

## 新能源汽车智能故障诊断与预测系统构建研究

江西洪州职业学院 钟涛 姜小萌

**摘要：**面对新能源汽车复杂系统故障诊断与预测的技术挑战，本文提出一种综合解决方案。该方案融合多模态数据、数字孪生仿真、边缘-云计算协同以及自主学习能力，通过深入分析动力电池、驱动电机等核心部件的故障机理，构建基于深度学习的诊断模型与预测算法，并开发集成化系统平台，为新能源汽车安全运行与产业可持续发展提供理论支撑。

**关键词：**新能源汽车；智能故障诊断；预测系统

### 一、引言

新能源汽车的可靠性与安全性在很大程度上依赖于高效的故障管理。然而，传统诊断方法难以应对新能源汽车多系统耦合、非线性退化及海量实时数据处理等挑战。本文基于电气工程、计算机科学等多学科交叉理论，引入前沿智能技术，致力于构建高精度、强适应性的故障诊断与预测体系。同时，注重实际应用场景，积极推动技术成果向维修服务与整车设计转化，以满足行业对降本增效与用户体验提升的双重需求。

### 二、新能源汽车常见故障分析

新能源汽车的可靠性面临严峻考验，其核心系统常见故障具有高度复杂性和隐蔽性，远超传统燃油车的范畴。

**动力电池系统：**作为故障高发区，常见问题包括单体电池不一致性引发的容量跳水、热管理失效导致的热失控风险，以及电池管理系统（BMS）软硬件故障引发的误报或失效。

**驱动电机及控制系统：**存在多种隐患，如电机绕组绝缘老化、轴承磨损、位置传感器漂移，以及功率器件（如IGBT）的过温击穿等，均可能导致动力瞬间中断。

**高压电气附件及整车控制器：**车载充电机（OBC）、DC-DC转换器等高压电气附件易出现故障，整车控制器（VCU）软件逻辑错误或通信总线异常也频繁引发车辆功能受限或“趴窝”。

此类故障不仅呈现强耦合性（如电池异常可能连锁触发电机控制器保护），且退化过程高度非线性，早期征兆极其微弱。依赖人工经验或固定阈值的传统诊断方法难以有效应对，易发生漏判、误判，从而埋下严重安全隐患。

因此，构建智能故障诊断与预测系统至关重要，该系统是保障产业安全与可持续发展的核心支撑技术，其重要性体现在以下方面：

#### （一）破解“信息孤岛”，透视复杂系统

新能源汽车运行数据分散于电池管理系统（BMS）、电机控制器、多源传感器等异构系统中，数据类型涵盖电压、电流、温度、振动、CAN报文等多元形态。传统单一模型难以应对此类碎片化数据特征，而智能系统可实现深层关联性故障特征的自主挖掘，识别传统方法难以捕捉的早期微弱故障信号。

#### （二）虚拟战场，安全练兵

在实车上进行电池热失控、电机短路等故障注入实验，成本高昂且风险不可控，难以覆盖所有情况。数字孪生技术可构建高保真虚拟镜像，借助多物理场耦合建模与实时数据驱动仿真，在数字空间安全、高效地复现车辆动力系统、热管理系统、电气系统的故障演化过程，促进维修工作的顺利开展。

### 三、新能源汽车智能故障诊断与预测系统构建

#### （一）多模态数据融合与深度学习驱动的故障特征提取

新能源汽车运行状态蕴含于电池管理系统（BMS）、电机控制器、多源传感器等异构数据流中，传统阈值或单一模型方法难以有效挖掘深层故障特征。深度学习因其强大的特征自学习与模式识别能力，成为处理此类多模态信息的理论基石。其中，卷积神经网络（CNN）可捕捉空间局部特征，长短期记忆网络（LSTM）擅长处理时间序列依赖。

#### （二）基于数字孪生的故障模拟与诊断算法验证

新能源汽车实车故障注入实验成本高昂且风险较高，难以覆盖所有复杂工况与极端场景。数字孪生技术通过构建高保真虚拟模型，为故障诊断与预测算法提供了安全、高效的验证环境。其理论核心在于多物理场耦合建模与实时数据驱动仿真，精确复现车辆动力系统、热管理系统、电气系统的动态行为。

具体操作中，联合零部件供应商，获取电池电化学模型、电机电磁模型、整车动力学模型等高精度参数化模型，搭建涵盖机械、电气、热力等多学科的系统级孪生体；开发故障模式库与注入引擎，支持用户自定义故障类型、位置与严重程度，以模拟真实环境下的故障演变。

#### （三）边缘—云协同计算架构下的实时诊断与预测

新能源汽车故障诊断需低延迟响应以保障行车安全，而预测模型训练依赖海量历史数据与强大算力，单一计算层级难以兼顾实时性与深度分析需求。边缘计算与云计算的协同架构提供了理论上的最优解，边缘侧贴近数据源，可实现毫秒级本地化处理与紧急故障判断。

在实际应用中，车辆端（边缘层）嵌入轻量化诊断模块，集成预处理算法与关键故障（如电池热失控）的实时识别模型，确保1分钟内完成本地数据诊断并触发紧急制动等安全响应；车载网关筛选有价值数据（如异常片段、特征向量），上传至边缘服务器或区域云中。

#### （四）具有自主学习能力的诊断预测系统优化

新能源汽车技术迭代迅速，车型配置差异显著，固定参数的诊断模型易因硬件更新或驾驶习惯变化而性能退化。赋予系统持续自主优化能力是保障系统长期有效性的理论必然。在线学习与迁移学习机制使系统能够利用新增运行数据自动调整模型，适应新环境；强化学习则可优化诊断决策策略，提升预测准确性。对于全新车型或部件，应用迁移学习技术，能够将已训练模型的知识（如特征提取层参数）迁移至新任务，大幅减少所需标注数据量。

#### 四、结语

综上所述，本文构建的新能源汽车智能故障诊断与预测体系，通过深度融合多模态感知、数字孪生仿真、分布式计算与自主学习技术，实现了故障精准识别与超前预警。未来研究将聚焦于车规级硬件适配、V2X数据融合及行业标准制定，以推动技术的规模化应用，为新能源汽车产业的安全、高效、可持续发展提供核心技术支撑。

#### 参考文献：

- [1] 朱英明.智能化技术在新能源汽车故障诊断中的应用[J].集成电路应用,2024,41(1):222-223.
- [2] 田爽.新能源汽车常见故障诊断与维修技术研究[J].汽车周刊,2023(6):180-182.

本文系2024年江西省教育厅科学技术研究项目“新能源汽车故障诊断与预测技术研究”（立项编号：GJJ2409503）成果

## 智能化技术赋能下新能源汽车充电系统故障诊断的方法优化

江西洪州职业学院 钟涛 姜小萌

新能源汽车的普及对故障诊断技术提出了更高要求，在本文当中，将系统性地探究若干策略在新能源汽车故障诊断中的应用价值，这些技术深度融合能显著提升故障识别精度、诊断效率与维修便捷性，有效应对新能源汽车复杂系统的诊断挑战，是未来产业发展的关键技术支撑。

新能源汽车集成度高、系统复杂，传统诊断方法面临响应滞后、精度不足等困境，智能化技术凭借其强大的数据处理、模式识别与实时交互能力，为高效精准的故障诊断提供了创新的路径，探索智能化诊断技术的应用策略与价值，对保障车辆安全运行、降低维保成本、提升用户体验具有现实意义，也是推动产业高质量发展的关键环节。

### 一、构建多层次车载智能诊断系统

车载智能诊断系统是故障监测的第一道防线，其核心在于对车辆运行状态进行实时、在线的感知与分析，现代新能源汽车普遍配备的 OBD（车载诊断）系统是其基础，但智能化技术能够予以更加深层次的能力，通过集成更多高精度传感器（如电流、电压、温度、振动、绝缘电阻监测传感器）并应用先进的总线通信技术（如 CANFD、以太网），系统能够采集动力电池、驱动电机、电控系统（三电核心）以及热管理、充电系统等关键子系统的海量多源异构数据。嵌入式处理器结合边缘计算技术，可在本地对数据进行初步清洗、特征提取和实时分析，执行预设的诊断规则库和阈值比对，实现常见故障的即时识别、分级预警（如轻微异常、严重故障）与初步定位，显著缩短故障发现时间，为后续深入诊断提供可靠依据。

### 二、建立云端协同的故障诊断大数据平台

海量车辆运行与故障数据仅依靠单车车载系统难以充分挖掘价值，云端平台是实现数据汇聚、深度分析与知识沉淀的核心，具体来说，该平台基于云计算强大的存储与计算能力，接收并整合来自成千上万车辆的实时状态数据、历史运行日志、故障报警信息以及维修记录，构建覆盖全生命周期的车辆健康档案库。平台运用大数据技术（如分布式存储 Hadoop/Spark、流处理 Flink）对海量异构数据进行高效清洗、关联整合与标准化处理。结合数据挖掘和机器学习算法，平台能够进行更复杂的模式识别、故障关联性分析和预测性诊断，发现潜在故障隐患、追溯共性问题根源、评估部件剩余寿命。平台还能实现诊断知识的持续积累与共享，将分析结果形成优化的诊断规则、预测模型反哺车载端和维修端，形成闭环优化。

### 三、深化人工智能辅助诊断决策应用

人工智能，特别是深度学习技术，在处理高维、非线性、强关联的车辆数据方面展现出独特优势，能有效解决传统基于规则诊断的局限性，通过对海量历史故障案例数据（包括传感器时序数据、故障码、维修工单、甚至图片/视频记录）的学习，AI 模型（如卷积神经网络 CNN 处理图像、循环神经网络 RNN/LSTM 处理时序信号、图神经网络 GNN 处理系统关联）能够自主挖掘出复杂、隐蔽的故障模式特征及其与故障现象间的深层映射关系，形成远超人工经验的知识体系，这使得 AI 系统不仅能对已知故障进行更精准的分类和定位，更能对表征模糊、多系统耦合的疑难杂症提供诊断线索，甚至实现早期、亚健康状态的预测性诊断，极大提升诊断的覆盖范围和智能化水平。

### 四、推广基于增强现实（AR）的远程协作维修指导

当现场维修人员遇到复杂或罕见故障时，AR 技术能架起高效获取专家支持的桥梁，维修人员通过佩戴 AR 眼镜或使用平板设备，将现场实景（故障部件、操作环境）实时视频传输给远程

专家；专家则能在远端观看实时画面，利用 AR 叠加技术（如图形标注、箭头指示、文字说明、三维动画拆解指引）直接“投射”到维修人员视野中的真实设备上，精准指导其进行部件检查、测量、拆装或调试步骤，这种方式将专家的“眼睛”和“经验”延伸到现场，极大降低了复杂故障的理解门槛和误操作风险，显著提升首次修复率，尤其对于分布广泛、难以配备全能型专家的维修网点价值巨大。但是这种模式具体推广需开发或选用成熟的 AR 远程协作软件平台和应用套件，平台需支持高清低延迟的双向音视频通信、稳定的空间锚定（保证虚拟标注在真实物体上的位置准确）、丰富的手势识别与标注工具（如画圈、箭头、文字批注、调用预设的 3D 动画指引）。

#### 五、结语

综上，智能化技术在新能源汽车故障诊断领域的深度融合应用已成必然趋势，车载系统的实时感知、云端平台的数据智能、AI 模型的辅助决策以及 AR 技术的远程协同，共同构建起一套高效、精准、协同的现代故障诊断体系，大幅提升了诊断效率与准确性，降低了维修成本和用户等待时间，也为预测性维护、产品设计优化提供了强大数据支撑。

2024 年江西省教育厅科学技术研究项目《新能源汽车故障诊断与预测技术研究》课题编号 GJJ2409503