

STAR-CCM+在空调系统中的快速优化应用

STAR-CCM+ Rapid Optimization and Application To Air-conditioning System

杜雪伟、沈磊

(上海汽车商用车技术中心, 上海 200438)

摘要: 为了解决空调顶风道出风口出风量不均匀的问题, 采用 CFD 方法对空调顶风道结构进行优化, 通过比较四种不同结构的顶风道各出风口的出风量, 得出结论, 优化后的顶风道出风量基本均匀, 达到设计要求。

关键词: 空调顶风道, CFD, STAR-CCM+

Abstract: Concerning outlet air flow at roof duct is not well distributed; air conditioning flow configuration has been optimized based on CFD simulation. So after comparing the outlet air flow at four different configurations, the result indicated a uniform distribution which can meet design requirement.

Keywords: Roof duct of Air-conditioning, CFD, STAR-CCM+

1 前言

为了提高商用车车厢内乘客的舒适性, 需要不断提高空调顶风道的出风口出风量的均匀性。商用车空调顶风道的结构比较复杂, 采用 CFD 技术进行结构优化, 不但能够节约大量时间和投资, 还可以更深入地了解风道内气流的流动特性和压降特性, 以得到最好的风道结构。

本文以某商用车空调顶风道为案例, 利用 STAR-CCM+对四种不同的风道结构进行分析, 对原顶风道结构进行优化, 最终得到各出风口出风量分配基本均匀的顶风道结构。

2 顶风道物理结构模型简介

风道和车厢为左右对称结构, 本分析取半个风道模型进行分析。车厢为简化模型, 其长、宽、高尺寸取自车厢实际尺寸。顶风道下方左右对称布置八个尺寸相同的出风口。图 1 为本分析的汽车车厢和顶风道模型。顶风道安装在该商用车内饰上部。

图 2 中通过将顶风道半透明显示, 可以看到顶风道内阻流件的复杂分布情况。气流从右侧进入, 经过阻流件的阻挡作用, 依次流出风道底部八个出风口。阻流件的分布情况直接影响到各出风口风量分配的均匀性。

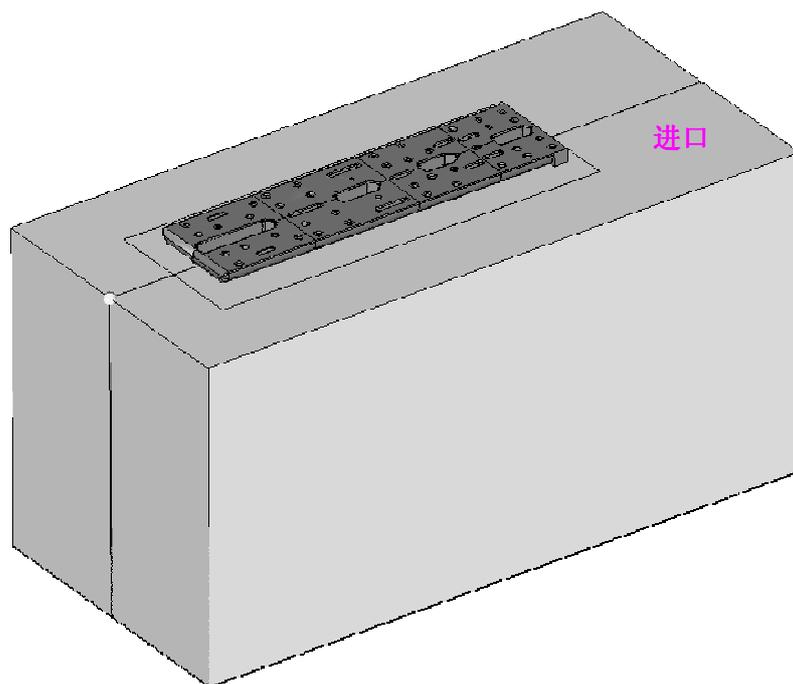


图1 汽车车厢和顶风道模型

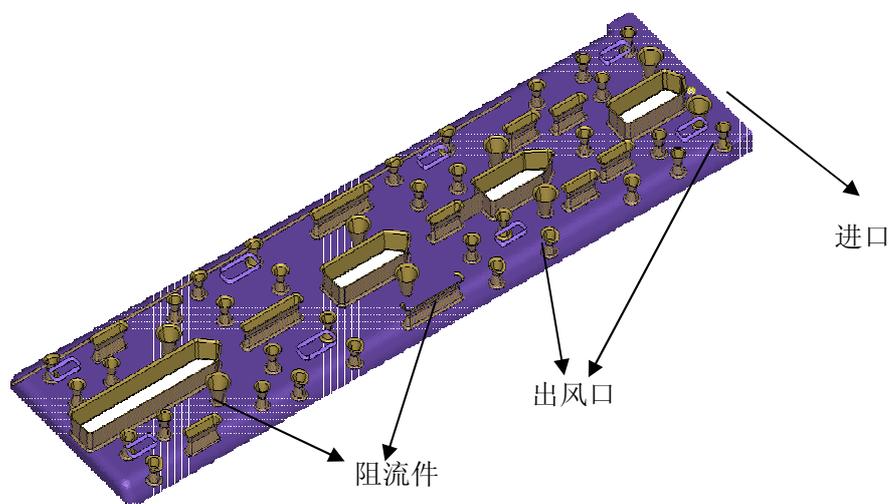


图2 顶风道内部阻流件分布图

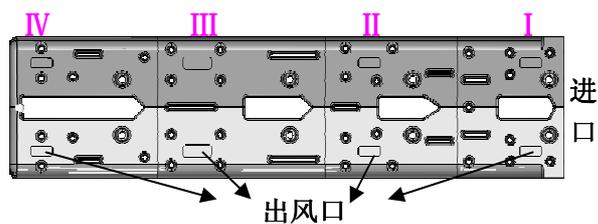


图3(a) 原始模型图

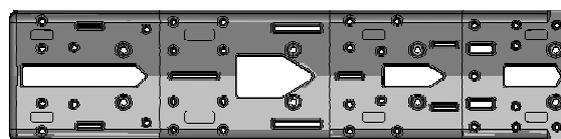


图3(b) 修改模型一

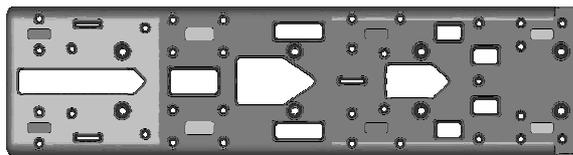


图 3(c) 修改模型二

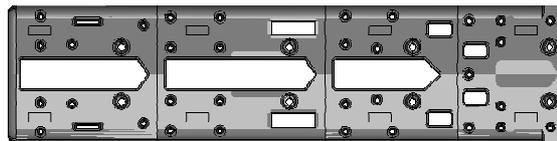


图 3(d) 修改模型三

图 3 汽车空调顶风道结构

图 3 为本文中，原顶风道结构和根据计算结果进行改进的 3 个顶风道结构。图 3(a) 为初步设计的汽车空调顶风道结构图，本文称为原始模型。图 3(b) 为第一种修改方案的顶风道结构图，称为修改模型一。该模型针对出风口 III 出风量大的特点，适当加大了该出风口附近阻流件的尺寸，减小了该处的气流流通面积，旨在提高出风口 III 附近气流流速，减小流出于出风口 III 的气流流量。图 3(c) 为第二种修改方案的顶风道结构图。该模型在修改模型一的基础上去掉了顶风道进口处的阻流件，并且进一步加大了出风口 II 和 III 之间阻流件的尺寸，以便增加出风口 I 的出风量，进一步降低出风口 III 的出风量。本文称之为修改模型二。图 3(d) 为第三种修改方案的顶风道结构图。该模型在修改模型一和修改模型二的基础上，改变了顶风道中间区域的阻流件的分布和宽度，使得四个出风口的出风量基本均匀，达到设计要求。本文称之为修改模型三。

3 数学描述及边界条件

本分析过程主要包括前处理，数值求解及后处理三部分^[1]。使用 STAR-CCM+ 生成多面体网格。网格总数 119 万。本分析求解了 Navier-Stokes 方程组，采用了二阶离散格式，设置的残差标准为：最大残差为 0.001，湍流模型采用了高雷诺数 $K-\epsilon$ 模型。

气流进口处边界条件为质量流量进口， $300\text{Kg}/\text{m}^3$ ，气流出口处为压力出口，相对压力 0Pa。

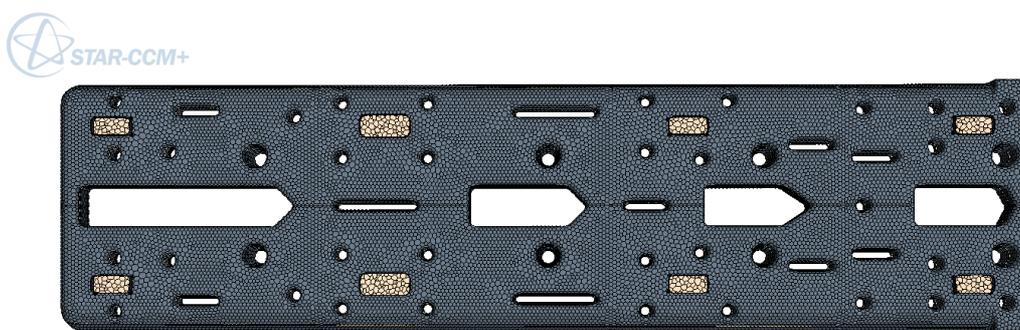


图 4 顶风道计算网格

4 计算结果及分析

从图 5 中可以发现原始顶风道模型存在两个主要问题：(1) 出风口 III 的出风量明显高于其余出风口；(2) 出风口 I 风量最小，两者相差 117.82%。

如图 6 所示，本分析所取截面为顶风道 Z 方向中心面。通过观察图 7 和图 8 的速度分布和速度矢量分布可以得到。出风口 I 处由于阻流件的存在，造成气流流速高，静压小，出风口 I 出风量最

小。由于风道中间阻流件的宽度相当，气流进入顶风道后，可以通过中间的通道径直向后面出风口。当气流流至出风口III附近时，流速降低，静压升高，大量气流由此出风口流出，同时也造成出风口II和IV出风量较少。

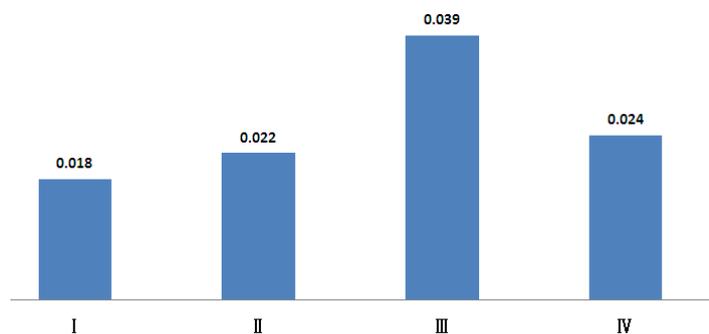


图5 原始模型各出风口出风量分布(Kg/s)



图6 顶风道Z方向中心截面

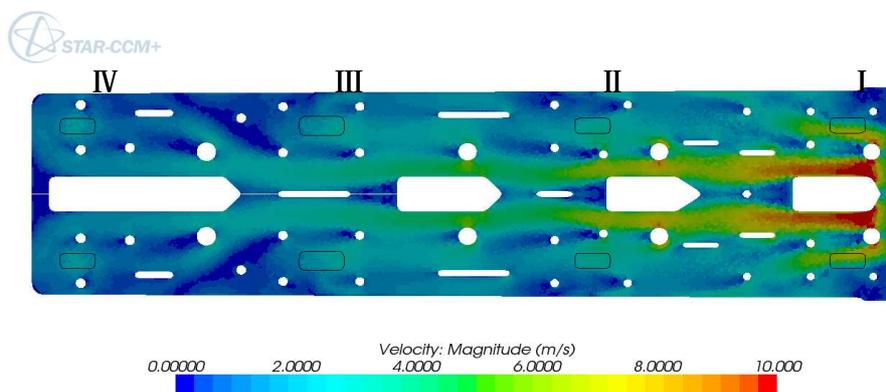


图7 原始模型速度分布

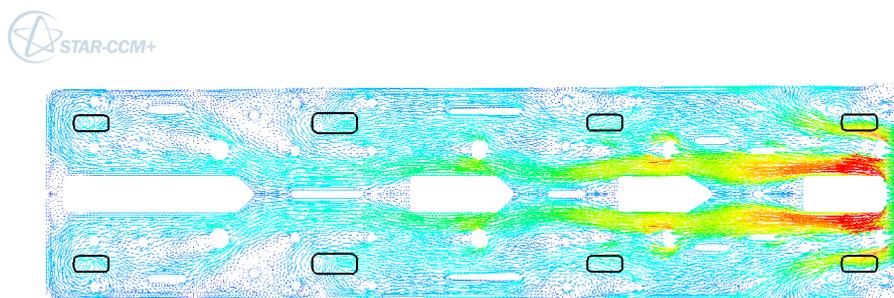


图8 原始模型速度矢量分布

针对原始模型存在的缺陷，提出两种改进方案：其一，适当增加出风口III附近阻流件尺寸，减小该处流道截面面积，提高流速，迫使气流从其余三个出风口流出；其二，适当减小出风口I处阻流件尺寸，增加该处流道竖直方向截面面积，降低流速，提高静压，增加出风口I的出风量。修改模型一和修改模型二分别针对这两条改进措施对原始顶风道结构进行改进，得到的风道内速度矢量分布和出风口风量分布见图9，图10和图12。

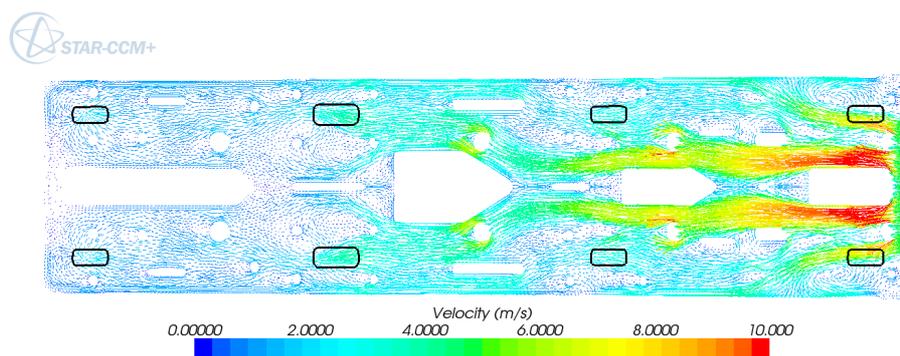


图 9 修改模型一速度矢量分布

如图 9 所示，相比较于原始方案，修改模型一增大了出风口 III 上游中央阻流件宽度，试图减小出风口 III 上游气流流通面积，增加流速，从而降低出风口 III 风量。从图 12 的的风量对比分布可以看出，出风口 III 的出风量的确有所减少，同时出风口 I 和 II 的出风量有所增加。但是，通过整体比较发现，出风口 III 的出风量仍旧较大，四个出风口中最大质量流量和最小质量流量相差 96.71%。不能满足设计要求。

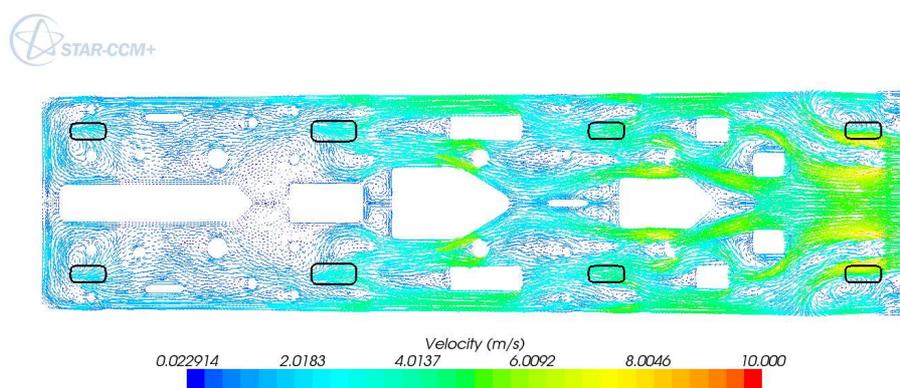


图 10 修改模型二速度矢量分布

修改模型二在修改模型一的基础上做了两方面改进：（1）将出风口 I 附近阻流件取消，使得该处气流流速降低，从而提高了出风口 I 的出风量。（2）增加了出风口 I 和 II 之间，以及出风口 II 和 III 之间的方形和五边形阻流件宽度，目的是减少出风口 III 上游流道垂直方向上横截面积，增加流动阻力，提高流速，使得气流更多地流向出风口 I 和出风口 IV。从图 12 中可以看出，优化后出风口 I 的出风量明显提高，并且出风口 III 风量进一步减低，但同时，出风口 II 和出风口 IV 的出风量较上一修改方案有所降低。出风口最大质量流量和最小出风量相差 55.11%，仍需进一步改进。

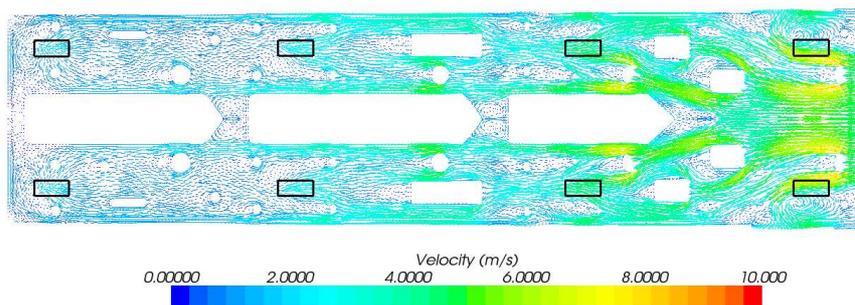


图 11 修改模型三速度矢量分布

针对前两种修改模型的优势和不足, 提出修改模型三。该模型保留了修改模型二中对顶风道进口处阻流件的改动, 并且将出风口 II 和 III 之间中央四个宽度不等的阻流件整合为两个宽度相同的阻流件。这样气流能够更顺畅地流向最后一个出风口。从图 12 中可以看出, 该方案的出风口质量流量分布基本均匀, 最大值比最小值高 10.94%。能够满足设计要求。

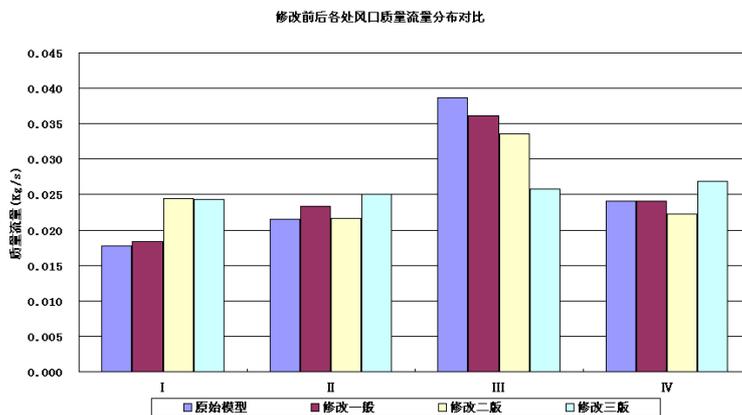


图 12 原始模型与修改方案出风口质量流量对比

5 结论

本文通过建立湍流数学模型, 模拟某商用车空调系统顶风道的流场特性, 采用 STAR-CCM+ 软件对顶风道内气流分布特性进行分析, 并对原始顶风道模型进行优化, 通过比较, 得到了选择最优结构的目的, 并得出以下结论:

(1) 原始模型的结构较为简单, 但各个出风口的风量分配极不均匀, 尤其是出风口 I 和出风口 III 相差达 117.82%, 会对该商用车车厢内舒适性造成较大影响, 不能达到设计要求;

(2) 修改模型一、二、三针对原始模型的不足进行改进, 其出风口风量分布均较原始模型有所改善, 尤其是修改模型三中间出风口出风量基本均匀, 最大值和最小值相差 10.94%, 基本满足设计要求。

(3) STAR-CCM+ 软件以其友好的界面, 强大的功能, 能够在保证计算结果准确的同时大大缩短前处理时间, 并提高计算效率。在一天内就完成该项风道全部分分析和改进, 效率较高。

6 参考文献

[1] STAR-CCM+帮助文档

联系方式:

姓名: 杜雪伟

单位: 上海汽车商用车技术中心

地址: 上海市军工路 2500 号

电话: 021-25079575

手机: 13585593704

邮箱: DuXuewei@Saicmotor.com