

大学生方程式赛车空气动力学套件的流场分析

张强华,李 强,丁一慧,张可成

(浙江科技学院 机械与汽车工程学院,杭州 310023)

摘 要: 针对大学生方程式赛车外形的设计要求及空气动力学套件的结构特点,采用 ANSYS 软件对赛车流场进行分析并优化了动力学套件结构。首先根据赛车整车外形及空气动力学套件各个部分,如前翼、侧翼及尾翼的设计参数建立 CATIA 数学模型,再利用 ANSYS 对其空气动力学套件各部分及整车进行流场分析,最后用分析结果来优化原设计参数,使赛车整体空气动力学性能达到较好的水平。通过不同车速仿真分析表明,车速在 30 m/s 时,优化后的空气动力学套件能使整车的下压力由原来的 40 N 提高到 1 590 N,而前轮气动阻力能减少约 41.6%,表明赛车在高速行驶过程中具有更为良好的操控性能和空气动力学特性。

关键词: 大学生方程式赛车;流场分析;空气动力学套件;优化设计

中图分类号: U469.696.02

文献标志码: A

文章编号: 1671-8798(2016)01-0067-05

Flow field analysis on aerodynamics packages of a certain racing car in Formula Student China

ZHANG Qianghua, LI Qiang, DING Yihui, ZHANG Kecheng

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Zhejiang University of Science and Technology,
Hangzhou 310023, China)

Abstract: Aiming at the structure characteristics of appearance and aerodynamics packages of racing car in Formula Student China, a method for analyzing carload flow field using ANSYS software and optimizing structure parameters of aerodynamics packages was put forward. Firstly, according to each part of aerodynamics packages of the racing car, the CATIA mathematical models were established based on design parameters, such as front wing, lateral wing, caudal wing. Secondly, flow field simulation analysis of the racing car was built by using ANSYS software after established models. Then each part of aerodynamics packages was analyzed to find out the relationship of all forces. Finally, previous design parameters were optimized based on calculation results of numerical modeling. The performance of aerodynamics packages was reached up to better level than before. Through different speed simulation, the

收稿日期: 2015-10-10

基金项目: 浙江省公益性技术应用研究计划项目(2015C32075);浙江省自然科学基金项目(LY13E050023);浙江科技学院学科交叉预研专项项目(2013JC04Y)

作者简介: 张强华(1992—),男,山东省威海人,硕士研究生,研究方向为汽车机电一体化仿真控制。

results showed that the down force of racing carload make up to 1 590 N compared to previous 40 N and the aerodynamics drag forces of front wheels decrease about 41.6% at the speed of 30 m/s using optimized packages, which indicates that the certain racing car has perfect handling performance and aerodynamic characteristic during high speed condition.

Keywords: Formula Student China (FSC); flow field analysis; aerodynamics packages; optimization design

中国大学生方程式汽车大赛,是一项由全国高等院校汽车工程和汽车相关专业的在校大学生共同参与的汽车设计与制造比赛^[1]。赛事要求各车队按照比赛规则和赛车制造标准,在一年内自主设计并制造出在加速、操纵性、制动等方面表现优异的小型单座方程式赛车,并完成动态比赛。这些比赛要求赛车完成大量的高负荷行驶工况,比如高速过弯、高速制动等。

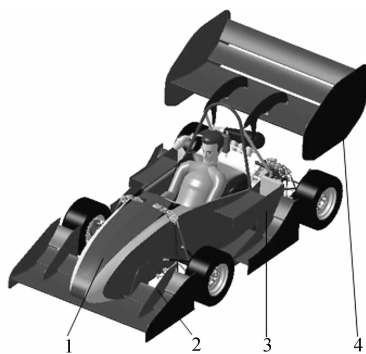
为了取得好成绩,就要在以弯道为主的赛道上发挥赛车的最佳性能,提升赛车过弯的速度及出弯后的加速能力^[2]。有效提升赛车的下压力就能够增大轮胎与地面间的附着力^[3],缓解赛车弯道加速中出现的侧滑现象。控制赛车轮胎与地面间作用力的大小和方向就要依靠空气动力学套件的设计^[4]。

赛车设计完后往往直接开始制造、调试,而没有对其空气动力性能进行分析研究,比如前翼、侧翼和尾翼等关键参数对加速及制动等工况的影响。另外,由于该赛事的开发周期较短,加上资金与实验条件等因素的限制,无法对车辆空气动力学性能进行风洞试验的对比分析,也无法直接准确获取空气动力学套件的结构参数^[5]。通过 ANSYS 软件对车辆的空气动力学套件进行流场分析,获得空气动力学套件各部件的最佳尺寸参数,进而快速匹配整车设计参数,对赛车在加速、制动、过弯等工况下发挥最佳性能具有优化与指导作用。

1 赛车车身造型

作为一款方程式赛车,车子的外形不仅要有很强的视觉冲击,而且要符合空气动力学运动特性。良好的空气动力学特性会降低赛车行驶过程中空气阻力,减少燃油消耗,并能增大下压力^[6-7],使赛车容易操控。因此,合理布置车身各部分的位置,设计车身各部位的形状显得尤为重要,赛车外形如图 1 所示。

Attacker-2015 赛车的空气动力学套件包括前翼(又称鼻翼)、侧翼及尾翼。赛车行驶过程中,气流最先到达前翼,前翼控制着空气在赛车其余部位的流动,同时起到提供下压力和减小前轮气动阻力及引流的作用;侧翼的引入,不仅使整车在结构上更加紧凑,还减小了后轮的气动阻力,增加了重心处的下压力,使赛车操纵更加平稳;尾翼为赛车后部提供下压力,它占全部下压力的 20%~25%。赛车模型部分数据:车长 1 920 mm,车宽 1 370 mm,车高 1 028 mm,车轮半径 228 mm,轴距 1 540 mm,质心高度 280 mm。车辆空气动力学套件就是围绕着改善其气动阻力、气动升力及空气动力稳定性展开的,车辆所受气动力见图 2。



1—车身外形;2—前翼;3—侧翼;4—尾翼。

图 1 赛车整体空气动力学套件

Fig. 1 Aerodynamic kit of racing car

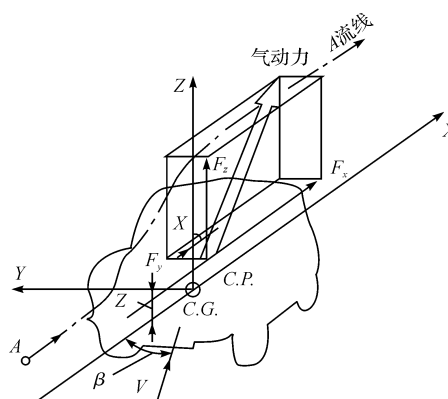


图 2 车辆上的坐标系和气动力

Fig. 2 Coordinate system and aerodynamic forces of car

将整个车辆外表面上的压力合成得到作用于车辆上的合力^[8],称为气动力 F 。把气动力 F 按照车辆坐标系分解成气动阻力 F_x ,气动升力 F_z 及侧向分力 F_y 。升阻比就是在同一迎角下气动升力与阻力的比值,较大的升阻比会使车辆负升力增大,而大的负升力会增加轮胎的附着力,即地面给轮胎的驱动力也增大,有利于提升车辆过弯速度,提高整车的稳定性。

2 前翼的空气动力学模拟分析

为了保证有更多的气流流向水箱,使前翼对发动机冷却系统的影响降到最小,因此将前翼内侧设计成两片式结构。考虑到前翼外侧气流受前轮干扰强烈^[9],同时,为了方便前翼固定,故利用隔板划出气流通道,分开两股不同作用的气流。

前翼的尺寸为680 mm×1 340 mm×400 mm。在经过多次分析调整后,得到了襟翼的攻角及位置。但由于主翼为一体式设计,其攻角变化不仅影响下压力,还会对侧翼及水箱冷却造成影响。于是选取3种主翼攻角+1°,−1°和−2°进行流场分析,模拟计算结果如表1所示。图3为3种不同主翼攻角时的流场分析图。

由表1及图3可知:当主翼攻角为+1°时,前翼的下压力最大,达到255 N,虽然最大的升阻比有利于赛车高速过弯,但气流会降低侧翼风道的进风量,导致水箱下部冷却不足,也会把气流引向赛车手头部,在增大了气动阻力的同时降低了行车安全性;当主翼攻角为−2°时,水箱冷却效果得到改善,但前翼下压力和升阻比过小,易使赛车高速行驶时翘头,导致前轮离地,致使赛车失控而发生危险;当主翼攻角为−1°时,下压力和升阻比均比−2°时大,且迎面的风能较多地进入侧翼风道,水箱冷却效果较优。综合赛车前方下压力及后方的气流对水箱的冷却效果,最终将主翼攻角定为−1°。

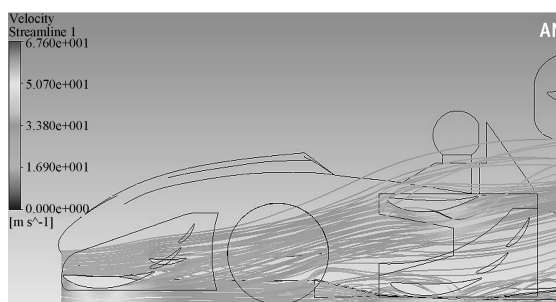
3 侧翼的空气动力学模拟分析

设计侧翼可以最大限度地发掘空气动力学潜力,提升操纵稳定性,增加整车美观性。在设计过程中,对6种设计方案进行了流场分析,各侧翼结构如表2所示,侧翼总长约700 mm,宽度约为520 mm,其受力情况如表3所示。由表2结构及表3数据分析可知:1号侧翼由于内侧第一襟翼攻角过大,会把来风向斜上方引导,影响水箱下部的冷却,且侧翼位置过低,会使下压力过小;2号侧翼虽然加高了,并在内侧留出风道,增加了下压力,但同时主翼与各襟翼间的间隙变大,致使气流严重分离,后轮气动阻力减小不明显;3号侧翼采用3片襟翼设计,在增加了下压力的同时也增大了阻力,且侧翼整体偏高,影响赛车手逃生;4号侧翼去掉了中

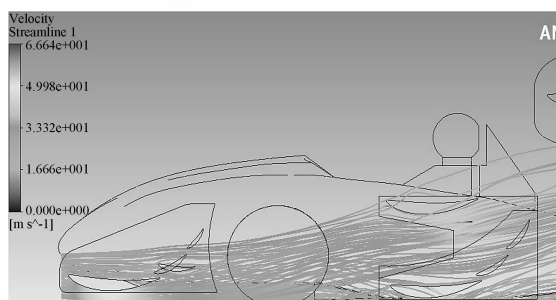
表1 不同攻角时的前翼受力

Table 1 Front wing force of different attack angles

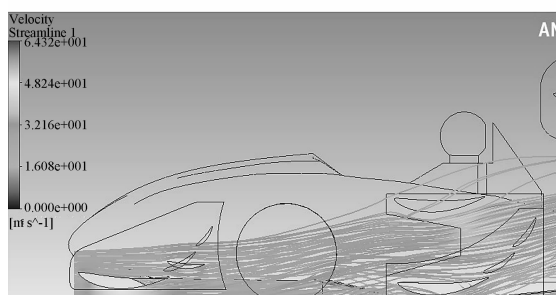
主翼攻角/(°)	升力/N	阻力/N	升阻比
+1	−255.2	41.4	−6.2
−1	−181.9	34.7	−5.2
−2	−151.4	34.1	−4.4



(a) 前翼的主翼攻角为+1°



(b) 前翼的主翼攻角为−1°

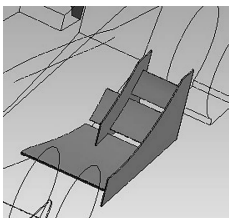
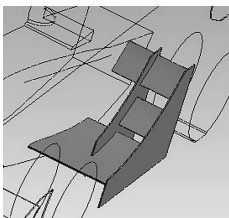
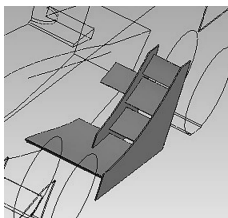
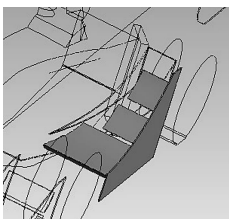
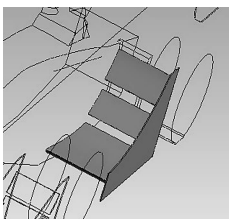
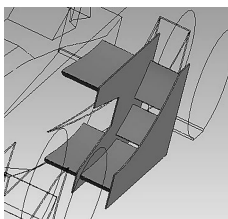


(c) 前翼的主翼攻角为−2°

图3 3种主翼攻角时的ANSYS流场分析图
Fig. 3 Flow field analysis diagram of ANSYS of three different main wing angles of attack

表 2 不同侧翼结构

Table 2 Different structures of lateral wing

侧翼序号	1	2	3
布置结构			
侧翼序号	4	5	6
布置结构			

间隔板,在减重的同时可为水箱提供良好的冷却,但使侧翼难以固定,且下压力不足;5号侧翼直接将襟翼延伸至车身,方便固定,但气流与襟翼表面贴合较好,分离程度轻,致使水箱得不到足够的冷却;6号侧翼设计成内侧2片、外侧3片、中间用隔板隔开,在满足水箱散热的时候,能提供足够高的下压力,后轮的减阻效果也较明显。通过对6种不同侧翼结构的优劣进行综合对比分析,最终选用6号侧翼结构。

表 3 不同侧翼结构的受力

Table 3 Lateral wing forces of different structures

侧翼编号	升力/N	阻力/N	升阻比
1	-55.8	21.3	-2.62
2	-88.1	30.4	-2.90
3	-95.6	31.9	-3.00
4	-66.5	24.8	-2.68
5	-82.5	30.4	-2.71
6	-85.9	32.7	-2.63

4 尾翼的空气动力学模拟分析

赛车在制动过程中过大的加速度会导致重心前移^[10-11],如果后轮没有较大的下压力,就会使其失去抓地力而发生甩尾的危险,因此尾翼的结构对赛车制动稳定性有很大的影响。

通过分析可知,使用组合翼能明显提升尾翼的下压力。这是因为气流流经两翼间缝隙时,前方襟翼的导流作用使气流更加贴合后方的襟翼,因此,后方的襟翼使用更大的攻角不会产生明显的气流分离现象^[12]。据此,尾翼采用3片式结构,攻角越大,下压力越大,但同时阻力也越大。为了得到最佳升阻比,分析了不同的主翼攻角,最终确定尾翼的布置如图4所示。

整车的空气动力学套件结构设计完成后,尾翼横向长度为1340mm,截面均呈月牙形,分别在3种不同工况下对整车的外部流场进行分析,具体如图5所示。

由图5可知,赛车运行过程中的车鼻和尾翼部分受到的空气阻力较大,尤其是尾翼受到的空气阻力最大。因此,合理设计车身外形曲线并合理布置尾翼对于减小风阻及增大下压力具有重大意义。3种工况下的仿真试验结果如表4所示。表中, F_d 为气动阻力, F_l 为气动升力。

由表4可知,车速越大,赛车受到的气动阻力与气动升力就越大;在同一车速下,车身各部位的气动升力总是大于气动阻力,这一现象在前翼和尾翼上较为明显。相比于前翼和侧翼,尾翼在赛车运行过程中受到的下压力最大。另外,在车速为30m/s时,空套使前轮气动阻力相比无空套时减小约41.6%,侧

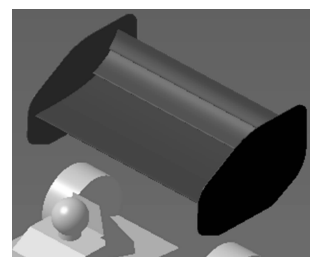


图 4 尾翼布置图

Fig. 4 Arrangement of caudal wing

翼则使后轮气动阻力减小约 23.1%,同时整车下压力达到了 1 590 N,阻力为 744 N,升阻比为 2.14。由此可以看出,优化后的空套能够满足赛车对于高速工况的要求。

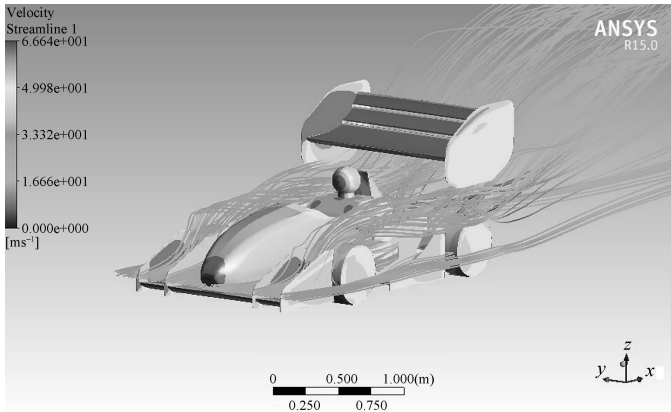


图 5 赛车整车外流场分析

Fig. 5 Outflow field analysis of racing car

表 4 不同工况下整车流场分析结果

Table 4 Flow field analysis result of car under different operating conditions

车速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	前轮		后轮		前翼		侧翼		尾翼	
	F_d/N	F_l/N	F_d/N	F_l/N	F_d/N	F_l/N	F_d/N	F_l/N	F_d/N	F_l/N
10	10.2	14.0	7.2	12.2	10.6	-45.4	8.6	-19.8	34.6	-120.2
20	26.8	43.2	21.6	36.6	30.2	-145.8	28.4	-41.4	138.1	-497.2
30	60.2	98.4	49.6	84.2	68.2	-339.6	74.2	-141.2	309.1	-1 110.6

5 结 语

前翼襟翼的气动攻角越大,对翼片上方的气流的阻碍作用也越明显,上、下翼面的流速差就越大,产生的气动负升力就越大,有利于增大行驶过程中的下压力。当襟翼的攻角超过某一值时,整车的气动阻力会有所下降,应该合理选取攻角角度。侧翼采用内侧 2 片、外侧 3 片、中间用隔板的结构,这样既满足水箱散热的要求,又为赛车提供较高的下压力,同时后轮的减阻效果较明显。尾翼的加装可以使赛车在过弯时获得较高的下压力,有效降低制动时重心前移而导致后轮失去抓地性,有利于高速过弯,表明充分利用空气动力学原理能够提高比赛成绩。

参考文献:

[1] 李强,黄富平,吴坚. 车辆工程专业学生创新实践能力培养:基于大学生方程式汽车大赛[J]. 浙江科技学院学报, 2015,27(3):237.

[2] 邓召文,王兵. FSC 赛车空气套件 CFD 优化设计[J]. 汽车实用技术,2014(3):24.

[3] MCKAY N J, GOPALARATHNAM A. The effects of wing aerodynamics on race vehicle performance [R/OL]. (2002-12-02)[2015-08-03]. <http://papers.sae.org/2002-01-3294/>.

[4] 宋涛,胡瑞. 空气动力学在 F1 赛车上的运用[J]. 小型内燃机与车辆技术,2014,43(4):95.

[5] 曾飞云. 万得 FSC 赛车空气动力学特性研究[D]. 锦州:辽宁工业大学,2014.

[6] 潘小卫,谷正气,何忆斌,等. F1 赛车气动特性的 CFD 仿真和试验研究[J]. 汽车工程,2009,31(3):276.

[7] MOKHTAR W A. Aerodynamics of high-lift wings with ground effect for race cars[R/OL]. (2008-01-14)[2015-07-27]. <http://papers.sae.org/2008-01-06561>.

[8] 黄天泽,黄金陵. 汽车车身结构与设计[M]. 北京:机械工业出版社,2007:106.

[9] 牛贺功. 基于 CFD 的 FSAE 赛车外流场数值模拟及优化[D]. 青岛:青岛理工大学,2014.

[10] 吴超,邓召文,王迪. FSC 方程式赛车空气动力学套件性能分析[J]. 湖北汽车工业学院学报,2015,29(2):29.

[11] 余志生. 汽车理论[M]. 5 版. 北京:机械工业出版社,2009.

[12] SKINNER P J, CLIFFORD A T, MARTINS J C F. Effects of wing adjustment mechanisms on the aerodynamics of an open wheel racing car model [R/OL]. (1996-12-01)[2015-08-17]. <http://papers.sae.org/962520/>.