

汽车空调除霜性能研究

梁长裘 刘芳 詹佳 朱贞英 门永新 赵福全

吉利汽车研究院, 杭州萧山 311228

摘要：对六款不同风道进行流场和除霜数值模拟分析，考虑到风道对风挡玻璃的气流流态与分布、除霜效果等影响因素。并与试验结果进行对比，验证了仿真分析的精度。最后对空调除霜风道出口的气流分布形态对风挡玻璃除霜效果进行了总结，为风道设计提供了一种设计方法。

关键词：除霜风道 气流分布 CFD

A Study on the Defrosting Performance of Windscreen

Liang Changqiu, Liu fang, Zhan Jia, Zhu Zhenying, Men Yongxin, Zhao Fuquan

Geely Automobile Institute, Xiaoshan, Hangzhou 311228

Abstract: This article takes simulation analysis over flow field and defrosting values with six different types of air ducts, taking account of influential factors arising from air ducts towards flow pattern and distribution of airflow of windscreen as well as defrosting effect, etc. Meanwhile, comparison with testing results is also made to verify precision of simulation analysis. Finally, conclusions are made regarding air flow distribution pattern at conditioning defrosting air duct outlet and windscreen defrosting outcomes, which serve to provide a design approach for air ducts.

Keywords: HAVC Defrosting Duct, Airflow-distribution, Computational Fluid Dynamics

1 前言

汽车空调除霜风道是汽车空调系统重要组成部分，良好的除霜性能不仅能够满足国家对汽车除霜法规要求，同时还提高顾客满意度，提升竞争力。

本文采用 CFD 软件，对除霜风道进行流场分析，通过考察汽车空调除霜风道出口气流分布，结合乘员舱流场分析与实验结果，逐层验证风道出口气流分布的除霜效果，分析并总结出口风速分布对风挡玻璃除霜性能的影响，对空调风道优化设计、除霜性能的有效保证具有重要的工程价值。

2 模型建立与数值计算

2.1 几何模型

搭建除霜分析有限元模型（如图 2.1~2.2），依据汽车除霜性能法规要求，对汽车风挡玻

璃进行 A、A' 和 B 区划分，以便评价各区域的除霜性能。

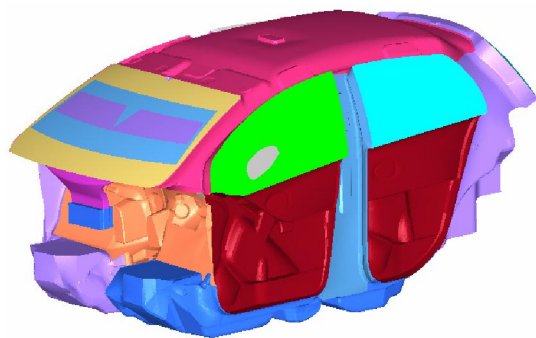


图 2.1 除霜分析有限元模型



图 2.2 空调除霜风道模型

2.2 数学模型基本理论

流体流动受物理守恒定律支配，基本守恒定律包括质量守恒定律、动量守恒定律、能量守恒定律。以下是这些守恒定律的描述：

$$\text{由质量守恒导出连续性方程：} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\text{动量守恒方程：} \frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \overline{\rho u_i' u_j'} \right) - S_i \quad (2)$$

$$\text{能量守恒方程：} \frac{\partial (\rho T)}{\partial t} + \text{div}(\rho u T) = \text{div} \left(\frac{k}{c_p} \text{grad } T \right) + S_T \quad (3)$$

对除霜风道及乘员舱内进行流场分析，包含流动与传热问题，将流动视为不可压缩流动，采用 $k-\varepsilon$ 模型求解，控制方程还包括 k 方程和 ε 方程，采用散度符号表示为^[1]：

$$\frac{\partial (\rho \phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \phi) = \text{div}(\tau \text{grad} \phi) + S \quad (4)$$

其中， τ 为 k 和 ε 的扩散系数， ϕ 为 k 或 ε 。

3 空调除霜风道流场分析

3.1 空调除霜风道结构对比

对六款除霜风道进行流场分析,对比除霜风道出口速度分布及前风窗玻璃气流速度分布,综合评价出口速度分布对除霜性能的影响。

A 风道出口主要分为三个区域,左右区及中间区。左右对称区域主要是对风挡玻璃 A、A'区送风,风道出口中间区域对 A 和 A'之间的区域送风。

B 风道出口分为左右不对称区,重点对驾驶员侧 A 区送风。

C 和 D 风道出口分为左右对称区域,对 A、A'区对称送风。C 风道内左右区内各加一隔板,对风道内气流方向进行简单疏导。D 风道内左右区有多隔板,对风道内各方向气流进行疏导。

E 和 F 除霜风道出口为一整体,对风挡玻璃进行整体送风。E 风道内加有隔板,侧重对 A 区送风。

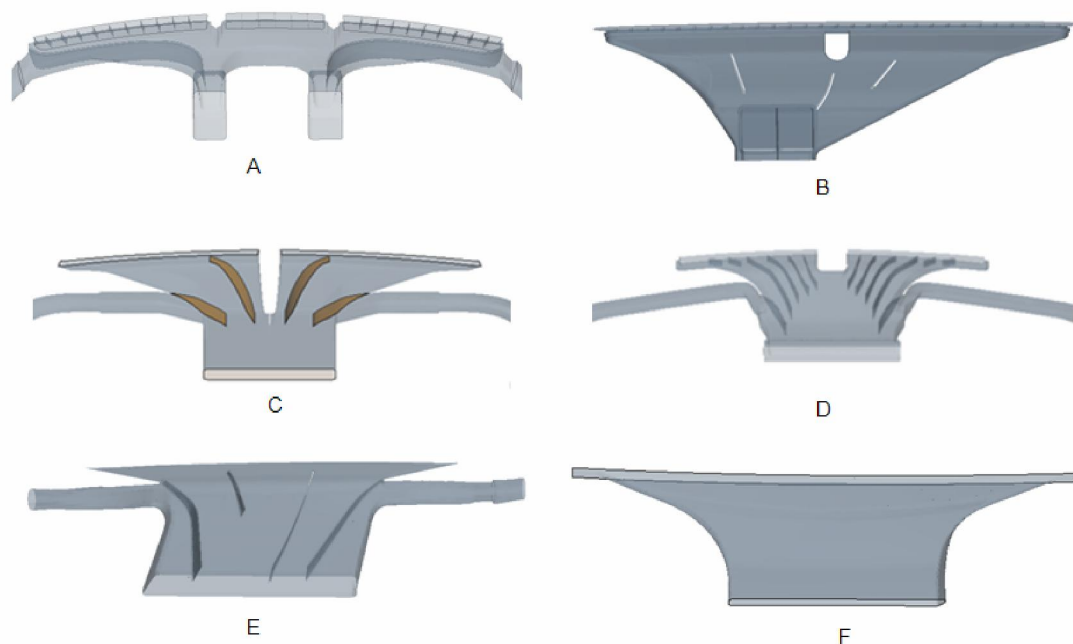


图 3.1 六款汽车空调除霜风道模型

3.2 除霜风道流场计算结果

3.2.1 除霜风道出口速度标量图

通过风道出口出风速度分布形态,判断其对除霜性能的影响,评价风道出口气流分布形态的优劣性。

A 款风道：气流主要集中在中间出口，两侧出口速度较低，预计风挡玻璃上 A 区与 A' 区速度分布较低，除霜效果不佳。

B 款风道：左侧出口平均速度比右侧高，且截面速度分布比较均匀，有利于风挡玻璃上的 A 区除霜。右侧出口速度较低，预计风挡玻璃上 A' 区速度分布不好。中间出口出现低速区域，会在风挡玻璃中部形成低速区，不利于除霜。

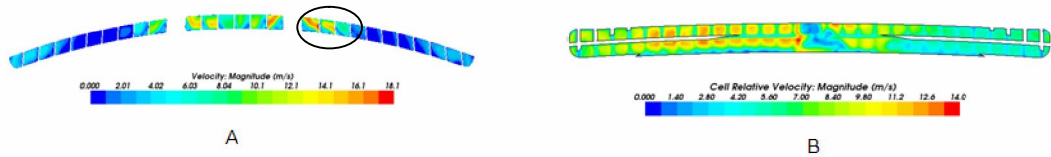


图 3.2 A、B 两款除霜风道出口速度标量图

C、D 款风道：左右出口速度分布一致，且截面速度分布不均匀。C 款风道两侧边缘存在低速区，D 款风道在中间出口出现两低速的涡流区，预计 C、D 两款风道对应的除霜效果不均匀。

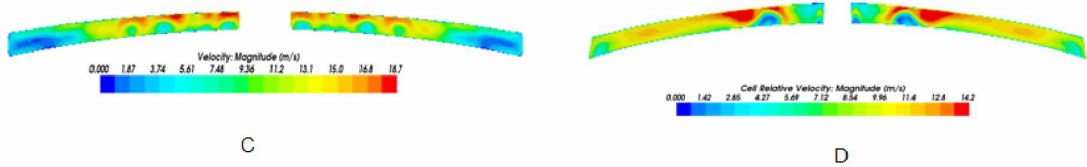


图 3.3 C、D 两款除霜风道出口速度标量图

E、F 款风道：左右出口速度分布一致，且截面速度分布较均匀。F 款风道出口速度分布最佳。预计 E、F 款除霜效果较好。

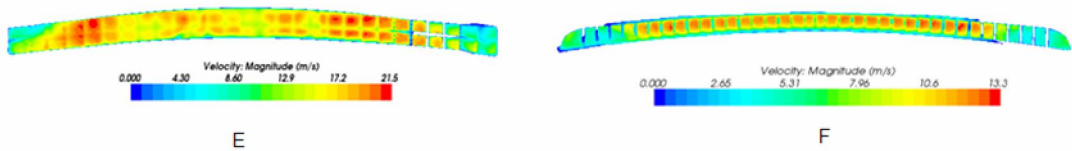


图 3.4 E、F 两款除霜风道出口速度标量图

3.2.1 除霜风道出口速度矢量图

风道出口送风方向稳定性、出口不同区域之间的气流是否发生干扰也会影响除霜性能，通过出口气流的稳定性进一步对风道除霜性能进行评价。

A 款风道：出口送风方向混乱，高低速分布极其不均。B 款风道：左右两风道气流存有

干扰。

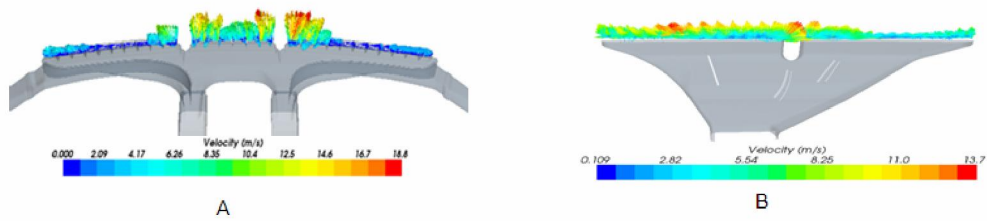


图 3.5 A、B 两款除霜风道出口速度矢量图

C、D 两款风道出口送风方向明确，左右区气流干扰较小，但出现多处局部高速。

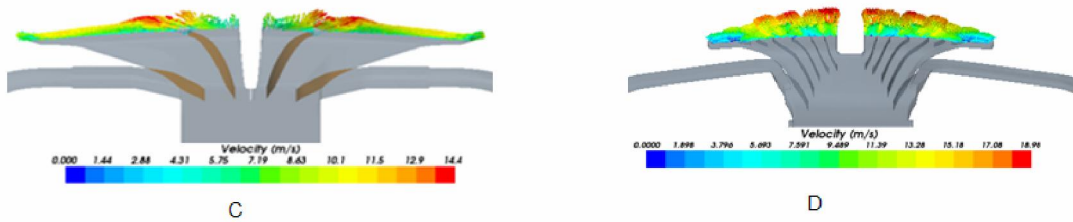


图 3.6 C、D 两款除霜风道出口速度矢量图

E 款风道：出口气流送出稳定性较差，出口相邻区域的气流有干扰现象。F 款风道：出口气流分布良好，且流动稳定性好，预计风挡玻璃上的气流分布较好，有利于除霜。

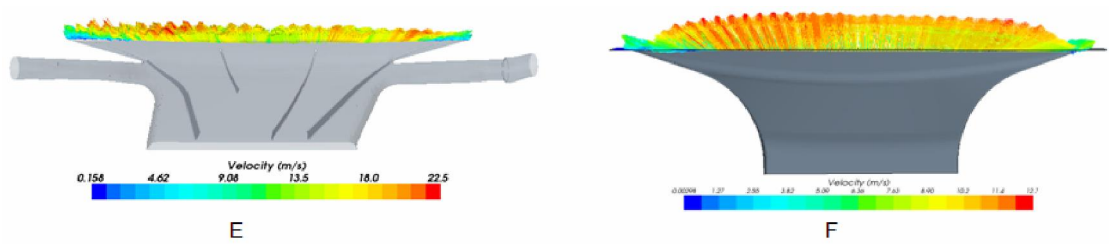


图 3.7 E、F 两款除霜风道出口速度矢量图

通过以上六款除霜风道出口气流分布结果比较 ,A 款除霜风道 ,出口速度分布极不均匀 ,预计除霜效果差。 F 款除霜风道 ,出口送风速度分布均匀 ,且送风方向稳定 ,预计除霜效果好。

3.3 除霜分析

3.3.1 风挡玻璃气流速度分布

为了验证风道出口气流分布对风挡玻璃周边气流分布的影响 ,建立相应的乘员舱除霜流场分析模型 ,考察风挡玻璃周边气流速度分布 ,进一步预测其除霜效果。

由图 3.4 可知，A、B 两款风挡玻璃上的气流分布不均匀，在风窗玻璃 A 区与 A'区上出现较大范围的低速区域，与风道出口气流分布预计的结果一致。

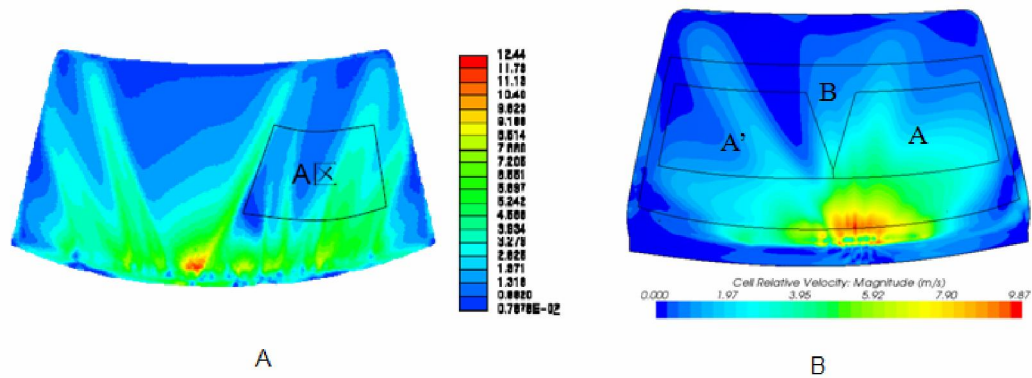


图 3.8 A、B 两款车型风挡玻璃气流分布

C、D 两款车型，在风挡玻璃的中间偏上区域气流速度较小，形成一个‘V’字形低速区，预计车型 C 和 D 风挡玻璃在 A、A'区之间的除霜效果不好，‘V’字形低速区除霜时间会延长。

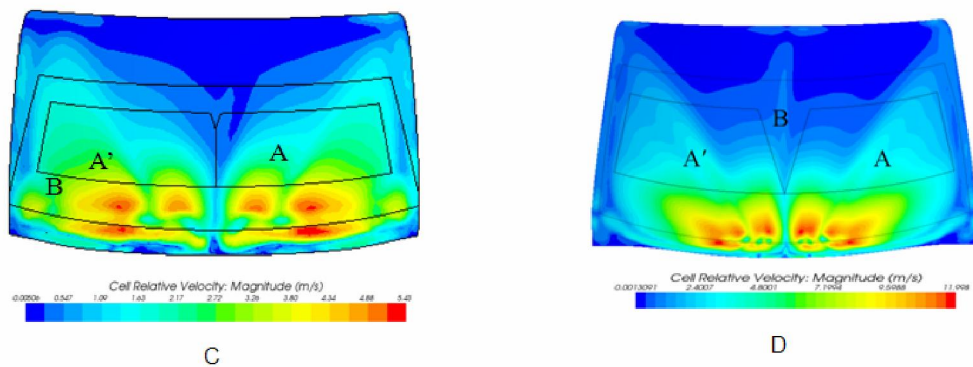


图 3.9 C、D 两款车型风挡玻璃气流分布

E、F 两款车型，在风挡玻璃上的气流分布较为理想，速度较高的气流能够覆盖较广区域，在主要区域上不存在低速区，其中 F 前风挡玻璃上的气流覆盖最全面，且速度分布及速度变化梯度都较好，预计除霜效果最好。

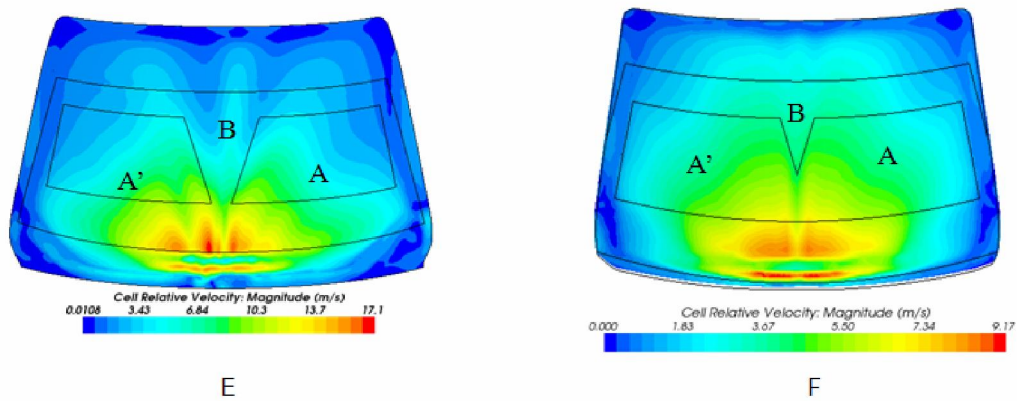


图 3.10 E、F 两款车型风挡玻璃气流分布

经过乘员舱除霜流场分析，发现风挡玻璃上的气流分布与风道出口处速度分布密切相关。通过风挡玻璃的气流分布，对其除霜效果作出相应预估评价。

通过 3.1、3.2、3.3 对比分析可知，结构对称型、出口附近无缺口（如 U 型槽）的除霜管道，其出口速度分布均匀性明显更好，在风挡玻璃关键除霜区域不存在明显的气流盲区，有利于除霜。

3.3.2 风挡玻璃除霜实验对比

为了验证风挡玻璃气流分布与除霜效果的关联性，对车型 D 和 E 进行除霜实验，进行除霜瞬态分析与实验结果对比，评价除霜风道对风挡玻璃除霜性能的影响。

对车型 D 进行除霜实验，虽然流场分析的除霜趋势与实验吻合基本一致，车型 D 前风挡玻璃除霜效果较差，在 15 分钟的时间内 A 区只融化了极小一部分。整个风挡玻璃除霜时间较长，是与预期一致的，可纳入评价依据。

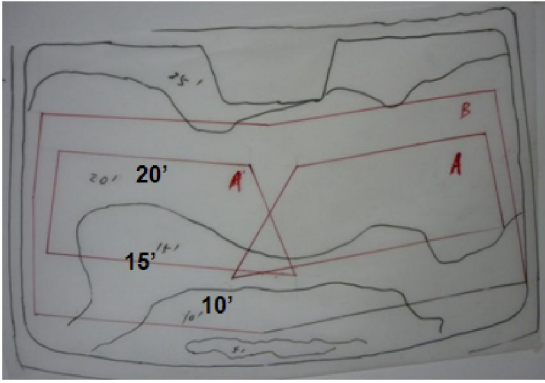


图 3.11 车型 D 风挡玻璃除霜实验图

E 款车型，10 分钟时，A 区融化约 50%，15 分钟后 B 区基本除尽，整个风挡玻璃除霜时间较短。通过风挡玻璃除霜实验与除霜瞬态分析对比发现，除霜趋势与试验吻合较好，验证了前期除霜流场分析结果。由于受物理模型及参数的限制，除霜时间与试验稍有差别。前 10 分钟除霜比试验慢（5 分钟未出现冰完全除净区），10 分钟后除霜效果与试验接近，且趋势一致，如图 3.12。

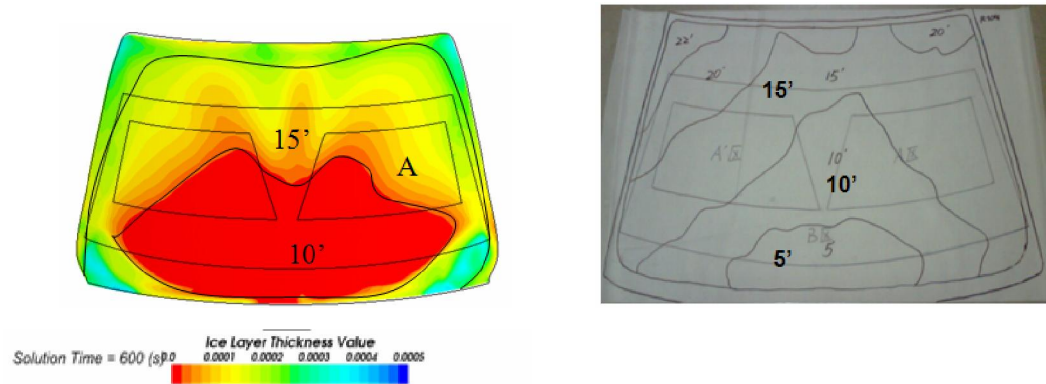


图 3.12 车型 E 前风窗玻璃 10 分钟除霜效果实验对比

3.3.3 结果分析

除霜流场分析验证，E、F 风道出口，气流速度分布均匀，大小合适，出风方向稳定，其风挡玻璃上的气流分布较好，呈扇形展开，预测除霜效果佳。

结合除霜温度瞬态分析和实验，综合评估除霜效果形态与时间，得出 E、F 风道设计，除霜效果佳。

4 除霜风道优化

对 D 款除霜风道进行结构改进。去除中间 U 型槽结构，改善风挡玻璃中间气流分布。更改示意图，如图 4.1 所示。

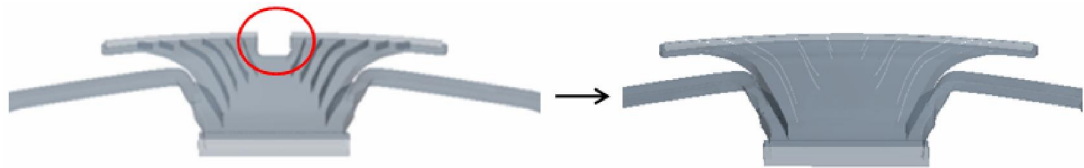


图 4.1 除霜风道 D 更改前后对比

改进后，除霜风道出口中间区域送风能力增强，‘U’形低速区消失，使风挡玻璃 A、B

区域的气流覆盖范围更加广泛，一定程度上提高了风挡玻璃上的速度均匀性，从而有利于除霜。

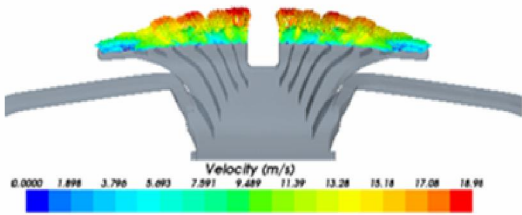


图 4.2 (a) 更改前

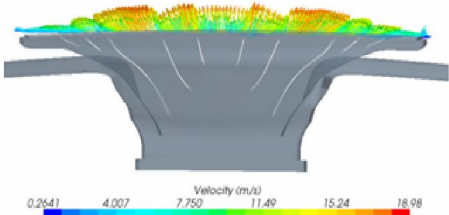


图 4.2 (b) 更改后

图 4.2 出口气流分布形态对比

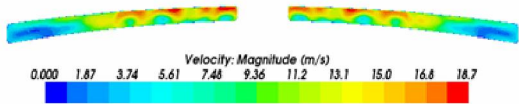


图 4.3 (a) 更改前

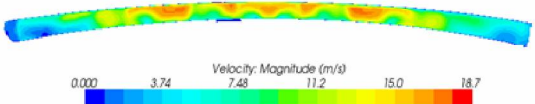


图 4.3 (b) 更改后

图 4.3 出口气流分布形态对比

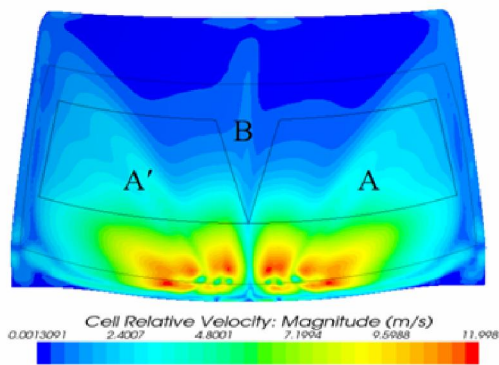


图 4.4 (a) 更改前

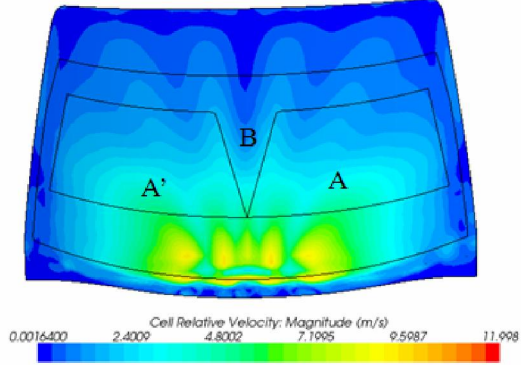


图 4.4 (b) 更改后

图 4.4 风挡玻璃气流速度分布对比

5 结论

本文通过采用 CFD 方法，对六款除霜风道模型及其乘员舱模型进行了分析对比，综合实验结果，主要阐述了除霜风道出口气流分布形态对汽车风挡玻璃除霜效果的影响。在适当的送风速度下，得出如下结论：一、除霜风道出口送风均匀，对全面除霜有利；二、出口速度分布平均，有利于除霜；三、除霜风道出口气流方向稳定，有利于提高除霜效果；四、结构对称、出口附近无缺口（如 U 型槽）的除霜风道，有利于除霜。

通过考察除霜风道出口气流分布对风挡玻璃除霜性能的影响,在除霜风道的前期设计过程中,有以下作用,一、为除霜风道流场分析、效果评价提供依据;二、为后期风道改型所需达到的效果指明方向;三、能够减少乘员舱除霜流场、温度场分析次数,缩短开发周期。

6 参考文献：

- [1]. 王福军,计算流体力学分析 -CFD软件原理分析与应用 [M],清华大学出版社,2008
- [2]. 李慧强, XX车型内饰除霜分析报告 [R], 浙江吉利汽车研究院, 2008
- [3]. 梁长裘, 刘芳, XX车型除霜流场分析报告 [R], 浙江吉利汽车研究院, 2010