

某 SUV 后部扰流附件的气动性能研究

任 超, 吴海波, 陈 倩

(上汽大众汽车有限公司, 上海 201805)

摘 要: 基于某 SUV 车型, 通过数值计算和风洞试验研究了 14 种后扰流板和侧扰流板方案对整车气动性能的影响。结果表明, 单独加装任意一种扰流板, 其减阻效果均较小, 而在后扰流板和侧扰流板的共同作用下, 减阻效果最大可达 3%, 且所有方案在降低阻力的同时, 都会使后升力增加。根据计算得到的流场信息和尾迹区结构特性分析了扰流板的减阻机理, 并根据试验结果分析了不同方案对于升力的影响规律, 为相似车型扰流附件的气动优化提供了参考依据。

关键词: 空气动力学; 扰流板; 减阻; 升力; 风洞试验

中图分类号: U461.1 文献标志码: A DOI: 10.3969/j.issn.2095-1469.2021.04.10

Study on Aerodynamic Performance of Rear Spoiler on an SUV

REN Chao, WU Haibo, CHEN Qian

(SAIC Volkswagen Automotive Co., Ltd., Shanghai 201805, China)

Abstract: In this paper numerical simulation and wind tunnel tests were conducted to study the influence of rear spoiler and side spoiler designed with 14 proposals on the aerodynamic performance of an SUV model. The results indicate that the small drag reduction occurs if any spoiler is installed separately. However, the drag coefficient can be reduced by up to 3% with the combination of the rear spoiler and the side spoiler. For all the proposals the rear lift is increased while the drag is reduced. The drag reduction mechanism of the spoiler was analyzed by using the flow fields and wake field patterns obtained from the simulation, and the influence of rear and side spoiler on lift force was also discussed with test results, which provides a guidance for further investigation on the related car models.

Keywords: aerodynamic; spoiler; drag reduction; lift; wind tunnel test

近年来, 随着油耗和排放法规越来越严苛, 目前国 VI 的排放法规已切换至 WLTP, 而从 2021 年起, 油耗的测试工况也将从 NEDC 切换至 WLTP, 这也给车企带来了更大的压力和更严峻的挑战。新法规要求企业在汽车的研发中, 不仅要考虑汽车的稳定

性、安全性, 更要注重如何节能减排, 提高燃油经济性。而作为重要途径之一, 提升汽车的空气动力学性能也变得更加重要。

汽车所受到的风阻主要来自于压差阻力, 而大部分的压差阻力都来自车身后部, 因此, 作为汽车

收稿日期: 2020-05-15 改稿日期: 2020-06-28

参考文献引用格式:

任超, 吴海波, 陈倩. 某 SUV 后部扰流附件的气动性能研究 [J]. 汽车工程学报, 2021, 11 (4): 304-312.

REN Chao, WU Haibo, CHEN Qian. Study on Aerodynamic Performance of Rear Spoiler on an SUV [J]. Chinese Journal of Automotive Engineering, 2021, 11 (4): 304-312. (in Chinese)



最重要的空气动力学套件之一，后部的扰流附件有着改善汽车尾流结构、提升整车空气动力学性能的显著作用^[1]。目前国内外有大量针对汽车后扰流板的研究，但其中很多是基于简化模型^[2-7]，并非真实的复杂车型，这也给研究结果带来了一定的不确定性。而且随着技术的进步和汽车空气动力学的发展，近几年在各大知名整车厂发布的新车型中，特别是SUV和两厢车，可以看到很多新颖、独特的尾部扰流板^[8]，且越来越多的车型安装了侧扰流板。

朱忠华等^[9]利用试验与仿真对真实的复杂车型展开研究，分析了后扰流板角度的变化对阻力和升力的影响，并且找到了使阻力和升力都处于最优状态的角度。何浩然等^[10]基于某MPV车型，延长了后扰流板并加装侧扰流板，降低整车风阻系数最大达到0.008，结果表明延长后扰流板有较好的减阻效果，但是到一定长度后继续延长则效果减弱，而侧扰流板的效果明显优于延长后扰流板。

BAJPAI等^[11]分析了某款两厢车延长后扰流板和C柱扰流板对风阻带来的优化，并且采用了响应面法分析了不同设计变量对风阻的影响，但是缺少试验的验证。KREMHELLER^[12]针对某SUV车型的开发，提出了优化后扰流板需要保证尾涡平衡的结论，此外还发现增加D柱扰流板可以有效减小D柱旋涡的形成。IINUMA等^[13]也设计了一种新型C柱扰流板，有效地控制了C柱尾涡的位置，改善了小偏角下的升力性能。STERKEN等^[14]基于一款SUV车型，研究了延长后扰流板在不同偏转角下对阻力和前后升力的影响，并且通过在扰流板上增加凸起特征进一步降低了偏转角下的后升力，提高了侧风稳定性。

这些研究针对汽车后部扰流附件进行了详尽的分析和论证，而且表明了侧扰流板对于降低风阻的重要性（以上研究中所提到的C/D柱扰流板本文中统称为侧扰流板），但针对多个方案的分析和试验研究并不充分，关于后扰流板和侧扰流板相互关系的讨论也较少，且在改善风阻的同时，不同扰流附件对升力的影响也需要更深入的研究。

本文基于上汽大众某款SUV车型的开发，通过仿真计算与风洞试验相结合的方法，重点研究了14种后扰流板和侧扰流板的优化方案，分析了不同方案的减阻机理，以及不同扰流板组合方式对气动性能的影响规律，为相似车型的空气动力学开发和优化提供了参考依据。

1 扰流附件优化方案

该SUV上代车型后扰流板较短，没有侧扰流板，且由于自身特点，具有较大的迎风面积，风阻处于较高水平。因此，在新款车型的开发中重点考虑了该区域的优化。后扰流板共有4种加长方案，而侧扰流板有两种方案，分别如图1和图2所示。本文通过仿真计算和风洞试验分别对14种组合方案展开了研究，见表1。

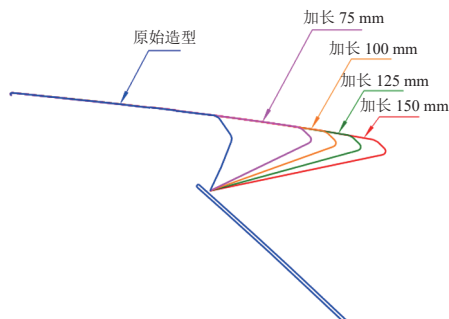


图1 后扰流板方案截面图

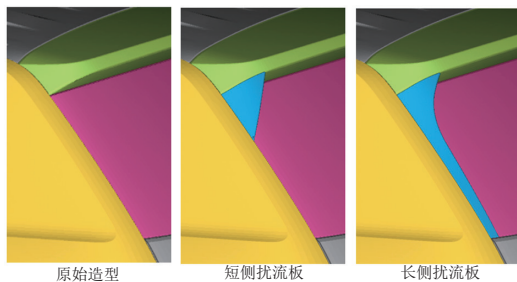


图2 侧扰流板方案

表1 扰流板优化方案

	无	短	长
不加长	—	方案5	方案10
加长 75 mm	方案1	方案6	方案11
加长 100 mm	方案2	方案7	方案12
加长 125 mm	方案3	方案8	方案13
加长 150 mm	方案4	方案9	方案14

2 数值仿真计算

2.1 计算模型

该几何模型包括了整个外表面细节特征、底盘、悬挂、排气等结构,与试验车辆保持一致,且封闭了前格栅以减少发动机舱对尾流的影响。采用 Fluent Meshing 对几何进行包面并生成 Hexcore 六面体网格,针对阻力敏感区域进行网格局部加密,并计算根据初场进行网格自适应加密生成的 12 层边界层,以满足 Y^+ 值 ≤ 2 的要求,最终生成的体网格量约为 1.3 亿个。计算域中截面网格如图 3 所示。

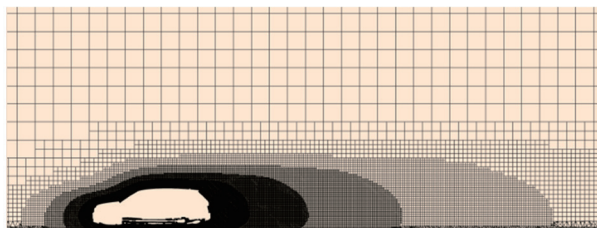


图 3 计算域中截面网格

计算域的设置尽可能地还原了同济大学上海地面交通工具风洞中心的试验段,足够大的尺寸以消除计算域边界对流场的影响。计算域地面设置了中央移动带和轮带以模拟风洞地面的五带系统,并且在移动带前方设置了无摩擦区域以还原边界层抽吸系统。轮毂区域采用了多重参考系 (MRF) 来模拟车轮的旋转以保证车轮周围气流的真实性。具体边界条件设置见表 2。

表 2 计算域边界条件设置

入口	Velocity inlet	140 km/h
出口	Pressure outlet	0 Pa
中央移动带	Moving Wall	140 km/h
轮带	Moving Wall	140 km/h
无摩擦区	Slip Wall	-

2.2 湍流模型

本文中的仿真计算基于通用 CFD 软件 Fluent,采用的湍流模型为 GEKO 模型 (Generalized $k-\omega$),该模型是一种基于 $k-\omega$ 的双方程模型,相比于传统模型,它提供了自由参数,具有更高的灵活性,用

户可根据特定类型的应用调整这些参数,且不会对模型的基本校准产生负面影响^[15]。此外,对于离散方程的求解选择基于压力的 Coupled 算法,其具有更高的计算效率和更快的收敛速度,控制方程中动量、湍动能和湍流耗散率的离散格式为二阶迎风。

3 仿真结果分析

3.1 后扰流板长度对风阻的影响

由于后扰流板和侧扰流板都是尾部风阻敏感区域,为了对其进行详尽且透彻的研究,深入了解流场的变化,先对其各自单独的作用进行分析,之后再对彼此的相互作用展开分析。全部方案 1~14 的仿真计算结果如图 4 所示。

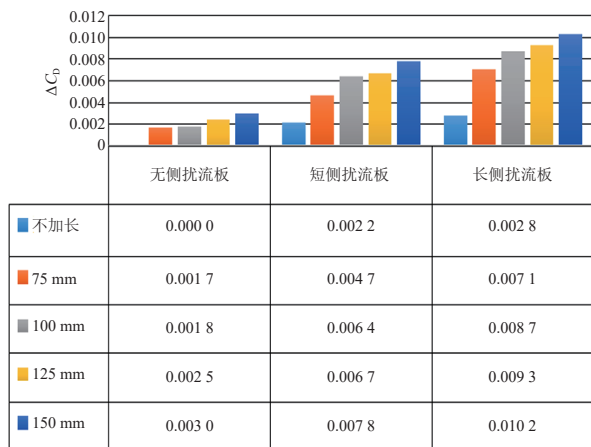


图 4 方案 1~14 仿真计算结果

在不加装侧扰流板的时候,4 种长度方案均有减阻效果,且呈现出逐渐增大的趋势,但是总体效果非常有限,后扰流板加长 150 mm 时风阻系数仅降低 0.003。如果加装了侧扰流板,可以看到相似的趋势变化,风阻将随着后扰流板的延长而降低,但此时的减阻效果大大高于不带侧扰流板的方案。其中加装两种侧扰流板时,最大风阻系数降低量分别为 0.008 和 0.010。

图 5 为方案 1~4 的尾部压力系数分布云图,可以看出后窗区域的压力系数随着后扰流板的延长而逐渐增加,因此减少了整车前后的压差,降低了阻力。

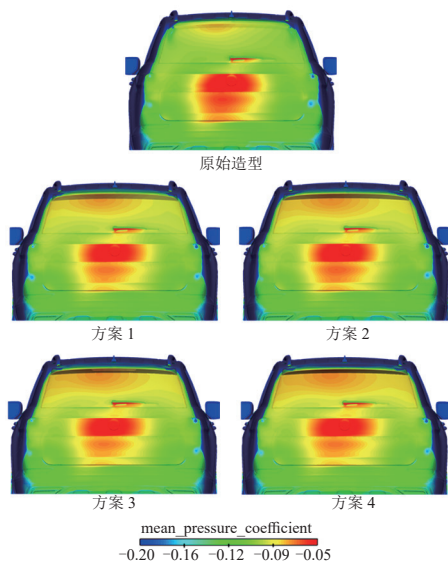


图5 不同后扰流板方案尾部压力系数分布

图6为 y_0 截面 x 向速度分布云图，为了便于观察尾涡变化趋势，这里仅对比原始造型和最长的后扰流板方案。对比显示，延长后扰流板使气流流向发生了顺时针的偏转，来自顶部的气流被引导至更低的位置，并延迟了分离。因此，尾涡的尺寸得到了缩小，从而减少能量的耗散，提高了压力恢复^[16]。

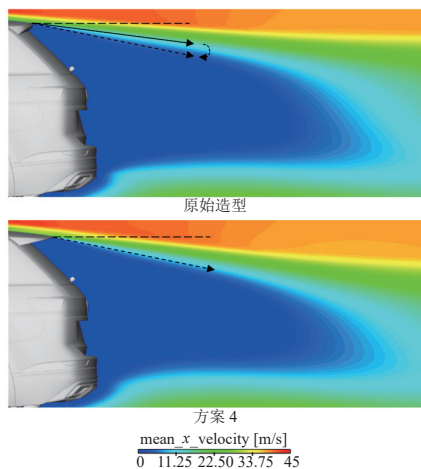
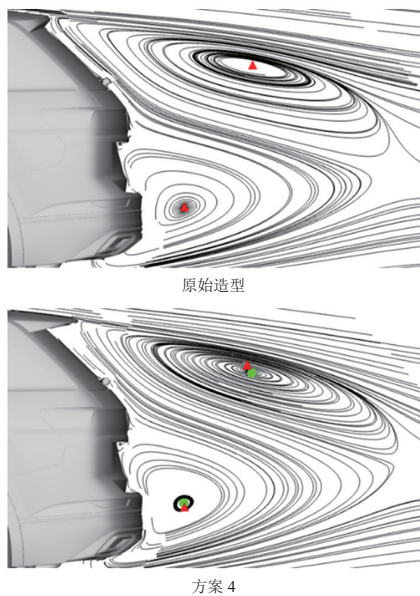
图6 y_0 截面 x 向速度分布

图7通过流线图进一步分析了尾涡的变化。可以看到来自顶部、两侧和底部的气流在尾部相互作用，在纵截面上形成了两个较大的旋涡，而控制好这对旋涡的尺寸，保证其平衡，是优化尾部阻力的关键。图中原始造型上方的旋涡略大于下方，红色

三角形标出了两个旋涡的涡心点，而延长了后扰流板，这对纵向涡的尺度更加相似，也达到了更好的平衡，上方旋涡的涡心（绿色圆点）向斜后方发生了位移，而下方涡心向上发生了微小的位移。

图7 y_0 截面流线分布

3.2 侧扰流板对风阻的影响

在不加长后扰流板时，仅对比侧扰流板对风阻的影响，计算结果显示两种侧扰流板均有一定的减阻效果，分别为0.002 2和0.002 8。图8为方案5和10的尾部压力系数分布，可以看出加装侧扰流板后，后窗区域的压力系数有一定降低，但是后保险杠处压力系数则明显升高，且长侧扰流板高于短侧扰流板。

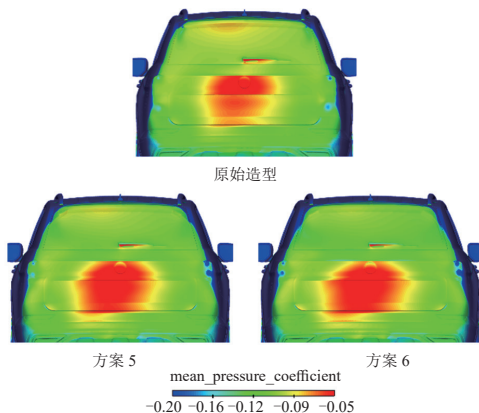


图8 不同侧扰流板方案尾部压力系数分布

图 9 为侧扰流板处水平截面速度分布,可以看出侧扰流板类似地起到了延迟气流分离的作用,且缩小了上方尾涡的尺寸。但出于造型原因,侧扰流板上边界必须与后扰流板相匹配,此时后扰流板并未延长,所以导致侧扰流板的造型面与来流方向角度较大,这对于控制气流强制分离有一定的负效果,从而造成了后窗上压力恢复的减小。

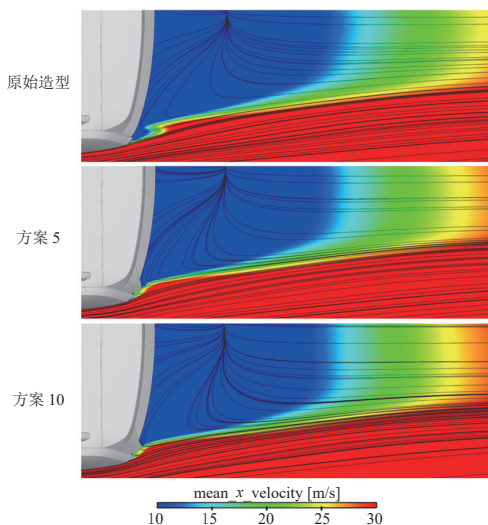


图 9 侧扰流板水平截面速度分布

图 10 左侧显示了总压系数为 0 的等值面,该图可以直观地看出尾涡的尺寸大小。在侧扰流板的帮助下,尾涡变得更加收缩聚拢,减小了能量的耗散。而右侧为车身后方横截面总压系数的分布,可以看到圈中来自 D 柱的旋涡得到了有效的控制,相比于原始造型均有明显的缩小,位置也更加向下和中心靠拢,且方案 10 对于 D 柱旋涡的抑制要好于方案 5。

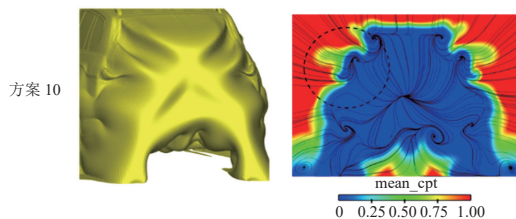
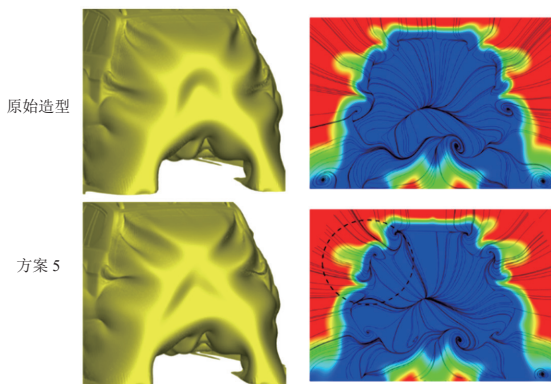


图 10 不同方案总压系数等值面图(左)和尾部横截面总压系数分布(右)

图 11 通过后保险杠水平截面的速度分布进一步说明了该区域静压升高的原因,由于侧扰流板对来自 D 柱气流的引导,使 D 柱旋涡更加靠中心向下,正好抑制了后保险杠两侧气流流向中心的趋势,使气流分离得更加干净彻底,也缩短了尾涡的长度,提高了压力恢复。

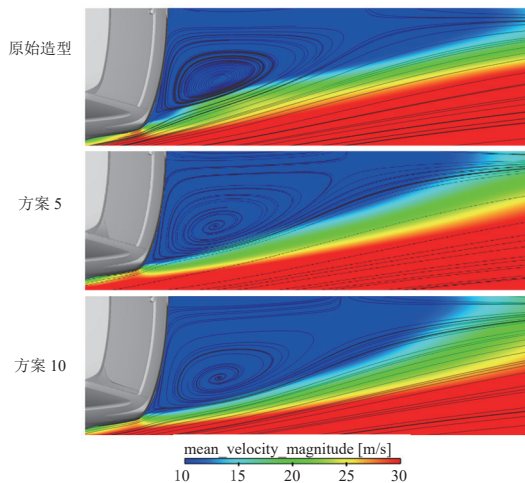


图 11 后保险杠水平截面速度分布

3.3 后扰流板和侧扰流板的相互作用

以上分别针对延长后扰流板和加侧扰流板对风阻的影响进行了分析,但是从计算结果中可以看到,单独优化某一扰流板所带来的减阻效果都是有限的。如图 12 所示,在两种扰流板的共同作用下,减阻效果明显增加,出现了“1+1 大于 2”的现象。由此可见,两种扰流板具有相互促进的关系。

为了从流场中分析清楚产生这一现象的原因,选取原始造型和方案 14 进行对比。图 13 为两者尾部压力系数分布云图,可见延长后扰流板且加装侧扰流板后,不仅改善了后窗区域的压力,而且保险杠处的高压区也随之增加,所以减阻效果会明显增大。

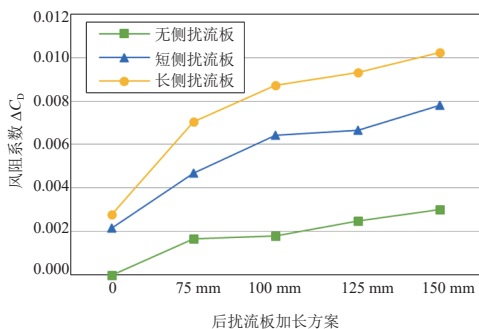


图 12 不同扰流板方案对风阻影响的变化

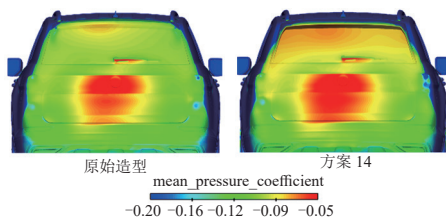


图 13 不同后扰流板方案尾部压力系数分布

如图 14 为两方案的湍动能等值面图，湍动能取值为 $40 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ，该图直观地显示了湍动能的耗散程度。可见在两种扰流板的作用下，大大改善了尾部后窗区域的能量耗散。

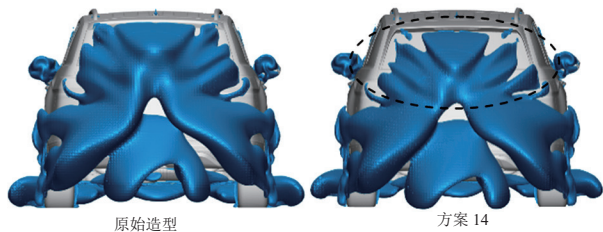


图 14 湍流动能等值面图

在图 15 的流线图对比中，原始造型可以明显看到来自顶部和侧方气流所形成的 D 柱旋涡，而在扰流板的作用下，顶部和侧边的气流被更好地梳理，均延迟了分离，抑制了两股气流的交互，并使其快

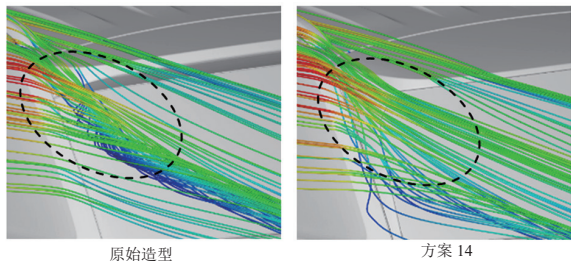


图 15 扰流板处流线图

速地向后方流出，改善了 D 柱旋涡的形成。根据以上分析，较长的后扰流板及侧扰流板可以在两侧改善气流，在得到干净的气流分离外，控制了尾涡的整体大小，大大提高了压力恢复，降低了风阻。

4 风洞试验

为了验证以上计算结果的准确性，对全部方案进行了风洞试验。如前文所述，所有的试验均在同济大学风洞中心进行，并开启了五带系统和边界层去除系统，以保证真实的底部气流。试验模型基于 1:1 的实车进行，并对后部区域进行了局部改造，优化方案采用油泥加 ABS 样件，试验车辆及局部模型如图 16 所示。



图 16 风洞试验车辆及模型局部

4.1 试验结果分析

试验中不同扰流附件方案的风阻系数与仿真结果的对比见表 3，其中数据均作了归一化处理。可以看到仿真中各个方案都与试验趋势保持一致，且差别较小。

图 17 为试验与仿真结果的误差分析，图中实线斜率为 1，落在该线上说明仿真与试验的结果完全一致。而两条虚线为误差 $\pm 0.5\%$ 的界限，可以看到绝大多数的点处于这个范围内，说明大多数方案的误差不超过 $\pm 0.5\%$ 。其中最大误差为方案 11 的 0.56% ，而试验中样件的安装误差可能是造成该方案误差较大的原因。该模型 0.5% 的阻力相当于 0.0017

表 3 风阻系数的试验和仿真结果

	试验 C_D	仿真 C_D
原始造型	1.000 0	1.000 0
方案 1	0.995 7	0.994 8
方案 2	0.996 0	0.994 4
方案 3	0.992 6	0.992 3
方案 4	0.993 8	0.990 6
方案 5	0.992 6	0.993 3
方案 6	0.983 1	0.985 3
方案 7	0.980 9	0.980 0
方案 8	0.976 9	0.979 2
方案 9	0.979 1	0.975 7
方案 10	0.991 1	0.991 3
方案 11	0.983 4	0.977 9
方案 12	0.976 9	0.972 8
方案 13	0.975 7	0.971 0
方案 14	0.968 9	0.968 0

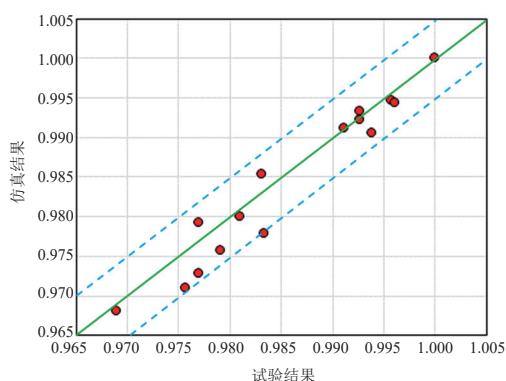


图 17 风阻系数的试验与仿真误差分析

的风阻系数，因此，可以近似地认为所有方案计算与试验的误差均不大于 0.002。总体来看计算结果与试验具有较好的一致性，误差在可接受范围内。

图 18 为不同方案减阻效果的仿真与试验结果对比，从中可以看到减阻效果的变化趋势，虽然计算误差不超过 0.002，但是试验中方案 4 和 9 的变化趋势与计算不同。这两个方案的减阻量并没有随后扰流板的加长而变大，初步分析与试验中油泥的变形有关，且在样件的多次换装过程中，可能存在安装误差。除此之外，其他方案的变化趋势与计算较为吻合，因此，可以认为通过计算所获得的流场信息较为准确。

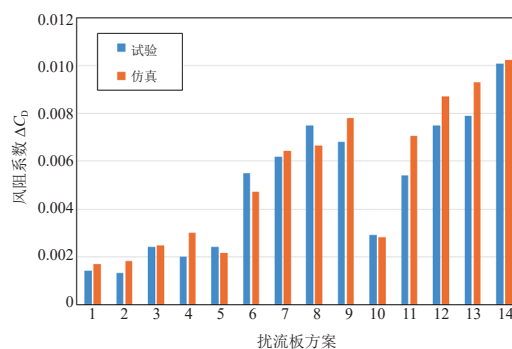


图 18 试验和仿真风阻系数差值的对比

4.2 不同扰流板方案对升力的影响

虽然本文的重点是研究扰流附件对风阻的影响，但是对于 SUV 车型，升力也是不得不考虑的重要因素，其直接影响着汽车的稳定性。而后部扰流板的变化也会对升力产生巨大的影响，尤其是后升力。由于升力计算一般误差较大，所以并没有对仿真和试验的升力结果进行对比，而是根据试验结果来分析不同扰流板方案对升力的影响。

图 19 为不同扰流板方案对前后升力的影响，可以看到所有方案的前升力系数变化总体很小，且随着后扰流板延长和加侧扰流板呈现出降低的趋势，总的降低量不超过 0.003。与此同时，后升力则显示出巨大的变化，所有方案的后升力系数都呈现出上升的趋势，方案 14 的升高量最大，达到 0.024。而后升力增加势必会影响汽车的行驶姿态，从而导致前升力有了小幅的降低。

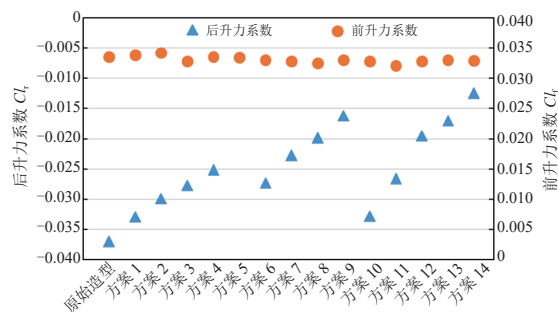


图 19 不同扰流板方案对前后升力的影响

为了深入研究不同侧扰流板和后扰流板对后升力的影响规律，如图 20 所示，首先，在不延长后扰流板时，可以看到两种侧扰流板对后升力的影响

基本相同,且后升力系数增加较小,仅为0.004。而在无侧扰流板时,仅延长后扰流板使后升力系数最大增加了0.012,可见后扰流板的更改对后升力的影响要远远大于侧扰流板。

其次,在不同侧扰流板下,后升力都随后扰流板的延长而增加,且增加趋势较为线性,带侧扰流板方案的后升力都高于无侧扰流板的方案。而在长侧扰流板下拟合线的斜率最大,也说明在此方案下,延长后扰流板使后升力增加最快,增加量也是最大的。根据前文仿真计算的分析,延长了后扰流板会延迟气流分离,使流过车顶后方的气流加速、压力降低,因此,后部车顶与车底的压差减小,导致了后升力的增加;而侧扰流板位于车身两侧,虽然也会加速气流,使两侧的气流压力降低,但是作用到升力方向的影响显然较小。

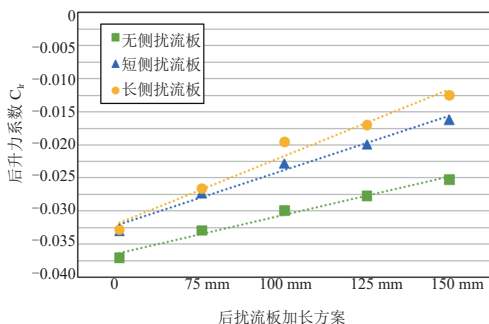


图20 不同扰流板方案对后升力的影响对比

5 结论

本文基于上汽大众某款SUV车型,讨论了不同后扰流附件对于车辆气动性能的影响,通过数值计算与风洞试验的综合研究,结果表明,最佳的扰流板组合能够改善尾迹区域的流动结构,实现整车减阻优化效果。具体结论如下:

(1) 加装后扰流板可以延迟来自车顶的气流分离,并且使分离涡核位置远离车尾、涡尺度减小,从而提高了车辆尾部的静压分布,起到减阻作用。随着后扰流板长度增加,减阻效果逐渐增强,但增强的趋势变慢,最终的减阻效果有限,最大减阻量不到1%。

(2) 加装侧扰流板能够有效抑制D柱分离涡强度,使两侧气流分离更加彻底,改善了保险杠处的压力回升,且长侧扰流板的效果优于短侧扰流板。但是由于受到造型的限制,仅加装侧扰流板会损失一定的后窗压力,所以减阻量依然有限,最大减阻量约为1%。

(3) 同时安装后扰流板和侧扰流板,能够从车顶和两侧同时延迟气流分离,最大程度上抑制尾迹区涡结构尺度,使纵向和横向涡对更加平衡,改善了背压分布,整车减阻效果显著提升,最大减阻量可以达到约3%。

(4) 本文的扰流板方案在实现减阻的同时均会带来后轴升力一定程度的增大。其中后扰流板对后升力的影响较大,且随后扰流板的延长而显著升高,侧扰流板的影响较小,但总体影响在可接受范围之内。

根据本文的研究结果,SUV车型在加装尾部扰流附件时,必须要同时考虑后扰流板和侧扰流板,以挖掘最大的减阻优化潜力。而优化风阻的同时,对升力的影响也是不容忽视的,本文没有进一步优化升力,未来需要继续研究探讨。此外,过长的后扰流板在降低风阻的同时,可能会影响后窗视野区,虽然本文没有提及,但是今后在优化后扰流板时必须要考虑。

参考文献(References)

- [1] HUCHO W H. Aerodynamics of Road Vehicles [M]. 4th ed. USA: Elsevier, 1998.
- [2] 孟妍妮, 戚宇欣. 后扰流板对轿车气动性能影响的数值模拟分析 [J]. 车辆与动力技术, 2018(2): 51-55.

- MENG Yanni, QI Yuxin. Numerical Simulation of Effect of Rear Spoiler on Sedan Aerodynamics Characteristics [J]. Vehicle & Power Technology, 2018(2): 51-55. (in Chinese)

- [3] 杨瀚博, 胡兴军, 安阳. 基于顶部与侧部扰流器的轿车气动减阻 [J]. 江苏大学学报 (自然科学版), 2015, 36(5): 504-508.
YANG Hanbo, HU Xingjun, AN Yang. Aerodynamic Drag Reduction of Passenger Car Based on Top and Side Spoiler [J]. Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition), 2015, 36(5): 504-508. (in Chinese)
- [4] 张英朝, 韦甘, 张喆. 不同尾翼两厢轿车的气动特性数值模拟 [J]. 吉林大学学报 (工学版), 2011, 41(1): 1-5.
ZHANG Yingchao, WEI Gan, ZHANG Zhe. Aerodynamic Numerical Simulation of Hatch-Back Car with Different Spoilers [J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2011, 41(1): 1-5. (in Chinese)
- [5] 王汉封, 邹超, 张运平. 利用导流板控制 25° 倾角 Ahmed 类车体尾流与气动阻力 [J]. 湖南大学学报 (自然科学版), 2014, 41(4): 94-100.
WANG Hanfeng, ZOU Chao, ZHANG Yunping. Control of the Wake and Aerodynamic Drag of an Ahmed Model with 25° Slant Angle by Using Deflectors [J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences), 2014, 41(4): 94-100. (in Chinese)
- [6] KIM I, CHEN Hualei, SHULZE R C. A Rear Spoiler of a New Type that Reduces the Aerodynamic Forces on a Mini-Van [C]//SAE Technical Papers, 2006-01-1631, 2006.
- [7] PACHPUND S, MADHAVAN J, PANDIT G, et al. Development of CFD Methodology for Drag Force Prediction on Passenger Car with Rear Mounted Spoiler [C]//SAE Technical Papers, 2012-28-0029, 2012.
- [8] 李春鹏, 赵婧. 某电动 SUV 尾翼优化方案分析 [J]. 汽车工程学报, 2019, 9(6): 436-440.
LI Chunpeng, ZHAO Jing. Shape Optimization of Tail Fins on an Electric SUV [J]. Chinese Journal of Automotive Engineering, 2019, 9(6): 436-440. (in Chinese)
- [9] 朱忠华, 张雷, 许志宝, 等. 汽车后扰流板对外气动性能影响的研究 [J]. 汽车技术, 2017(5): 19-23.
ZHU Zhonghua, ZHANG Lei, XU Zhibao, et al. Research on Influence of Rear Spoiler on External Aerodynamic Performance [J]. Automobile Technology, 2017(5): 19-23. (in Chinese)
- [10] 何浩然, 孙庆友, 陆飞龙. 后扰流板对整车气动阻力的影响 [J]. 农业装备与车辆工程, 2018, 56(2): 33-36.
HE Haoran, SUN Qingyou, LU Feilong. Influence of Rear Spoiler on Vehicle Aerodynamic Drag [J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2018, 56(2): 33-36. (in Chinese)
- [11] BAJPAI D, REGIN F. Aerodynamic Design Optimization in Rear End of a Hatchback Passenger Vehicle [C]//SAE Technical Papers, 2019-01-0430, 2019.
- [12] KREMHELLER A. The Aerodynamics Development of the New Nissan Qashqai [C]//SAE Technical Papers, 2014-01-0572, 2014.
- [13] IINUMA Y, TANIGUCHI K, OSHIMA M. Aerodynamics Development for a New EV Hatchback Considering Crosswind Sensitivity [C]//SAE Technical Papers, 2018-01-0715, 2018.
- [14] STERKEN L, LOFDAHL L, SEBBEN S, et al. Effect of Rear-End Extensions on the Aerodynamic Forces of an SUV [C]//SAE Technical Papers, 2014-01-0602, 2014.
- [15] Fluent Inc. FLUENT User's Guide [Z]. Fluent Inc., 2019.
- [16] MAYER W, WICKERN G. The New Audi A6/A7 Family—Aerodynamic Development of Different Body Types on One Platform [C]//SAE Technical Papers, 2011-01-0175, 2011.

作者介绍



任超 (1986-), 男, 上海市人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为整车空气动力学开发。

Tel: 13917480864

E-mail: renchao@csvw.com