

纯电动客车的电池舱热分析

Thermal analysis of battery compartment of pure electric passenger

car

郭阳阳, 曾锋

(厦门金龙旅行车有限公司技术中心, 厦门, 361026)

摘要:由于电池包内部结构比较复杂, 本文在尽量保持内部结构完整的前提下对电池包进行简化, 并借助流体分析软件 Fluent, 对电池包和电池舱进行流体 CFD 散热分析。通过分析结果验证了设计方案的合理性, 对于后续新车型的开发和研究, 具有重要的实际参考价值。

关键词: CFD ; 电池包; 电池舱; 散热

Abstract: Due to the complex internal structure of the battery package, this paper simplified the battery package on the premise of keeping the internal structure as complete as possible, and carried out CFD heat dissipation analysis of the battery package and battery cabin with the help of fluid analysis software Fluent. The analysis results verify the rationality of the design scheme, which has important practical reference value for the subsequent development and research of new models

Key words: CFD; Battery pack; Battery compartment ; Heat dissipation

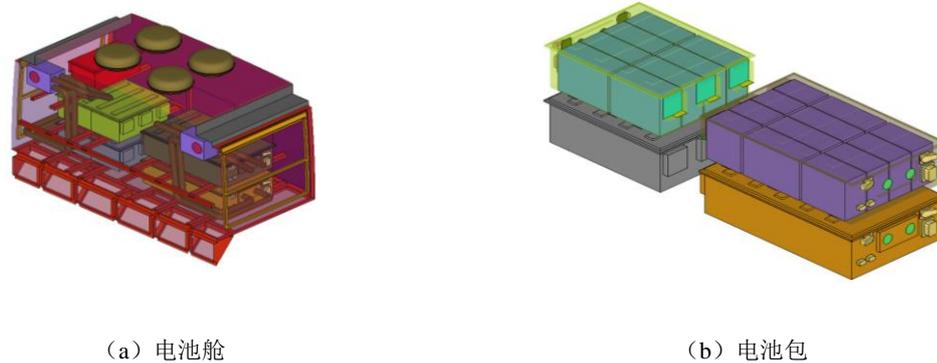
0 引言

汽车作为人们日常的交通工具, 极大地为大家提供了方便, 但同时也对环境产生了很大的污染。工业的发展和科技的进步, 让人们开始关注环保问题, 随后具有环保、能源利用率高、低噪声等特点的新能源纯电动汽车走入了人们的视野, 在未来的发展中, 拥有很好的应用前景^[1]。随着新能源电动汽车的逐渐普及, 电动汽车在使用过程中的安全性与可靠性得到普遍的关注。而电池作为纯电动汽车的核心部件, 与汽车的性能和可靠性息息相关。电池在充放电过程中会产生大量的热量, 若热量无法及时发散, 会导致电池温度急剧升高, 电池组的工作效率、稳定性和使用寿命会由于箱内热量积聚的问题受到制约, 甚至会出现热失控等安全问题^[2]。因此电池舱的散热问题 也成为众多主机厂研究的焦点。

1 模型处理与网格划分

1.1 模型处理

该车型电池舱模型(如图 1-1)主要包括白车身骨架(车顶骨架、侧围骨架、隔断骨架、后端骨架、底盘骨架以及安装支架骨架), 另外还包含内蒙皮(车顶), 封板(舱内封板、骨架封板、隔断封板), 电池箱控制器, 散热风道, 排气系统等。



(a) 电池舱

(b) 电池包

图 1-1 电池舱三维模型

电池舱配备 2 款, 共 4 个电池箱。A 款电池箱的尺寸为 $1027 \times 630 \times 262 \text{mm}$, 内含 12 块电池模组, 呈 3×4 方式排列; B 款电池箱的尺寸为 $786 \times 630 \times 262 \text{mm}$, 内含 8 块电池模组, 呈 2×4 方式排列; 箱体内有钢骨架作为结构件, 电池箱有两个圆形散热口, 风道直径 58mm , 出口为 $66 \text{mm} \times 35 \text{mm}$ 的矩形, 共 3 个。为了提高计算速度, 将电池包内部模组简化, 组成一个整体, 保留内部气流通道。图 1-2 (a) 为散热空气进口端示意图, 图 1-2 (b) 为散热空气出口端示意图。



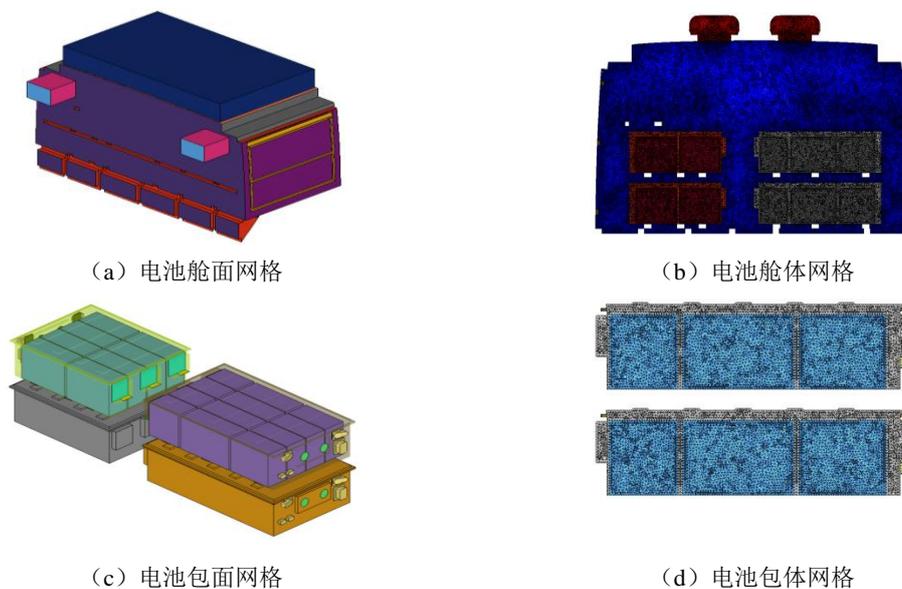
(a) 进口

(b) 出口

图 1-2 电池箱散热进出口示意

1.2 网格划分

基于电池舱 CAD 模型, 在 HyperMesh 平台进行网格离散, 采用三角形和四面体网格。划分网格前, 先检查电池舱计算域是否封闭, 确认后进行网格划分, 网格类型选用贴合性比较好的四面体网格。对流动变化剧烈的表面以及空间区域进行局部加密。电池舱有限元模型面网格单元基本尺寸为 8mm , 体网格单元基本尺寸为 30mm 。网格如图 1-3 所示。



(a) 电池舱面网格

(b) 电池舱体网格

(c) 电池包面网格

(d) 电池包体网格

图 1-3 电池舱和电池包网格

电池舱计算域总网格数约为 2382 万，面网格数约为 155 万，体网格数约为 2227 万，节点数约为 390 万。其中 4 个电池箱总网格数约为 557 万，面网格数约为 60 万，体网格数约为 496 万，节点数约为 89 万。

2 边界条件设置和计算

2.1 边界条件设置

将划分好的电池舱有限元模型导入 Fluent 中进行边界条件设置，具体参数如表 1-1 所示，本分析未考虑热辐射的影响。

表 1-1 边界条件设置

边界条件	边界条件设置
入口边界	压力入口
出口边界	压强出口
换气扇	Fan
电池舱前端隔断封板	固定无滑移壁面
电池舱顶部封板	固定无滑移壁面
电池舱后端隔断封板	固定无滑移壁面
电池舱底部封板	固定无滑移壁面
电池舱侧舱门	固定无滑移壁面
电池箱箱体	固定无滑移耦合壁面
电池组壳体	固定无滑移耦合壁面
电池组	内部热源
电池舱内部表面	内部耦合壁面

2.2 求解设置

求解计算过程参数设置如表 1-2 所示。

表 1-2 求解参数设置

设置项	设置值
湍流模型	可实现 $k-\varepsilon$ 湍流模型
壁面函数	非平衡壁面函数
空间离散格式	二阶精度迎风格式
计算方法与数值精度	SIMPLEC, 10^{-4}

3 CFD 模拟计算与结果分析

借助 CFD-POST 后处理软件对计算结果进行处理，分别得到电池 A 箱、B 箱与整个电池舱内的空气流动和温度分布情况，然后对计算结果进行评估。

3.1 电池 A 箱流场分析

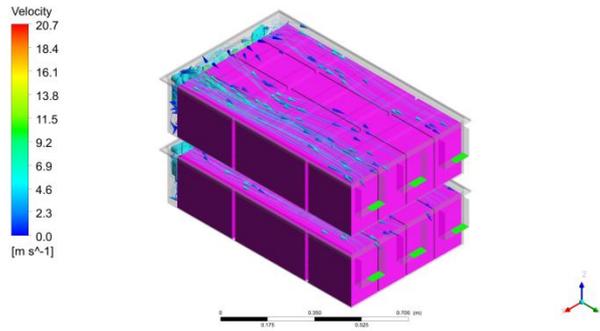


图 3-1 电池 A 箱速度流线图

图 3-1 为电池 A 箱内流体的流线图,图 3-2 所示为电池 A 箱内 $Z_1=1.636\text{m}$ 、 $Z_2=1.436\text{m}$ 、 $Z_3=1.311\text{m}$ 截面的流线图。由图分析可得,入口处气流流速最高,但气流进入箱体后遇到电池组的阻挡向四处散开,使得流速有所损失;同时空隙越大的位置其流量和流速也越大;流速在通过上方横向结构件后形成明显的空气漩涡,同时发现气流在两侧壁面和底部的流速较低。空气从入口流入经电池组和结构件,由出口处的三个排气口排出,出口处的气流较为规整。

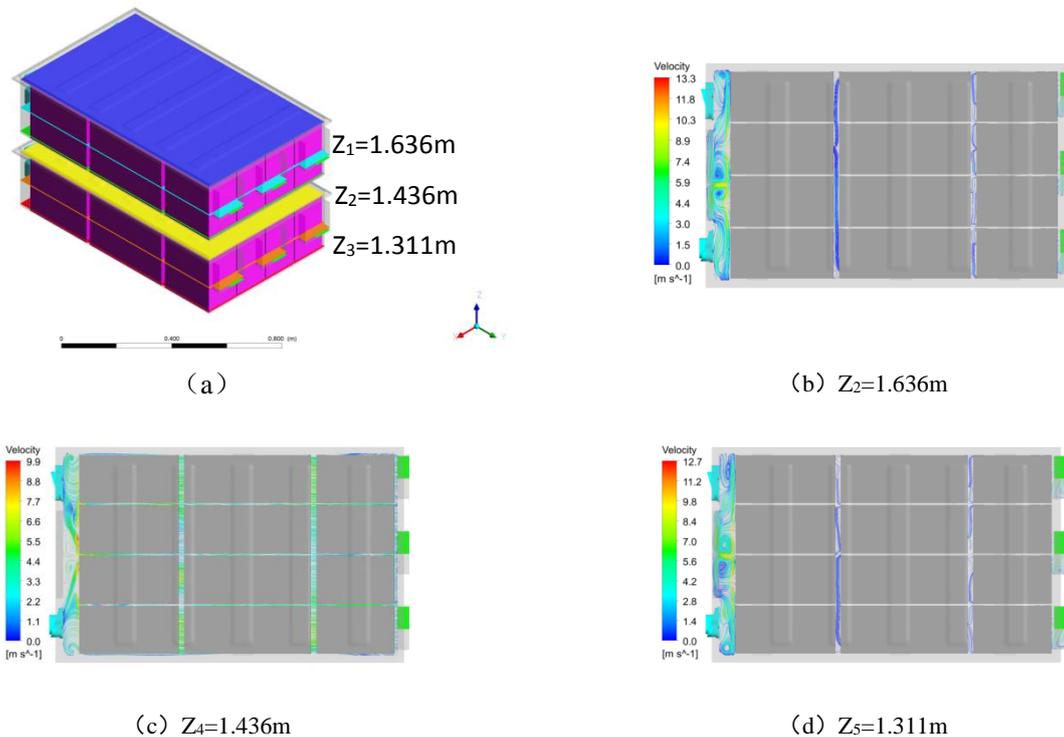


图 3-2 电池 A 箱 X-Y 截面示意图

3.2 电池箱温度场分析

图 3-3 (a) 为电池组及 A 箱的温度分布云图。由图可以得到,入口端的电池组温度最低,约为 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$, 电池组中间温度最高,约为 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$; 图 (b)、(c)、(d) 分别为 $Z_1=1.636\text{m}$ 、 $Z_2=1.436\text{m}$ 、 $Z_3=1.311\text{m}$ 的截面温度分布云图。

空气在流经电池内部时,流速越快,带走的热量越多,此位置的温度也就越低。流场分析得知,靠近两侧电池箱壁面的通道空气流速是最低的,因此无法快速的将电池产生的热

量带走，并且空气流经前端的电池时，吸收了前面电池所散发的热量，当空气流经后段时，空气温度高于环境温度，对电池的散热效果有限，因此热量会在中间出现积聚的现象。

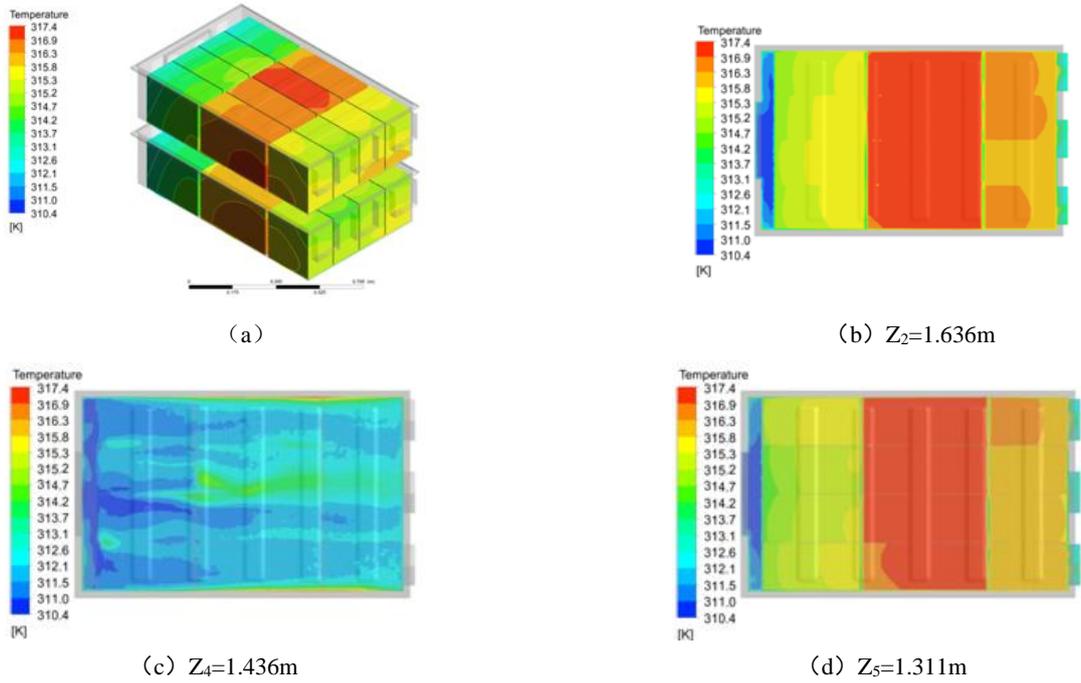


图 3-3 电池 A 箱与 X-Y 截面温度云图

通过上述温度场和流场的分析可知，虽然该电池 A 箱内存在热量积聚现象，但最高温度在 45℃左右，低于电池安全工作温度 60℃，说明电池布置比较合理^[3]。另外，电池组电池组间的温差较小，使得电池组能够发挥比较好的性能。B 箱的分析结果与 A 箱基本一致，分析结果在安全工作范围内。

3.3 电池舱流场分析

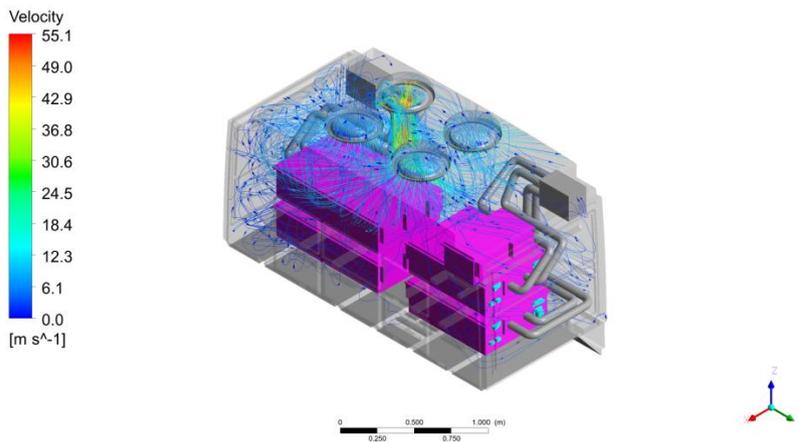


图3-4 电池舱流场流线图

图 3-4 为电池舱流场流线图，图 3-5 为电池舱内 $Z_1=2.162\text{m}$ 、 $Z_2=1.928\text{m}$ 、 $Z_3=1.420\text{m}$ 截面的流线图，有图分析可得，电池舱内冷却气流流速范围为 $0\sim 55.1\text{m/s}$ ，舱内平均流速在 18m/s 左右；排风扇局部出现高流速区，不利于气体在电池舱内循环散热，后续可优化部件位置；冷却气体到达电池舱底部区域较少，该区域温度将高于其他区域，需要引起设计人员的关注；整个电池舱内流态复杂，存在突变区域较多，A 箱区域流场优于 B 箱区域。

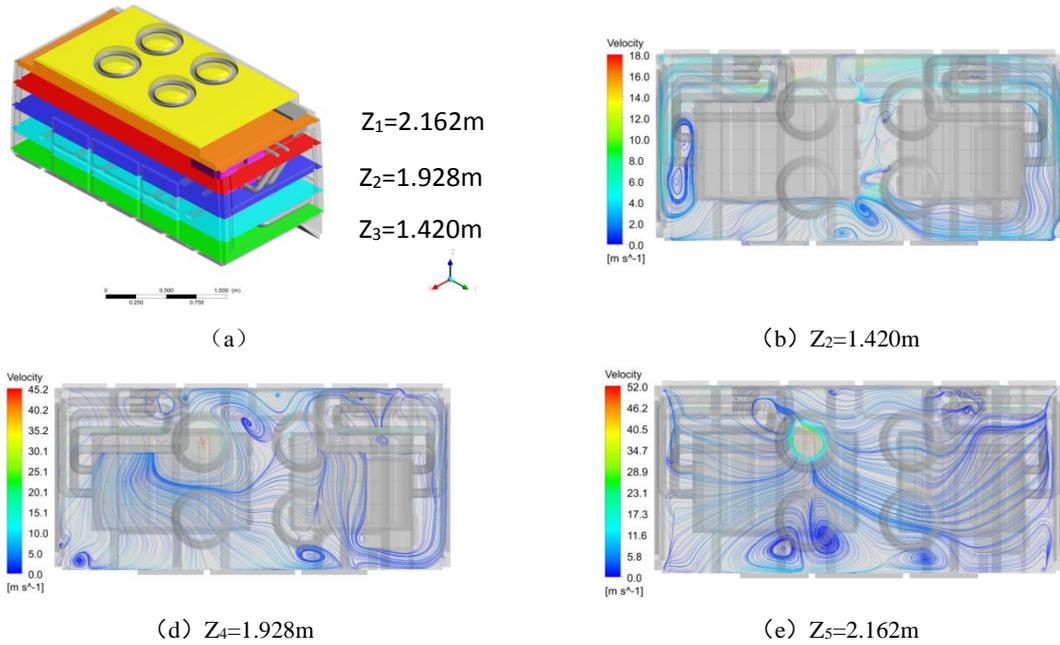


图 3-6 电池舱 X-Y 截面示意图

3.4 电池舱温度场分析

图 3-7 为电池舱的温度分布云图。从上图可以看到，电池舱温度范围为 $41^{\circ}\text{C} \sim 49^{\circ}\text{C}$ ，；排风扇区域温度最高，进风端区域温度最低；冷却气体经过电池箱加热后进去电池舱进行对流换热，继续冷却电池箱及电池舱；冷却空气流经电池箱内电池组时，吸收了电池组所散发的热量，当冷却空气进去电池舱时，冷却空气温度高于环境温度，对电池箱的二次散热效果有限，因此电池舱温度高于电池箱的温度，热量在电池舱出现积聚的现象。三个平面最高温度较为接近，说明电池舱内温度分布均匀性较好，散热效果佳；各截面靠近电池箱出口处温度低于其他周围区域，与流场规律相对应^[4]。

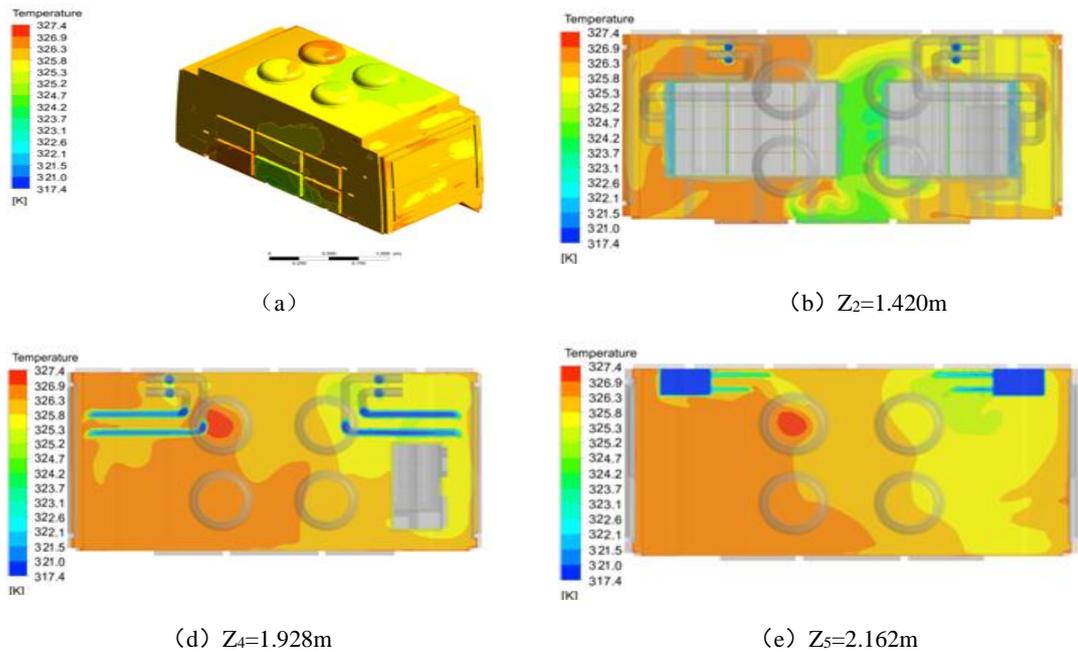


图 3-7 电池舱与 X-Y 截面温度云图

4 总结

4.1 流场分析

电池箱内流场特征呈现出入口及箱顶流线密集、出口及风道流线稀疏；箱内整体流线及流速分布合理，有利于电池箱冷却散热；基于电池箱出口位置及排气扇位置，使得电池舱内流场呈现出中间区域流速大于四周区域、顶部区域大于底部区域、A 箱区域较 B 箱区域流线密集；舱内流线流速分布均匀，可对电池箱进行二次冷却。

4.2 温度场分析

电池箱最高温度满足目标要求，温度范围为 $37^{\circ}\text{C}\sim 45^{\circ}\text{C}$ ，最高温度小于目标设计 60°C 要求；各箱内温度分布均匀、合理；电池舱内温度分布为 $41\sim 49^{\circ}\text{C}$ ，舱内温度分布规律与舱内流场分布规律相一致，舱内温度分布合理，最高温度满足设计目标要求。

通过上述温度场和流场的分析可知，电池舱内温度分布均匀，冷却系统布置合理，满足电池箱散热要求；舱内四周温度高于中间区域，电池箱出口位置及排气扇位置决定了电池舱内温度分布，这与电池舱流场流速规律相对应。

5.参考文献

- [1] 周奕, 陈建利, 赵阳,等. 燃料电池客车散热系统设计分析[J]. 上海汽车, 2010(1):19-20.
- [2] 朱张旺. 电池舱结构的散热分析[J]. 舰船电子对抗, 2018, 41(05):124-126.
- [3] 袁侠义, 谷正气, 杨易,等. 汽车发动机舱散热的数值仿真分析[J]. 汽车工程, 2009, 31(9):843-847.
- [4] 赵学礼 张鲲鹏 戴轶,等. 燃料电池车发动机舱散热分析, 2008 年 idaj 中国区用户年会, 2008