

某地铁车辆客室送风道送风均匀性优化分析

王常宇¹ 单红娜²

(1. 中车长春轨道客车股份有限公司, 130062, 长春; 2. 长春市轨道交通集团有限公司, 130022, 长春//第一作者, 高级工程师)

摘 要 针对某地铁车辆客室送风道结构, 采用 STAR-CCM+ 软件分析其送风均匀性。经计算发现, 当采用初始送风道结构时, 客室两端送风量较大, 各段送风口的质量流量偏离整体送风口平均值较多, 其相对误差的标准差也较大, 客室送风均匀性较差。通过改变送风道结构和增加主风道内隔板等方法优化初始送风道结构, 优化后各段送风口的质量流量更接近整体送风口平均值, 其相对误差的标准差也有所减小, 客室的送风均匀性获得了极大的提高。

关键词 地铁车辆; 送风道; 送风均匀性

中图分类号 U270.38⁺3

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2023.01.047

Optimization Analysis of Compartment Air Supply Uniformity in Air Delivery Duct of a Metro Vehicle

WANG Changyu, SHAN Hongna

Abstract Targeting the air delivery duct structure of a metro vehicle compartment, the STAR-CCM+ software is used to analyze its air supply uniformity. The calculation results show that when adopting the initial air delivery duct structure, the air volume of both ends of the compartment is relatively larger, the mass flow deviation of each sectional air supply outlet from the overall average value is relatively higher, and the standard deviation of relative error is also relatively larger, so the uniformity of compartment air supply is relatively poor. By methods such as changing air delivery duct structure and adding main duct internal baffle, the initial air delivery duct structure is optimized, and the mass flow of each sectional air supply outlet after optimization becomes closer to the overall average value, and the standard deviation of relative error is reduced, with the uniformity of compartment air supply being significantly improved.

Key words metro vehicle; air supply duct; air supply uniformity

First-author's address CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

厢内乘客热舒适性的研究备受关注^[1-2]。客室空调送风道良好的送风均匀性是决定乘客舒适性的重要指标, 因此合理设计空调送风道成为了整个空调系统设计中较为重要的环节。文献[3]分析了带有静压腔式空调送风道的送风原理及结构, 提出了在送风道内增加扰流板的改进建议。

本文对某地铁车辆客室送风道进行仿真分析与模拟计算, 获得了送风均匀性气流组织云图、各段送风口的质量流量, 以及各段送风口与整体送风口平均值的相对误差的标准差; 此外, 对初始送风道结构进行了优化, 优化后的客室送风道送风均匀性有所提高。本研究可为空调送风系统的优化设计提供重要的理论依据。

1 研究对象及计算模型建立

1.1 研究对象

本文的研究对象为某地铁车辆客室送风道。初始送风道结构如图 1 所示: 气流由进风口进入风道静压腔, 经静压腔隔板条缝进入主风道, 最后由送风口送往客室。

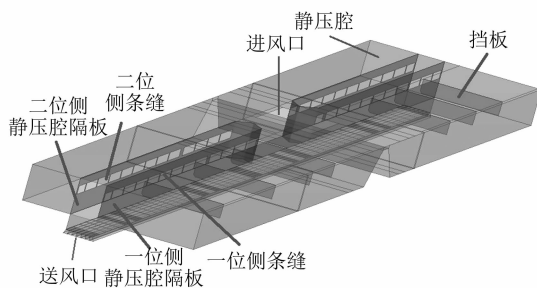


图 1 初始送风道结构

Fig. 1 Initial air delivery duct structure

1.2 建立计算模型

为了更真实地模拟送风道的送风情况, 计算建模包含客室区域。进风口及回风口模型如图 2 所示。经风道进风口进入地铁车辆客室的气流在客室循环后, 由回风口流出。为了便于后续对送风均

随着我国城市轨道交通的不断发展, 对地铁车

匀性指标进行评价,对风道出风口进行简要划分,从送风口 1 开始,每隔 600 mm 设置 1 个送风口,共设置 15 个送风口(送风口 1—送风口 15),其模型如图 3 所示。

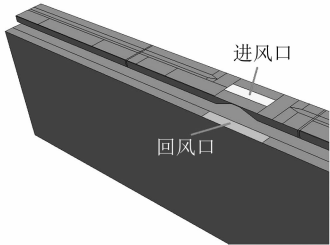


图 2 进风口及回风口模型

Fig. 2 Model of air inlet and return air inlet

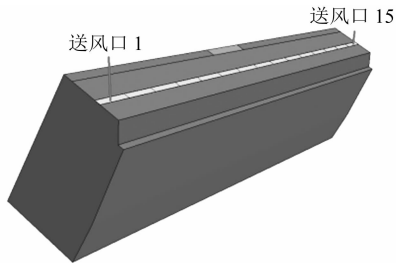


图 3 送风口模型

Fig. 3 Model of air outlet

在 Pointwise 软件中简化上述三维模型,在 STAR-CCM+软件中进行计算模型的前处理工作。为提高计算准确度且考虑到计算模型的收敛性问题,本次计算采用的体网格数量约为 500 万个。

1.3 评价指标

基于送风均匀性气流组织云图、各段送风口质量流量及各段送风口与整体送风口平均值的相对误差的标准差等评价参数,评价客室送风道的送风均匀性。

1.4 边界条件设定

边界条件设定为:① 空气在风道中的流动为湍流,空气密度不变且不考虑空气的温度变化,风道壁面设为绝热;② 根据设计要求,每个进风口的体积流量为 2 000 m³/h,为了便于计算,在标准大气压密度为 1.29 kg/m³ 的条件下,将进风口的体积流量换算为质量流量,并将进风口空气流量设置为质量流量,取值为 0.718 kg/s,回风口空气压力设置为相对压力,取为 0。

2 初始送风道结构

各段送风口的评价参数如表 1 所示,其中各段

送风口与整体送风口平均值的相对误差的标准差为 0.635。初始送风道的速度云图(主视图)如图 4 所示。由表 1 和图 4 可知,送风道靠近机组下方的送风口气流流速较小,而送风道端部区域气流速度较大,送风均匀性较差。

表 1 各段送风口的评价参数

Tab. 1 Evaluation parameters of each sectional air supply outlet

送风口编号	质量流量/(kg/s)	各段送风口质量流量与整体送风口平均值的相对误差/%
1	0.096	90.40
2	0.081	60.21
3	0.075	48.76
4	0.072	42.60
5	0.048	-5.46
6	0.014	-72.26
7	0.001	-97.42
8	0	-99.72
9	0.004	-92.13
10	0.048	-5.26
11	0.028	-44.47
12	0.069	36.71
13	0.075	49.11
14	0.058	15.39
15	0.088	73.54

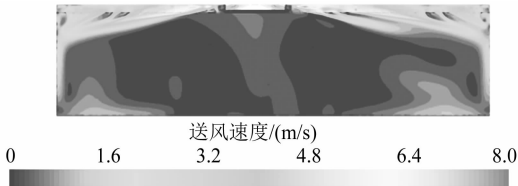


图 4 初始送风道的送风速度云图(主视图)

Fig. 4 Air supply velocity nephogram of initial air supply duct (front view)

3 优化后的送风道结构

针对客室两端送风速度较大且整体送风不均匀的问题,将主风道优化为变间距结构。为了使静压腔内的气流更为均匀地送入客室,并减小送风道两端的送风量,取消静压腔内的挡板设计。同时,考虑到送风道内的安装可行性问题,从一位侧主风道隔板和二位侧主风道隔板起始端开始,在两侧主风道隔板间每隔 500 mm 布置一个挡板,优化后的送风道结构如图 5 所示。优化送风道结构后,各送风口的质量流量和相对误差如表 2 所示,其中各段送风口与整体送风口平均值的相对误差的标准差为 0.535。优化后送风道的送风速度云图(主视图)如图 6 所示。

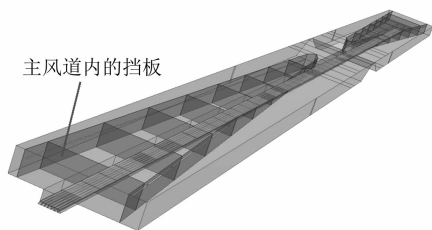


图 5 优化后的送风道结构

Fig. 5 Optimized air delivery duct structure

表 2 优化送风道结构后各送风口的质量流量和相对误差

Tab. 2 Mass flow and relative error of each sectional air supply outlet after the air supply delivery duct structure optimization

送风口编号	质量流量/(kg/s)	各送风口质量流量与整体送风口平均值的相对误差/%
1	0.089	85.32
2	0.059	23.20
3	0.060	24.35
4	0.070	44.59
5	0.069	42.16
6	0.009	-82.31
7	0.001	-97.14
8	0.001	-97.18
9	0.041	-14.41
10	0.039	-20.15
11	0.035	-28.17
12	0.061	25.62
13	0.064	33.72
14	0.062	27.56
15	0.064	32.84

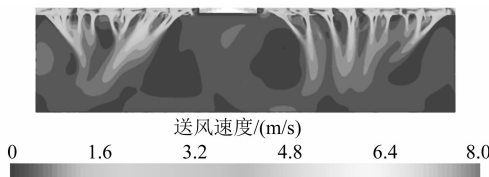


图 6 优化后送风道的送风速度云图(主视图)

Fig. 6 Air supply velocity nephogram of optimized air supply duct structure (front view)

4 结语

本文通过改进送风道结构及增加主风道内隔板的方法对初始送风道结构进行优化,获得如下结论:

- 1) 初始送风道结构的端部气流速度较大,优化后的送风道采用变间距结构,越靠近端部的送风道越窄,从而降低了端部流速及流量值。
- 2) 由于端部气流速度较大,初始送风道结构的送风速度较大,送风均匀性较差,优化后的送风道由一位侧主风道隔板和二位侧主风道隔板起始端开始,在两侧主风道隔板间每隔 500 mm 间距均匀布置挡板,计算获得的各段送风口的质量流量更接近于整体送风口质量流量平均值,其相对误差的标准差也有所减小,说明优化后送风道的送风均匀性更优。

参考文献

[1] 于森,王东屏,裘望,等. 地铁车空调风道及车室内气流组织数值仿真[J]. 大连交通大学学报,2014,35(2):16.
YU Miao, WANG Dongping, XI Wang, et al. Numerical simulation of air-conditioning duct and indoor airflow in subway car[J]. Journal of Dalian Jiaotong University, 2014, 35(2): 16.

[2] 张登春. 旅客列车车厢内气流分布特征与环境舒适性研究[D]. 上海:上海大学,2010.
ZHANG Dengchun. Research on airflow distribution characteristics and environment comfort in railway passenger car[D]. Shanghai: Shanghai University, 2010.

[3] 谈越明. 静压式送风风道的结构分析及试验研究[J]. 铁道车辆,2001,39(6):11.
TAN Yueming. Structural analysis and test research on static pressure air supply duct[J]. Rolling Stock, 2001, 39(6): 11.

(收稿日期:2020-09-09)

(上接第 227 页)

[3] 刘国云,曾京,罗仁,等. 轴箱轴承缺陷状态下的高速车辆振动特性分析[J]. 振动与冲击,2016,35(9):37.
LIU Guoyun, ZENG Jing, LUO Ren, et al. Vibration performance of high-speed vehicles with axle box bearing defects[J]. Journal of Vibration and Shock, 2016, 35(9): 37.

[4] 杨凯. 动车组滚动轴承故障轨旁声学联网监测应用技术研究[J]. 铁道机车车辆,2021,41(3):15.
YANG Kai. TADS equipment network monitoring technology research[J]. Railway Locomotive & Car, 2021, 41(3): 15.

[5] 刘建强,赵东明,赵楠. 一种改进的地铁车辆转向架轴承故障

诊断方法[J]. 铁道学报,2018,40(11):55.
LIU Jianqiang, ZHAO Dongming, ZHAO Nan. An improved fault diagnosis method for bogie bearings of metro vehicle[J]. Journal of the China Railway Society, 2018, 40(11): 55.

[6] 刘谋凯. 隧道内地铁轮轨噪声特性研究[D]. 成都:西南交通大学,2018.
LIU Moukai. Research on wheel/rail noise in subway tunnel[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2018.

(收稿日期:2022-03-17)