

# 基于Simulink的磷酸铁锂电池内阻在线监测与故障诊断

李婧<sup>通信作者</sup>, 李申海, 王文, 冉杰, 杨乐康, 潘婧

(太原学院材料与化学工程系, 山西 太原 030000)

**摘要:** 随着新能源汽车的快速发展, 磷酸铁锂电池作为其核心能量, 其性能监测与故障诊断对保障新能源汽车的顺畅运行有不可替代的作用。该文在观点论述的过程中, 针对磷酸铁锂电池内阻的诊断提出了一种基于Simulink的磷酸铁锂电池内阻在线监测与故障诊断方法。在研究过程中, 针对文中提出的内阻监测的基本原理进行了简单的说明, 并构建了基于Simulink的内阻监测模型, 还介绍了故障诊断的基本原理和基于数据分析的故障诊断方法。为印证文中给出方案的准确性, 在最后通过实际案例, 验证了Simulink在磷酸铁锂电池内阻监测与故障诊断中的有效性, 希望为磷酸铁锂电池的安全运行和维护提供有力支持。

**关键词:** 磷酸铁锂电池; 内阻监测; 故障诊断; Simulink; 实时监测

doi: 10.3969/J.ISSN.1672-7274.2024.11.026

中图分类号: TM 912

文献标志码: B

文章编码: 1672-7274 (2024) 11-0077-03

## Online Monitoring and Fault Diagnosis of Internal Resistance of Lithium Iron Phosphate Batteries Based on Simulink

LI Jing, LI Shenhai, WANG Wen, RAN Jie, YANG Lekang, PAN Jing

(Department of Materials and Chemical Engineering, Taiyuan University, Taiyuan 030000, China)

**Abstract:** With the rapid development of new energy vehicles, lithium iron phosphate batteries, as their core energy, play an irreplaceable role in ensuring the smooth operation of new energy vehicles through performance monitoring and fault diagnosis. In the process of discussing viewpoints, the article proposes an online monitoring and fault diagnosis method for the internal resistance of lithium iron phosphate batteries based on Simulink. During the research process, a brief explanation was provided on the basic principles of internal resistance monitoring proposed in this article, and a Simulink based internal resistance monitoring model was constructed. During the research process, the article also introduced the basic principles of fault diagnosis and fault diagnosis methods based on data analysis. To verify the accuracy of the proposed solution in this article, the effectiveness of Simulink in internal resistance monitoring and fault diagnosis of lithium iron phosphate batteries was validated through practical cases at the end of the study. I hope that this study can provide strong support for the safe operation and maintenance of lithium iron phosphate batteries.

**Keywords:** lithium iron phosphate battery; internal resistance monitoring; fault diagnosis; simulink; real time monitoring

磷酸铁锂电池凭借其卓越的安全性能和长久的寿命, 已成为新能源汽车领域的宠儿。它如同汽车的“心脏”, 为车辆提供源源不断的动力。但磷酸铁锂电池的性能也会随着使用时间的增长而逐渐衰退, 甚至出现故障<sup>[1]</sup>。而内阻是衡量磷酸铁锂电池性能的重要指标之一, 它反映了电池内部电子和离子的传输阻力。本文提出了一种基于Simulink的磷酸铁锂电池内阻在线监测与故障诊断方法, 希望其可以帮助检修人员及时发现电池性能的变化和潜在的安全隐患, 为新能源汽车的安全运行提供有力保障。

内阻能够反映电池内部电子和离子的移动阻力。内阻的大小直接影响着电池的充放电性能、能量密度和循环寿命等关键指标<sup>[2]</sup>。所以通过监测电池的内阻变化, 可以间接了解电池的性能状态和健康状况。

内阻监测原理主要基于欧姆定律和电化学原理。在电池充放电过程中, 电压和电流之间存在一定的关系, 即欧姆定律所描述的电压降与电流成正比<sup>[3]</sup>。与此同时, 电池内部的化学反应也会对内阻产生影响, 如正负极材料的活性、电解液浓度和导电性等。通过测量电池在不同充放电状态下的参数变化, 可以计算得到电池的内阻值。

## 1 磷酸铁锂电池内阻在线监测方法

### 1.1 内阻监测原理介绍

内阻是磷酸铁锂电池在工作过程中产生的电阻,

### 1.2 基于Simulink的内阻监测模型构建

Simulink是MATLAB的一个模块, 目前其已经被

课题名称: 磷酸铁锂电池建模与荷电状态估算研究 (编号TYX2023059)。

作者简介: 李婧 (1991—), 女, 汉族, 山西朔州人, 讲师, 博士研究生, 研究方向为新型拓扑材料相变和输运研究。

李申海 (2003—), 男, 汉族, 山西朔州人, 本科在读, 研究方向为新能源材料与器件。

王文 (2003—), 男, 汉族, 山西大同人, 本科在读, 研究方向为新能源材料与器件。

冉杰 (2002—), 男, 汉族, 山西吕梁人, 本科在读, 研究方向为新能源材料与器件。

杨乐康 (2002—), 男, 汉族, 山西长治人, 本科在读, 研究方向为新能源材料与器件。

潘婧 (1986—), 女, 汉族, 湖北武汉人, 博士, 副教授, 研究方向为半导体材料与器件。

广泛应用于建模、仿真和分析动态系统。

### 1.2.1 模型构建流程

在构建模型时,首先要根据磷酸铁锂电池的工作原理和电化学特性,建立电池的数学模型。随后利用Simulink提供的模块库,搭建电池的仿真模型<sup>[4]</sup>。所构建的模型包括电池模型、数据采集模块、数据处理模块和结果显示模块等。其中,电池模型用于模拟电池的实际工作状态;数据采集模块负责实时采集电池的电压、电流和温度等参数;数据处理模块对采集到的数据进行预处理和计算,得到电池的内阻值;结果显示模块则将内阻值和其他相关参数以图表或数值的形式展示给用户。

### 1.2.2 模型特点与优势

基于Simulink的内阻监测模型具有实时性、准确性、可视化以及灵活性等诸多优势。通过本文所构建的模型可以实时采集电池的电压、电流和温度等参数,实时计算电池的内阻值,实现内阻的在线监测。本文给出的模型基于磷酸铁锂电池的实际工作原理和电化学特性进行构建,具有较高的准确性和可靠性。在获取到信息后,模型结果显示模块可以清晰地显示监测结果,通过该模块用户可以直观地了解电池的内阻值和其他相关参数,便于进行性能分析和故障预测。在实际应用过程中,模型可以根据实际需求进行定制和扩展,适应不同类型和规格的磷酸铁锂电池。

### 1.2.3 实时监测数据的采集与处理

实时监测数据的采集是内阻监测的关键环节。为了获取准确可靠的数据,本文采用了高性能的传感器和数据采集设备,实时采集电池的电压、电流和温度等参数。采集到的数据经过预处理后,输入到Simulink模型中进行计算和分析。

在本模型的应用上,为了满足数据采集的要求,在模型构建过程中采用了多种传感器和数据采集设备,包括电压传感器、电流传感器和温度传感器等。这些传感器具有高精度和高稳定性,能够实时采集电池的电压、电流和温度等参数。而在采集到的原始数据里往往存在噪声和干扰信号,因此,不光在设备选择上要求数据采集设备具备抗干扰能力强、采样速度快等特点,来确保数据的准确性和实时性,还需要进行预处理以提高数据的准确性和可靠性。预处理包括数据滤波、去噪和校准等步骤。其中,数据滤波可以采用数字滤波器或滑动平均滤波等方法,去除高频噪声和干扰信号。去噪可以采用小波变换或中值滤波等方法,进一步减少噪声干扰;校准则是对数据进

行标准化和校准处理,消除传感器误差和测量偏差等因素对数据的影响。

## 2 磷酸铁锂电池故障诊断技术

### 2.1 故障诊断的基本原理

磷酸铁锂电池的故障诊断是对电池性能衰退或故障进行识别和分析的过程。其基本原理是通过对电池性能参数的变化进行分析和比较,判断电池是否存在故障或潜在故障。常用的故障诊断方法包括阈值判断法、统计分析法和模式识别法等。

(1) 阈值判断法是一种简单直观的故障诊断方法,它根据电池性能参数的历史数据和经验值,设定合理的阈值。当实时监测到的电池性能参数超过或低于这些阈值时,就认为电池存在故障或潜在故障。然而,阈值判断法存在一定的局限性,因为阈值的设定往往受到电池使用环境、充放电策略的影响。

(2) 统计分析法通过对大量电池性能参数的数据进行统计分析,找出其分布规律和变化趋势。当实时监测到的数据与统计分析结果存在显著差异时,就认为电池可能存在故障。统计分析法可以更加全面地考虑各种因素对电池性能的影响,但需要对大量数据进行处理,计算量较大。

(3) 模式识别法为基于人工智能的故障诊断方法。它通过对电池性能参数的数据进行学习和训练,建立电池性能衰退或故障的模式识别模型。然后,将实时监测到的数据与模型进行匹配,判断电池是否存在故障或潜在故障。模式识别法具有较高的准确性和适应性,但需要大量的训练数据和计算资源。

### 2.2 基于数据分析的故障诊断方法

为了更加准确地诊断磷酸铁锂电池的故障,本文提出了一种基于数据分析的故障诊断方法。该方法通过对实时监测数据进行深入分析,提取出电池性能参数的变化特征,进而判断电池的健康状态和潜在故障,具体方法包括数据挖掘、特征提取和分类识别等步骤。

(1) 数据挖掘是对实时监测数据进行预处理和筛选的过程。通过对大量数据的清洗、去噪和归一化等操作,提取出与电池性能衰退或故障相关的关键信息。同时,根据数据的分布特征和变化趋势,确定合适的采样频率和监测周期。

(2) 特征提取是从预处理后的数据中提取出能够反映电池性能衰退或故障的特征参数的过程。这些特征参数可能包括电压、电流、内阻、温度等。通过对

这些特征参数进行提取和变换,可以进一步简化数据维度,提高故障诊断的准确性和效率。

(3) 分类识别是基于提取出的特征参数,利用模式识别算法对电池的健康状态和潜在故障进行分类和识别的过程。常用的分类识别算法包括支持向量机、神经网络、决策树等。通过对这些算法进行训练和优化,可以实现对磷酸铁锂电池故障的有效诊断。

### 2.3 故障预警与处理的策略

根据故障诊断结果,制定相应的故障预警和处理策略是确保电池安全运行的关键。当电池性能参数超过预设阈值时,应及时发出故障预警信号,提醒用户及时采取措施。而且通过系统的提示,检修人员也可以根据故障类型和严重程度,制定相应的处理策略。

在进行故障处理的过程中,若是轻微故障,维修人员可以通过调整充放电策略、优化电池管理系统等方式进行修复和改善。例如,可以适当降低充放电电流、调整充放电温度范围等,以减缓电池性能衰退的速度。对于严重故障,如电池内阻过大、容量损失严重等,应及时更换电池或采取其他紧急措施,以防止电池出现安全事故。

### 2.4 故障处理的缺陷

(1) 内部状态难以直接监测:磷酸铁锂电池的内部状态(如健康状态SOH、荷电状态SOC和剩余使用寿命RUL)不容易实时准确地测量。由于电池内部复杂的化学反应以及老化过程中的不可逆变化,直接监测往往需要借助高级算法和精密传感器。

(2) 早期故障不易察觉:磷酸铁锂电池单元之间的不一致性会导致整体电池组性能下降,这种现象直到积累到一定程度才显现出来,增加了故障检测的难度。

(3) 内部微短路难以预警:磷酸铁锂在制备过程中可能出现单质铁引发的微短路问题,这类内部缺陷通常无法通过常规的外部电气参数检测来预先发现。

为了克服这些缺陷,开发具有实时性、准确性、可视化以及灵活性等诸多优势的Simulink内阻监测模型显得尤为重要,在实际应用过程中,模型可以根据实际需求进行定制和扩展,适应不同类型和规格的磷酸铁锂电池。

## 3 Simulink在磷酸铁锂电池内阻监测与故障诊断中的应用

基于本文的构建模型,根据磷酸铁锂电池的工作原理和特性,完成了磷酸铁锂电池内阻监测与故障诊

断的数学模型,并利用Simulink的图形化建模工具,将数学模型转化为仿真模型。该模型能够实时监测电池的内阻变化,并根据内阻的变化判断电池的健康状态,从而完成对电池的故障诊断。为了验证模型的有效性和准确性,在完成模型构建后试验人员也进行了一系列的实验。实验结果表明,该模型能够准确地监测到电池内阻的变化,并能够在电池出现故障时及时发出警报。

案例一:某新能源汽车在行驶过程中突然出现故障,无法继续行驶。经过检查发现,该车的磷酸铁锂电池内阻异常增大。利用Simulink模型进行故障诊断后发现,该电池存在内部短路故障。经过及时处理和更换电池后,车辆恢复正常。

案例二:某电动汽车在充电过程中发现充电速度异常缓慢。经过实时监测数据分析发现,该车的磷酸铁锂电池内阻偏大。通过Simulink模型进行故障诊断后发现,该电池存在电解质干涸的问题。经过对电池进行维护处理后,充电速度恢复正常。

需要注意的是,在该模型应用的过程中,实时监测数据是磷酸铁锂电池内阻监测与故障诊断的重要依据。通过对实时监测数据的分析,检修人员可以及时发现电池性能参数的异常变化,为故障诊断提供有力支持。

## 4 结束语

随着新能源汽车市场的迅速崛起,电池作为其核心部件,其性能与安全性日益受到人们的关注。本文利用Simulink建立了磷酸铁锂电池内阻监测与故障诊断模型,并通过实验验证了模型的有效性和准确性。本文还对实时监测数据的分析与应用进行了探讨,并选取了典型的故障诊断案例进行分析。这些工作作为磷酸铁锂电池的内阻监测与故障诊断提供了有力的支持,也为新能源汽车的安全运行和高效使用提供了保障。■

## 参考文献

- [1] 王焕伟,张若朋,薛守洪,等.电化学储能电站用磷酸铁锂电池电性能及电极材料理化性能分析[J/OL].内蒙古电力技术,2024,42(2):24-29.
- [2] 陈星光,沈逸凡,邵裕新,等.面向实车应用的磷酸铁锂电池容量辨识及特异性优化方法研究[J/OL].储能科学与技术,2024(3):1-9.
- [3] 刘明明.电动汽车磷酸铁锂电池快充控制器设计[J].机电信息,2024(5):43-46.
- [4] 曹勇,杨大鹏,朱清,等.大容量磷酸铁锂电池模组热失控研究[J].储能科学与技术,2024,13(7):2462-2469.