

可实现车辆运行数据的高速上传与实时分析。系统架构中，边缘计算单元部署在车辆控制器附近，负责数据预处理与初级筛查，能够在本地识别一般性故障，减少通信负载；云端平台则承担复杂模型运算与趋势分析任务，基于大数据算法实现跨车型、跨车队的模式识别与预测性维护。云端与边缘的双向协同机制，使得标定参数、模型阈值可在线动态更新，形成“本地响应—云端优化—系统再学习”的闭环结构。该平台还可集成 OTA (Over-The-Air) 远程更新功能，实现控制策略与诊断逻辑的远程标定。通过大规模样本学习，系统能够建立发动机健康数据库与寿命模型，为车队运维提供数据决策支持，推动汽车从“被动诊断”向“主动感知”和“智能预测”方向转型，实现动力系统全生命周期的智能化管理。

## 5 一体化方法的工程实现与应用验证

### 5.1 系统架构设计与功能模块划分

发动机电控系统标定与 OBD 故障诊断一体化体系的核心在于建立层次清晰、协同高效的系统架构。整体结构可分为控制算法层、数据采集层、诊断分析层与云服务层四个功能模块。控制算法层是系统核心，负责执行燃油喷射、点火正时、增压控制等实时策略，并通过模型预测算法实现动态优化；数据采集层对传感器数据进行高频采样与融合，确保各子系统信息同步与时效一致；诊断分析层承担故障检测、参数修正及标定验证等功能，实现基于模型残差与数据驱动算法的双通道诊断；云服务层作为远程智能支撑平台，负责数据上传、模型更新与算法远程优化。通过模块化与接口标准化设计，该架构具备良好的可扩展性与移植性，可在不同排量、燃料类型及控制平台之间灵活部署，满足乘用车与商用车的多场景应用需求。

### 5.2 实车测试与性能对比分析

为验证一体化方法的工程可行性与性能优势，选取 1.5T 涡轮增压发动机进行实车标定与诊断实验。试验结果表明，该系统在中高负荷工况下燃油经济性平均提升约 2.8%，排放一致性改善显著；基于模型融合的 OBD 诊断逻辑可实现更高的检测灵敏度，故障识别准确率较传统独立系统提高约 15%，误报警率下降 40%。同时，实验数据显示，在台架验证与整车调试阶段，系统参数收敛速度加快，标定周期缩短约 25%，开发效率与验证稳定性均显著提升。通过 HiL 仿真平台验证，系统在模拟传感器退化与信号噪声干扰条件下

仍保持较高的鲁棒性，证明其具备良好的工程适应性与环境抗扰性能，为大规模产业化应用提供了技术依据。

### 5.3 应用前景与技术延展

一体化标定与 OBD 诊断方法具有广泛的推广潜力与战略意义。其理论与架构不仅适用于传统内燃机系统，也能平滑扩展至混合动力、纯电及氢燃料动力系统。在新能源动力架构中，该方法可实现动力域控制单元与能量管理系统的协同标定，进一步提升能效与可靠性。未来，随着车载计算能力和人工智能算法的快速发展，一体化系统将实现自学习与自适应功能，具备实时优化控制策略与智能健康管理的能力。此外，结合 V2X 车联网通信与云计算平台，可构建车群级标定与预测性维护体系，实现车辆在全生命周期内的性能优化与远程运维。该方法的技术延展不仅将推动发动机控制系统的智能化升级，也为“软件定义汽车”时代下整车开发的数字化与网络化转型提供了关键支撑。

## 6 结语

发动机电控系统标定与 OBD 故障诊断的一体化方法，是现代汽车动力系统智能化发展的必然趋势。通过统一模型、共享数据与协同算法，实现了性能优化与故障诊断的深度融合，不仅提升了系统的稳定性与准确性，也大幅缩短了开发周期与测试成本。研究表明，该方法在复杂工况下表现出良好的鲁棒性与实时性，为传统动力与新能源汽车的控制策略开发提供了有效路径。未来，随着人工智能与云计算技术的进一步发展，一体化标定与智能诊断体系将向自主学习、自我修正方向演进，推动汽车动力系统从“被动控制”迈向“智能决策”，实现真正意义上的智能化动力管理。

### 参考文献

- [1] 李增玉.基于大众汽车汽油发动机OBD灯亮故障的原理分析及修复[J].内燃机与配件,2023,(20):53-55.
- [2] 胡建功.发动机失火诊断中OBD功能开发[J].太原学院学报(自然科学版),2016,34(02):1-6.
- [3] 王博,崔凯,刘方,等.发动机冷却系统国六OBD诊断策略的研究[J].小型内燃机与车辆技术,2022,51(04):25-29.
- [4] 欧子讯.OBD- II 车型发动机失火监控过程及LEXUS LS400间歇性失火解决方法[J].汽车维修与保养,2000,(07):17.
- [5] 张良,马光伟,刘通,等.引导式整车OBD自动核查系统的研究与应用[J].机电工程技术,2024,53(03):121-124.

# Thermal Management and Energy Saving Co-control of New Energy Vehicle Battery in Low Temperature Environment

Fuqiang Tang

Xiaomi Automotive Technology Co., Ltd., Xiangyang, Hubei, 441002, China

## Abstract

The impact of low-temperature environments on new energy vehicle (NEV) battery performance remains a critical challenge in EV technology development. Subzero temperatures not only reduce energy density and cause capacity degradation but also impair charging efficiency, potentially triggering safety hazards like thermal runaway. Addressing this issue requires coordinated optimization of thermal management systems and energy-saving control strategies. This study investigates the mechanisms of low-temperature effects on battery performance, examines the operational principles of thermal management systems, and reviews current technological advancements. Through practical NEV applications, we propose an integrated thermal management and energy-saving control scheme, with particular emphasis on the synergistic interaction between thermal management systems and powertrains. Experimental and simulation validation confirms that this approach significantly enhances battery performance, reduces energy consumption, and prolongs service life in cold environments. The research provides theoretical foundations and technical support for improving NEV performance in low-temperature conditions, demonstrating substantial engineering value.

## Keywords

new energy vehicles; battery thermal management; energy-saving control; low-temperature environment; collaborative optimization

## 低温环境下新能源汽车电池热管理与节能协同控制

汤富强

小米汽车科技有限公司, 中国 · 湖北 襄阳 441002

## 摘要

低温环境对新能源汽车电池性能的影响是电动汽车技术面临的主要挑战之一。低温会降低电池的能量密度, 并导致电池容量衰退、充电效率下降, 甚至引发电池热失控等安全问题。为解决这一问题, 电池热管理技术和节能控制策略的协同优化变得至关重要。本文分析了低温环境对电池性能的影响机理, 并探讨了电池热管理系统的工作原理及技术发展现状。结合新能源汽车的实际应用, 提出了一种基于热管理与节能协同控制的优化方案, 重点研究了热管理系统与动力系统的协同作用。通过实验与模拟验证, 该方案在低温环境下能够有效提高电池性能, 降低能耗, 延长电池使用寿命。本研究为新能源汽车在低温环境下的性能提升提供了理论依据和技术支持, 具有重要的工程应用价值。

## 关键词

新能源汽车; 电池热管理; 节能控制; 低温环境; 协同优化

## 1 引言

随着全球能源结构的转型, 新能源汽车逐渐成为替代传统燃油汽车的重要选择。电池作为新能源汽车的核心组件, 其性能直接影响整车的续航能力与安全性。特别是在低温环境下, 电池的电化学反应速度减缓, 能量释放效率降低, 导致续航里程显著下降, 这对寒冷地区的车辆使用构成了严峻挑战。当前, 针对低温环境下电池性能衰退的问题, 主要的解决途径是通过电池热管理系统来维持电池的温度在适宜范围内。然而, 现有的电池热管理系统多侧重于热平衡调

控, 往往忽视了热管理与整体节能控制的协同优化。为提高新能源汽车在低温环境下的综合性能, 本研究旨在提出一种基于热管理与节能控制的协同优化策略, 通过精准控制电池的工作温度, 减少不必要的能耗, 并确保电池在低温下依然能够稳定、高效地工作。

## 2 低温环境对新能源汽车电池性能的影响

### 2.1 电池容量衰退与充电效率降低

低温环境对电池性能的影响主要体现在容量衰退与充电效率的降低。电池在低温条件下的电化学反应速率显著减缓, 导致电池放电时无法完全释放其容量。这是因为低温下, 电池内部的离子迁移变得更加困难, 造成电池放电时的电压下降, 进而影响续航表现。同时, 低温环境还会使得充电过

【作者简介】汤富强 (1986-), 男, 硕士, 从事车辆工程研究。

程中锂离子的迁移受到阻碍,导致电池充电效率显著下降,充电时间延长。此外,低温充电还可能导致锂离子电池内产生锂枝晶,这些枝晶会刺穿电池隔膜,导致电池短路、容量丧失等问题,从而大幅度缩短电池的使用寿命。因此,低温环境对电池的充电效率和长期性能构成了严重威胁,亟需优化电池的热管理技术来缓解这一问题。

## 2.2 电池安全性问题

低温环境不仅影响电池的性能,还可能引发严重的安全性问题。低温会使电池的内阻增大,导致电池内部产生的热量难以有效散发,进而导致局部过热现象。若电池在过热条件下运行,可能会引发电池内部化学反应失控,进而发生热失控或短路等安全事故。此外,低温还可能导致电池的结构和材料特性发生变化,增加电池爆炸或起火的风险。因此,电池在低温环境下的安全性尤为重要。有效的电池热管理系统可以调节电池的温度,避免温度过低或过高,从而确保电池处于安全的工作范围内。通过合理的温控设计,可以有效地防止因温度变化引发的安全隐患,提升电池的安全性和可靠性。

## 2.3 低温环境下电池热管理的挑战

在低温环境下,电池的温度波动较大,尤其是在寒冷天气中,新能源汽车常面临启动困难和续航衰退的问题。传统的电池热管理系统通常依赖电池内部加热器来提升电池温度,但这种方法存在能效低、能源消耗大的问题。尤其在寒冷环境中,电池的启动和工作过程中的能量损失更加严重。此外,现有的热管理系统往往结构复杂,成本较高,且在极端低温下效果有限。因此,如何在低温环境下实现高效的热管理,减少电池的能量损失,成为当前研究的关键问题。未来的电池热管理系统需要更加智能化、集成化,并结合节能控制策略,以提高热管理效率,保障电池在低温下的性能和安全。

# 3 电池热管理系统的工作原理与发展现状

## 3.1 电池热管理技术的基本原理

电池热管理系统通过多种方法来调节电池的工作温度,确保其在理想的温度范围内运行。常见的热管理方法包括空气冷却、水冷却和相变材料(PCM)等。空气冷却系统由于结构简单且成本较低,广泛应用于一些低功率需求的场合,但在低温环境下,空气流动性差,散热效果有限,不能满足高效热管理的需求。相比之下,水冷却系统具有较好的热传导性能,能够实现较为精准的温度调节,适合在高能量密度的电池系统中使用。相变材料作为一种新型热管理技术,在温度变化时通过吸热或释放热量来维持热平衡,尤其在低温环境下,可以有效缓解电池温度波动,保持电池处于稳定的工作温度范围,避免因过低或过高的温度造成性能损失。

## 3.2 电池热管理系统的技术发展现状

随着新能源汽车技术的不断进步,电池热管理系统的

设计也经历了从传统的被动散热到智能化控制的演变。现代电池热管理系统已不再局限于简单的散热方式,许多新能源汽车开始采用集成化的热管理系统。这些系统结合了温度传感器、控制算法和智能硬件,通过实时监测与反馈调整电池的温度,确保电池在最佳工作条件下运行。智能化控制使得电池能够根据外界温度变化和电池自身状态自适应调节热管理模式。与此同时,集成热回收系统和热电材料的应用逐步成为热管理技术的发展趋势,这些先进技术不仅提高了电池的低温性能,还能在能量回收和能源利用上发挥重要作用,从而进一步提升了新能源汽车的整体性能和续航能力。

## 3.3 热管理与节能协同控制的研究现状

电池热管理与节能控制的协同优化是当前新能源汽车技术研究的重要方向。然而,现阶段大部分研究仍集中于电池热管理系统的单独优化,缺乏与整车动力系统的协同考虑。电池与动力系统之间的能量流动和热量传导密切相关,因此,通过精准的控制策略实现电池热管理与节能控制的协同优化,能够有效减少能源浪费,提升整车系统的整体能效。近年来,随着节能控制技术的不断发展,越来越多的研究开始关注两者的协同作用。通过多目标优化模型和智能化控制系统,不仅可以优化电池温度调控,还能动态调整整车的能量分配和消耗,提高电池在低温环境下的运行效率,减少启动和运行过程中的能源损失,进一步提升新能源汽车的综合性能和续航能力。

# 4 低温环境下新能源汽车电池热管理与节能协同控制策略

## 4.1 电池热管理系统优化

在低温环境下,电池热管理系统的优化对于提升电池性能至关重要。首先,采用智能水冷系统与相变材料(PCM)技术的结合,可以更精确地调节电池的工作温度。水冷系统具有良好的热传导性能,能够迅速将电池运行过程中产生的热量带走,从而避免电池过热;而相变材料在温度变化过程中能够稳定热量,缓解温度波动,确保电池温度维持在理想的工作范围内。这种结合能够有效提升低温环境下电池的温控效率。其次,通过优化加热器的设计,提升其能效,减少不必要的能源浪费。加热器的效率提升不仅降低了能耗,还能加速电池温度的提升,减少低温对电池的负面影响。再者,引入智能控制算法,能根据外部环境温度与电池状态动态调整热管理系统的运行模式,合理分配能量,确保电池始终处于最佳工作温度,从而延长电池的使用寿命并提高工作效率。

## 4.2 动力系统与热管理系统的协同控制

新能源汽车的动力系统与电池热管理系统的协同工作对于提高整体能效至关重要。低温环境下,电池的能量输出与热管理系统的能耗之间存在相互影响,因此,通过协同控制可以最大化地提升系统效率。为了减少能源浪费,必须建立一个多目标优化模型,合理分配电池与动力系统的负荷,