

地铁列车设备舱通风冷却设备布置优化

蒋奎¹ 吴楠楠² 何守宝² 陆心怡²

(1. 河北轨道运输职业技术学院铁道车辆系, 050021, 石家庄;

2. 同济大学机械与能源工程学院, 201804, 上海//第一作者, 副教授)

摘要 通过 CFD(计算流体动力学)仿真对地铁列车设备舱压力场和温度场进行了计算, 得到隧道运行、明线运行、高架运行及停站四种工况下列车设备舱内部空气温度分布和压力分布, 为设备舱通风设备的布置与设计提出建议。结果表明, 通过在裙板两侧开通风口, 加大进入设备舱的冷却风量, 将发热量大的设备布置于设备舱的两端, 可以有效地提高设备舱散热。

关键词 地铁; 列车; 设备舱; 通风; 设备布置

中图分类号 U231.5

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.03.022

Optimization Layout of Ventilation and Cooling in Metro Equipment Cabin

JIANG Kui, WU Nannan, HE Shoubao, LU Xinyi

Abstract In this paper, the pressure field and temperature field of the metro train equipment cabin are calculated by CFD (computational fluid dynamics) simulation, and the interior air temperature distribution and pressure distribution of the equipment cabin are obtained in four operational conditions: tunnel operation, open line operation, elevated operation and stop, corresponding suggestions for the layout and design of equipment cabin ventilation are put forward. The research shows that the heat dissipation of the equipment compartment can be effectively improved by opening the vents on both sides of the skirt so as to increase the cooling air input, and arranging the equipment with large heat generation at both ends of the equipment cabin.

Key words metro; train; equipment cabin; ventilation; equipment layout

First-author's address Department of Railway Vehicle Engineering, Hebei Vocational College of Rail Transportation, 050021, Shijiazhuang, China

随着我国高速列车的飞速发展, 列车运行的安全性和稳定性也越来越受到关注。地铁车辆的车下设备主要包括牵引变流器、变压器、制动设备和

牵引电机等大功率用电设备。这些设备在运行过程中会产生大量的热量, 若不能将这些热量及时排出, 会导致设备超温, 从而影响列车的正常运行, 因此有必要对地铁列车设备舱热环境进行研究。

目前, 世界各国对高速列车主要的研究方法有数值模拟方法和实验方法^[1]。文献[2-3]最早利用一维假设建立了隧道压力波一维流动理论和特征线求解方法。文献[4-6]采用非对称滑移网格方法对列车-隧道耦合空气动力学的诸多问题进行了研究。文献[7]采用 CFD(计算流体动力学)数值模拟方法, 通过速度场、通风量和设备温度研究了不同列车运行速度和设备舱通风口纵向位置差异对设备舱通风散热的影响。文献[8]利用 CFD 数值模拟方法研究了列车高速运行于明线无横风环境和明线横风环境, 以及隧道通过等工况下的设备舱通风散热性能及设备舱裙板与底板单元结构响应。

本文旨在通过 CFD 数值模拟方法来研究地铁列车在隧道运行、明线运行、高架运行及隧道停站工况下, 列车设备舱内外部的压力分布及温度分布。其结论可为设备舱通风设备的布置与设计提供参考。

1 地铁列车设备舱内气流特征和热环境

以地铁列车在隧道运行工况为例, 采用数值模拟方法对地铁列车设备舱内的气流特征和热环境进行分析。

1.1 计算模型、区域和网格

采用 CFD 数值分析软件进行几何模型的建立及网格的划分。列车共计 8 节车厢, 总长度约 200 m, 各节车厢长约 23 m, 列车宽约 3.1 m, 列车高约 3.95 m。

本文采用的隧道为截面积约 28 m² 的线隧道, 在进行稳态运行列车的流场计算建模时, 取长度大于 25 倍车宽的列车头部及尾部空间作为计算区域。

网格划分采用非结构网格。上游隧道区域和下游隧道区域最大网格尺寸为0.6 m,近隧道区域最大网格尺寸为0.2 m,近车体区域最大网格尺寸为0.1 m。设备舱内设备均进行加密处理,网格总数为4 761万,网格质量大于0.28。

1.2 边界条件设置

1.2.1 入口、出口边界设置

模拟计算采用非稳态方法,计算区域入口采用速度入口边界条件,入口空气温度为40℃。外流场出口采用压力出口边界条件,出口压力值为大气压,温度为40℃。

1.2.2 其它边界设置

设备舱其他设备表面、设备舱顶面、车体、地面和计算区域边界均为绝热,裙板为耦合面。

1.2.3 模型设置

采用单精度的分离隐式算法器进行计算,压力与速度的耦合运用SIMPLE算法,压力离散格式为standard格式,3个坐标方向的速度方程和 k 、 ε 方程的对流项离散采用二阶迎风差分。空气密度采用理想不可压缩气体。除压力的松弛因子取0.3、动量松弛因子取0.7外,其余各变量的松弛因子均介于0.8~1.0。

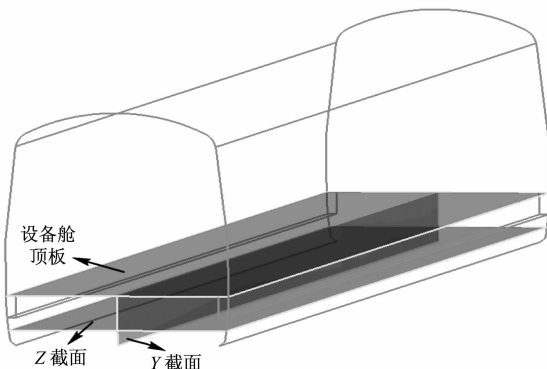
1.3 收敛判据

计算收敛判据如下:①连续性方程、动量方程、湍流动能方程和耗散率方程残差小于 10^{-3} ,能量方

程残差小于 10^{-6} ;②计算区域的质量和能量均守恒;③压力场和温度场的计算结果合理。

1.4 设备舱热环境计算分析

采用CFD数值分析软件对地铁列车设备舱进行了计算仿真,并对其结果进行了后处理和分析。图1所示为地铁列车设备舱截面位置选取示意图。



注:Z截面距设备舱顶板距离为0.55 m;Y截面为车体中间截面

图1 地铁列车设备舱截面位置选取示意图

1.4.1 列车设备舱气流特征分析

列车设备舱速度场分布如图2所示。由图2可知,列车运行过程中,由于受到转向架、变压器和牵引变流器等的阻挡,舱内空气速度沿着车身方向逐渐减小;一位端转向架附近空气流速变化较大,空气流经变压器后速度场分布较为均匀;裙板将外界和设备舱分隔开,其两侧速度场的变化极为明显。

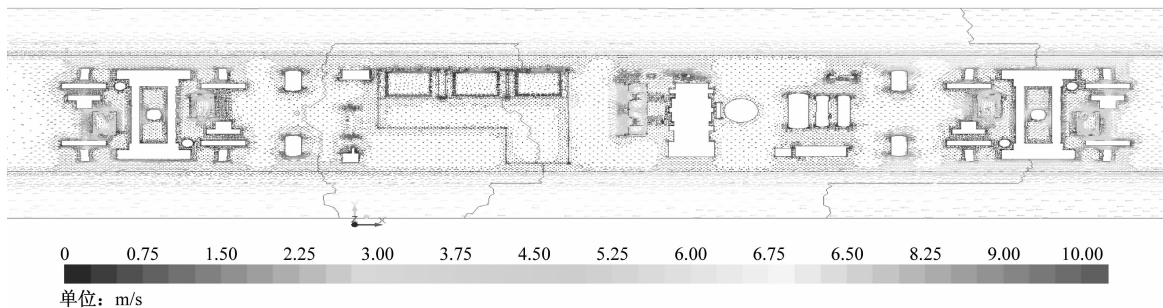


图2 截面列车设备舱速度矢量分布云图

1.4.2 列车设备舱热环境计算结果分析

1.4.2.1 列车设备舱压力场

列车设备舱压力分布如图3所示。由图3可知,列车在高速运行中,设备舱内压力整体呈沿车长方向逐渐减小的趋势。一位端转向架的前部压力较高,且压力分布较均匀;由于受到设备舱内转向架的阻挡,压力场发生巨大变化,空气流动经过变压器后,压力场相对稳定。

1.4.2.2 列车设备舱温度场

列车设备舱温度场分布如图4所示。由图4可知,设备舱内温度分布变化较为明显。空气进入设备舱后,受到转向架电机、变压器和牵引变流器等主要设备热源的影响,温度逐渐升高。设备舱中部区域散热量较大的牵引变流器和变压器周围空气温度较高。

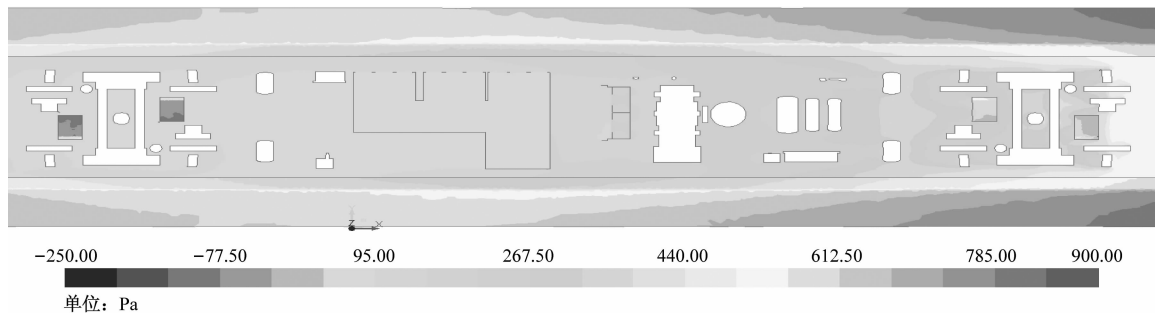


图3 截面列车设备舱全压分布云图



图4 截面列车设备舱温度分布云图

2 不同运行工况下设备舱内的环境差异

分别对隧道运行、明线运行、高架运行和隧道停站等工况下的地铁列车设备舱进行数值模拟研究,并对比不同运行工况下地铁列车设备舱内的环境差异。

2.1 速度场计算结果分析

在速度场中,由于受到转向架、变压器、牵引变流器和其他设备的阻挡,在明线运行和高架运行工况下,舱内空气速度均沿着车身方向逐渐减小。一位端转向架附近空气流速变化较大,空气流经变压器后速度场分布变得较为均匀。裙板将外界和设备舱分隔开,其两侧速度场的变化极为明显。在隧道停站工况下,列车处于静止状态,隧道内空气的流通依靠排热系统的风机提供动力。因为冷却风机的存在,空气受迫流动,使得风机附近空气流速较大,但其周围空气流速却较小。

2.2 压力场计算结果分析

列车在明线运行和高架运行工况下,设备舱内压力变化整体呈沿车长方向逐渐减小的趋势。一位端转向架前部压力较高,且分布较均匀;由于受到设备舱内转向架的阻挡,压力场发生巨大变化,空气流动经过变压器后,压力场变得相对稳定。列车在停站工况下,全压压力场分布相比隧道运行和明线运行工况的变化更小和更稳定。设备舱内全

压压力场分布受到牵引变流器冷却风机和变压器冷却单元风机的影响,靠近变压器冷却风入口处的压力要比周围环境压力小,同时排热系统轨底风口向隧道内送风,使得靠近屏蔽门侧的压力偏小。

2.3 温度场计算结果分析

列车在明线运行和高架运行工况下,设备舱内温度变化较为明显。空气进入设备舱后,受到转向架电机、变压器、牵引变流器等主要设备热源的影响,温度逐渐升高,且温度最高位置出现在设备舱中部区域。在隧道停站工况下,设备舱内空气温度分布与热源有关,靠近热源的地方温度较高,远离热源的地方温度较低。由于列车裙板的阻挡,轨底风口送风未起到最大作用,设备舱内未将更多的热量送走。

3 设备舱通风冷却设备布置优化建议

结合本次计算结果,对于列车设备舱的通风冷却设备布置,提出如下建议:

(1) 通过在裙板两侧开通风口,加大进入设备舱的冷却风量来进行散热。将轨底风口与设备舱裙板风口布置一一对应,可增大停站时进入设备舱冷空气的流量,从而达到带走热量和冷却设备的目的。

(2) 将发热量较大的设备布置于设备舱的两

(下转第 169 页)

应用文件标准,根据读卡协议进行 CPU 读卡器的二次程序开发。

2.3 既有门禁系统改造方案

既有门禁系统的改进方案如表 4 所示。

表 4 既有门禁系统的改造方案

项目	内容
接口确认	门禁厂家应与 ACC 进行技术对接,以确定门禁卡使用规划和门禁系统业务文件建立的标准,签订接口技术规格书,需注意门禁系统密钥文件和业务应用不能与一卡通系统合用
接口开发	门禁厂家根据确定的接口技术规格书进行读卡器程序开发
接口测试	各门禁厂家所制定的技术方案不同,因此须提前与发卡中心进行接口测试,通过 CPU 读卡器与 CPU 员工卡配合使用来完成测试工作
生产制造	根据测试情况进行 CPU 读卡器的批量生产

3 结语

门禁系统作为城市轨道交通中最重要的安全

(上接第 96 页)

端。设备舱中部区域空气流动相对稳定,两端空气流速较大,这样使得空气扰动性增强,从而利于设备进行散热。

4 结语

本文通过 CFD 数值模拟仿真对地铁列车车型设备舱的压力场和温度场进行了计算。因为夏季温度最高,对列车设备运行最为不利,因此本文选取夏季(隧道及明线空气温度 40 ℃)、明线和高架运行工况,以及考虑太阳辐射等条件来进行计算。通过仿真计算得到隧道运行、明线运行、高架运行及隧道停站 4 种工况下列车设备舱内部空气温度分布和压力分布情况。

结合理论与模拟结果,对地铁列车设备舱内温度场的优化提出以下建议:一是通过在裙板两侧开通风口加大进入设备舱的冷却风量来进行散热,二是将发热量较大的设备布置于设备舱的两端。

系统,更新本系统所采用的技术已迫在眉睫,这样才能保证设备和人员安全,从而进一步保障城市轨道交通的运营安全。采用 CPU 卡技术运用加密算法,可以保证认证信息不被解析,从而保障门禁系统安全使用;可以使用 CPU 卡预留区域的空间开发新的应用,扩展门禁系统功能。门禁系统采用 CPU 卡技术运用加密算法的方案将是轨道交通门禁系统新的发展方向。

参考文献

[1] 程媛. 城市轨道交通门禁系统线网授权方案研究[J]. 铁路通信信号工程技术,2016,13(4):68.
[2] 王建文. 地铁门禁系统与综合监控系统集成案例[J]. 都市轨道交通,2013,26(2):108.
[3] 张道,王文荣,徐强. 上海轨道交通 10 号线门禁系统设计方案[J]. 城市轨道交通研究,2011(3):92.
[4] 张森. 宁波轨道交通门禁线网授权管理平台的设置[J]. 自动化应用,2012(6):19.

(收稿日期:2018-07-17)

参考文献

[1] 关永久. 高速列车在隧道内会车过程的气动特性研究[D]. 成都:西南交通大学,2010.
[2] TOMOSHIGE H. Method of measuring the aerodynamic drag of trains[J]. Bulletin of JSME, 1965,8(31):390.
[3] TOMOSHIGE H. Aero dynamical problems when train is running into tunnel with large velocity[J]. Railway Techincal Research Report, 1960(153):169471.
[4] 田红旗. 中国列车空气动力学研究进展[J]. 交通运输工程学报,2006,6(1):1.
[5] 田红旗. 列车交会空气压力波研究及应用[J]. 铁道科学与工程学报,2004(1):83.
[6] 李志伟,梁习锋,周丹. 快速集装箱平车在明线和隧道内会车时的气动性能[J]. 中南大学学报(自然科学版),2008,39:1029.
[7] 白刚. 高速列车设备舱通风散热影响因素分析[J]. 发电与空调,2016(4):86.
[8] 胡文锦. 高速列车设备舱通风散热及气动响应研究[D]. 成都:西南交通大学,2013.

(收稿日期:2018-07-20)

欢迎投稿《城市轨道交通研究》
投稿网址:tougao. umt1998. com