

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.11.012

## 基于 Fluent 分析的玻璃钢车身设计制作<sup>\*</sup>

朱发旺,尉庆国

(中北大学机械与动力工程学院,太原 030051)

**摘要:** 针对中国大学生方程式赛车大赛规则,依据车架模型为参考,结合汽车人机工程学和空气动力学理论,用三维软件 CATIA 绘制出车身、轮胎以及人体模型等,并进行装配。运用网格划分软件对装配体进行网格处理,再利用 Fluent 软件对赛车进行仿真分析,对模型上的锐边或其它不符合加工工艺的部位进行优化处理。提高模型分析结果的可用性,便于加工制作。研究表明,依据 Fluent 分析结果,结合加工方法、加工工艺以及成本等多种因素,采用挤塑板来制作车身模具,使用玻璃钢来制作车身,并对车身进行打磨上色处理,多道工序处理后的车身符合比赛要求。

**关键词:** 人机工程学; 网格划分; 仿真分析; 加工工艺; 玻璃纤维

**中图分类号:** U463.82    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1001-3539(2015)11-0051-05

### Design and Production of Glass Fiber Reinforced Plastic Formula Car Body Based on Analysis of Fluent Software

Zhu Fawang, Wei Qingguo

(School of Mechanics and Power Engineering, The North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract :** In view of the Chinese college students formula car contest rules, on the basis of the frame model for reference, combining with the man-machine engineering and the theory of aerodynamics, using 3D software CATIA to map formula car body, tires and human body model, etc., and assembly. Sing grid software was used to grid assembly processing, simulation analysis was carried out on the car by using fluent software, sharp edges or other parts of model not conforming to the processing were optimized. The usability of the model analysis results was improved to facilitate processing production. The results show that based on fluent analysis results, combining processing methods, processing technology and a variety of factors such as cost etc., mold extruded board is adopted to make the body mould, glass fiber reinforced resin is used to make the body, and the car body which are polished and colored and after the process of multi-channel processing conform to the requirements of the game.

**Keywords :** ergonomics ; meshing ; simulation analysis ; processing technology ; glass fiber

中国大学生方程式汽车大赛是一项由高等院校汽车工程或汽车相关专业在校学生组队参加的汽车设计与制造比赛。大赛要求赛车必须车轮外露和座舱敞开,从赛车最前端到主防滚架(或防火墙)的空间里,不允许车身上有深入驾驶舱的开口。允许在前悬架的零件处有微小的开口。根据规则要求,用 CATIA 绘制赛车车身模型,然后依据模型进行加工制作。在设计过程中,要充分考虑到车身动力学特性对汽车性能的影响。

随着计算机软件仿真技术的发展,可以把原来只能在风洞中进行的实验转变成计算机模拟。与传统实验研究对比,计算机仿真耗时短,所用资金少。同时由于 CFD 技术仿真,对 FSC 赛车车身造型设计有着重要的参考价值,因此 CFD 越来越广泛地应用到车身外流场仿真分析上,成为研究汽车车身造型设计中最重要的方法。

笔者的研究内容如下<sup>[1]</sup>:

(1) 对赛车车身进行三维建模装配,进行外流场域的网格划分,设定边界条件初始值,采用 ANSYS Fluent 软件对模型进行三维外流场数值模拟,得出气动力系数。根据研究结果,对车辆的气动特性进行分析<sup>[2]</sup>。

(2) 对车身外流场数值模拟分析后,进行车身泡沫模型的制作。

(3) 利用制作出来的车身泡沫模型来制作玻璃钢车身。

#### 1 赛车车身建模

依据大学生方程式大赛相关要求,结合整车设计尺寸参数见表 1,基于车架模型尺寸建立车身

<sup>\*</sup> 中北大学大学生方程式赛车项目(创新平台 141)

联系人:朱发旺,硕士,主要从事车辆动力学和控制方面的研究

收稿日期:2015-08-29

模型见图1。

表1 赛车主要尺寸质量参数

| 整车参数   | 数值    | 整车参数    | 数值      |
|--------|-------|---------|---------|
| 轴距/mm  | 1 650 | 前轮距/mm  | 1 350   |
| 后轮距/mm | 1 450 | 后轮距/mm  | 1 450   |
| 长/mm   | 2 950 | 车重/kg   | 250     |
| 宽/mm   | 1 420 | 前后轴荷分配  | 45 : 55 |
| 高/mm   | 1 470 | 离地间隙/mm | 50      |

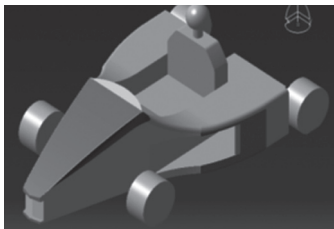


图1 车身三维模型图

## 2 分析前处理

赛车主要通过 ANSYS Fluent 软件来进行空气动力学分析,分析的主要目的在于减少阻力增加赛车本身的稳定性,优化模型,验证赛车模型的可制作性。

### 2.1 网格划分

鉴于车身模型是对称模型,为了减少电脑计算时间,采用原模型的一半进行分析。并根据车身尺寸设定外流场计算域大小,车前为车长的2~3倍,车后为车长的5~7倍,上为车高的5倍,车的左右为车宽的2~3倍<sup>[3]</sup>,对赛车车身上的锐边进行圆整倒角处理<sup>[4]</sup>,同时考虑到车身表面和地面的边界层影响,使用 Inflation 功能对车身表面和地面进行边界层划分,如图2所示,网格划分单元总数为817 321。

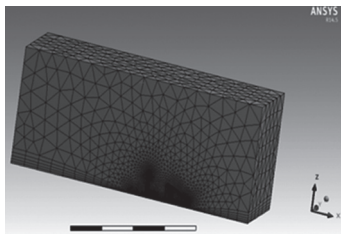


图2 车身网格划分图

### 2.2 仿真边界条件设置

为符合空气动力学仿真分析要求,将域简化成风洞模型,并设置边界:入口、出口、墙面、地面、流体以及对称,见图3。

设定的边界条件初始值见表2<sup>[5]</sup>:

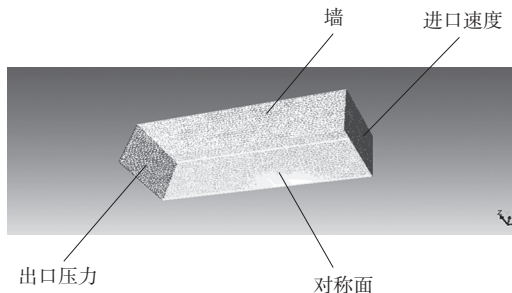


图3 边界条件

表2 边界条件

| 边界 | 边界类型 | 数值     |
|----|------|--------|
| 进口 | 进口流速 | 25 m/s |
| 出口 | 压力出口 | 表面压力   |
| 墙面 | 壁面   |        |
| 地面 | 壁面   |        |
| 赛车 |      |        |
| 对称 | 对称   |        |

## 3 仿真结果

在进口速度为25 m/s时,模型分析结果见图4~图5。

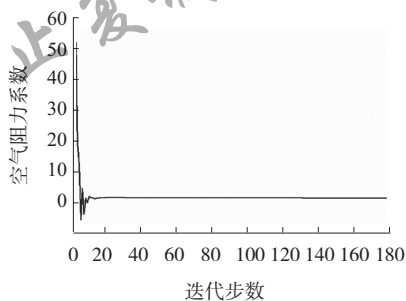


图4 阻力曲线

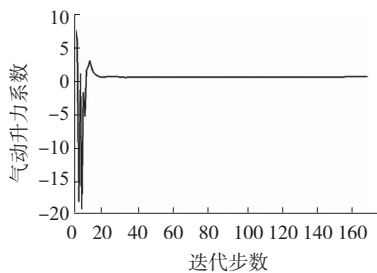


图5 升力曲线

由图4、图5可以看出,空气阻力系数为0.33,气动升力系数为0.25。气动力系数比较符合实际的试验规律值。通过对本次车身外流场流态的分析,可以理解重要的流动过程<sup>[3]</sup>。通过对模型的部分倒角圆整,优化气流流线使其接近理想的形态,一定程度上减少空气阻力和升力,减少涡流的产生的概率,控制气流,减少泥污溅射的程度,为气动造型设计提供一定的参考价值<sup>[6-7]</sup>。

通过上面的车身外流场的 CFD 分析,本次设计的身符合比赛的要求,并且有较好的气动力系数,可以进行下一步的实物制作。

#### 4 车身泡沫模型制作

车身模型的制作是汽车造型设计中很重要的一步,可以把计算机中的三维图形呈现在眼前,在正式制作车身之前,模型的制作可以给人一个可感的过程,并且在制造过程当中不断与车架对比进行局部修改,来不断提高与车架的适应性。

##### 4.1 模具制作方案选择

车身的模具制作方案有油泥模型、石膏模型、木模型、泥模型等。手工制作法的优点是成本低,无需大型设备,可手工制作,制作方法简单,缺点是精度难以保证,工作量大,耗费时间;也可以通过数控铣床加工出来,其优点是快速高效,精度高,缺点是成本过高<sup>[8]</sup>。图 6 为手工和数控铣床的模具制作方法。

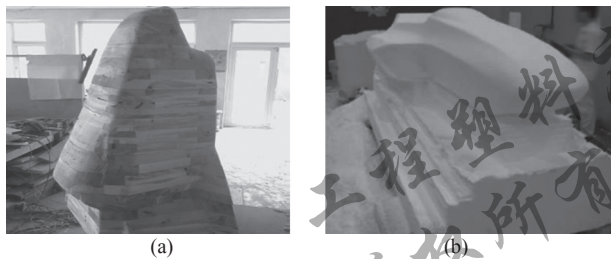


图 6 模具制作方法

根据学校实验室的设备情况和经费情况,采用手工制作方法来制造车身的泡沫模型。

##### 4.2 模型初步拼接阶段

使用挤塑板制作车身模具,可以有效提高车身的尺寸精确度,降低与原设计图的误差,而且由于挤塑板的易切割性,切割时泡沫飞溅少,比一般的泡沫板抗压强度高,可以用锯条切割出更复杂的曲面,降低车身的制作难度,提高车身的美观性。

由于挤塑板的厚度为 5 cm,而车身的宽度为 130 cm,所以在拼接模型时,采用纵向拼接比较方便,由于车身对称,使用 13 张截面图即可把车身的纵向剖面图每隔 5 cm 画出来,见图 7。

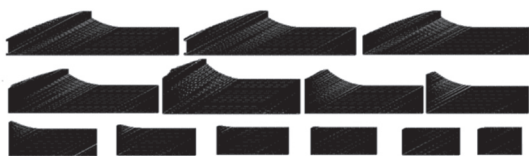


图 7 车身模型剖面

做出车身模型剖面图之后,按 1 : 1 的比例打印图纸,然后剪出每张图纸上面的车身轮廓,再把轮廓描在挤塑板上面,在描画图纸的时候要做好标记,以防搞混。

在模型初步切削好后,接下来的工作就是把切削好后的挤塑板用泡沫胶粘贴起来。在挤塑板全部粘贴好之后,接下来对车身模型进一步修整,直到达到所需的效果,在这个过程中需要与车架不断进行对比,以便使车身模型的尺寸大小与车架匹配。图 8 为初步切削的模型图。

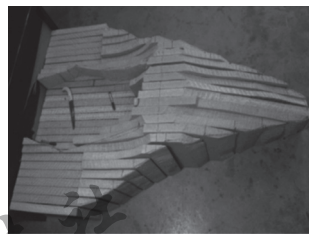


图 8 初步切削的模型图

##### 4.3 车身模型打磨阶段

由于修整好后的车身模型表面还比较粗糙,有的地方还有一些缺陷,所以需要对车身模型涂上腻子粉后再进行打磨。

涂抹腻子粉:腻子粉凝固时间比石膏长,可以有足够的时间对车身模型表面进行涂抹,但是正因为如此,每次涂抹的量不能太多,不然容易流动,需要多次涂抹才能达到理想的效果。

打磨车身模型:涂抹完腻子粉之后,待其凝固干燥后需要对车身模型进行打磨,打磨出比较光滑的表面,才能成为需要的车身泡沫模型。打磨完成后的车身模型见图 9。



图 9 打磨完成后的车身模型

#### 5 玻璃钢车身的制作

##### 5.1 制作工艺流程

在车身泡沫模型完成之后,下一阶段的工作是根据车身模型制作玻璃钢车身。由于实验室可用机械设备较少,考虑到加工制作方法的可操作性,采用手糊成型工艺来制作玻璃钢车身。工艺流程见图 10<sup>[9]</sup> :

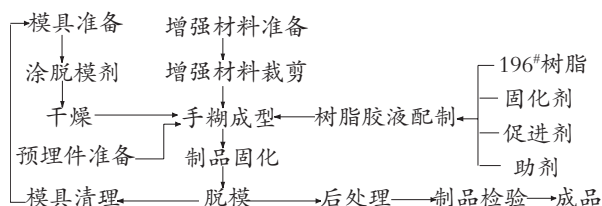


图10 玻璃钢手糊工艺流程

## 5.2 玻璃钢车身制作

### (1) 材料选择。

玻璃纤维为主要增强剂,包括表面毡、短切纤维毡等。增强剂的含量将影响玻璃钢制品的性能。增强剂含量过少会增加产品脆性,含量过多容易产生分层现象,导致制品韧性差。本次制作玻璃钢车身采用:第一层用表面毡,中间层用短切毡,底层采用平纹玻璃纤维布<sup>[10]</sup>。由于196#不饱和聚酯树脂为柔性树脂,可改善玻璃钢制品的脆性,汽车零件中大多采用196#树脂成型。本次制作玻璃钢车身即采用196#树脂。

### (2) 玻璃钢车身制作过程。

1) 首先在车身模型上粘贴胶带,再涂抹脱模蜡,以便车壳成型后脱模容易,同时弥补脱模蜡的局部不均匀。

2) 按设计规定尺寸剪切好表面毡、短切毡和玻璃纤维布。

3) 按照实验得到的树脂、促进剂和固化剂的比例调配树脂,把树脂快速均匀地刷到车身模具上,并赶走所有气泡,然后覆盖上表面毡,用刷子或滚筒压实。然后继续糊树脂和玻璃织物,直至达到所需的厚度要求<sup>[11]</sup>。刷完树脂后及脱模完成后的车身分别见图11a和图11b。



(a) 刷完树脂后的车身; (b) 脱模完成后的车身  
a—刷完树脂后的车身; b—脱模完成后的车身

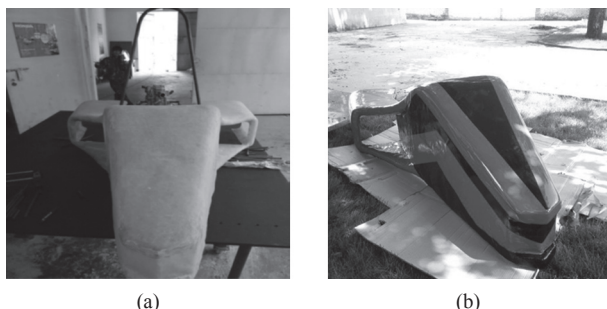
图11 刷完树脂及脱模完成后的车身

4) 模具固化过程通常在室温条件下进行,为了加快固化,可采用加热后处理的方法。糊制完毕后,为了保证磨具的完整性,需要在模具上停留超过24 h,直到完成固化期,才可以进行脱模。

5) 脱模完成后,需要对车身进行手工切边、加

工、抛光、测试、组装等一系列后处理工作。

6) 在打磨完车身后,需要给车身上漆及图案。图12a、图12b分别为车身与车架的试装配图和车身上漆图。



(a) 车身与车架的试装配图; (b) 车身上漆图

图12 车身与车架的试装配及车身上漆图

## 6 结论

根据中国大学生方程式大赛规则,使用CATIA对车身进行三维建模装配;对模型进行网格划分,并对模型上的锐边进行修饰,提高网格划分质量;利用ANSYS Fluent软件对模型进行空气动力学仿真分析,验证模型的可制作性,对模型进行修饰,提高加工可行性;根据三维模型及分析结果,进行了车身泡沫模型的制作。对车身泡沫模型的制作进行了描述;根据车身模型制作了玻璃钢车身,对玻璃钢的制作过程进行了叙述。

这次车身的制作过程,从前期的三维建模,CFD分析,直到车身泡沫模型的制作以及后期的玻璃钢车身的制作,基本达到了预期效果,可以满足比赛的要求。以后条件允许的情况下可以采用数控铣床制作法等来加工车身模型,使模型更加接近软件设计模型,提高分析的准确性。结合加工方法和加工工艺对车身模具采用分块制作,有利于对模具进行抽真空处理,使用碳纤维以达到轻量化要求,这些是以后可以考虑的方向。

### 参考文献

- [1] John D, Anderson J R 著. 计算流体力学入门[M]. 姚朝晖译. 北京: 清华大学出版社, 2010.  
John D, Anderson J R. Introduction to computational fluid dynamics[M]. Translated by Yao Chaohui. Beijing: Tsinghua University Press, 2010.
- [2] 余顺达, 李能, 王兵, 等. 基于CFD技术的FSC赛车车身气动造型设计[J]. 湖北汽车工业学院学报, 2012, 26(3): 77-80.  
Yu Shunda, Li Neng, Wang Bing, et al. Aerodynamic shape design of FSC car body based on CFD technology[J]. Journal of Hubei Automotive Industries Institute, 2012, 26(3): 77-80.
- [3] Aljure D E, Lehmkuhl O, Rodríguez I, et al. Flow and turbulent

- structures around simplified car models[J]. Computers & Fluids 2014, 96:122-135.
- [4] 张劫,乐玉汉,骆阳. 基于 CFX 的方程式赛车绕流场分析与优化[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2014, 38(1):47-51.  
Zhang Jie, Le Yuhan, Luo Yang. Analysis and optimization of a formula racing vehicle flow field based on CFX[J]. Journal of University of Technology (Transportation Science & Engineering), 2014, 38(1):47-51.
- [5] Hetawala S, Gophane M, Ajay B K, et al. Aerodynamic study of formula SAE car[J]. Procedia Engineering, 2014, 97:1 198-1 207.
- [6] Amorim J H, Rodrigues V, Tavares R, et al. CFD modeling of the aerodynamic effect of trees on urban air pollution dispersion[J]. Science of the Total Environment, 2013, 461-462:541-551.
- [7] Chowdhury H, Moria H, Ali A, et al. A study on aerodynamic drag of a semi-trailer truck[J]. Procedia Engineering, 2013, 56: 201-205.
- [8] 冯长林. 汽车覆盖件模具数控加工 CAPP 技术研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2008.
- Feng Changlin. Researching on CAPP technology for Automotive panel stamping dies CNC machining[D]. Changsha: Hunan University, 2008.
- [9] 陈天凡,高诚辉. 模具加工工艺方案的多属性评价方法研究[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2009, 37(6):866-871.  
Chen Tianfan, Gao Chenghui. The research of multi-attribute evaluation method to mold process planning[J]. Journal of Fuzhou University(Natural Science Edition), 2009, 37(6):866-871.
- [10] 张宇,魏利平,孙志文,等. 太阳能电动车碳纤维车身成型方法[J]. 模具工业, 2014, 40(10):58-61.  
Zhang Yu, Wei Liping, Sun Zhiwen, et al. The forming method of carbon fiber body of solar electric vehicle[J]. Die & Mould Industry, 2014, 40(10):58-61.
- [11] 杨俊,蔡力锋,林志勇. 增强树脂用玻璃纤维的表面处理方法及其对界面的影响[J]. 塑料, 2004, 33(1):5-8.  
Yang Jun, Cai Lifeng, Lin Zhiyong. Surface treatments of glass fiber for reinforced plastics and the effects on interface[J]. Plastics, 2004, 33(1):5-8.

## 欢迎订阅 2016 年《工程塑料应用》《化学分析计量》及合订本光盘

邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

也可直接通过邮局或银行汇款向《工程塑料应用》杂志社订阅《工程塑料应用》《化学分析计量》及合订本光盘,请注明  
订阅期刊/光盘的名称、收件人、邮编及地址。

《工程塑料应用》国内外公开发行的全国性塑料专业技术类刊物,月刊,大 16 开本,每月 10 日出版。本刊为中文核心期刊,是中国合成树脂供销协会会刊,荣获首届、第二届、第三届全国期刊奖等多项国家、省部级优秀期刊奖,入选美国化学文摘(CA)千种表。2016 年定价 15 元/期,全年 180 元。目前杂志社尚有部分 2000 年以来的单册和合订本库存,如需订阅,请联系杂志社。

《化学分析计量》国内外公开发行的全国性分析、计量专业技术类刊物,双月刊,大 16 开本,单月 20 日出版。本刊为中国科技核心期刊,荣获多项省部级优秀期刊奖,入选美国化学文摘(CA)千种表。2016 年定价 15 元/期,全年 90 元。目前杂志社尚有部分 2000 年以来的单册和合订本库存,如需订阅,请联系杂志社。

《工程塑料应用》《化学分析计量》合订本光盘 杂志社已将《工程塑料应用》自创刊号(1973 年)至 2014 年底共 42 卷 302 期的期刊电子化,并制成合订本光盘,现公开发售;同时也将《化学分析计量》自创刊号(1992 年)至 2014 年底

共 23 卷 103 期的期刊电子化,并制成合订本光盘,现公开发售。合订本光盘既可按作者、文题、关键词、年、期等分类查阅各期刊已发表的所有科技文章和科技信息的全文,又可根据读者自定义的关键词进行全文检索,非常方便、实用。《工程塑料应用》合订本光盘优惠售价 530 元;《化学分析计量》合订本光盘优惠售价 230 元。

### 邮局汇款:

收款地址:济南市天桥区田庄东路 3 号

收款单位:《工程塑料应用》杂志社

邮编:250031

电话:(0531)85878223 85878057 85878278

传真:(0531)85947355

### 银行汇款:

户 名:山东非金属材料研究所

开户银行:济南市工商银行经十一路支行

账 号:1602001229014425546

网上订阅: <http://www.epa1973.com>