识别、多级安全判定区、动态冗余路径调控单元以及远程故障数据平台。结合状态预估警告技术、毫秒级主动隔离开关动作手段、不断变换提供电力计划、自身检测能力以及改良策略算法等多种特性, 通过在线完成对可能存在的打开漏洞隐患进行智能化处理的办法, 以期为保障整个电源系统的稳定工作提供借鉴。

关键词 蓄电池开路; 智能防护; 冗余供电; 毫秒级隔离

中图分类号: TM912; TP277

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.35.001

0 引言

蓄电池组是直流电源系统的“心脏”, 它关系到变电站、数据中心等关键设施的安全。但现有的保护大多针对短路和过载情况, 并未考虑到危害同样巨大的蓄电池开路问题, 而一旦出现开路, 会导致后备电源系统彻底崩溃, 进而引发控制单元失效、通信链路中断等致命后果。所以必须研制一种可以快速侦测、智能判断、冗余控制、远程交互的防护装置来应对这种危险性极大的开路故障。本文正是为了实现这个目标, 研究一种可快速识别并处理开路事故的智能防护装置。

1 研制一种蓄电池开路智能防护装置的必要性

蓄电池的应用已经扩展到新能源储能、智能电网等重要领域, 在数据中心通信基站、新能源汽车等场合起着重要的支撑作用。这些场景的连续运转对能源供给的稳定有着很高的要求, 如果蓄电池发生开路故障, 就会造成设备停机生产停滞, 并且还会引发一系列的连锁反应^[1]。数据中心的核心设备如果因为开路突然断电, 会造成重要的数据丢失或者系统崩溃; 通信基站中断服务会影响大片区域的信号覆盖, 新能源汽车行驶中开路风险更是直接关系到驾乘人员的生命安全。开路产生电弧易引发火灾, 同时还会使精密元件受损, 维修、更换这些精密元件所花费的时间与经济成本都很大。传统的防护方式是依靠人工巡查或者简单的过流保护, 人工巡查受时间和人力的限制, 不能做到全天候、全方位的监视, 效率低且容易受到人为因素的影响, 不能及时发现可能的开路隐患。简单

过流保护装置功能单一, 不能及时捕捉到开路初期的微小信号, 同时也不能很好地区分开路与正常断电的情况, 容易出现误判, 在真正危险的时候反应迟缓, 在正常操作时发出错误警报, 给生产运营和日常使用带来额外的困扰。从技术角度来讲, 研发此设备需要制作高精度同步采集模块来捕捉毫秒级的开路信号, 塑造自适应学习算法解析参数的特性, 创建动态故障辨识模型防止误判。

2 一种蓄电池开路智能防护装置的模块组成

2.1 开路故障快速侦测模块

开路故障快速检测模块属于防护系统的核心感知单元, 要冲破传统单一参数监测的局限性, 塑造起多维度信号融合的技术架构。这个模块不仅要实现电压和电流信号的高频同步采集, 还要把阻抗谱分析以及电极界面状态监视这些功能纳入其中, 经由捕捉到开路事件之前接触电阻微小变动, 电解质离子迁移速率不正常波动之类的特征信息, 从而做到预先警示危险而不是等待已经发生的问题出现^[2]。从技术角度看, 需化解高速采样与低噪干扰的矛盾: 利用差分放大电路和自适应滤波算法, 削减蓄电池充放电谐波, 排除外界电磁噪声, 准确提取毫秒级脉冲信号。为满足不同种类和容量电池组需求, 应规划具动态校准性能的功能部件, 用内置标准参考源定期调节测量精度, 避免器件老化或温漂导致的数据失真。该系统与蓄电池管理系统双向通信, 随时调节检测频率和灵敏度阈值参数, 在浮充、大电流放电等工况下实现最佳监测效果。

*本文通信作者, E-mail: zxc17861078906@163.com。

传统侦测模块在复杂环境常因敏感或误判率高而失灵，本设计旨在解决这些问题，提高系统可靠性。

2.2 多级安全状态评估模块

多级安全状态评估模块要突破传统“故障—正常”二元划分形式，创建起依靠多种参数融合而成的动态分级评价系统，这个部分应当把开路检测单元所得到的电压波动情况、阻抗变动状况等即时数据同蓄电池健康程度有关指标（包含充放电周期数，容量衰退率以及内部温度差分布）结合起来加以利用，凭借多层次分析模型把电池运行态势分成四个级别，即常态、警报、轻微异常和严重失效，并且能够准确地显示其发展进程中的各种风险特点。从技术角度来讲，亟需攻克的关键难题是多源异构数据高效整合的问题。利用深度学习算法来提取各个维度的特征并赋予相应的权重，在此基础上引入动态调节机制以消除单点异常值所导致误判的风险；为了提高评估系统的实时性和灵活性，应该构建具有在线自适应优化能力的核心模块，并且能够通过不断采集典型的故障样本实现对模型参数阈值进行动态更新的功能，在面对电池老化、环境温湿度变化等复杂工况时仍然能维持较高的准确度表现。

2.3 智能冗余路径控制模块

智能冗余路径控制模块要冲破传统静态冗余设计的束缚，形成依靠实时故障数据而形成的动态切换机制，这个模块应当把备用供电通道规划同在线监测融合起来，凭借阻抗测量单元和通断状态传感器准确评判备用线路的工作情况，避免潜在问题引发切换失败。从技术角度讲，更重要的是处理好快速反应与系统稳定性的矛盾：经由固态继电器做到毫秒级高效转换，而且采用电压均衡策略削减瞬变干扰对目标负载造成的冲击；为了加强整体可靠性，可以采取分布式冗余架构，把多条备份支路划分成独立子系统，在某处出现单点失效的时候会自动启用替代方案，进而避开全局的风险隐患^[3]。同时要与多级安全状态评估模块协同工作，根据故障等级的动态变化调整冗余策略，如轻度故障只使用局部冗余路径、重度故障则启动全系统冗余切换等，在保障系统安全性的同时减少冗余运行带来的能耗损失问题，解决传统冗余设计能耗过高或可靠性不足的问题。

2.4 故障信息远程交互模块

故障信息远程交互模块要冲破传统的点对点通信束缚，创建含有数据传输、远程操控以及历史查询等多用途为一体的智能化互动平台。它的关键功能是故

障数据的即时传送（包括类型、时刻、严重度和电池状态参数等），并能接收到远距离控制命令（比如冗余切换开启、防护数值调节之类的操作），促使设备维修朝着自动化的方向发展。从技术角度来讲，重点是要解决在复杂环境里保持信号稳定的问题，融合各种通信手段，如无线蜂窝网络、LoRa 技术和以太网等，按照实际情况不断改良通道选取策略，防止单一链路出现状况而造成的数据丢失现象；还要依靠端到端加密算法保证重要资料的安全性与无缺损情况发生。本模块结合边缘计算技术，将采集的大量故障数据在本地预处理后传至远端监控平台，削减传输数据量与网络资源。应形成本地故障数据库，便于快速查询，为故障分析和模型改进提供数据支撑，突破传统远程交互模式在流转速度、安全保护及信息积累等方面的瓶颈。

3 一种蓄电池开路智能防护装置的功能实现

3.1 基于状态预测的预警

基于状态预测的预警机制要冲破传统被动应付范式，形成融合多种数据和高级算法的主动检测体系。这个平台既要包含蓄电池运作时的电压、电流以及温度等即时数值，又要深入探究其老化特征指标，比如极板硫化程度、电解质浓度变动情况以及内部电阻衰退趋向，通过多变量联合模型来实现故障识别功效。从技术层面来讲，要解决诸多要素非线性联系创建难题，采用深度学习同物理原理相融合的办法，在被大量信息所驱动的过程中找到潜藏异常信号的同时还要维持理论支撑以保证推理可信度，防止单纯依靠某项资料造成误判；为了加快反应速率并加强精确度，可以构建动态更新的数据库，不断追踪各个批次以及服役期间长短不一样的电池以往出现过的失效事例，以此改善模型表现力，从而符合复杂状况的实际操作需求并给予精准的服务^[4]。预警系统要按照具体的应用场景来确定停机损失的阈值，并且创建多层次分级报警机制，在关键工业供电区域，需要提早很长一段时间就发出警报并且推送运维指导方案，给操作人员留下足够的时间去执行干预措施，现在的短周期单一警告模式无法满足高可靠运行环境的需求，分层动态监测策略可以明显改善系统的反应速度和适应能力。

3.2 毫秒级快速主动隔离

毫秒级快速主动隔离技术是抑制开路故障蔓延的关键一环，它需冲破传统机械开关响应慢的束缚，发展成以固态器件为主导、智能控制逻辑高度集成化的高速隔离系统。在这个模块里要有高效的信号收集功能以及精准传递指令的能力，当监测单元察觉到异常

状况之后就利用硬件中断直接诱发隔离动作，省掉通常的数据处理步骤从而缩减反应时间；而且执行机构也要采用多通道并联固态继电器的设计方案，如此既可以加快每一次切换的速度，又可凭借冗余设计化解因为某个元件损坏而引发的安全隐患问题。从技术创新角度还要解决高可靠性和电弧防护之间的矛盾冲突：一方面选用软启动算法来改进适应动态负载的效果，保证电压电流平稳过渡，避免瞬时冲击所造成的设备毁坏情况发生；另一方面按照回路诊断信息及时调整固态继电器投切数量，并且可以在整个范围内实现安全稳定的运行效果。隔离机制要与多层次安全评价模块一同运作，按照故障严重情况来决定局部或者全局的隔离策略。单个电池发生断路的时候，只要对那个支路执行隔离处理就能避免整个系统全部失效，从而超越传统粗放式控制方式中“不是完全无效就是彻底中断”的固有弊端。

3.3 无缝切换的冗余供电

无缝切换冗余供电系统的设计要冲破传统模式下电压跌落的固有瑕疵，创建依靠动态电压补偿和精确同步控制的持续供能架构。关键之处在于事先规划好备用电源支路及双向功率变换装置，在主回路发生开路故障之时，通过快速接入机制实现备用电源的即刻接手，并凭借闭环控制系统随时检测两路电源之间的相位差别以及幅值波动状况，进而对备用通道发出参数实施调整操作，保证切换期间电压稳定不变、频率完全一致且相角协调无偏差，从而做到“零感觉”的平滑过渡效果。从技术层面来看，针对瞬时功率失衡情况的发生可以采用预测算法来提前预估可能出现的故障节点并激活预备状态；而面对负载特性改变所引发的冲击负荷现象，则应优化功率转换模块的功能表现力，既要改进宽范围调制精度又要加快响应速度，并且借助碳化硅半导体器件加速开关速率以准确跟随瞬态电流扰动变化，最终消除终端设备可能遭受到的电波干扰影响。冗余供电系统要配备回路状态监测模块，依靠其内部检测单元来动态考察备用回路的电气特性以及安全指标状况，一旦察觉到后备电池容量存在短缺现象时，这个模块就会自动开启外部应急电源装置，进而防止切换期间产生停电情况，并且可以妥善处理由于传统冗余结构忽视电源管理而引发的二次故障隐患问题。

3.4 自诊断与策略自适应

自诊断和策略自适应是系统稳定运行的重要保障。传统静态故障检测机制必须打破，智能化运维体系要创建起来，它包含故障树分析技术和强化学习算法，

有全方位的组件状态监测能力才行。内置传感器可随时搜集侦测单元、隔离机构以及冗余电源回路等关键参数（温升、电流起伏、电压偏离）的信息，并借助故障树模型剖析各个部件的失效情况及其连锁反应路径，以达到精准定位局部故障的目的；还可以结合历史故障数据来进行比较研究，找到经常出现的问题征兆特点并给出个性化的解决方案计划内容。技术上要重点破解多组件故障诊断中复杂的关联性难题，用贝叶斯网络模型来分析元件之间的交互关系，然后依靠概率推理去除干扰因素，准确找出真正的根本故障源头，避免传统单一模式在多个异常一起出现的时候发生漏诊状况；创建基于强化学习的自适应调节机制，在系统运作期间持续调整防护参数的配置方案。例如：在高温工作环境下，需立刻加快温控监测的速度和预警标准设定；而在电池老化后期阶段，则可适当减弱感知单元的敏感程度，并改良冗余切换规则的设计方式，从而符合设备性能逐渐衰退后的实际情况特点^[5]。

4 结束语

本研究成功研发出一种新型蓄电池开路智能防护装置，它的主要功能通过四个集成化的模块实现故障预估、瞬时隔离以及不间断供电的全链条自动守护效果，该设备融合了先进的状态监测技术和毫秒级主动断电手段，超越传统被动应付方式所存在的限制，大幅优化安全保护性能，并且装备冗余设计及即时观察体系，极大地改善了运行稳定性和可靠性。该防护装置可有效地避免由于电池开路引发的大面积停电事件发生，在保证重要设施电力供应安全性方面具有实际意义。

参考文献：

- [1] 罗璐, 罗海云. 一种变电站蓄电池组开路续流装置的研制 [J]. 电气技术与经济, 2024(04):135-137.
- [2] 赵玉才, 郭阳, 赵玉富, 等. 一种变电站废铅蓄电池搬运工具的研制 [J]. 河南科技, 2021, 40(25):120-123.
- [3] 裴昆, 凌端伟, 吴琦, 等. 一种变电站蓄电池电压智能测量装置的研制 [J]. 电气开关, 2020, 58(04):56-58.
- [4] 刘秋英. 一种新型蓄电池放电仪快速连接装置的研制 [J]. 机电信息, 2019(36):8-9.
- [5] 南文娟, 辛锋. 一种通用型航空蓄电池充放电设备研制实践 [J]. 中国设备工程, 2019(22):115-116.