

汽车后排空调乘员舱流场模拟

Simulation of Flow Field in the rear Cabin HVAC Duct

王树苹 张兆奎 朱贞英 门永新

(吉利汽车研究院工程分析部, 浙江杭州, 311228)

摘要: 本文应用 STAR-CCM+ 软件进行某车型乘员舱流场模拟, 优化后排空调管路结构, 提高乘员舒适性。

关键字: 汽车; CFD; 空调风道; 优化设计

Abstract : By using a software STAR-CCM+, a flow analysis for a vehicle's cabin was performed. The rear row's HVAC duct was optimized to improve the passengers' comfort.

Keywords: Car, CFD, HVAC duct, Design optimization

1 前言

随着社会经济的发展和水平的提高, 消费者对汽车舒适性要求越来越高。汽车空调的性能直接影响车内环境的舒适性, 对汽车空调系统尤其是风道的设计提出了更高的要求。传统的空调风道设计主要采用经验设计方法, 利用试验核查其工作效果, 费用高、设计周期长。本文基于计算流体动力学 (CFD) 理论对空调风道结合乘员舱进行了详细的分析, 并针对空调风道不合理的结构进行了优化设计。这种基于仿真分析的空调风道优化方法, 能够有效地降低成本、提高效率、缩短空调风道的开发周期, 是汽车空调系统研发的有效手段。

2 乘员舱流场分析建模

对于空调车室内流场分析, 需要采用三维数值模拟。为了简化问题, 做如下假设:

- (1) 车室内空气为不可压缩, 且符合 Boussinesq 假设;
- (2) 空调车室气密性良好, 除指定出口外无空气泄漏。

2.1 建立模型

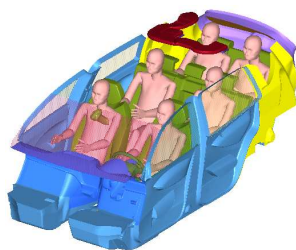


图 1 封闭几何模型

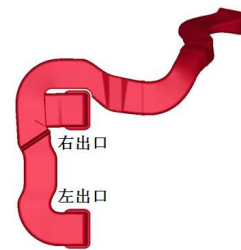


图 2 后排空调风道几何模型

选取乘员舱内表面、空调风道及格栅、座椅、假人几何表面等 3D 数模, 在 HyperMesh 软件中进行几何清理、网格划分等前处理, 将模型处理成封闭区域。对空调风道格栅需要进行网格细化处理。由于此次分析的主要目的是了解后排空调的作用效果, 因此仿真过程中不考虑前吹面和吹脚风道^[1]。

2.2 生成体网格

将已建立的封闭模型导入 STAR-CCM+ 软件中进行体网格划分, 考虑到空调风道中尺寸较小的特征结构较多, 需要对风道整体进行加密处理, 以便反映出细部特征对管路内部流场的影响。



图3 体网格模型

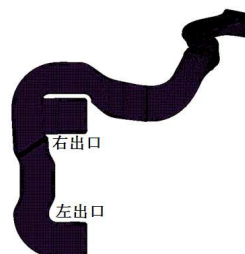


图4 后排空调风道体网格模型

2.3 计算的边界条件和分析条件

设定模型入口为质量流量入口, 入口条件为设定为 0.04686kg/s , 即 $168\text{m}^3/\text{h}$; 模型出口为压力出口; 环境温度为 20°C , 空气密度恒定为 1.204kg/m^3 , 湍流模型为标准的 K-Epsilon 模型, 离散格式为二阶迎风格式。充气箱的壁面为光滑表面, 空调风道壁面为不光滑表面。

3 原风道乘员舱流场计算结果分析

3.1 出风口流量分配

表 1 给出了各个出风口的风量所占比例。对比目标值可见: 右出风口流量分配比例较小, 而左风道出口的流量分配过大, 难以满足工程需求。

表 1 原风道流量分配比例

出口位置 流量分配	左	右
流量目标值	50%	50%
原风道计算值	70.5%	29.1%

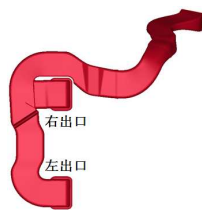


图5 原风道几何模型

3.2 出风口的速度变化图

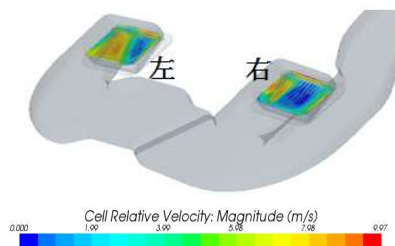


图6 出风口速度分布云图

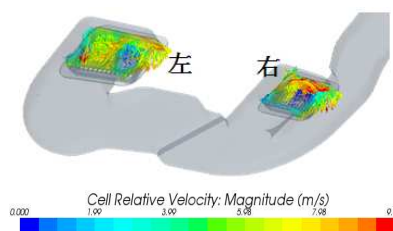


图7 出风口速度矢量图

图 6 和图 7 是风道出风口速度变化云图和速度矢量图。图中显示：风道左右出风口速度的整体分布相当的不均匀。右出风口气流流出很少，且外围速度分布较大。左出风口右边有低速漩涡区存在，出口流速分布不均，影响气流吹到乘员的效果^[2]。

3.3 风道速度流线

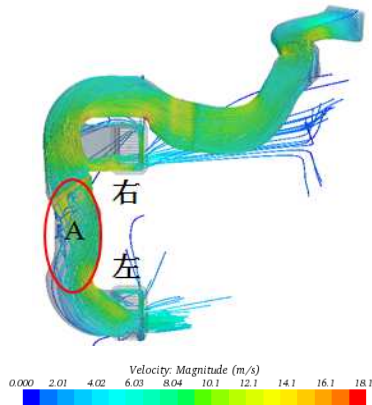


图 8 风道速度流线图

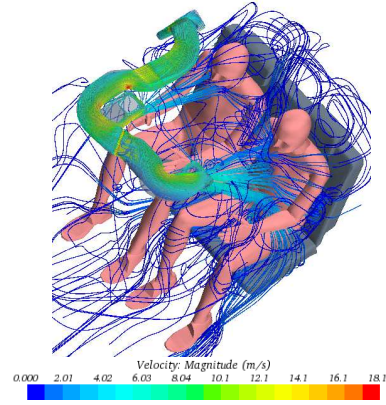


图 9 乘员舱内速度流线图

图 8 中可以看到，风道内流线的整体分布比较流畅，但是均匀性较差，在风道位置 A 处存在涡流，增大能量损失；在截面的突变与拐角处，气流速度较大，容易产生气动噪声；右出风口气流流出很少，且直接吹向乘员颈部，影响乘员的舒适性。从左出风口吹出的气流，吹到乘员身上的位置与分布情况基本符合最初的设计要求。

3.4 截面速度矢量图

为了清楚地观察乘员舱内的流动情况，选取了乘员舱内 2 个具有代表性的截面进行流动分布分析。图 10 是所取截面的具体位置图。

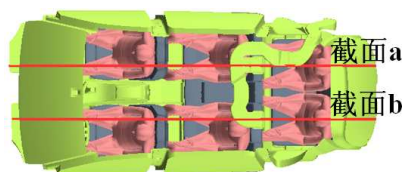


图 10 截面位置几何图

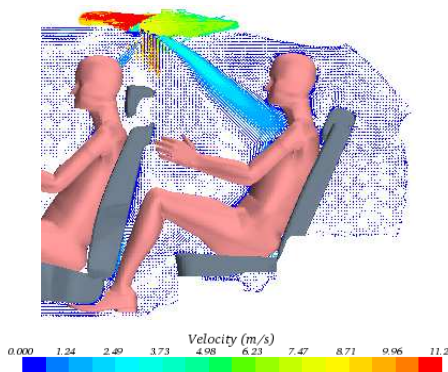


图 11 截面 a 速度矢量图

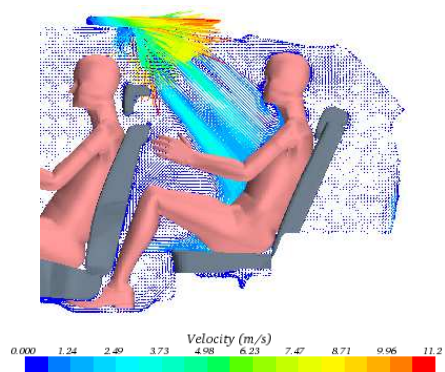


图 12 截面 b 速度矢量图

图 11 显示：可以清楚的看到气流从风道出口到乘员身体之间气流的动能损失较大，在接近人体气流的速度有明显的下降，炎热的夏天不利于空调降温，影响乘员的舒适性。图 12 显示：在气流的主流区域周围空气的速度较小，气流均匀的吹响左乘员的上半身，一方面有利于空调降温，另一方面有利于提高乘员的舒适性^[3]。

4 结构优化后的数值结果分析

从乘员舒适性、流体力学角度出发，空调风道设计原则是：首先要满足流量分配比例，来均衡乘员舱内部乘员舒适性；其次尽量保持空调风道结构平顺，避免大幅度的弯曲，使结构对气流起到疏导作用；最后气流在风道内部要尽量保持畅通、速度均匀化，既要避免高速气流过分集中，也要尽量消除低速漩涡区的存在。以上述原则为依据，该空调风道进行了如下改进：

- (1) 平滑过渡风道位置 B；
- (2) 重点修改了风道右出口位置 C 处模型，使气流提前分流进入右出口如图 12；
- (3) 调整了风道出口格栅的角度。

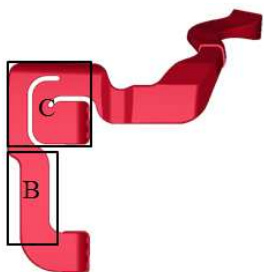


图 11 优化前风道结构图

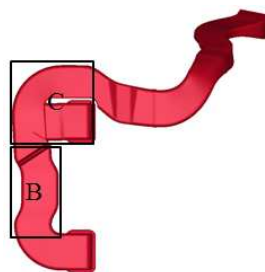


图 12 优化后风道结构图

4.1 优化前后出风口流量分配

表 2 给出了优化后各个出风口的流量占总风量的比例，与原空调风道的流量分配计算值相比，优化后空调风道出风口的流量分配比例更为合理，工程要求空调风道各个出口的实际流量与设计目标值误差在 0~5%之间，而优化后的左出口与设计目标的误差约为 2%，右出口约为 2%，均满足工程需求。

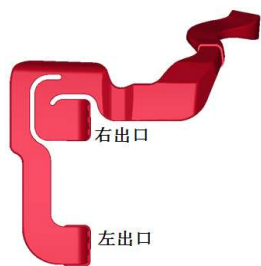


图 13 优化后风道几何结构

表 2 优化前后风道流量分配比例

出口位置 流量分配	左	右
目标值	50%	50%
原风道计算值	70.5%	29.5%
优化后计算值	51.9%	48.1%

4.2 优化前后风道内流线图对比

图 14 和 15 表明：1、优化后风道 B 处在气流的分布均匀性和流畅性方面都有明显的改善；2、优化后有更多的气流从右出口旋转流出；3、在风道拐角 D 处的流速较大，出现流动分离，比优化

前的速度有所增大, 这是由拐弯结构导致的, 由于空间限制, 按目前的设计方案上述问题暂时无法回避。

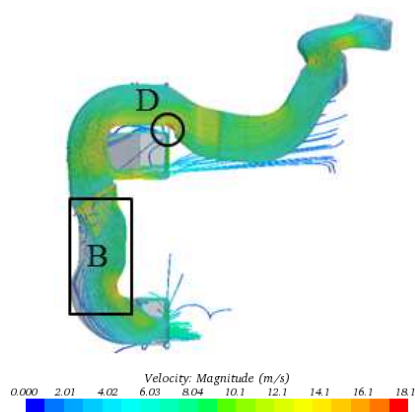


图 14 优化前风道流线图

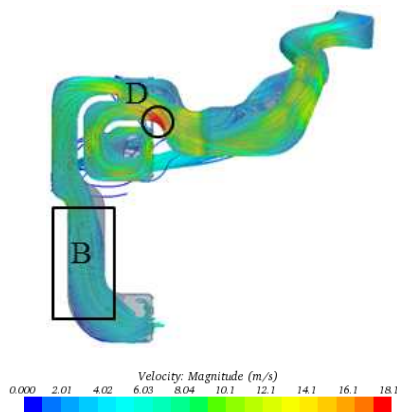


图 15 优化后风道流线图

4.3 优化前后乘员舱内流线图对比

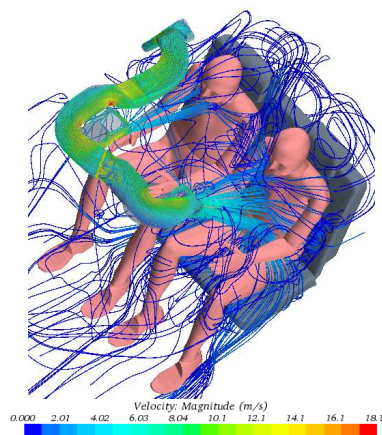


图 16 优化前乘员舱内速度流线图

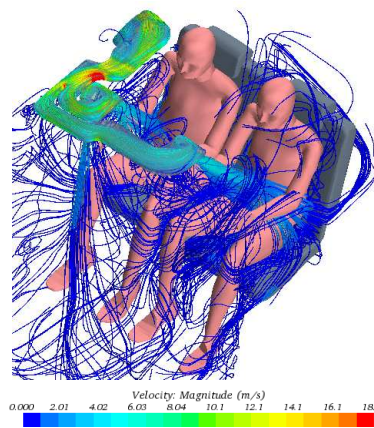


图 17 优化后乘员舱内速度流线图

图 17 显示: 优化后由于出口格栅角度的调整, 气流在乘员身体的击点位置有所下移; 气流的集中性较好, 避免了气流过多的散失, 影响空调降温效果; 风道右出风口气流有明显的增多, 改善了右侧乘员的舒适性。优化后右侧气流的组织形式得到了明显的改善; 但是总体而言, 左侧的降温效果更好。

4.4 优化前后假人表面速度云图对比

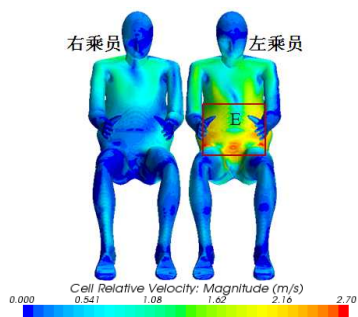


图 18 优化前假人表面速度云图

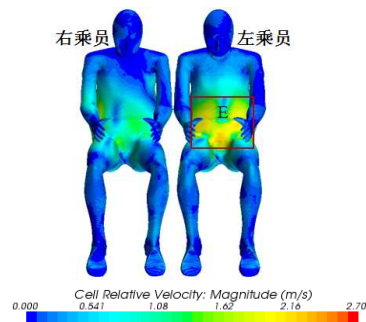


图 19 优化后假人表面速度云图

图 18、19 可以得到,与优化前相比:1、优化后左乘员上半身平均速度降低;E 处速度有明显地下降,提高乘员舒适性。在炎热的夏天,车内空气流速增大可以增加人体舒适感,但并不是空气的速度越大越好,过大的空气流速会使人体局部过度散热而感到不舒服。优化前左乘员表面的最大速度已达到 2.7m/s,影响舒适性^[4];2、优化后右乘员的平均速度有所提高,假人表面较高速度的分布面积有所增大,提高了右乘员的舒适性。

5 结论

本文针对在空调系统中通风风道进行了基于流体动力学仿真的优化设计。经过对优化前后风道的模拟分析对比,优化后的风道流量分配更为合理,气流吹到乘员身体的位置更为理想,乘员表面气流的相对速度分布更为合理,提高了乘员舒适性。现阶段该产品正在准备实车验证试验,笔者将跟踪该产品整个开发过程。

6 参考文献

- [1] 刘芳,詹佳,郑海等.汽车空调降温模拟分析[R],汽车工程学会 10 年年会资料
- [2] 王树苹,王俊,朱贞英.门永新等.汽车空调风道 CFD 分析及结构优化[R],汽车工程学会 09 年年会资料
- [3] 张兆奎,詹佳,朱贞英、门永新.NL-2 后排乘员舱流场分析[R].吉利汽车研究院-2009.09
- [4] 张兆奎,王树苹,朱贞英、门永新.NL-2 后排乘员舱流场分析[R].吉利汽车研究院-2009.12