

Study on the Factors Affecting Low-Temperature Fast Charging of Power Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles

Xianhua Hong zhirong Zeng Zhouxiang Yan Jisheng Huang

Jiangling Motors Corporation Limited, Nanchang, Jiangxi, 330000, China

Abstract

Addressing the issues of long charging times and low charging currents for power lithium-ion batteries compared to normal temperature charging, this study focuses on a liquid thermal management power battery system. Based on heat transfer principles and combined with a power battery heat generation calculation model, a thermal simulation model of the power battery system was established. The reliability of the simulation model was verified through experiments under low-temperature fast-charging conditions. Using this simulation model, influencing factors of low-temperature fast charging were optimized, and combined with experimental data, a solution for the low-temperature fast charging of liquid thermal management power lithium-ion batteries was proposed.

Keywords

power battery; low-temperature fast charging; inlet temperature of heating liquid; thermal insulation performance; heating rate

纯电动汽车动力锂离子电池低温快充影响因素研究

洪显华 曾志嵘 鄢舟祥 黄纪升

江铃汽车股份有限公司, 中国·江西 南昌 330000

摘要

针对动力锂离子电池与常温充电相比, 低温充电时间长、充电电流小的问题, 以液热动力电池系统为研究对象, 根据传热学原理, 结合动力电池生热计算模型, 建立了动力电池系统的热仿真计算模型, 并通过在低温快充工况下的试验, 验证了仿真模型的可靠性。使用该仿真模型优化低温快充影响因素, 并结合试验数据, 提出了液热动力电池低温快充问题解决方案。

关键词

动力电池; 低温快充; 加热液入口温度; 保温性能; 加热速率

1 引言

由于现有电池材料技术的限制, 动力锂离子电池只能在特定温度范围内正常工作, 不能在极端环境下使用。因此需要对动力锂离子电池进行热管理^[1-3], 使得动力锂离子电池始终在合适的温度下进行工作, 避免极端温度下使用引发的安全事故。尤其在低温环境下, 受电化学反应动力学限制, 锂离子电池性能明显降低。有文献报道, 与20℃使用环境温度相比, -10℃下锂离子电池的充电性能降低10%-20%^[4], 当使用环境温度降低到-20℃时, 锂离子电池的充电性能降低40%-50%^[5]。

本文采用液热方式的动力三元锂离子电池系统为研究对象, 使用计算机仿真和试验相结合的方法, 分别对影响低温快充的关键因素进行探讨。通过以上努力实现研究对象低

温快充的解决方案。

2 仿真模型

利用 STAR-CCM+ 进行建模分析, 液热系统主要包含液冷板、管道、快插接头等部件, 液冷板采用口琴管式液冷板, 液冷板之间采用并联方式。模型对称, 为了加快计算速度, 减少计算资源, 只计算一个模组, 加热液采用体积比为50%的乙二醇溶液。

3 试验

3.1 试验方法

动力电池充放电容量和能量以及循环寿命测试参照 ISO12405-3。

低温保温性能测试: 将电动汽车放置在25℃环境仓中静置至电池管理系统(BMS)监控的最低温度达到 $25 \pm 2^\circ\text{C}$, 且最低温度点与最高温度点的温差 $\leq 3^\circ\text{C}$, 然后将环境仓温度设置为 -10°C , 记录此时温度并标记为T1, 记录此时时间并标记为t1, 当电池管理系统(BMS)监控的最

【作者简介】洪显华(1991-), 男, 中国江西九江人, 硕士, 工程师, 从事整车热管理研究。

低温度降至 0℃，记录此时温度并标记为 t2。计算温降速率 $=T1/(t2-t1)$ 。

3). 低温充电试验：将车辆放电至最小电量 (SOC=0%-4%)，并调整电池系统内部的最低温度都为 21℃，最高温度 ≤24℃，然后将车辆放置在 -10℃环境仓中浸车 12h 后进行试验。低温快充试验过程中以不小于 1HZ 的采集频率实时连续记录充电过程中的电量，记录充电至 80%SoC 时对应的充电时间，并保存该时间段电池管理系统 (BMS) 的低温快充通信报文。加热速率为低温充电试验过程中纯加热阶段的平均温升速率。

3.2 低温充电目标

为了满足车辆在低温使用环境下的快速充电目标，设计了电池热管理液冷系统，低温情况下，需要对电池系统加热时，水 PTC 启动，加热冷却液与电池系统进行热交换，从而使电池系统内部温度升高或保持恒定。电池系统在低温使用环境下的快速充电流程如下，当插上充电枪并唤醒充电机时，如果电池系统内部最低温度 (后文简称 T_{min}) <9℃，则先启动加热，利用充电桩提供的电能对电池系统内部进行加热；当 $T_{min} \geq 9℃$ 时，电池系统进入边加热边充电模式；当 $T_{min} \geq 21℃$ 时，电池系统进入纯充电模式，退出加热模式；当 T_{min} 降低到 15℃ 时，电池再次开启边加热边充电，以此循环，直到电池系统充电结束。

为了解决极寒地区客户充电时间长问题，对低温充电时间提出明确设计要求，对低温充电性能设计要求如下：

-10℃使用环境温度下加热速率 $\geq 20℃/h$ ；

-10℃使用环境温度下保温性能：动力电池系统温降速率 (后文简称 $T_{降}$) $\leq 3℃/h$ 。

4 结果及讨论

4.1 电池的低温性能

表 1 是动力锂离子电池系统在不同温度下 1C 倍率充放电的容量、能量试验结果。

表 1 动力锂离子电池系统不同温度下的充放电容量和能量

温度 /℃	放电容量 /Ah	放电能量 wh	充电容量 /Ah	充电能量 wh
55	53.51	197.28	50.25	205.27
45	53.44	196.57	49.41	205.09
25	52.15	190.94	47.74	203.96
0	48.50	173.54	45.23	206.10
-10	47.49	166.37	/	/
-20	45.89	156.28	/	/

由表 1 可知，低温情况下，动力锂离子电池的放电能力下降明显；0℃以下，锂离子电池充电有析锂出现，电芯处于高度不安全状态，为了整车安全，温度低于 0℃以下整车上不允许充电，故表 1 中没有给出相应的充电容量、能量数据。

4.2 电池低温加热速率、保温性能仿真探讨

在 STAR-CCM+ 软件中建模，采用瞬态计算仿真方

法，探讨动力锂离子电池低温加热速率、温差及保温性能。

设定仿真工况：-10℃环境温度，12L/min 流量，45℃入口温度 (后文简称入口温度)。加热 3600s，平均加热速率为 18.97℃/h，模组最大温差 4.0℃。加热速率没有达到目标要求，为了达到目标要求，提出优化入口温度来提高加热速率和调整保温材料厚度提高保温性能。

4.2.1 入口温度对加热速率的影响

探究入口温度对加热速率的影响，考虑温度对电芯安全性能及使用寿命的影响，选取 45℃、55℃、60℃、65℃，4 个不同的入口温度作为变量，其他条件完全相同进行仿真计算，低温加热速率计算结果分别为 20.5、22.1、23.7、24.9℃/h，加热 1h 后温差分别为 4.3、4.6、4.9、5.5℃。

从计算结果可知，随着入口温度调高加热速率增大，但温差也随之增大，当入口温度为 60℃ 时，温差 4.96℃ 达到模组低温充电性能要求的临界值。

4.2.2 保温材料对保温性能的影响

为探究保温材料对保温性能的影响，同时考虑电池系统内部空间有效利用率，选取 1、2、3、4、5mm，5 个厚度的变量，其他条件完全相同进行仿真计算，计算结果分别为 4.97、4.58、3.39、2.69、1.85℃/h。从计算结果可知，保温材料厚度越厚，保温性能越好。

4.3 低温充电性能试验

结合仿真结果，设计整车低温环境试验。对仿真中分析入口温度、保温材料厚度对电池系统低温充电性能的影响进行试验，实现动力电池系统低温充电性能要求。

4.3.1 入口温度对低温充电性能的影响

取 45℃ 和 60℃ 作为入口温度进行试验验证，其他试验条件相同。试验结果如下：

当入口温度为 45℃ 时，加热速率为 18.0℃/h。低温快充采用先纯加热，再边加热边充电，最后进行纯充电的模式，纯加热过程加热到 9℃ 耗时 37min，边加热边充电耗时 24min，纯充电耗时 36min，因此整个充电过程共用时 97min。整个充电过程最大动态温差 5.8℃。当入口温度为 60℃ 时，加热速率为 24℃/h。纯加热过程加热到 9℃ 耗时 27min，边加热边充电耗时 21min，纯充电耗时 42min，因此整个充电过程共用时 90min。该过程最大动态温差为 8℃。

4.3.2 保温材料对低温充电性能的影响

在相同试验条件下，电池系统下箱体内侧贴覆 4mm 厚保温材料，下箱体外侧分覆盖保温材料与未覆盖保温材料两种方案。对两种状态的电池系统进行低温充电试验。

在整个浸车过程，覆盖保温材料的动力电池系统内部最低点温度 $T_{min}=1℃$ ， $T_{降}=(21℃-1℃)/720min/60=1.67℃/h$ ；电池系统外箱体未覆盖保温材料，整车完成 12h 浸车时， $T_{min}=-10℃$ ， $T_{降}=(21℃-(-10℃))/720min/60=2.58℃/h$ 。说明保温材料对电池系统的低温保温性能有较大的影响，尤其是在低温环境下使用完车辆 (此时电池系统内部温度较高时) 后短时间停车再用车，这种影响会更为明显。

车辆低温浸车完成后,进行充电。下箱体外侧未覆盖保温材料的充电过程共用时 120min,整个过程最大温差 7℃。下箱体外侧覆盖保温材料的充电过程共用时 84min,整个过程最大温差 6.7℃。

综上,电池系统下箱体内侧贴覆 4mm 厚保温材料,下箱体外侧覆盖保温材料的保温性能和低温充电时长满足设计要求。

5 结语

本论文以采用液热方式的动力三元锂离子电池系统为研究对象,使用 STAR-CCM+ 软件计算仿真和试验相结合的方法,分别对入口温度、系统保温材料等影响低温快充的关键因素进行探讨。1. 建立了动力电池仿真计算模型; 2. 仿真分析了加热液入口温度、保温材料厚度对低温快充的影响; 3. 通过试验,证明通过提高加热液入口温度、增加保温材料可以提高低温快充性能。在考虑动力电池系统电芯安全和系统空间有效利用的前提下,入口温度采用 60℃、模组保温材料厚度为 4mm、箱体表面覆盖保温材料方案最优。

参考文献

- [1] Jaewan Kim, Jinwoo Oh, Hoseong Lee. Review on battery thermal management system for electric vehicles[J]. Applied Thermal Engineering, 2019, 149: 192-212.
- [2] L.H.J. Raijmakers, D.L. Danilov, et al. A review on various temperature indication methods for Li-ion batteries[J]. Applied Energy 240(2019): 918-945.
- [3] 宋丽, 魏学哲, 戴海峰, et al. 锂离子电池单体热模型研究动态[J]. 汽车工程, 2013, 35(3): 285-291.
- [4] Praphulla Rao, Sreenivas Jayanti. Influence of electrode design parameters on the performance of vanadium redox flow battery cells at low temperatures[J]. Journal of Power Sources 482(2021): 228988.
- [5] Z. Lu, X.L. Yu, L.C. Wei, F. Cao, L.Y. Zhang, X.Z. Meng, L.W. Jin. A comprehensive experimental study on temperature-dependent performance of lithium-ion battery, Applied Thermal Engineering(2019).