

数字赋能下新能源动力电池系统故障诊断技术探索

许丽莎

金肯职业技术学院，江苏 南京 211156

DOI: 10.61369/TACS.2026010024

摘 要： 随着全球能源结构加速向低碳化、电动化转型，新能源动力电池作为电动汽车、储能系统等领域的核心部件，其安全性和可靠性已成为影响产业高质量发展的重要因素。然而，动力电池系统由于其复杂的电化性质以及动态运行的工况，导致故障类型多样、隐蔽性较强、演化的机制也比较复杂，传统以经验规则或单一信号分析的诊断方法已经无法满足实时性、精准性和智能化的需求。与此同时，以人工智能、大数据、物联网为代表的数字技术实现高速发展，能够为突破动力电池故障诊断技术提供支持，显著提升系统安全性并降低运维成本。基于此，本文对数字赋能下新能源动力电池系统故障诊断技术展开分析和研究，以供参考。

关 键 词： 数字赋能；新能源动力；电池系统；故障诊断技术

Exploration of Fault Diagnosis Technology for New Energy Power Battery Systems Under Digital Empowerment

Xu Lisha

Jinken College of Technology, Nanjing, Jiangsu 211156

Abstract： With the accelerated global energy structure transformation towards low-carbonization and electrification, new energy power batteries, as core components in fields such as electric vehicles and energy storage systems, their safety and reliability have become crucial factors affecting the high-quality development of the industry. However, due to the complex electrochemical properties and dynamic operating conditions of power battery systems, they present diverse fault types, strong concealment, and complex evolution mechanisms. Traditional diagnostic methods based on empirical rules or single-signal analysis can no longer meet the requirements of real-time performance, accuracy, and intelligence. Meanwhile, digital technologies represented by artificial intelligence, big data, and the Internet of Things (IoT) have achieved rapid development, which can provide support for breaking through power battery fault diagnosis technologies, significantly improving system safety and reducing operation and maintenance costs. Based on this, this paper conducts analysis and research on fault diagnosis technology for new energy power battery systems under digital empowerment, for reference.

Keywords： digital empowerment; new energy power; battery system; fault diagnosis technology

前言

故障诊断技术作为保证动力电池系统安全可靠工作的重要支撑手段之一，对新能源汽车的安全性至关重要。传统的基于人工检测、阈值判断以及故障数分析的动力电池故障诊断方法存在着诊断精度不高、响应不及时等诸多缺点，无法满足动力电池系统复杂故障机理及大规模应用的要求。随着数字技术的高速发展，以大数据、人工智能、物联网为代表的数字化技术不断取得新进展，也为动力电池故障诊断的技术进步提供支撑，数字赋能成为推动动力电池故障诊断转型升级的重要力量。

一、新能源动力电池系统构成与常见故障类型

（一）动力电池系统构成

新能源动力电池系统是一个复杂的集约化系统，目的是保证

给新能源汽车供电以持续、稳定的能源供给，进而实现对电池的全生命周期管理，主要包括电芯、电池模组、电池管理系统等几个部分，它们共同协作来完成电池的使用需求。电芯是构成动力电池系统中的最小能量单元，它作为电能储存及释放的载体。目

前,常见的电芯有锂电子电池、固态电池等,决定了动力电池系统的能量密度以及安全性能等指标^[1]。

电芯作为动力电池系统最小能量单元,是电能存储及释放的主要载体。目前,常见电芯主要有锂电子电池、固态电池等,其性能将直接影响电力电池系统的能量密度以及循环寿命指标。电池模组则是由电芯进行串并联组成,可实现电能集中存储及输出功能。而电池管理系统就是动力电池系统的大脑,用来采集电芯中的电压、电流的参数,来完成整体上的电池状态估算,从而进行放电控制。热管理系统用于控制动力电池系统的工作温度,避免由于温度过高或过低而出现电池性能衰减的问题。电路系统包括电压电路、低压电路,负责电能的传输与分配,连接电芯、模组、BMS与车辆驱动系统,是保障电能稳定的关键。外壳用于保护内部的组件和装置,避免由于外界环境对电池系统造成影响^[2]。

(二) 常见的故障类型

电信故障是动力电池系统中最为常见的故障之一,出现故障的问题在于电芯的老化和损伤,从而产生电芯衰减、电芯短路的问题。电芯衰减指的是电芯在长期充放电循环的过程中,容量逐渐出现下降,内阻逐渐增大,这也导致电池系统续航出现缩水的问题,这也是电芯的自然老化现象。电芯短路可以分为内部的短路和外部短路。内部短路主要由电芯极片破损、隔膜老化破损导致,外部短路则主要由线路破损、接触不良所导致,短路会产生大量的热量,容易出现发热失控的问题^[3]。

BMS故障主要影响电池系统的监控、控制和预警功能。传感器故障指的是电压传感器、电流传感器和温度传感器出现误差以及失效,导致BMS难以精准采集电池的参数,进而影响电池状态评估和故障判断,是导致误诊漏诊的重要原因。通信故障则是BMS与车辆控制器等之间出现信号中断,导致指令无法正常传输数据无法正常交互。

电池系统温度控制相关故障主要包括冷却系统故障、加热系统故障等热管理系统故障;冷却系统故障又包括风扇故障、冷却管路堵塞等,会导致电池系统散热不好、温度过高、电芯老化加快而引起发热失控;温度控制逻辑故障是指热管理系统的控制算法发生故障,这也造成温度控制精度不高,无法依据电池工况及环境温度而变化,影响电池系统性能及安全^[4]。

电路系统故障主要包括影响电能传输预分配,包括高压电路断路、低压电路故障、线路接触不良等。高压电路断路多由线路破损、绝缘层老化导致,产生大量热量,会损坏电路组件,引发发热失控。低压电路故障则包括低压线路短路、断路、保险丝烧毁等,直接影响BMS、热管理系统等辅助系统工作,间接导致电池系统的故障出现。

二、数字赋能下新能源动力电池系统故障诊断路径

(一) 物联网技术: 实现故障诊断的数据采集

物联网技术是数字赋能工作开展的基础,其核心是利用不同种类的传感器和物联网终端,实现动力电池系统参数的全面采集和传输,从而为故障诊断提供数据上的支持和保障。在动力电池

系统中,物联网技术的应用一般体现在数据采集终端部署、数据传输网络搭建两个方面。在数据采集终端部署方面,通过在电芯、模组、BMS、热管理系统等关键位置,部署电压传感器、电流传感器、温度传感器、湿度传感器等各类传感器,实现对电池系统运行参数的有效采集,包括电芯电压、电流、温度、内阻等方面的控制,采集频率可根据工况需求调整,实现从毫秒级别到分钟级别的精准采集,确保微小的参数波动能够被捕捉。在数据传输网络搭建的过程中,根据新能源汽车的运行场景,采用传输架构实现采集数据的实时、高效传输。5G技术具有高速率、低延迟、大容量的优势,能够实现毫秒级别的数据传输,从而满足实时故障预算和诊断的需求。云端平台负责接收、存储、管理各类采集数据,为后续的故障分析、智能诊断提供数据支持。例如,某头部车企通过搭建协同架构,实现单日处理2.1亿条的电池数据,为实时故障诊断提供数据上的支持^[5]。

(二) 大数据技术: 实现故障数据的深度挖掘

动力电池系统在运行期间,物联网终端会系统采集各类数据信息,这些信息中涉及到电池系统运行规律、故障机理和故障特征。大数据技术的核心作用是对这些海量数据进行整体挖掘和分析,提取故障的特征,挖掘其规律,为故障预警、精准诊断提供支持^[6]。

数据预处理是大数据分析的基础。由于物联网终端采集到的数据信息存在无效数据和冗余数据等问题,这就需要通过数据清洗、数据集成、数据标准化的方式,剔除无效的信息,整合各类分散的数据信息,将非标准化数据转变为标准化的数据,保障数据信息的准确性。故障特征提取是大数据分析的核心,通过聚类分析、关联分析、特征工程等算法,从预处理后的海量数据中提取和各类故障有关的特征参数,构建故障特征库。不同类型的故障,其对应的特征参数存在差异。例如,电芯短路故障对应的特征参数是电芯电压骤降、电流骤升、温度急剧升高。故障规律挖掘是通过对历史故障数据、运行数据的分析,挖掘故障发生时间规律和工况规律,推测故障发生的概率和时间,为故障预警提供更多的帮助和支持。

(三) 人工智能技术: 实现故障问题的精准诊断

人工智能技术是数字赋能的核心动力,其核心是通过机器学习、深度学习等算法,模拟人类的思维方式,实现故障的自动识别和精准判断,摆脱对人工经验的依赖。人工智能技术在动力电池故障诊断中的应用主要包括故障预警模型、故障诊断两个方面,涉及到机器学习、深度学习、知识图谱等领域的技术手段。

在故障预警模型方面,根据大数据挖掘的故障特征和故障规律,通过机器学习算法、深度学习算法构建动力电池故障预警模型,有助于实现对故障的提前预警。预警模型通过实时输入物联网采集到的运行参数,与故障特征库中的数据进行对比,计算故障发生的概率。当达到阈值后,自动发出预警信号,提醒用户和维修人员做好处理,避免出现故障扩大化风险^[7]。

在故障诊断模型方面,通过深度学习算法,构建动力电池故障诊断模型,实现对故障类型、故障位置、故障严重程度的识别。诊断模型通过输入与处理后的运行数据、故障特征参数、自

动识别故障的类型，定位故障出现的问题，并输出对应的诊断报告和处置建议，实现故障的自动诊断和智能化处理。例如，根据CNN 算法构建的故障诊断模型，通过分析电池系统的电压、电流波形精准识别电路断路和接触不良的故障。根据知识图谱构建的故障诊断模型，快速定位故障的问题，将维修时间缩短在40%以内。除此之外，人工智能技术的应用能够实现诊断模型的自学习、自优化，通过不断输入新的故障数据、运行数据，提高诊断的精度和适配性，适配动力电池技术的迭代和故障类型的变化^[8]。

（四）数字孪生技术：实现故障的可视化仿真

数字孪生技术作为一种融合物联网、大数据、人工智能、三维模型等技术的新型数字技术，其核心是构建与物理动力电池系统对应的数字孪生模型，从而实现物理系统与数字模型的映射，可视化仿真与全生命周期的管理，为故障诊断提供可视化、可追溯的支持。数字孪生技术在动力电池诊断中，其应用主要体现在：

以数字孪生模型构建为基础，利用三维建模技术，基于动力电池系统设计图纸、结构参数和运行数据，构建与物理电池系统一致的数字孪生模型，模型需涉及到电芯、模组、BMS、热管理系统、电路系统等所有的组件，并能真实反应物理系统的运行状

态，如参数的变化、构件的磨损、故障表现等。利用物联网的技术将数字模型和物理系统进行数据同步，物理系统的参数变化以及故障表现，都会体现在数字模型上，实现物理实体和数字孪生的双映射^[9-10]。

故障可视化仿真作为数字孪生技术的优势，在物理动力电池系统出现故障和隐患时，数字孪生模型能够实时仿真故障发生的过程和趋势，展示故障的位置、特征和影响范围，帮助维修人员快速理解故障机理，精准定位故障的位置，制定科学的处理方案。

三、结语

综上所述，数字赋能是推动新能源动力电池系统故障诊断技术转型升级的核心动力，大数据、人工智能、物联网、数字孪生等数字技术与动力电池故障诊断技术的融合，能够打破传统故障诊断技术的局限，构建闭环的体系，实现了故障诊断的转型和升级。相信在未来，新能源动力电池系统将持续进行改进，突破核心技术瓶颈，完善标准体系，推动技术的优化和升级。

参考文献

[1] 陈刚. 新能源汽车电池管理系统故障诊断与维修技术研究 [J]. 汽车测试报告, 2025, (04): 25-27.
[2] 朱炳耀. 新能源汽车动力电池供电系统故障诊断与维修策略研究 [J]. 汽车与驾驶维修 (维修版), 2025, (01): 64-66.
[3] 赵会霞, 江秋仪. 浅谈新能源汽车动力电池故障警告灯亮的可能故障原因分析 [J]. 时代汽车, 2025, (02): 169-171.
[4] 温蓉蓉. 新能源汽车动力电池系统故障诊断分析 [J]. 时代汽车, 2024, (19): 116-118.
[5] 张超龙. 新能源汽车动力电池及管理系统故障诊断 [J]. 汽车画刊, 2024, (07): 10-12.
[6] 李钰. 新能源汽车动力电池故障诊断关键技术研究 [J]. 内燃机与配件, 2024, (14): 79-81.
[7] 刘海云. 新能源汽车动力电池系统故障诊断分析 [J]. 内燃机与配件, 2024, (12): 80-82.
[8] 罗崴. 新能源汽车锂离子动力电池系统故障诊断技术研究 [D]. 广西科技大学, 2023.
[9] 张蓉. 新能源汽车动力电池故障诊断与维修技术研究 [J]. 汽车测试报告, 2023, (05): 55-57.
[10] 李永伟. 新能源汽车动力电池系统故障诊断研究综述 [J]. 时代汽车, 2023, (05): 184-186.