

# Research on Low-Temperature Fast Charging Optimization of Power Lithium-Ion Batteries for Pure Electric Vehicles

Xianhua Hong Zhirong Zeng Jisheng Huang Zhouxiang Yan

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

## Abstract

Aiming at the issues of long charging time and low charging current for power lithium-ion batteries compared with normal temperature charging, this study takes the liquid thermal power battery system as the research object, establishes an optimized simulation model for a low-temperature fast-charging control strategy, and uses the optimal control strategy in vehicle tests to verify the reliability and efficiency of the low-temperature fast-charging control strategy optimization simulation model.

## Keywords

Power battery; Low-temperature fast charging; Charging control strategy

# 纯电动汽车动力锂离子电池低温快充优化研究

洪显华 曾志嵘 黄纪升 鄢舟祥

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, 建立一种低温快充控制策略优化仿真模型, 采用最优的控制策略进行整车试验, 验证了该低温快充控制策略优化仿真模型的可靠性与高效性。

## 关键词

动力电池; 低温快充; 充电控制策略

## 1. 引言

锂离子电池因为其优越的能量密度和功率密度性能, 被广泛应用于为新能源汽车提供动能。锂离子电池作为新能源汽车重要的能量储存场所和供能来源, 直接影响整车性能和市场竞争性。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, 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, 因为长时间在极端温度下使用会导致温度场差异加大, 造成电池之间的一致性恶化, 从而降低电池系统充放电效率、缩短电池的循环寿命, 影响电池功率和能量等电性能, 甚至会引发发热失控, 从而影响到整车的可靠性、安全性和使用寿命等。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<sup>[1]</sup>。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%<sup>[1-2]</sup>, 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%<sup>[3]</sup>。

随着新能源汽车的推广, 汽车使用的环境温度变化更大, 为了保障极寒地区客户用车体验, 使极寒地区的充电时间与常温下的充电时间接近, 需要探索动力锂离子电池低温快充影响因素。由于液热的诸多优点, 动力锂离子电池采用液热方式进行低温热管理成为发展趋势<sup>[4-5]</sup>。

## 2 动力锂离子电池的低温性能

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 2 是单体电芯在不同温度下 1C 倍率充放电的循环寿命试验结果。

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
10	49.89	180.73	46.90	207.06
0	48.50	173.54	45.23	206.10
-10	47.49	166.37	/	/
-20	45.89	156.28	/	/

【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。

表 2 单体电芯不同温度下 1C 倍率充放电的循环寿命

温度 /°C	测试方法	循环寿命
10°C	1C/1C@10°C, 100%DOD 循环	1548 周保持率 80.32%
25°C	1C/1C@25°C, 100%DOD 循环	1873 周保持率 80.18%
35°C	1C/1C@35°C, 100%DOD 循环	2116 周保持率 80.05%
45°C	1C/1C@45°C, 100%DOD 循环	1973 周保持率 80.36%
60°C	1C/1C@60°C, 100%DOD 循环	1216 周保持率 80.06%

由表 1 可知,在动力锂离子电池可充、放电温度范围内,1C 倍率下的充放电容量和能量随着温度升高而增加;低温情况下,动力锂离子电池的放电能力下降明显<sup>[6]</sup>;0°C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°C 以下整车上不允许充电,故表 2 中没有给出相应的充电容量、能量数据。表 2 表明,在 10°C~35°C 范围内,随着温度升高,循环寿命逐渐增加,在 35~60°C 范围内,随着温度升高,循环寿命逐渐减少。结合表 1 和表 2,高温情况下,1C 充放电能量比常温稍高,但是循环寿命下降明显,该结果与文献报道一致。因此动力电池维持在舒适的温度区间工作极其重要,特别是使用环境温度在 0°C 及以下时,先将动力锂离子电池系统快速调整到最佳电芯工作温度再进行充电,以实现动力锂离子电池系统充电安全和优异的低温快速充电性能,对电动车的推广应用具有重要意义。

### 2.1 低温快充控制策略优化仿真模型

使用 Matlab2017 软件将低温快充控制策略流程编辑计算程序,不同的低温快充控制策略通过该程序进行仿真计算后得到最佳策略。最后将最佳控制策略植入动力锂离子电池控制系统(BMS)。

## 3 结果及讨论

### 3.1 低温充电性能试验

结合仿真结果,设计低温快速充电策略,设计整车低温环境试验,实现动力电池系统低温充电性能要求。

### 3.2 低温快充控制策略优化仿真模型计算结果

使用低温快充控制策略优化模型对表 3 中的不同的控制策略方案进行仿真计算,结果如表 3。

### 3.3 低温快充控制策略优化试验结果

依据电芯可充电温度阈值及电池系统安全,设计快充控制策略。为了验证快充策略对充电时间的影响,本论文取两种极端快充控制策略方案进行 -10°C 低温充电试验。A 方案:低于 1°C 进入纯加热过程,1°C~21°C 进入边加热边充电过程,高于 21°C 进入纯充电过程;B 方案:低于 9°C 进入纯加热过程,9°C~21°C 进入边加热边充电过程,高于 21°C 进入纯充电过程。两种策略试验结果如图 1。

快充控制策略 A 方案,纯加热时长 0min,边加热边充电时长 34min,纯充电时长 41min,SoC 从 4% 充电到 80% 总时长 63min,最大动态温差 7°C;快充控制策略 B 方案,纯加热时长 15min,边加热边充电时长 21min,纯充电时长 42min,SoC 从 4% 充电到 80% 总时长 78min,最大动态温

差 8°C。两种不同的控制策略 SoC 从 4% 充电到 80% 充电总时长相差 15min,充电全过程温差满足设计要求,所以较优的快充控制策略可以较好的缩短低温快充时间。快充控制策略 A、B 方案整个充电过程总能耗(水 PTC 和水泵的能耗)分别为 1.76 kWh、3.19 kWh, A 方案比 B 方案节省 1.43kWh 的电量,因此较优的快充控制策略同时可以降低整车能耗,提高电量利用率。

表 3 不同控制策略的仿真结果

方案	控制策略	0~80%soc 充电时间 (min)
1	Tmin<1°C纯加热; 1°C≤Tmin≤21°C边加热边充电; Tmin>21 加热结束,开始纯充电	76.23
2	Tmin<2°C纯加热; 2°C≤Tmin≤21°C边加热边充电; Tmin>21 加热结束,开始纯充电	76.62
3	Tmin<3°C纯加热; 3°C≤Tmin≤21°C边加热边充电; Tmin>21 加热结束,开始纯充电	76.95
4	Tmin<4°C纯加热; 4°C≤Tmin≤21°C边加热边充电; Tmin>21 加热结束,开始纯充电	77.21
5	Tmin<5°C纯加热; 5°C≤Tmin≤21°C边加热边充电; Tmin>21 加热结束,开始纯充电	77.55
6	Tmin<6°C纯加热; 6°C≤Tmin≤21°C边加热边充电; Tmin>21 加热结束,开始纯充电	78.61
7	Tmin<7°C纯加热; 7°C≤Tmin≤21°C边加热边充电; Tmin>21 加热结束,开始纯充电	79.36
8	Tmin<8°C纯加热; 8°C≤Tmin≤21°C边加热边充电; Tmin>21 加热结束,开始纯充电	80.26
9	Tmin<9°C纯加热; 9°C≤Tmin≤21°C边加热边充电; Tmin>21 加热结束,开始纯充电	80.99

表 3 显示,方案 1 的低温充电总时长最小,方案 9 的低温充电总时长最大。

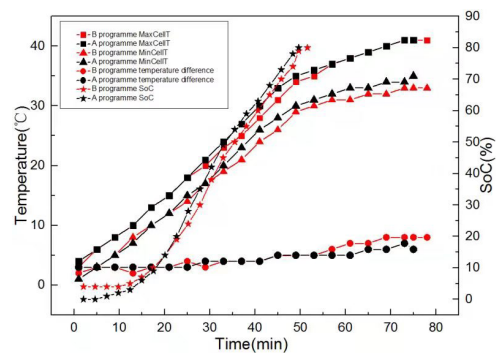


图 1 两种快充控制策略的充电总时长与电池系统内部最低温度和电池系统 SoC 的关系曲线图

### 3.4 动力锂离子电池系统设计优化措施实施前后对比

优化前电池系统状态：①电池系统下箱体外侧未覆盖保温材料，②入口加热液温度 45℃，③快充控制策略方案：低于 9℃进入纯加热过程，9℃-21℃进入边加热边充电过程，高于 21℃进入纯充电过程

优化后电池系统状态：①电池系统下箱体外侧覆盖保温材料，②入口加热液温度 60℃，③快充控制策略方案：低于 1℃进入纯加热过程，1℃-21℃进入边加热边充电过程，高于 21℃进入纯充电过程。对优化前后的电池系统进行 -10℃低温充电试验，结果如表 4。

表 4 优化前后试验对比分析

序号	名称	优化前	优化后
1	纯加热时间 (min)	70	0
2	边加热边充电时间 (min)	30	34
3	纯充电时间 (min)	44	41
4	SoC0%~80% 所用时间 (min)	144	75
5	温差 (℃)	9	7

优化后电池系统低温快充性能满足“-10℃环境情况下，用户使用完车辆静置 12h，静置结束后开始充电，SoC 从 0% 充电到 80% 充电共用时长 ≤85min，电池系统内部最高温度与最低温度的差异 ≤8℃要求。”

## 4 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，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，入口加热液温度采用 60℃、模组保温材料厚

度为 4mm、箱体表面覆盖保温材料和快充控制策略方案：“低于 1℃进入纯加热过程，1℃-21℃进入边加热边充电过程，高于 21℃进入纯充电过程”为最优设计方案。同时建立一套采用 Matlab 建模实现优化影响动力锂离子电池系统低温快充性能的充电控制策略的仿真计算方法，优化出了最佳低温快充控制策略。该方法减少了试验验证工作量，提高了动力锂离子电池和电动车设计效率。

## 参考文献

- [1] 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.
- [2] 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).
- [3] Lixia Liao, Pengjian Zuo, et al. Effects of temperature on charge/discharge behaviors of LiFePO4 cathode for Li-ion batteries[J]. Electrochimica Acta 60 (2012) 269-273
- [4] Y. Xu, X. Li, X. Liu, Y. Wang, X. Wu, D. Zhou, Experiment investigation on a novel composite silica gel plate coupled with liquid-cooling system for square battery thermal management, Applied Thermal Engineering (2020)
- [5] Zhiguo Lei, Yuwen Zhang, Xueguo Lei. Improving temperature uniformity of a lithium-ion battery by intermittent heating method in cold climate[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer 121(2018):275-281.