

文章编号: 1000-8055(2009)02-0287-05

两车速度对超车过程轿车气动特性的影响

康宁, 郑昊, 蓝天

(北京航空航天大学 交通科学与工程学院, 北京 100191)

摘 要: 利用动网格技术对超车过程中两种相对速度下车辆周围非定常流场进行了数值模拟, 得到超车车辆和被超车车辆受到的侧向力、侧倾力矩和横摆力矩在超车过程中的变化情况, 并根据两种速度情况下的流场特性, 分析其对气动特性的影响。计算结果表明: 超车速度越大, 被超车车辆最大侧向力、侧倾力矩和横摆力矩越大; 超车车辆最大侧向力、侧倾力矩越大, 横摆力矩越小。

关 键 词: 数值计算; 超车; 气动力; 动网格

中图分类号: U462.3+3

文献标识码: A

Influence of velocity on aerodynamic characteristics of cars in overtaking process

KANG Ning, ZHENG Hao, LAN Tian

(School of Transportation Science and Engineering,

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

Abstract: The unsteady flow fields around overtaking and overtaken cars in overtaking process at two different speeds were numerically simulated with moving mesh technology. The side forces, rolling moments and yawing moments of the cars during the overtaking process were calculated and analyzed. The influences of the flow field on the aerodynamic forces were analyzed according to the distribution of velocity and pressure fields. The results show that the maximum side force, rolling moment and yawing moment of the overtaken vehicle become bigger, the maximum side force and rolling moment of the overtaking vehicle will become bigger, the yawing moment will become smaller with the increase of the overtaking speed.

Key words: numerical simulation; overtaking; aerodynamic force; moving mesh

在超车行驶中, 由于两车相对位置发生变化, 在车身周围形成非定常涡流导致气动力发生变化, 对汽车行驶操纵稳定性产生较大影响, 有时会使驾驶员反应不及而导致车祸发生, 因此超车过程气动现象研究具有一定的实际意义。

傅立敏对并列行驶轿车湍流特性进行数值模拟, 给出最小安全行驶间距^[1]; 傅立敏通过滑移网格对简单外型汽车隧道中会车过程的瞬态空气动力学特性进行分析, 表明气动力系数有类似正弦

函数形状的变化曲线^[2]。贺宝琴用分析静态气动特性方法, 对复数车辆超车过程进行数值模拟, 得出汽车气动力随两车纵向相对位置的变化情况^[3]。周伟对大型集装箱货车超过轿车过程进行数值分析, 得到轿车侧向力系数的变化曲线图^[4]。

本文对两辆轿车在两种超车速度下的超车过程进行数值计算, 研究两车受到车外流场影响程度的变化情况, 以及两车相对速度对侧向力、侧倾力矩和横摆力矩的影响情况。

收稿日期: 2007-10-16; 修订日期: 2008-06-19

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研究。

1 计算模型建立

1.1 控制方程组

通常状态下,汽车外部流动可认为是非定常不可压缩流动,空气介质物性参数恒为常数.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:

$$\begin{cases} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \\ \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \\ \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \rho \overline{u_i u_j} \right) \end{cases} \quad (1)$$

式中 $\bar{u}_i$ 为平均速度分量, u_i' 为脉动速度分量, p 为压强, ρ 为密度, μ 为动力粘性系数. 关联项 $\overline{u_i u_j'}$ 需引入相应湍流模型来封闭方程. 计算中使用 S-A 湍流模型, QUICK 对流离散格式, SIM- PLEC 速度和压强耦合处理方法.

1.2 超车模型

超车车辆和被超车辆与文献[5]完全相同,均为简化直背式轿车 1:8 缩尺模型,车身长 L 为 512 mm,宽 W 为 206 mm,高 H 为 138 mm. 两车车头纵向距离为 D . 当 $-1 < D/L < 1$ 时,两车处于超车过程,当 $D/L = 0$ 时,处于并列行驶情况.

1.3 计算域及网格划分

在超车模拟过程中,坐标系固结在被超车辆上,原点位于该车底面中心处. 计算域为包围两车的长方体,尺度为 $19.6L \times 17W \times 4.3H$, 见图 1. 计算域在被超车辆前 $9.8L$, 后 $6.8L$, 右 $6.8W$, 左 $9.2W$, 计算域高度为 $4.3H$, 两车距离计算域底面均为 $0.02m$, 间距为 $0.46W$.

在计算初始时刻 D/L 为 -2 , 计算结束时刻 D/L 为 1.34 . 在这个范围内,两车相互之间影响较大.

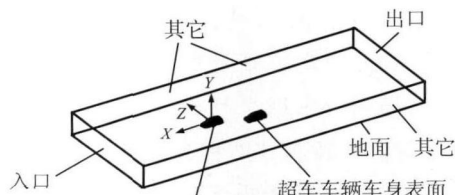


图1 计算域及边界条件

Fig. 1 Computational domain and boundary conditions

采用 FLUENT 软件动网格中弹性系数算法和局部重构算法,在每一时间步,根据车辆运动情

况对网格进行重构. 由于用动网格方法对超车过程的非定常流场进行计算,因此需采用非结构化四面体网格. 在车身附近网格分布较密,远离车身网格分布较稀疏. 最终生成网格数目为 36 万. 图 2 为 $Z=0$ 截面内网格分布情况.

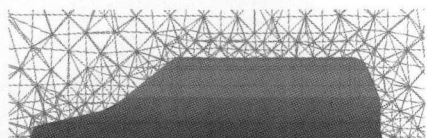


图2 $Z=0$ 截面内网格分布图

Fig. 2 Grid distribution at $Z=0$ cross section

1.4 边界条件

入口: 距离原点 $10.3L$ 处, 流速为被超车辆行驶速度, 沿 x 负向. 出口: 距离原点 $-9.3L$ 处, 该边界上流向梯度为零. 地面: 为无滑移运动壁面, 速度与入口流速相同. 被超车辆车身表面: 为固定边界, 速度为 0. 超车车辆车身表面: 为无滑移运动壁面, 速度为超车车辆与被超车辆相对速度, 沿 x 正向. 左右两侧和顶部三个面: 均为滑移运动壁面, 速度与入口流速相同(见图 1).

1.5 初始条件及计算参数

假设初始时两车速度均为被超车辆速度, 用定常计算方法得到初始流场. 再用动网格技术对超车过程进行计算, 该过程非定常计算时间步长为 $0.0001s$.

2 超车过程气动力及力矩

文献[5]已对单车模型计算结果进行了试验验证, 本文分别对两种超车速度进行计算. 被超车辆行驶速度均为 $60km/h$, 超车车辆速度分别是 $120km/h$ 和 $140km/h$, 与被超车辆相对速度分别为 $60km/h$ 和 $80km/h$.

2.1 被超车辆受到的气动力及力矩

图 3 为两种速度情况下被超车辆受到侧向力随 D/L 变化情况. 由该图可知, 被超车辆侧向力变化趋势基本相同. 当超车车辆车头追上被超车辆车尾时 ($D/L = -1$ 附近) 及两车处于并列行驶时 ($D/L = 0$ 附近), 侧向力分别达到正向最大值和负向最大值; 随着超车速度增加, 侧向力正向和负向最大值分别增加了 19% 和 12%. 可见, 超车速度越大, 被超车辆的最大侧向力越大.

图 4 为被超车辆侧倾力矩随 D/L 变化情况. 由图 4 可知, 侧倾力矩在两种速度下变化趋势基

本相同,与侧向力变化过程也基本上相同.超车速度增加使得被超车辆侧倾力矩最大值分别增加 29.8%和 20%.可知,超车速度越大,被超车辆的最大侧倾力矩越大.

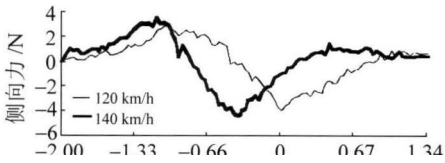


图 3 被超车辆的侧向力

Fig.3 Side forces of the overtaken car

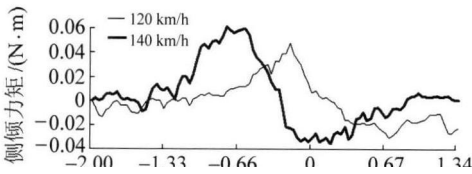


图 4 被超车辆的侧倾力矩

Fig. 4 Rolling moments of the overtaken car

图 5 为被超车辆横摆力矩随 D/L 变化情况.由图 5 可知,横摆力矩在两种速度下变化趋势基本相同,与侧向力变化情况不同的是:在 $D/L = -1$ 附近,横摆力矩达到的最大值在 Y 负向;在 $D/L = 0$ 附近,达到最大值在 Y 正向;速度为 140 km/h 时,在上两个位置处横摆力矩最大值均大于速度为 120 km/h 情况,分别增加了 24.4%和 30.4%.可见,超车速度越大,被超车辆最大横摆力矩越大.

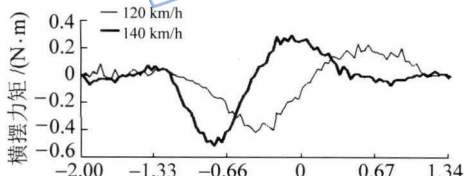


图 5 被超车辆的横摆力矩

Fig.5 Yawing moments of the overtaken car

2.2 超车车辆受到的气动力及力矩

图 6 为两种速度下,超车车辆受到侧向力随 D/L 变化情况.由图 6 可知,超车车辆侧向力变化趋势基本相同,与被超车辆侧向力变化趋势也基本相同.侧向力在 $D/L = -1$ 附近的最大值,在两种速度下基本相同,而在 $D/L = 0$ 附近的最大值,速度 120 km/h 情况要小于 140 km/h 情况.超车速度越大,超车车辆最大侧向力在 $D/L = -1$

附近基本相同,在 $D/L = 0$ 附近增加较大.

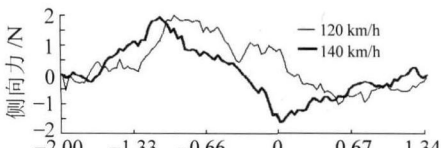


图 6 超车车辆的侧向力

Fig. 6 Side forces of the overtaking car

图 7 为超车车辆侧倾力矩随 D/L 变化情况.由该图可知,两种速度下侧倾力矩变化趋势基本相同.在 $D/L = 0$ 附近,都在 X 负向达到最大值.速度 140 km/h 时,侧倾力矩最大值大于速度 120 km/h 最大值 27.1%.可知超车速度越大,侧倾力矩在 X 负向最大值越大.

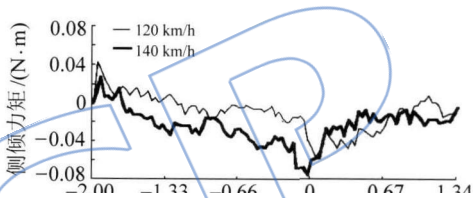


图 7 超车车辆的侧倾力矩

Fig. 7 Rolling moments of the overtaking car

图 8 为超车车辆受到横摆力矩随 D/L 变化情况.由该图可看到两种速度对超车车辆受到横摆力矩影响较大.当超车车速为 120 km/h,横摆力矩与被超车辆横摆力矩变化趋势基本相同;当为 140 km/h,在 $D/L = -1$ 附近达到 Y 负向最大值,在 $D/L = 0$ 附近达到 Y 正向最大值.速度 120 km/h 情况下横摆力矩要远远大于 140 km/h 的最大值.可知,超车速度越大,最大横摆力矩值越小.

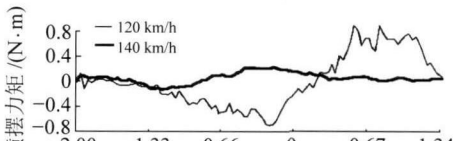


图 8 超车车辆的横摆力矩

Fig.8 Yawing moments of the overtaking car

3 两种超车速度下的流场分析

在两种速度下,两车受到力和力矩最大值大小和位置,由于受不同超车速度影响会发生改变.下面以被超车辆受到侧向力为例,对两种速度下流场进行分析.所取截面均为 $Y = 0.02\text{m}$ 处截面.

3.1 超车速度对被超车辆最大侧向力大小的影响

速度 120km/h 时,被超车辆在 Z 负向达到侧向力最大值位置为 $D/L = 0$, 速度 140km/h 时为 $D/L = -0.4$, 见图 3. 选取这两个位置流场分析超车速度对被超车辆最大侧向力大小的影响. 图 9 和图 10 为速度 140km/h 时,在 $D/L = -0.4$ 位置速度矢量图和压力分布图.

图 11 和图 12 分别是速度为 120km/h 时,在 $D/L = 0$ 时的速度矢量图和压力分布图.

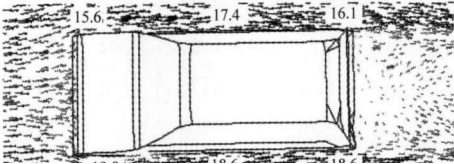


图 9 速度矢量图(140km/h, $D/L = -0.4$)
Fig. 9 Velocity field (140km/h, $D/L = -0.4$)

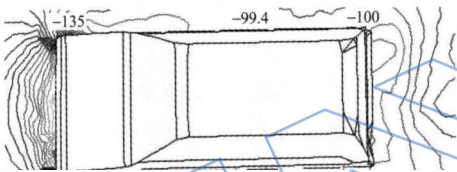


图 10 压力分布图(140km/h, $D/L = -0.4$)
Fig. 10 Pressure field (140km/h, $D/L = -0.4$)

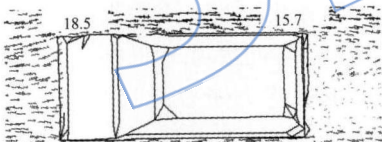


图 11 速度矢量图(120km/h, $D/L = 0$)
Fig. 11 Velocity field (120km/h, $D/L = 0$)

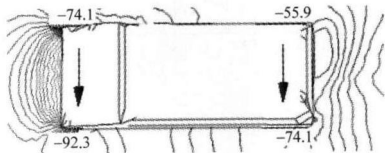


图 12 压力分布图(120km/h, $D/L = 0$)
Fig. 12 Pressure field (120km/h, $D/L = 0$)

由于两车相对位置和相对速度不同, 由图 9 和图 11 可看到, 速度 140km/h 时被超车辆两侧流速差整体大于速度 120km/h 时流速差, 使得速度 140km/h 时压强差整体大于速度 120km/h 时

压强差, 见图 10 和图 12, 因此速度为 140km/h 时被超车辆的侧向力大于速度 120km/h 的情况.

3.2 超车速度对被超车辆最大侧向力位置的影响

在 $D/L = -0.4$ 时, 被超车辆受到侧向力在速度 140km/h 时达负向最大值, 速度 120km/h 时还没达负向最大值. 选取这个位置流场分析超车速度对被超车辆最大侧向力位置影响. 图 13 和图 14 为速度 120km/h 时,在 $D/L = -0.4$ 处速度矢量图和压力分布图.

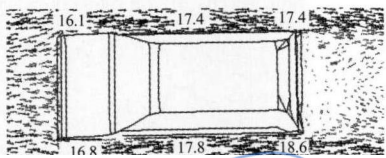


图 13 速度矢量图(120km/h, $D/L = -0.4$)
Fig. 13 Velocity field (120km/h, $D/L = -0.4$)

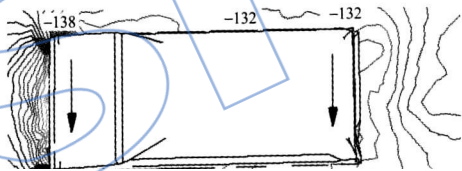


图 14 压力分布图(120km/h, $D/L = -0.4$)
Fig. 14 Pressure field (120km/h, $D/L = -0.4$)

对比图 9 和图 13 可知, 速度 140km/h 时被超车辆两侧流速差远大于速度 120km/h 时流速差, 使得速度 140km/h 时压强差也远大于速度 120km/h 时压强差, 见图 10 和图 14, 因此在 $D/L = -0.4$ 位置, 速度 140km/h 时被超车辆受到侧向力远大于速度 120km/h 的情况.

4 结 论

被超车辆侧向力和侧倾力矩在两种超车速度下变化趋势基本相同, 在 $D/L = -1$ 附近达正向最大值; 在 $D/L = 0$ 附近达负向最大值, 但横摆力矩与上相反. 超车速度越大, 被超车辆受到最大侧向力、侧倾力矩和横摆力矩越大.

在两种超车速度下超车车辆侧向力和侧倾力矩变化趋势基本相同, 与横摆力矩变化趋势区别较大. 其中侧向力与被超车辆侧向力变化趋势基本相同; 侧倾力矩在 $D/L = 0$ 附近达负向最大值. 超车速度越大, 超车车辆受到最大侧向力、侧倾力矩越大, 横摆力矩越小.

参考文献:

[1] 傅立敏, 扶原放. 轿车并列行驶湍流特性的数值模拟[J]. 吉林大学学报, 2005, 35(4): 358 362.
FU Limin, FU Yuanfang. Numerical simulation on characteristics of turbulent flow around two driving side by side[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2005, 35 (4): 358 362. (in Chinese)

[2] 张英朝, 傅立敏. 简单外形汽车隧道中会车过程的瞬态空气动力学数值模拟[J]. 吉林大学学报, 2006, 36(3): 302-306.
ZHANG Yingchao, FU Limin. Transient aerodynamic numerical simulation of simplified shape cars under condition of opposite side by side in tunnel [J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2006, 36(3): 302 306 . (in Chinese)

[3] 贺宝琴. 复数车辆超车过程中的气动干扰特性研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2005.
HE Baoqin. Study of aerodynamic interference characteristics during multi vehicle overtaking process [D]. Jilin: Jilin University, 2005. (in Chinese)

[4] 周伟, 谷正气. 超车情况下外流场计算仿真分析与研究[J]. 汽车工程, 2005, 27(3): 344 347.
ZHOU Wei, GU Zhengqi. Simulation analysis and study on external flow field around vehicle in overtaking[J]. Automotive Engineering, 2005, 27(3): 344 347. (in Chinese)

[5] 郑昊, 康宁, 蓝天. 侧风环境下行驶的直背式轿车气动力计算[J]. 航空动力学报, 2007, 22(11): 1858-1862.
ZHENG Hao, KANG Ning, LAN Tian. The calculation of aerodynamic force a car with the effect of crosswind[J]. Journal of Aerospace Power, 2007, 22(11): 1858 1862. (in Chinese)