

电动客车动力电池包散热性能仿真分析

陈冲, 徐婧雨, 汪先锋, 段术林, 祁芳

(南京恒天领锐汽车有限公司, 南京 211200)

摘要:控制动力电池包的温度一直是新能源客车领域的技术难题。本文以某纯电动客车动力电池包为研究对象,建立动力电池包的三维物理模型,通过 ANSYS Workbench 软件划分动力电池包的有限元网格,用 Fluent 模块进行散热性能仿真分析,研究不同的放电倍率、冷却液流速和环境空气温度对动力电池包温度的影响。

关键词:电动客车; 动力电池包; 散热性能; 放电倍率; 冷却液流速; 环境空气温度

中图分类号:U469.72

文献标志码:A

DOI:10.15917/j.cnki.1006-3331.2025.02.005

Simulation Analysis of Heat Dissipation of Power Battery Pack for Electric Buses

CHEN Chong, XU Jingyu, WANG Xianfeng, DUAN Shulin, QI Fang

(CHTC KINWIN(Nanjing) Automobile Co., Ltd., Nanjing 211200, China)

Abstract:Controlling the temperature of the power battery pack has always been a technical problem in the field of new energy buses. Taking the power pack of an electric bus as the research object, the authors establish a three-dimensional physical model of the power battery pack, divide the finite element meshes of the power battery pack by ANSYS Workbench software, and carry out the heat dissipation analysis by Fluent module to research the influence of discharge rate, coolant flow rate and ambient air temperature on the temperature of power battery pack.

Key words:electric bus; power battery pack; heat dissipation; discharge rate; coolant flow rate; ambient air temperature

动力电池是纯电动汽车的关键动力部件^[1],常以电池包的形式安装在整车上。在实际使用中,动力电池包内部封闭,工作电压高,容量大,一旦电池的散热出现异常,就会大量积累热量,导致电池温度上升,性能下降,安全性降低^[2-3]。因此,有必要对动力电池包的散热性能进行仿真分析,以预防安全事故的发生。本文对某客车用电池包的散热性能进行仿真分析,研究不同的放电倍率、冷却液流速和环境温度对电池包温度场的影响,为电池包在整车上的匹配设计提供参考。

1 有限元模型的建立

1.1 搭建仿真模型

本文研究的动力电池包主要由动力电池组、液冷板和乙二醇冷却液组成。该动力电池组由 48 个单体电池组成(每 16 个单体电池串联成 1 排,共 3 排,3 排之间再进行串联),各单体电池之间填充硅胶夹层。动力电池组底部设有蛇形液冷板,可以利用冷却管道与单体电池之间的接触面积,提高对动力电池组的冷却效果。由于电池包外壳对散热的影响较小,所以在建模时忽略外壳。最终建立的电池包主体三维模型如图 1 所示。

收稿日期:2024-11-14。

第一作者:陈冲(1987—),男,工程师,主要从事整车架构及性能匹配工作。E-mail:chenchong@kinwinauto.com。

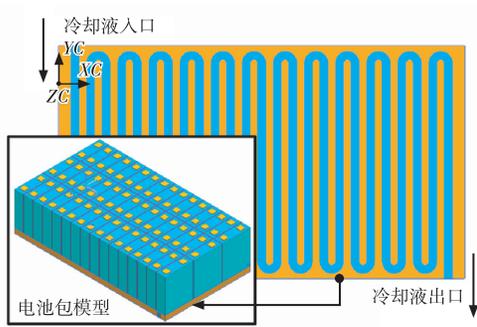


图1 电池包主体三维模型

将电池包主体三维模型导入 ANSYS Workbench 中,通过 Design Modeler 模块对模型进行编辑,同时对流场的入口和出口进行定义。最后在 Fluent 模块对电池包主体模型进行体网格划分。最终有限元模型的网格数为 94 万个,节点数为 354 万个。电池包主体的有限元网格模型剖视图如图 2 所示。

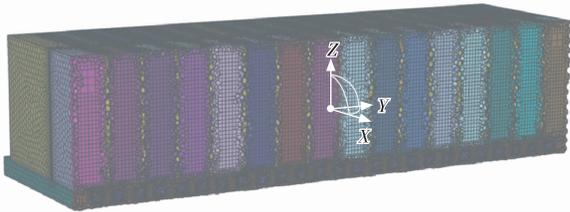


图2 电池包主体的有限元网格模型剖视图

该电池包液冷板采用导热系数大且密度小的铝材,冷却液采用质量分数为 50% 的乙二醇水溶液。各材料的特性参数见表 1。

表1 电池包主体组成材料特性参数

材料名称	密度/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	比热/ ($\text{J}\cdot(\text{kg}\cdot\text{K})^{-1}$)	热导率/($\text{W}\cdot(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}$)		
			X	Y	Z
硅胶夹层	2 750	1 500	2	2	2
液冷铝板	2 719	871	202.4	202.4	202.4
电芯物质	2 525	961	3	9	11
冷却液	1 073	3 300	0.38	0.38	0.38

1.2 边界条件

该仿真分析中的热量来自单体电芯的发热。根据实际情况,在 CFD 中选择 k-epsilon(2eqn) 模型、标准壁面函数(SWF)进行求解计算。同时,还需要打开每个单一电芯的源项模块对能量进行定义,即输入单体电芯的生热速率,以此作为仿真中热量的主要来

源。模型的边界为外部空气域。在电池包温度场仿真分析中,电池与空气的接触需要定义电芯与空气的热流交换关系。在热量选项设置中选择空气对流作为边界条件,传热系数为 $5 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$,冷却液的初始温度设置为外部环境空气温度。此外,还需要定义冷却管道出口和入口的参数,入口参数为冷却液位于入口处的流速,一般设为 0.1 m/s ;出口参数设为压力,一般设为 0 Pa 。

1.3 电芯生热速率的计算方法

1.2 节中单一电芯生热速率的计算方法如下所述。本文采用 Bernardi 生热模型^[4-9],该模型基于能量守恒原则,忽略数值较小的反应热、相变热和混合热,着重考虑电池的不可逆内阻热和可逆熵变热,生热速率 q 的计算公式如下:

$$q = \frac{I}{V} \left[(E_0 - E) + T \frac{dE_0}{dT} \right] \quad (1)$$

式中: V 为单体电芯的体积; I 为单体电芯的工作电流; E_0 为单体电芯的开路电压; E 为单体电芯的工作端电压; T 为单体电芯所处的环境温度; dE_0/dT 为单体电芯的熵热。

电芯的内阻是导致开路电压和工作端电压之间出现差异的主要原因。而根据实际应用条件,开路电压等于电芯端电压,故可忽视单一电芯的内阻,再结合欧姆定律,可将式(1)改写为式(2)。

$$q = \frac{I}{V} \left(T \frac{dE_0}{dT} \right) \quad (2)$$

根据电池供应商提供的单体电芯的参数进行计算,单体电芯的体积 V 为 $0.001 916 784 \text{ m}^3$,其工作电流 I 为 228 A ,外部环境空气温度 T 为 300 K (即 $26.85 \text{ }^\circ\text{C}$), dE_0/dT 取值为 $0.000 469 \text{ V}/^\circ\text{C}$ 。因此,根据式(2)可计算出单一电芯的生热速率为 $1 497.886 \text{ W}/\text{m}^3$,将其作为电芯模型的生热速率输入值^[10-11]。

2 结果分析

2.1 放电倍率对电池包散热性能的影响

其他条件不变,只改变单体电芯的放电倍率,研究不同单体电芯放电倍率对整体电池包散热性能的影响。根据电池供应商提供的车辆电池参数,单体电

芯的瞬时放电倍率最大可以达到 2 C。这里放电倍率分别取 0.25、0.5、0.75、1、1.25、1.5、1.75、2 C,将单体电芯的环境空气温度设为 300 K,不同放电倍率下(即式(2)中的电流 I 取标准电流 228 A 的相应倍数值)的电芯生热速率分别为 374.5、749、1 123.5、1 498、1 872.5、2 274、2 621.5、2 996 W/m³。将得到的电芯生热速率作为输入条件,并在边界条件中将冷却液入口流速设置为 0.1 m/s,进行电池包散热性能计算。

根据计算结果可知,随着放电倍率(即工作电流)的增加,电池包的整体温度也随之上升。为了反映放电倍率对电池包温度的影响趋势,将不同放电倍率下电池包的最高温度和最低温度拟合,得到如图 3 所示的曲线。

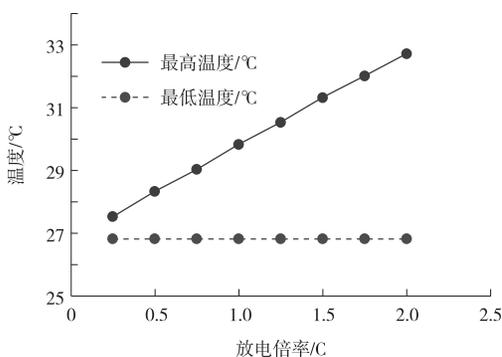


图 3 不同放电倍率下电池包最高和最低温度变化趋势

从图 3 可以看出,电池包的最低温度一直维持在 26.85 °C,且根据温度分布云图得知,电池的温度沿冷却液流动方向逐渐升高。由于液冷板位于电池包的底部,电池包从底部至顶部的温度也逐渐升高,整个电池包的最高温度出现在电池包后半部分的上端,而最低温度出现在电池包底部的冷却液入口附近,且电池包的最高温度随着放电倍率的增大呈线性增大趋势。因此,单体电芯的放电倍率(即工作电流)会影响电池包的散热效果。当放电倍率为 2 C 时,电池包最高温度为 32.7 °C,仅比环境空气温度高 5.85 °C,且电池包温度分布均匀。这说明该放电倍率下电池包的散热性能良好,且 2 C 的放电倍率可以为电机提供更大的峰值功率。

2.2 冷却液流速对电池包散热性能的影响

其他条件不变,只改变冷却液流速,研究不同流

速对整体电池包散热性能的影响。冷却液流速分别取 0.1、0.3、0.4、0.5、0.6 m/s,将环境空气温度设置为 300 K(26.85 °C)、放电倍率设置为 1 C、生热速率设置为 1 498 W/m³,对电池包散热进行仿真计算。

根据不同冷却液流速下电池包的温度分布仿真云图,将电池包的最高温度和最低温度拟合,得到图 4 所示的曲线。

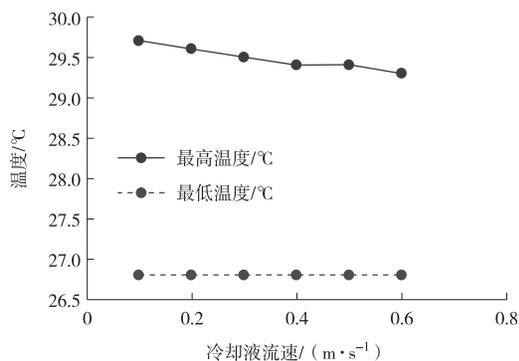


图 4 不同冷却液流速下电池包最高和最低温度变化趋势

从图 4 可以看出,随着冷却液流速的增大,电池包的最低温度一直保持在 26.85 °C;电池包的最高温度逐渐降低,这对电池包的散热起到了积极作用。随着冷却液流速的继续增大,电池包最高温度的降幅趋缓,即呈现出一定的非线性趋势。从图 4 中还可以看出,在 0.2~0.3 m/s 的流速下,电池包的最高温度为 29.5 °C,仅比环境空气温度高 2.6 °C,且电池包温度分布较均匀,高温区域较少,说明该流速下电池包的散热性能综合效果最好。

2.3 环境空气温度对电池包散热性能的影响

其他条件不变,只改变环境温度,研究不同环境温度对整体电池包散热性能的影响。环境温度分别取 280 K(6.85 °C)、290 K(16.85 °C)、300 K(26.85 °C)、310 K(36.85 °C)、320 K(46.85 °C),设置冷却液流速为 0.1 m/s、放电倍率为 1 C。由式(2)计算生热速率分别为 382.17、940.09、1 497.87、2 055.76、2 613.63 W/m³,对电池包散热进行仿真计算。

根据不同环境温度下电池包的温度分布仿真云图,将电池包最高温度和最低温度拟合,得到如图 5 所示的曲线。

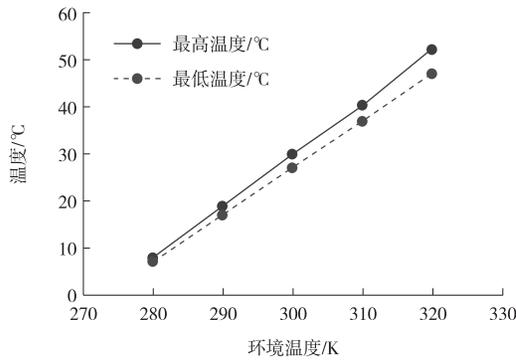


图5 不同环境温度下电池包最高和最低温度变化趋势

从图5可以看出,电池包的最高温度、最低温度随环境温度线性变化,且随着环境空气温度的升高,电池包的最高温度与最低温度的差距更加明显,即电池包的温升更加显著。因此,环境温度对电池包的散热性能有显著影响。在低温280 K(6.85 °C)环境空气温度时,电池包最高温度为7.5 °C,与电池包最低温度差(温差最小值)为0.74 °C;在最高320 K(46.85 °C)环境空气温度时,电池包最高温度52 °C,与电池包最低温度差(温差最大值)为6 °C。因此,电动汽车应尽量在环境空气温度适宜的地区使用,这样更有利于电池包散热。

3 结束语

本文利用Fluent软件对某纯电动客车动力电池包的散热性能进行了仿真分析,研究了不同的放电倍率、冷却液流速和环境温度对电池包散热性能的影响。根据仿真结果可知,放电倍率和环境空气温度对电池包温度的影响较为线性,而冷却液流速的影响则呈现出显著非线性特征。虽然更快的流速能提升液冷板的散热性能,让电池包顶部的温度分布更加均

匀,但随着流速的继续增大,电池包温度的降幅趋缓。研究表明,基于Fluent软件的电池包散热仿真可以为电池包的散热性能分析提供有效的数据支持,从而降低研发成本。

参考文献:

- [1] 张宝徕,刘刚,陈天宇. 电动汽车动力电池液冷系统优化研究[J]. 机电信息,2024(18):60-63.
- [2] 白国振,李聪,王双园,等. 新能源车动力电池冷却系统热仿真及优化[J]. 能源研究与信息,2023(3):183-188.
- [3] 翟端正,王思杰,牛治锋. 纯电动汽车动力电池热管理技术探析[J]. 汽车电器,2024(3):28-29.
- [4] CHIU K C, LIN C H, YEH S F, et al. Cycle life analysis of series connected lithium-ion batteries with temperature difference[J]. Journal of Power Sources, 2014(263):75-84.
- [5] FENG X N, XU C S, HE X M, et al. Mechanisms for the evolution of cell variations within a LiNixCoyMnzO2/graphite lithium-ion battery pack caused by temperature non-uniformity[J]. Journal of Cleaner Production, 2018(205):447-462.
- [6] 李胜凯,桂勇,鲁俊. 基于CFD方法的动力舱散热风道仿真研究[J]. 山西电子技术,2021(2):94-96.
- [7] 叶晓,傅佳宏,张宇,等. 某商用客车动力舱热状态的仿真及试验研究[J]. 机电工程,2013,30(5):530-535.
- [8] 陈莹侠. AUV动力电池组温度场仿真与温度控制策略研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学,2023.
- [9] 罗源. 纯电动汽车电池包冷却系统设计与优化[D]. 重庆:重庆邮电大学,2019.
- [10] 元佳宇. 纯电动汽车动力电池热管理系统结构设计及优化[D]. 青岛:青岛大学,2022.
- [11] 常成,于建新,王红霞,等. 电动汽车锂电池动力电池建模及温度场分析[J]. 河南工学院学报,2021(4):20-27.