

# 新能源汽车动力总成系统集成优化与热管理研究

莫宗维

重庆电讯职业学院 重庆 402247

**摘要:** 随着全球汽车工业向清洁化、电动化方向加速演进,新能源汽车动力总成系统的性能优化与热管理能力已成为影响整车能效、安全性与寿命的关键因素。动力电池、驱动电机、电机控制器及整车热管理系统作为电动汽车的核心组成,其耦合程度高、能量转换链条长,任何一环的性能波动都会放大为整车效率下降或热失控风险。因此,构建面向高效集成与智能温控的动力总成系统优化路径,对于提升整车续航、加速性能、爬坡能力及极端工况稳定性具有重要意义。本文研究为新能源汽车动力总成平台开发及工程化应用提供理论支撑与实践路径。

**关键词:** 新能源汽车; 动力总成; 系统集成; 热管理

## 引言

新能源汽车产业正经历以电动化、网联化、智能化和平台化为核心的深刻变革。动力总成系统作为能量转换的关键环节,其总体性能已成为影响整车市场竞争力的核心指标之一。近年来,在电池能量密度不断提升、电机功率密度持续增加、功率器件从硅基向碳化硅(SiC)升级的背景下,动力总成的散热压力、热耦合复杂性明显增强,传统以单部件为中心的优化方式已难以满足整车协同效能提升的需求。本文以纯电动汽车动力总成成为主要对象,同时兼顾混合动力平台,从结构集成设计、功能协同控制、热管理系统架构、智能温控策略、工程应用等维度展开系统研究,以期形成可推广的集成优化路径。

## 一、动力总成系统的集成逻辑与关键优化方向

### (一) 动力总成系统集成的基本逻辑与约束条件

动力总成系统的开发不再是单个部件的性能优化,而是面向整车目标进行协同配置。电池容量、电机峰值功率、逆变器电压等级、传动比、整车总成布置等参数,都需要在同一框架内加以平衡。整车期望达到的加速能力、爬坡能力、续航水平以及能耗表现,决定了动力总成的设计边界;而空间布置、冷却路径、电磁兼容、安全隔离等工程约束,则影响系统最终的成型方式。因此,系统集成的核心在于处理好“性能目标”与“工程条件”之间的关系,使动力部件在整车中达到最合适的组

合状态<sup>[1]</sup>。

在具体集成过程中,动力电池往往作为初始约束。电池的额定电压和最大放电电流决定逆变器和电机的规格区间,也影响传动系统的速比设计。如果电池容量不足,即使电机参数提升也难以发挥作用;反之,若电机和电控能力过低,电池所提供的能量和功率又会被限制。总体而言,动力总成的集成是一项跨学科、跨系统的协同工程,任何单项设计的变化都可能牵动整车性能。只有在约束条件和目标函数之间找到合理的平衡点,系统才能达到可靠、高效和可控的状态。

### (二) 系统性能优化的关键方向

在明确系统集成逻辑后,性能优化的关键集中在三个方面:参数匹配、能量利用效率提升与热边界管理。参数匹配针对的是整车目标工况,尤其是典型道路循环和用户高频使用场景。通过对电机效率地图、逆变器损耗模型和电池放电特性进行联合分析,可以建立整车的能效边界图<sup>[2-3]</sup>。在此基础上,对电机额定功率、峰值扭矩和速比进行调优,使车辆在主要使用区间内处于高效区间,从而降低能耗,提高续航。

能量利用效率的提升主要依赖控制策略。电机控制策略需要在扭矩需求和损耗之间取得平衡,常用方式包括弱磁区控制优化、电流分配优化等。逆变器控制则需通过优化调制方式、提高开关算法精度等方式,减少不必要的损耗。相比效率,热边界管理是另一个更直观影响性能的因素。热管理系统若无法及时将部件温度拉回合理区间,电机与电控会提前进入保护,电池功率也会受限,整车的加速能力和持续输出能力都会受到影响。因此,在系统优化过程中,需要提前定义各部件的“可

**作者简介:** 莫宗维(1991.01-),女,汉族,重庆合川人,本科学历,研究方向:汽车检测与维修。

持续功率限值”，并通过热模型预测潜在温升风险。

## 二、动力总成热管理系统的构成与优化思路

### (一) 动力总成热管理系统的结构形态与运行特征

动力总成在运行过程中持续产生热量，电池、电机和逆变器的温度状况直接影响车辆的可持续输出能力和整体能效。因此，热管理系统不仅承担散热任务，也是动力总成稳定性的重要组成部分。当前新能源汽车的热管理体系主要包括电池冷却回路、电机与电控冷却回路以及乘员舱空调系统。不同厂商根据平台特性，在回路数量和热源耦合方式上存在差异，但总体思路围绕冷却能力、能耗成本和系统复杂度之间的平衡展开。最常见的结构是“多回路分布式架构”。电池、电机和电控各自使用独立的冷却回路，通过控制泵速、阀门开度和散热器面积来调节温度。这种方式结构清晰、控制简单，冷却能力也较稳定，适用于功率密度不高、散热需求较均衡的车型。但在极端工况下，多个回路并行运行会增加系统重量和能耗，也使冷却资源难以在不同部件之间共享<sup>[4]</sup>。

近几年发展较快的是“耦合式冷却架构”。该模式将电池与电机、电控接入同一冷却循环，通过三通阀或电子膨胀阀调节流向，实现冷却能力的动态分配。在中轻负荷工况下，冷却资源可以根据部件需求进行调节，整体能耗较低。但耦合结构带来新的问题：当其中一类热源热负荷较大时，例如夏季电池温升较快或高速工况下电机热量集中，会挤占其他部件的冷却能力，导致电机或逆变器温度波动增大。

在低温环境中，热泵系统被认为是提高续航的有效方式。热泵通过冷媒循环实现对车厢加热，同时可复用于电池预热和部件散热。其优点在于能效较高，但对系统密封性、阀门响应速度以及控制策略的准确性要求较高。在电池、电机和空调共同接入热泵时，系统的工况判断和热流方向控制变得更为复杂，需要进行跨回路的综合调度。

### (二) 热管理系统的优化方向

在明确热管理系统的结构后，优化方向需要围绕三类问题展开：冷却能力、温度一致性和能耗控制。

第一类问题是冷却能力的提升。随着电池能量密度、电机功率密度不断提高，系统的热负荷呈上升趋势，需要在冷却介质、冷却通道和换热方式上进行改进。在电池冷却方面，液冷已成为主流，但在大倍率放电中仍可能出现温度不均问题。部分厂家正在探索直冷方式，通过让冷媒直接流经冷板以提高换热效率；另一类方式是

采用相变材料或热管结构，缓冲电池局部温度上升，使温度梯度保持更平稳。在电机冷却方面，油冷喷淋技术能够直接作用于定子绕组和转子表面，减少热点形成，对高性能电机尤为必要<sup>[5]</sup>。

第二类问题是温度一致性。温度差是影响电池循环寿命、电机性能稳定性的重要因素。针对电池包，可以通过优化冷板结构、缩短冷却通道流经路径差异、调整电芯布置方式等方式改善温差。在电机系统中，通过在易形成热点的端部区域增加冷却油路，或采用“油冷+水冷”的复合方式，使定子与转子温升分布更均匀。温度一致性的改善对于提升部件寿命与系统可靠性具有长期价值，因此也是热管理设计的重要方向。

第三类问题是系统能耗。在多回路架构中，冷却泵、风扇和热泵系统的能耗不可忽视，尤其在城市拥堵、高温空调强制开启等工况中，热管理系统的能耗占比会显著上升。为了降低能耗，部分车型通过智能控制算法，根据实时热负荷预测调节泵速和阀门组合；部分厂商引入工况识别模型，使系统在不需最大冷却能力时主动降低能量消耗。一些新平台采用集中热管理控制单元，将电池、电机和空调的热流统一调度，使冷却资源在系统内部得到更有效的分配。从工程实践看，热管理优化常需要与动力总成集成开发同步进行。通过热-电联合仿真，可在早期识别可能的热点位置和冷却瓶颈，在样车试制前完成结构调整，减少后期调校周期。

### (三) 智能控制模型设计与ECU协同机制

在CAN总线上实现整车智能控制不仅需要可靠的硬件基础，还需要一套具备实时计算能力、跨节点协同能力与自适应能力的智能控制模型。动力系统控制模块首先根据车辆动力学需求计算驱动力，其纵向动力学关系可表示为：

$$F_{\text{req}} = m \cdot a + mgf + \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 + mg \sin \theta$$

通过上述力学分析，VCU将驱动力进一步转换为电机期望扭矩，以实现踏板开度—动力请求—扭矩指令的连续映射：

$$T_{\text{req}} = \frac{F_{\text{req}} \cdot r_w}{i_g \cdot \eta}$$

该计算模型确保MCU在执行扭矩控制时具有动力学一致性，从而在急加速、坡道、低速高负载等典型工况下仍能保持车辆的稳定响应。制动系统采用基于模型预测控制（MPC）的策略，通过对制动需求和可回收能量估计进行预测，提前调度机械制动与再生制动的比例，

提高制动性能与能效水平。电池管理模型则通过等效电路模型、扩展卡尔曼滤波（EKF）或神经网络算法实现SOC与SOH的联合估算。SOC更新公式如下：

$$SOC(t) = SOC(t_0) - \frac{1}{C_n} \int_{t_0}^t I(\tau) d\tau$$

为克服单纯积分带来的漂移误差，进一步采用EKF完成电压—SOC关联修正：

$$\hat{x}_k = \hat{x}_{k-1} + K_k(z_k - h(\hat{x}_{k-1}))$$

该模型可显著增强BMS在热管理、电流限制、异常识别等方面的准确性。整车控制器VCU作为CAN网络智能控制体系的核心协调单元，通过对动力请求、热管理需求、制动请求、驾驶模式、外部环境参数等多维信息进行综合判断，实现跨ECU的协同调度。通过上述智能模型的协同运算，整车在不同工况下均可实现高度一致性与稳定性

### 三、动力总成系统的仿真实验与典型工况分析

#### （一）热—电耦合仿真体系的构建与验证方法

动力总成整体性能受结构参数、控制策略、运行环境、驾驶行为及热管理能力共同影响，整车试验前需构建完整仿真体系。当前常用热—电耦合联合仿真框架，将电池、电机、电控与冷却系统纳入同一模型，清晰呈现不同工况下的能量流与热流。

仿真模型含三层：部件级模型描述电池电化学反应、电机磁场与损耗特性等，输出真实损耗与热量分布；系统级模型建立部件间能量传递关系，包含冷却回路参数变化；整车级模型融入道路阻力、车辆动力学及驾驶行为，实现工况复现。热模型精度与稳定性尤为关键，因其直接影响电机、逆变器电特性及电池功率输出与容量，工程中需通过样件阶段数据采集与持续校正提升模型真实性。

仿真体系需经高速巡航、城市拥堵、极寒高温等典型工况验证，核心是捕捉性能变化趋势与热瓶颈位置。热—电耦合仿真可预判温升风险、感知系统余量、开展参数敏感性分析，减少样车数量、缩短调试周期，是动力总成平台化开发的关键。

#### （二）典型工况下的性能变化与瓶颈识别

仿真体系验证后，可通过典型工况分析动力总成以识别系统潜在瓶颈。不同工况对动力系统的热负荷与能量需求差异显著，对比各工况温度、功率及效率变化，能直观判断系统设计合理性。

高速巡航工况下，电机处于中转速、中高负荷区间，

铁损占比大、温升稳定；若散热器效率偏低，机壳温度持续攀升可能导致逆变器功率受限，车辆超车动力不足，仿真可提前预判该趋势，为试制阶段补强冷却能力提供支撑。

城市拥堵/反复起步工况中，电机低速高扭矩运行使铜损激增、热量累积快，电池也因大电流输出快速升温且电芯温差易扩大；冷板流量分布不均问题会被放大，仿真可揭示冷却通道流速变化，为冷板结构优化提供依据。

极寒工况下，电池内阻上升、放电能力不足，即便电机和电控热负荷低，整车动力仍可能受限；仿真模型可评估预热策略效果，判断预热时长、功率及温度目标合理性，避免过度预热增加能耗。

### 结论

新能源汽车动力总成系统的集成优化与热管理能力，直接决定整车能效、动力性能与安全水平。本文在动力总成关键部件特性分析基础上，从结构集成、能量管理、热管理架构、智能控制等方面提出系统性优化路径。研究表明：通过参数协同设计、集成化结构布置、热电耦合分析与智能热管理算法，可显著降低动力总成热负荷、提升整车能效与续航，并增强极端工况适应性。随着电池高比能化、SiC驱动模块普及、热泵系统全场景化及整车中央域控制的发展，动力总成集成优化与热管理将向高度智能化、自学习与跨能源系统协同时代迈进，为新能源汽车产业高质量发展提供持续动力。

### 参考文献

- [1] 刘琳. 新能源汽车动力总成集成技术研究[J]. 汽车维修技师, 2025, (22): 88-89.
- [2] 成哲. 新能源汽车动力总成系统测试平台概述[J]. 时代汽车, 2018, (4): 75-76.
- [3] 张世杰, 赵兴龙, 郝荣君, 等. 新能源汽车动力总成轻量化悬置路谱采集及处理[J]. 车时代, 2020, (12): 41-41.
- [4] 周东辉, 罗仁宏. 基于MPC某新能源汽车动力总成冷却系统优化设计[J]. 机械设计与研究, 2020, 36(6): 195-199.
- [5] 沈乐, 朱林, 韩旭, 等. 基于阶次分析的新能源汽车动力总成早期故障诊断的应用和研究[J]. 专用汽车, 2025, (10): 17-21.