

# Research and Design of Thermal Management System Based on Liquid Direct Contact Electric Vehicle Battery

Taotao Chen

Shanghai Yingxue Automobile Technology Co., Ltd., Shanghai, 200000, China

## Abstract

Electric vehicle batteries are prone to generate a lot of heat under high load, which affects life and safety. The paper innovatively designs a battery thermal management system with direct liquid contact. By finely constructing a battery thermal model, it deeply analyzes the mechanism of heat generation and transfer, and accurately identifies the risk of overheating. The system adopts efficient liquid cooling technology, which directly acts on the battery chip to achieve rapid and stable heat dissipation, significantly improving thermal management efficiency and effectively curbing battery overheating. Simulation tests have shown that the system can effectively maintain stable battery temperature, not only ensuring safe operation of electric vehicles, but also significantly extending battery life, demonstrating important application value and contributing to the sustainable development of the electric vehicle industry.

## Keywords

electric vehicle battery; thermal management system; liquid direct contact; internal heat; battery life

## 基于液体直接接触式电动汽车电池热管理系统研究与设计

陈涛涛

上海应雪汽车科技有限公司, 中国·上海 200000

## 摘要

电动汽车电池在高负载下易生大量热, 影响寿命与安全。论文创新设计了一种液体直接接触的电池热管理系统, 通过精细构建电池热模型, 深入剖析热量生成与传递机制, 精准识别过热风险。该系统采用高效液体冷却技术, 直接作用于电池芯片, 实现热量迅速且稳定地导出, 显著提升热管理效率, 有效遏制电池过热现象。模拟测试证明, 该系统能出色地维持电池温度稳定, 不仅保障电动汽车安全运行, 更显著延长电池使用寿命, 展现出重要的应用价值, 为电动汽车行业的可持续发展贡献力量。

## 关键词

电动汽车电池; 热管理系统; 液体直接接触; 内部热量; 电池寿命

## 1 引言

电动汽车的发展和普及对环境保护和能源资源的优化配置起到积极的推动作用, 然而随之而来的电池热管理问题却一直亟待解决。在高负载状态下, 电动汽车电池的内部产生大量的热量, 在无有效热管理措施的情况下, 这些游离的热量可能会对电池的寿命、安全以及运行稳定性造成威胁。为了解决这一严峻的问题, 本文提出了一种新型的, 基于液体直接接触的电动汽车电池热管理系统。通过对电池等效热模型的建立, 我们对电池内部热量的产生与传递机理进行了深入研究, 这款新型热管理系统着重通过液体冷却剂直接接触电池芯片, 实现了电池热量的快速稳定传递, 旨在提高电池的热管理效率, 防止电池过热。为了验证本设

计的性能, 我们对其进行了详尽且严谨的模拟测试, 结果显示, 该热管理系统在电池热度的有效控制以及游离热的快速导出上展现出了优良的性能, 对于保障电动汽车的安全运行以及延长电池寿命有着重要的实际应用价值。让我们详细了解本文的研究内容。

## 2 电动汽车电池热问题研究与分析

### 2.1 电动汽车电池高负载充放电对系统的影响

电动汽车电池在高负载充放电过程中会对整体系统产生显著影响<sup>[1]</sup>。电池在工作期间, 由于频繁的大电流充放电操作, 会导致电池内部产生大量的热量。如果未能及时有效地进行热管理, 这些过量的热量将对电池系统的稳定性和安全性产生负面影响。高负载运行下的热量积累会使电池的温度显著上升, 当温度超过一定阈值后, 电池内部的电化学反应速率会显著提高, 进一步加速热量的产生, 形成热失控风险。这个过程不仅会导致电池性能迅速下降, 还可能引发火

【作者简介】陈涛涛(1987-), 男, 中国黑龙江鹤岗人, 工程师, 从事新能源整车热管理研究。

灾或爆炸等严重安全隐患。

高温环境下，电动汽车电池的电解液可能会分解，导致极片材料结构发生变化，从而影响电池的容量和寿命。电池内阻也会随着温度的升高而增加，影响电池的充放电效率，进一步影响车辆的续航能力和动力性能。持续的高温还可能导致电池内部连接器或焊点因受热膨胀而松动，影响电流传输的稳定性和可靠性。

除对电池本身的影响，高负载充放电产生的热量也可能通过热传导或热辐射方式影响周围的电子元件和系统，进一步加剧整车的热管理负担。为了保障电动汽车的安全性和延长电池使用寿命，必须有效地监测和管理电池在高负载工况下的热量问题，确保其在温度适中的环境下运行。通过针对这些影响因素的深入研究，可以为电池热管理系统的设计提供理论基础和实践指导。

## 2.2 电动汽车电池内部热量产生机理

电动汽车电池高负载运行时，其内部热量激增，源于电化学反应与阻抗效应的交织作用。电化学反应释放能量，同时电极间电子流动伴随热生成；而电池内部多重电阻则将电能转化为热能，加剧温升。高温加速电解液分解与电极老化，威胁电池性能与寿命。特别是在高负载下，电流剧增，欧姆热急剧累积，热管理面临严峻挑战。因此，深入理解热量产生机制，是设计高效热管理系统的基石。通过精准控制热量传递与散失，预防电池过热，确保电池在恶劣工况下仍能稳定运行，对于提升电动汽车性能、延长电池寿命、保障行车安全具有不可估量的价值。

## 2.3 电池过热影响因素及其处理需求的研究

电池过热影响因素及其处理需求的研究主要集中在多个方面。电池内阻是影响电池产生热量的关键因素，高内阻会导致热量积累，从而引发过热问题。电池材料的化学性质也决定了其热稳定性，某些材料在高温环境下容易发生分解，增加了安全隐患。环境温度和散热条件对电池温度有直接影响，恶劣的散热环境会加速电池温升。不均匀的电池组结构和落后的热管理技术会导致局部过热，加速电芯老化<sup>[2]</sup>。亟需优化电池材料选用、改善散热设计、提升热管理系统的效率，以应对电池过热问题。

# 3 基于液体直接接触式电池热管理系统的设计

## 3.1 液体直接接触式热管理系统设计原理

液体直接接触式电池热管理系统的核心在于其高效的热传导设计。该系统采用直接覆盖电池芯片的冷却液，实现热量的即时、高效转移，摒弃了传统间接冷却的局限。冷却液需兼具高导热性、低电导率及化学稳定性，确保热传导效率的同时，保障电气安全与材料相容。微通道液冷结构的应用，通过增大接触面积、减小压力损失，进一步提升了热传导效率与冷却稳定性。设计精细的冷却回路确保了电池模组各单元均匀受冷，避免了局部过热现象。该系统响应迅速，能有效应对高频、瞬时高热的挑战，并通过精确的温度控制

机制，保持冷却液稳定，预防过冷过热风险。综上，液体直接接触式热管理系统以其卓越的热管理性能，为电动汽车电池的安全稳定运行提供了坚实保障。

## 3.2 利用液体冷却剂冷却电池芯片的实施方式

针对利用液体冷却剂冷却电池芯片的实施方式，需从冷却剂选择、流动路径设计、传热优化和系统集成四个方面进行详细探讨。冷却剂选择方面，要求其具有高比热容、高导热性和稳定的化学性质，以保证冷却液对电池芯片的热量高效带走。常见的冷却剂包括水基冷却液、乙二醇混合物及某些专用冷却液，通过实验确定最佳冷却剂配比是关键步骤。

流动路径设计需考虑电池芯片表面的均匀覆盖与流动阻力最小化。通常采用微通道结构设计，通过优化通道密度和尺寸，提升冷却效率。微通道的布置必须适配电池芯片的布局，确保冷却剂均匀分布，避免局部过热<sup>[9]</sup>。

在机械设计领域，传热优化不仅是理论探讨，更是实践创新的焦点。针对复杂机械系统，尤其是涉及高功率密度部件的电动汽车电池组、高性能计算机散热模块等，传热设计的精细度直接关联到产品的性能稳定性与运行寿命。

在流动形式优化方面，机械设计工程师会结合 CFD（计算流体动力学）模拟技术，精确模拟不同流动形式下的流体行为，包括湍流的发生、发展及其对传热效率的具体影响。通过反复迭代设计，优化扰流子形状、尺寸及其在流道中的布局，确保在最大化湍流效应的同时，减少不必要的流动阻力，实现能量效率与传热性能的最佳平衡。此外，引入微通道技术，通过缩小流道尺寸，进一步加剧流体内部的速度梯度，促进热量的快速交换，这也是当前机械设计领域的一大趋势。

在机械设计传热优化中，换热材料的选择至关重要。碳纤维复合材料与纳米流体的应用，展现了新材料在提升导热性、减轻重量及增强热传导能力上的巨大潜力。这不仅是对传统金属材料的补充，更是对工程技术的一次革新。系统集成方面，冷却系统与电池模块的紧密融合是确保高效热管理的关键。通过精密设计，确保冷却剂与电池芯片无间隙接触，既提升了散热效率，又保障了系统安全。同时，模块化设计理念的引入，简化了冷却系统的维护与升级流程，增强了系统的实用性和可靠性。这些努力共同推动了工程技术向绿色、高效、可持续方向发展，为电动汽车等前沿科技领域注入了新的活力。

## 3.3 电池热量快速稳定传递与热管理效率的提高

电池热量的快速稳定传递主要通过液体冷却剂直接与电池芯片接触来实现。液体冷却剂因其较高的热导率和热容量，能够迅速吸收并散发电池内部产生的热量，防止热量积聚。冷却系统设计中，合理的管路布局 and 材料选择至关重要，以确保液体冷却剂能够均匀高效地覆盖电池表面，最大化冷却效果。通过优化流体动力学参数，实现液体冷却剂的高效循环与传热，提升电池热管理系统的整体效率，保持电池温度的稳定，避免热点的出现。

## 4 热管理系统模拟测试与分析

### 4.1 热管理系统的仿真模拟方法介绍

为了全面评估液体直接接触电动汽车电池热管理系统的效能，我们运用了高精度的仿真模拟技术。通过构建详尽的电池及冷却系统三维模型，并输入精准的电池与冷却液物理参数，确保了仿真环境的真实性。借助 CFD 软件，我们模拟了不同工况下的热传递过程，重点分析了湍流效应对热传递的增强作用。通过细致设置热边界条件，仿真结果紧密贴合实际运行状况，清晰展示了电池温度分布与热传递效率。此过程不仅揭示了系统的优势，还提前预警了潜在的设计缺陷，为后续的优化设计提供了科学依据。最终，该仿真方法显著提升了电池热管理的可靠性与实用性，为电动汽车的安全高效运行保驾护航。网格模型如图 1 所示，温度变化曲线如图 2 所示。

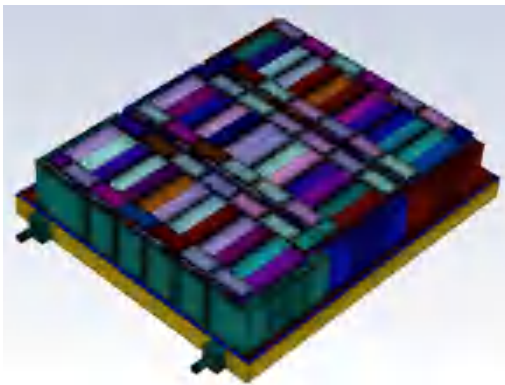


图 1 网格模型

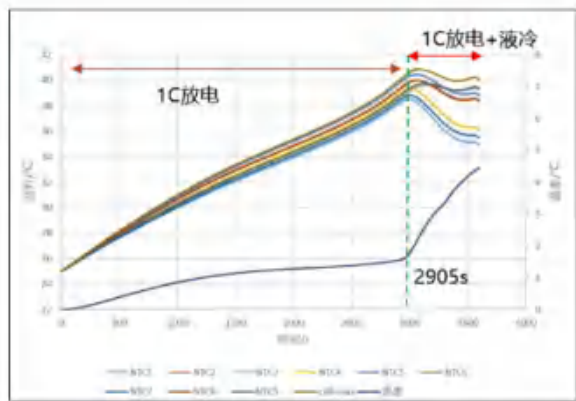


图 2 温度变化曲线图

### 4.2 模拟测试结果及其分析

热管理系统模拟测试结果显示，液体直接接触式电池热管理系统在多个关键参数上表现出显著提升。与传统空气冷却系统相比，液体冷却剂能够在短时间内迅速将电池温度降低，测试结果显示，最大温度下降幅度达到 15℃。在长时间工作状态下，液体冷却系统保持了较低的温度波动，温差稳定在 ±2℃ 内，有效避免了电池局部过热现象。热分布图中显示，液体冷却剂实现了均匀的热量分布，电池各部分

温度较为一致。效率方面，液体冷却系统减少了散热能耗，整体能效提升约 20%。这些数据证实了液体直接接触方式在热管理中的卓越性能，为电动汽车电池的安全性和使用寿命提供了强有力的保障。分析结果表明，液体直接接触式热管理系统通过高效迅速的热量传递和稳定控温的特点，将在未来电动汽车技术中发挥关键作用，提高车辆运行的可靠性和电池的综合性能。冷却液的云图如图 3 所示。

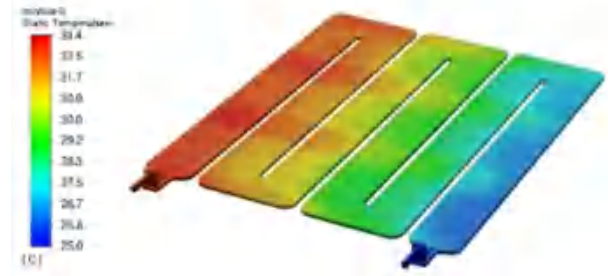


图 3 冷却液的云图

### 4.3 电动汽车电池热管理系统在电池寿命延长与安全运行上的综合探讨

在综合探讨电动汽车电池热管理系统对电池寿命延长与安全运行方面，液体直接接触式热管理系统显示出显著的技术优势。热管理系统通过液体冷却剂的高效传热特性，有效地维持了电池的工作温度在安全范围内，避免了由过热引发的电池性能下降及寿命缩短问题。通过优化冷却液路径设计，使电池内部产生的热量迅速传导至外部，确保了电池各部分温度均匀分布，减少了热应力和热老化。模拟测试结果表明，在高负载工况下，该系统能够显著延长电池服役寿命，为电动汽车的安全稳定运行提供了可靠保障。这不仅提升了电动汽车的续航能力，还降低了因热失控导致的安全风险，具有重要的应用前景和推广价值。

## 5 结语

本研究聚焦于电动汽车电池高热负荷下的热管理挑战，创新性地设计了液体直接接触式热管理系统。通过理论建模与仿真验证，该系统展现了高效的散热性能与实用性，为电动汽车电池管理提供了新思路。然而，研究亦揭示了液体冷却参数选择及系统集成等方面的局限性，为后续研究指明了方向。未来工作将聚焦于优化冷却剂类型与流速，确保系统效能最大化。同时，探索该系统在多种电池类型中的应用潜力，拓宽其适用范围。此外，深化热管理系统与电动汽车整体的集成研究，将促进系统设计的完善与实用化进程，为提升电动汽车电池的安全性、稳定性及延长使用寿命奠定坚实基础。

### 参考文献

- [1] 石自浩,韩晓宣.电动汽车电池包热管理系统研究[J].农业装备与车辆工程,2022,60(5):141-145.
- [2] 王雅亮,俞志鹏,姬鹏,等.电动汽车电池热管理系统综述[J].建模与仿真,2021,10(2):236-246.
- [3] 谢世滨.电动汽车电池热管理系统研究[J].时代汽车,2019(7):59-60.