

基于健康度动态分组的蓄电池状态感知及处置系统及方法

杜思宇 郭登科 郭书波 赵 兴 刁惠源

国网新疆电力有限公司昌吉供电公司 新疆 昌吉 831100

摘 要: 基于健康度动态分组的蓄电池状态感知及处置系统及方法包括: 多参数协同监测模块, 通过浮充电流、均充电流、蓄电池内阻、蓄电池电压、蓄电池温度信息的运行状态全面感知蓄电池状态信息; 动态分组模块, 根据实时监测的蓄电池单体健康状态, 对蓄电池单体进行健康度动态分组; 故障诊断模块, 对蓄电池单体故障进行分组协同响应, 判断蓄电池单体的故障信息; 故障处置模块, 根据故障信息触发差异化处置措施。本装置判断蓄电池单体的故障信息; 对采集到的故障信息进行分析判断, 并及时提醒排查处理, 降低系统和操作风险, 提高蓄电池的供电可靠性。

关键词: 健康度动态分组; 蓄电池状态感知; 处置系统

DOI:10.12417/3083-5526.25.01.011

1 引言

在变电站直流电源系统中, 蓄电池组作为关键的后备电源, 其可靠性和稳定性直接影响电力系统的安全运行。现有系统多依赖单一电压/温度监测, 无法捕捉内阻变化、电流波动等早期故障特征(如硫化、微短路), 导致故障预警滞后。蓄电池组性能受最差单体制约, 但传统均衡策略(如全局均充)易造成过充/欠充, 加速整体衰减。

对于蓄电池组的监测, 需要采集电压、电流、为目的等信息, 但是目前的现有技术仅仅是对上述参数进行采集, 并没有形成多参数的耦合模型, 比如内阻-温度-电流的协同关系, 使得误判率高, 而且蓄电池监测依赖阈值告警, 当达到某一阈值时, 即进行报警, 单一条件下报警的误判率高; 若并联蓄电池的内阻、容量差异较大, 可能导致电流分配不均, 加速部分电池老化。

因此, 亟需一种适用于并联型蓄电池组的高效、安全的感知处置技术, 在简化运维流程的同时, 提升系统的可靠性。

2 基于健康度动态分组的蓄电池状态感知及处置系统及方法技术的实现

2.1 基于健康度动态分组的蓄电池状态感知及处置系统方法具体步骤

步骤 S1: 多参数协同监测: 通过多参数协同监测模块的蓄电池电压采集模块、分布式温度传感器组、蓄电池内阻测量模块与蓄电池状态监测模块, 实时采集蓄电池的浮充电流、均充电流、内阻、电压、温度信息, 将采集到的数据进行滤波、隔离处理后, 传输至动态分组模块与故障诊断

模块。

步骤 S2: 健康度动态分组: 动态分组模块接收步骤 S1 传输的蓄电池单体状态数据, 对蓄电池单体进行健康度评估与排序: 将健康状态良好的单体划入工作组, 承担供电任务; 将健康状态不佳的单体划入备用组; 同时, 实时监测工作组状态, 若工作组中出现故障单体, 通过高频组合开关将备用组中健康度最高的单体补充至工作组, 完成蓄电池组拓扑的动态重构。

步骤 S3: 故障协同诊断: 故障诊断模块将步骤 S1 采集的实时数据与故障特征库中的判定条件进行比对:

若检测到“电压 $\leq 8V$ 且内阻 $> 50m\Omega$ ”, 判定为开路故障。

若检测到“电压突降超过 30% 且温升速率 $> 3^{\circ}C/min$ ”, 判定为内部短路故障, 并根据电压跌落幅度与温升速率升级告警等级。

若检测到“内阻超过标称值 120% 且容量 $< 80\%$ ”, 判定为容量衰减故障。

诊断完成后, 将故障类型与告警等级推送至故障处置模块。

步骤 S4: 差异化故障处置: 故障处置模块根据步骤 S3 输出的故障信息, 执行差异化处置。

步骤 S41: 实时监测各单体电池的电压、内阻和温度参数, 确认故障状态。

步骤 S42: 若判定为开路故障, 启动紧急退出程序。

步骤 S43: 智能功率开关组检测零电流状态 (10ms 内连续 3 次电流 $< 0.1A$ 且电压差 $< 0.5V$), 断开故障支路。

作者简介: 杜思宇 (1992.05--), 男, 汉族, 山东省菏泽市人, 本科, 职称: 工程师, 研究方向: 变电站一体化电源。

步骤 S44：双向 DC/DC 模块补偿电流缺口，实现动态均流。

若判定为内部短路故障，执行上述 S41-S44 步骤，并在一级告警时联动灭火装置。

若判定为容量衰减故障，生成 72 小时维护指令，同时通过动态分组模块调整蓄电池组构成，保障供电稳定。

2.2 基于健康度动态分组的蓄电池状态感知及处置装置及方法结构方案

2.2.1 多参数协同监测模块

多参数协同监测模块通过采集蓄电池浮充电流、均充电流、内阻、电压、温度等关键参数，实现蓄电池状态的全面感知，为后续健康度评估与故障诊断提供数据支撑。该模块具体包括以下子模块：

（1）蓄电池电压采集模块

该子模块包含若干蓄电池单体电压采集器，采用双线制接法（每个蓄电池单体的正极与负极各接一根采样线）采集单体电压，有效减少采样误差。每个采集器配备 16 位 ADC 转换器，确保电压采集误差小于 $\pm 0.5\%$ ；同时，通过隔离模块对采集的电压信号进行传输，避免外部干扰对采集数据准确性的影响。

（2）分布式温度传感器组

在负极采样线金属线耳内部设置热敏电阻，通过监测热敏电阻的电阻值变化计算蓄电池温度。该设计实现了温度的近距离、高精度监测，能及时捕捉蓄电池因故障（如内部短路）引发的温度异常变化。

（3）蓄电池内阻测量模块

采用注入小信号法（交流注入法）测量蓄电池内阻：对蓄电池注入一个固定频率的交流电流信号，通过测量蓄电池两端的固定频率电压、流过的固定频率电流及两者的相位差，计算得出蓄电池内阻。同时，采用四线制内阻测量电路，有效消除接触电阻对测量结果的干扰，提升内阻测量精度。

（4）蓄电池状态监测模块

该模块用于监测蓄电池电流方向和大小，判断蓄电池当前工作状态（放电、浮充、均充）。通过实时掌握蓄电池工作模式，为后续健康度评估与故障诊断提供工况背景信息，确保评估与诊断结果的准确性。

（5）动态分组模块

动态分组模块根据多参数协同监测模块获取的蓄电池单体健康状态数据，对蓄电池单体进行健康度动态分组，实现蓄电池的分级管理与高效调度，具体包括以下功能单元：

分组规则：

工作组：将蓄电池单体按照健康度排序，筛选出健康状态良好的蓄电池单体划入工作组，承担主要供电任务。

备用组：将健康状态不佳（如内阻偏高、容量略低但未达到故障标准）的蓄电池单体划入备用组，作为冗余储备。

补充切换模块：

补充切换模块采用高频组合开关，当工作组中的蓄电池单体出现故障时，能快速将备用组中健康度排序最高的蓄电池单体补充至工作组，实现故障蓄电池的快速替换。该设计保障了蓄电池组供电的连续性，避免因单个蓄电池故障导致整体供电中断。

2.2.2 故障诊断模块

故障诊断模块通过建立故障特征库，对蓄电池单体故障进行分组协同响应，精准判断故障信息，为后续故障处置提供依据。

（1）故障特征库

故障特征库存储故障类型、判定条件与处置策略的对应关系，其中故障类型主要包括开路故障、内部短路、容量衰减故障，具体判定条件与处置策略如下表所示：

表 1 判定条件与处置策略

故障类型	判定条件	基础处置策略
单体开路故障	电压 $\leq 8V$ 且内阻 $> 50m\Omega$	启动紧急退出单元， $\leq 10ms$ 内切断故障电池回路
内部短路	电压在预设时间内突降超过 30% 且温升速率 $> 3^{\circ}C/min$ ；二级告警：10 秒内电压从 13.2V 跌落至 9.5V；一级告警：二级告警且温升速率 $\geq 5^{\circ}C/min$	启动紧急退出单元，一级告警时联动灭火装置
容量衰减故障	内阻超过标称值 120% 且容量 $< 80\%$	启动计划性退出单元，生成 72 小时内更换的维护指令

（2）故障诊断流程

故障诊断模块实时接收多参数协同监测模块传输的电压、内阻、温度数据，将数据与故障特征库中的判定条件进行比对：若满足某类故障的判定条件，则触发对应的故障告警，并推送至故障处置模块；同时，针对内部短路故障，根据电压跌落幅度与温升速率实现告警等级的动态升级，确保故障响应的精准性与及时性。

2.2.3 故障处置模块

故障处置模块根据故障诊断模块输出的故障信息,触发差异化处置措施,实现故障的快速解决与系统供电的恢复,主要包括以下处置单元:

(1) 紧急退出单元

针对单体开路故障与内部短路故障,紧急退出单元在 $\leq 10\text{ms}$ 内启动故障处理流程:通过智能功率开关组监测故障支路电流,当检测到“ 10ms 时间窗口内连续3次电流 $< 0.1\text{A}$ 且故障电池两端电压差 $< 0.5\text{V}$ ”的零电流状态时,断开故障支路,避免故障扩散;同时,利用双向DC/DC模块补偿退出支路的电流缺口,实现剩余电池的负载再分配,保障系统供电电压稳定。

(2) 计划性退出单元

针对容量衰减故障,计划性退出单元生成72小时内更换故障蓄电池的维护指令,推送至运维管理平台。在维护周期内,系统通过动态分组模块调整工作组与备用组的构成,确保供电可靠性不受影响,避免因紧急停机维护导致的系统中断。

(3) 动态均流补偿单元

在故障电池退出后,动态均流补偿单元对剩余蓄电池进行负载再分配,通过双向DC/DC模块调节各蓄电池的输出电流,确保各单体电池负载均衡,避免因负载不均导致的蓄电池加速老化,延长蓄电池使用寿命。

3 基于健康度动态分组的蓄电池状态感知及处置系统及方法优点

本装置通过全状态数据对蓄电池进行实时在线监测,通过浮充电流、均充电流、蓄电池内阻、蓄电池电压、蓄电池温度等信息的运行状态全面感知;将多参数协同监测模块感知的蓄电池状态信息和故障特征库进行对比,判断蓄电池单体的故障信息;对采集到的故障信息进行分析判断,并及时提醒排查处理,降低系统和操作风险。

在线监测蓄电池内阻方法采用注入小信号法。交流注入法测内阻是通过向电池注入一个固定频率交流电流信号,测

出蓄电池两端的固定频率电压和流过的固定频率电流以及两者的相位差,从而计算出蓄电池内阻,四线制内阻测量电路,消除接触电阻对测量结果的影响。

本装置实现对蓄电池运行的状态监测,将其分为工作组和备用组,保证粗蓄电池电源供电可靠性,通过高频组合开关对蓄电池单体进行切入切出操作,方便快捷,对于发生故障的蓄电池单体,控制其退出,并控制其他蓄电池单体自动承接,实现蓄电池组拓扑动态重构与供电质量的无缝衔接,提高蓄电池的供电可靠性。

4 结语

本研究提出的基于健康度动态分组的蓄电池状态感知及处置系统与方法,通过多参数协同监测、健康度动态分组、精准故障诊断与差异化处置,有效解决了传统蓄电池监测系统的不足。该系统能实现蓄电池状态的实时在线监测,故障响应迅速、处置精准,可显著提升蓄电池供电可靠性与运维效率。

参考文献:

- [1] 杭州拓深科技有限公司.一种基于多支路并联的并网电池健康状态均衡方法:CN202411097448.X[P].2024-11-22.
- [2] 李珺,陈小然,徐亮.基于多健康因子和IPSO-LSTM模型的锂电池健康估计[J].车用发动机,2025(1):39-46.
- [3] 杭州拓深科技有限公司.一种基于多支路并联的并网电池健康状态均衡方法:CN202411097448.X[P].2024-11-22.
- [4] 秦东晨,赵鸿飞,武红霞,等.基于可重构电路的串联电池动态分组主动均衡方法[J].郑州大学学报(工学版),2025,46(2):90-96,110.
- [5] 刘征宇,魏自红,许亚娟,等.基于自适应拓扑的电池动态分组均衡方法[J].中国机械工程,2020,31(6):714-721.