

文章编号: 1005-0523(2008)01-0016-04

移动地面条件下的微型车外流场数值模拟研究

杜子学, 陈振明

(重庆交通大学 机电与汽车工程学院 重庆 400074)

摘要: 为研究地面边界条件对汽车外流场数值模拟的影响, 制定了两种方案对某微型车进行数值模拟计算, 并对结果进行分析。研究表明: 不同的地面边界条件对汽车的底部流场有很大的影响, 而对上部流场影响不大; 不同的地面边界条件对汽车的气动升力和前轮的升力影响很大, 对气动阻力和后轮升力影响较小; 在汽车的外流场数值模拟中, 采用移动地面条件可以提高数值模拟的精度。

关键词: 移动地面; 数值模拟; 气动阻力; 气动升力

中图分类号: U270.2

文献标识码: A

汽车空气动力学特性是汽车的重要性能, 随着汽车技术的提高和高等级公路的发展, 汽车速度不断提高, 在很大程度上影响着汽车的经济性、动力性和稳定性; 世界性的石油危机使石油价格一度暴涨和严重短缺, 促使各汽车厂家和汽车拥有者更加注意汽车的燃油经济性; 研究指出: 如能使气动阻力系数下降 20% ~ 25%, 汽车的燃油消耗可减少 8% ~ 20%^[1]。近年来, 国家已经出台政策, 大力鼓励使用经济型轿车。然而, 质量轻的汽车, 气动性能的影响尤为突出, 特别是重心靠后的汽车, 对前轮的升力特别敏感。

在对汽车的空气动力性能的研究中, 地面与汽车的相对运动即地面效应是难点之一。虽然研究者在风洞试验中采取了各种措施, 但是仍然有较大的误差。计算流体力学已经成为汽车空气动力学研究中的一种重要方法, 数值模拟可以克服风洞试验存在的洞壁干扰、试验段堵塞效应、雷诺数效应等的限制, 且采用动边界、动网格等方法可以较容易地解决汽车与地面之间相对运动问题^[2]。但是几何模型误差、湍流模型误差、离散误差的存在影响了结果的可信度。为了研究在数值模拟中采用固定地面与移动地面两种不同条件对计算结果的影响, 通过控制地面条件不同, 其它因素都相同, 来对某微型车进行数值模拟研究。

1 CAD 建模和计算域的确定

以某微型车为原型进行 CAD 建模, 基本参数为: 车长 3 856, 车宽 1 568, 车高 1 896, 轴距 2 430, 轮胎 155/60R12; 忽略刮雨器、后视镜、轮罩等外部突起物; 对轮腔、汽车底部作了简化。所取的计算域高度为 5 倍车高, 宽度为 4 倍车宽, 长度为 7 倍车长, 其中入口距汽车最前端 2 倍车长, 出口距汽车最后端 4 倍车长。

2 网格布局 and 边界条件的设定

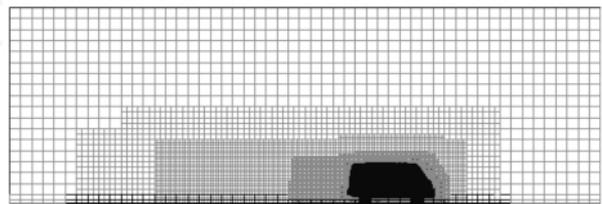


图 1 网格布局

计算网格采用的是非结构化的混合网格布局, 即采用四面体、六面体和三棱柱混合网格方案。如图 1, 车身被包围在一个长方体中, 长方体底面为地面。长方体内除车身外的空间用四面体进行网格划分,

收稿日期: 2007-01-22

基金项目: 教育部“春晖计划”资助项目(Z2004-1-55014)。

作者简介: 杜子学(1962-), 男, 河北邯郸人, 教授, 博士后, 从事现代汽车设计方法与理论的研究。

车身表面拉伸三棱柱,长方体以外的计算域使用六面体划分.生成网格的时候在车身表面之外生成了一个贴体的表面子层,其间通过拉伸的方法产生数层厚度约为 1 mm 的拉伸网格.这种拉伸网格的厚度以及与汽车表面的正交性与贴体性,保证了壁面函数的应用与边界层模拟的准确性.并且采用了逐层加密网格的方法,在曲率大的地方以及汽车尾部也进行另外的加密处理,使在节省内存消耗与计算时间的情况下又很好地保证了计算的精度.鉴于汽车以及其流场的对称性,只模拟半个车身.

主要边界条件如表 1.

表 1 数值模拟的边界条件

对比方案	方案 1	方案 2
入口边界	压强 $P = 0$ (即相对大气压), 气流速度 $u = 20$ m/s, 湍流强度 0.5%; 温度: $T = 20^\circ\text{C}$	
出口边界	压强 $P = 0$ (即相对大气压), 其余各变量分量梯度为 0; 温度: $T = 20^\circ\text{C}$	
地面条件	固壁无滑移条件	移动壁面 $u = 20$ m/s
车轮	固壁无滑移条件	旋转壁面条件, RPM = 691
其它边界	车身表面设为固壁无滑移条件, 其余流场壁面以及对称面为滑移条件.	

3 控制方程组和求解方法

考虑到所研究汽车运动的实际情况,认为汽车外流场是三维、定常、等温、不可压粘性湍流流动,所以控制方程组为时均 N-S 方程,并选择 RNG 的 $k-\varepsilon$ 紊流模型;对控制方程应用有限体积法进行离散;求解计算选用 SIMPLE 方法^[3].

4 计算结果分析

经过迭代计算,达到残差不大于 0.000 1 的收敛要求.正投影面积为 1.195 m^2 ;气动阻力系数,气动升力系数,前后轮升力系数如表 2:

表 2 气动力系数比较

	方案 1	方案 2	相对偏差
气动阻力系数	0.359 8	0.355 3	1.2%
气动升力系数	0.078 7	0.060 3	39.2%
前轮升力系数	-0.014 4	-0.022 5	56.3%
后轮升力系数	0.089 7	0.082 8	7.6%

从两方案的相比来看,移动地面条件下气动阻力系数较小,但与地面相对汽车静止时相差不大,这个结果与文献[4]相吻合;移动地面条件下的气动升力系数及前后轮升力系数也较小,其中气动升力系数和前轮升力系数相差较大,后轮升力系数相差不大.由计算结果可知,在数值模拟中是否考虑地面效应对气动升力的影响是非常大的,而对气动阻力的影响却不是很大.考虑地面效应可以提高数值模

拟的精度.

图 2 为汽车对称面速度矢量和压力分布图,可以看出,远前方气流在车头,由于受到阻挡,速度很快下降到接近于零,形成大面积的正压区;然后气流在前缘开始加速,直到挡风玻璃的后缘与顶盖前缘

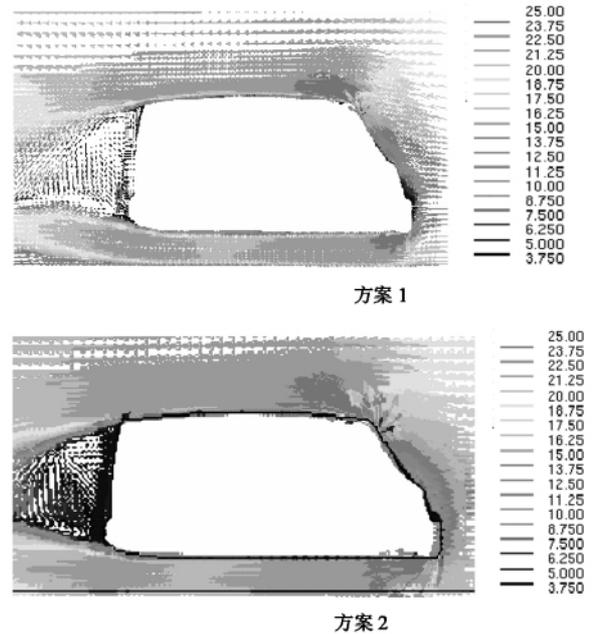


图 2 (a) 纵向对称面速度矢量分布

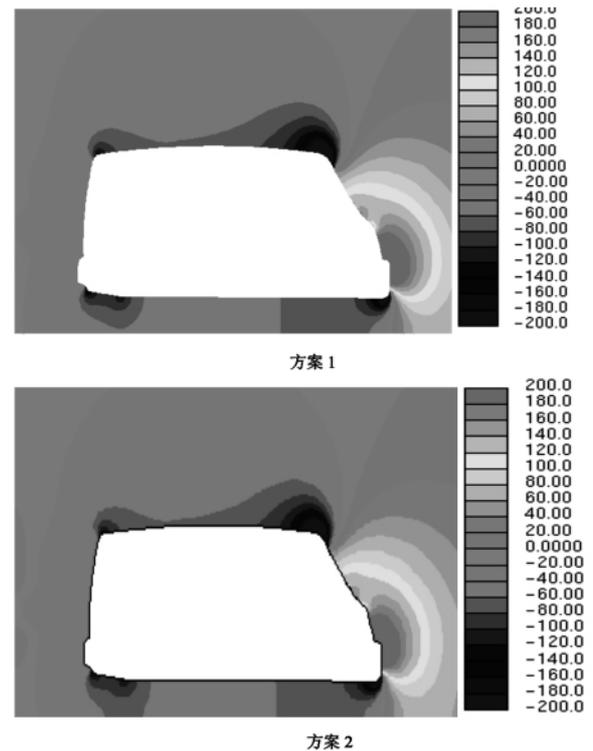


图 2 (b) 纵向对称面压力分布

过渡的地方到达最大值形成负压区;之后气流速度下降,但是维持在一个比较大的数值上;在整个顶盖附近形成大面积的负压区;当气流到达顶盖后缘与

后窗前缘的时候,开始减速,并发生了分离现象,与车身底部和两侧气流的相互作用下形成较大的旋涡,这是气动阻力产生的主要原因,约占气动阻力的40%^[1].两种方案相比,汽车的前后部和上部速度场和压力基本相似,这是两种方案气动阻力相差不大的主要原因.

同时如图2所示,由于汽车前下部为外凸轮廓导致表面气流加速,压力迅速降低.在汽车底部前缘处压力降至最低值后,由于汽车底部和地面之间的通道使得气流受到一定程度的滞止,汽车表面压力得到一定程度的回升.由图2可见,不考虑汽车与地面的相对运动即固定地面时,汽车前方的地面边界层效应使得进入汽车底部气流减小,在汽车底部的地面边界层效应使汽车底部流动有进一步减速的趋势,总效果使得汽车底部压力增加,导致计算误差增加.

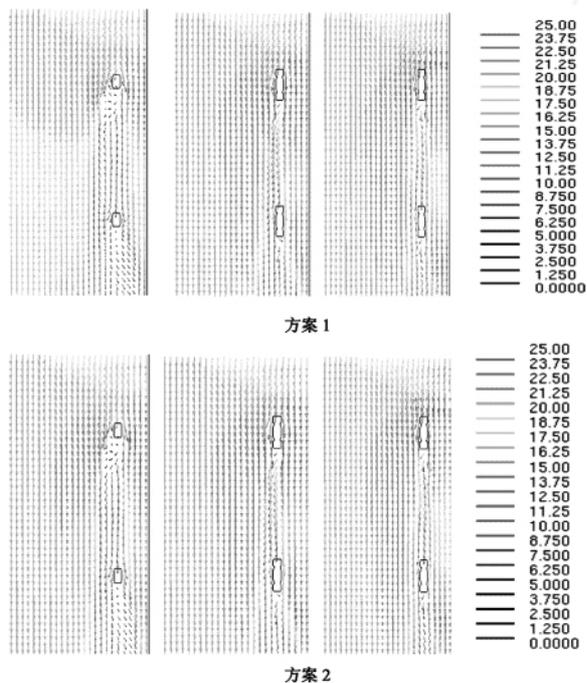


图3 (a) 距车底分别为 $D = 350\text{ mm}$ 200 mm , 50 mm 速度矢量分布

图3分别为地面相对于汽车不动与移动时到汽车底部的距离 $D = 350\text{ mm}$ 、 200 mm 、 50 mm 速度矢量分布和湍流强度分布.方案2由于车轮的旋转,减少前轮对来流的滞止,前轮的湍流区域大大减小,从而前轮的升力系数比方案1减小.两种方案中的后轮都被前轮后部杂乱的湍流淹没,地面效应对后轮的升力影响不大.

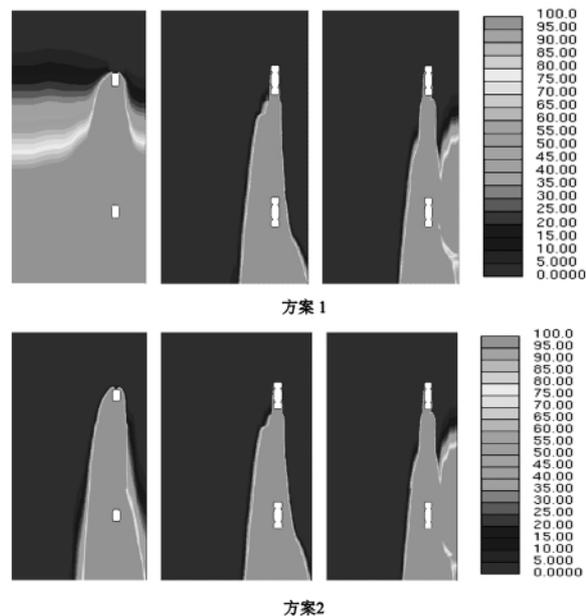


图3 (b) 距车底分别为 350 mm 200 mm , 50 mm 湍流强度分布

图4是纵向对称面车底到地板的速度矢量对比,很容易看出固壁边界层的作用对车底的气流的阻滞,这使得固定地面时的湍流区域较大,从而影响到数值模拟的精度.

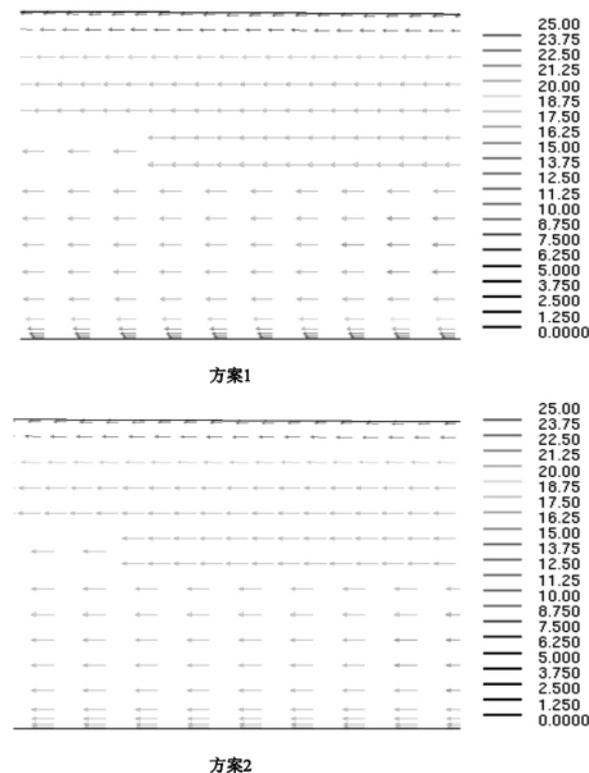


图4 纵向对称面车底与地面间的速度矢量分布

结论

(1) 计算流体力学虽然存在几何模型误差、湍流模型误差、离散误差,但仍然是汽车空气动力学研究中的一种重要方法,与汽车风洞试验相辅相成。

(2) 在汽车外流场的数值模拟中采用不同的地面边界条件,汽车外流场结构明显不同。地面移动与不动主要在于对汽车底部流场结构存在较大影响,而对汽车上部流场结构的影响较小。

(3) 从两种对比方案的计算结果分析可知,不同的地面边界条件对气动阻力和后轮升力影响较

小,而对气动升力、前轮升力影响很大。因此,在汽车外流场的数值模拟计算中,采用移动地面边界条件可以提高计算精度。

参考文献:

- [1] 傅立敏. 汽车空气动力学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [2] 张扬军, 徐石安, 涂尚荣等. 汽车空气动力学数值仿真研究进展[J]. 汽车工程, 2001, 23(2): 82-91.
- [3] 王福军. 计算流体力学分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [4] 傅立敏, 扶原放. 轿车外流场车轮转动时侧风效应的数值模拟研究[J]. 公路交通科技, 2006, 23(2): 147-150.

Numerical Simulation Study of the Moving Ground on External Flow Field around the Mini - bus

DU Zi - xue ,CHEN Zhen - ming

(School of Mechatronics and Automotive Engineering ,Chongqing Jiaotong University ,Chongqing 400074 ,China)

Abstract: To study the effect of the ground boundary on the numerical simulation of external flow field around the automobile ,two schemes are made to numerically simulate the flow field around a mini - bus and the author analyzes the results. The study reveals that the different ground boundary greatly affects the aerodynamic lift and the front tire lift but has little effect on the aerodynamic drag and the rear tire lift. Precision can be improved on the basis of the moving ground in the numerical simulation of the external flow field around the automobile.

Key words: moving ground ,numerical simulation ,aerodynamic drag ,aerodynamic lift

(责任编辑: 李 萍)