

文章编号:1000-8055(2013)05-1107-05

不同进出风模式和电池组位置的电动汽车 气动性能分析

徐晓明^{1,2}, 赵又群¹

(1. 南京航空航天大学 能源与动力学院, 南京 210016;

2. 江苏大学 汽车与交通工程学院, 江苏 镇江 212013)

摘 要: 采用 GAMBIT 软件作为前处理器, 应用 FLUENT 软件作为计算和后处理软件, 对不同进出风模式和电池组位置的电动汽车气动性能进行分析, 研究表明: 单口上出风模式的电动汽车气动性能最佳, 下出风口模式的气动性能最差; 随着电池组与动力舱后壁距离增加, 电动汽车气动性能先改善, 再变差, 满足电动汽车最优气动性能的距离为 230 mm.

关 键 词: 电动汽车; 进出风模式; 电池组位置; 气动性能; FLUENT

中图分类号: V21; U461

文献标志码: A

Aerodynamic performance analysis of electric vehicle with different air-inlet and air-outlet patterns and battery positions

XU Xiao-ming^{1,2}, ZHAO You-qun¹

(1. College of Energy and Power Engineering,

Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;

2. School of Automotive and Traffic Engineering,

Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu 212013, China)

Abstract: Using software GAMBIT as pre-processor and software FLUENT as calculator and post-processor, research was done on the effect of air-inlet and air-outlet patterns and battery positions on the electric vehicle aerodynamic performance. The results show as follows: up-outlet mode of wind with one hole has the best aerodynamic performance, and down-outlet mode of wind has the worst aerodynamic performance; with the distance between battery and power cabin increasing, the aerodynamic performance of electric vehicle is improved, and then deteriorated, and the distance of 230 mm fits the best electric vehicle aerodynamic performance.

Key words: electric vehicle; air-inlet and air-outlet patterns; battery positions; aerodynamic performance; FLUENT

收稿日期: 2012-06-01

网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2297.V.20130508.0949.201305.1107_020.html

基金项目: 国家高技术研究发展计划(2011AA11A210, 2011AA11A220);

江苏省普通高校研究生科研创新计划(CXLX11_0182)

作者简介: 徐晓明(1982—), 男, 浙江杭州人, 博士生, 主要从事汽车空气动力学、新型动力与电动汽车等方面研究.

汽车气动性能直接影响动力性、经济性、操纵稳定性和乘坐舒适性^[1-4]。风洞试验是研究汽车气动性能的传统而有效的方法,但风洞建设投资大、试验周期长,且难以模拟汽车表面细节、车轮转动、内流等复杂条件。随着计算机和计算技术的迅速发展而兴起的数值仿真方法为汽车气动性能的研究开辟了新的途径^[5-12]。典型的计算流体力学(CFD)软件 FLUENT 可以模拟车身细节、内流等复杂条件。

汽车气动性能主要包括阻力系数和升力系数^[13],在无风条件下,阻力系数公式为

$$C_d = \frac{2F_d}{A\rho u_r^2} \quad (1)$$

升力系数公式为

$$C_l = \frac{2F_l}{A\rho u_r^2} \quad (2)$$

其中 ρ 表示空气密度; A 表示迎风面积; u_r 为无风时汽车行驶速度; F_d 表示空气阻力; F_l 表示空气升力。

本文开展不同进出风模式和电池组位置的电动汽车气动性能分析,期望找到满足电动汽车优越气动性能的进出风模式和电池组布置位置。

1 动力舱不同出风口模式描述

选用截面形状为非对称切角矩形的风洞模型^[14-15],如图 1 所示。电池组总共有 144 颗电池(6 个 2 并 12 串的电池标准模块)。

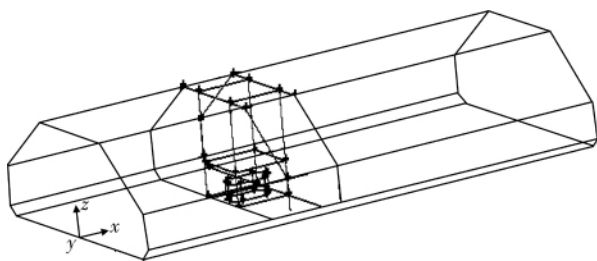


图 1 截面形状为非对称切角矩形的风洞模型

Fig. 1 Wind tunnel model with no-symmetry cut-angle rectangular cross section

电池组与动力舱后壁距离为 200 mm,图 2 为 3 种出风口模式及流场简化迹线,可以看到,上出风口模式舱内气流从动力舱上部流出,下出风口模式舱内气流从动力舱底部流出,两边出风口模式舱内气流从动力舱两侧流出。

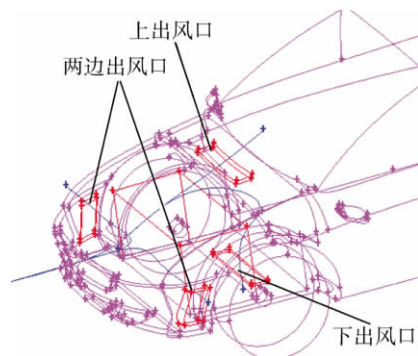


图 2 3 种出风口模式及流场简化迹线

Fig. 2 Three kinds of air-outlet patterns and simplified flow field trace

2 仿真计算方法和边界条件

2.1 数学模型

通常情况下,电动汽车的最高速度小于 400 km/h,即小于 1/3 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

$$\nabla \cdot V = 0 \quad (3)$$

动量守恒方程

$$\frac{\partial V}{\partial t} + (V \cdot \nabla)V = -\frac{\nabla p}{\rho} + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 V \quad (4)$$

式中 p 表示压力; t 表示时间; μ 表示空气动力黏度。

2.2 计算方法

采用三维不可压缩雷诺平均方程 N-S 方程和 Standard $k-\epsilon$ 湍流模型;控制界面的物理量应用 2 阶迎风差分格式获得;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,速度为 0。

3 不同出风口模式气动性能分析

3.1 上出风口模式

图 3 为车速为 100 km/h 时,上出风口模式 $y=0$ m 截面速度场,可以看出,速度较高区域在车

顶部,最高速度达到 32.84 m/s,出风口处存在着气流速度的剧烈变化,容易形成涡流,不利于气流快速散开,因此保证出风口气流顺畅对于上出风口模式动力舱内降低气动阻力至关重要.表 1 为上出风口模式气动参数, x 向迎风面积为 1.98 m², z 向迎风面积为 8.37 m²,仿真分析得到:上出风口模式的电动汽车阻力系数为 0.2888,升力系数为 0.0108,阻力系数小于 0.3,故该车的气动性能较为优越.

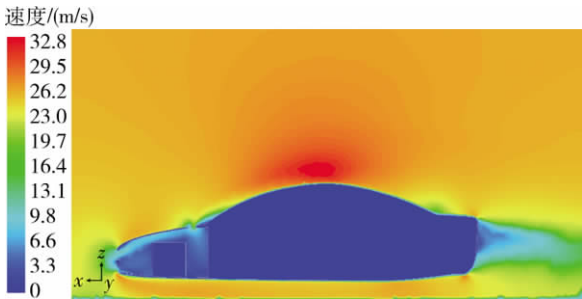


图 3 车速为 100 km/h 时上出风口模式
 $y=0$ m 截面速度场

Fig. 3 Air velocity distribution on plane at
 $y=0$ m with 100 km/h of up-outlet
wind mode

表 1 上出风口模式气动参数
Table 1 Aerodynamic parameters of up-outlet
wind mode

参数	数值
空气阻力/N	270.68
空气升力/N	42.79
x 向迎风面积/m ²	1.98
z 向迎风面积/m ²	8.37
阻力系数	0.2888
升力系数	0.0108

3.2 下出风口模式

图 4 为车速为 100 km/h 时,下出风口模式 $y=0$ m 截面速度场,可见车顶部气流速度最高,达到 34.22 m/s,比上出风口模式提高,气流最高速度上升是因为下出风口模式使得车顶部的气流更加顺畅;下出风口模式向下的气流使得车身底部气流流速的一致性变差,特别是出风口后部的气流速度明显提高,当不同流速的气流混合到一起时,容易形成涡流,提高气动阻力,底部气流

与顶部气流混合,造成尾涡的进一步扩大,这会导致阻力系数增加.表 2 为下出风口模式气动参数,下出风口模式的阻力系数为 0.3099,升力系数为 0.0187,与上出风口模式相比,气动性能下降较为明显,这是因为从动力舱内流向车底的气流与原气流结合而形成的涡流使得气流通过性变差,故阻力系数变大;同时涡流的形成使得汽车底部的压力增加,向上的升力也随之增强,故升力系数变大.综上分析,下出风口模式的气动性能较上出风口模式变差.

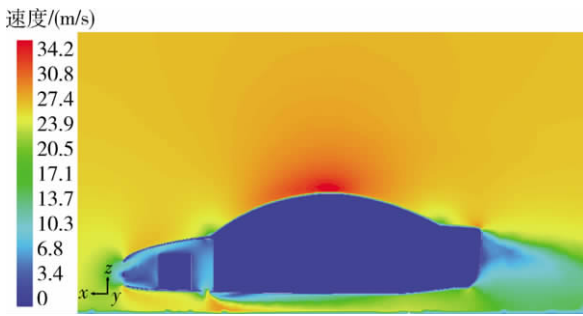


图 4 车速为 100 km/h 时下出风口模式
 $y=0$ m 截面速度场

Fig. 4 Air velocity distribution on plane at
 $y=0$ m with 100 km/h of down-outlet
wind mode

表 2 下出风口模式气动参数
Table 2 Aerodynamic parameters of down-outlet
wind mode

参数	数值
空气阻力/N	290.46
空气升力/N	74.09
阻力系数	0.3099
升力系数	0.0187

3.3 两边出风口模式

图 5 为车速为 100 km/h 时,两边出风口模式 $z=0.4$ m 截面速度场,可见出风口处气流速度比较高,但整个速度场的气流速度最高位置仍然在车顶部,达到 34.32 m/s,车尾可以清楚地看到两个涡流,这是形成气动阻力的主要原因,出口处气流速度达到将近 30 m/s,明显高于上述两种出风口模式,可见舱内气流压力很大,一经出风口流出,立刻形成很高的流速,这也进一步说明舱内气流速度低,压力大,不利于气流散开.表 3 为两边

出风口模式气动参数,两边出风口模式的阻力系数为 0.2932,升力系数为 0.0151,总体气动性能介于上出风口模式和下出风口模式之间.

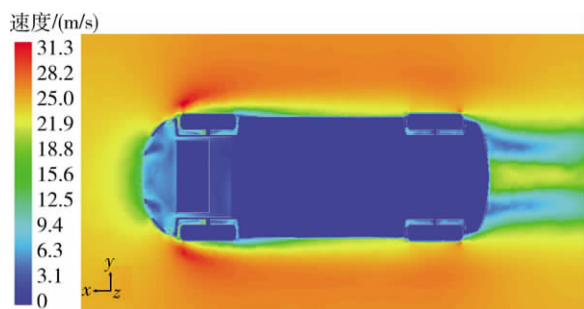


图 5 车速为 100 km/h 时两边出风口模式
 $z=0.4$ m 截面速度场

Fig. 5 Air velocity distribution on plane at $z=0.4$ m with 100 km/h of both sides outlet wind mode

表 3 两边出风口模式气动参数

Table 3 Aerodynamic parameters of both sides outlet wind mode

参数	数值
空气阻力/N	274.81
空气升力/N	59.83
阻力系数	0.2932
升力系数	0.0151

4 不同上出风口模式气动性能分析

图 6 为双口上出风模式示意图.从表 4 可以看出,双口上出风模式的阻力系数为 0.2897,升力系数为 0.0112,均略高于单口上出风模式,故总体气动性能也略逊于单口上出风模式.



图 6 双口上出风模式示意图

Fig. 6 Sketch map of up-outlet wind mode with two holes

表 4 不同上出风口模式气动参数比较

Table 4 Comparison of aerodynamic parameters with different up-outlet modes

	单口上出风模式	双口上出风模式
空气阻力/N	270.68	271.52
空气升力/N	42.79	44.38
阻力系数	0.2888	0.2897
升力系数	0.0108	0.0112

5 电池组不同位置对气动性能的影响

出风口为单口上出风模式,电池组距离动力舱后壁最小距离为 150 mm,最大距离为 250 mm,每隔 20 mm 建立一个整车模型.从表 5 可以看出,汽车气动性能随电池组与动力舱后壁距离增加而变化的规律为:从 150 mm 增加到 230 mm,阻力系数和升力系数均降低,气动性能得到改善;从 230 mm 增加到 250 mm,气动性能变差.满足电动汽车最优气动性能的距离为 230 mm,导致距离为 250 mm 气动性能下降的原因是:电池组过于靠近进风口阻碍了气流进入动力舱,从而导致气流的总量减少,这增加了舱内涡流的形成.其中,距离为 230 mm 的阻力系数分别比 150,200 和 250 mm 降低了 1.2%,0.6%和 3.7%,升力系数降低了 23.8%,13.9%和 8.8%,可见合理布置电池组位置也是可以改善电动汽车气动性能的.

表 5 电池组不同位置的气动参数

Table 5 Aerodynamic parameters with different placements of battery pack

距离/mm	空气阻力/N	空气升力/N	阻力系数	升力系数
150	272.37	48.34	0.2906	0.0122
170	271.62	46.36	0.2898	0.0117
185	271.15	44.77	0.2893	0.0113
200	270.68	42.79	0.2888	0.0108
215	270.31	41.60	0.2884	0.0105
230	269.18	36.85	0.2872	0.0093
250	279.40	40.41	0.2981	0.0102

6 结 论

本文对不同进出风模式和电池组位置的电动汽车气动性能进行分析,得到以下结论:

1) 不同进出风模式气动性能逐次提高顺序为:下出风口模式、两边出风口模式和上出风口模式,将单口上出风模式改为双口上出风模式,电动汽车气动性能变差。

2) 电动汽车气动性能随电池组与动力舱后壁距离增加而变化的规律为:从 150 mm 增加到 230 mm,气动性能得到改善;从 230 mm 增加到 250 mm,气动性能变差,可见合理布置电池组位置同样可以改善电动汽车气动性能。

参考文献:

- [1] Hucho H, Janssen L, Schwarz G. The wind tunnel's ground plane boundary layer: its interference with the flow underneath cars[R]. SAE Paper 750066, 1975.
- [2] Lay G. A method of estimating automobile drag[R]. SAE Paper 690189, 1969.
- [3] Morchen W. The climatic wind tunnel of volkswagenwerk AG[R]. SAE Paper 680120, 1968.
- [4] Lanfrit M. Best practice guidelines for handling automovie external aerodynamics with FLUENT[C]//Proceedings of FLUENT's Second Biennial European Automotive CFD Conference, Frankfurt, Germany: EACC, 2005: 29-30.
- [5] FLUENT Inc. FLUENT user's guide [R]. FLUENT Inc, 2003.
- [6] Otmar B, Guenter G. Systems for hybrid cars[J]. Journal of Power Sources, 2004, 127(1/2): 8-15.
- [7] Luca A, Vincenzo M, Pier P. A CFD-FEM approach to study wing aerodynamics under deformation[R]. SAE Paper 2004-01-04, 2004.
- [8] Basara B, Przulj V, Tibaut P. On the calculation of external aerodynamics[R]. SAE Paper 2001-01-070, 2001.
- [9] David P, Tanju S, Jimmy C, et al. Lecture notes in applied and computational mechanics [M]. Berlin Heidelberg: Springer, 2009: 349-361.
- [10] 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.
- [11] Stuart T A, Hande A. HEV battery heating using AC currents[J]. Journal of Power Sources, 2004, 129(2): 368-378.
- [12] 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.
Xu Xiaoming, Zhao Youqun. Effect of models and ground clearance on aerodynamic characteristics of car[J]. Journal of Aerospace Power, 2009, 24(2): 292-295. (in Chinese)
- [13] 谷正气. 汽车空气动力学 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
- [14] 徐晓明, 赵又群. 汽车内流场的仿真分析[J]. 航空动力学报, 2009, 24(12): 2780-2783.
XU Xiaoming, ZHAO Youqun. Simulation analysis of car interior flow field[J]. Journal of Aerospace Power, 2009, 24(12): 2780-2783. (in Chinese)
- [15] 徐晓明, 赵又群. 车模比例和风洞截面对轿车气动性能影响[J]. 航空动力学报, 2009, 24(11): 2471-2475.
XU Xiaoming, ZHAO Youqun. Effects of car models proportion and wind tunnel cross section on aerodynamic characteristics of car[J]. Journal of Aerospace Power, 2009, 24(11): 2471-2475. (in Chinese)