

大数据驱动下新能源汽车电驱系统性能优化研究

龙 旭 夏怀效 沈小瑞 李凯敏
江铃汽车股份有限公司 江西 南昌 330001

摘 要：电驱系统作为新能源汽车核心总成，其效率、稳定性与可靠性直接决定整车性能与续航，当前传统优化方法适配复杂工况能力有限。本文以大数据技术为核心，构建电驱系统多维度数据采集与预处理体系，分析内外部性能影响因素，搭建性能评价与异常诊断模型，设计电机、电控及多组件协同优化策略，经仿真与实车验证，有效提升电驱系统效率、降低能耗，解决传统优化痛点，为新能源汽车电驱系统性能提升提供理论支撑与实践参考。

关键词：大数据驱动；新能源汽车；电驱系统；性能优化

引言：随着新能源汽车产业快速发展，电驱系统作为动力核心，面临效率不足、工况适配性差、能耗较高等问题，制约产业高质量发展。大数据技术的崛起为电驱系统性能优化提供新路径，其海量数据处理与规律挖掘能力可突破传统优化局限。本文立足行业需求，结合大数据与电驱系统相关技术，开展性能优化研究，破解多工况下电驱系统性能瓶颈，助力新能源汽车节能化、智能化升级，契合产业发展趋势与政策导向。

1 相关理论与技术基础

1.1 新能源汽车电驱系统核心构成与工作原理

(1) 电驱系统核心组件功能特性：电机为动力核心，将电能转化为机械能，兼具高效、低噪、调速范围广优势；电控系统作为控制中枢，调节电机转速、扭矩及能量分配，保障运行精准；减速器匹配电机与车轮转速，提升动力传输效率、降低能耗。(2) 工作机制与能量传输路径：电池输能至电控，电控根据行车需求调节电流驱动电机，电机动力经减速器减速增扭后传递至车轮实现行驶；制动时电机反向发电，将动能转化为电能回充电池，完成能量循环。(3) 关键性能评价指标：效率影响续航，稳定性指复杂工况下转速扭矩稳定输出，可靠性体现长期无故障能力，此外还有响应速度、NVH性能等辅助指标。

1.2 大数据技术核心理论与应用框架

(1) 大数据核心特征为海量性、高速性、多样性、价值性，关键技术涵盖数据采集（车载传感器、云端采集）、存储（分布式存储）、处理（实时/离线处理）、分析（数据挖掘、可视化）四大环节。(2) 大数据驱动的优化理论核心是基于海量数据挖掘运行规律，通过数据建模实现参数自适应调整，核心逻辑是“数据采集—分析建模—优化决策—反馈迭代”。(3) 新能源汽车领域大数据应用架构分为感知层、传输层、存储层、分析

层、应用层，实现电驱系统运行数据的全流程处理与优化应用^[1]。

1.3 电驱系统性能优化相关技术

(1) 传统优化方法以数学建模、仿真分析为主，通过建立电驱系统动力学模型，模拟不同工况下的运行状态，优化参数配置，成本低但适配性有限。(2) 机器学习算法通过学习海量运行数据，实现参数动态优化，常用算法包括神经网络、支持向量机，适配复杂工况，优化精度更高。(3) 多目标优化理论以效率、稳定性、可靠性等为目标，通过多目标算法平衡各指标冲突，实现电驱系统综合性能最优。

2 大数据驱动下新能源汽车电驱系统数据采集与预处理

2.1 电驱系统大数据采集体系构建

(1) 采集对象确定：核心涵盖三类关键参数，电机参数包括转速、扭矩、定子电流/电压、绕组温度等运行状态数据；电控参数包含控制策略参数、IGBT模块温度、PWM占空比等调控数据；环境参数涉及ambient temperature、路面阻力、行驶工况等外部影响数据，全面覆盖电驱系统运行全维度。(2) 采集终端与传输方式：采用车载终端作为数据采集核心，集成多类传感器实时捕捉参数；通过CAN总线实现车载终端与电驱各组件的数据交互，保障传输实时性；依托4G/5G网络将采集数据上传至云端平台，结合边缘计算实现部分数据本地预处理，提升传输效率。(3) 采集频率与数据量规划：根据参数重要性差异化设定采集频率，电机转速、扭矩等核心参数采集频率为100Hz-500Hz，环境参数等非核心参数为10Hz-50Hz；结合车辆运行时长，规划单辆车日均采集数据量为500MB-1GB，满足后续分析与优化需求。

2.2 电驱系统大数据预处理技术

(1) 数据清洗：针对采集数据中的异常值，采用 3σ

原则、箱线图法识别并剔除；对缺失值采用线性插值、均值填充等方法补全，避免数据偏差；删除重复、无效的冗余数据，精简数据量，提升后续处理效率。（2）数据标准化与归一化：采用Min-Max归一化方法，将不同量级的参数（如电流、温度）映射至[0,1]区间，消除量纲影响；同时结合Z-score标准化处理异常波动数据，确保数据分布均匀，适配后续算法建模需求。（3）数据融合与特征提取：采用多源数据融合策略，整合电机、电控、环境多维度数据，通过加权融合法降低单一数据的误差；运用小波分析、主成分分析（PCA）提取核心特征，筛选出与电驱性能强相关的关键数据，减少冗余特征干扰^[2]。

2.3 电驱系统大数据存储与管理

（1）云端数据库构建：搭建一体化云端数据库，整合电驱系统历史运行数据与实时采集数据，实现数据分类存储，其中历史数据用于趋势分析，实时数据用于动态优化，保障数据可追溯、可调用。（2）数据存储架构设计：采用分布式存储架构，结合MySQL、Hadoop等技术，适配高并发、高容量的数据存储需求，实现数据分片存储，提升数据读取与写入速度，支撑多车辆、多参数的同步处理。（3）数据安全与更新机制：建立数据加密传输与存储机制，防范数据泄露；采用“实时更新+定期备份”策略，实时同步最新运行数据，每日进行增量备份、每月进行全量备份，确保数据安全性与完整性。

3 大数据驱动下新能源汽车电驱系统性能分析与建模

3.1 电驱系统性能影响因素分析

（1）内部因素：主要包括电机损耗、电控参数及电池健康状态。电机损耗含铜损、铁损和机械损耗，直接削弱能量转化效率；电控系统的控制策略参数、IGBT模块工况影响动力输出稳定性；电池健康状态（SOH）决定供电能力，其衰减会间接影响电驱系统峰值性能与续航。（2）外部因素：环境温度、湿度及行驶工况为主要影响因素。低温降低电池放电效率和电机绕组导电性，高温易导致电控模块过热；高湿度可能降低电气部件绝缘性能；拥堵、高速、爬坡等工况会改变电驱系统负载需求，影响其效率与稳定性。（3）因素关联度分析：采用大数据关联规则挖掘技术，分析海量运行数据，挖掘内外部因素潜在关联，如低温与电机损耗的正相关、电池健康状态与电控参数调节的联动规律，为后续建模与优化提供数据支撑。

3.2 电驱系统性能评价模型构建

（1）评价指标体系优化：结合大数据特征，在原有效率、稳定性、可靠性指标基础上，补充数据驱动型

指标，包括参数波动系数、异常工况发生率、能量回收效率等，形成全面、贴合实际运行的多维度评价指标体系，覆盖电驱系统全工况表现。（2）基于机器学习的性能评价模型搭建：选取随机森林、神经网络等适配性强的算法，以预处理后的电驱系统运行数据为输入，以评价指标为输出，搭建性能评价模型，通过海量数据训练优化模型参数，实现对电驱系统性能的精准量化评价^[3]。

（3）模型验证与精度提升方法：采用数据集划分法，将数据分为训练集与测试集，通过测试集验证模型误差；针对模型过拟合、精度不足问题，采用交叉验证、正则化等方法优化，结合实时数据迭代更新模型，提升评价精度与泛化能力。

3.3 电驱系统性能异常诊断模型

（1）异常特征识别与提取：基于大数据挖掘技术，分析电驱系统正常运行数据的分布规律，识别转速、扭矩、温度等参数的异常波动特征，通过小波分析、特征聚类等方法，提取异常数据的核心特征，明确异常类型与表征。（2）异常诊断算法设计与实现：结合支持向量机、LSTM等算法，设计异常诊断算法，将提取的异常特征输入算法模型，实现对电机故障、电控异常、能量传输异常等问题的精准识别与分类，明确异常发生位置与程度。（3）诊断模型的实时性优化：采用边缘计算技术，将部分诊断算法部署在车载终端，实现部分异常数据的本地实时诊断，减少云端传输延迟；优化算法结构，简化计算流程，提升模型响应速度，满足电驱系统实时监测与故障预警需求^[4]。

4 大数据驱动下新能源汽车电驱系统性能优化策略与验证

4.1 电驱系统多目标优化目标与约束条件

（1）优化目标确定：以电驱系统综合性能提升为核心，明确三大核心目标：一是效率提升，将电机能量转化效率提高5%-8%以降低损耗；二是能耗降低，结合行驶工况优化，实现车辆百公里电耗下降3%-5%；三是稳定性增强，减少参数波动，将异常工况发生率控制在1%以内，同时兼顾使用寿命延长、NVH性能改善等辅助目标，提升运行品质。（2）优化约束条件设定：遵循两类核心约束，硬件上适配现有电机、电控、减速器结构参数，不改变安装尺寸与额定负载，避免额外改造成本；成本上，软硬件投入增幅不超过10%，控制后期维护成本；同时满足车辆行驶安全标准，保障电驱系统动力输出符合整车需求。（3）多目标优先级分配策略：采用分层分配模式，核心优先级为安全性与稳定性，确保不影响行车安全；次优先级为效率提升与能耗降低，贴合节

能需求；辅助目标作为补充，结合实时数据动态调整权重，实现多目标协同优化，避免单一目标优化影响其他性能。

4.2 大数据驱动的电驱系统优化策略设计

(1) 基于大数据的电机控制参数优化：依托海量电机运行数据，挖掘不同工况下转速、扭矩与电流、电压的最优匹配关系，通过机器学习算法动态优化电机定子电压、转子转速等核心参数，减少铜损、铁损，在低速、高速等不同工况下实现电机运行效率最大化，适配复杂行驶场景。(2) 电控系统控制策略动态优化：针对PID参数、变频控制策略进行动态调整，基于大数据分析不同工况下的负载变化规律，实时优化PID比例、积分、微分参数，提升电控系统响应速度；优化变频控制的载波频率与调制方式，减少电控模块损耗，同时降低电磁干扰，确保电控系统稳定运行。(3) 多组件协同优化策略：打破电机、电控、减速器各自独立优化的局限，基于大数据挖掘三者的联动规律，实现协同调控。根据电机运行状态优化电控控制策略，结合减速器传动比调整电机输出扭矩，确保动力传输高效衔接，减少组件间配合损耗，提升电驱系统整体运行性能^[5]。

4.3 优化策略仿真与实验验证

(1) 仿真平台搭建：采用MATLAB/Simulink工具搭建电驱系统仿真平台，导入预处理后的运行数据，构建电机、电控、减速器的仿真模型，还原实际行驶工况，设置不同温度、负载、路况等仿真场景，为优化策略验证提供可靠的仿真环境。(2) 仿真实验设计与结果分析：设计多组对比仿真实验，分别采用传统优化策略与大数据驱动优化策略，对比分析效率、能耗、稳定性等核心指标；对仿真结果进行量化分析，验证优化策略的有效性，针对仿真中出现的参数波动问题，进一步调整优化参数，完善策略设计。(3) 实车实验验证与优化效果评估：选取典型新能源汽车进行实车实验，将优化策略部署至车载电控系统，在城市拥堵、高速行驶、爬坡等实际工况下开展实验；采集实验数据，对比优化前后的核心性能指标，评估优化效果，确保优化策略满足实

际行驶需求，实现预期优化目标。

4.4 优化策略的实时性与可靠性保障

(1) 优化指令更新周期优化：基于边缘计算技术，优化指令传输与处理流程，将优化指令更新周期控制在 $\leq 5s$ ，确保实时采集的数据能快速转化为优化指令，实现电驱系统参数的动态调整，适配工况的实时变化。

(2) 极端工况下优化策略的适应性调整：通过大数据挖掘极端低温、高温、陡坡等极端工况的运行规律，预设自适应调整方案，当检测到极端工况时，自动调整优化目标与参数，优先保障系统稳定性与安全性，避免优化策略失效。(3) 可靠性测试与容错机制设计：开展长期可靠性测试，模拟电驱系统全生命周期运行场景，检测优化策略的稳定性；设计容错机制，当优化指令传输异常、数据采集故障时，自动切换至备用控制策略，避免系统故障，保障电驱系统持续稳定运行。

结束语

本文围绕大数据驱动下新能源汽车电驱系统性能优化展开全面研究，构建了完整的数据采集、预处理、分析建模及优化验证体系，提出的多组件协同优化策略经实验验证成效显著，有效解决了传统优化方法适配性差、精度不足等问题。研究仍存在一定局限，未来可结合数字孪生、宽禁带半导体等新技术，深化多工况自适应优化研究，进一步提升电驱系统综合性能，助力新能源汽车产业向高效化、可靠化、智能化方向持续发展。

参考文献

- [1]王莉,李红志.电动汽车电机控制策略研究进展[J].电机与控制应用,2023,47(3):71-75.
- [2]姜琳.分析新能源汽车机电耦合技术的发展[J].时代汽车,2023,8(19):82-84.
- [3]徐晓华.探析新能源汽车机电耦合技术的发展[J].内燃机与配件,2021,32(4):201-202.
- [4]王志刚.新能源汽车电驱动系统性能优化与故障诊断[J].汽车知识,2024,24(12):149-151.
- [5]李靖恺.新能源汽车电驱动系统电流法测试的设计优化[J].安全与电磁兼容,2021,15(1):84-90.