

文章编号: 1671-6612 (2022) 04-539-06

不同冷却策略下动力电池模块的热性能比较研究

邹艳红

(云南国土资源职业学院 昆明 652501)

【摘要】 随着新能源汽车技术的快速发展, 快充快放正逐渐成为动力电池的主流工作模式, 产热功率增加, 热性能对动力电池的影响也随之增大。采用数值模拟研究了快充快放条件下动力电池组在不同倍率充放电下的传热特性, 比较了纯相变冷却和液冷与相变材料耦合的冷却对电池模块散热效果, 分析了上述两种散热方式对电池模块温差和最高温度的控制作用。数值模拟结果表明, 当5C快充, 立即5C快放条件下, 选择最佳流速0.05m/s, 电池模块温度最高温度控制在47.33℃, 温差为3.39℃, 与采用纯相变冷却方式相比, 电池最高温度降低34.57℃, 温差降低1.14℃。结果表明快充快放条件下液冷与相变材料耦合系统具有良好的动力电池热管理效果。

【关键词】 热管理; 动力电池; 相变材料; 温度场; 相变材料与液体耦合冷却

中图分类号 TB65 文献标识码 A

Comparative Study on Thermal Performance of Power Battery Module under Different Cooling Strategies

Zou Yanhong

(Yunnan Land and Resources Vocational College, Kunming, 652501)

【Abstract】 With the rapid development of new energy vehicle technology, fast charging and fast discharging of power battery is gradually becoming the mainstream working mode. The heat transfer characteristics of power battery pack at different rates of charge and discharge under the condition of fast charge and fast discharge are studied by numerical simulation. The heat dissipation effects of pure phase change cooling and liquid cooling coupled with phase change materials on the battery module are compared, and the control effects of the above two heat dissipation methods on the temperature difference and maximum temperature of the battery module are analyzed. The numerical simulation results show that when 5C fast charging and 5C fast releasing, the optimal flow rate is 0.05m/s, the maximum temperature of the battery module is controlled at 47.33℃, and the temperature difference is 3.39℃. Compared with the pure phase change cooling mode, the maximum temperature of the battery is reduced by 34.57℃, and the temperature difference is reduced by 1.14℃. Therefore, the coupled system of liquid cooling and phase change materials has a good thermal management effect under the condition of fast charging and fast discharging.

【Keywords】 Thermal management; Power battery; Phase change material (PCM); Temperature field; Coupled cooling of PCM and liquid

基金项目: 云南省教育厅科学研究基金项目(2022J1380)

作者(通讯作者)简介: 邹艳红(1978-), 女, 副教授, 研究方向为机电工程及动力电池热管理, E-mail: 455386671@qq.com

收稿日期: 2022-01-17

0 引言

目前动力电池以锂离子电池为主, 其充放电过

程发生电化学反应而伴有热量产生, 产热量主要是由以下五部分组成^[1]: 电化学反应热、极化热、欧

姆内阻热、电解液分解热和 SEI 膜分解热。在不同工况下，动力电池的产热机理也存在较大的差异。当车辆在不同路况上行驶时动力电池组会以不同的倍率放电而以不同生热速率产热，从而导致电池组内部温度过高和温度分布不均匀^[2,3]。动力电池的性能受温度影响很大，对于电池的工作温度或电池模块中单体之间的温度一致性要求十分的苛刻^[4,5]，局部过热会导致电池组出现安全问题^[6]。一般认为，磷酸铁锂电池组的最高工作温度不应超过 55℃，电池组内部温差不应超过 5℃^[7]。因此，热管理对提高电池性能和抑制热失控至关重要^[8]，对其进行有效的热管理已成为国内外研究热点。为了提高动力电池组的效率及安全性，有必要采用合理的冷却技术使电池组有效工作^[9]。

风冷、液冷、热管冷却及相变材料冷却是当前动力电池的主要冷却方式^[10-13]。风冷系统成本低，但受环境温度影响大，换热系数低。液冷系统结构复杂，对密封要求高，但冷却效果好。热管冷却、相变材料冷却控温性能好，但只是利用物质相变吸收热量，不能及时将热量传递至外界。相变材料热管理系统只适用于温和的操作工况下，面对极端的工作条件，例如较高的环境温度、较高的充放电倍率，热量不能及时输出，相变材料热管理存在失效的风险。因此，相变材料冷却，作为一种被动冷却方式，与主动冷却（风冷、液冷）相结合，才能满足动力电池热管理系统日益苛刻温度要求。

目前的动力电池热管理的研究大都集中在单独研究快充或快放条件下动力电池热特性^[14,15]，但随着新能源汽车技术，尤其是快充技术的发展，传统上新能源汽车晚上充电、白天行驶已不能满足要求，充电后立即行驶已成为现实，即动力电池快充

后立即快放，目前缺乏快充后立即快放方面动力电池热性能的研究。采用数值模拟研究了快充快放条件下动力电池组在不同倍率充放电下的传热特性，比较了纯相变冷却和液冷与相变材料耦合的冷却对电池模块散热效果，分析了上述两种散热方式对电池模块温差和最高温度的控制作用。

1 动力电池参数及模型验证

1.1 动力电池及冷却材料参数

本文研究采用 38120 动力磷酸铁锂电池，该电池的参数如表 1 所示。

表 1 动力电池相关参数

名称	参数
单体电池容量	10AH
单体最大持续放电倍率	3C
单体最大持续充电倍率	1C
单体放电截止电压	2.75V
单体充电截止电压	3.65V
单体尺寸	半径：19mm；高度：120mm
比热容	1100J/kg·K
导热系数	3W/m·K

本文采用石蜡为相变材料，水为液冷介质，材料物性参数如表 2 所示。

表 2 材料物性参数

材料种类	热导率 W/m·K	比热 J/kg·K	密度 kg/m ³	相变潜热 kJ/kg	相变温度 K
相变石蜡	0.22	2130	880	250	313.15—326.15
水	0.6	4185	998.2	—	—

1.2 电池模块布置

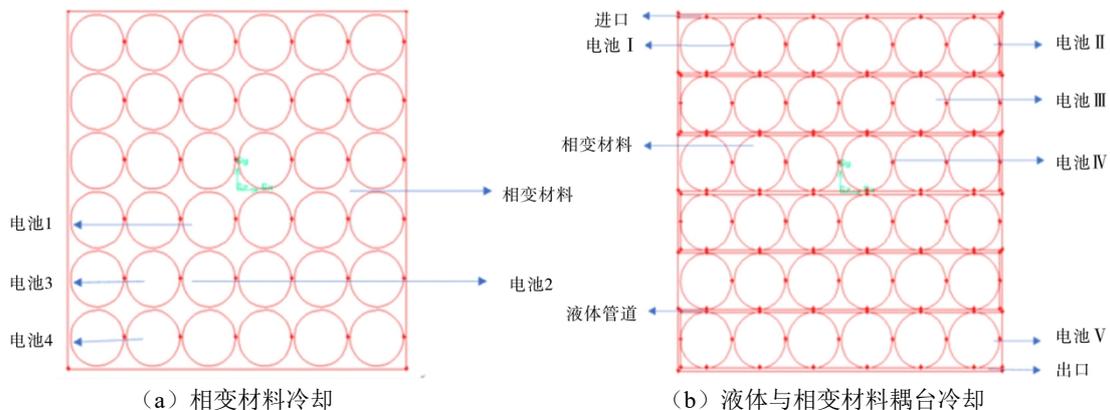


图 1 基于相变材料冷却 (a) 及液体与相变材料耦合冷却 (b) 电池模块模型

Fig.1 Battery module model based on (a) PCM cooling (b) liquid and PCM coupling cooling

采用 Fluent 软件建立几何模型, 将 38120 磷酸铁锂电池以 6P6S 的形式组合成一个电池组, 电池之间间隔 2mm, 圆形表示电池, 其他区域填充相变材料。电池模块尺寸, 长: 242mm; 宽: 242mm。图 1 (a) 为纯相变材料冷却动力电池模块模型, 通过对四个部位的电池中心温度来代表电池组的温度, 并以 T1、T2、T3 和 T4 表示电池 1、电池 2、电池 3 和电池 4 的温度, 用电池 1 和电池 4 的温差代表电池模块内部温差。图 1 (b) 为液体与相变材料耦合冷却。图中左侧上方是液体进口, 右侧下方是液体出口。通过对五个部位的电池中心温度来代表电池组的温度, 并以 T1、T2、T3、T4 和 T5 表示电池 1、电池 2、电池 3、电池 4 和电池 5 的温度。

1.3 仿真与实验结果对比

为了验证模型准确性, 选用罗炜宁等人^[9]在 1.5C 倍率下单体电池放电温度响应曲线进行比较。本文仿真选取电池表面中心位置进行温度监控, 从图 2 可看出, 仿真和实验吻合较好, 最大相对误差为 2.5%, 计算具有较高的准确度。

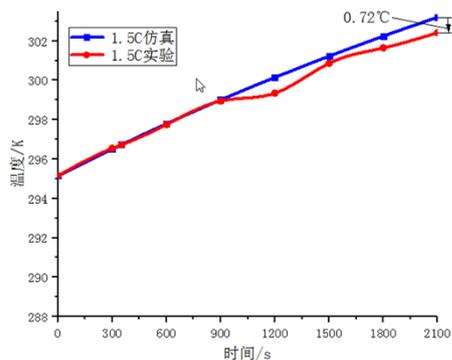


图 2 仿真与实验温升曲线比较

Fig.2 Comparison of temperature rise curves between simulation and experiment

2 结果与讨论

2.1 基于相变材料冷却的动力电池模块热性能

图 3 表示不同充电倍率下 (充电倍率依次为 a:2C、b:3C、c:4C 和 d:5C) 各放电倍率对电池模块温度和温差的影响。从图看出, 当充电倍率一定时, 放电倍率的增大会提高电池模块的最高温度和温差, 同一放电倍率下, 随着充电倍率的增大, 电

池模块的最高温度和温差增大。例如, 当 5C 充电 5C 放电时, 温度最高, 达到 81.9℃, 超过电池的安全温度, 温差最大 4.53℃。纯相变散热电池模块对电池模块的温度均匀性起到积极作用, 但快充快放条件下对电池模块温度控制效果不好, 仍需后期进一步改善优化系统。

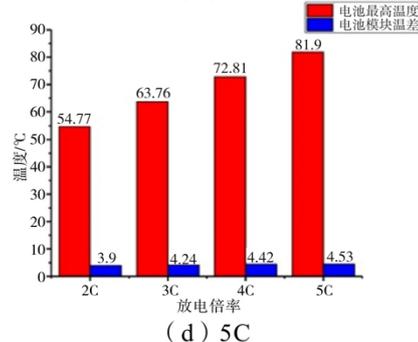
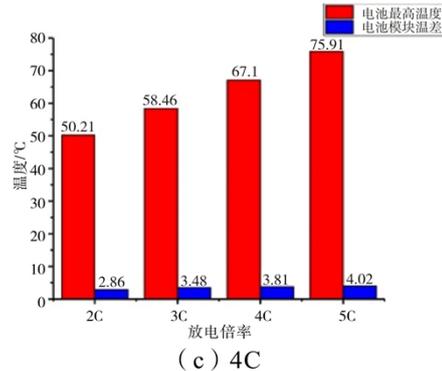
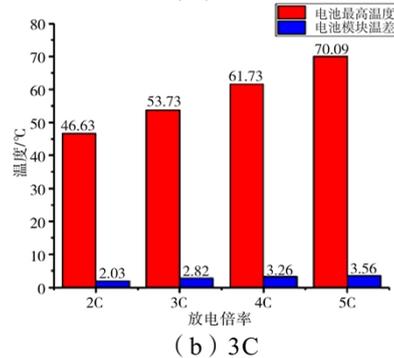
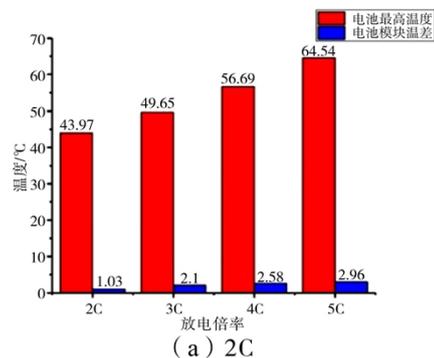


图 3 不同充放电倍率对电池模块温度和温差的影响

Fig.3 Effect of different charge discharge ratio on

temperature and temperature difference of battery module

2.2 基于液体与相变材料耦合的动力电池模块热性能

为了解决纯石蜡冷却动力电池仍然存在温度较高的问题,采用液体与相变材料耦合的散热系统。通过分析动力电池模块最大温差和最高温度,得到最优参数,以满足动力电池组的正常运行。

2.2.1 不同流速下电池模块不同区域的温度云图

采用液体与相变材料耦合对电池模块进行散热时,当电池模块 5C 充电 5C 放电下得到电池的温度云图如图 4 所示,从图中可以看出电池模块温度云中温度区域分布比较均衡,电池模组最低温度处于电池 2,主要由于电池与周围空气散热,并且液体刚进入管道可以带走更多热量。靠近冷却管道入口的区域冷却效果较好,温度较低,电池模块中部区域远离管道入口区域温度较高。随着管道液体流速的增大,电池模块温度下降,温度均匀性有所改善,因此,流速的增大对电池散热有积极的作用。

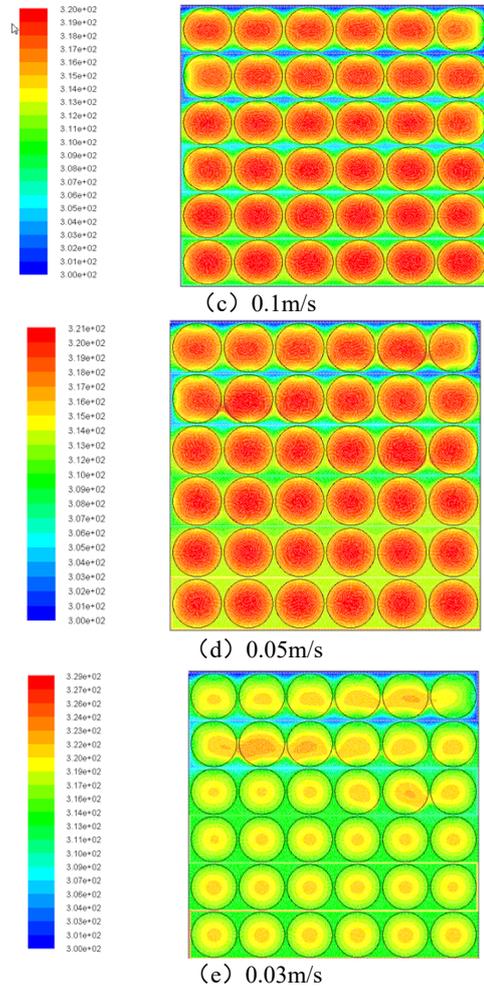
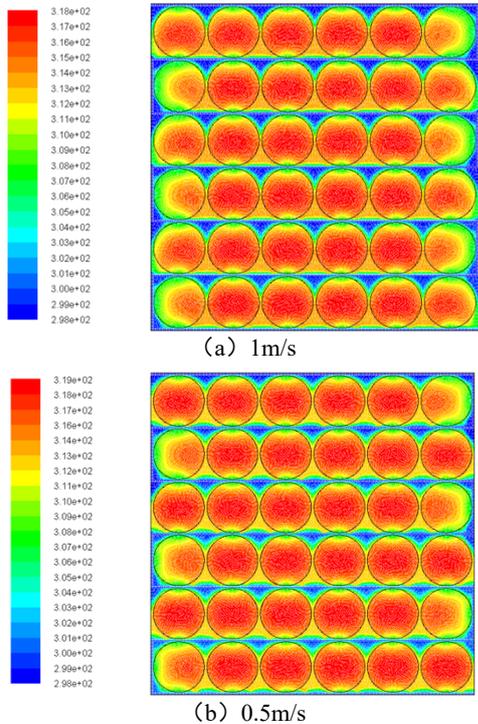
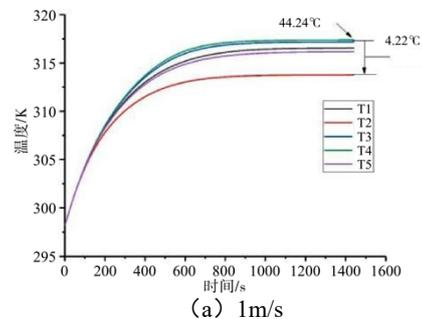


图 4 不同流速的电池温度云图

Fig.4 Cloud diagram of battery temperature at different flow rates

2.2.2 不同流速下电池的温度响应曲线

液体与相变材料耦合的冷却系统中液体流速是影响电池模块温度的重要因素。在电池温度和环境温度为 25℃时,保持其他参数不变,改变管道流速,对模型进行仿真,得到不同进口流速下电池模块的温度值。在此计算充电倍率为 5C 放电倍率为 5C 时,流速从 0.03m/s-1m/s 的变化对电池模块温度场、温差和最高温度的影响。



(a) 1m/s

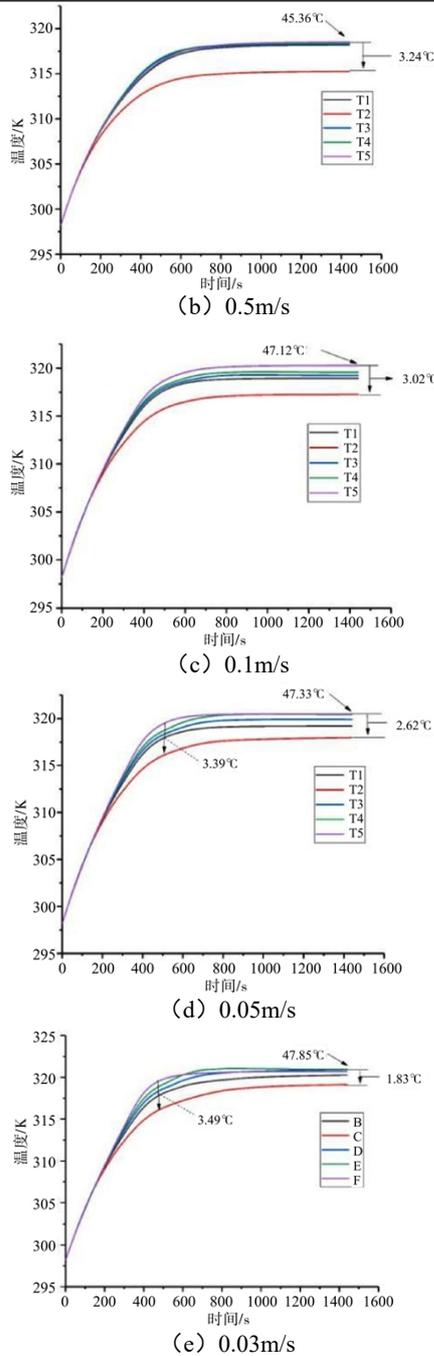


图 5 不同流速的电池温升

Fig.5 Battery temperature rise at different flow rates

图 5 表示不同流速下电池的温升情况。图中可以看出，液体流速从 0.03m/s 增加到 1m/s 时，电池模块最高温度有所下降。当流速为 1m/s 时，温度最高为 47.85°C，电池模块温度和温差都在安全范围之类。继续增大流速，电池模块温度场变化不明显，且需要考虑流速增加会使系统压降增加程度，说明流速并不是越大越好。表 3 所示为不同流速下

管道的压降情况，由此可以看出，流速增加，压降随之增加，会增加系统的泵耗。

综合图 6 和表 3，可分析如下：随着流速增加，可使动力电池最高温度降低，流速为 1m/s 时，电池模块最高温度最低。流速增大并不能一直降低温差，流速为 0.05m/s、0.1 m/s、0.5 m/s 三者温差相差不多，但流速 0.05m/s 时的压降较小，具有明显优势。综上，考虑电池模块的最高温度、温差、压降，在 5C 快充 5C 快放条件下，最佳流速为 0.05m/s。

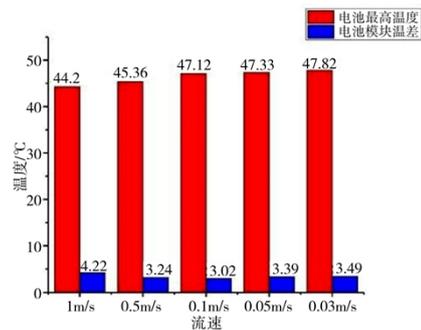


图 6 不同流速对最高温度和温差影响

Fig.6 Effects of different flow rates on maximum temperature and temperature difference

表 3 不同流速下的压降

Table 3 Pressure drop at different flow rates

流速	压降 (Pa)
1m/s	10655.33
0.5m/s	3252.86
0.1m/s	322.28
0.05m/s	138.49
0.03m/s	20.12

2.3 两种冷却策略的比较分析

当电池模块 5C 快充，立即 5C 快放条件下，两种冷却策略下的热性能比较如图 7 所示。比较发现在采用液冷与相变材料耦合进行电池模块散热后，电池模块的温差和最大温度都满足动力电池的安全标准。纯相变冷却系统中，电池最高温度达到 81.9°C，远远大于安全温度，通过加入液冷，电池最高温度降低 34.57°C，使电池最高温度符合安全标准。因此，考虑电池模块最大温度，基于液冷与相变材料耦合的散热系统更有利于降低电池模块最高温度。从电池模块最大温差角度看，基于液冷与相变材料耦合的散热方式有利于电池模块的温度均衡。

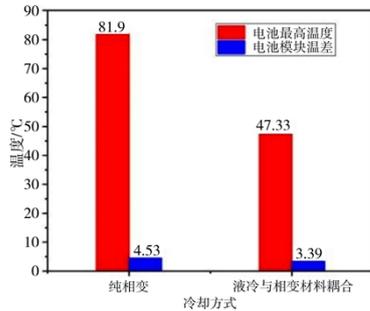


图7 两种冷却策略下的动力电池的热性能比较

Fig.7 Comparison of thermal performance of power battery under two cooling strategies

3 结论

对基于纯相变冷却方式热性能分析,针对电池模块存在过高温度的问题,采用基于液冷与相变材料耦合对电池模块进行优化和分析。得出了以下结论:

(1) 纯相变冷却电池模块时,当充放电倍率增大时,温差在安全范围之内,但最高温度较高,不能满足动力电池温度要求。纯相变散热电池模块对电池模块的温度均匀性起到积极作用,但快充快放条件下对电池模块温度控制效果不好,例如,当5C充电5C放电时,温度最高,达到81.9°C,超过电池的安全温度。

(2) 液冷与相变材料耦合最有利于降低电池模块温度,在不同的快充快放倍率下,基于液冷与相变材料耦合的冷却系统,选择合适最佳0.05m/s,可以解决快充快放条件下动力电池的温度过高及温差过大问题。

参考文献:

- [1] 王峰, 李茂德. 电池热效应分析[J]. 电源技术,2010,134(3):288.
- [2] 梁金华. 纯电动车用磷酸铁锂电池组散热研究[D]. 北京:清华大学,2011.
- [3] 饶中浩. 基于固液相变传热介质的动力电池热管理研究[D]. 广州:华南理工大学,2013.
- [4] M Malika, I Dincer, M Rosen, et al. Experimental investigation of a new passive thermal management system for a Li-Ion battery pack using phase change composite material[J]. *Electrochimica Acta*, 2017,257: 345-355.
- [5] Mondal B, Lopez C F, Verma A, et al. Vortex generators for active thermal management in lithium-ion battery systems[J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2018,124:800-815.
- [6] Feng X, Ouyang M, Xiang L, et al. Thermal runaway mechanism of lithium-ion battery for electric vehicles: A review[J]. *Energy Storage Mater*, 2018,10:246-267.
- [7] Zhonghao Rao, Shuangfeng Wang. A review of power battery thermal energy management[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011,15:4554-4571.
- [8] Yang Y, Huang X, Cao Z, et al. Thermally conductive separator with hierarchical nano/microstructures for improving thermal management of batteries[J]. *Nano Energy*, 2016,22:301-309.
- [9] Deng Y, Feng C, Jiaqiang E, et al. Effects of different coolants and cooling strategies on the cooling performance of the power lithium ion battery system: A review[J]. *Applied Thermal Engineering*, 2018,142:10-29.
- [10] 方凯,徐岫,汤玉婷. 电池组风冷系统结构与仿真优化研究[J]. 机电工程,2018,35(9):986-990.
- [11] Brittany Coleman, Jason Ostanek, John Heinzl. Reducing cell-to-cell spacing for large-format lithium-ion battery modules with aluminum or PCM heat sinks under failure conditions[J]. *Applied Energy*, 2016,180:14-26.
- [12] 罗炜宁. 车用锂电池相变材料—热管耦合散热研究[D]. 北京:北京理工大学,2016
- [13] 曹建华. 基于相变材料的锂离子电池热管理系统研究[D]. 北京:清华大学,2013.
- [14] 万长东,任慧中,鲁春艳,等. 锂离子动力电池包液冷散热分析与优化[J]. 机床与液压,2021,49(4):160-162.
- [15] 于兰英,卢宇奇,伍川辉. 某电动车辆动力电池组散热研究[J]. 机械设计与制造,2021,(7):121-124.