

跑车车身外部造型设计方法比较研究

田芳, 吕德刚, 李宛书, 王茂森

(黑龙江工程学院汽车与交通工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150050)

摘要:结合某跑车车身外部造型设计,应用CATIA软件进行了正向设计建模,同时也应用手持式三维激光扫描仪及VXelements软件获取了油泥造型的点云数据,进而应用CATIA进行了逆向建模设计,最后通过流体分析软件CFX对其中一种方式获得的三维模型进行了空气动力学分析,完成了造型设计的主要流程,分析了两种方式建模的特点,并提出了造型设计的建议,为车身造型相关专业的学生及设计人员提供参考。

关键词:车身外部造型;三维建模;设计方式;逆向工程;流体分析

中图分类号:U462

文献标识码:A

文章编号:1672-755X(2020)01-0053-06

Comparative Study on Design Methods of Sports Car Exterior Body

TIAN Fang, LYU De-gang, LI Wan-shu, WANG Mao-sen

(Heilongjiang Institute of Technology, Harbin 150050, China)

Abstract: The exterior design of the body usually adopts two methods: forward design and reverse design. This article combined the exterior design of a sport car body and applied CATIA software to perform forward design modeling. At the same time, the handheld 3D laser scanner and VX elements software were used to obtain the point cloud data of the sludge modeling. CATIA was used to perform the reverse modeling design. Finally, one of 3D model from them was used for CFD analysis through CFX software, and the main process of modeling design was completed. The characteristics of the two modeling methods were analyzed, and suggestions for modeling design were proposed to provide students and designers of related majors in vehicle modeling.

Key words: exterior modeling of car body; 3D modeling; design method; reverse engineering; CFD analysis

汽车造型设计不是单纯的工艺设计,在设计过程中必需要考虑方方面面的因素,包括消费者的喜好、生产工艺、技术水平、以及汽车所要达成的性能特点等^[1]。国内跑车车身造型设计领域相比世界先进水平有很大的差距。跑车车身造型发展趋势综合起来主要有气动最优化、个性化、人性化、虚拟技术和全球化等几个方面。汽车外部造型设计涉及空气动力学、人机工程学、制造工艺学、材料学、商业心理学、经济学、环境学等学科,也是工业设计的重要领域之一。

车身外部造型设计通常可以分为正向设计和逆向设计两种方式,两种方式各有其特点和应用场景,本研究结合某跑车车身设计训练,分析研究了两种车身造型设计方式的主要步骤及优缺点。

收稿日期:2020-02-02

基金项目:哈尔滨市应用技术与开发项目(2014RFQXJ060)

作者简介:田芳(1982—),女,山东巨野人,实验师,硕士,主要从事汽车运用方面的研究。

1 车身外部造型的影响因素

1.1 空气动力学性能要求对车身造型的影响

跑车对速度和加速度都有较高的要求,而随着车速的增加,汽车速度的不断提高以及汽车在行驶时与空气相互作用的各种气动力也越来越显著,从而影响整车的动力性能、油耗和操纵稳定性^[1]。因此,应努力使汽车头部低矮圆滑、中部腰鼓形逐渐后缩、尾部呈方背式或斜背式、底部平坦。这样才有可能获得较低的风阻系数^[2],提高车速、降低风噪,节省燃料。本设计车身前部保持圆润的线条和曲面,车头部较低,车尾部短平,后挡风玻璃采用大曲面玻璃与车顶圆滑过渡,侧窗与车身向平,前后灯具、门把手嵌入车身内,整体车身前低后高,既符合造型的动感,又能够有效降低风阻。

1.2 人机工程学、美学对车身造型的影响

人机工程学是应用人体测量学、人体力学等学科的研究方法,对人体结构特征和机能特征进行研究,分析人的视觉、听觉等感觉器官的机能特性,保证人体坐姿符合人体乘坐舒适性要求,确定车内的有效空间以及各部件的位置和尺寸关系。在汽车设计中人机工程学称为车辆人机工程学,它是以改善驾驶员的劳动条件和车内人员的舒适性为核心,以人的安全、健康、舒适为目标,力求使整个系统总体性能达到最优^[3]。人机工程学对一些车身尺寸的要求是刚性的,如最小车身高度、最小车身宽度等。除了需要满足人机工程学 and 空气动力学的要求以外,车身设计必须在主体上满足美学的基本规律,车身主体线条和曲面的布置符合比例的要求等。

1.3 车身造型草图绘制

本车身设计的基本初始参数如表1所示。现在轿车的空气阻力系数一般在0.28~0.4,本设计以造型设计美学为主,并不苛求车身空气动力学性能,因此,空气阻力系数要求不超过0.4即可。综合以上数据、美学和人机工程学等方面的考虑,本设计的跑车车身外部造型草图如图1所示。该造型草图只是车身造型设计的二维效果,下面的步骤为造型的三维数字化处理。

表1 车身外部造型初始参数

项目	参考值	项目	参考值
发动机排量/mL	4 600±70	车高/mm	1 300±50
车长/mm	4 900±50	轴距/mm	2 900±20
车宽/mm	1 900±50	轮距/mm	1 500±20

2 车身外部造型的正向设计

正向设计是以三维CAD/CAM软件为平台,应用线框造型、实体建模或参数化造型的建模方法,创建各种复杂零件的三维数字化模型^[4]。正向设计是一种由高层次的概念设计到物理模型的实现过程^[5]。车身正向设计方法设计汽车周期长,车身模型和图纸比较难建立^[6],在汽车设计前期,基本上是正向设计,是在没有模型可扫描的情况下,设计师做设计效果图,数据师根据设计的效果图构建数据^[7]。正向设计的三维模型数据是从二维效果图得来的,而二维效果图很难反映出来曲面的各部分曲率以及在光照条件下的真实效果,因此,在视觉效果上通常会有较大差异。

2.1 车身造型三维建模

首先将四个方向的草绘视图导入CATIA中,然后在不同的草图中进行描图,建立投影曲线,如图2所示。



图1 跑车车身外部造型草图

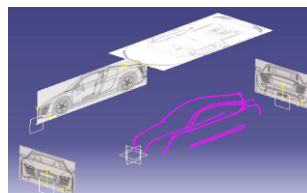


图2 投影曲线绘制

在曲线上插入点,使相邻曲线连接并修剪成光滑曲线。通过类似的方法分不分处理曲线,直至曲线闭合,然后分别创建扫面,如图 3 所示,最后形成完整的车身曲面。车身底部采用简化处理,采用平面,忽略底部复杂的零部件和曲面。最终绘制的三维车身封闭曲面如图 4 所示。

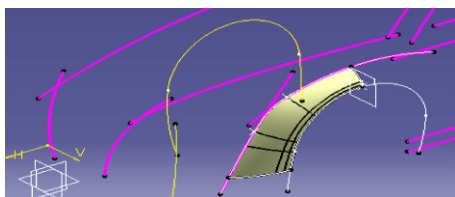


图 3 创建扫略曲面

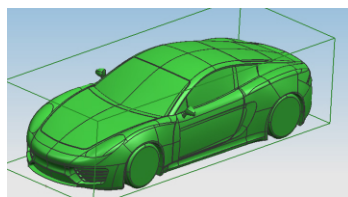


图 4 三维实体模型

从图 4 可以看出,正向设计的线条相对简洁。因为主体线条更多的采用了标准曲线,与逆向工程形成的三维模型相比,数量和控制点相对较少,形成的曲面的表达能力也相对弱些。当然,为了达到更好的造型效果,后期修改时,可以增加控制点的数量,调整曲线和控制点的位置,从而达到调整曲面的目的,从这个角度来看,正向设计在局部后处理方面有一定的优势。

此外,为了增强设计效果,完善设计整体或细部特征,正向设计可以包含逆向设计流程。正向设计中,完成三维数模构建后,可以将三维数模用于进行 1:1 比例或其他小比例的油泥模型数控加工,加工完成后的油泥模型再进行全表面或半表面贴膜,以达到逼近于实车的车身效果,然后再根据实际达到的效果进行造型调整,从而形成最终的车身设计效果,再通过三维扫描仪获取车身油泥模型的数模,经过处理后,最终形成定型设计数模。

2.2 车身正向设计的特点

1) 数模构建的效率较高。从上面正向设计的流程可知,正向设计在造型阶段可以跳过实物模型制作环节,根据草绘及效果图直接构建三维数模,建模过程为从主体轮廓线条再到主体曲面,从而快速获得造型的三维模型,修改也是主体线条和关键点进行调整,设计者可以在电脑端从任意角度查看造型设计的效果,当然,有条件的企业或设计公司也可以利用 VR(虚拟现实)设备来体验设计效果,寻找设计不足,提高设计效率,保障设计进度。

2) 三维数模的质量较高。正向设计基本上是从曲线到曲面,不像逆向设计那样,从点云开始,为了还原实物曲面造型,还需要进行大量的曲面拼接、片体处理等,这些操作环节容易导致问题曲面的出现。因此,正向设计的造型曲面质量普遍较高,三维数模的质量也较高,有利于提高后续车身流体动力学性能分析所必须的三维模型前处理的质量,同时,也有利于试制和生产环节的数控加工。

与逆向设计相比,正向设计的三维模型来自于平面草图或效果图等平面图形,可以省略实物造型环节,而平面图形的效果与三维效果往往会有较大差异,为达到良好的造型设计效果,往往需要在三维模型中对线条的布置、曲面的曲率等进行二次调整,虽然可以利用 VR 等手段仿真实际造型效果,但与实物还是存在差距。

因为正向设计通常从草绘和效果图开始数模构建,因此,对于造型原创性要求较高的车身造型,适宜采用正向设计的方法。

3 车身外部造型的逆向设计

逆向工程(Reverse Engineering)即反求工程,是针对现有工件利用 3D 数字化测量仪器准确、快速地测量出工件轮廓坐标值,通过数据处理、重构曲线曲面、编辑及修改后,将图档转至一般的 CAD/CAM 系统^[8]。逆向设计数据采集,主要借助手持式三维激光扫描仪对汽车表面进行扫描,得到点云数据,并导入逆向设计软件进行点云和多边形处理,基于 NURBS 曲面重构,对面面链接处的多边形数据进行曲面拟合和质量分析^[9]。逆向工程设计的核心思想是以实物模型为参考,增加自己的创新知识,设计出符合要求,又要高于原来实物的设计过程^[10]。

将逆向工程设计方法引进到汽车车身设计时,缩短了设计开发周期,获得高质量的车身结构。逆向工程的研究日益引人注目,在数据处理、曲面拟合、几何特征识别和坐标测量机的研究上已经取得了很大的成就^[11]。

3.1 车身油泥模型的制作

现代汽车设计过程中,油泥模型因使用便捷、性能稳定、仿真性高被广泛采用^[12]。汽车油泥造型是运用油泥进行填敷和刮削,塑造出形状大小符合设计要求的汽车模型的过程。本研究确定的油泥模型比例为1:10。制作油泥模型之前需要确定车身的四视图,用来制作油泥模型时各个方向上的模板。将制作好的视图模板粘贴在硬纸板上,然后将每一视图模板的车身沿外轮廓线剪下。

车身的四视图模板裁剪好后,根据按比例换算后的车身轮廓尺寸,制作油泥模型的内部木质骨架,我们采用了一个长方形木框作为油泥模型的底座。然后将模型泡沫粘贴在木框上,再使用四视图模板作为卡板,将泡沫切削成轮廓尺寸比卡板轮廓缩进1 cm的车身外部造型形状,此时需要注意以车轮轴线和模型纵轴线作为参考基准。然后在泡沫车身泡沫模型表面填敷油泥,直至稍微超出卡板的外轮廓线,最后进行油泥的粗刮和精刮,同时辅以标尺和标线,直至得到造型细节清楚、表面光滑理想的油泥模型,至此,油泥模型完成。

3.2 车身油泥造型的逆向工程

根据逆向工程的要求,我们需要对车身油泥模型的表面进行数字化处理,从而得到其三维数字化模型。本研究采用的是Creaform Handy SCAN手持式3D激光扫描仪,为了获得较好的扫描效果,首先将前期制作的油泥模型表面喷涂显像剂,然后将油泥模型放置在粘有定位原点的工作台面上进行扫描(图5)。

运用三维扫描仪配置的VXelements软件能够获得模型表面的点云数据(图6)。测量采集得到的车身外形数据有时会有异常点(误差点)和数据的重叠、缺失,尤其是尖锐边和边界附近的测量数据,这些测量数据中的坏点,可能使该点及其周围的曲面片偏离原曲面,所以要对原始点云数据进行预处理^[13]。将点云数据导入CATIA软件,删除噪点和多余的点,然后选择Planar Sections命令,将点云图的点群按断面形式进行等距离分割,从而生成断面曲线(图7),然后通过空间曲线、平面曲线和近似曲线命令将曲线进一步修剪以使其更接近我们所设计的线形。再应用曲面命令进一步精确处理,最终得到符合要求的三维模型。图8所示为经过简化后的渲染模型,该模型简化的目的是为了进行流体分析时减少计算量及不必要的轮胎部分处理工作量。

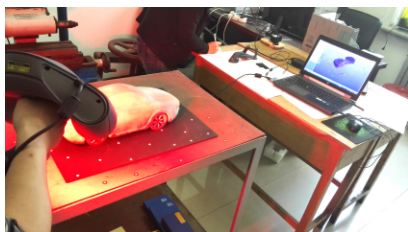


图5 扫描油泥模型

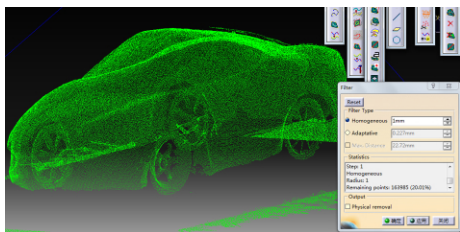


图6 油泥模型扫描后获得的点云

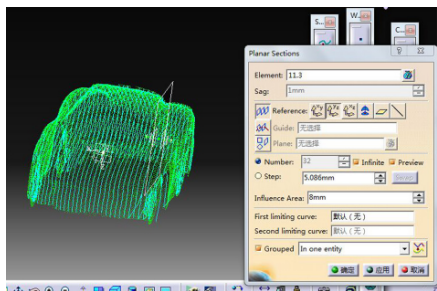


图7 生成断面曲线

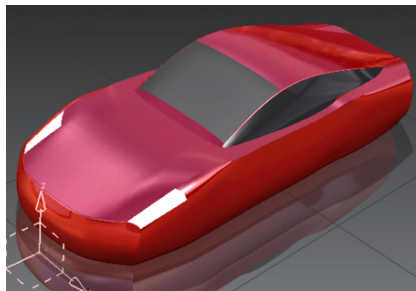


图8 渲染后的曲面图

3.3 车身逆向设计的特点

1) 先有造型实物,后有三维数模。通过上面的主要逆向设计流程可知,逆向设计必须先有实物模型,再获得三维数模。实物模型可以由各种材料制成,如木质、树脂、油泥等,汽车工业通常采用工业油泥来制作各种比例的油泥模型,小比例的油泥模型制作相对比较便捷,效率较高,成本较低;较大比例或 1:1 比例的油泥模型制作成本和周期都较高,但如果设计的汽车是对称结构,也可以只制作半模,并在对称面放置镜子来达到整车的效果,从而提高造型效率。

2) 主体造型修改在实物上进行。作为三维实物,油泥模型能够更直观的表达造型设计意图和效果,如果不满意或者做较大的调整,都可以在油泥模型上直接进行修改,在造型设计意图较多时,一个油泥模型可以以中间对称面作为分隔,同时表达两种设计效果,供设计者推敲。然后再加上漆面贴膜,从而直达最终设计效果。通过油泥模型逆向得来的三维模型通常在造型上不需做大的改动。

与正向建模相比,逆向设计的三维数模从点云开始,需要对点云做大量处理工作,相对效率较低;同时,生成的主体线条和曲面因细节较多,整体质量不高,不利于后续的流体分析,如果过度简化或拟合,虽能提高曲面质量,但会与油泥曲面产生较大偏差,达不到最终设计效果。对于有明确对标参考车型,或者需要制作实物模型的车身造型,适合采用逆向设计的方法;而对于造型要求较高,或专业的汽车设计公司,通常将两种方法结合起来,从而达到更好的设计效果。

4 车身空气动力学性能分析

汽车空气动力学分析和气动造型的前期规划中 CFD 软件都起着重要作用^[14]。与原有的车身造型研发技术进行对比,建立在空气动力学基础上的车身造型研发方式具有更加明显的汽车节能性与环保性优势^[15]。

4.1 车身模型简化及流体计算域的建立

本设计采用 Ansys 的 CFX 软件来进行车身空气动力学分析,考虑到计算机硬件条件及计算时间成本,对三维模型进行了简化处理,去除了车轮和后视镜等细节部件,车身底部平面化处理。模型比例 1:1。为了减少计算量,本文计算域为尺寸 12 000 mm×3 000 mm×2 000 mm 的长方体(去除封闭车身所占的空间,如图 9 所示)。

4.2 计算域有限单元网格的划分

有限单元网格的划分是流体分析中比较重要的环节,耗时也较长。因为网格的质量对于数值计算的收敛与否、收敛的速度以及计算的精度都有着非常密切的关联。所以在提高计算精度的措施中应特别重视对网格质量的控制。本设计的车身流体区域网格采用自动划分的形式,同时,减小计算量和计算时间,选择网格精细程度为 Medium。计算域网格剖切如图 10 所示。

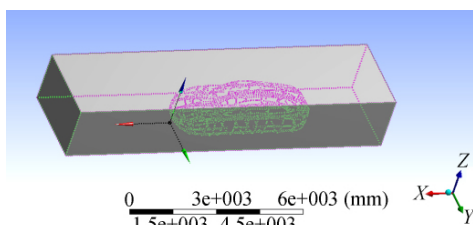


图 9 流体计算域

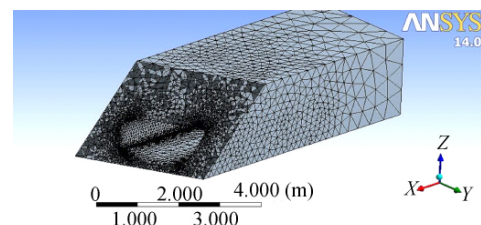


图 10 计算域网格剖切图

4.3 边界条件的设置

长方体流体计算域的六个面主要分成了壁面(wall)、入口(inlet)、出口(outlet)三个部分,空气入口在车头前部,设置为速度入口,速度值为 $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,出口在车尾后面,设置为压力出口,压力值为一个标准大气压,地面和车门对面侧的长方体平面设置为流动壁面,速度与入口气流速度相同。采用默认的空气属性参数,汽车周围绕流的空气一般是常温、定常、不可压缩的三维流场,而且,汽车车身外形比较复杂,容易引起气流分离,因此应按湍流处理,本设计选用湍流 Reliable k- ϵ 模型。

4.4 模拟结果分析

通过迭代计算,当残差稳定时,流体区域进入稳定状态,可以得到流体仿真的结果。得到压力云图和速度流线图。分别如图 11 和图 12 所示。最终得到该车的迎风面积为 2.5 m^2 ,阻力系数为 0.37,符合设计要求。

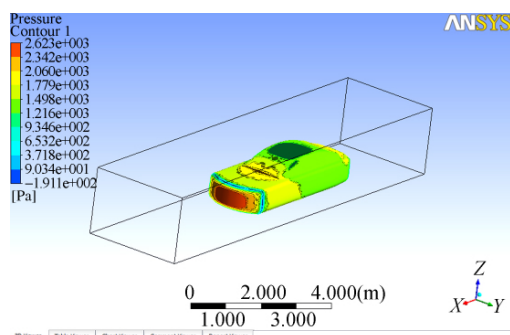


图 11 流场压力云图

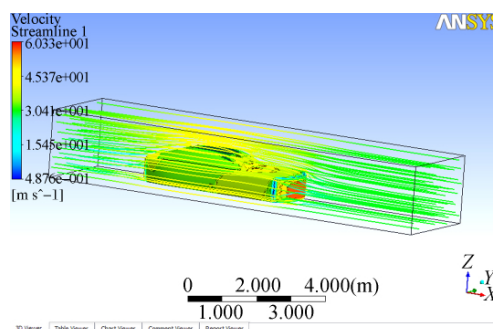


图 12 流场速度流线图

通过分析得出,汽车头部表面压力最大,由于气流与车头相遇,阻滞使气流迅速降低形成压力区。当气流流过发动机罩和风挡玻璃时发生再附着和分离现象,边角处的压强最低,之后气流流动顺畅,流速较快压强适中,由于后行李箱盖阻挡部分气流,因而在后行李箱盖上产生较小的高压区。通过对比选择高压区少,相应的压差阻力少,升力符合条件,有较好的地面附着性能。

5 结 语

本文分别采用了正向设计和逆向设计的方法,对某跑车车身外部造型进行了设计,得到了三维数模,对三维数模进行适当简化后,又进行了车身外部流场空气动力学性能分析,得到了空气阻力系数和迎风面积等主要参数,最终的设计达到了设计要求。通过具体造型设计以及流体分析,得到了每种设计方法的特点以及适用的场合,为车身造型相关专业的学生及设计人员提供参考。

参考文献:

- [1] 宋为真. 关于计算机辅助汽车造型技术的分析[J]. 通讯世界, 2017(11): 88-89
- [2] 刘全有, 赵福全, 杨安志, 等. 浅析汽车风阻系数[J]. 农业装备与车辆工程, 2012, 50(11): 59-62
- [3] 穆存远, 张伟. 人机工程学在汽车造型设计中的应用[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版), 2010, 12(1): 34-37
- [4] 王宝中, 张富明, 路春光, 等. 正逆向设计在电动汽车外观曲面造型中的应用研究[J]. 机械设计与制造, 2018(2): 131-134
- [5] 周勇强, 华林. 正逆向集成设计在对讲机外壳造型中的应用[J]. 金属成形工艺, 2003, 21(5): 74-75
- [6] 张玉, 王娟平. 汽车车身的个性化设计方法[J]. 汽车实用技术, 2018(7): 124-126
- [7] 许志扬, 李念. 浅谈现代汽车设计方法和运用[J]. 时代汽车, 2019(14): 85-86
- [8] 祝珂. 逆向工程在汽车设计中的应用[J]. 汽车工程师, 2016(3): 52-55
- [9] 王莉庭. 浅谈逆向设计理念在汽车设计中的应用和分析[J]. 戏剧之家, 2018(17): 156
- [10] 宁艳梅. 汽车车身逆向工程设计关键技术及应用[J]. 科学大众(科学教育), 2016(3): 183
- [11] 何新毅, 张庭芳, 张超敏, 等. 基于逆向工程的汽车车身三维造型设计[J]. 南昌大学学报(工科版), 2015, 37(2): 128-131
- [12] 郭上清. 现代汽车造型领域油泥模型的应用[J]. 企业科技与发展, 2014(6): 29-32
- [13] 张文建, 张琦. 基于 CATIA V5 的汽车车身逆向设计[J]. 机械, 2010, 37(7): 48-50
- [14] 黄森仁, 王宇, 刁硕, 等. 基于计算流体力学的汽车车身造型外流场分析[J]. 汽车实用技术, 2019(24): 67-69
- [15] 冯柏超. 汽车空气动力学与车身造型研究进展[J]. 时代汽车, 2019(6): 27-28

(责任编辑: 谭彩霞)