

液冷储能电池包热仿真及试验研究

杨乐乐 杨 柳 刘 青 贾元植
天津中电新能源研究院有限公司 天津 300000

摘 要：磷酸铁锂电池在储能行业应用广泛，温控系统至关重要。本文提出液冷集成箱体设计方案，利用 FLUENT 仿真软件构建储能电池包模型，分析进口流量为 6 L/min、5.5 L/min、5 L/min 时液冷板压力场，以及 0.5C 放电倍率下不同流量对应的温度场。设定进口流量 5 L/min 开展 0.5C 放电试验采集电芯温度。结果显示：流阻与流量正相关，电池最高温度、电芯极柱温差与流量负相关；仿真与实验结果偏差小，验证了仿真方法可靠性，可为同类电池包设计与优化提供参考。

关键词：液冷储能电池包；电池热管理；热分析

储能产业正处于快速发展阶段，与此同时也存在储能电站安全性、循环次数低、充放电效率差等问题，最终体现为储能项目经济收益问题，研究电池热管理有助于解决上述问题。

于维珂等人^[1]，通过对影响储能用锂离子电池充放电能量效率的因素研究，表明能量效率与温度呈正相关。当温度高于 25℃ 时，温度对电池极化的影响相对较小，因此降低不明显。当温度低于 25℃ 时，电池极化迅速增加，导致能量效率显著降低。杜光超等人^[2]，研究锂离子电池在充放电过程中，会产生的大量热量，并持续积累，以及锂离子电池热失控发生时的内部反应和反应对应的温度。石博文等人^[3]，归纳了风冷、液冷、相变及热管四种不同电池热管理系统优缺点。Han Yang 等人^[4]针对风冷热管理系统，研究进风角度对散热效果的影响。田刚领等人^[5-6]，研究温差对电池模块寿命的影响，结果表明：当电池模块内部的温差 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 时，与温差 $\leq 2^{\circ}\text{C}$ 的电池模块相比，电池模块的寿命缩短将近 30%。徐铭等人^[7]，通过对液冷储能系统电池箱体技术研究，设计一种液冷铝型材电池箱，通过力学仿真计算，证明该箱体满足随机振动、吊装工况等力学性能要求。蔡永华等人^[8]，设计一款波纹形流道的冷板，通过最优化设计匹配流道宽度、流道入射角等参数，使其换热性能提升明显。

本文设计的集成液冷板下箱体采用铝挤出型材形式，通过多块型材，搅拌摩擦焊拼接而成。流道两端与

封板激光焊接。经过气密测试，保证无漏液风险。冷却液采用 50% 乙二醇和 50% 水，经过铝板、导热凝胶、电芯三者对流换热，降低电芯工作温度。为后续储能电池箱的设计和热管理的仿真分析提供借鉴。

1 数值模拟

1.1 物理模型

为研究电池模块的热管理性能，需利用 CATIA 软件建立模型，内部结构参考图 1 所示。本文所研究的电池箱体采用液冷方案，液冷板位于箱体底部。电池模块内部包含 4 个电池模组，每个电池模组采用 1P13S 方案，即 13 块方形 280 Ah 电芯串联成组。液冷板的加工工艺为挤出型材方案，下箱体各部分采用激光焊接一体成型。为保证热量均匀传递，需在模组与电池箱体之间涂导热凝胶。

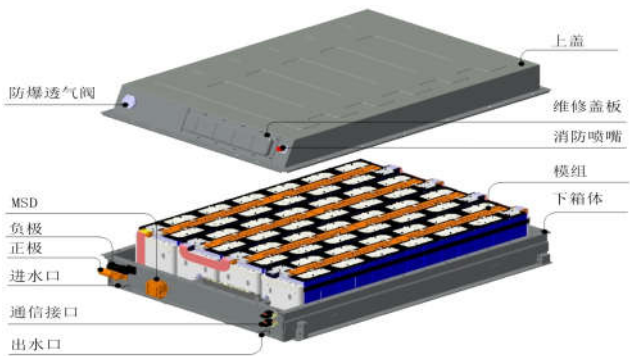


图1 电池系统示意图

1.2 网格划分

仿真分析前需对目标模型简化处理，本次研究仅考虑主要部件的发热量，三维模型模糊化，去除各边缘处理，仅针对电池箱、280 Ah 电芯以及底部液冷板进行研究。本次仿真基于多面体网格划分方案，最终数量为 7210000，溶液模型附面层数量规定为 3，倾斜度质量为 0.65，确认仿真前处理合理。

通讯作者：刘青，女，中级工程师，1990.08.10，汉族，天津市，工学硕士，主要从事锂离子电池系统热管理设计。

作者简介：杨乐乐（1990-），男，天津，工程师，硕士，主要从事动力电池系统结构设计和研究。

邮箱：LTIP_yanglele@126.com

1.3 边界条件的定义

该储能电池包热管理系统包含：锂离子280 Ah电池、导热凝胶、铝型材下箱体、乙二醇水溶液，其中280

Ah电池为方壳电池，铝型材下箱体为6系铝板，乙二醇水溶液为50%乙二醇+50%水，各部分材料参数见表1。

表1 材料参数

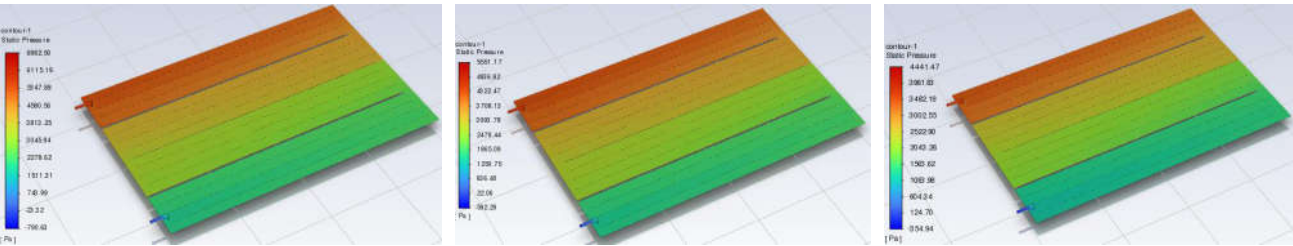
类型	密度kg/m ³	比热容j/kg·K	导热系数W/m·K
方壳电池	2200	1000	Kx = 10.9, Ky = 13.7, Kz = 1.2
导热凝胶	2000	1000	2
铝板	2707	892	160
50%乙二醇水溶液	1111	3465	0.384

为流体模型建立三维稳态不可压缩模型。冷却液从进口流入箱体底部流道，通过热传导，冷却液吸收电池产生的热量。参数设置：环境温度设置为25℃，入口流量分别设置为5L/min和10L/min。冷却液入口温度设置为25℃和15℃，1C放电为3600s，0.5C放电为7200s。

2 热仿真与试验分析

2.1 不同流速下流阻分析

本系统分别设定进水口初始流量为6L/min、5.5L/min和5L/min，进行液冷板流阻仿真。仿真分析结果如图2所示。流量为6L/min时的进出水口压差为6.88kPa，流量为5.5L/min时的进出水口压差为5.55kPa，流量为5L/min时的进出水口压差为4.44kPa。随着进水口流量降低，流阻也随之降低，其中压力下降集中在进水口位置。



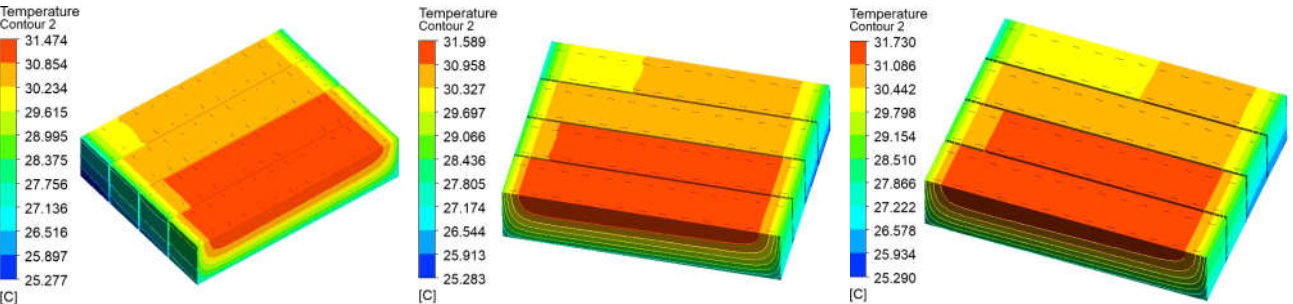
(a) 流量为6L/min的压力云图 (b) 流量为5.5L/min的压力云图 (c) 5L/min流量下压力云图

图2 不同流量下压力云图

2.2 不同流速下电池温升分析

本系统分别设定进水口初始流量为6L/min、5.5L/min和5L/min，进水口温度设定为25℃，进行0.5C电池放电，放电时间7200s。仿真分析结果如图3所示。

6L/min、5.5L/min和5L/min流量下，电芯最低温度分别为25.27℃、25.28℃、25.29℃，电芯最高温度分别为31.47℃、31.59℃、31.73℃，电芯单体工作时发热量最大位置为顶部；



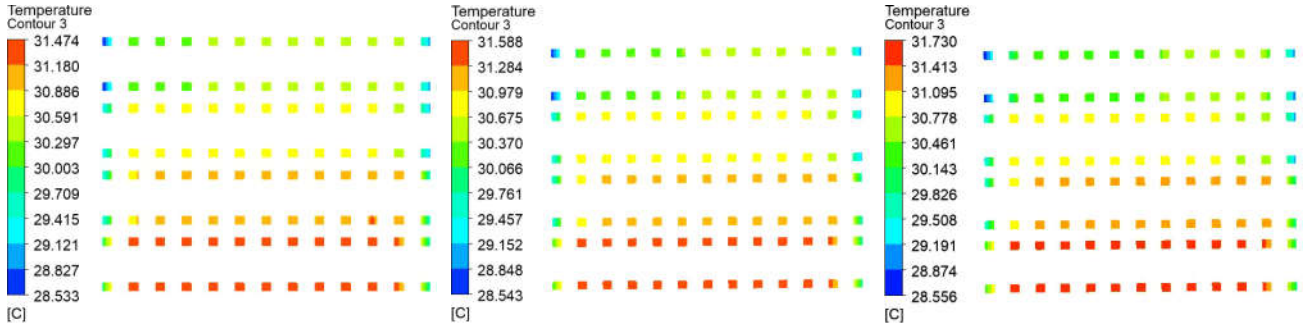
(a) 流量为6L/min的温度云图 (b) 流量为5.5L/min的温度云图 (c) 流量为5L/min的温度云图

图3 不同流量下电芯温度云图

2.3 不同流速下极柱温差分析

本系统分别设定进水口初始流量为6L/min、5.5L/min和5L/min，进水口温度设定为25℃，进行0.5C电池放

电，放电时间7200s。仿真分析结果如图4所示。6L/min、5.5L/min和5L/min流量下，电芯极柱温差分别为2.94℃、3℃、3.17℃。



(a) 流量为6L/min的电芯极柱温度云图 (b) 流量为5.5L/min的电芯极柱温度云图 (c) 流量为5L/min的电芯极柱温度云图

图4 不同流量下电芯极柱温度云图

2.4 试验与仿真对比分析

结合电池实际运行中要求最高温度 $\leq 40^{\circ}\text{C}$ 和最大温差 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ ，考虑流量越大，功耗越大。为节省功耗，试验选择流量为5L/min，进水口温度为25 $^{\circ}\text{C}$ ，电池从95%SOC到5%SOC，按0.5C倍率进行放电，如图5所示温度点布局，每5s记录一次温度数据。

试验过程中电芯极柱最高温度为T4和T5采集点位置，最低温度为T28采集点位置。如图6所示，电芯极柱最高温度为33 $^{\circ}\text{C}$ ，电芯极柱温差最大为4 $^{\circ}\text{C}$ ，仿真数据和试验数据中的电芯极柱最高温度和电芯极柱最大温差分别进行对比，仿真与试验的偏差较小，说明该仿真方法是准确的，可以预测实验结果。

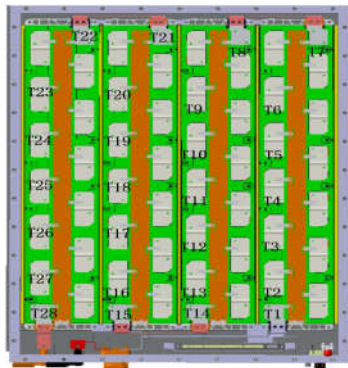


图5 温度采集分布图

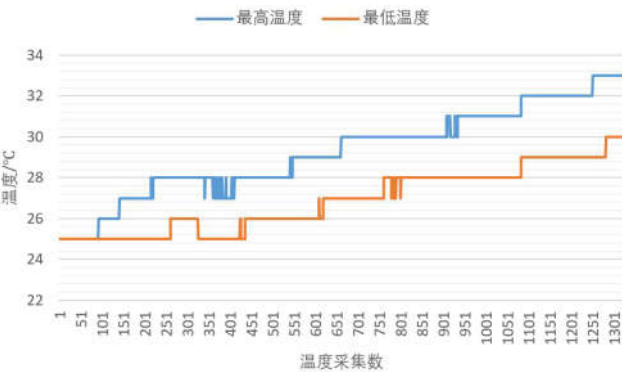


图6 电芯极柱最高和最低温度变化曲线

3 结论

本文研究液冷一体式电池箱体结构设计，通过仿真分析不同流量对液冷板流阻、电芯温度的影响，并经试验验证仿真可靠性，得出：

(1) 铝挤出型材液冷板可保障280Ah方壳铁锂电芯在0.5C工况下处于合适温度，实际应用可结合安全与成本优化；

(2) 液冷板进口流量与流阻呈正相关，与电芯最高温度、极柱温差呈负相关，后续可研究流道结构优化电芯温度一致性；

(3) 试验与仿真的电芯极柱最高温度差1.41 $^{\circ}\text{C}$ 、最大温差差1 $^{\circ}\text{C}$ ，考虑误差，仿真模型可靠，可有效预测电池包温度变化。

参考文献

- [1]于维珂,汪涛,杨尘.储能用锂离子电池充放电能量效率的影响因素[J].电池,2020,50(6):552-555.
- [2]杜光超,郑莉莉,张志超,等.锂离子电池热安全性研究进展[J].储能科学与技术,2019,8(3):500-505.
- [3]石博文,李明哲,叶季蕾.锂离子电池储能热管理技术应用现状分析[J].电源技术,2023,47(5):562-569.
- [4]Han Yang et al. Investigating the impact of inlet angle on the performance of air-cooling lithium-ion battery pack[J]. Applied Thermal Engineering, 2025, 263:125314-125314.
- [5]田刚领,张柳丽,牛哲荟,等.集装箱式储能系统热管理设计[J].电源技术,2021,45(3):317-329.
- [6]田刚领,刘皓,杨凯,等.锂离子电池组结构热仿真[J].储能科学与技术,2020,9(1):266-270.
- [7]徐铭,孙玉民,陈北海,等.液冷储能系统电池箱体技术研究[J].电池工业,2024,28(4):179-183.
- [8]蔡永华,张大帅,胡永波.动力电池冷板波纹形流道结构的优化[J].电池,2024,54(6):799-804.DOI:10.19535/j.1001-1579.2024.06.008.