

# SUV 大溜背造型特征分析及其气动特性研究

冉航, 尹欢, 彭婧

(太原理工大学, 太原 030024)

**摘要:** **目的** 研究大溜背造型对 SUV 整体车身造型及气动特性的影响, 分析 SUV 融入大溜背造型后的车身造型风格及气动特性变化的规律。**方法** 在明确认识 SUV 大溜背造型特征的基础上, 利用汽车造型视觉特征、语义特征对 SUV 大溜背造型进行定性分析; 运用 CFD 数值模拟计算大溜背造型的气动阻力系数, 并研究随着大溜背造型倾斜角度的改变 SUV 气动阻力变化的规律。**结论** SUV 大溜背造型使 SUV 车身设计趋于一体化, 在造型风格上更加强调运动、流畅、一体化; 大溜背造型特征能够有效地降低 SUV 气动阻力; 随着大溜背造型倾斜角度的增大, SUV 的气动阻力系数也呈不断降低的趋势。

**关键词:** 大溜背; SUV; 造型特征; CFD; 倾斜角度; 气动特性

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)18-0098-06

## Modeling Feature of SUV Fastback and Aerodynamic Characteristics

RAN Hang, YIN Huan, PENG Jing

(Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

**ABSTRACT:** It aims to research the effects of SUV Fastback modeling on automotive modeling design and automotive aerodynamic characteristics. It analyzes SUV modeling style and variational rule of aerodynamic characteristics after it got blended into SUV Fastback modeling. On the basis of a clear understanding of the modeling feature of SUV Fastback, the methods of visual features and semantic features of automobile modeling are used by qualitative analysis for the modeling feature of SUV Fastback. By using CFD numerical simulation to calculate the aerodynamic drag coefficient, and the variational rule of aerodynamic drag of SUV with the tilt angle of SUV Fastback modeling is studied. SUV Fastback modeling turned the SUV body design tends to integration, and more emphasis on the sense of movement, fluency and integration in the design; SUV Fastback modeling can reduce the aerodynamic drag effectively. The aerodynamic drag coefficient of SUV decreases with the increase of the tilt angle of SUV Fastback modeling.

**KEY WORDS:** SUV Fastback; SUV; modeling feature; CFD; tilt angle; aerodynamic characteristics

造型特征对于风格的形成具有至关重要的作用, 是形成风格情境的基本单元。如果一个造型特征反复的出现在某些产品上, 那么这个造型特征就会逐渐形成一种风格<sup>[1]</sup>, 大溜背无疑是这样的一种造型特征。从 2007 年宝马 X6 将大溜背元素首次融入到 SUV 的造型设计中, 在造型上打破了传统 SUV 的沉稳感, 使运动、流畅和优雅成为新一代 SUV 的代名词。同时诸如奔驰 GLE、本田歌诗图、讴歌 ZDX 等也开始引入 SUV 大溜背造型设计方法, 形成了独具 SUV 特色的造型设计风格, 并迅速成为未来 SUV 的前瞻性设计趋势。研究大

溜背造型元素在 SUV 上的表现以及从空气动力学角度研究其对 SUV 气动性能的影响, 分析其如何兼具美学和空气动力学特性, 为设计师更好地理解该造型设计方法, 并运用其进行造型设计提供理论依据。

## 1 SUV 大溜背造型分析

### 1.1 造型特征

大溜背造型源于 Fastback 却又与其有所区别。Fastback 在汽车术语中意指车顶轮廓线呈流线型一

收稿日期: 2017-03-29

基金项目: 山西省研究生联合培养基地人才培养项目 (2016JD15); 山西省基础研究项目 (2015021118)

作者简介: 冉航 (1991—), 男, 重庆人, 太原理工大学硕士生, 主攻产品造型设计及理论。

通讯作者: 尹欢 (1960—), 男, 辽宁人, 太原理工大学副教授, 主要研究方向为产品造型、CI、展示设计。

直连贯至车尾的设计,具有快速流畅的后背部车身造型,亦称“溜背”或“快背”。Fastback 从 1930 年左右的水滴形流线车身至今,一直应用于轿车和跑车的车身设计中,其多表现为平滑、顺畅的视觉特征。随着大溜背造型风格的形成,在 SUV 车身设计中则表现出曲线弧度大、倾斜角度大、视觉落差大的特征,溜背造型不再是轿跑车的专利。

跑车、轿车、SUV 溜背造型特征提取见图 1,从图 1 中可以看出溜背造型在 3 种车型上的差异性。溜背造型在跑车上是以牺牲后排空间换取运动特性与优秀的气动特性;在轿车上则是 Y0 线在 B 柱以后甚至是 C 柱时开始向下倾斜,在车顶形成了具有较大上挠系数的车顶盖,整体过渡圆润、平滑;而大溜背造型在 SUV 上则表现为 Y0 线在还没到 B 柱,甚至刚过 A 柱时就开始向下倾斜,由于 SUV 本身相比轿跑车更大的内部空间,形成了从 A 柱开始向下延伸的曲线拥有大弧度、大倾角的独特特征,同时不会形成相对于轿车那样的上挠系数来影响气动特性,使 SUV 大溜背造型特征兼具运动流畅感以及优秀的空气动力学特性。

### 1.2 造型风格分析

在汽车造型设计中主要特征线是具有特定结构约束和造型内涵的构造线,特征线的形态及空间组合关系直接决定了整车的最终造型,是整车造型核心精神所在,对汽车造型风格及趋势研究有重要的描述意义<sup>[2-3]</sup>。现有几款 SUV 的大溜背造型特征线和腰线

的提取,见图 2。

从汽车造型视觉特征角度分析,大溜背造型特征线让视觉焦点流畅、迅速地从 A 柱贯穿到尾部,一气呵成毫无违和感,配合前低后高,具有负攻角的下半部车身设计,在整体风格上,给人一种向前俯冲的视觉冲击力;腰线的倾斜走势体现出整车的力量和速度感,更加深了这一视觉印象;尾部处大溜背造型特征线与上翘的腰线融为一体,让观者不自觉地视觉重心从车顶溜到车尾,在视觉上形成流动的感觉;C 柱变短甚至消失,腰线的负攻角设计趋势与大溜背造型特征线相辅相成,整体上呈现出俯冲的视觉冲击力和运动感,大溜背 SUV 的造型风格使 SUV 车身设计趋于一体化。

从汽车造型语义特征角度分析,大溜背造型特征线作为曲线本身具有优美、柔和、文雅、运动的语义特征。据文献[4]中对汽车造型特征语义特征要素的研究,流畅、现代、未来、独特、拉风、情感、科技、运动、软—硬、休闲等 10 个语义特征要素,能够充分地反映汽车造型语义特征<sup>[4]</sup>。将这 10 个形容词交由 5 位具有设计相关背景的专业人员,以小组讨论表决的方式,主观角度对图 2 中具有大溜背造型特征的 6 款 SUV 进行语义特征描述,选出最具有代表性的形容词并统计分析。结果表明,SUV 大溜背车型语义特征表述的代表性程度为:运动>流畅>独特>未来>拉风。SUV 大溜背车型在设计上更加强调运动、流畅的感觉,以达到“感性”、“纯粹”这样的设计语言和认知,这是一种独特的,朝向未来的设计理念。

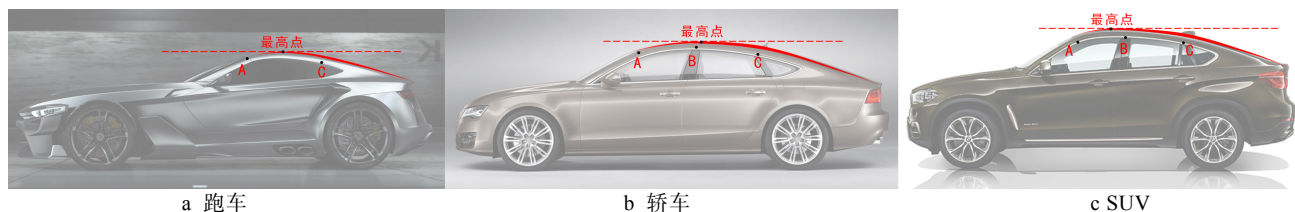


图 1 跑车、轿车、SUV 溜背造型特征提取

Fig.1 The modeling feature of Fastback be extracted from sport car, car and SUV



图 2 大溜背造型特征线及腰线提取

Fig.2 The feature line of Fastback and waistline extraction

### 1.3 车型对比验证

为了更好地认知、评价大溜背造型特征对 SUV 车身造型的影响,选取同一车系、同一汽车生产平台的宝马 X6 与宝马 X5 作为对比车型进行验证分析,见图 3。



图3 宝马 X5 与 X6 侧视图  
Fig.3 Side view of BMW X5 and X6

宝马 X6 与 X5 相比最具差异性和个性的角度在于车身侧面,不同于 X5 平直、厚重、沉稳的车身后背部造型设计,宝马 X6 的大溜背设计灵感来源于海豚跃出水面那充满力量感的姿势, Y0 线在驾驶者上方达到最高点,然后鱼贯而下溜至车尾,让 X6 车身显得极为流畅与动感,充满流动的韵律。贯穿前后的车身腰线在车尾与大溜背曲线融为一体,使侧面造型犹如短跑运动员在起跑线上蓄势待发的瞬间,给人一种充满爆发感的视觉感受。宝马 X6 车身线条更加圆润流畅、干练有力、充满张力。可以说,大溜背造型将其感性、纯粹、独特的语义特征以及强调运动、流畅、一体化的视觉特征,在宝马 X6 车身造型上得到了完美的呈现。

## 2 基于 CFD 数值模拟的空气动力学分析

汽车造型设计在满足诸如艺术、时尚、品味等主观因素和非定量因素制约的同时,也需要追求具有较低气动阻力的良好气动外形<sup>[5]</sup>,因此,在从美学角度对大溜背造型进行了定性分析的基础上,采用 CFD 数值模拟方法从空气动力学角度,定量分析大溜背造型对 SUV 气动特性的影响,研究随着大溜背造型倾斜角度的变化 SUV 气动特性的变化规律,是非常必要的。

### 2.1 基础模型构建

以 MIRA 国际标模直背型为原型,构建的具有大溜背造型特征的基础模型,作为 CFD 数值模拟仿真模型,见图 4,将车身侧面轮廓线定位于  $oxy$  坐标系,将 A 点以及其他侧面轮廓线固定不变,以避免其他因素对仿真结果的干扰,将大溜背造型近似拟合为一段直线 AB (图 4 中虚线),则大溜背造型线 AB 与水平方向 AC 的夹角  $\alpha$  的大小,决定了大溜背的倾斜程度。以  $\alpha=0^\circ$  为基准,根据实际车身设计要求,选择  $\alpha$  为  $[0^\circ, 10^\circ]$  角度范围作为模拟样本值,样本范围中  $\alpha$  每变化  $1^\circ$  时为一个样本值,对每一个样本值进行仿真模拟计算,研究 SUV 气动阻力随  $\alpha$  角度变化的规律。

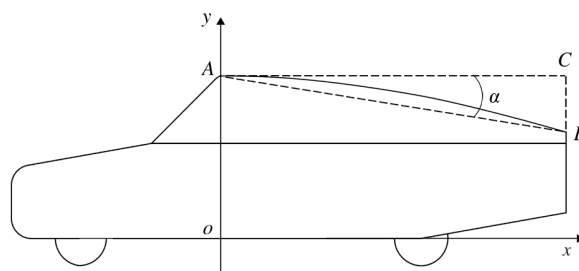


图4 大溜背造型基础模型构建  
Fig.4 Construction of basic model about SUV Fastback

### 2.2 可信性验证

#### 2.2.1 网格划分及参数设置

在进行 CFD 数值模拟仿真试验以前,需要进行网格划分和参数设置的可信性验证,以此证明此次利用 CFD 数值模拟分析大溜背造型的空气动力学特性的方法是可靠、有效的。本文以 MIRA 直背型作为仿真试验可信性验证的试验模型, MIRA 直背型尺寸见图 5<sup>[6]</sup>。使用 ANSYS 进行 CFD 数值模拟仿真,计算域尺寸长、宽、高分别取 10 倍车长(车身前部到计算域入口边界距离为 3 倍车长,车身尾部到计算域出口边界距离为 6 倍车长), 10 倍车宽和 7 倍车高。阻塞比为 1.43%,工程上一般认为阻塞比小于 5%时,阻塞效应影响基本可以忽略<sup>[7]</sup>。为了保证网格与车身几何的贴合性,在车身表面生成 6 层边界层网格,在模型附近采用尺寸逐层递增的 3 个密度盒进行加密处理,提高计算精度。本文取  $y^+$  估算值为 30,通过自适应后的网格数量为 720 万。

在 Fluent 中选择 3D 求解器和标准  $k-\epsilon$  模型方程;入口边界为来流方向的车速值 30 m/s,出口边界选择压力出口,相对压力取值 0;地面为移动边界条件,取车速值 30 m/s,车身表面和其余通道壁面均为无穿透、无滑移固壁条件<sup>[8]</sup>。此次数值模拟的雷诺数近似为  $8.45 \times 10^6$ 。

#### 2.2.2 可信性验证结果

根据欧美汽车风洞比较试验的数据结果表明,气

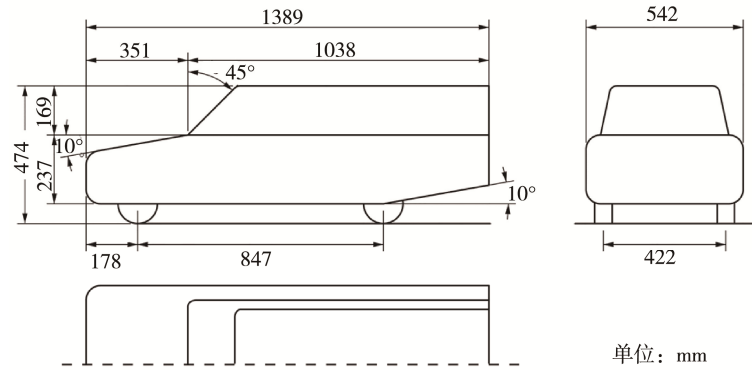


图 5 MIRA 直背型尺寸  
Fig.5 Size chart of straight back type of the MIRA

阻力系数偏差在不同的风洞间所测得数据基本在  $\pm 2\% \sim \pm 3\%$ ，且气动升力系数偏差较大<sup>[9]</sup>，因此本文以 MIRA 直背型在湖南大学 HD-2 风洞试验和斯图加特大学 IVK 风洞试验的气动阻力系数结果，作为标准参考数据<sup>[10]</sup>，对比验证可信性试验结果。通过 CFD 数值模拟求解获得 MIRA 直背型的气动阻力系数  $C_D$  为 0.3695，对比表 1 中湖南大学 DH-2 风洞试验  $C_D$  相对误差为 3.83%，与斯图加特大学 IVK 风洞试验  $C_D$  相对误差为 4.62%，相对误差均小于 10%，因此可以证明本文的网格划分和参数设置是可信的，利用 CFD 数值模拟分析大溜背造型的空气动力学特性的方法是可靠、有效的。

表 1 风洞试验与 CFD 仿真可信性试验结果对比  
Tab.1 Result comparison between wind tunnel and CFD simulation test

风洞	气动阻力系数 $C_D$	相对误差
湖南大学 HD-2 风洞	0.3842	3.83%
斯图加特大学 IVK 风洞	0.3874	4.62%

### 2.3 CFD 数值模拟结果及分析

在网格划分及参数设置可信性验证的基础上，对构建的大溜背 SUV 基础模型在倾斜角  $\alpha$  为  $[0^\circ, 10^\circ]$  范围内的样本值进行 CFD 数值模拟仿真，得到其  $C_D$  值随  $\alpha$  角度变化规律，见图 6。随着  $\alpha$  角度增大，SUV 气动阻力系数  $C_D$  呈持续减小趋势，最小值  $C_{Dmin}=0.2967$ ；在样本值范围内  $\alpha=10^\circ$  时，气动阻力系数最大变化值  $\Delta C_D=-0.0728$ ， $\alpha$  倾斜角度对 SUV 整车气动阻力降低的最大贡献值为 19.7%。试验结果表明：大溜背造型特征能够有效的降低 SUV 气动阻力，具有大溜背造型特征的 SUV 比相同造型下的传统 SUV 拥有更加优秀的气动特性；同时，随着大溜背倾斜角度的增大，SUV 气动阻力系数不断降低，角度越大，气动阻力越小，这就要求设计师在满足设计

美学原则的同时，亦要考虑空气动力学性能和车身后排内部空间的合理布置，根据实际情况进行大溜背造型的倾斜角度设计。

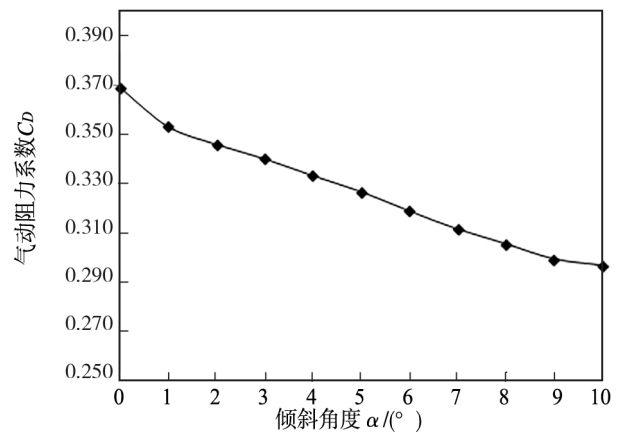


图 6 气动阻力系数随  $\alpha$  角度变化规律  
Fig.6 Variational rule of aerodynamic drag coefficient with the angle of alpha

SUV 湍流动能见图 7，为大溜背倾斜角度分别为  $0^\circ, 2^\circ, 4^\circ, 6^\circ, 8^\circ, 10^\circ$  时的车身湍流动能变化图，对比各倾斜角度下的湍流动能情况可知，大溜背倾斜角度对 SUV 外流场的主要影响在于车身后背部，随着倾斜角度的增大，经过车身顶部之后到达尾部时的气流分离现象逐渐减弱，后背部车身面积减小，气流在尾部的湍流区域不断减小，使尾部的湍流动能降低，这是大溜背造型特征使 SUV 气动阻力系数得以降低的主要原因。

SUV 风阻系数普遍处于 0.34 ~ 0.39 范围，通过数据查询得知目前市场上的几款 SUV 大溜背车型的具体风阻系数  $C_D$ ，宝马 X6、奔驰 GLE 运动型、讴歌 ZDX 都达到了 0.34 这一数值范围最低值，而纳智捷 U6 则具有 0.33 的优秀风阻系数，最佳则是  $C_D$  值仅 0.235 的雷诺 Eolab 概念车。大溜背造型具有优秀的空气动力学特性，这几款 SUV 大溜背车型的动态性能和低风阻是最实际的证明。

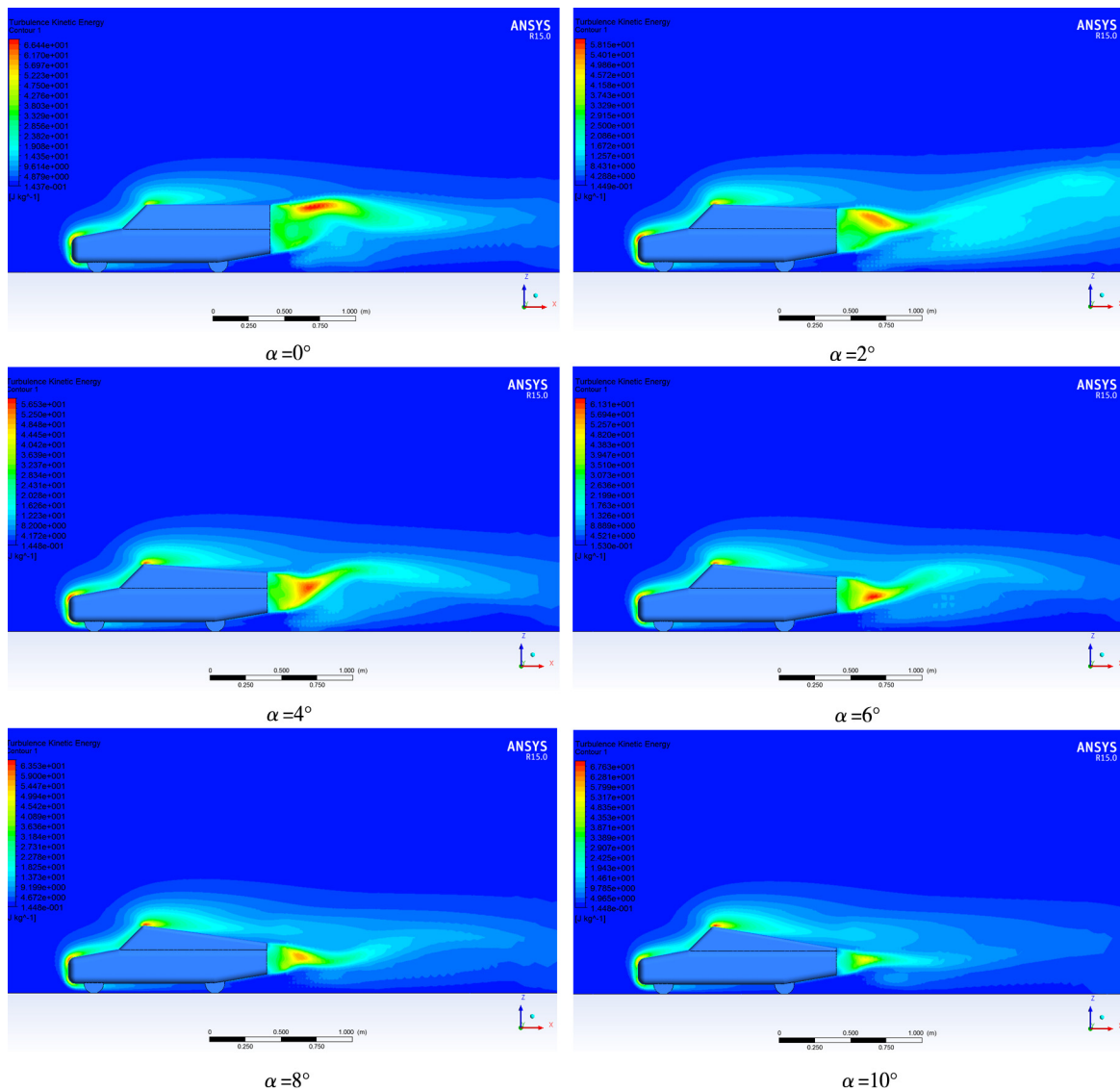


图7 SUV湍流动能  
Fig.7 SUV turbulent kinetic energy diagram

### 3 结语

SUV大溜背造型特征作为一种新的汽车造型风格给传统SUV市场带来了新的车型产品,以此满足消费者的个性消费需求,使其迅速成为SUV消费市场新的宠儿,因此分析SUV大溜背造型特征,对我国自主品牌研究、开发新的SUV车型具有一定的参考意义。从美学和空气动力学角度,对整车造型风格具有决定性意义的单一造型特征进行定性分析与定量分析,为分析汽车造型设计提供一种新的思路。

#### 参考文献:

- [1] CHAN C. Can Style be Measured[J]. Design Studies, 2000, 21(3): 277—291.
- [2] 胡伟锋, 赵江洪. 用户期望意象驱动的汽车造型基因进化[J]. 机械工程学报, 2011, 20(4): 176—181.  
HU Wei-feng, ZHAO Jiang-hong. Automobile Styling Gene Evolution Driven by User' Expection Image[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2011, 20(4): 176—181.
- [3] 赵丹华, 赵江洪. 汽车造型特征与特征线[J]. 包装工程, 2007, 28(3): 115—118.  
ZHAO Dan-hua, ZHAO Jiang-hong. Automobile Form Feature and Feature Line[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(3): 115—118.
- [4] 谭浩, 赵江洪, 赵丹华, 等. 汽车造型特征定量模型构建与应用[J]. 湖南大学学报: (自然科学版), 2009, 36(11): 27—31.  
TAN Hao, ZHAO Jiang-hong, ZHAO Dan-hua, et al. Construction and Application of the Quantitative Mod-

- el of Automobile Form Features[J]. Journal of Hunan University(Natural Sciences), 2009, 36(11): 27—31.
- [5] 姜乐华, 谷正气, 黄天泽. 空气动力性最优化对未来汽车外型设计的影响[J]. 汽车研究与开发, 1997(5).  
JIANG Le-hua, GU Zheng-qi, HUANG Tian-ze. The Influence of Aerodynamic Optimization on the Exterior Design of the Future[J]. Automobile Research & Development, 1997(5).
- [6] Aerodynamic Testing of Road Vehicles: Open Throat Wind Tunnel Adjustment[J]. SAE J2071 Revised, 1994 (6).
- [7] 宋昕. 汽车气动升力及其对直线行驶能力影响的研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2012.  
SONG Xin. Research on Automotive Aerodynamic Lift and Its Effects on Straight Line Driving Ability[D]. Changsha: Hunan University, 2012.
- [8] 陈建宏. 基于 CFD 的 MIRA 模型外流场数值模拟[J]. 黑河学院学报(自然科学研究), 2015(6).  
CHEN Jian-hong. Numerical Simulation of Flow Field for MIRA Model Based on Fluent[J]. Journal of Heihe University(Natural Sciences), 2015(6).
- [9] 武藤真理. 汽车空气动力学[M]. 程正, 译. 长春: 吉林科学技术出版社, 1989.  
SHI N M. Automobile Aerodynamics[M]. CHENG Zheng, Translate. Changchun: Jilin Science & Technology Press, 1989.
- [10] 谷正气, 王师, 仇键, 等. MIRA 模型组尾部造型风洞实验研究[J]. 科技导报, 2011(8).  
GU Zheng-qi, WANG Shi, QIU Jian, et al. Wind Tunnel Tests of MIRA Model Group for Study of Vehicle's Rear Shape[J]. Science & Technology Review, 2011(8).