

汽车空调除霜性能分析及结构优化

The CFD simulation and structural optimization for auto HVAC defrosting duct

刘东峰 许志宝

江淮汽车股份有限公司技术中心

摘要: 汽车空调除霜性能对整车安全性有重要影响, 本文运用 CFD 方法对某款商用车空调除霜性能进行了详细分析。分析结果显示, 该空调除霜效果较差, 无法满足设计要求。经过深入分析, 对风道结构进行了修改, 经过多次优化, 并经试验验证, 改进效果显著, 可满足设计要求。

关键词: 除霜风道, CFD, AUTO, STAR-CCM+

Abstract: Defrosting performance of auto air condition is very important to complete vehicle safety, the text analyze one commercial vehicle defrosting performance by using CFD method. The result of analysis shows that bad efficiency of this defrosting can not satisfy design requirement. Through deeply analysis, changing duct structure, and optimizing, testing, verification, we get good efficiency and can satisfy design requirement.

Key words: defrosting duct, CFD, AUTO, STAR-CCM+

1. 前言

汽车空调的除霜性能直接影响驾驶员视野情况, 影响驾驶安全, 是衡量空调系统性能的关键指标; 而风道及出风口是除霜系统中极为重要的部件, 对除霜性能有重要影响, 其送风性能影响着风档玻璃的温度场、速度场的分布, 从而影响该车的除霜性能。

本文通过 STAR-CCM+ 软件对某汽车空调除霜系统进行 CFD 仿真分析, 得到除霜风道的流场分布。根据流场特性分析了该除霜风道存在的问题, 并针对不合理的内部结构进行了重新优化设计, 进而改善除霜风道的流场特性, 提高除霜能力。通过试验验证, 本次仿真分析大幅度提高了除霜性能, 并缩减了研发周期, 降低了设计成本。CFD 分析对汽车整车研发具有极大的指导意义^[1]。

2. 数值计算模型

(1) 几何模型及网格划分

图 1 是某汽车除霜风道的几何模型。

产品设计中需考虑结构强度、成型工艺等, 故模型设计较为复杂; 为减少计算周期, 在不影响计算精度的前提下需对模型进行一定的简化处理, 去除不必要的特征, 对一些缝隙进行了修补, 以减少网格总数及计算时间。需注意的是, 对于扰流板、风道内壁等关键件不能作简化。

从 CATIA 中导出 IGS 格式的数模再导入至 Hypermesh 中, 进行前处理, 得到一个封闭空间的

计算域。将 Hypermesh 处理后的网格模型导入 STAR-CCM+后, 经检查没有几何错误或间隙后可以直接生成计算所需体网格, 也可以按照网格尺度要求重新生成面网格再生成体格。相对其它网格生成软件, STAR-CCM+自带的网格生成器更快更方便, 生成的体网格为多面体, 网格数目少且计算精度高, 本文的除霜风道模型生成的网格数目约 280 万。

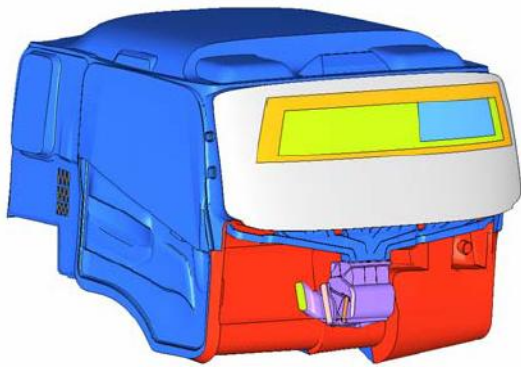


图 1 几何模型

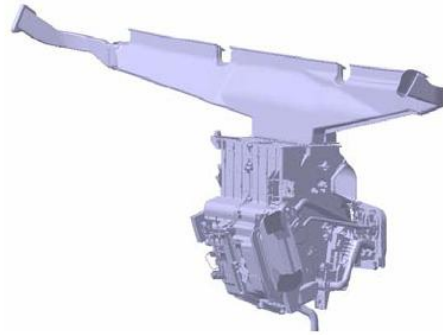


图 2 空调风道几何模型

(2) 边界条件及求解设置

固体区与流体区的物性参数^[2] (如固体的密度, 流体的密度与粘度等) 为常数; 流动为稳态流动 (速度、压力、温度等物理量不随时间变化); 不考虑重力和温度的影响。计算介质为空气, 环境大气压力 $P=10132.5\text{Pa}$, 温度 $T=300\text{K}$, 空气密度 $\rho=1.225\text{kg/m}^3$, 空气粘度 $\mu=1.7894\times 10^{-5}\text{Ns/m}^2$ 。

本次计算风道入口设为流量入口, 其入口流量数据由试验获取; 出口设为压力出口。设空气在风道入口处的速度均匀分布, 方向垂直于边界; 风道出口处背压为零。

对于空调系统的风道分析, 压力—速度耦合一般采用 SIMPLE 方法, 采用高雷诺数 $k-\epsilon$ 湍流模式和 non-equilibrium wall functions 壁面函数; 紊动能 k_{in} 和紊动能的耗散率 ϵ_{in} 由经验公式计算确定; 计算选择二阶迎风格式标准 $k-\epsilon$ 湍流模型进行分析。针对该空调系统及设计要求, 收敛判断条件为所有物理量的误差不大于 $1.0\text{E-}4$ 。

(3) 计算过程

本次除霜优化的流程图如图 3 所示:

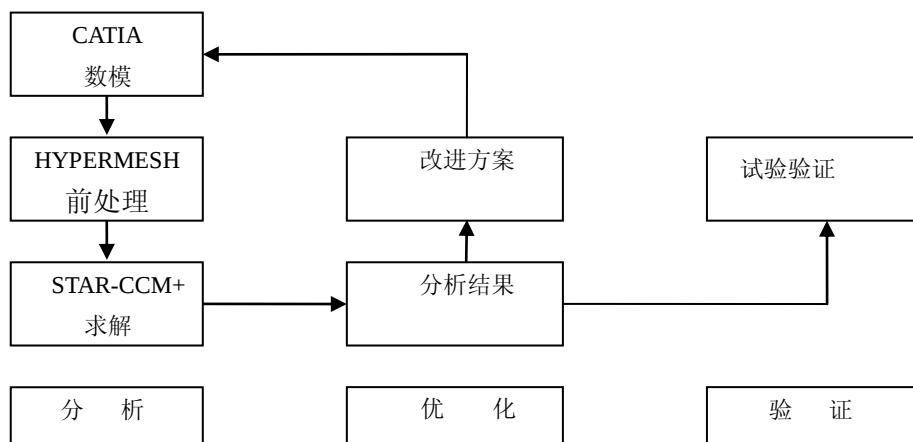


图 3 CFD 分析流程图

3. 原除霜风道的 CFD 仿真分析

通过对前档玻璃上风速分布、风道出口的流量分配、风道内部流线等进行详细分析，发现扰流板结构存在多处不合理，导致除霜效果较差。

从图 3 可以看出，风道各出口流量分配不合理，左侧风速分而明显偏小，导致前挡风玻璃上驾驶员侧流量较副驾驶员一侧小很多，达不到设计要求。

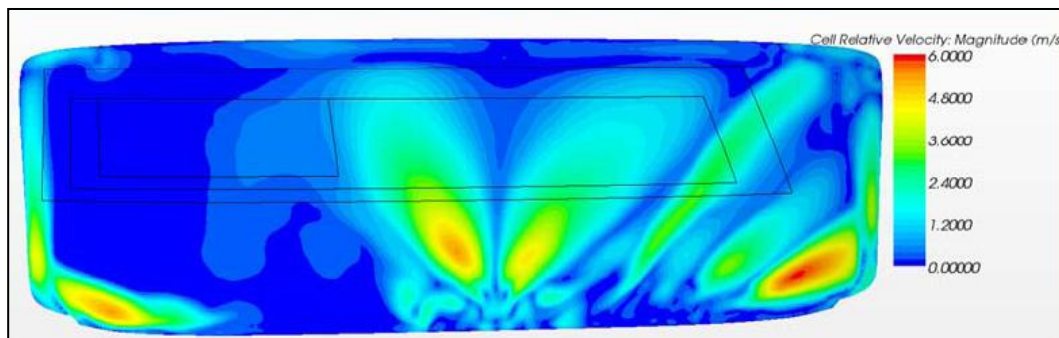


图 4 前档玻璃风风速分布图

4. 结构优化方案

对分析结果进行深入分析，发现风档玻璃上风速流动较慢，与同类车型相比，空调入口流量差别不大。

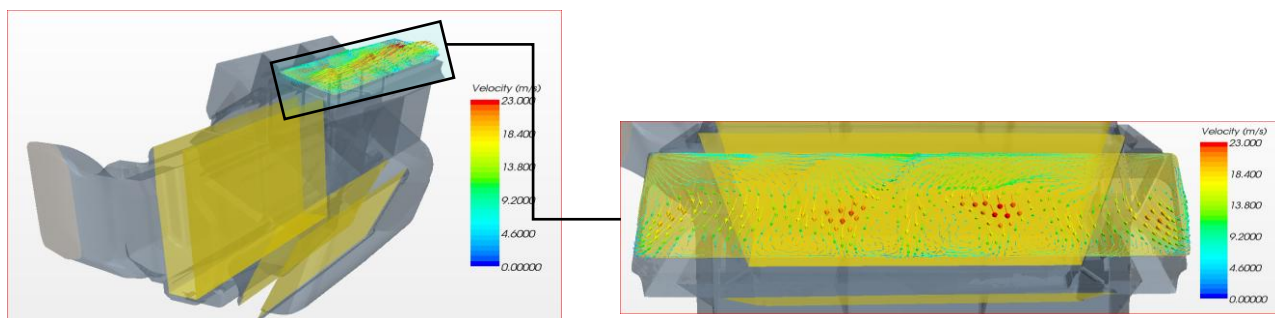


图 5 空调出口处风速分布

查看空调出口处风速分布，可以看出该出风速基本呈左右对称，不会造成左侧缺流问题。

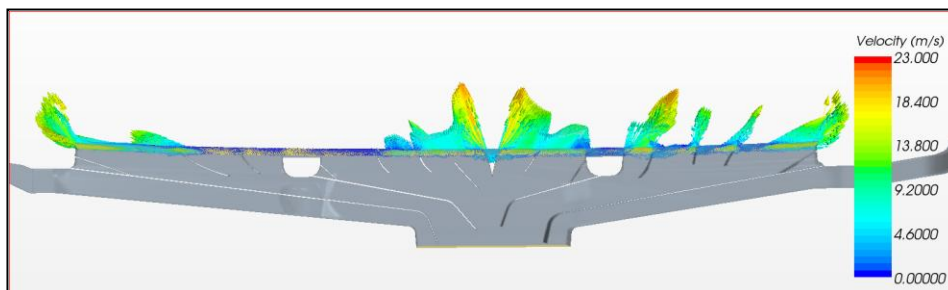


图 6 风道出口处风速分布

再分析风道出口风速，除霜风道出口存在严重的缺流情况。可初步判定风道设计存在缺陷。主要问题应是风道设计不合理导致流动损失，从而引起左侧风速偏小。

流动损失在很大程度上是由涡流引起的。因此，在进行除霜风道的设计时，应尽量避免大尺度和小尺度涡流的生成。这就需要根据流体力学理论对其内部结构进行优化设计，最大限度地降低因涡流造成的能量损失。最基本的设计方法，就是对除霜风道内部扰流板结构进行流线型设计，使结构对气流起到疏导作用，而不是阻碍作用，如圆滑过渡各种大的转折结构和小尺度的凸起结构，去除一些不必要的阻挡结构等。为此对除霜风道作如下结构优化方案：

- (1) 封闭部分缺口，调整风道内风的走向，如图 8、图 9 所示。
- (2) 去除左侧部分不合理的小扰流板，优化除霜风道中间扰流板的形状；如图 10 所示：
- (3) 对除霜风道挡风板进行圆滑过渡处理，调整风道的转折半径，最大限度地消除风道内部的大涡流。

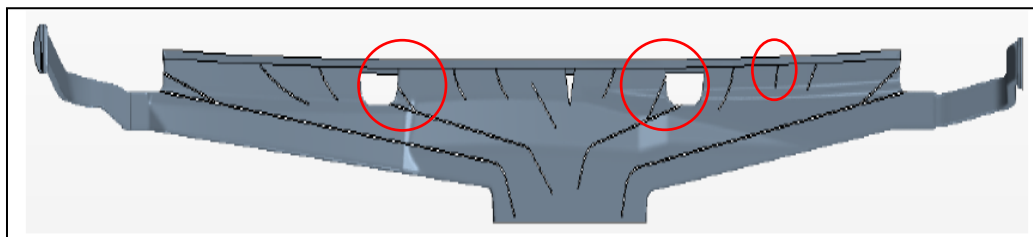


图 7 风道设计问题点

从风道结构分析，从图 7 可以看出，此风道设置了较多的小扰流板，由于小扰流板的存在，使得除霜风道各出风口不同程度的存在回流现象，造成除霜风道各出风口流速太小，从而无法满足除霜要求。

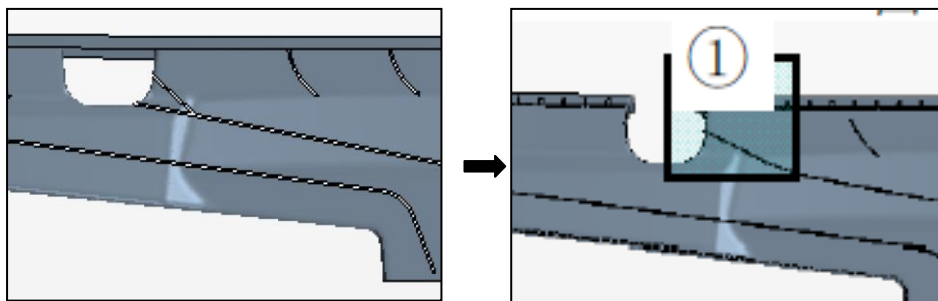


图 8 风道左侧出风口调整方案

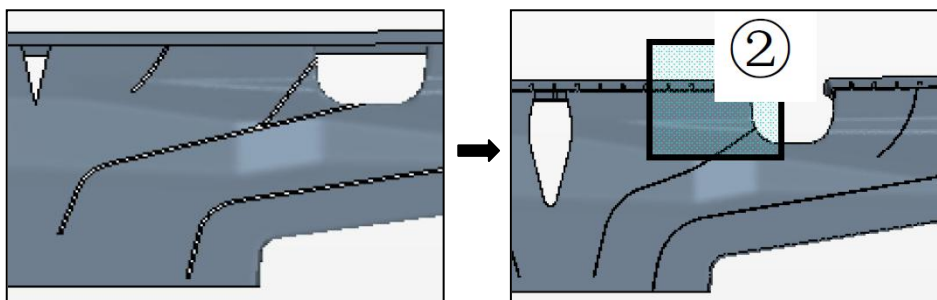


图 9 风道左侧出风口调整

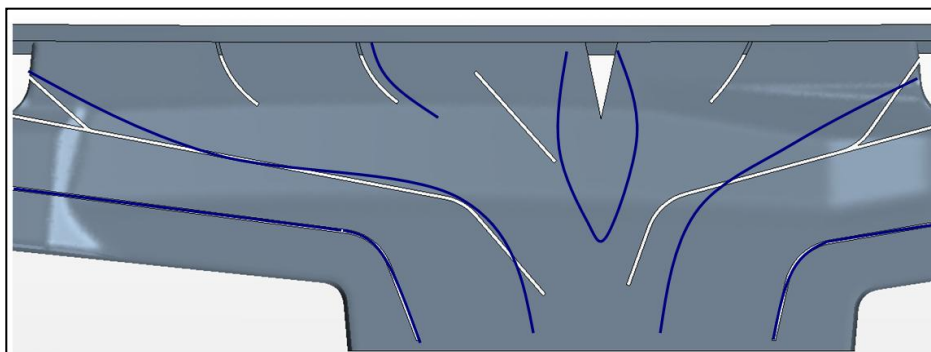


图 10 除霜风道内部扰流板修改前后对比

5. 优化后方案 CFD 仿真分析结果

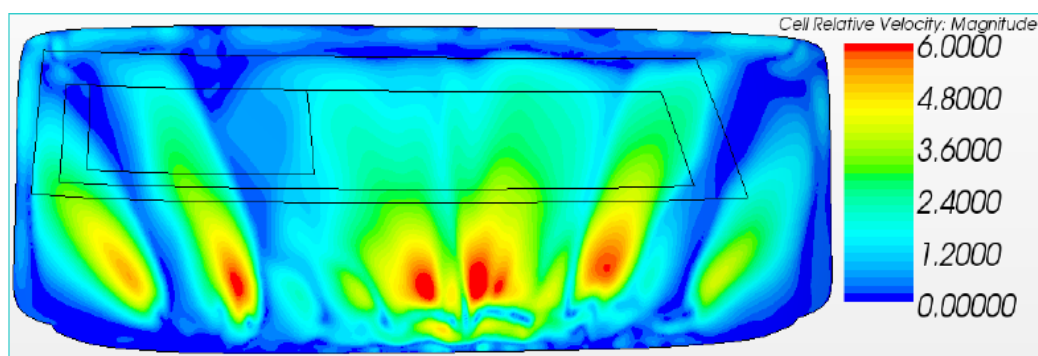


图 11 优化后风速分布图

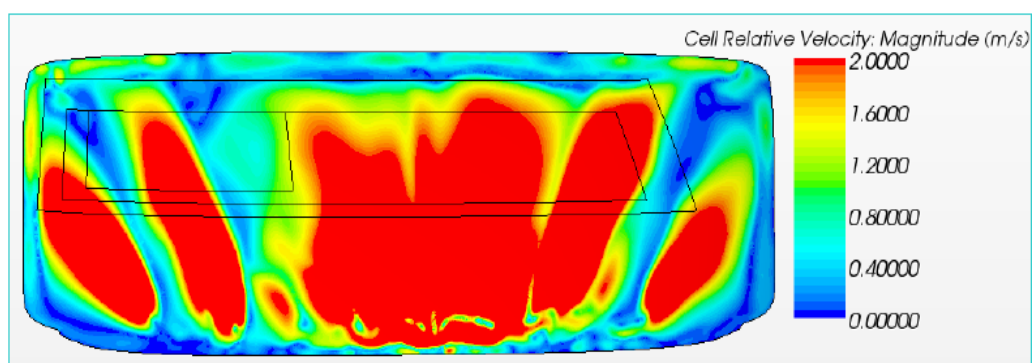


图 12 优化后 2m/S 风速分布图

图 11、图 12 是改进后除霜风道的 CFD 流场仿真结果。从图中可以看出，改进后风道各出风口分风比更加合理，消除了因扰流板结构不合理而造成的左右侧分风比相差太大，改善了除霜风道内部的流场结构。各出风口速度相对均匀，且速度较大的区域与前挡风玻璃 A 区相对应^[3]。\\

5. 分析结果验证

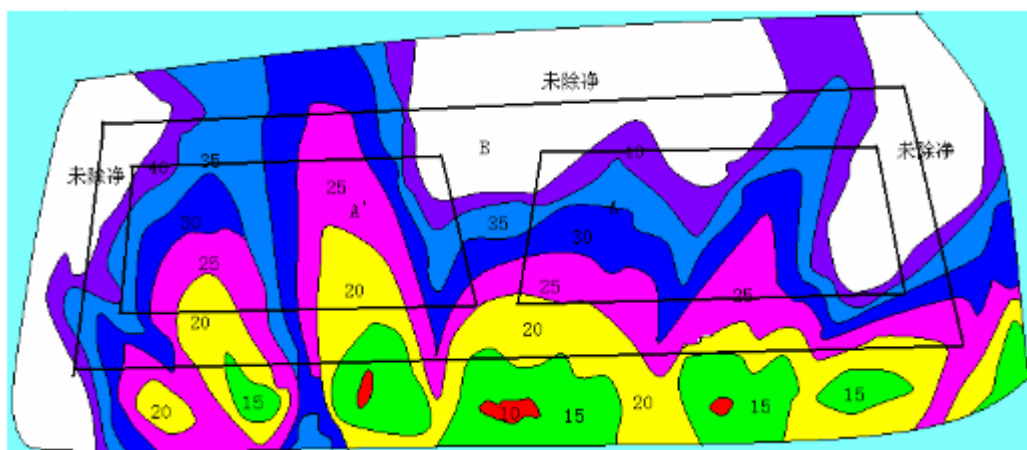


图 13 除霜试验结果

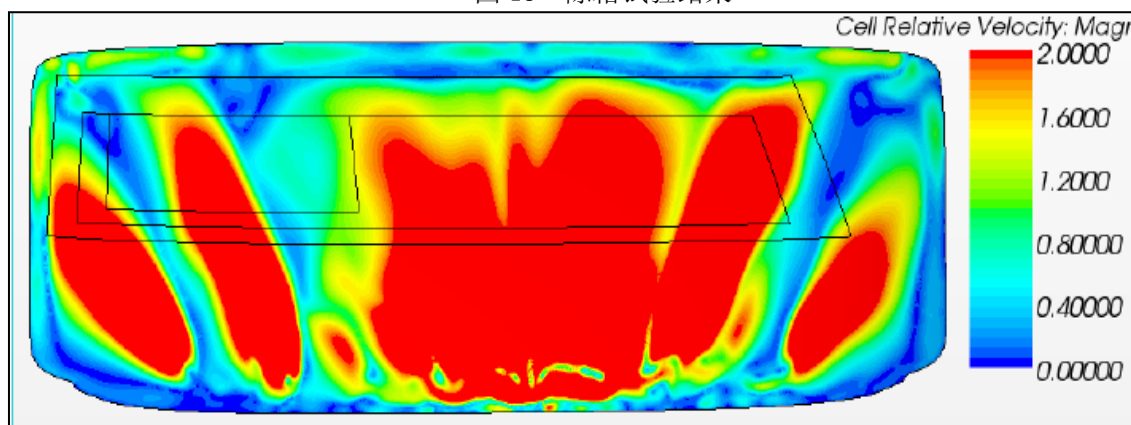


图 14 优化后 2m/S 风速分布图

6. 结论

本文采用 CFD 方法, 对某款车的除霜性能进行了分析, 得知由于扰流板及风道结构不合理造成各出风口分风比不均匀, 除霜风道流动损失。为消除或减弱这些设计缺陷, 使该风道各出风口分风比均匀, 满足设计要求, 对该除霜风道进行了一系列的改进措施: 去除左侧出风口小扰流板、优化除霜风道中间扰流板的形状; 对除霜风道进行圆滑过渡处理, 调整风道的转折半径。改进后的除霜风道各出风口分风比均匀, 内部气流流动通畅, 各出口风速有所增加, 流动损失减小, 改进效果显著。经过试验验证, 试验结果与分析结果吻合较好。

[参 考 文 献]

- [1] 朱娟娟, 苏秀平, 陈江平. 汽车空调除霜风道结构优化研究. 汽车工程, 2004, 26(6): 747-749
- [2] 彭玉成, 陈喜阳, 张克危. 基于CFD数值解析的轴流泵优化设计[J]. 水泵技术, 2005, 5: 24-26
- [3] 李新宏, 黄淑娟. 切线泵流动特征的整流场数值模拟. 农业机械学报, 2004, 24(1): 77-80
- [4] 龚光彩. CFD技术在暖通空调制冷工程中的应用. 暖通空调, 1999, 29(6): 25-27
- [5] 夏兴兰, 杨雄, 朱忠伟, 董尧清. 数值模拟方法在柴油机进气道改进中的应用[J]. 内燃机学

报, 2002, 20(5): 424-428

[6] 付向伦, 李向荣, 杜巍. 切向/螺旋进气道稳流实验与数值仿真[J]. 北京理工大学学报, 2005, 25(12): 1039-1042.

[7] 曾敏, 石磊, 陶文铨. 波纹管管内层流动与换热规律的试验研究与数值模拟. 工程热物理, 2006, 27(1): 142-144.

[8] 张英朝, 傅立敏. 简单外形汽车隧道内会车状态下的空气动力学数值模拟[J]. 吉林大学学报(工学版), 2006, 36(3): 302-306