

两种双口出风模式电动汽车自然进风散热研究

徐晓明^{1,2}, 赵又群²

(1. 江苏大学 汽车与交通工程学院, 212013 江苏 镇江; 2. 南京航空航天大学 能源与动力学院, 210016 南京)

摘要:采用 FLUENT 软件,对不同环境温度和充放电倍率时,两种双口出风模式电动汽车动力舱自然进风散热进行研究,结果表明:电动汽车动力舱自然进风散热性能随着车速提高而改善,电池组最高温升曲线的斜率明显高于内部最大温差,表明高速气流更有利于电池组内部温度降低;不同环境温度和充放电倍率下,双口上出风口模式的电池组最高温升和内部最大温差均低于两边出风口模式,可见将两边出风口模式改为双口上出风口模式,电动汽车动力舱自然进风散热性能将得到改善.

关键词:电动汽车进出风模式;环境温度;充放电倍率;FLUENT

中图分类号: U461 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2013)05-0070-05

Influence of different double-outlet mode of wind on the electric vehicle natural wind cooling performance

XU Xiaoming^{1,2}, ZHAO Youqun²

(1. School of Automotive and Traffic Engineering, Jiangsu University, 212013 Jiangsu, Zhenjiang, China;

2. College of Energy and Power Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 210016 Nanjing, China)

Abstract: By software FLUENT, the influence of different double-outlet mode of wind on the electric vehicle power cabin natural wind cooling performance with different environmental temperature and charge & discharge rate is researched, and the results show that the heat dissipation performance of electric vehicle power cabin natural wind cooling is improved as the vehicle speed is increased, the heat dissipation performance of up-outlet mode of wind with two hole is better than both sides outlet mode in all fields of different environmental temperature and charge & discharge rate.

Key words: electric vehicle; air-inlet and air-outlet patterns; environmental temperature; charge& discharge rate; FLUENT

电动汽车动力舱自然进风散热性能优劣将直接影响到舱内电池组的温度场分布(电池组一般布置在动力舱、后备箱或者车身底部,本文选取动力舱内电池组为研究对象),进而影响电池正常工作,近些年来,随着数值计算方法的改进和计算机性能的提高,CFD (Computational Fluid Dynamics)技术得到了飞速的发展^[1-6],采用CFD方法研究电动汽车动力舱热流场特性成为可能.

电动汽车动力舱热流场特性研究,正从原先的试验分析为主,发展到目前以仿真计算为主,辅助加以试验验证的新格局^[7-13].

本文对两种不同的双口出风模式电动汽车动力舱自然进风散热进行研究,期望为电动汽车动力舱自然进风散热分析和进出风模式选择提供参考依据.

1 模 型

图1为不同双口出风模式的电动汽车动力舱模型,其中车长为4 765 mm、车宽为1 820 mm、车高为1 472 mm.根据舱内空间大小和电动汽车行驶性能要求,电池组总共包含144颗55 Ah电池

收稿日期: 2012-06-01.

基金项目: 国家高技术发展计划(2011AA11A210);江苏省科技成果转化项目(BA2010050);江苏大学高层次人才专项资助项目.

作者简介: 徐晓明(1982—),男,讲师.

通信作者: 徐晓明, xuxiaoming3777@163.com.

单体(6个2并12串的电池标准模块)。

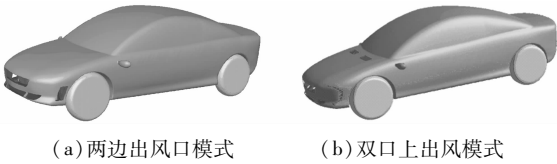


图1 不同双口出风模式的电动汽车动力舱模型

2 计算方法和边界条件

2.1 数学模型

通常状态下,电动汽车的最高速度小于400 km/h,即小于三分之一声速.因此车身表面的流动可认为是不可压缩流动,空气介质的物性参数恒为常数.考虑到汽车复杂外形引起的分离现象,应按湍流处理.其控制方程组如下:

连续方程

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = 0. \tag{1}$$

动量守恒方程

$$\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} = -\frac{\nabla p}{\rho} + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 \mathbf{V}. \tag{2}$$

能量守恒方程

$$\rho \cdot c_p \cdot \left(\frac{\partial t}{\partial \tau} + u \cdot \frac{\partial t}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial t}{\partial z} \right) = \lambda \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right). \tag{3}$$

式中: $\mathbf{V}$ 为速度矢量, p 为压力, ρ 为空气密度, μ 为空气动力粘性系数.

2.2 计算方法

采用三维不可压缩 N - S 方程和标准 $k - \varepsilon$ 湍流模型,控制界面的物理量应用二阶迎风差格式获得,并运用 SIMPLEC 压力修正法进行迭代.

2.3 边界条件

入口为速度进口边界条件,速度值视具体算例给定,湍流度设为 0.1%;出口为压力出口边界条件,大小为标准大气压;壁面采用无滑移边界条件.

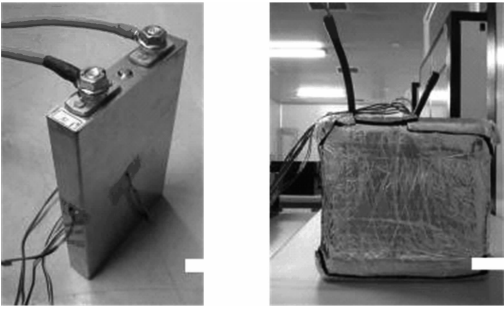
2.4 电池组冷却系统散热性能的性能指标

评估电池组冷却系统散热性能指标主要有两个:电池组最高温升和内部最大温差(定义电池组温度和环境温度之差的最大值为电池组最高温升,电池组内部温差的最大值为内部最大温差),电池组最高温升和内部最大温差均较低,则表明冷却系统散热性能较为优越.

3 电池单体充放电发热功率测定

图2为55Ah电池单体测温点布置和绝热设计,底部布置2个测温点,侧壁布置3个测温,保

温箱用三层绝热材料包裹,以保证具有较好的绝热性能.表1为不同环境温度和充放电倍率时,电池单体平均温升和发热功率.



(a)测温点布置 (b)保温箱
图2 55Ah 电池单体测温点布置和绝热设计

表1 电池单体充放电过程平均温升和发热功率

充放 电倍 率/C	环境 温度/ ℃	充电		放电	
		平均 温升/℃	发热 功率/W	平均 温升/℃	发热 功率/W
0.8	20	15.51	5.42	17.34	7.60
	27	12.80	4.36	14.73	6.35
	40	10.87	3.56	13.80	5.76
1.0		13.34	3.63	15.10	5.07
1.2		12.80	4.36	14.73	6.35
		14.86	5.57	18.11	9.19

4 两边出风口模式散热性能分析

4.1 27℃环境温度下1C充放电倍率散热性能分析

图3和4为车速100 km/h时,两边出风口模式 $Z = 0.4\text{ m}$ 截面的速度场和温度场分布,可见气流经两边出风口流出后,温度分布与气流轨迹相差较大,出风口处气流速度比较高,但温度却不是很高.舱内温度聚集较为明显,尤其在电池组后部,温度更高,表明两边出风口模式通过气流带走的热量较少,这不利于自然进风散热.车尾可以清楚地看到两个涡流,从出风口出来的热量轨迹比较短可以看出,热量经气流带出后,很快就被耗散掉.

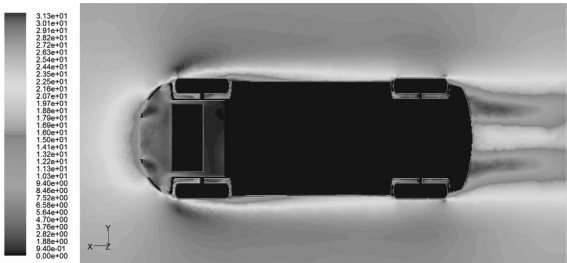


图3 两边出风口模式 $Z = 0.4\text{ m}$ 截面的速度场分布

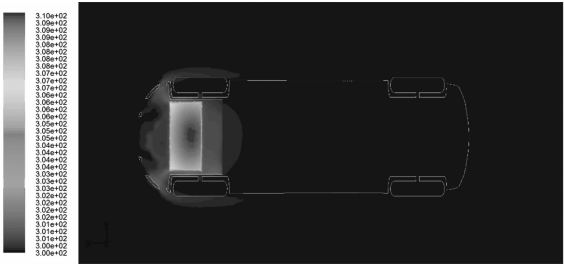


图 4 两边出风口模式 $Z=0.4\text{ m}$ 截面的温度场分布

从图 5 可以看出,两边出风口模式的电池组最高温升和内部最大温差随车速提高基本成线性关系变化,电池组最高温升曲线的斜率明显高于内部最大温差,这说明随着车速提高,更有利于降低电池组的最高温度.其中,车速从 80 km/h 提高到 140 km/h ,电池组最高温升从 $12.28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降到 $10.53\text{ }^{\circ}\text{C}$,降低了 14.3% ,电池组内部最大温差从 $8.11\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降到 $7.77\text{ }^{\circ}\text{C}$,降低了 4.2% .

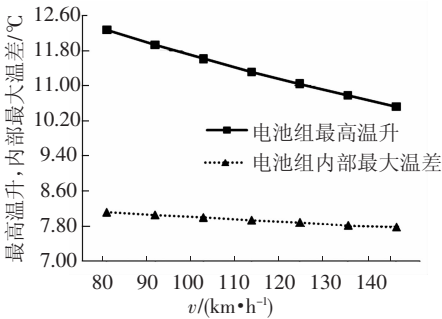


图 5 两边出风口模式电池组最高温升及内部最大温差随车速变化趋势比较

4.2 不同环境温度下散热性能比较

从图 6 和 7 可以看到,不同环境温度下,两边出风口模式的电池组最高温升和内部最大温差随车速提高也基本成线性关系变化,且保持平行,其中 $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境温度时的曲线比较接近,这说明较高的环境温度下,电动汽车动力舱自然进风散热性能比较接近.车速为 80 km/h 时, $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境温度下的电池组最高温升分别比 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境温度时降低了 28.6% 和 13.1% ,内部最大温差降低了 25.8% 和 12.1% ;车速为 140 km/h 时, $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境温度下的电池组最高温升分别比 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境温度时降低了 28.4% 和 13.0% ,内部最大温差降低了 25.4% 和 11.3% .

4.3 不同充放电倍率时散热性能比较

从图 8 和 9 可以看到,不同充放电倍率时,两边出风口模式的电池组最高温升和内部最大温差随车速提高也基本成线性关系变化,其中 0.8 C 和 1 C 充放电倍率时的曲线比较接近, 1.2 C 充放电倍率时电池组最高温升和内部最大温差明显更大,所以当高充放电倍率时,应当考虑加强散热能力,从图 8 还可以看到, 1.2 C 充放电倍率时电池

组最高温升曲线的斜率明显高于其他充放电倍率,可见车速提高对于导走电池因为高倍率充放电而产生的过多热量还是有意义的.车速为 80 km/h 时, 0.8 C 充放电倍率时的电池组最高温升分别比 1 C 和 1.2 C 充放电倍率时降低了 19.0% 和 41.6% ,内部最大温差降低了 17.0% 和 37.2% ;车速为 140 km/h 时, 0.8 C 充放电倍率时的电池组最高温升分别比 1 C 和 1.2 C 充放电倍率时降低了 18.9% 和 40.4% ,内部最大温差降低了 16.7% 和 36.4% .

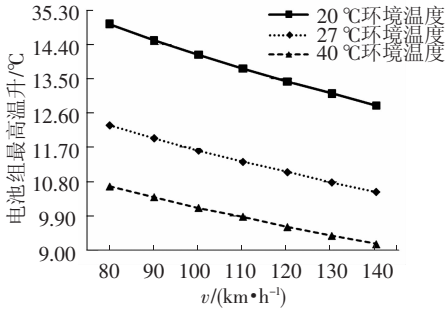


图 6 不同环境温度下两边出风口模式电池组最高温升随车速变化比较

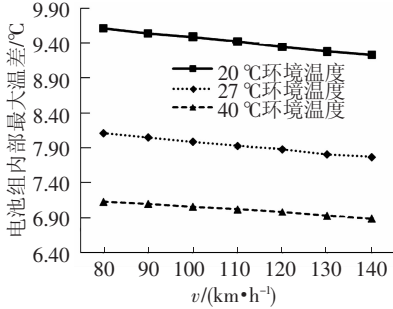


图 7 不同环境温度下两边出风口模式电池组内部最大温差随车速变化比较

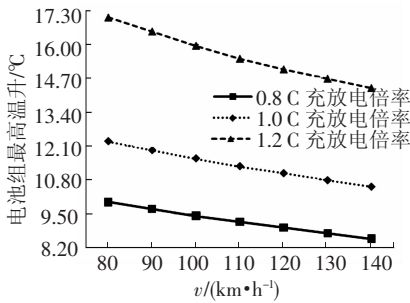


图 8 不同充放电倍率时两边出风口模式电池组最高温升随车速变化比较

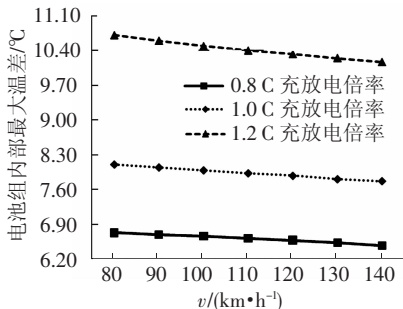


图 9 不同充放电倍率时两边出风口模式内部最大温差随车速变化比较

5 双口上出风模式散热性能分析

5.1 27℃环境温度下 1 C 充放电倍率散热性能分析

图 10 和 11 为车速 100 km/h 时, 双口上出风模式 $X = 1.0\text{ m}$ 截面的速度场和温度场分布, 可见气流经上出风口流出后, 温度分布与气流轨迹较为接近, 在出风口处, 可以看到气流的速度和温度都比较高, 这表明双口上出风模式的气流起到了较好的散热效果. 动力舱底部温度较高, 这是因为电池的热量通过车架导热所致.



图 10 双口上出风模式 $X = 1.0\text{ m}$ 截面的速度场分布

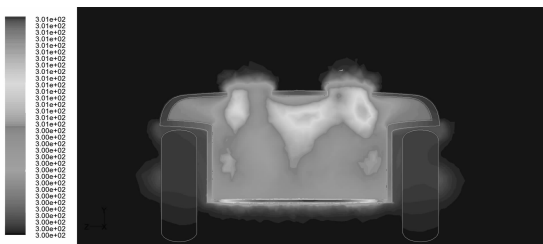


图 11 双口上出风模式 $X = 1.0\text{ m}$ 截面的温度场分布

从图 12 可以看出, 双口上出风口模式的电池组最高温升和内部最大温差随车速变化趋势与两边出风口模式基本相似, 即: 电池组最高温升和内部最大温差随车速提高成线性关系变化, 电池组最高温升曲线的斜率高于内部最大温差. 其中, 车速从 80 km/h 提高到 140 km/h, 电池组最高温升从 10.27℃降到 8.81℃, 降低了 14.2%, 电池组内部最大温差从 6.50℃降到 6.19℃, 降低了 4.8%.

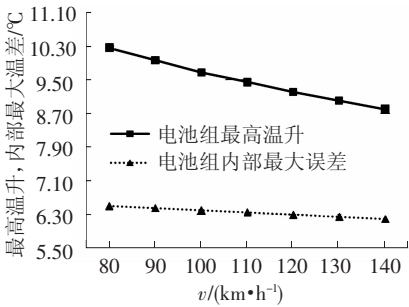


图 12 双口上出风口模式的电池组最高温升和内部最大温差 随车速变化比较

5.2 不同环境温度下散热性能比较

从图 13 和 14 可以看到, 不同环境温度下, 双口上出风口模式的电池组最高温升和内部最大温差随车速变化趋势与两边出风口模式相似, 即: 温升与车速变化基本成线性关系, 且 27℃和 40℃环境温度时的曲线比较接近. 车速为 80 km/h 时, 40℃环境温度下的电池组最高温升分别比 20℃和 27℃环境温度时降低了 28.5% 和 12.9%, 内部最大温差降低了 25.2% 和 11.1%; 车速为 140 km/h 时, 40℃环境温度下的电池组最高温升分别比 20℃和 27℃环境温度时降低了 28.1% 和 12.9%, 内部最大温差降低了 24.9% 和 11.0%.

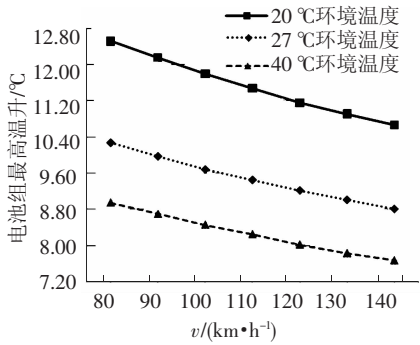


图 13 不同环境温度下双口上出风模式电池组最高温升 随车速变化比较

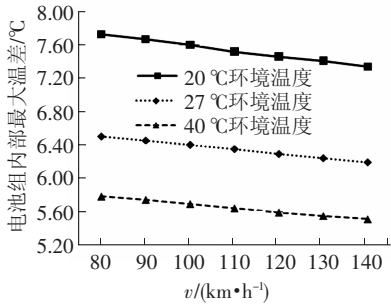


图 14 不同环境温度下双口上出风模式内部最大温差随 车速变化比较

5.3 不同充放电倍率时散热性能比较

从图 15 和 16 可以看到, 不同充放电倍率时, 双口上出风口模式的电池组最高温升和内部最大温差随车速变化趋势与两边出风口模式也比较相似. 车速为 80 km/h 时, 0.8 充放电倍率时的电池组最高温升分别比 1 C 和 1.2 C 充放电倍率时降低了 18.6% 和 41.1%, 内部最大温差降低了 14.6% 和 36.1%; 车速为 140 km/h 时, 0.8 充放电倍率时的电池组最高温升分别比 1 C 和 1.2 C 充放电倍率时降低了 18.9% 和 40.9%, 内部最大温差降低了 14.5% 和 35.3%.

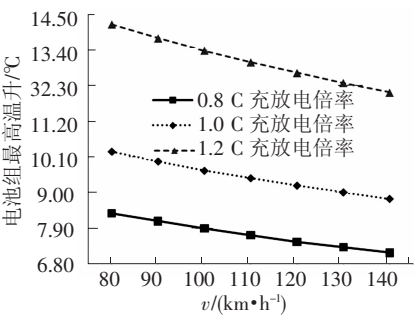


图 15 不同充放电倍率时双口上出风模式电池组最高温升随车速变化比较

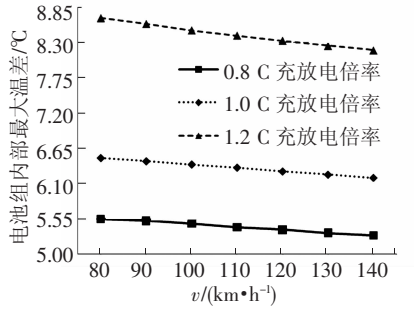


图 16 不同充放电倍率时双口上出风模式内部最大温差随车速变化比较

6 两种双口出风模式散热性能比较

车速为 100 km/h 时,比较两种双口出风模式散热性能,从表 2 可以看出,不同环境温度下,双口上出风口模式的电池组最高温升和内部最大温差均低于两边出风口模式,其中 20 ℃ 环境温度下,双口上出风口模式的电池组最高温升比两边出风口模式降低 16.5%,内部最大温差降低 19.9%.不同充放电倍率时,同样是双口上出风口模式的电池组最高温升和内部最大温差低于两边出风口模式,其中 1.2 ℃ 充放电倍率时,双口上出风口模式的电池组最高温升比两边出风口模式降低 16.1%,内部最大温差降低 19.1%.可见将两边出风口模式改为双口上出风口模式,电动汽车动力舱自然进风散热性能将提高.

表 2 两种双口出风模式散热性能比较 ℃

充放 电倍 率/C	环境 温度/ ℃	电池组最高温升		内部最大温差	
		两边出风 口模式	双口上出 风口模式	两边出风 口模式	双口上出 风口模式
0.8	20	14.13	11.80	9.49	7.60
	27	11.62	9.68	7.99	6.40
	40	10.11	8.46	7.06	5.69
	0.8	9.42	7.89	6.66	5.48
1.0		11.62	9.68	7.99	6.40
1.2		15.96	13.39	10.49	8.49

7 结 论

1)两边出风口模式和双口上出风模式的电

动汽车动力舱自然进风散热性能随着车速提高均得到改善,电池组最高温升曲线的斜率明显高于内部最大温差,这说明随着车速提高,更有利于降低电池组的最高温升.电动汽车在环境温度较低和充放电倍率较高时行驶,考虑到电池大量生热,所以要相应提高散热能力;

2)不同环境温度和充放电倍率下,双口上出风口模式的电池组最高温升和内部最大温差均低于两边出风口模式,可见将两边出风口模式改为双口上出风口模式,电动汽车动力舱自然进风散热性能将得到改善.

参考文献

[1] IMDAT T. An experimental study of energy balance in low heat rejection diesel engine [J]. Elsevier Paper: Energy, 2006, 31(2): 364 – 371.

[2] LI H, WANG W Y, SU S F. A merged fuzzy neural network and its applications in battery state-of-charge estimation [J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2007, 22(3): 697 – 708.

[3] 张亚海,李小宁,谢永奇. 动力舱通风冷却性能仿真及其影响因素分析[J]. 科技创新导报, 2012(33):106.

[4] 张坤,王玉璋,杨小玉. 应用 CFD 方法改善发动机舱散热性能[J]. 汽车工程, 2011,33(4):314 – 317.

[5] 徐晓明,赵又群. 造型和离地间隙对轿车气动性能影响的研究[J]. 航空动力学报,2009,24(2):292 – 295.

[6] KIM K B, CHOI K W, LEE K S. Active coolant control strategies in automotive engines[J]. International Journal of Automotive Technology, 2010, 11(6): 767 – 772.

[7] 王雁南. X111 轿车发动机舱热平衡分析与改进[D]. 长春:吉林大学,2010.

[8] 王晶,张成春,张春艳,等. 客车侧围格栅对发动机舱内热环境的影响[J]. 吉林大学学报(工学版), 2012,42(3):563 – 568.

[9] 高青,钱妍,戈非. 汽车动力舱多热力系统模型分析方法[J]. 汽车工程,2012,2(1):8 – 15.

[10] DAVID P, TANJU S, JIMMY C, et al. Lecture notes in applied and computational mechanics [M]. Berlin Heidelberg, Springer, 2009: 349 – 361.

[11] KIM K B, CHOI K W, LEE K S. Active coolant control strategies in automotive engines [J]. International Journal of Automotive Technology, 2010, 11(6): 767 – 772.

[12] 袁侠义,谷正气,杨易,等. 汽车发动机舱散热的数值仿真研究[J]. 汽车工程,2009,31(9):843 – 847.

[13] 徐晓明,赵又群. 微型纯电动汽车动力舱风冷散热研究[J]. 航空动力学报,2012,27(7):1532 – 1536.

(编辑 苗秀芝)