

Analysis of Thermal Management of Power Batteries for New Energy Vehicles

Zhi Du Chao He Wurong Huang Zhongzheng Qin Jie Shao

SAIC GM Wuling Automotive Co., Ltd. Technical Center., Liuzhou, Guangxi, 545000, China

Abstract

As the core component of new energy pure electric vehicles and hybrid electric vehicles, the thermal management performance of power batteries directly affects the internal resistance, lifespan, and safety of power batteries. Starting from the thermal management design of power batteries, the paper mainly analyzes several mainstream thermal management methods such as air cooling, liquid cooling/heating, and phase change materials, providing a reasonable scientific basis for the thermal management performance design of electric vehicle power batteries.

Keywords

traction battery; thermal management; air cooling; liquid cooling/heating; phase change

新能源汽车动力电池热管理浅析

杜智 何超 黄武荣 覃中正 邵杰

上汽通用五菱汽车股份有限公司技术中心, 中国·广西柳州 545000

摘 要

动力电池作为新能源纯电动汽车及混合动力汽车的核心部件, 其热管理性能直接影响动力电池的内阻、寿命及安全等性能。论文从动力电池的热管理设计出发, 主要分析风冷、液冷/热及相变材料等几种主流的热管理方式, 为电动汽车动力电池的热管理性能设计提供合理的科学依据。

关键词

动力电池; 热管理; 风冷; 液冷/热; 相变

1 引言

作为新能源汽车常使用的能量型和功率型电池, 锂离子电池由于其自身材料的化学及物理特性, 在复杂工况下大倍率充放电过程中容易聚集大量的热量。温度作为整车动力电池控制系统的重要影响因素, 对电池的循环寿命、安全性及内阻等参数具有重要的影响。而众所周知, 电池的最佳工作环境温度为 25℃~40℃, 单体电芯间的温差不宜超过 5℃。为了解决动力电池在高低温环境乃至常温环境中, 不同用户综合工况条件下产生的热量不均、热失效, 以及寒冷地区新能源汽车动力电池低温加热和保温性能等问题, 良好高效的

冷却和加热方式成为新能源汽车动力电池热管理结构设计中极为关键的技术^[1]。

目前市面上动力电池热管理系统通常采用的导热介质分别为空气、液体及相变材料。其中, 空气冷却(风冷系统)具有结构简单、质量轻及成本低的优点。但是随着整车架构及动力电池运行场景, 输出和回馈功率的提升, 电池的发热量也增大, 而空气导热慢, 传热效率不高, 自然冷却及风冷方式已基本不能满足散热的需求。液冷方式通常采用水、乙二醇、防冻液等混合液体作为非直接接触传热介质, 结合水管等其他的换热设施实现冷却。液冷系统技术成熟, 冷却性能优异, 目前已大量运用于市面上的量产车型。相对于风冷及液冷液热系统, 相变材料则利用相变过程中吸收和产生热量来维持电池温度恒定。其中, 相变材料具有良好的换热效果和成本优势, 但是其热导率较低, 抑制了动力电池的传热^[2,3]。

针对以上简述, 我们在此归纳总结出以下几种动力电池的热管理方案, 并对此进行分析与研究。

【基金项目】柳州市科技计划项目“全球小型电动车高性能无模组动力电池系统技术研究及产业化”(项目编号: 2021ACA0101)。

【作者简介】杜智(1992-), 男, 白族, 中国云南大理人, 硕士, 工程师, 从事新能源汽车动力电池及结构集成设计研究。

2 动力电池热管理分析

2.1 风冷模式动力电池热管理系统

风冷是在自然冷却的基础上通过控制气体流动及流量从而实现散热的方法。相比其他的冷却方式,风冷具有体积小、适用性强、性能稳定、安全、成本低及易于维护等优点。但是其同时也存在散热性能差和散热效果易受环境影响的缺点。例如,风冷使用空气作为传热介质,其比热容和导热系数远低于液体介质,且风冷散热容易受周围环境温度的高低影响其散热效率,所以在散热性能上要低于液体冷却^[4]。

根据动力电池的安装位置和散热需求,可以把风冷模式分为串行式和并行式两种,如图1所示。其中串行的通风方式类似于图1(a),主要为通过风机强制抽风从动力电池进风口抽风并从出风口排出空气,当动力电池模组较长,空气依次流经电芯后温度会逐渐升高,从而造成动力电池前后电芯温度分布不均和电池过热等问题。而如图1(b)所示的并行通风模式,可以保证流经电芯的气流及温度保持较好的一致性,电芯温度相对均匀,因此在风冷式热管理系统设计中是较为常见的方案。此外,根据动力电池在整车安装位置和空气来源(乘员舱和车体外)的区分,可以将风冷分为主动式和被动式。当前,对于风冷电池热管理的研究主要集中于空气流道和流场的优化设计,以及增加换热结构和延长换热时间等来提高换热效率。

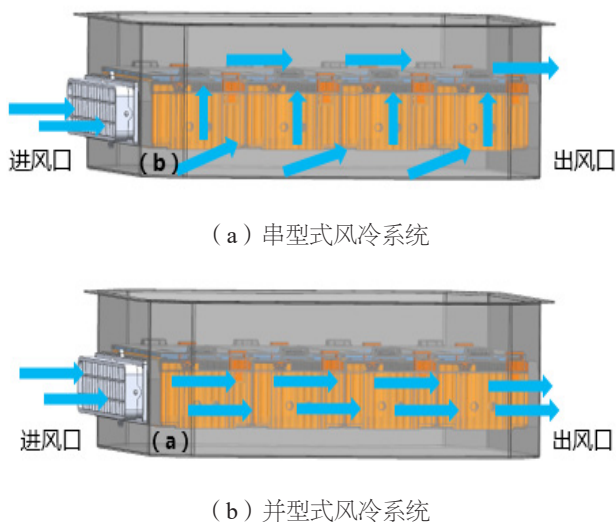


图1 风冷电池不同通风方式

2.2 液冷模式动力电池热管理系统

随着动力电池比能量密度提高及大倍率充放电场景的频繁使用,风冷式热管理系统已逐渐不能满足电动汽车的需求。相对于空气换热,液冷系统通常采用水、乙二醇及矿物油等导热系数高,流动性强的介质直接或间接接触电池从而实现冷却散热。而整车系统也增加电子水泵、换热器、膨胀箱及PTC加热器等,主要通过电池包内的冷却系统换热及电子水泵和换热器制冷剂 and 冷却液的循环运行,从而实现散

热。相对的,当动力电池需要加热时,关闭制冷系统,启动PTC加热,加热后的冷却液输入动力电池来控制电池的加热。虽然液冷式热管理系统设计更为复杂,成本更高,但因其良好的热管理效果,已成为中国国内上汽通用五菱、比亚迪及吉利等知名主机厂动力电池设计的主流方式^[5]。

调研目前新能源汽车市场液冷板的结构设计,可划分挤出铝型材式、口琴管式、吹胀式、蛇形管、型材加搅拌摩擦焊式和冲压钎焊式液冷板。图2(a)所示为口琴管式的液冷设计,该设计生产效率高、成本低,结构简单,但是其流道设计灵活性相对较低,无法做到设计扰流和较复杂的水路回路,且该种方案换热效率一般,主要布置于模组底端,整体换热面积小,可参考车型有Aion LX及奥迪e-tron等车型。挤出铝型材式液冷板如图2(b)所示,该种冷却系统换热效率好,电芯的换热面积为整个液冷板的大面。同时,所需的型材壁厚是几种液冷系统中最厚,且重量较重的方式,箱体的成型工艺平面度控制要求较高,丰田BZ4X等已应用该种冷却方式。

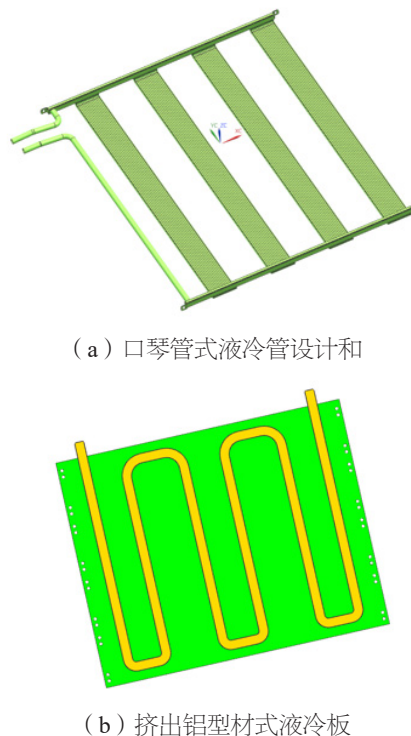


图2 不同液冷板设计示意图

基于以上多种液冷板设计和动力电池的结构设计相结合,可以将动力电池冷却效果主要影响因素归结为如下几点:①冷却液的温度;②冷却液流量;③动力电池发热量;④电池包内部液冷板与电芯的结构布置。在动力电池冷却过程中,冷却液的温度越低,流量越大,液冷板与电芯良好接触,换热效率高,促成电池系统中所有电芯降温速率快。值得注意的是,过低的冷却温度不利于动力电池的使用,影响锂电池在充放电过程锂离子的迁移,且易造成电池不同位置的单体电芯温差,从而影响其与整车的使用。因此,综合评估以上

的影响因素对于动力电池的热管理开发具有重要的意义。

2.3 相变冷却式热管理系统

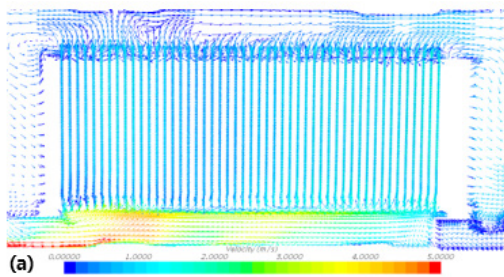
相变材料作为特殊性的功能材料，通过材料在恒温或是近似恒温条件下的相转变过程，从而实现热量的吸收和释放。相变冷却具有冷却效率高；结构紧凑，结构设计简单；成本低；避免液冷系统中类乙二醇等液体泄漏风险等优点。而随着技术迭代，汽车热管理的种类也不停地更新进化着，通过相变冷却与其他冷却方式耦合，从而提高整体的散热性，也成为专家学者主要攻关的难题。

3 不同热管理系统仿真及测试研究

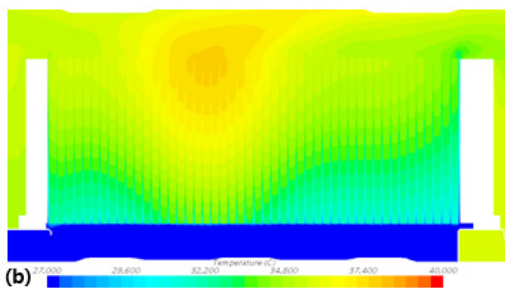
为了研究不同热管理系统的散热及加热的准确性和可靠性，论文主要对某款风冷电池及液冷电池进行了高温冷却、低温加热等热管理仿真、台架及实车工况测试标定和验证，并通过试验数据分析明确电池的结构优化设计方向，为整车动力电池热管理起到推进的作用。

3.1 风冷式动力电池热管理研究

基于设计和热管理模型搭建，根据电池在不同工况、不同充放电功率下的产热量，通过三维仿真分析不同进风量下的换热效果，从而对电池进行结构优化及风机的匹配选型。图3为某风冷电池基于90km/h, 7.2%坡度工况下，一定风量的工况仿真分析结果。根据电池包三维流场示意图可知，电池的温度分布相对均匀，满足风冷的设计要求。



(a) 模组风道中间剖面速度矢量图



(b) 模组风道中间剖面温度云图

图3 电池包三维流场分析图

众所周知，为实现动力电池的高温冷却、低温加热及保温性能等功能，需要对电池包优化设计，同时对整车各个使用场景下充放电控制策略进行优化设计，从而达到整车在包含不同车速不同坡度、百公里加速、急加急减和城市路况等不同工况条件下的热平衡和温控需求，从而达到综合性能最佳的热管理系统。

3.2 液冷式动力电池热管理研究

而随着纯电动车动力电池比能量密度提高及市场用户快充需求的日益剧增等问题，风冷设计已逐渐不能满足电动汽车的散热需求。因此，液冷电池也成为当今新能源汽车动力电池的主流设计。通过如上1.2分析和图4案例为某PHEV电池在高温40℃环境下，以110Km/h车速运行30min，其中在一定进水温度和进水流量下，通过电池上20个温感监控可知，动力电池最高温度为41.9℃，全程最大温差为3.9℃。可知液冷电池的冷却效果较优于风冷电池。相同的，液冷电池的设计也离不开液冷板的结构设计，高效的换热效率及匹配的进水温度和进水流量。而液冷电池换热系数高，冷却、加热速度也快。但是相对风冷结构其密封性要求高，重量相对较重，因为本身部件、结构设计相对复杂也导致其维修，保养也相对复杂。而整车企业也往往根据整车成本及综合热管理性能考虑适合的热管理方式来满足电池的设计开发。

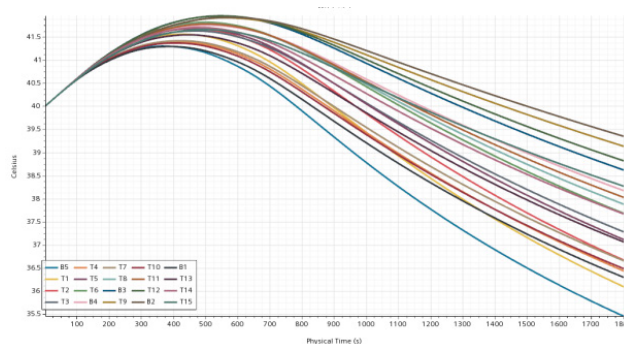


图4 某PHEV动力电池温度变化曲线

4 结论

论文主要介绍风冷、液冷/热和相变冷却在内的三种动力电池热管理方式的工作原理和优缺点。通过风冷及液冷电池仿真及测试分析研究发现，液冷电池整体综合热管理性能要优于风冷电池，且被广为运用在主流纯电及混动车型中。不同热管理方式主要表现为风冷系统利用空气对流进行换热冷却，成本低，设计简单，但其散热效率相对较低。液冷系统散热效率高，但其结构和制造复杂，成本高，质量重，也存在一定的冷却漏液风险。而相变材料与其他冷却方式耦合散热作为未来技术应用值得期待。

参考文献

- [1] 周礼.电动汽车锂离子电池组热管理系统设计[J].汽车与新动力,2022,5(3):22-24.
- [2] 张凯.新能源汽车动力电池热管理系统研究[J].专用汽车, 2022(9):18-20.
- [3] 胡伟钦.新能源汽车动力电池热管理系统设计[J].机电技术,2022(2):62-64.
- [4] 杨永贵.电动车动力锂电池系统强制风冷散热特性研究[J].内燃机与配件,2022(6):191-193.
- [5] 金英爱,江楠,譙鑫,等.电气化背景下电动汽车热管理技术的进步与展望[J].汽车工程学报,2022,12(4):446-458.