客车风道 CFD 仿真及优化

韩 健[1,2], 王建军[1,2], 郭延涛[1,2], 李鲁燕[1,2], 陈恒彬[1,2], 杨政栋[1,2]
(1. 中通客车股份有限公司, 山东 聊城 252000;
2. 山东省新能源客车安全与节能重点实验室, 山东 聊城 252000)

摘 要:排查某双层客车空调出风口出风不均匀问题的原因,运用 CFD 仿真分析与试验验证相结合的方法,对客车原风道进行分析。发现风道内部存在大尺度涡流问题,其根本原因是空调出风口过高,且与蒸发风机出风口相对位置不合理。据此对风道进行优化,出风效果得到显著改善。

关键词:客车风道; CFD 仿真; 优化改进
中图分类号:U469. 13; U463. 85⁺1 **文献标志码**:A **DOI**:10. 15917/j. cnki. 1006-3331. 2025. 03. 009

CFD Simulation and Optimization of Bus Ducts

HAN Jian[1,2], WANG Jianjun[1,2], GUO Yantao[1,2], LI Luyan[1,2], CHEN Hengbin[1,2], YANG Zhengdong[1,2]
(1. Zhongtong Bus Holding Co., Ltd., Liaocheng 252000, China;
2. Shandong Provincial Key Laboratory of Safety and Energy Conservation of New Energy Buses, Liaocheng 252000, China)

Abstract: This paper investigates the causes of the uneven problem of air outlet for double-deck bus air conditioners. It analyze the bus's original air duct by combining CFD simulation analysis with test verification. It found that there is a large-scale eddy current problem inside the duct. The root reason is that the air conditioner outlet is too high, and the relative position of the evaporator fan outlet is unreasonable. The air duct is optimized and the air outlet is significantly improved.

Key words: bus duct; CFD simulation; optimization improvement

客车空调系统对提升乘坐舒适性和驾驶员工作环境至关重要[1-2]。受限于整车布置空间,空调系统的风道一般较狭长且出风口较多,这导致空调系统经常出现各出风口风速、风量不均匀的情况,从而产生客车前后制冷效果、体感温度不一致的问题,严重影响了驾乘体验[3]。

CFD 仿真具有成熟的理论基础,已成为流体机械设计初期解决相关实际问题的重要工具。CFD 仿真能够快速、准确地了解内部流场情况[4],且具有开发时间短、开发成本低、可进行多参数优化等优点。本文对客车空调风道流场进行 CFD 仿真,并通过分析结果进行结构优化[5-8]。

1 空调风道原始结构的 CFD 分析

1.1 分析对象的选取

经实车测试,某双层客车下层左侧风道部分出风口风速几乎为零,其余风道出风口风速正常,故仅对下层左侧风道进行分析,其空调风道原始结构如图 1 所示。空调系统中有 2 个蒸发风机,每个风机有 2 个出口,共 4 个出口;空调风道前后共有 11 排出风口。

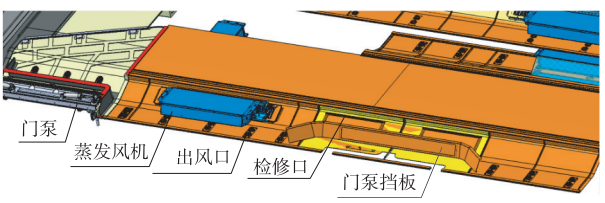


图 1 空调风道原始结构

收稿日期:2024-11-14。
第一作者:韩 健(1985—),女,工程师,主要从事客车造型及内外饰研发工作。E-mail:hanjian@ zhongtong. com。
通信作者:郭延涛(1998—),男,助理工程师,主要从事客车 CAE 仿真分析研发工作。E-mail:Guoyt_520@ 163. com。

1.2　仿真建模

对空调风道内部模型结构进行简化，去除无关特征并抽取流体域，空调风道流体域模型如图 2 和图 3 所示。图中 4 个蒸发风机吹风口为模型入口；空调出风口为模型出口，前后共 11 排，每排 2 个出风口；第一排的 2 个出风口用 11、12 表示；第 11 排的 2 个出风口用 111 和 112 表示。

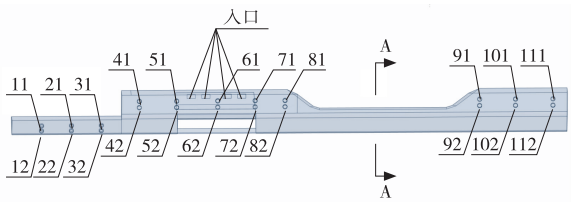


图 2　空调风道流体域模型图

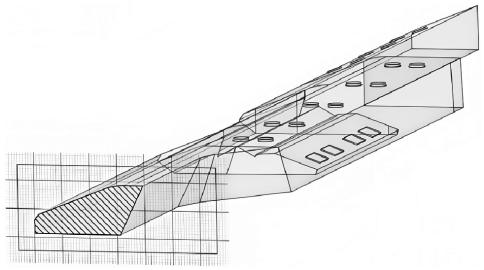


图 3　空调风道流体域 A-A 剖面图

1）网格划分。对简化后的模型进行网格划分，采用非结构化体单元网格，网格单元尺寸为 12 mm；共划分 2 183 634 个网格单元，415 210 个网格节点，符合网格无关性要求。为清晰观察网格，局部网格放大图如图 4 所示。

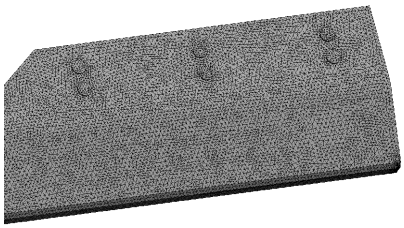


图 4　局部网格放大图

2）边界条件及求解设置。通过稳态计算方法，使流体达到一种稳定状态，其中速度、压力、温度等参数不随时间发生改变；采用标准 k-ε 湍流模型，不考虑重力影响，介质为空气，密度为 1.29 kg/m^3，大气压为 101.325 kPa；模型入口类型设为质量流量分布，大小为 0.397 kg/s；模型出口类型设为压力出口，仿真输出数据包括风速和风量两个参数。

1.3　仿真结果及分析

经仿真分析得到原空调风道出风口的速度和流量折线图（图 5）。由图 5 可知，出风口编号为 31、32、61、62 的风速很小，与实车测量中风速小的位置相符。

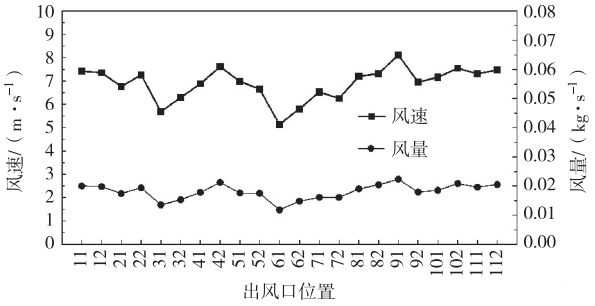
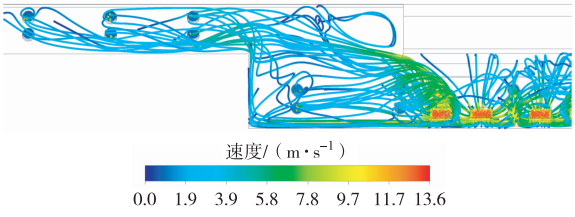
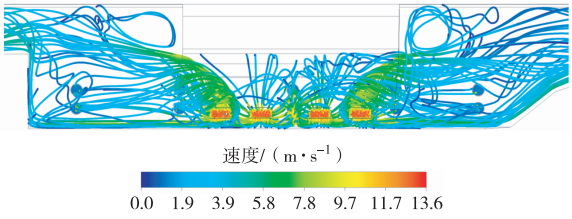


图 5　原空调风道出风口速度和流量折线图

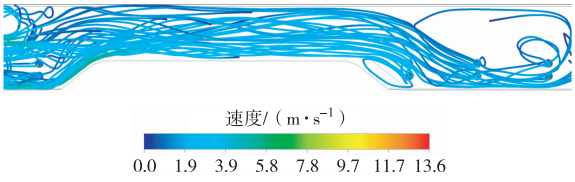
原空调风道前、中、后段的速度流线图如图 6 所示。原空调风道出风口速度流线图如图 7 所示。速度流线图中流线越密，代表风量越大。



（a）前段



（b）中段



（c）后段

图 6　原空调风道速度流线图

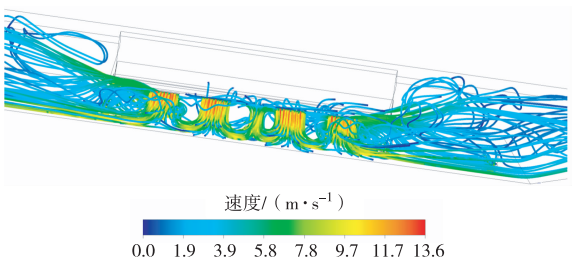


图 7 原空调风道出风口速度流线图

由图 6 和图 7 可以看出，空气从中段流向前段的过程中会经过一个直角区，该区域内存在涡流且流动紊乱；空气从中段流向后段的过程中也会经过一个直角区，该区域主要存在涡流现象；后段也出现涡流现象；风机出风口处，气流从出口吹出，首先接触到对面的风道内壁，再顺着内壁向两侧流出；但在相邻两个出风口（51 和 52、61 和 62、71 和 72）中间，存在气流对流，使气流被卷起流向反方向（图 7），导致其下方风道出风口出风效果变差。

2 优化方案及效果

2.1 优化方案

通常空调风道结构优化不可影响车辆内饰布置，所以应在风道内部进行优化调整。根据原空调风道内部流场特征，提出如下优化方案：

1）原结构的风机两侧及流向前端的直角处存在涡流且流动紊乱，故此处设置 3 片导流板（图 8），起到导流作用，以缓解内部涡流，减少内部能量损失。优化后的风道内部结构如图 8 所示。

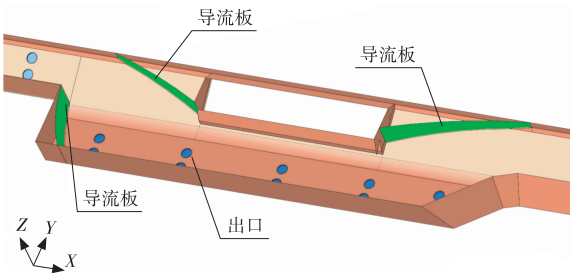


图 8 优化后的风道内部结构示意图

2）原结构中出风口处的圆柱形导风口伸入风道内的距离过长，严重阻碍气流流出，将所有风道出风口全部改为内沿与风道内平面齐平，以减小阻碍。优化前后风道内部结构对比图如图 9 所示。

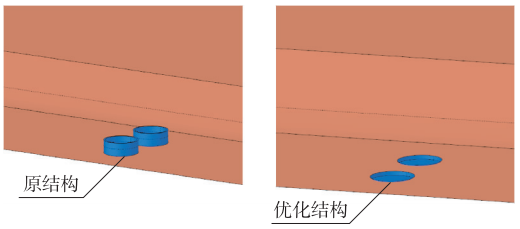
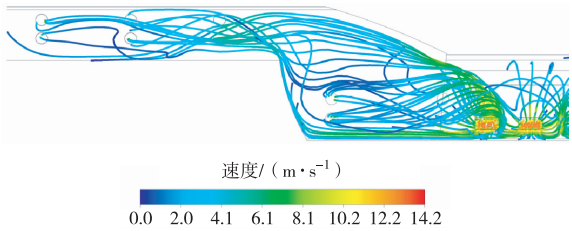


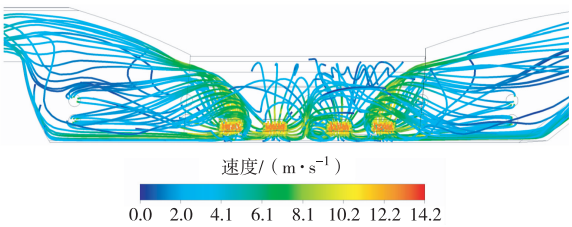
图 9 优化前后风道内部结构对比图

2.2 优化后仿真结果

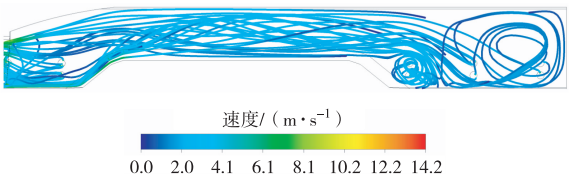
同时实施上述两种优化方案，并对优化后的结构进行仿真，得到其内部流场速度流线图（图 10）。



（a）前段



（b）中段



（c）后段

图 10 优化后风道速度流线图

优化后的风道速度流线图如图 10 所示。将图 6 和图 10 进行对比，发现增加导流板后，空气从中段流向前段过程中的涡流消失且流动十分顺畅，空气从中段流向后段时的涡流现象完全消失，内部流动状况得到明显改善，并且减少了能量损失。

根据图 2 中各风道出口编号，绘制了优化前后风道出口风速、流量对比折线图（图 11）。从图 11 中可以直观地看出，优化后的风速得到明显改善，几乎每个出风口都有提升，且各出风口风速相对均衡。其中，61 号出风口的风速提升最大。优化前后出风口

流量相差不大，各出风口流量几乎一致，出风均衡。

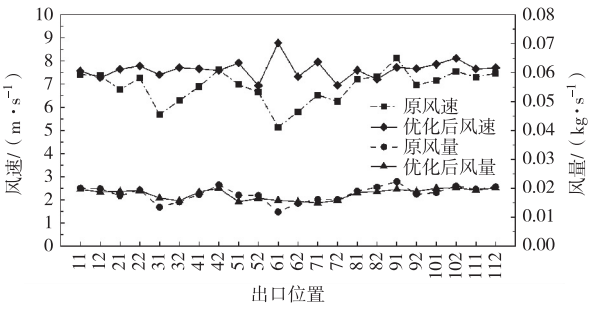


图 11　优化前后风道出口风速、流量对比折线图

3　结束语

原风道出风口编号为 31、32、61、62 的风量较小，与实车感受相同。通过分析其速度流线图，观察到内部流场存在涡流、流动紊乱、出风口内部高度影响内部流动等问题。通过增加导流板、降低出风口内部高度的优化方案，使内部流动更加平缓、顺畅，减少了内部流动损失；编号为 31、32、61、62 的出风口风速增大，解决了风道出风口不均匀的问题，且其余各出风口风速均有增加；各出口风量更加均衡。

参考文献：

[1] 鲁秉仁，程二涛，倪一铭，等. 具有行李承载功能的客车空调风道的开发及仿真[J]. 客车技术与研究，2023，45(3)：41-43.

[2] 林敏，曹红军，曾青，等. 基于 CFD 分析的城市客车空调风道优化[J]. 客车技术与研究，2022，44(6)：45-48.

[3] 张忠东，刘鑫明，曲立志，等. 发动机进气口噪声分析及改进[J]. 客车技术与研究，2022，44(3)：40-43.

[4] 张宪. 公交客车空调风道结构优化设计[D]. 长春：吉林大学，2019.

[5] 周帅. 基于 FLUENT 的大跨度双幅桥面桥梁气动干扰性能研究[D]. 长沙：湖南大学，2010.

[6] 闫万钊. 吸扫式扫路车气力输送系统 CAE 分析及结构优化[D]. 天津：河北工业大学，2016.

[7] 闵海娇. 汽车空调风道气动噪声分析与研究[D]. 成都：西南交通大学，2021.

[8] 王新树，王延安，李锋，等. 汽车风窗玻璃除霜性能的 CFD 分析及风道结构优化[J]. 机电一体化，2013，19(9)：28-32.

(上接第 47 页)

[10] SUN P，XIAO S M，LU W X. A simulation on the flow field of a helical intake port and a cylinder in diesel engine[M]// QIAN Z H，CAO L，SU W L，et al. Recent Advances in Computer Science and Information Engineering(volume 3). Berlin，Springer，2012：451-456.

[11] 尹凝霞，常思勤. 自由活塞发动机进气及压缩终了缸内气体流动特性分析[J]. 农业工程学报，2015，31(8)：61-67.

[12] 中国机械工业联合会. 中小功率柴油机排气消声器：JB/T 5081—2008[S]. 北京：机械工业出版社，2008：6.

[13] 丁瑞，李舜酩. 某单缸柴油机排气消声器的结构优化分析[J]. 噪声与振动控制，2011，41(2)：212-218.