

某地铁车辆客室内气流组织仿真与试验对比分析

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, 工程师)

摘 要 以某地铁车辆客室的空调通风系统为研究对象, 模拟车辆在环境温度为 33 ℃ 下客室内空载时气流组织的平均温度和微风速。仿真结果表明, 空载情况下客室内的平均温度为 24.37 ℃、最大微风速为 0.28 m/s, 符合 EN 14750 标准的要求。将仿真结果和实车的空调试验结果数据进行对比分析, 验证了仿真分析的准确性。

关键词 地铁; 车辆客室; 气流组织

中图分类号 U270.38⁺3

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2020.10.021

Comparative Analysis of Airflow Distribution Simulation and Experiment in a Metro Coach

WANG Changyu, SHAN Hongna

Abstract The air conditioning and ventilation system of a metro vehicle is taken as the research object, the average temperature and the breeze speed of air flow are simulated when the ambient temperature is 33 ℃ and the passenger compartment is empty. The simulation results show that when the passenger compartment is empty, the average temperature is 24.37 ℃ and the maximum wind speed is 0.28 m/s, all meets the requirements of the EN 14750 standard. The simulation results are comparatively analyzed with the air conditioning test data of a real vehicle, and the accuracy of simulation analysis is verified.

Key words metro; vehicle carriage; airflow distribution

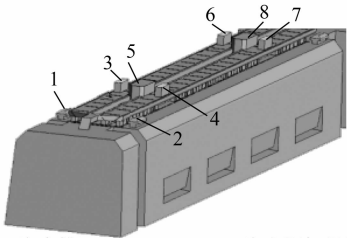
First-author's address CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

对于地铁车辆, 空调系统是调节客室内空气温度、湿度质量的重要环节, 如设计不合理, 会直接导致乘客站立区和座椅区产生吹风感, 从而影响乘客的舒适性^[1-2]。本文以某典型地铁车辆的空调通风系统为例, 通过仿真分析和试验的方法, 对客室内气流组织进行研究, 最终将仿真分析数据和空调试验数据进行对比分析, 验证仿真分析数据的准确性。

1 地铁车辆客室仿真模型

在建模时对地铁车辆车厢内部进行了一定的简化, 忽略了车厢内表面一些不需要重点关注的结构细节。一方面使得空间能得到更好的离散从而得到更精确的结果, 使得模拟计算的网格数量减少, 能以更高的效率更充分地分析室内流场; 另一方面可忽略次要矛盾, 抓住列车主要几何特征对客室内气流流动的影响。

地铁车辆长约 23 m, 宽约 2.9 m, 车辆中部(加风道)高约 2.6 m。车辆送风口位于沿车辆横向的车顶两侧, 回风口位于沿车辆纵向的车顶两侧的空调机组下方, 废排风口位于车辆顶部。地铁车辆客室气流组织仿真模型如图 1 所示。



注: 1、2 为废排风口; 3、4、6、7 为空调机组回风口; 5、8 为空调机组送风口

图 1 地铁车辆客室气流组织仿真模型

2 地铁车辆客室内气流组织仿真计算

2.1 仿真计算模型设置

仿真计算模型设置如表 1 所示。

表 1 仿真计算模型设置^[3-4]

辐射模型	湍流模型	压力速度耦合	压力差分格式	速度差分格式
DO	标准 $k-\varepsilon$	SIMPLE	二阶迎风	二阶迎风

注: k 表示紊流脉动动能; ε 表示紊流脉动动能的耗散率; DO 表示溶解氧; SIMPLE 表示压力耦合方程组的半隐式方法

2.2 边界条件设置

该仿真计算主要研究地铁车辆在环境温度为

33 ℃且车内只考虑空载的气流组织情况。其边界条件包括：

- 1) 空调机组的送风口、回风口及废排风口均采用流量入口边界条件(流量为负表示流量从此口流出流体域),整车总送风量为 10 000 m³/h,总回风量为 6 800 m³/h,总废排风量为 3 200 m³/h;
- 2) 车体侧壁为对流换热边界,对流换热系数 K 值为 2.5 W/(m²·K);
- 3) 不考虑人体散热情况;
- 4) 送风温度为 24 ℃。

2.3 计算依据

根据 EN 14750 标准要求^[5],给出地铁车辆客室内地板上 A1 至 A9 共 9 个位置的计算测点(见图 2),同时定义 A1 至 A9 上方 1.1 m 处的温度平均值为客室平均温度;定义 A1 至 A9 上方 1.1 m 处的温度差值为客室水平温差;定义 A2、A5 及 A8 上方 1.7 m、1.1 m 及 0.1 m 上方的温度差值为客室的垂直温差;定义 A1、A3、A4、A6、A7、A9 上方 1.1 m 处及 A2、A5、A8 上方 1.7 m 处的微风速为客室微风速。

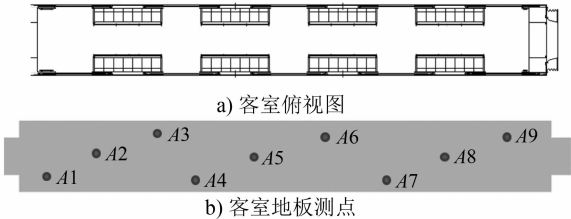
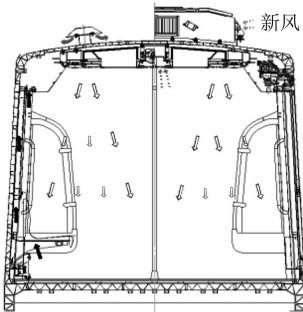


图 2 地铁车辆客室内测点示意图

3 仿真结果分析

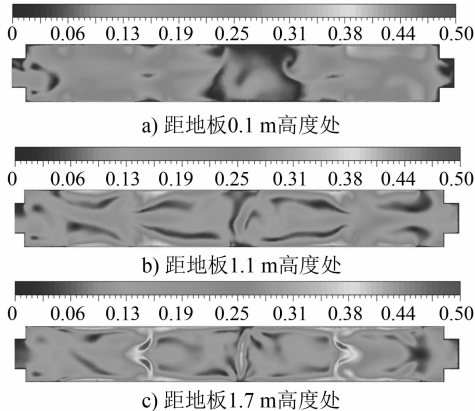
地铁车辆客室内气流组织如图 3 所示。距地板 0.1 m、1.1 m 和 1.7 m 高度处气流速度分布如图 4 所示。由图 4 可以看出,距地板 1.7 m 高度处因为靠近送风孔板,所以该高度处气流均匀性较差,其



注: --◇-- 代表新风 --▷-- 代表送风 --▶-- 代表回风 --►-- 找表排风

图 3 地铁车辆客室内气流组织流动示意图

中很小一部分区域达到了 0.5 m/s;距地板 0.1 m 和 1.1 m 高度处气流均匀性较好,该高度处气流速度基本处于 0 到 0.4 m/s 之间。以上高度处微风速均符合 EN 14750 标准中气流速度需低于 0.7 m/s 的要求,能很好地满足乘客的舒适性。



单位: m/s

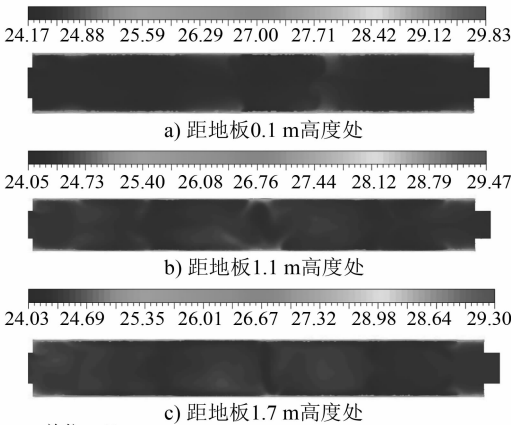
图 4 地铁车辆客室内气流速度分布云图

图 2 中测点的微风速如表 2 所示。

表 2 测点微风速计算结果

测点	微风速/(m/s)
A1	0.14
A2	0.17
A3	0.25
A4	0.08
A5	0.12
A6	0.14
A7	0.07
A8	0.21
A9	0.04
客室平均微风速	0.14

地铁车辆客室内距地板 0.1 m、1.1 m 和 1.7 m 高度处温度分布如图 5 所示。由图 5 可知,客室内



单位: ℃

图 5 地铁车辆客室内温度分布云图

温度分布非常均匀,只有在靠近壁面的薄层内温度较高。室内温度分布很均匀主要是由于送风量较大、送风比较均匀且空载车无人体发热量的结果。客室内温度基本分布在 24 ℃到 25 ℃之间。

地铁车辆客室内各测点温度如表 3 所示。

表 3 地铁车辆客室内各测点温度计算结果

测点	温度/℃
A1	24.38
A2	24.36
A3	24.22
A4	24.47
A5	24.37
A6	24.43
A7	24.40
A8	24.27
A9	24.39

注:客室平均温度为 24.37 ℃,水平温差为 0.25 ℃,垂直温差为 0.13 ℃

4 试验结果分析

为了和仿真分析结果作对比,以真车为例在低温环境实验室进行了整车空调试验。试验条件同仿真分析边界条件相同,同时按照图 2 进行测点布置(试验中测点及风口位置见图 6),开启空调自动位模式,对客室内空载工况进行试验。客室内平均温度稳定后,取稳定后的 1 h 数据作为最终试验数据,各测点的温度平均值、微风速及最大温差如表 4 和表 5 所示。

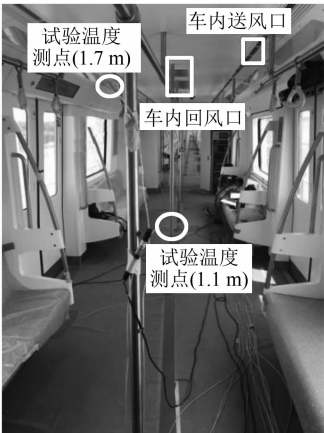


图 6 地铁车辆客室内各试验测点及风口位置图

为了更直观地对比试验和仿真分析结果,图 7 给出了客室内微风速曲线对比结果,图 8 给出了客

表 4 地铁车辆客室内各测点微风速试验结果

测点	微风速/(m/s)
A1	0.16
A2	0.10
A3	0.20
A4	0.05
A5	0.10
A6	0.18
A7	0.12
A8	0.18
A9	0.10

注:客室平均微风速为 0.13 m/s

表 5 地铁车辆客室内各测点温度试验结果

测点	温度/℃
A1	24.85
A2	24.62
A3	24.38
A4	24.84
A5	24.72
A6	24.73
A7	24.65
A8	24.70
A9	24.63

注:客室平均温度为 24.68 ℃,水平温差为 0.55 ℃,垂直温差为 0.51 ℃

室内平均温度曲线对比结果。从对比结果来看,空载和满载工况下每个测点的微风速试验值和温度试验值与仿真分析结果基本一致;客室平均温度、水平温差及垂直温差与仿真分析结果相差不到 10%,同时这些评价指标也满足 EN 14750 标准要求。

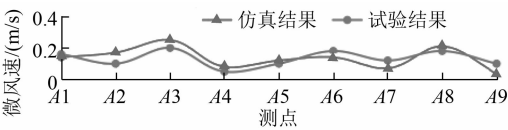


图 7 地铁车辆客室内各测点微风速对比图

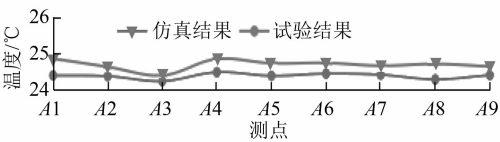


图 8 地铁车辆客室内各测点温度对比图

(下转第 94 页)

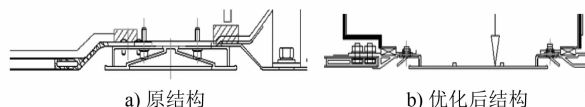


图 15 送风格栅结构优化前后对比图

4 结论

本文采用 CFD 数值计算的方法,对地铁车辆通风风道性能及结构进行优化分析。通过对风道主体结构对比优选、风道尺寸优化、静压隔板开孔及送风孔缝调整、送风格栅优选等,实现送风均匀性、微风速等指标优化的目标。上述所有优选方案,均在试验中得以验证。结合分析过程,得到如下结论:

1) 地铁车辆空调受结构尺寸限制,机组区域风道矮小,总体尺寸难以增加。本文优化过程中通过取消风道底部结构、防寒材外置等方式,最大限度

地增大低顶风道尺寸,减小高、低顶之间阻力差值,对提高送风均匀性有很大提升。

2) 出风格栅对出风口区域的微风速影响极大,格栅侧出风的方式极大地降低了格栅底部区域的微风速,不会直接吹向乘客头部,提高了乘客舒适性。

参考文献

- [1] 刘力伟. 地铁车辆空调通风系统研究[J]. 基层建设, 2018(8): 12.
- [2] 王书傲, 谈越明. 空调客车均匀送风风道的研究[J]. 铁道车辆, 1992(8): 6.
- [3] 龙静, 王书傲. 地铁车辆空调系统送风风道分析[J]. 电力机车与城轨车辆, 2004(4): 40.
- [4] 王俊伟, 宁宝焕, 章义. 地铁车辆风道系统出风均匀性改进研究[J]. 科技风, 2015(8): 18.

(收稿日期: 2019-03-22)

(上接第 86 页)

5 结语

本文以某地铁车辆客室的空调通风系统为研究对象,对车辆空载工况客室内气流组织的平均温度及微风速进行了仿真分析计算。计算结果满足 EN 14750 标准要求,并通过真车进行了试验,验证了仿真分析的准确性,可为后续地铁车辆空调系统风道设计及开发提供重要的可行依据。

参考文献

- [1] 魏润柏, 徐文华. 热环境[M]. 上海: 同济大学出版社, 1994.

(上接第 89 页)

参考文献

- [1] 齐阳. 多 HVDC 输电系统 SSO 抑制措施的协调控制研究[J]. 中国电力, 2014(4): 108.
- [2] 何洋阳, 黄康, 王涛, 等. 轨道交通牵引供电系统综述[J]. 铁道科学与工程学报, 2016(2): 352.
- [3] 宁建斌. 铁路牵引变电所与开闭所的保护配合分析[J]. 铁道工程学报, 2017(4): 70.
- [4] 齐阳, 刘禹彤, 杨天蒙, 等. 轨道交通用空气直流断路器关键部件仿真研究综述[J]. 电器与能效管理技术, 2019(1): 1.
- [5] 吴秋瑞, 李群湛, 刘炜. 地铁交流供电方案探讨[J]. 铁道工程学报, 2018(3): 97.
- [6] 赵海军, 陈维江, 沈海滨, 等. 地铁架空地线的雷电防护作用

- [2] 孙一坚. 简明通风空调设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
- [3] 李人宪. 有限体积分法基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [4] 陶文铨. 数值传热学[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1988.
- [5] CENELEC. Railway applications-Air conditioning for urban and suburban rolling stock-Part 1: Comfort parameters; EN 14750-1: 2006[S]. Brussels: CENELEC, 2006.
- [6] 孙丽花. 南方某市地铁 B 型车客室气流组织分析[D]. 广州: 华南理工大学, 2016.
- [7] 于晓良, 王宗昌, 刘绍禹. A 型地铁客室气流组织仿真分析及试验[J]. 科技创新与应用, 2016(22): 4.

(收稿日期: 2019-05-01)

研究[J]. 铁道工程学报, 2015(1): 122.

- [7] 荣命哲, 杨飞, 吴翊, 等. 直流断路器电弧研究的新进展[J]. 电工技术学报, 2014(1): 1.
- [8] 陈德桂. 直流开断技术的进展与新型直流断路器[J]. 电器与能效管理技术, 2014(21): 1.
- [9] 朱志豪, 赵芳帅, 袁端磊, 等. 城市轨道交通大容量直流快速断路器的研发[J]. 高电压技术, 2018(2): 417.
- [10] HOLM R. Electric Contacts[M]. 4th ed. New York: Springer-Verlag, 1967.
- [11] 张冠生. 电器理论基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997.
- [12] 孙昊, 荣命哲, 马瑞光, 等. 空气介质直流断路器的现状[J]. 低压电器, 2013(20): 8.

(收稿日期: 2018-12-04)