

文章编号: 10028055(2009)112471205

车模比例和风洞截面对轿车气动性能影响

徐晓明, 赵又群
(南京航空航天大学 能源与动力学院, 南京 210016)

摘 要: 采用三维不可压缩 N-S (Navier-Stokes) 方程和 RNG k-ε (renormalization group k-ε) 湍流模型仿真计算汽车流场特性. 控制界面的物理量应用二阶迎风差分格式获得, 并运用 SIMPLEC 压力修正法进行迭代. 选用不同车模比例和风洞截面形状进行仿真计算, 分析了车模比例和风洞截面形状对轿车气动性能的影响. 结果表明: 车模比例在一定范围内, 汽车气动参数变化平缓; 选用不同的车模比例在三种典型风洞模型中进行仿真计算, 结果相差很大.

关 键 词: 车模比例; 风洞截面; FLUENT; 汽车

中图分类号: U461 文献标识码: A

Effects of car models proportion and wind tunnel cross section on aerodynamic characteristics of car

XU Xiaoming, ZHAO Youqun
(College of Energy and Power Engineering,
Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: In consideration of the flow field characteristics of car aerodynamics, three-dimensional incompressible Navier-Stokes equations and RNG k-ε (renormalization group k-ε) model were used in simulation. Second-order upwind difference scheme was applied to obtain the physical quantities of control pedal, and SIMPLEC method was adapted for iteration. Different car model proportions and wind tunnel cross sections were simulated, the effects of car models proportion and wind tunnel cross section on aerodynamic characteristics of car were analyzed. The results show that: in a certain range of car models proportion, aerodynamic parameters of car changes gently; the simulation results of different car model proportions in three typical wind tunnel models vary greatly.

Key words: car models proportion; wind tunnel cross section; FLUENT; car

空气动力学特性直接影响汽车的动力性、经济性、操纵稳定性. 风洞试验是研究汽车空气动力学的传统有效的方法. 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, 数值仿真方法为汽车空气动力学的研究开辟了新的途径. 典型的计算流体力学 (CFD) 软件 FLUENT 就可以模拟车身细节、内流等复杂条件.

通过不同车模比例(汽车仿真模型与实车模型的尺寸比)和风洞截面形状的仿真计算, 期望找到与汽车模型相匹配的风洞截面形状.

1 模型前处理

1.1 CATIA 模型

图 1 为建立的 CATIA 模型.

收稿日期: 20081210; 修订日期: 20090225
基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)(2008AA11A140)
作者简介: 徐晓明(1982-), 男, 浙江杭州人, 硕士生, 主要研究方向为汽车空气动力学.

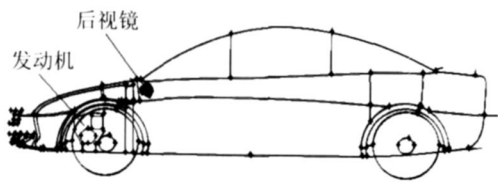


图 1 CATIA 模型

Fig 1 CATIA model

11 2 建立模拟风洞

模拟风洞要满足: 车头前部空间取车长的 3 倍, 车尾后部空间取车长的 5 倍, 车顶上部空间取车高的 5 倍, 车侧部空间取车宽的 5 倍^[1]. 常见的风洞截面形状有: 非对称切角矩形、半圆形和对称切角矩形.

11 3 网格划分

本文采用混合网格技术对风洞进行空间划分^[2], 距车身较远的地方采用结构网格, 车身表面和车身周围采用非结构网格, 结构和非结构网格过度均匀.

2 计算方法和边界条件

21 1 计算方法

模拟车速为 100km, 远低于 100m/s, 所以

此时的空气应属于不可压缩范围. 采用三维不可压缩 N2S (Navier2Stokes) 方程和 RNG k2E (renormalization group k2E) 湍流模型; 控制界面的物理量应用二阶迎风差分格式获得; 并运用 SIMPLEC 压力修正法进行迭代.

21 2 边界条件

风洞入口为速度入口边界条件, 车速为 100 km/h (28 m/s), 方向垂直入口面, 湍流度设为 01 5%, 因为湍流度较小, 故将湍流黏性系数和层流黏性系数之比设为 10^[3]; 出口为压力出口边界条件, 大小为标准大气压; 壁面为无流边界, 速度为零^[4].

3 车模比例和风洞截面形状的仿真分析

31 1 车模比例的影响

通过车模比例的变化来改变阻塞比(汽车正面投影面积与风洞试验段横截面积比), 考虑到阻塞比小于 5%, 取 01 325, 01 35, 01 4, 01 45, 01 5, 01 55, 01 6, 01 65, 01 659 进行仿真, 选用试验段截面形状为非对称切角矩形的风洞模型, 如图 2 所示. 表 1 为不同阻塞比的仿真结果.

表 1 不同阻塞比的仿真结果
Table 1 Result for different blockage ratios

车模比例	阻塞比/%	阻力/N	阻力中黏性力/N	阻力中压力/N	阻力系数	升力/N	升力中黏性力/N	升力中压力/N	升力系数
01 2	01 46	23 56	21 64	201 92	01 2422	81 90	01 15	81 75	01 0915
01 225	01 58	291 85	31 25	261 60	01 2423	121 45	01 20	121 25	01 1010
01 25	01 73	361 91	41 02	321 89	01 2426	151 79	01 28	151 51	01 1038
01 275	01 87	451 11	41 87	401 24	01 2451	181 07	01 34	171 73	01 0982
01 3	11 04	531 81	51 74	481 07	01 2457	191 16	01 37	181 79	01 0875
01 325	11 22	631 16	61 64	561 52	01 2457	221 85	01 42	221 43	01 0889
01 35	11 41	731 57	71 67	651 90	01 2468	291 12	01 46	281 66	01 0977
01 4	11 84	961 76	91 99	861 77	01 2485	361 10	01 62	351 48	01 0927
01 45	21 33	1231 26	121 49	1101 77	01 2501	471 46	01 79	461 67	01 0963
01 5	21 88	1531 46	151 45	1381 01	01 2522	591 76	01 98	581 78	01 0982
01 55	31 49	1861 63	181 51	1681 12	01 2535	661 69	11 21	651 48	01 0906
01 6	41 15	2251 18	221 16	2031 02	01 2571	831 96	11 46	821 50	01 0959
01 65	41 87	2641 94	251 96	2381 98	01 2577	951 94	11 67	941 27	01 0933
01 659	51 00	2731 22	261 61	2461 61	01 2590	971 98	11 76	961 22	01 0929

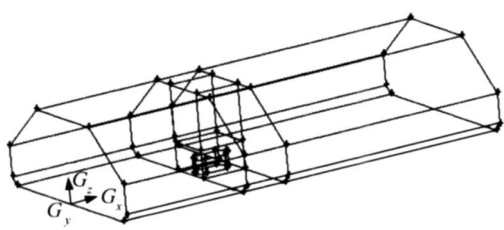


图 2 截面形状为非对称切角矩形的风洞模型
Figl 2 Wind tunnel with n2symmetry
cu2angle rectangular

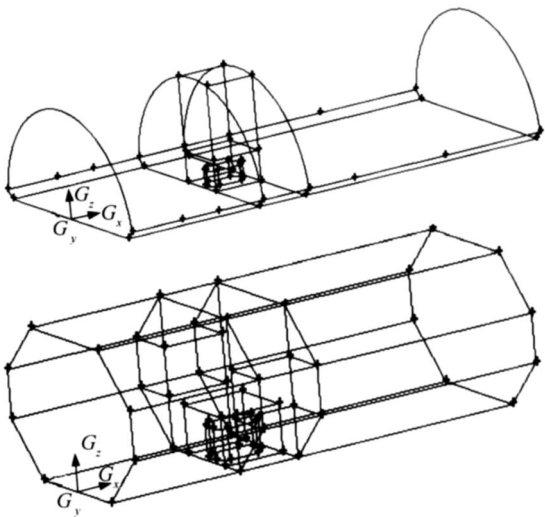


图 5 截面形状为半圆形和对称切角矩形的风洞模型
Fig 5 Wind tunnel modeling with semicircle and
symmetry cut2angle rectangular cross section

图 3 和图 4 为不同阻塞比的阻力系数和升力系数. 结合表 1, 阻力系数随阻塞比增大而增大, 阻塞比在 01 87%~ 11 22% 和 41 15%~ 41 87% 之间变化平缓. 升力系数变化较复杂, 阻塞比小于 11 04% 较阻塞比大于 11 04% 变化明显. 综上分析, 阻塞比为 11 04%~ 11 22% 和 41 15%~ 41 87% 的气动参数变化较平缓.

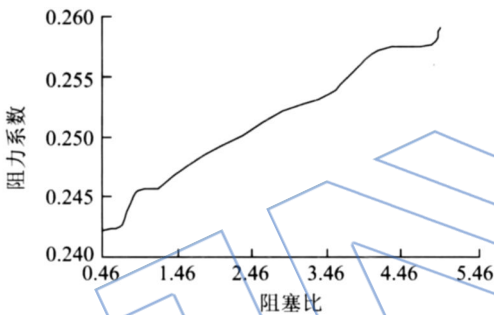


图 3 不同阻塞比的阻力系数
Fig. 3 Drag coefficient of different blockage ratios

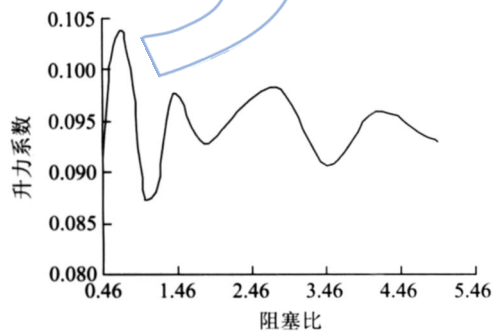


图 4 不同阻塞比的升力系数
Fig. 4 Lift coefficient of different blockage ratios

3l 2 风洞截面形状的影响

图 5 是试验段截面形状为半圆形和对称切角矩形的风洞模型.

选取阻塞比为 01 46%, 01 58%, 11 04%, 11 22%, 41 15%, 41 87% 进行仿真. 表 2 和表 3 为仿真结果. 阻塞比为 01 46%, 01 58%, 11 04%,

表 2 三种风洞截面形状的阻力系数
Table 2 Drag coefficient of three cross sections of
wind tunnel

阻塞比/%	阻力系数		
	非对称切角矩形	半圆形	对称切角矩形
01 46	01 242 2	01 245 6	01 239 3
01 58	01 242 3	01 246 8	01 239 4
11 04	01 245 7	01 251 0	01 247 7
11 22	01 245 7	01 249 8	01 247 4
41 15	01 257 1	01 253 9	01 290 7
41 87	01 257 7	01 260 4	01 293 7

表 3 三种风洞截面形状的升力系数
Table 3 Lift coefficient of three cross sections of
wind tunnel

阻塞比/%	升力系数		
	非对称切角矩形	半圆形	对称切角矩形
01 46	01 091 5	01 101 7	01 082 6
01 58	01 101 0	01 093 4	01 097 4
11 04	01 081 5	01 093 9	01 083 5
11 22	01 088 9	01 089 1	01 087 1
41 15	01 095 9	01 097 3	01 104 7
41 87	01 093 3	01 093 8	01 102 9

11 22% 时, 对称切角矩形和非对称切角矩形的阻力系数较接近; 阻塞比为 41 15%, 41 87% 时, 半圆形和非对称切角矩形的阻力系数较接近. 阻塞比为 01 46%, 01 58%, 11 04% 时, 对称切角矩形和非

对称切角矩形的升力系数较接近;阻塞比为 11 22%, 41 15%, 41 87% 时, 半圆形和非对称切角矩形的升力系数较接近.

4 两种简易车模的仿真分析

4.1 含后视镜模型

图 6 为含后视镜模型.

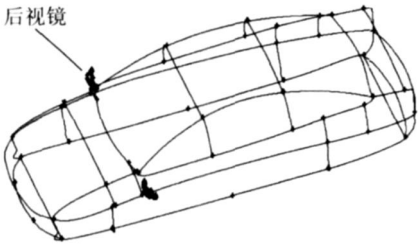


图 6 含后视镜模型

Fig 6 Car modeling with rearview mirror

表 4 为含后视镜模型的气动参数. 阻塞比在 11 22%~ 21 33% 和 31 49%~ 41 15% 的含后视镜模型阻力系数变化较平缓, 阻力系数最大差距: 阻塞比为 21 88% 较阻塞比为 01 87% 高出约 8%. 阻塞比在 01 58%~ 01 87% 和 11 22%~ 11 41% 的含后视镜模型升力系数变化较平缓, 升力系数最大差距: 阻塞比为 31 49% 较阻塞比为 01 87% 低约 18%. 综上分析, 阻塞比在 11 22%~ 11 41% 的含后视镜模型气动参数变化较平缓.

表 4 含后视镜模型的气动参数

Table 4 Aerodynamic parameter of car modeling with rearview mirror

阻塞比/ %	阻力/N	阻力系数	升力/N	升力系数
01 46	18 62	01 189 2	- 24 93	- 01 254 0
01 58	231 61	01 190 2	- 291 78	- 01 239 3
01 73	291 38	01 192 2	- 361 06	- 01 236 1
01 87	341 72	01 188 7	- 431 09	- 01 234 2
11 04	431 23	01 189 9	- 451 96	- 01 239 2
11 22	511 24	01 198 5	- 631 76	- 01 246 0
11 41	591 25	01 198 9	- 731 61	- 01 246 7
11 84	771 71	01 198 6	- 1041 75	- 01 268 3
21 33	971 53	01 197 8	- 1301 55	- 01 264 2
21 88	1241 06	01 204 6	- 1661 67	- 01 273 2
31 49	1461 10	01 198 8	- 2031 81	- 01 276 1
41 15	1741 29	01 199 0	- 2341 82	- 01 267 3
41 87	1981 32	01 192 8	- 2471 78	- 01 242 0
51 00	2011 78	01 191 1	- 2631 99	- 01 250 4

4.2 含车轮模型

图 7 为含车轮模型.

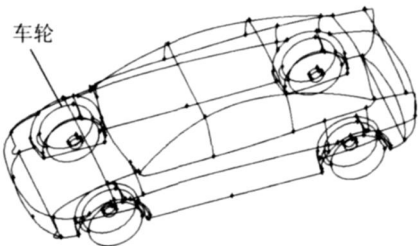


图 7 含车轮模型

Fig 7 Car modeling with wheels

表 5 为含车轮模型的气动参数. 阻塞比在 01 46%~ 01 73% 和 31 49%~ 41 15% 的阻力系数变化平缓, 阻力系数最大差距: 阻塞比为 5% 较阻塞比为 01 73% 高出近 12%. 阻塞比在 01 46%~ 01 73%、21 33%~ 41 15% 和 41 87%~ 51 00% 的升力系数变化平缓, 升力系数最大差距: 阻塞比为 5% 较阻塞比为 11 04% 高出近 192%. 综上分析, 阻塞比在 01 46%~ 01 73% 的含车轮模型气动参数变化较平缓.

表 5 含车轮模型的气动参数

Table 5 Aerodynamic parameter of car modeling with wheels

阻塞比/ %	阻力/N	阻力系数	升力/N	升力系数
01 46	211 22	01 216 1	21 81	01 028 6
01 58	261 87	01 216 3	31 81	01 030 7
01 73	331 11	01 216 0	51 03	01 032 8
01 87	401 75	01 219 8	31 64	01 019 6
11 04	481 93	01 221 8	21 50	01 011 3
11 22	571 81	01 224 0	71 37	01 028 6
11 41	661 80	01 225 4	91 02	01 030 5
11 84	891 02	01 227 9	81 42	01 021 6
21 33	1111 75	01 228 9	141 01	01 028 7
21 88	1411 76	01 232 6	161 80	01 027 6
31 49	1721 74	01 236 3	191 34	01 026 4
41 15	2051 39	01 236 7	211 86	01 025 2
41 87	2401 09	01 233 8	331 21	01 032 3
51 00	2541 44	01 241 3	341 79	01 033 0

5 结 论

1) 车模比例的影响: 选取多个不超过 5% 的阻塞比进行仿真计算, 阻塞比为 11 04%~ 11 22% 和 41 15%~ 41 87% 的气动参数变化较平缓.

2) 风洞截面形状的影响: 阻塞比小, 对称切角矩形和非对称切角矩形的气动参数较接近; 阻塞比大, 半圆形和非对称切角矩形的气动参数较接近.

3) 两种简易车模的仿真分析: 阻塞比为 11.22%~11.41% 的含后视镜模型气动参数变化较平缓; 阻塞比为 01.46%~01.73% 的含车轮模型气动参数变化较平缓.

参考文献:

[1] Lan frit M. Best practice guidelines for handling automovie external aerodynamics with FLUENT[C]// FLUENTps Second Biennial European Automotive CFD Conference (EACC). Frankurt, Germany:[s. n.], 2005: 292301

[2] 赵又群, 张海滨. 含地面效应、发动机舱的轿车流场仿真 [J]. 中国机械工程, 2008, 19(17): 2138221411

ZHAO Youqun, ZHANG Haibin. Simulation analysis of car flow field with underhood and ground effect[J]. China Mechanical Engineering, 2008, 19(17): 2138221411 (in Chinese)

[3] 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): 29222951

XU Xiaoming, ZHAO Youqun. Effect of models and ground clearance on aerodynamic characteristics of car[J]. Journal of Aerospace Power, 2009, 24(2): 29222951 (in Chinese)

[4] 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): 185821862.

ZHENG Hao, KANG Ning, LAN Tian. Calculation of aerodynamic forces of a car with the effect of crosswind [J]. Journal of Aerospace Power, 2007, 22(11): 185821862 (in Chinese)