

Study on Temperature Field of Hot Tube Type Battery Heat Management System

Wenqing Duan

College of Mechanical-Electronic and Automobile Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400074, China

Abstract: When the electric vehicle is working normally, the heat released by the battery causes the battery pack to be in a high temperature state, which causes great harm to the performance and safety of the electric vehicle. The application of heat pipe technology is a major development direction of battery thermal management system. According to different heat pipe parameters, we use fluent software to simulate the temperature field of battery pack, and compare the influence of different heat pipes on battery pack. The results show that the heat pipe battery management system can effectively reduce the temperature of the battery and reduce the temperature difference by reasonably selecting the parameters of the heat pipe.

Keywords: Heat pipe; Battery pack; Heat management system

热管式电池热管理系统温度场研究

段文卿

重庆交通大学机电与车辆工程学院, 重庆, 中国, 400074

摘要: 电动车正常工作时, 电池释放的热量使得电池组处于高温状态, 对电动车的性能和安全造成了极大的危害, 为此设计热管式电池热管理机构。针对不同的热管参数, 利用 fluent 软件对电池组进行温度场仿真, 对比不同热管对电池组的影响。结果表明, 通过合理选择热管参数, 此热管式电池管理系统能有效的降低电池组的温升, 减少温差。

关键词: 热管; 电池组; 热管理系统

1 引言

随着环境友好型社会的建设进程的推进, 汽车行业为了提升能源利用率, 减少污染排放, 逐步推进向新能源汽车产业的转变。作为新能源电动汽车的动力核心, 电池的性能关系到整车的性能和安全。

电池在充放电过程中, 由于内部的化学反应和电阻的做功, 会释放大量的热, 导致电池组内温度上升, 电池之间的温度差异增大, 减少循环寿命, 内部更易发生剧烈的化学反应, 从而使电池燃烧、爆炸的风险提升^[1,2]。较大的温度差异也会使得电池组出现部分单体过充、过放的现象, 降低了电池组的整体性能和寿命。

常用的动力电池热管理系统有风冷、液冷、相变材料和热管技术四种。热管技术具有高导热性、良好的均温性能和较为灵活的结构布置的优点。Swanepoel 等人将脉动热管应用与动力电池组对电池进行热管理, 研究了将电池置于车后备箱中时电池组的温度状况, 验证了热管对电池组温度能有效管控, 并得出了

以氨水为工质的脉动热管, 其宽度应小于 2.5mm, 以保证脉动热管在电池热管理中能够快速启动, 并具有良好的散热效率。张国庆等人研究了热管技术应用后电池组的冷却效果, 发现放电过程中, 电池组的温度降低很多, 与自然对流条件下相较, 平均温度可以降低 10℃以上^[3]。胡小峰、王颖盈等研究了热管对锂电池的冷却效果, 并在热管冷凝段加装了翅片, 初步确定了翅片参数对冷却效果的影响^[4,5]。

本文研究利用沟槽式热管对电池组进行温度管控, 设计了一种热管与铝制框架的复合散热结构, 使用铝制框架与电池紧密接触, 利用热管将热量传递出去。对不同工质和不同充液率的热管式热管理系统仿真分析温度场的变化。

2 研究理论

2.1 模型构建理论

针对电池热管理系统, 通常做以下假设:

基于电池内部的空间较为狭小且电池内电解液流

动性较差几乎不进行流动的原因，忽略电解液在电池内部的对流换热；

忽略电池辐射作用对温度的影响；

电池单体的热容、比热容、导热系数、密度以及电池其他性能参数(如电池单体的内阻)为常数,不随温度变化；

电池单体内部各种材料均具有各向同性且保持物理性质均一；

电池单体内部发热均匀

根据上述的假设 5 条，建立圆柱形锂离子动力电池的瞬态传热数学模型：

$$rC \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{1}{r} I_r \frac{\partial T}{\partial r} + I_r \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + I_a \frac{I^2 T}{I_z^2} + q \quad (1)$$

式中： ρ 为锂电池密度， C 为比热容， λ_r ， λ_a 分别为径向、轴向导热系数， q 为内部体生热速率。基于假设第四条，导热系数一致，故 λ_r ， λ_a 实值相等。

2.2 锂离子电池生热速率计算

锂电池在充放电过程中，主要的放热反应有电解液分解、负极的热分解及其与电解液的反应、正极的热分解及其与电解液的反应以及固体电解质界面膜 (solidelectrolyteinterface, 简称 SEI 膜) 分解反应等化学反应及其副反应^[6,7]。根据 Bernadi 等研究的锂电池生热模型，电池的生热速率计算式如下所示：

$$q = \frac{I}{v} \left[(E_0 - E) + T \frac{\partial U}{\partial T} \right] \quad (2)$$

式中： q 为单体电池的总生热速率； I 为单体电池的放电电流值，单位为 A； E_0 、 E 分别为电池单体的开路电压与工作电压，单位为 v； T 为电池的温度，取开尔文温度值； v 为单体电池体积； $\partial U/\partial T$ 为温度系数。式中锂离子电池的开路工作电压之差表示电池工作过程中的极化热与焦耳热，可以化为电流与内阻之积，用 R 表示锂离子电池单体的内阻。 $T \times (\partial U/\partial T)$ 是电池的化学反应产生的可逆反应热，对电池的生热影响较少，在国内外的相关研究中，常引用一固定值。由于主要考察锂电池 1C 放电特性，取 0.22mv/K[8]。

因此电池的生热速率又可以化为下式：

$$q = \frac{1}{v} \left[I^2 R + IT \frac{\partial U}{\partial T} \right] \quad (3)$$

本文研究环境为电池组初始温度为 30℃，以 1C 倍率（在 1 小时内通过恒流放电使电池电压降至放电截止电压）放电，获得电池参数及生热速率如下表所

示：

Table 1. Cell parameter table
表 1. 电池参数表

电池型号	标称容量 /Ah	标称电压 /v	充电截止电压/v	放电截止电压 /v
NCR18650P F	2.9	3.6	4.35	2.75
内阻/mΩ	尺寸/mm	质量/g	生热速率 /wm ³	
25	φ18×65	44.5	24416.72	

3 实验设计

热管选用常温沟槽道热管，沟槽数 60，槽深 0.25mm，沟槽为梯形槽道，管外径 6mm，采用水、乙醇、丙酮作为工质，管壳材料为铜，蒸发段长度为 55mm，冷凝段长度为 65mm，绝热段长度为 10mm，选用 50%、100%、150%、200% 的充液率作为研究变量。电池组采用 4 个单体电池串连为一组，5 组并联的方式连接，电池间距 4mm,几何模型如下图所示：

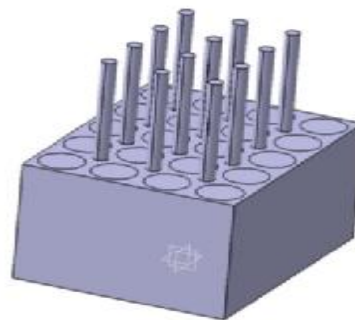


Figure 1. Geometric model of battery pack
图 1. 电池组几何模型

电池组生热传热过程是一个典型的耦合传热问题，设定求解方式为整场离散、整场求解。能量、压力和动量采用 2 阶迎风格式的离散方法，动量方程中的压力与速度的耦合则采用 SIMPLE 算法。定义电池组的工作环境为 30℃，1 个大气压。电池组模块处于自然对流换热状态。鉴于锂离子电池生热量在放电过程中产生的要远多于充电过程中的原因，对于散热装置的效果研究，只对电池组放电冷却效果进行仿真模拟。

4 结果分析

4.1 不同工质对电池组散热效果影响

如图 2 所示为不同工质的充液率对电池组平均温度的影响图，图 3 为不同工质的充液率对电池组单体之间温差值的影响。

从图中可以看到，水由于潜热较大，单位质量能够吸收的热量多，并且同等充液率下水的密度大于乙醇和丙酮，水的质量要高于二者，能吸收的热量远高于二者。水的沸点较高，热管中蒸汽和液体的比例较为稳定，工质蒸发与蒸汽冷凝形成平衡，冷凝液回流快，对电池组的散热效果较好。

乙醇的比热容和导热系数低于水，能够吸收和散发的热量少，并且沸点较低，外界温度对其冷凝影响较大，散热效果逊于水。

至于丙酮，由于沸点远低于水和乙醇，电池产生的热量被丙酮吸收后，蒸汽产生的多，冷凝液回流较少，管内液相减少，不利于传导热量，所以丙酮的散热效果不如以上两者。

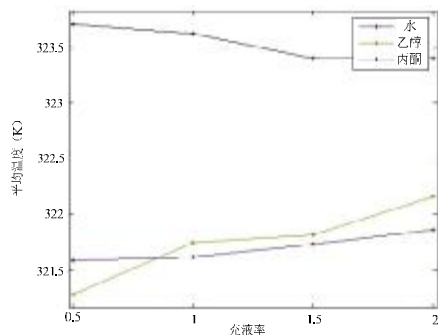


Figure 2. Average temperature of battery group under different liquid and liquid filling rate

图 2. 不同工质不同充液率下电池组的平均温度

4.2 不同充液率对电池组平均温度效果影响

从图中可以观察到，以丙酮作为工质的热管理系统的温升随着充液率的增大而减小，以水、乙醇为工质的两组热管理系统，其温升随着充液率的增大而增大。

丙酮由于低沸点和比热容，导致受热蒸发快，低充液率下丙酮很快出现干涸，热管出现干烧，导热性能下降，热量无法及时传递到外界，电池组温度上升，随着充液率的增多，该现象得到缓解，所以，对于丙酮热管，充液率的增大导致了温升下降。

而乙醇热管和水热管，工质的增加一则导致了热管内液膜的厚度的增加，回流的液体减少，蒸发段的

液流减少，热管的导热性能下降，二则热管的工质增加导致了热管内液相增多，压差变大，蒸汽自液相逸出变慢，热管导热能力降低，电池组的散热效果下降。但相较于乙醇，水的潜热高，表面张力大，冷凝液的回流更快、更多，所以水作为工质，充液率的增加对温升的影响较小。

4.3 不同充液率对电池组温差影响

由图中可知，以丙酮作为工质的热管理系统的温差随着充液率的增大而减小，以水、乙醇为工质的两组热管理系统，其温差随着充液率的增大而增大。

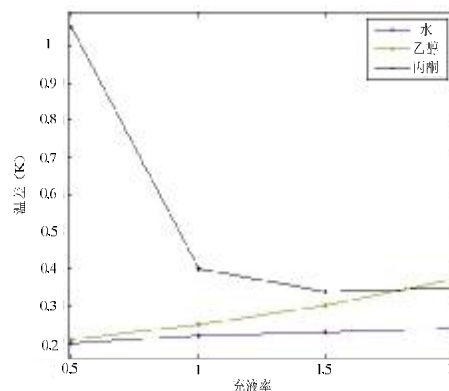


Figure 3. temperature contrast of battery group under different liquid and liquid filling rate

图 3. 不同工质不同充液率下电池组的温差

丙酮的沸点极低，其汽化潜热较小，在电池组加热下，丙酮液相吸收少量热量即可达到沸点，受热蒸发快，充液率较低时，丙酮的液相很快出现干涸，热管内的相变减少，热管两端的温差增大，电池组的温差增大，而随着充液率的增多，液相增多，丙酮为工质的热管能够维持气液两相的平衡，导热性能提升。所以，对于丙酮热管，充液率的增大导致了温升和温差的下降。

而乙醇热管增加工质导致热管的液相变多，管内的压差增大，气泡难以逸出，气相减少，而冷凝段的液膜增厚，冷凝液停滞在冷凝段不返回蒸发段的量增多，蒸发段的液流减少；同时，液相的增多导致了热管需要吸收更多的热才能完成液相的温升，相变速率降低，导热性能降低，电池组的温差增大。

以水为工质，工质的增加同样导致了热管内液膜的厚度的增加，回流的液体减少，蒸发段的液流减少，热管的导热性能下降，电池组的散热效果下降。但由于水的潜热高，沸点也高，水吸收的热量的增幅

有限，而水的表面张力大有利于冷凝液的回流，所以水作为工质，充液率的增加增大了温差，但影响较小。

5 结论

本文通过对水、乙醇、丙酮三种工质不同充液率的热管式电池管理系统进行性能仿真模拟，得出如下结论：

以丙酮作为工质的热管理系统随着充液率的增加，散热性能提升，但提升趋于平缓；

乙醇和水作为工质，当充液率提升，热管理系统散热性能降低，但以水为工质的系统变化较小，以乙醇为工质的变化更为突出。

相同充液率下，以水为工质的系统有着更好的散热性能。

References (参考文献)

- [1] SHI Zhan-yu, TANG Ke-bing, XIE Qing-xi, ZHAO Xi-yuan, WANG Hui. Analysis and optimization of flow distribution in air cooled battery cabin of electric truck[J]. Auto Sci-tech, 2018(01):20-23
师占雨,唐克兵,谢庆喜,赵禧元,王辉.电动卡车风冷电池舱流场分析及优化[J].汽车科技,2018(01):20-23.
- [2] PENG Bo. Study on heat dissipation performance of air cooling-heat pipe type for electric vehicle lithium-ion battery group[D]. NANJING NORMAL UNIVERSITY, 2017
彭波.电动汽车用锂离子电池组风冷—热管复合式散热性能研究[D].南京师范大学,2017
- [3] ZHANG Guoqing, WU Zhongjie, RAO Zhonghao, FU Lipeng. Experimental investigation on heat pipe cooling effect for power battery[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2018(01):20-23
张国庆,吴忠杰,饶中浩,傅李鹏.动力电池热管冷却效果实验[J].化工进展,2018(01):20-23.
- [4] HU Xiaofeng. Study on capacity of heat dissipation for Electric Vehicle Lithium ion battery based on inorganic superconductivity heat pipe[D]. HUNAN UNIVERSITY, 2013
胡小峰.电动汽车锂离子电池组无机超导热管散热性能研究[D].湖南大学,2013.
- [5] WANG Ying-ying, DIAO Yan-hua, ZHAO Yao-hua, WANG Lin-cheng. Cooling property of flat micro-heat pipe arrays for lithium battery[J]. Modern Chemical Industry, 2002(22):55-56
王颖盈,刁彦华,赵耀华,王林成.平板微热管阵列应用于锂电池组的散热特性[J].现代化工,2002,22(1):55-56.
- [6] HALLAJ S A, MALEKI H, HONG J S, et al. Thermal modeling and design considerations of lithium-ion batteries [J]. Journal of Power Sources, 1999,83:1-8.
- [7] KRAUSE L J, JENSEN L D, DAHN J R. Measurement of parasitic reactions in li ion cells by electrochemical calorimetry[J]. Journal of the Electrochemical Society, 2012,159(7): A937-A943.
- [8] ZHANG Guoqing, WU Zhongjie, RAO Zhonghao, FU Lipeng. Simulation and analysis of heat dissipation characteristics of power battery pack[J]. Beijing Automotive Engineering, 2017(01):21-23
邵艳涛,姜保军,王伟.动力电池箱散热特性仿真分析[J].北京汽车,2017,(01):21-23