

智能诊断技术在新能源汽车检测与维修中的应用

杜晓伟

西安汽车职业大学 陕西西安 710038

摘要: 智能诊断技术通过传感器、大数据与人工智能技术,在新能源汽车检测与维修中实现多维度应用。该技术可实时监测电池、电机及电控系统运行状态,精准识别电池容量衰减、热失控风险、电机绝缘故障等典型问题,并通过机器学习模型预测潜在故障。其优势在于提升诊断效率、降低误判率,同时通过车联网实现远程诊断与OTA升级,助力新能源汽车产业向智能化(描述贴近诊断)、预防性维护方向升级。

关键词: 智能诊断技术;新能源汽车;检测与维修;应用

引言

随着新能源汽车保有量快速增长,其复杂的电控系统与集成化部件对传统检测维修方式提出严峻挑战。传统方法依赖人工排查与故障码读取,存在故障漏判、定位不准、协同分析能力弱等痛点,难以满足动力电池健康管理、电机隐性故障识别等需求。智能诊断技术通过融合多源传感器数据、机器学习算法与数字孪生模型,实现了从被动维修向主动预测的转变,成为提升新能源汽车可靠性与维修效率的关键支撑,对推动产业智能化升级具有重要意义。

一、新能源汽车检测与维修的技术特点与痛点分析

(一) 新能源汽车核心技术系统

(1) 动力电池系统是核心能量来源,其BMS管理系统需精准控制充放电状态,实时监测电芯电压、温度等参数,但受使用环境与循环寿命影响,易出现电芯一致性下降问题,且热失控风险突出,一旦发生将引发安全事故,对检测维修的精准度要求极高。

(2) 驱动电机与控制系统决定车辆动力输出,运行中易因绝缘材料老化产生绝缘故障,导致漏电风险,同时长期高速运转会出现轴承磨损、转子失衡等问题,引发振动异常,影响驾驶体验与行车安全,需专业设备检测故障根源。

(3) 高压电控系统是能量转换关键,DC/DC转换器负责调节电压,为低压设备供电,充电模块保障充电效率与安全,该系统部件集成度高,线路复杂,故障排查难度大,任何部件异常都可能导致整车动力中断^[1]。

(二) 传统诊断方法的局限性

(1) 依赖故障码的被动式检测仅能识别已触发故障

机制的问题,无法覆盖电池衰减、电机隐性磨损等隐性故障,易造成故障漏判,埋下安全隐患。

(2) 人工排查需技术人员逐一检查部件,面对复杂的电控系统与集成化部件,不仅耗时长,还易因经验不足或判断偏差导致误判,增加维修成本。

(3) 新能源汽车各系统协同工作,传统方法缺乏对多系统协同故障的分析能力,难以精准定位故障点,影响维修效率。

(三) 智能诊断技术的必要性

(1) 新能源汽车运行产生海量数据,涵盖电池、电机、电控等多系统信息,传统方法无法有效处理,需智能诊断技术实现多源数据融合分析,挖掘数据关联,精准识别故障。

(2) 随着新能源汽车保有量增加,用户对车辆可靠性要求提升,实时监测车辆状态、提前预测潜在故障并进行维护成为迫切需求,智能诊断技术可满足这一需求,减少故障发生率,提升用户体验。

二、智能诊断技术体系与核心方法

(一) 数据驱动的诊断技术

(1) 传感器技术是数据采集的基础,高精度电流/电压传感器可实时捕捉动力电池充放电过程中的电流电压波动,精准反映电池工作状态;温度传感器能监测电池、电机及电控系统关键部位温度,及时预警过热风险;振动传感器则可采集驱动电机运行时的振动信号,为判断电机轴承磨损、转子失衡等故障提供数据支撑,多类型传感器协同实现全维度数据采集。

(2) 信号处理是数据转化的关键环节,时频分析中的小波变换技术,可有效处理非平稳的传感器信号,如电机振动信号,清晰分离故障特征频率;特征提取中的

FFT频谱分析,能将时域的电、电压信号转化为频域信息,快速识别异常频率成分,为后续故障诊断提供明确的特征依据,提升数据的可用性。

(3)机器学习算法是诊断决策的核心,监督学习中的支持向量机(SVM)擅长处理高维小样本数据,可精准分类电池衰减、电机绝缘故障等不同故障类型;随机森林通过多棵决策树集成,能降低单一模型误判率,提高故障分类准确性;无监督学习的聚类分析无需标注数据,可自动识别车辆运行中的异常数据模式,发现隐性故障;深度学习中,长短期记忆网络(LSTM)能利用时序数据预测电池健康度(SOH),提前判断电池衰减趋势;卷积神经网络(CNN)可对电机故障图像进行特征提取,快速识别绕组短路等视觉可分辨故障^[2]。

(二)知识驱动的诊断技术

(1)专家系统依托领域专家经验构建规则库,故障树分析(FTA)是其核心工具,通过将整车故障作为顶事件,逐层分解为中间事件和底事件,如将“动力中断”顶事件分解为“电控故障”“电机故障”等中间事件,再进一步细化至具体部件故障,形成清晰的故障逻辑链,便于快速定位故障根源,尤其适用于已知故障模式的诊断。

(2)数字孪生技术通过构建与实体车辆1:1的虚拟模型,整合车辆设计、运行及维修数据,可模拟不同故障场景下的故障传播路径,如模拟电池热失控时热量在电芯间的传递过程,或电机绝缘故障对电控系统的影响,帮助技术人员直观掌握故障演化规律,提前制定针对性应对策略。

(三)混合诊断方法

(1)数据与知识融合能兼顾数据的客观性与知识的逻辑性,例如模糊逻辑结合神经网络,模糊逻辑可将专家经验转化为模糊规则,处理诊断中的不确定性问题,神经网络则利用数据学习能力优化规则参数,二者结合既避免了纯数据驱动对样本的依赖,又弥补了纯知识驱动难以应对复杂新故障的不足,提升诊断适应性。

(2)边缘计算与云端协同实现高效诊断,边缘计算部署于车辆或检测设备端,可对实时采集的传感器数据进行快速分析,实现故障的实时响应,如车辆行驶中即时预警电机振动异常;云端平台则汇聚海量车辆数据,进行大数据分析 with 模型训练,优化诊断算法,定期更新边缘端诊断模型,形成“实时响应-云端优化-模型迭代”的闭环,兼顾诊断时效性与准确性。

三、智能诊断技术在新能源汽车检测与维修中的具体应用

(一)动力电池系统诊断

(1)在电池组均衡性检测与故障定位中,智能诊断技术通过高精度电压传感器采集各电芯实时电压,结合内阻测试仪获取电芯内阻数据,构建电压-内阻差异分析模型。当某节电芯电压或内阻偏离均值阈值时,系统可快速定位故障电芯,如识别因电芯老化导致的电压不均衡问题。同时,结合历史充放电数据,还能预判电芯衰减趋势,为电池组维修或更换提供精准依据,避免因单电芯故障引发整组性能下降^[3]。

(2)热失控早期预警依托温度-电压-气体多参数融合模型实现,温度传感器实时监测电池包各区域温度,电压传感器捕捉电芯电压突变,气体传感器则检测电池热失控前释放的CO、HF等特征气体。系统将多维度数据融合分析,当温度骤升、电压异常跌落且检测到特征气体时,立即触发预警信号,并通过车载终端通知用户,为安全处置争取时间,降低热失控事故风险。

(二)驱动电机与控制系统诊断

(1)绝缘故障检测采用高频脉冲注入法结合AI分类技术,向电机控制系统注入特定频率的高频脉冲信号,通过电流传感器采集反馈信号,分析信号衰减特性判断绝缘状态。若绝缘层破损,反馈信号会出现异常波动,AI模型(如SVM分类器)则根据历史故障数据训练的特征,精准识别绝缘故障类型(如匝间绝缘损坏、对地绝缘失效),并定位故障区域,避免传统检测方法漏判、误判问题。

(2)振动噪声(NVH)分析与电机轴承故障识别中,振动传感器安装于电机壳体关键部位,采集运行时的振动信号,通过FFT频谱分析提取特征频率。当电机轴承出现磨损、润滑不足等问题时,振动频谱会出现特定频率的峰值,系统结合CNN模型对振动特征进行识别,可准确判断轴承故障等级(如轻微磨损、严重剥落),并提前预警,避免故障扩大导致电机报废^[4]。

(三)高压电控系统诊断

(1)充电模块故障预测通过整合充电曲线与历史数据实现,智能诊断系统实时采集充电过程中的电压、电流、充电时间等参数,生成充电曲线。将当前曲线与正常充电曲线、历史故障充电曲线对比,结合机器学习算法(如LSTM)分析曲线形态差异,如充电电压异常波动、充电速率骤降等,可预测充电模块潜在故障(如充电接触器接触不良、整流模块老化),提前安排维修,避

免充电中断或充电安全事故。

(2) DC/DC转换器效率优化依靠实时监测与参数自适应调整技术,电压、电流传感器实时监测转换器输入输出参数,计算转换效率。当效率低于设定阈值时,系统通过自适应算法调整PWM占空比、开关频率等参数,优化能量转换过程。例如,在车辆低速行驶、低压负载较小时,自动降低开关频率减少损耗;在高压输入波动时,调整占空比稳定输出电压,确保转换器始终处于高效运行状态,提升整车能源利用率。

(四) 整车级协同诊断

(1) 多ECU数据关联分析可解决跨系统故障定位难题,系统采集动力系统、底盘系统、车身系统等多ECU(电子控制单元)的运行数据,通过数据融合技术挖掘关联关系。如车辆出现动力中断时,不仅分析驱动电机、电控系统数据,还关联CAN总线通信数据,若发现动力ECU与通信ECU之间数据传输中断,可判定故障源于网络通信,而非动力部件本身,避免盲目维修。

(2) 基于CAN/FlexRay总线的故障传播路径追溯,利用总线数据记录仪采集各节点通信数据,当某一节点出现故障(如传感器信号异常),系统可追踪该故障信号在总线中的传输路径,分析其对其他节点的影响。例如,当电池管理系统(BMS)发送错误电压信号,系统可追溯该信号如何传递至电控单元,导致电机控制异常,从而精准定位故障源头与传播环节,提升整车故障排查效率^[5]。

四、智能诊断技术在新能源汽车检测与维修中的未来发展趋势与对策建议

(一) 技术发展趋势

(1) 5G+车联网将突破地域限制实现远程实时诊断,借助5G高带宽、低时延特性,车辆可实时向云端传输海量运行数据,维修人员无需现场接入,即可远程监测电池、电机等核心系统状态,甚至远程完成故障代码清除、参数校准等基础维修操作,大幅提升故障响应效率,尤其适用于偏远地区车辆维修。

(2) 数字孪生与AR技术融合将革新维修模式,数字孪生构建的虚拟车辆模型可精准复现故障场景,AR设备则能将虚拟故障点叠加到实体车辆上,实现可视化故障定位,维修人员通过AR眼镜即可直观查看部件内部故障,如电机绕组短路位置,降低维修操作难度,缩短维修时长。

(3) 自进化诊断模型将提升跨车型适配能力,基于

迁移学习技术,模型可利用已有车型的故障数据,快速适配新车型诊断需求,无需重新采集海量数据训练,面对新能源汽车车型快速迭代的现状,能及时更新诊断算法,确保不同车型故障诊断的准确性与时效性。

(二) 对策建议

(1) 需推动行业数据共享与标准制定,建立统一的新能源汽车故障数据共享平台,打破车企数据壁垒,同时扩展OBD-II协议功能,规范数据采集格式与故障代码标准,避免因数据格式不统一导致诊断设备兼容性问题,为智能诊断技术应用奠定基础。

(2) 应加强维修人员AI技术培训,构建“AI系统辅助+人工操作”的人机协作模式,通过专项培训让维修人员掌握数据解读、模型参数调整等技能,使其能高效利用智能诊断系统输出结果,避免因技术断层导致智能设备无法充分发挥作用。

(3) 要开发低成本轻量化诊断设备,针对中小维修企业资金有限的现状,简化设备功能模块,降低硬件成本,推出便携式诊断终端,满足中小维修企业基础故障诊断需求,推动智能诊断技术普及。

结束语

智能诊断技术凭借数据融合、AI算法与实时监测能力,为新能源汽车检测维修带来了精准化与高效化变革。它不仅突破了传统方法在隐性故障识别、多系统协同分析上的局限,更推动了维修模式向预防性、智能化转型。未来,随着技术迭代与生态完善,智能诊断将进一步降低运维成本、提升安全性能,成为新能源汽车产业迈向高质量发展的核心支撑,为全球绿色交通转型注入强劲动能。

参考文献

- [1] 扈文锋.分析新能源汽车发展背景下的汽车检测与维修技术革新[J].汽车与新动力,2022(04):105-107.
- [2] 缪静梅.探讨新能源汽车检测与维修现状及发展对策分析[J].新能源科技,2022(10):22-24.
- [3] 王帮河.研究新能源电动汽车维修中电子检测诊断技术的应用[J].黑龙江科学,2022(22):64-66.
- [4] 郑磊.电子诊断技术在新能源汽车检测与维修中的应用[J].汽车测试报告,2023(21):58-60.
- [5] 颜国仁.智能诊断技术在新能源汽车检测与维修中的应用[J].专用汽车,2023(7):101-103.