

电动汽车动力电池热管理系统温控性能研究

丁毅,孙梓健

(南京航空航天大学 能源与动力学院,江苏 南京 210016)

摘 要:针对某商用 112.5 Ah 三元锂电池所组成的电池模组,采用国内常用的基于液体介质的电动汽车动力电池热管理系统,研究了冷却、加热两种工况下电池模组的温度分布。结果表明:在冷却工况下,该型热管理系统有助于满足模组内及模组间单体电池温度均匀性的要求。在加热工况下,该系统不能快速加热电池使之处于最佳工作温度范围,仍需优化。

关键词:锂电池;热管理;温控性能;数值模拟

中图分类号:TM911 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5276(2020)06-0186-03

Research on Thermal Control Management System of Electric Vehicle Power Battery

DING Yi, SUN Zijian

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

Abstract: The battery cells are composed of commercial 112.5 Ah ternary lithium batteries, which are usually adopted in the thermal control management system of electric vehicle at home. The temperature distribution of the battery cells under two working conditions of cooling and heating is studied. The results show that under the cooling condition, the thermal control management system can help to meet the requirements of temperature uniformity of single cell and under the heating condition, this system cannot be used to heat the battery quickly, thus making it not in the optimal operating temperature range, so this system still needs to be optimized.

Keywords: lithium battery; BTMS; temperature control performance; numerical simulation

0 引言

面对环境污染、能源危机的挑战,新能源汽车迎来了重要发展期。发展电动汽车,关键在于动力电池。目前,锂离子动力电池因其具有比能量大、循环寿命长、无记忆效应等优点,已在车用电池领域得到广泛运用^[1]。但电动汽车在实际行驶过程中,动力电池会产生较大的热量,如果散热条件恶劣,热量便会迅速堆积,加速电池内部有害化学反应速率,增大电池容量的衰减,严重时甚至导致燃烧、爆炸等安全事故^[2]。

目前电池热管理系统主要包括采用空气介质、液体介质和采用相变材料介质的热管理系统^[3]。随着国家对电池能量密度、安全性、使用寿命以及快充要求的不断提高,采用空气介质的热管理系统已经不能满足当前的热管理需求^[4],采用相变材料介质的热管理系统由于成本过高,结构复杂等原因使用较少^[5-7],采用液体介质的热管理系统受到越来越多厂商的青睐^[8-10]。国内外针对基于液体介质的电池热管理系统性能进行了大量研究,徐晓明等^[11]实验验证了电池组采用基于两进两出流道液冷方式的散热特性,结果表明,冷板液冷方式能很好地满足散热要求。雪佛兰 Volt 电动车在底特律举办的北美国际汽车展上大方光彩,其锂离子电池组容量达到 16kW·h,所采

用的镶嵌式液冷系统设计精良,实际使用说明此液冷系统散热性能良好^[12]。上述研究表明,目前的研究大多集中于电池冷却,而对电池低温加热这一重要问题研究较少,严寒条件下电动汽车启动是电池热管理系统不可避免的一个问题,有必要进行相关的研究。

本文针对某商用 112.5 Ah 三元锂电池所组成的电池模组,采用国内常用的基于液体介质的电动汽车动力电池热管理系统,研究了冷却、加热两种工况下电池模组的温度分布,为以后热管理系统优化提供一些参考。

1 计算模型及方法

1.1 方案简介

目前市面上越来越多的电动汽车采用基于液体介质的电池热管理系统,本文采用电动汽车上较为常见的口琴管热管理方案。在电动汽车正常行驶过程中,电池产生的热量传递至上、下表面口琴管内部液体介质,在泵的驱动下,液体介质流入换热器中与冷媒进行换热,经过换热的低温液体介质再次流经口琴管,如此循环以达到电池始终处在理想温度范围内工作的目的。依据汽车实际情况,冷媒主要采用冲压空气及空调冷却液。在电池处于低温状态时,由车内加热装置对液体介质加热,高温液体通过口

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFB0104000)

第一作者简介:丁毅(1994—),男,河南开封人,硕士研究生,研究方向为传热学。

琴管对电池预热,在泵的驱动下,液体循环流动对电池进行持续加热。

1.2 传热模型

电池与环境之间传热过程主要包括热传导、对流换热、热辐射。热传导是物体之间不发生相对位移,仅依靠微观粒子的热运动而产生的热能传递,对流换热是流体流经固体表面时,流体与物体表面间的热量传递过程,电池通过热辐射传递的热量很小,可忽略不计。

三维非稳态导热微分方程为

$$\rho c \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right) = \frac{\partial T}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial T}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial T}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q \quad (1)$$

其中: ρ 、 c 、 λ 分别为密度、比热容、导热系数; $\frac{\partial T}{\partial x}$ 、 $\frac{\partial T}{\partial y}$ 、 $\frac{\partial T}{\partial z}$ 为 x 方向温度梯度分量; q 为生热速率。

对流换热边界条件方程为

$$-\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right) = h |T - T_{\infty}| \quad (2)$$

其中: λ 、 h 、 T 、 T_{∞} 分别为物体导热系数、对流换热系数、壁面温度、流体介质温度; $\frac{\partial T}{\partial n}$ 为温度梯度。

1.3 物理模型

本文采用的物理模型如图 1 所示。整个模型主要由液冷系统和电池模组两部分组成,液冷系统主要包括主管道以及口琴管。电池模组上方布置 2 排口琴管,下方布置 4 排口琴管,电池模组由 2 块电池并联为 1 组,10 组串联组成,每组之间布置隔热垫,共 8 个电池模组。口琴管与电池模组之间布置导热硅胶以及导热硅胶垫。本文采用的主管道直径为 14 mm,采用市面常见口琴管,宽 45 mm,高 4 mm,内部具有 10 条流道,每条流道尺寸为 3.95×3 mm,模组上、下表面布置的导热硅胶以及导热硅胶垫厚度分别为 2.75 mm、1.5 mm。从模组取 3 个点,其中 b 点为侧面的正中心点,a 点为 b 点与电池上边界二等分点,c 点为 b 点与电池下边界二等分点。以这 3 点对模组进行截线来对比电池间的温差。

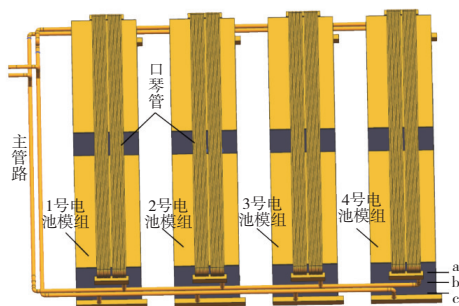


图 1 物理模型示意图

1.4 边界条件

冷却工况下,电池模组进行 1C 放电,初始温度设置为 36℃,环境温度设置并一直保持在 36℃,液冷系统工质采用 50% 乙二醇水溶液,进口流量为 12 L/min,进口温

度为 25℃,出口边界类型设置为压力出口。电池模组、液冷系统与外界环境接触表面均设置为绝热壁面。加热工况下,电池模组初始温度设置为-30℃,环境温度设置并一直保持在-30℃,液冷系统工质采用 50% 乙二醇水溶液,进口流量为 12 L/min,进口温度为 30℃,出口边界类型设置为压力出口。电池模组、液冷系统与外界环境接触表面均设置为绝热壁面。

1.5 物性参数

本文所采用的电池参数均为天津某公司提供,如表 1 所示。

表 1 电池基本参数

电压/V	容量/(Ah)	密度/(kg/m ³)	比热容/(J/kg·k)
3.2	112.5	2 100	1 200
尺寸/mm	单体电池产热功率/W	单体电池各向导热系数/(W/(m·k))	
173×213×14.5	14	15	0.5 15

液冷系统工质采用 50% 乙二醇水溶液,其各项参数如表 2 所示。

表 2 50%乙二醇水溶液基本参数

密度/(kg/m ³)	比热容/(J/(kg·k))	动力黏度/(Pa/s)	导热系数/(W/(m·k))
1 071.11	3 300	0.003 39	0.384

每组电池之间布置的隔热垫材料为气凝胶,相关参数如表 3 所示。

表 3 气凝胶基本参数

密度/(kg/m ³)	比热容/(J/(kg·k))	导热系数/(W/(m·k))	尺寸/mm
200	1 000	0.02	173×213×4

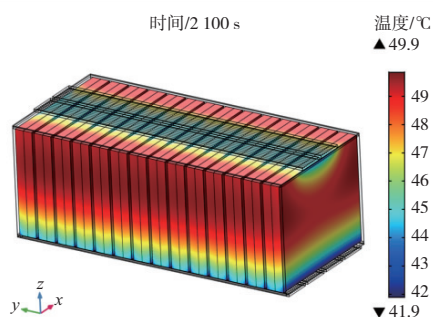
2 计算结果与分析

2.1 冷却工况

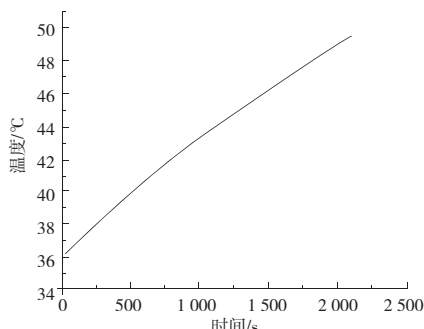
整套热管理系统采用对称设计,同时由于首尾两个模组冷却流道中流速差别最大,温差也最大,所以只需对比这两个模组温度分布即可。

图 2 表示 1 号模组 1C 放电 2 100 s 后电池温度分布云图及最高温度随时间变化图。从图 2 可知,随着放电时间的增加,电池的温度逐渐升高,电池热量主要集中在中心位置,温度最高。这主要是因为热管理系统仅布置在电池模组上、下两侧,电池中心位置的热量不能及时传递出去。2 100 s 后整个模组最高温度为 49.9℃,最低温度为 41.9℃。对于电动汽车电池模组,电池之间的均温性是其寿命、安全的重要影响因素,为了探究单体电池之间的温差,对模组进行截线。

图 3 表示 1C 放电 2 100 s 后 3 条截线上电池的温度分布图。从图 3 分析可知,截线 a、b、c 中电池之间的最大温差分别为 0.42℃、0.45℃、0.67℃,均<2℃,说明该液冷系



(a) 电池温度分布图



(b) 最高温度变化图

图2 1号模组温度分布及最高温度变化图

统有助于满足模组内单体电池温度均匀性的要求。

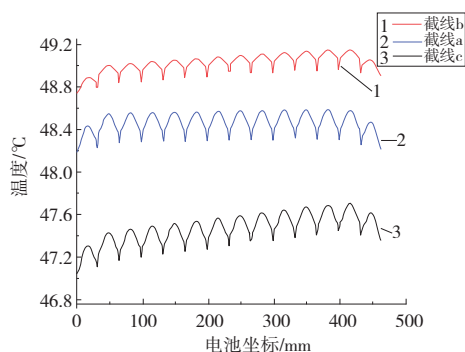
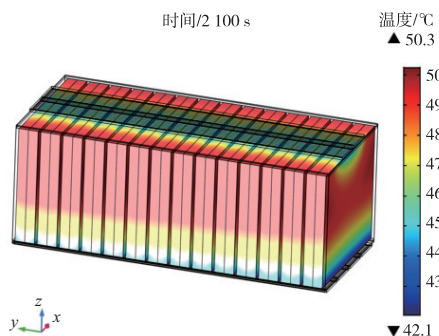
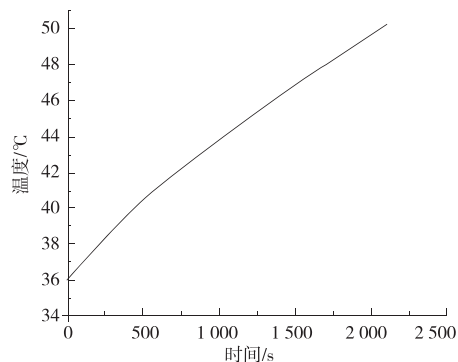


图3 截线a、b、c温度分布图

图4表示4号模组1C放电2100s后电池温度分布云图及最高温度随时间变化图。从图4可知,此时整个模组最高温度为50.3℃,最低温度为42.1℃,较1号模组有所增大。主要是由于冷却工质进入4号模组流速有所下降,同时流入温度也会有所提升,同样截线来对比电池温差。



(a) 电池温度分布图



(b) 最高温度变化图

图4 4号模组温度分布及最高温度变化图

4号模组1C放电2100s后3条截线上电池的温度分布如图5所示。截线a、b、c中电池之间的最大温差分别为0.6℃、0.7℃、1.1℃,均<2℃。通过对比1号、4号模组3条截线上电池的温度,最大温差为1.15℃,同样<2℃,说明该液冷系统有助于满足模组内单体电池温度均匀性的要求。

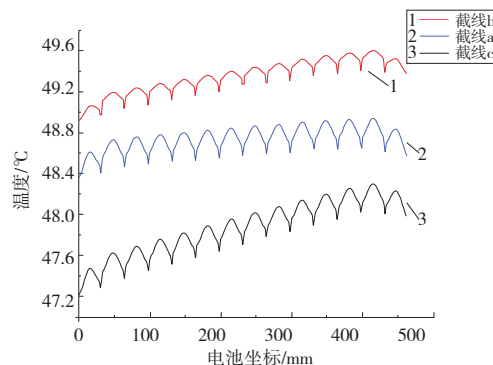
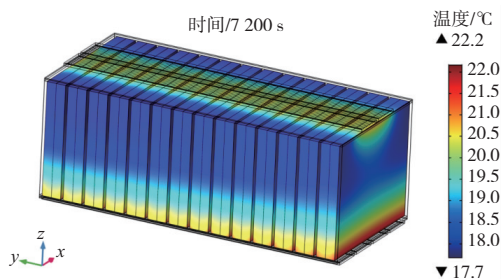


图5 截线a、b、c温度分布图

2.2 加热工况

1号模组在系统加热120min后电池温度分布及最低温度随时间变化如图6所示。从图6可知,温度随着电池上、下两侧向内逐渐降低和加热时间的推移,模组的低温区域主要集中在中心及上方两侧,原因在于热量是通过模组上、下两侧的工质向内部传递的,同时模组上方仅布置两排口琴管,热量不能及时传递至两侧。120min后模组的最高温度为22.2℃,最低温度为17.7℃,此时仍未到达电池最佳工作温度,说明该系统对于模组的低温启动耗时较多,不能快速使之处于最佳工作温度范围,仍需优化。



(a) 电池温度分布图

(下转第196页)

度较高的指标作为敏感特征输入 RBF 人工神经网络,不但可以降低特征序列的维数和神经网络的运算载荷,同时还可以提高模型的诊断精度。

2) 通过特征评估对铝锭脱模过程中的声音信号进行特征提取,利用提取后的敏感特征可以对脱模过程故障进行有效诊断。

参考文献:

- [1] 申明辉,曹建林,卢勇. Fuzzy-Smith 预估控制在铝锭浇铸控制中的应用研究[J]. 制造业自动化,2010,32(1): 69-72.
- [2] 刘连涛. 钢-铝复合界面组织结构研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2008.
- [3] WANG Chunyang, JIANG Yanbin, XIE Jianxin, et al. Formation mechanism and control of aluminum layer thickness fluctuation in embedded aluminum-steel composite sheet produced by cold roll bonding process[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2017, 27(5): 12-13.
- [4] 周俊,伍星,迟毅林,等. 盲解卷积和频域压缩感知在轴承复合故障声学诊断的应用[J]. 机械工程学报,2016,52(3): 63-70.
- [5] 李岐. 货车运行早期故障轨边声学诊断系统研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2014.
- [6] 羿泽光,潘楠,刘凤. 基于参考信号频域半盲提取的机械故障特征声学诊断[J]. 河北科技大学学报,2015,36(4): 351-358.
- [7] 杨元威,关永刚,陈士刚,等. 基于声音信号的高压断路器机械故障诊断方法[J]. 中国电机工程学报,2018,38(22): 278-285.

- [8] HENG A, ZHANG S, TAN A C C, et al. Rotating machinery prognostics: state of the art, challenges and opportunities [J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2009, 23(3): 724-739.
- [9] CAMCI F, MEDJAH K, ZERHOUNI N, et al. Feature evaluation for effective bearing prognostics [J]. Quality and Reliability Engineering International, 2013, 29(4): 477-486.
- [10] MEDJAH K, CAMCI F, ZERHOUNI N. Feature extraction and evaluation for health assessment and failure prognostics [C]// Proceedings of First European Conference of the Prognostics and Health Management Society. Dresden, Germany: Anibal Bregon, 2012: 111-116.
- [11] HU Q H, GUO M Z, YU D R, et al. Information entropy for ordinal classification [J]. Science China: Information Sciences, 2010, 53(6): 1188-1200.
- [12] PENG Y, REGGIA J. A probabilistic causal model for diagnostic problem solving - part I: integrating symbolic causal inference with numeric probabilistic inference [J]. IEEE Trans SMC, 1987, 17(3): 146-162.
- [13] ORR M J L. Regularization in the selection of radial basis function centers [J]. Neural Computation, 1995(7): 606-623.
- [14] 张志刚,石晓辉,施全,等. 基于改进 EMD 和谱峭度法滚动轴承故障特征提取[J]. 振动测试与诊断, 2013, 33(3): 478-482, 529-530.

收稿日期:2019-09-27

(上接第 188 页)

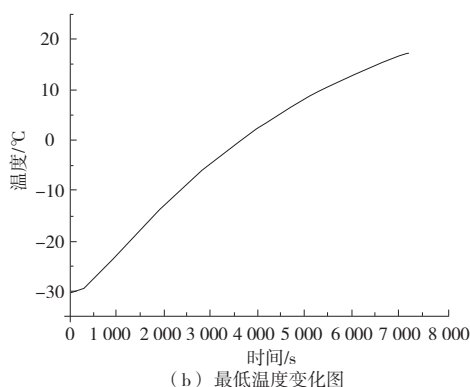


图 6 模组温度分布及最低温度变化图

3 结语

本文针对某商用 112.5 Ah 三元锂电池所组成的电池模组,采用国内常用的基于液体介质的电动汽车动力电池热管理系统,研究了冷却、加热两种工况下电池模组的温度分布。结果表明:在冷却工况下,该型热管理系统有助于满足模组内及模组间单体电池温度均匀性的要求。在加热工况下,该系统不能快速加热电池使之处于最佳工作温度范围,仍需优化。

参考文献:

- [1] 刘烨,郑燕萍,孙伟明,等. 电动汽车电池技术发展综述[J]. 机械制造与自动化,2016,45(4): 56-58.

- [2] HANDE A. Internal battery temperature estimation using series battery resistance measurements during cold temperatures [J]. Journal of Power Sources, 2006, 158(2): 1039-1046.
- [3] 付正阳,林成涛,陈全世. 电动汽车电池组热管理系统的关键技术[J]. 公路交通科技, 2005(3): 119-123.
- [4] NELSON P, DEES D, AMINE K, et al. Modeling thermal management of lithium-ion PHEV batteries [J]. Journal of Power Sources, 2002, 110(2): 349-356.
- [5] 刘伶,张宏庆,关昶. 相变材料在动力电池热管理系统中的应用进展[J]. 硅酸盐通报, 2016(1): 150-153.
- [6] AI Hallaj S, SELMAN J. A novel thermal management system for electric vehicle batteries using phase-change material [J]. Journal of the Electrochemical Society, 2000, 147(9): 3231-3236.
- [7] KHATEEB S A, FARID M M, SELMAN J R, et al. Design and simulation of a lithium-ion battery with a phase change material thermal management system for an electric scooter [J]. Journal of Power Sources, 2004, 128(2): 292-307.
- [8] 蔡飞龙,许思传,常国峰. 纯电动汽车用锂离子电池热管理综述[J]. 电源技术, 2012, 36(9): 1410-1413.
- [9] 霍宇涛,饶中浩,赵佳腾,等. 低温环境下电池热管理研究进展[J]. 新能源进展, 2015, 3(1): 53-57.
- [10] 雷治国,张承宁. 电动汽车电池组热管理系统的研究进展[J]. 电源技术, 2011, 35(12): 1609-1612.
- [11] 徐晓明,赵又群. 基于双进双出流液冷系统散热的电池模块热特性分析[J]. 中国机械工程, 2013, 24(3): 313-316, 321.
- [12] 谷风. 混合动力重型车动力电池热管理研究[D]. 吉林:吉林大学, 2017.

收稿日期:2019-09-27