

基于 STAR CCM+ 的汽车除霜 CFD 优化

Auto Defrosting CFD Optimization Based On STAR CCM+

訾昌陆 许志宝 夏广飞

(江淮汽车股份有限公司技术中心, 安徽 合肥, 230601)

摘要: 本文应用流体力学计算软件 STAR CCM+ 对国产某轿车进行除霜性能分析, 建立了除霜分析模型, 计算出在原始除霜风道情况下前挡风玻璃速度分布, 发现其缺流严重, 不能满足国标要求。通过优化除霜风道, 并模拟出新风道情况下前挡风玻璃速度分布, 发现新风道明显优于原始风道, 缺流区得到了有效改善。

关键词: STAR CCM+ CFD 除霜 稳态

Abstract: The paper introduced the CFD deicing analysis of one domestic vehicle using STAR CCM+. The deicing model was established. The front windscreen velocity distribution of original duct was then calculated, and serious flow lack was founded, which cannot the national standard (GB). After an optimization was conducted on the duct design, the front windscreen velocity distribution of the new duct was simulated. Significant improvements on the lack of flow area were obtained.

Key words: STAR CCM+ CFD Deicing Steady

1 引言

当固体的表面温度低于周围空气的露点, 并低于水蒸气的凝固点, 那么在固体表面就会形成霜。在非常寒冷的冬天, 汽车挡风玻璃外表面就会有结冰的现象。

我国幅员辽阔, 南北气候差异较大, 冬天外界气温较低时, 汽车前挡风玻璃容易结冰, 严重影响驾驶视野及行车安全, 因此汽车除霜显得尤为重要。

汽车空调风道 CFD 分析是计算流体力学在汽车空调风道设计上的具体应用, 其目的在于改善汽车驾驶室内部的驾驶环境和工作条件, 提高汽车的舒适性、安全性。挡风玻璃的除霜性能设计是汽车的重要安全性能指标之一, 国家提出了相应的法规要求 (GB11556-1994)。汽车挡风玻璃的除霜性能与除霜风道的设计有密切的关系。在汽车除霜风道的设计开发中, 传统的方案是凭借经验进行设计, 这需要在整车试制完成后才能进行试验测试, 此时改变除霜风道, 可能会涉及布置、内饰甚至模具的修改, 成本和代价很大。因此, 通过 CFD 的方法, 可以反映车辆内部复杂流场中的流动特征并提供任意截面与位置上的流速、压力等参数。通过瞬态模拟, 还可以获得随时间变化的除霜效果图。这些信息可用于指导车辆设计与改进, 替代或部分替代耗费较大的模型或实车试验, 为其深入研究提供有效手段。

本文应用流体力学计算软件 STAR CCM+ 建立国产某款轿车除霜风道及乘员舱模型, 利用

多面体网格对控制方程进行空间离散,应用稳态计算分析其原始除霜风道状态下的前挡风玻璃表面速度分布图,发现其风速分布图存在较大缺流区,随后对其除霜风道进行了修改,并模拟分析其前窗速度,对比了两种不同风道情况下的前挡风玻璃速度分布。

2 模型建立

2.1 基本理论

控制所有流体流动的基本定律是:质量守恒定律、动量守恒定律和能量守恒定律。由它们可以分别导出连续性方程、动量方程和能量方程。

由质量守恒导出的连续性方程

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho v) = 0 \quad (1)$$

由动量守恒导出的运动方程

$$\rho \frac{dv}{dt} = \rho F + \text{div} P \quad (2)$$

由能量守恒导出的能量方程

$$\rho \frac{dU}{dt} = P : S + \text{div}(k \text{grad} T) + pq \quad (3)$$

状态方程

$$p = f(\rho, T) \quad (4)$$

以及本构方程

$$P = -pI + 2\mu(S - \frac{1}{3}I \text{div} V) + \mu' I \text{div} V \quad (5)$$

其中 ρ 、 F 、 v 、 P 和 U 分别代表流体的密度、力、速度、压力和总能量。 μ 、 μ' 为粘性系数, k 为热传导系数, T 代表温度, S 为变形速度张量。

对上述控制方程采用有限体积法进行求解计算,压力项和速度项之间的耦合计算采用 SIMPLE 算法。由于 $k-\varepsilon$ 模型只适用于离开壁面一定距离的湍流流域,因此对于壁面附近的区域,采用壁面函数法处理。

2.2 几何模型建立

应用前处理软件 Hypermesh 对该车型乘员舱分别搭配图 1 图 2 所示的两种方案的风道模型进行几何清理,形成封闭腔体,并生成表面网格。本文中,为了更准确的给定边界条件,模型中加入了 HVAC, 如图 3:



图 1 原始风道

图 2 新风道



图 3 乘员舱及除霜风管几何外形

把在 Hypermesh 生成的网格模型，导出 .nas 的格式后输入到 STAR-CCM+ 中。STAR-CCM+ 中整理 Boundaries 并命名，方便前后处理。检查面网格，修改提示的错误，并提高网格质量使计算容易收敛。在 STAR-CCM+ 中划分多面体网格，设置除霜风道的边界层为 2mm (2 层)，采用多处局部加密，得到求解域的体网格数量为 1542396

2.3 边界条件

计算中假定空气为不可压缩气体，湍流模型为 Realizable K-epsilon 模型，空间离散采用二阶迎风差分格式，迭代方式选用 Simple 算法，计算边界条件如下所示：

- (1) 入口条件为 165.65m³/h, 温度 298K;
- (2) 出口边界为自由出流；
- (3) 其他边界：壁面边界；
- (4) 初始条件：以进口条件给定，环境温度为 298K;

3 CFD 仿真分析结果

正确地布置出风口和设计除霜风道形状，才能获得理想的除霜效果。除霜性能涉及除霜风量、送风速度和风温等因素。GB11556-1994 只对前挡风玻璃作出法规要求，因此，本文将只从稳态计算分析来对比分析两种状态下前挡风玻璃的除霜性能，重点考查流量分配、挡风玻璃上的风速。

3.1 风道出口风速分布及流量分配

风道出口气流分布决定着前挡风玻璃速度分布，因此理想的风道出口气流分布，是考察除霜风道的一个重要指标。

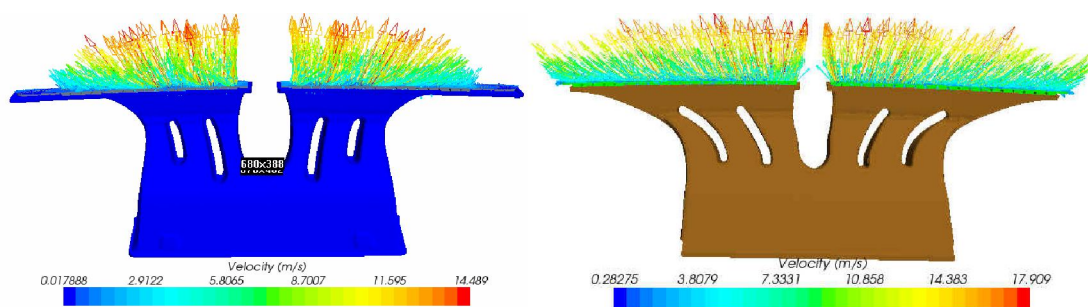


图 4 原始风道出口气流矢量图

图 5 新风道出口气流矢量图

表 1 风道左右出风口流量分配

	原始风道	新风道	目标值
左	48.7%	51.1%	50%
右	51.3%	48.9%	50%

从图 4和图 5对比中可以看出,图 4中原始风道气流出口过于集中,左右两侧缺流比较明显。图 5中速度矢量图中明显看出,对于缺流现象新风道得到了有效改善,气流出流比较理想。

表 1中,两种风道左右分风比例都在目标值范围之内,但是原始风道中,左侧(驾驶员侧)气流小于右侧,不利于提高驾驶员侧除霜效果;新风道左右出口流量分配比较合理,左侧略高于右侧。

3.2 前挡风玻璃速度分布

最有效的除霜方法是使热风在到达挡风玻璃后尽快地达到湍流流动,并且尽可能覆盖挡风玻璃表面,增加换热面积。因此稳态的计算结果可以用来判定气流击点位置和速度分布是否合理及如何修改。

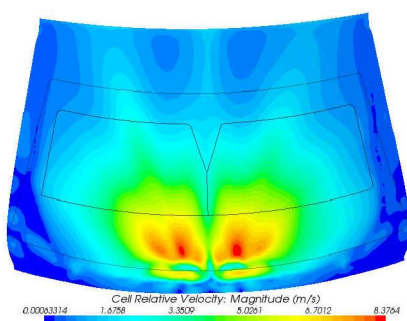


图 6 原始风道前挡速度分布图

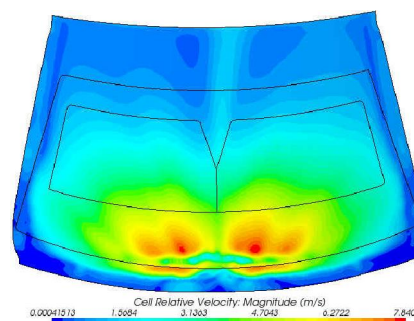


图 7 新风道前挡速度分布图

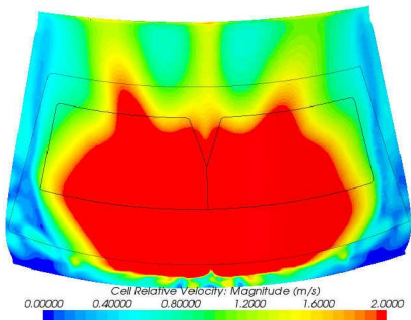


图 8 原始风道前挡 2m/s速度分布图

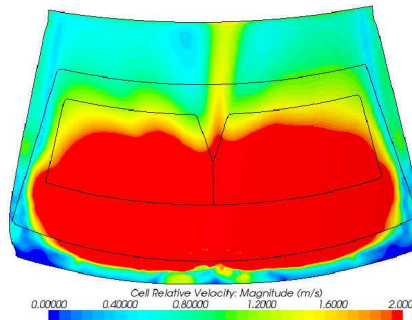


图 9 新风道前挡 2m/s速度分布图

由图 4 的速度分布图可以看出,原始风道情况下前挡风玻璃速度分布 A区 and A' 区基本对

称，这与除霜风道对称有关，左右气流分别呈扇形散开。但是由于燃烧点过于集中，致使B区域左右两侧存在较大缺流区，无法在国标规定时间内除去霜层。图3的速度分布图中，A区和A'区呈很好的对称分布，B区域左右两侧缺流区域得到了有效改善，并且燃烧点已经分散成多个，从图5和图6中也能更直观的看出，新风道情况下， 2m/s 分布区域明显扩大，缺流区域速度提高明显，大部分的A区、A'区及B区都有合理的气流速度。其中，速度在 2.0m/s 以上的区域约占A区和A'区的80%。

从以上分析中，可以看出，新风道除霜效果明显优于原始风道。

5 结论

本文根据轿车除霜系统特点，将HVAC纳入计算区域，利用STARCCM软件，采用RNG k- ϵ 模型，对某轿车的除霜系统进行了数值分析，并对原始风道进行了优化，结果表明，新风道风速分布明显优于原始原始风道，缺流区得到了有效改善，能满足国标要求。

参考文献

- [1] 陶文铨 . 数值传热学 (第二版) . 西安交通大学出版社, 2001
- [2] GB 11555-1994 汽车风窗玻璃除霜系统的性能要求及试验方法
- [2] 陶其铭, 许志宝, 夏广飞 汽车空调除霜风道分析及结构优化 [J]. 合肥工业大学学报, 2010, 33(4) : 498500