

动力电池组液冷散热仿真与实验研究

任雪萍,连文磊,苏存要

(南京航空航天大学 能源与动力学院,江苏 南京 210016)

摘要:以某三元软包锂电池组成的实车电池组作为研究对象,采用一种基于口琴管的液冷方案,用 COMSOL Multiphysics 软件模拟研究冷却电池组的温度分布。得出结论:基于口琴管的动力电池组的液冷方案,在电池 1C 倍率放电结束后,测点最高温度为 43.2 °C,单体电池之间的最大温差为 0.9 °C,可以同时满足电池所需的降温 and 均温要求。通过实验对数值模拟进行验证,此方案能满足动力电池在正常温度范围内工作。

关键词:锂电池;液冷系统;数值模拟

中图分类号:TP391.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2021)06-0110-04

Simulation and Experimental Research on Liquid Cooling Heat Dissipation of Power Battery Pack

REN Xueping, LIAN Wenlei, SU Cunyao

(College of Energy and Power Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: With a real vehicle battery pack composed of a ternary soft-pack lithium battery as the research object, a liquid cooling scheme based on harmonica tube is adopted. The COMSOL Multiphysics software is used to simulate and study the temperature distribution when the battery pack is cooled. The conclusion is that in the liquid cooling scheme based on harmonica tube, the maximum temperature at the measuring point is 43.2 °C and the maximum temperature difference between single cells is 0.9 °C after the battery discharge at 1C rate, which meets the cooling and uniform temperature requirements of the battery at the same time. The numerical simulation is verified by experiments, which shows that the scheme can satisfy the operation of power battery in the normal temperature range.

Keywords: lithium battery; liquid cooling system; numerical simulation

0 引言

动力电池作为电动汽车的动力来源,已经成为电动汽车的核心技术之一。锂离子电池因其能量比高、自放电率低、循环寿命长等优点^[1],被广泛用于车载动力电池组中。但是在电池的放电过程中,动力电池会产生电化学反应热、电流焦耳热和极化热等大量的热量^[2-3],如果不布置合适的散热方案,会导致动力电池的温度升高,影响电池的放电性能和循环使用寿命,极端情况下甚至会导致电池的热失控^[4]。

以空气为介质的热管理方法作为一种最传统的方法,在成本、复杂性、维护和质量等方面都有优势^[5-6]。PESARAN A A 等^[7-8]的研究发现,与串联通风相比,并行通风效果更好,但是风冷散热不适合在电池高倍率放电等极端条件下使用。液冷式散热系统虽然复杂,但冷却效果好。徐海峰^[9]讨论了电池放电倍率、冷却液入口温度和流速对电池温度场的影响。结果显示,在高倍率放电时,降低冷却液入口温度会使得电池组的温度降低,提高冷却液流速会导致电池组温差变大;冷却剂流动路径的几何形

状对液冷板 BTMSs 的冷却效果有很大的影响,因此,对微通道结构的优化是近年来的研究热点。赵春荣^[10]建立了包含 71 节 18650 型锂离子电池的电池模组微通道液冷热模型,研究了电池与水冷管外壁接触面积对电池模组温度分布的影响,发现增大电池与液冷管外壁接触面积可显著降低电池模组内电池的最高温度,但会使其温度一致性变差。采用液体为介质的热管理方法具有广阔的应用前景,有必要进行深入研究^[11]。

本文针对某商用三元锂电池所组成的电池组,采用了以液体为介质的电池液冷系统,研究了在冷却电池组时的温度分布,为电池液冷系统提供一种可能的优化方法。

1 动力电池组液冷散热仿真分析

1.1 方案简介

本文针对基于口琴管的液冷方案进行了数值仿真研究。口琴管布置在动力电池组上下两侧,中间填充导热硅胶来降低接触热阻。电池产生的热量通过铝板以及导热硅胶传递至口琴管,进而由口琴管内部低温液体将热量带

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2018YFB0104000)

第一作者简介:任雪萍(1996—),女,河南商丘人,硕士研究生,研究方向为电池热管理。

走,低温液体通过口琴管端部的汇流箱源源不断地流入、流出口琴管,达到冷却动力电池的效果。上、下口琴管采用逆流的方式,让电池组的温度更加均匀。

1.2 物理模型

如图 1 所示,基于口琴管的电池组液冷系统三维几何热模型由动力电池、铝板、隔热垫、导热硅胶、口琴管、汇流箱组成,其中动力电池的尺寸为 213×168×14.5 mm,口琴管尺寸为 350×45×4 mm,内部存在均匀分布的 10 个 3.95×3 mm 的流道,如图 2 所示。

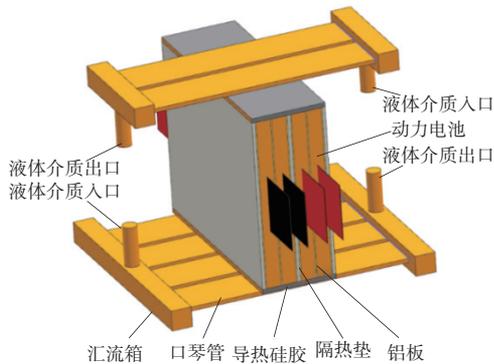


图 1 基于口琴管的动力电池组液冷方案结构示意图

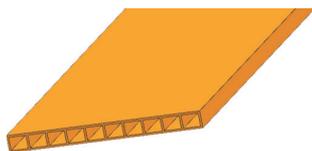


图 2 口琴管内部流道结构示意图

1.3 边界条件

边界条件: 电池组设置为 1C 倍率放电, 电池容量 112.5 Ah, 放电电流 112.5 A; 固体域初始温度设置为 36 °C, 环境温度设置并一直维持在 36 °C; 低温液体采用 50% 的乙二醇溶液, 流体域初始温度设置为 25 °C, 进口流量 5 L/min, 出口设置为压力边界, 出口压力设置为 0 Pa, 激活抑制回流选项, 电池组表面设置为自然对流, 对流换热系数为 3.95 W/(m² · K)。

1.4 材料属性

本文各物质的材料属性如表 1 所示。

表 1 各物质材料属性

类型	密度/(kg/m ³)	比热容/(J/(kg · K))	导热系数/(W/(m · K))
电池	2 100	1 200	15,0.5,15
乙二醇	1 071	3 300	0.38
隔热垫	200	1 000	0.02

2 数值仿真结果与分析

冷却工况: 选取每个单体电池左、右两面作为研究对

象,绘制共 8 个面在 1 800 s、3 600 s 的温度分布图,如图 3 所示。

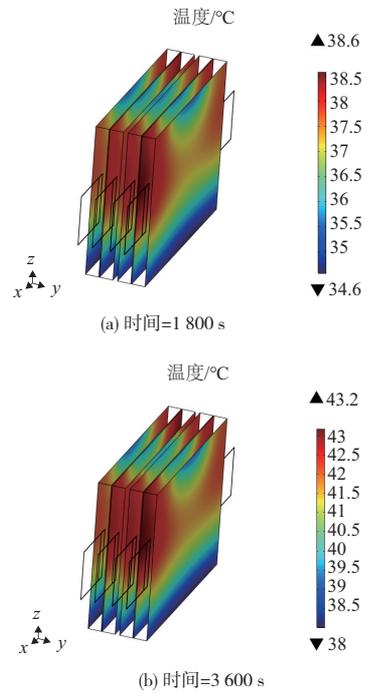


图 3 电池表面 1 800 s、3 600 s 时温度分布图

从图 3 中分析发现,在放电过程中,电池表面温度逐渐增大,在放电结束后达到最高温度为 43.2 °C,相较于初始温度 36 °C 仅升高了 7.2 °C,说明口琴管液冷系统可以降低电池组温度。同时发现电池组最高温度主要集中于电池上侧两边,这主要是因为电池组上侧仅布置两排口琴管液冷板,电池两边的热量不能及时传递出去,导致温度较高。上侧仅布置两排液冷板主要是因为布置 4 排液冷板会与电池组其他功能部件干涉。为了对比各单体电池之间的温差,对各单体电池编号,同时在各电池表面取对应位置点,电池编号及取点位置如图 4 所示。

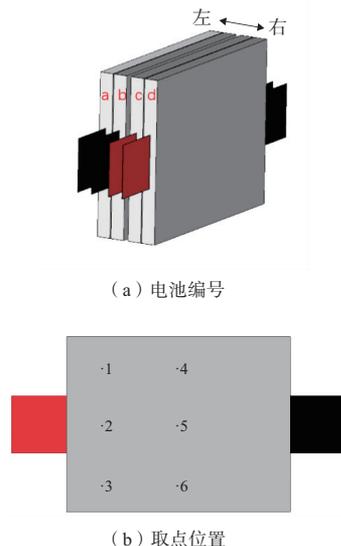


图 4 电池编号及取点位置示意图

从左至右,电池依次编号 a、b、c、d。由于电池组对称布置,故只需对一侧取点,每个电池表面取 6 点并进行编号。其中 4 号、5 号、6 号点位于面中心线上;5 号点位于中心;4 号、6 号点分别靠近上下两侧;1 号、2 号、3 号点为 4 号、5 号、6 号点对应平移并靠近侧面。在放电结束后,绘制各点温度,如图 5 所示。

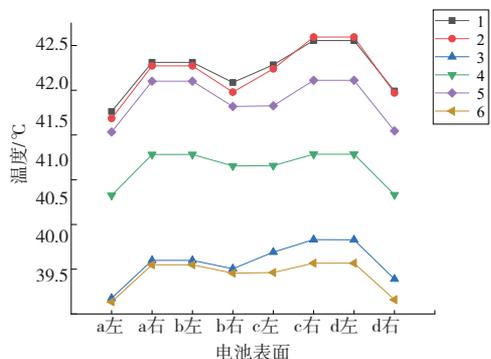


图 5 放电结束后各电池表面 6 点温度分布图

从图 5 中分析可知,各电池表面 1 号点至 6 号点的最大温差分别为 0.8 °C、0.9 °C、0.7 °C、0.5 °C、0.6 °C、0.4 °C,均 < 2 °C,满足电池组均温性要求。同时比较各电池表面所对应的 1 号点,发现 c 号电池右侧与 d 号电池左侧温度基本一致,并且为各电池表面最大,电池组最外的两个电池表面温度最低,比较其他各点,规律基本一致,为接下来口琴管液冷系统实验中热电偶的布置提供一些参考。

3 实验验证

3.1 实验系统及装置

基于口琴管的动力电池组液冷的实验装置系统如图 6 所示,包括实验本体、充放电控制系统、环境温度控制系统、温度采集系统、高低温液体控制系统。其中,实验本体为动力电池、铝板、隔热垫、口琴管液冷板、汇流箱、固定装置组成,如图 7 所示。

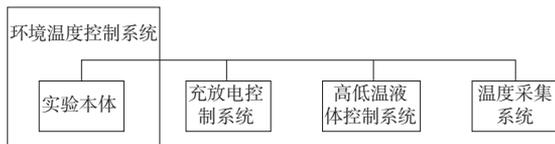


图 6 实验装置系统图



图 7 实验本体

动力电池两两并联,之后串联在一起,每块电池表面布置铝板,每两块电池之间布置隔热垫。动力电池组前后通过固定装置进行紧固,动力电池组上下表面布置口琴管液冷板,通过导热硅胶与动力电池进行接触。

充放电控制系统包括蓄电池组综合参数自动测试设备、通信转换器、计算机。通过计算机来控制设备对动力电池进行充放电工作,同时计算机记录充放电过程中相关的变化;环境温度控制系统主要包括设备-快速温变试验箱,通过设备控制面板来对环境温度进行调控;温度采集系统主要包括多路温度测试仪以及 K 型热电偶,在动力电池组首尾两块电池的左右表面进行热电偶布置,即 a 左、a 右、d 左、d 右,布置位置与仿真时保持一致,同时在乙二醇溶液进入实验本体之前布置 K 型热电偶,确保流体进入温度为所需温度,通过数据传输装置,在计算机中可以实时记录温度数据;高低温液体控制系统主要由高温循环油浴锅以及智能涡轮流量计组成,为实验本体源源不断地提供所需的高温或低温液体。

3.2 实验步骤

- 1) 将充满电的动力电池组放置在快速温变试验箱中,环境温度设置为 36 °C,静置 12 h 来进行环境温度适应;
- 2) 启动多路温度测试仪,并在计算机中开启相关温度软件,实时监测并记录动力电池表面的温度数据;
- 3) 开启高温循环油浴锅以及智能涡轮流量计,设置温度为 25 °C,运行至液体能够稳定循环,控制各进口流量为 5 L/min;
- 4) 电池组综合参数自动测试设备以及计算机控制软件,设置为 1C 恒流放电模式,开始进行放电测试,直到电压降至截止电压(5.3 V),记录放电过程中相关数据,完成冷却工况实验研究。

3.3 实验数据结果及分析

动力电池组放电结束后,各面上的最大温度测量值如图 8 所示。从图中分析可知,最高温度出现在 d 号电池左侧面上,温度为 45.6 °C;最低温度出现在 a 号电池左侧面上,温度为 44.2 °C,单体电池之间的最大温差为 1.4 °C,满足动力电池正常工作的要求。

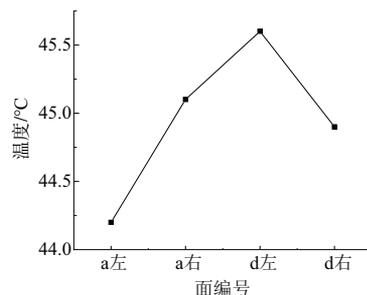


图 8 各面最大测量温度

针对动力电池温度最高的表面,即 d 号电池左侧面,绘制 d 号电池左侧面上各测点的温度随时间的变化量如图 9 所示。从图 9 分析可知(本刊为黑白印刷,如有疑问请咨询作者),与仿真结果规律相同,2 号测点温度最高,

这主要是因为2号测点靠近动力电池正极极耳,产热量较大,导致温度较高;6号测点温度最低,是因为6号测点靠近动力电池组下方口琴管,热量能够较快地进行传递,降低温度。每个测点的温度同样是在放电初期上升较快,继而进入平缓期,在放电末期再次温度上升较快。这是因为动力电池在刚开始放电的时候,动力电池与环境温差较小,动力电池表面的散热量也就比较小,动力电池升温较快;随着动力电池温度的上升,散热也随之增大,导致动力电池温度上升速率降低。

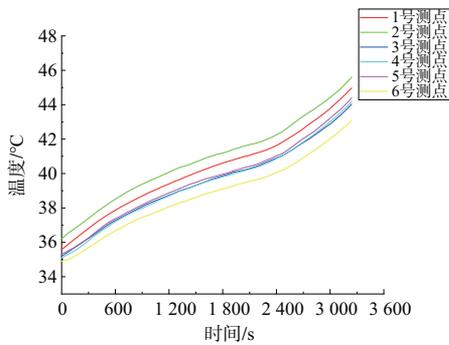


图9 d号电池左侧面上各测点的温度随时间的变化量

参考仿真结果,最低温度和最高温度分别出现在a号、d号电池上,故绘制a号、d号电池左右侧面各测点的平均温度随时间的变化,如图10所示。从图中分析可知,在放电结束后,d号电池左侧面平均温度最高,为44.2℃,a号电池左侧面平均温度最低,为43.1℃,温差为1.1℃,说明基于口琴管的动力电池组液冷系统满足动力电池组均温性要求。

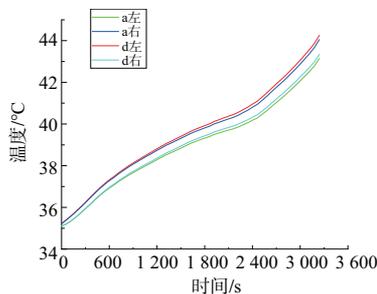


图10 a号、d号电池左右侧面平均温度随时间的变化量

4 结语

本文针对某商用三元锂电池所组成的电池组,采用基于口琴管的液冷方案,研究了在冷却电池组时的温度分布。仿真和实验结果表明:该液冷方案可以满足电池组以及单体电池的降温和均温的需求,使动力电池在正常温度范围内工作。

参考文献:

- [1] 胡敏,王恒,陈琪. 电动汽车锂离子动力电池发展现状及趋势[J]. 汽车实用技术,2020(9):8-10.
- [2] SAITO Y. Thermal behaviors of lithium-ion batteries during high-rate pulse cycling [J]. Journal of Power Sources, 2005, 146(1/2):770-774.
- [3] WEINERT J X, BURKE A F, WEI X Z. Lead-acid and lithium-ion batteries for the Chinese electric bike market and implications on future technology advancement[J]. Journal of Power Sources, 2007,172(2):938-945.
- [4] 高飞,王松岑,王康康,等. 锂离子电池组热失控燃爆连锁反应研究[J]. 自动化与仪器仪表,2019(1):8-9,14.
- [5] 李康靖,谭晓军,褚燕燕,等. 风冷式车用锂离子动力电池包热管理研究[J]. 电源技术,2019,43(12):1975-1978,2035.
- [6] 张新强. 风冷式动力电池热管理系统技术数值研究[D]. 广州:华南理工大学,2016.
- [7] PESARAN A A. Battery thermal management in Evs and HEVs: Issues and solutions [C]. First Annual, Advanced Automotive Battery Conference Las Vegas, NV: 2001.
- [8] PESARAN A A, KEYSER M, BURCH S D. An approach for designing thermal management systems for electric and hybrid vehicle battery packs[EB/OL]. [2020-10-21]. https://www.researchgate.net/publication/237790937_An_Approach_for_Designing_Thermal_Management_Systems_for_Electric_and_Hybrid_Vehicle_Battery_Packs.
- [9] 徐海峰,苏林,盛雷. 液冷板电池组散热性能仿真及优化[J]. 制冷技术,2019,39(2):23-28,39.
- [10] 赵春荣,曹文炅,董缙,等. 圆柱形锂离子电池模组微通道液冷热模型[J]. 化工学报,2017,68(8):3232-3241.
- [11] 黄旭,王文. 动力电池组液冷散热系统[J]. 电源技术,2019,43(3):415-419.

收稿日期:2020-11-06