

# 锂电池内阻在线检测与故障预警系统开发

陈建泽

(广东舜势测控设备有限公司, 广东惠州 516000)

[摘要] 本研究基于广东省某储能电池项目的研究, 设计开发了一种锂电池内阻在线检测与故障预警系统。研究结果显示, 在检测精度上, 内阻测量结果相比标准实验室测量结果, 误差率小于0.65%, 优于行业常规要求1%误差率; 在响应速度上, 系统可以在13s内完成1Hz频率点的内阻的计算和数据处理, 与行业水平相当, 符合实际应用需求; 在故障预警准确率上, 该技术属于新应用需求, 故障预警准确率需求为90%以上, 本系统故障预警的准确率达到93.1%, 满足应用需求。

[关键词] 锂电池; 内阻检测; 故障预警

[中图分类号] TM912 [文献标志码] A

## 0 引言

锂电池凭借其高能量密度、长寿命和稳定性, 已成为电子设备、电动汽车及储能系统的关键电源组件<sup>[1]</sup>。然而, 随着电池使用时间的延长, 其内阻逐渐增大, 导致性能下降, 安全隐患增加。传统的离线检测方法效率低, 难以及时获取电池健康状况<sup>[2]</sup>。因此, 针对锂电池内阻在线检测与故障预警系统的设计与开发, 已成为当前提高锂电池安全性和可靠性的重要研究方向。

电池的健康状态对于整个电网的稳定性至关重要, 因此迫切需要一套高效的内阻检测和故障预警系统。本研究旨在为储能电池提供可靠的电池监控解决方案, 确保电池的高品质生产。

## 1 锂电池内阻在线检测与故障预警系统设计与开发

### 1.1 系统架构

锂电池内阻在线检测与故障预警系统的设计包括数据采集模块、数据处理单元和故障预警单元等主要组件, 如图1所示。该系统通过高精度数据采集和智能数据分析, 可以为储能电池的安全可靠运行提供有效的技术支持。

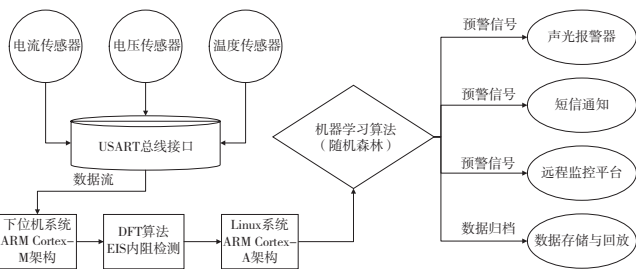


图1 锂电池内阻在线检测与故障预警系统架构

(1) 数据采集模块。在该锂电池中, 数据采集模块采

用高精度电流传感器、电压传感器和温度传感器, 实时获取每个电池的运行参数。传感器的精度为 $\pm 0.1\%F.S.$ , 采样频率设定为1kHz, 可以有效捕捉电池快速变化的电特性, 确保在各种负载条件下都能提供稳定的数据输入<sup>[3]</sup>。该模块通过USART总线与基于ARM Cortex-M4微处理器的工业下位机系统连接, 实现与电池整体监控系统的无缝集成。

(2) 数据处理单元。数据处理单元配备了基于ARM Cortex-M和ARM Cortex-A架构的微处理器, 运行快速傅里叶变换(FFT)算法, 以计算电化学阻抗谱法(EIS)并实现内阻检测。该单元可以实时分析来自数据采集模块的电流和电压信号, 计算出电池内阻变化。这一模块不仅可以通过动态阻抗分析模型提高了内阻计算的精度, 还利用了随机森林机器学习算法, 可以全面分析系统的历史数据, 进而充分识别内阻变化的特征模式, 从而提前预测潜在的电池故障<sup>[4]</sup>。

(3) 故障预警单元。故障预警单元主要是基于数据处理单元的分析结果, 通过多种途径提供预警信号, 包括声光报警、短信通知和远程监控平台提示, 从而实现故障及时处理的目的<sup>[5]</sup>。预警机制设计为可根据不同应用场景动态调整阈值, 提高系统的灵活性和适应性。为了便于故障追溯和分析, 预警单元还可以提供历史数据存储和回放功能, 帮助技术人员进行故障原因分析和系统优化策略分析等。

### 1.2 内阻测量模块

内阻测量模块的设计与开发主要围绕EIS进行。由于EIS可以提供高精度的电池内阻数据, 并识别电池内部电

化学过程的能力,因此本研究选择此项方法作为核心的锂电池内阻在线检测方法,具体开发步骤如图2所示。

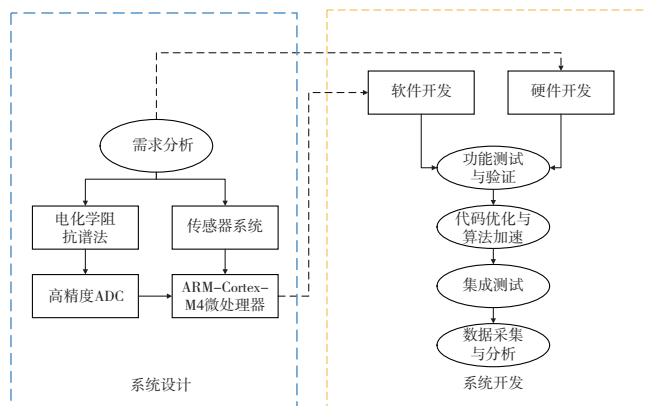


图2 内阻测量模块设计与开发步骤

(1) 在设计阶段,本研究结合储能电池项目的具体要求,首先分析了项目对内阻测量系统的技术要求,其中包括监测对象复杂的环境条件(如温度和湿度变化)以及在负载变化时对响应速度和测量精度的高要求,并在此基础上选择EIS作为主要的测量项,可以通过在0.1~4000Hz的频率范围内施加小振幅的交流信号来全面分析电池的电化学特性,从而识别电池老化和潜在故障。其次,在硬件设计方面,项目选择了高精度的模拟数字转换器(ADC),其16位的分辨率可以有效捕捉微小的电压和电流变化,同时采用ARM Cortex-M4微处理器进行数据处理,可以快速执行DFT计算,满足实时监测的需求。最后,根据储能电池的物理结构进行了一系列传感器布局设计,每个电池都配备了电流、电压和温度传感器,可以精确监控电池的健康状态并进行温度补偿校正。

(2) 在开发阶段,本研究从硬件和软件两个方面进行了内阻测量系统的开发与集成。在硬件方面,根据设计选择的高精度组件进行了电路板的设计与传感器的集成,确保所有硬件可以在设计环境中正常运行,并通过初步功能测试验证其性能。本内阻测量系统不仅包含数据采集、DFT算法处理和温度补偿模块,还具备故障预警功能,通过代码优化和算法加速,降低了DFT处理时间,提高了系统的响应速度和测量精度。

### 1.3 故障预警算法

故障预警算法的设计和开发可以有效提高电池系统的安全性和稳定性,在完成内阻在线检测模块开发的基础上,利用机器学习技术可以最终实现对电池内阻变化的智能化监控与预警。本研究为了有效识别电池内阻的异常变化模式和提前预警潜在故障,采用了一种基于随机森林

(Random Forest)的预警算法。

(1) 在设计阶段,首先分析了电池内阻、电压、温度及电流的时间序列数据。其次,在模型选择方面,本研究选择了随机森林来处理数据的非线性关系和特征重要性的分析过程,经过实验,随机森林在处理高维数据和避免过拟合方面表现相对优异,更加适配本研究的开发过程。最后,通过交叉验证技术,系统在训练过程中不断调整模型的超参数,从而获得最佳的模型性能。

(2) 在开发阶段中,本研究首先搭建了基于Python的机器学习开发环境,使用sklearn库实现随机森林算法的训练与验证。系统通过K折交叉验证对模型进行评估,不断分析其在不同数据集上的鲁棒性和泛化能力。其次,为了提高模型的实时预警能力,本研究集成了在线学习机制,使模型在系统运行过程中可以通过新增的数据进行动态更新和优化。此外,考虑到实际电池环境中对预警系统的响应速度要求,开发过程中重点分析了该算法的计算效率和资源占用情况,并采用多线程技术不断提升模型的计算速度,通过内存优化减少资源消耗情况。最后,为便于操作人员使用和维护,本研究设计了一个图形用户界面(GUI),其可以通过可视化工具展示电池内阻的变化趋势和故障预警信息,操作人员可以在第一时间接收到系统的预警信号,并根据提示采取相应的维护措施。

## 2 效果评价

本研究开发的锂电池内阻在线检测与故障预警系统进行了为期3个月的测试,通过对系统的性能和实际应用效果进行详细评估。

(1) 在检测精度方面,系统通过EIS实现了对锂电池内阻的高精度测量。测试期间,系统共监测了420组锂电池,内阻测量结果与标准实验室测量结果的误差率低于0.65%,低于行业通常要求的1%误差率。这一结果表明,该系统在复杂的电池环境中可以保持高精度的测量能力,有效支持了电池健康状态的监测。

(2) 在响应速度方面,由于本系统采用了快速离散傅里叶变换(DFT)算法及高性能ARM Cortex-M4微处理器,系统可以在13s内完成1Hz频率点的内阻的计算和数据处理,可以在180s内完成1~4000Hz,对数模式20个频率点的测试,系统整体响应时间与行业水平相当,符合实际应用需求。

(3) 在故障预警准确率方面,经过测试验证,系统通过基于机器学习的预警算法成功识别了29起潜在故障事件

(下转第138页)

施工以最高1处50元计算,需6.29万元,直接节约资金119.51元。

2022年,聊城公司将新型导热组件在其3#、4#炉的全燃神华煤改造中进行了推广,根据锅炉过、再热器管屏壁温分布规律,对新增1264只锅炉过、再热器管壁温位置确定后进行导热组件安装。自2022年11月19日开机至今,新增1264只锅炉过、再热器管壁温显示准确无误,运行人员能实时准确地监视锅炉过、再热器管壁温参数,避免了因测量不准导致的机组降出力,保证了高峰时的正常发电,具有重要的经济效益。

2023年12月21日,聊城公司运行人员发现4#炉高过出口管屏南数16屏西数第10根金属壁温测点显示偏高。经检修技术分析该温度元件测量反映真实有效,判断为该炉管异常造成温度升高,使锅炉降低主汽温运行。维护部利用机组调停机机会对异常炉管进行消缺处理,机组再次启动后壁温测点至今显示正常,避免了一次锅炉爆管引起的机组非停,确保了机组安全。

## 5 结束语

本研究根据火力发电厂锅炉过再热器炉管材质、管径,巧妙设计了双面弧形新型测温导热组件,其安装科学、简单,解决了锅炉过、再热器管壁高温高压焊接工艺高、施

工困难、施工费用高、批量安装检修维护工作量大的问题,而且面接触比点接触测量更稳定和准确。批量安装后,效果显著。2022年,新型导热组件获得国家实用新型专利,目前已经在聊城公司4台炉中推广应用,2022、2023年分别在安徽国能宿州5#、6#机组推广,下一步将在山东公司乃至全国推广。

## 参考文献

- [1]钱林峰,徐光明,陶磊.大型电站锅炉高温受热面管金属壁温影响因素及评价[J].中国特种设备安全,2019,35(6):33-37.
- [2]马海鹰,严义.1250t/d管道式分解炉“红炉”事故及其预防措施的探讨[C]//天津市硅酸盐学会,天津水泥工业设计研究院.华北地区硅酸盐学会第八届学术技术交流会议论文集.北京:中国建材工业出版社,2005.

## 作者简介

张玲利(1978—),女,山东聊城人,本科,高级工程师,主要研究方向为程控保护、仪器仪表。

(编辑:曹婷婷)

(上接第103页)

并及时预警。其中27起事件被证实为内阻异常导致的真实故障,故障预警的准确率达到93.1%。预警系统有效缩短了电池故障诊断和处理的时间,显著提升了电池的运营效率和安全性。

## 3 结论

锂电池内阻在线检测与故障预警系统的开发为电池状态监控和维护提供一种高效、可靠的解决方案。通过实时检测电池内阻并结合故障预警机制,系统可以在故障发生前及时预警,为用户提供充足的维护时间。本研究针对广东省某储能电池项目的系统设计和开发验证了该系统的实用性和可靠性。未来可以进一步优化具体的算法和系统架构,不断提高检测精度和预测准确率,为锂电行业安全及高品质生产提供重要的技术支持。

## 参考文献

- [1]付艳玲,李秀学,郑淳,等.基于交流阻抗法的锂电

池内阻测量方法研究与实现[J].质量安全与检验检测,2023,33(4):58-61,66.

- [2]全锴轩,邹复民,章云区.储能电池直流内阻的在线检测方法分析[J].电子技术,2023,52(2):19-21.
- [3]钟文辉,肖兵,宁静.锂电池健康状态快速测量及系统实现[J].计算机测量与控制,2022,30(8):68-75.
- [4]郭庆,李敬,胡鸿志,等.锂离子电池内阻测量系统设计[J].仪表技术与传感器,2020(11):54-58,63.
- [5]高欢,张立炎,陈启宏.基于实时内阻测试的锂电池自适应电流充电策略[J].可再生能源,2020,38(7):972-979.

## 作者简介

陈建泽(1988—),男,广西田阳人,博士研究生,高级工程师,主要研究方向为嵌入式系统、电池检测技术、机电一体化。

(编辑:凌瑞)