

文章编号: 1000-8055(2010)02-0354-05

天窗对轿车内部流场及气动噪声的影响

康 宁, 王晓春

(北京航空航天大学 交通科学与工程学院, 北京 100191)

摘 要: 应用计算流体动力学软件 FLUENT 的大涡模拟方法, 对带天窗简化 Golf 1.6 轿车内部流场及驾驶员左耳附近接收点处气动噪声进行了数值计算与分析. 得到不同天窗形式下轿车内部驾驶员对称面上的速度矢量场、压力场分布情况以及接收点处声压级频域图. 分析得出随着天窗后移及加宽, 接收点处声压级逐渐减小, 且综合考虑速度分布, 工况 1 位置与尺寸较合理.

关 键 词: 天窗; 流场; 气动噪声; 大涡模拟; 计算流体动力学

中图分类号: U461.1

文献标识码: A

Influence of sunroof on flow field and aerodynamic noise inside the passenger compartment of the car

KANG Ning, WANG Xiao-chun

(School of Transportation Science and Engineering,

Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: Numerical simulation and analysis of flow field inside a simplified Golf 1.6 car and aerodynamic noise at the receiving point around the driver's left ear were conducted by using large eddy model of computational fluid dynamics (CFD) software FLUENT. The velocity and pressure fields on the symmetry plane of the driver and sound pressure level at the receiving point were obtained. The results show that sound pressure level becomes smaller with the backward shift and widening of the sunroof. The sunroof of case 1 is the most reasonable.

Key words: sunroof; flow field; aerodynamic noise; large eddy simulation; computational fluid dynamics (CFD)

驾驶员长时间在车内极易导致缺氧产生疲劳或困倦, 而天窗可以极大地改善车内空气流动. 但是天窗开启会引发气动噪声^[1], 产生的脉动压力极易使驾驶员感到烦躁不安. 由于天窗对车内流场与气动噪声有一定影响, 因此研究天窗大小及位置对车内空气流动的影响有很重要的实际意义.

2002 年刘红光等^[2]通过求解广义 Lighthill 方程, 得到适合车辆行驶工况气流噪声积分计算公式, 明确了脉动压力是车辆气流噪声的主要来

源, 并对车辆气流噪声的某些特性进行了讨论和试验. 同年 Karbon K J^[3]成功利用 CFD (计算流体动力学) 软件模拟了轿车天窗的振动过程并进行了噪声振动控制设计. 2005 年, Read A^[4]利用大涡模拟方法结合 CFD 软件中声学模块模拟了有天窗轿车的振动噪声在 100 Hz 以上. 2006 年, 杨娟^[5]用大涡模拟方法对简化空调轿车室内气流组织进行了数值模拟.

本文采用 Golf 1.6 轿车简化模型研究天窗位置与尺寸对车内空气流速及气动噪声的影响.

收稿日期: 2009-02-18; 修订日期: 2009-05-31

作者简介: 康宁 (1963 -), 女, 辽宁金州人, 副教授, 主要从事汽车空气动力学方向的研究.

1 控制方程及湍流模型

通常情况下,普通轿车车速低于 200 km/h,车身周围外部流动空气可按不可压流体来处理.汽车外部流场可视为等温、非定常不可压流动,且空气介质的物性参数为常数.本文采用工程上普遍应用的雷诺时均三维非定常不可压 Navier-Stokes(N-S)方程,其一般形式为

$$\begin{cases} (\bar{u}_i)_t + \bar{u}_j (\bar{u}_i)_t + \frac{(\bar{p})_{x_i}}{\rho} - \gamma \nabla^2 (\bar{u}_i) + \frac{(\rho \bar{u}_i \bar{u}_j)_{x_j}}{\rho} = 0 \\ (\bar{u}_j)_{x_j} = 0 \end{cases}$$

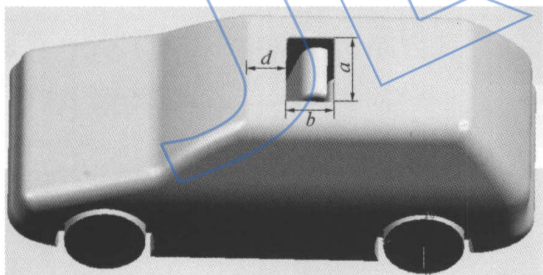
(1)

式中 u_i 为速度分量; p 为压强; ρ 为密度.由于此方程引入关联项 $\rho \bar{u}_i \bar{u}_j$,需要引入相应的湍流模型来封闭方程.

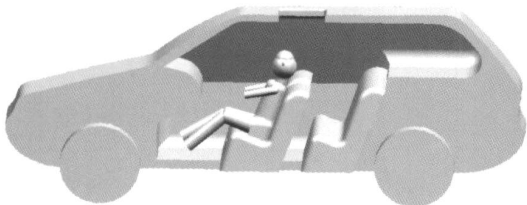
2 计算模型及计算方法

2.1 计算模型及网格划分

本文所用的汽车模型忽略了后视镜、门把手,雨水槽、排气管等外凸装置和复杂曲面,并将车身底部简化为平面,见图 1.模型长 L 为 4 149 mm,宽 W 为 1 735 mm,高 H 为 1 439 mm,车轮半径 R 为 320 mm,轮宽为 195 mm.



(a) 汽车外部



(b) 汽车内部

图 1 简化汽车模型

Fig. 1 Simplified car model

计算域为包围汽车模型的长方体,如图 2 所示.具体是车前 $1L$,车侧 $2W$,车上 $3H$,车后 $3L$,车底距地面 165 mm.

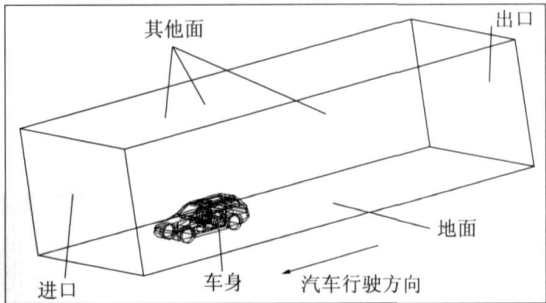


图 2 计算域示意图

Fig. 2 Computational domain

采用四面体非结构网格对计算域进行网格划分,靠近车身网络比较密集,远离车身网络比较稀疏.本文所用的网格数均约为 49 万,图 3 为车身纵向驾驶员对称面网格分布图.

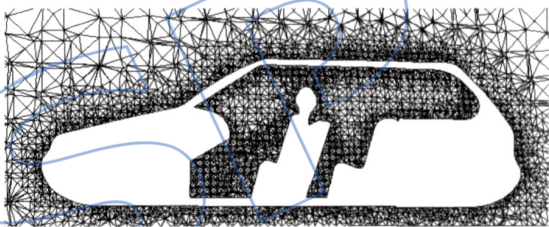


图 3 车身纵向对称面内的网格划分

Fig. 3 Grids in the longitudinal section of symmetry

2.2 边界条件及初始条件

进口:车前 $1L$ 处,速度大小为车行驶速度 35 m/s.出口:车后 $3L$ 处,流向梯度为零.地面:为无流边界,无滑移移动边界,速度同进口速度.车身:为无流边界,无滑移固定边界,速度为零.车轮表面:为无流边界,无滑移移动边界,旋转角速度为 109.375 r/s.计算域左侧、右侧和顶部:滑移边界,速度同进口速度.

初始时整个计算域均为空气介质,速度均为零,压强为 1.013×10^5 Pa(一个标准大气压).

2.3 计算方法

在保证计算准确性和缩短时间前提下,采用三阶段计算方案:①定常流场模拟,使流场状态接近于汽车平稳行驶状态.采用分离解法、SIMPLE 方法、二阶迎风格式及标准 $k-\epsilon$ 湍流模型.②非定常流场模拟,采用 Realizable $k-\epsilon$ 湍流模型,其他设置同 ①.计算时间 0.1 s,步长 0.000 1 s,步数 1000.③脉动流场模拟,采用大涡模拟模型,将计算的脉动压力导入声学模块,可将时域关系转化为频域关系.采用有限中心差分格式,计算时间、

步长及步数同②

空气密度为 1.225 kg/m^3 , 动力黏性系数为 $1.7894 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$.

3 计算方法验证

由于没有与本文所用模型对应的实验数据, 为验证本文采用的计算方法, 本节对文献[6]简化直背式轿车模型进行计算, 见图4, 网格划分及尺度、湍流模型和离散格式等均与文献[6]相同.

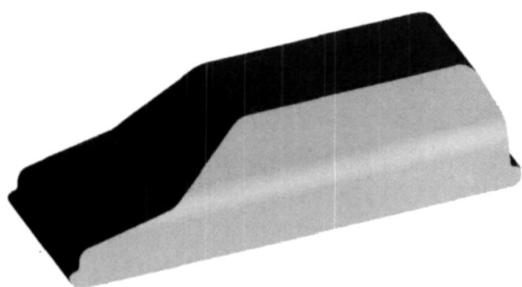


图4 简化直背式轿车模型

Fig. 4 Simplified fast back car model

本文计算的阻力系数为 0.431, 与试验结果 0.421 的误差为 2.38%, 说明本文的计算方法是有效可行的.

4 计算结果与分析

本文研究 4 种工况, 工况 1 至工况 3 天窗尺寸相同, 但位置不同, 工况 2 较工况 1 前移, 工况 3 后移, 工况 4 位置同工况 1, 但尺寸较大.

工况 1 $a \times b = 680 \text{ mm} \times 370 \text{ mm}$, $d = 340 \text{ mm}$;

工况 2 $a \times b = 680 \text{ mm} \times 370 \text{ mm}$, $d = 170 \text{ mm}$;

工况 3 $a \times b = 680 \text{ mm} \times 370 \text{ mm}$, $d = 410 \text{ mm}$;

工况 4 $a \times b = 680 \text{ mm} \times 470 \text{ mm}$, $d = 340 \text{ mm}$.

其中 a 和 b 为天窗长和宽; d 为天窗前缘距车顶前边缘的距离, 见图 1(a).

4.1 车内流场及人体附近气流速度

图 5~图 12 为工况 1 至工况 4 驾驶员对称面上的压强分布图和速度矢量图, 所取时刻为第一阶段结束时刻.

由图 5, 工况 1 时天窗附近压强为 126 Pa, 其下方压强为 94 Pa, 由于压差较大导致有明显气流簇流入车内, 并流向后排座椅椅背后上部, 见图 6. 气流在到达后排座椅椅背后上部处压强为 115 Pa, 是局部最大压强, 由此造成气流在此处分

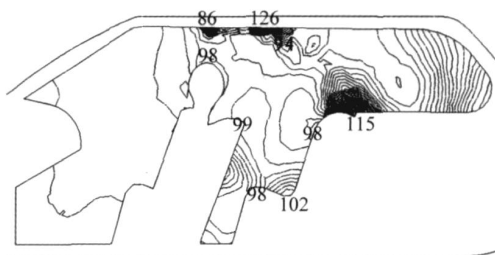


图5 工况1 压力分布图(单位:Pa)

Fig. 5 Pressure distribution of case 1 (unit:Pa)

舱后部区域形成较大旋涡; 另一路流向后排座椅与前排座椅之间, 在后排座椅上方形成旋涡. 驾驶员附近速度分布较均匀, 分别为头上部 1.5 m/s , 前部 1.3 m/s , 后部 1.5 m/s . 一般而言, 人体感受气流流速最适宜范围在 $1 \sim 2 \text{ m/s}$ 之间, 可知此时驾驶员感觉舒适.

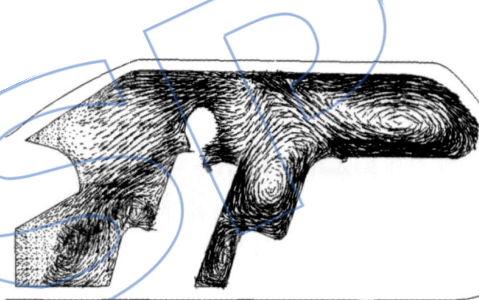


图6 工况1 速度矢量图(单位:m/s)

Fig. 6 Velocity field of case 1 (unit:m/s)

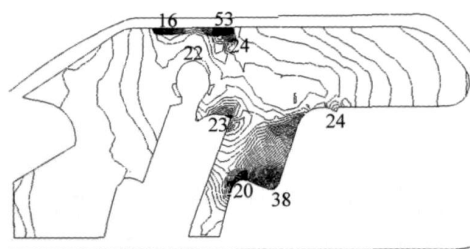


图7 工况2 压力分布图(单位:Pa)

Fig. 7 Pressure distribution of case 2 (unit:Pa)

由图 7, 工况 2 天窗处压强为 53 Pa, 其下部压强为 24 Pa, 驾驶员头顶压强为 22 Pa, 天窗与头部之间压差较大, 使得气流流向驾驶员后部, 通过前排座椅后部流向后排座椅, 见图 8. 汽车内部行李箱上方区域及后排座椅区域旋涡没有工况 1 明显. 驾驶员头上部速度 0.6 m/s , 前部 1 m/s , 后部 1 m/s , 气流分布不够均匀, 速度值偏小.

工况 3 及工况 4 流动情况与工况 1 相似, 不同之处是气流直接流向后排座椅背上方. 工况 3 驾驶员附近流速是头上方 0.5 m/s , 头前部

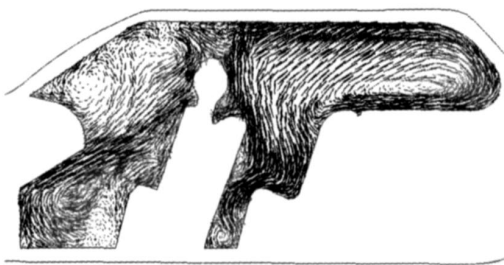


图 8 工况 2 速度矢量图(单位:m/s)
Fig. 8 Velocity field of case 2 (unit:m/s)

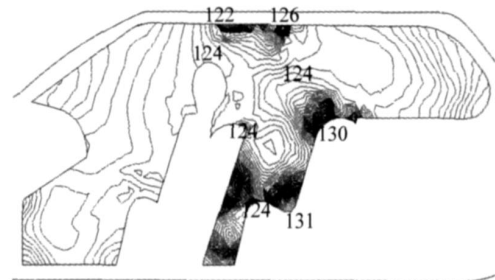


图 9 工况 3 压力分布图(单位:Pa)
Fig. 9 Pressure distribution of case 3 (unit:Pa)

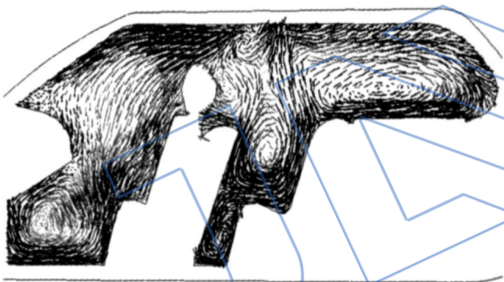


图 10 工况 3 速度矢量图(单位:m/s)
Fig. 10 Velocity field of case 3 (unit:m/s)

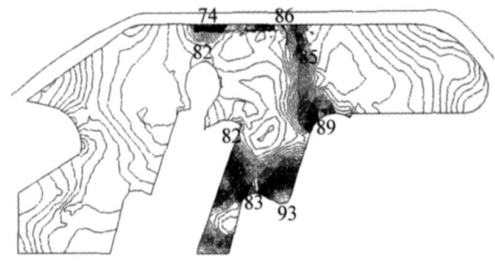


图 11 工况 4 压力分布图(单位:Pa)
Fig. 11 Pressure distribution of case 4 (unit:Pa)

0.3 m/s,头后部 0.7 m/s,速度分布虽然较均匀,但值较小,不在人体感受最适宜范围内;工况 4 驾驶员附近流速头部上方与前部均为 1.1 m/s,驾驶员后部 0.3 m/s,速度分布不够均匀。

综上所述,可知天窗可以加强车内通风,减小驾驶员的疲劳程度。工况 1 速度分布较均匀,并在

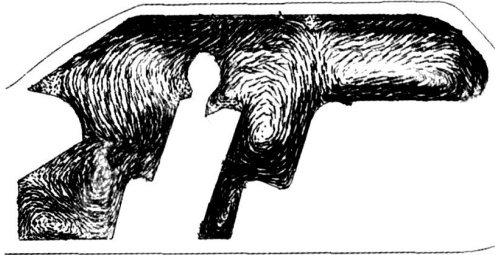


图 12 工况 4 速度矢量图(单位:m/s)
Fig. 12 Velocity field of case 4 (unit:m/s)

人体感觉舒适的范围内。

4.2 气动噪声

图 13~图 16 为 4 种工况下驾驶员左耳附近的声压级频域图,所取时刻为第三阶段结束时刻。从接收点声压级在各个频率上的分布情况来看,声压级是宽频谱,无明显主频率,但能量主要集中在低频区。计算频谱随频率增加而下降,在低频区下降较快,高频部分能量衰减较慢。

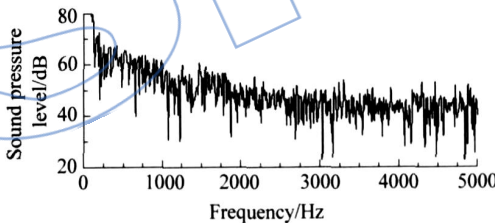


图 13 工况 1 声压级频域图
Fig. 13 Sound pressure level of case 1

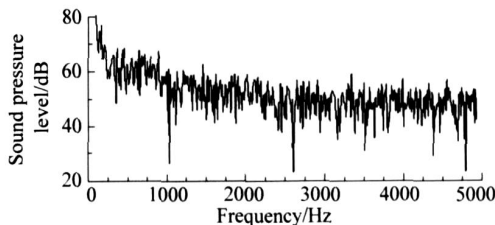


图 14 工况 2 声压级频域图
Fig. 14 Sound pressure level of case 2

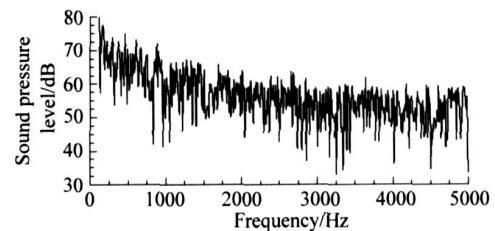


图 15 工况 3 声压级频域图
Fig. 15 Sound pressure level of case 3

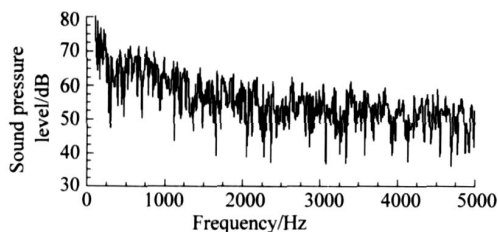


图16 工况4声压级频域图

Fig. 16 Sound pressure level of case 4

工况1在高频部分的声压级在50 dB附近波动,工况2在53 dB附近波动,工况3在49 dB附近波动,工况4在47 dB附近波动.可见随着天窗后移,接收点处声压级逐渐减小;天窗加宽也使接收点处声压级减小.

5 结 论

本文用三阶段流场计算方法对简化Golf 1.6轿车内流场及气动噪声进行了计算,研究了天窗位置及尺寸对驾驶员头部附近气流速度及左耳附近气动噪声的影响.计算结果表明适当的天窗位置及尺寸可在驾驶员附近产生较为舒适的气流及较少的气动噪声,因此本文的研究对天窗设计有一定的指导意义.

在今后的研究工作中,还将考虑天窗位置及尺度对驾驶员右耳附近气动噪声的影响,并对有若干乘员的情况进行研究.

参考文献:

- [1] 陈江平,孙召璞,阙雄才,等.载人车室内部空气流场温度场的数值模拟[J].汽车工程,1999,21(5):309-313.
CHEN Jiangping, SUN Zhaopu, QUE Xiongcai, et al. Numerical simulation of airflow and temperature in the car with passenger[J]. Automotive Engineering, 1999, 21(5): 309-313. (in Chinese)
- [2] 刘红光,陆森林.高速车辆气流噪声计算公式[J].交通运输工程学报,2002,2(2):41-44.
LIU Hongguang, LU Senlin. Calculation method of the aerodynamic noise around high speed vehicles[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2002, 2(2): 41-44. (in Chinese)
- [3] Karbon K J, Singh R. Simulation and design of automobile sunroof buffeting noise control[R]. AIAA 2002-2550.
- [4] Read A, Mendonca F, Schram C, et al. Optimal sunroof buffeting predictions with compressibility and surface impedance effects[R]. AIAA 2002-2859.
- [5] 杨娟.空调轿车室内气流组织的数值模拟[D].青岛:青岛大学,2006.
YANG Juan. Numerical simulation of airflow organization in car with air-condition[D]. Qingdao: Qingdao University, 2006. (in Chinese)
- [6] 谢金法.高速轿车车身绕流场的三维数值模拟及试验研究[D].吉林:吉林工业大学,2000.
XIE Jinfa. The three-dimensional numerical simulation and test study of high-speed car flow around the body[D]. Jilin: Jilin University of Technology, 2000. (in Chinese)