



Q MIA
Qingdao Metro Industrial Association
青岛地铁产业协会

联合聚力 资源共享 龙头带动 抱团发展

城市轨道交通前沿研究

Advanced Research of Urban Rail Transit

The Third Series

(第3辑)

◆ 青岛地铁产业协会 主编

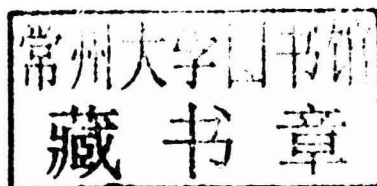


北京交通大学出版社
<http://www.bjtu.com.cn>

城市轨道交通前沿研究

(第3辑)

青岛地铁产业协会 主编



北京交通大学出版社

• 北京 •

内 容 简 介

城市轨道交通有运力强、出行效率高、安全性强、经济环保等优点,因而城市轨道交通逐渐成为我国很多城市公共交通发展的主要方向。

为促进城市轨道交通产业发展,提高城市轨道交通建设与运营水平,提高从业人员的学术研究能力,本书对青岛地铁产业协会评选出的年度优秀获奖论文进行了汇编,文章作者都为青岛地铁产业协会会员单位的管理人员和技术工作者。文章内容涉及面广,从规划设计、土建工程、装备集成、运营管理、资源开发等方面全面地展现了与青岛城市轨道交通相关的一线研究成果。

本书对城市轨道交通行业的从业者、科研人员及研究生具有较大的参考价值。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通前沿研究.第3辑/青岛地铁产业协会主编. —北京:北京交通大学出版社,2018.5
ISBN 978-7-5121-3509-3

I. ① 城… II. ① 青… III. ① 城市铁路—青岛—文集 IV. ① U239.5-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第028400号

城市轨道交通前沿研究(第3辑)

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG QIANYAN YANJIU (DI 3 JI)

责任编辑:陈可亮

出版发行:北京交通大学出版社

电话:010-51686414 <http://www.bjtup.com.cn>

地 址:北京市海淀区高粱桥斜街44号

邮编:100044

印 刷 者:艺堂印刷(天津)有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:210 mm×297 mm 印张:11.75 字数:347千字

版 次:2018年5月第1版 2018年5月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-3509-3/U·304

印 数:1~1 000册 定价:48.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

本书编委会

顾 问 贾福宁

主 任 王永亮

副主任 张 君

编 委 马云双 刘保明 于德翔 陈维强

华福才 夏祥聚 郭少泉 徐增森

孔 军 金守华

主 编 张 君

副主编 张明东 李晓杰 罗情平 刘国平

黄兴虎 石 军

目 录

变频多联空调技术在轨道车辆应用的试验研究	张从慧 李 剑 任广强 高福学	1
CFD 技术与热烟实验在地铁火灾研究中的应用	刘 树	9
地铁车辆踏面制动温度场仿真分析	张金煜 虞大联	16
城轨车辆变频空调系统节能及舒适性分析	李 剑 刘美堂 高福学	24
青岛地铁电力蓄电池工程车螺杆式空压机油温检测分析及油乳化改善	刘洪春 刘丙林 马桂财 刘向宇 尹 星	31
地铁车内噪声影响因素研究与综合治理建议	郭建强 孙召进 刘宗财 蒋 欣 钟元木 黄兴虎	36
基于灰色神经网络地铁客流量预测	刘赞科 苏 浩 张静轩	42
地铁 AFC 系统运维信息化研究	袁 丁 张凌豪	48
青岛地铁 3 号线车辆司机室侧门门锁改进	庞明潇 李鹏飞 梁 青	53
地铁车辆空调系统的 FMECA 分析	侯选一 蓝 天	59
地铁车间安全生产标准化创建研究与实践	王宁宁 姜云海 池鹏飞	64
新型地铁自动屏蔽门设计	曾 伟	70
青岛地铁电力蓄电池工程车车轮擦伤问题分析及解决措施	尹 星 刘丙林 马桂财 姜云海 刘向宇	75
轨道交通企业如何建立标准化财务管理体系	徐晓红 纪 恺	81
关于轨道交通运营补贴机制的探讨	徐晓红 王文菁	86
一种解决地铁无电区拉弧问题的方法	陈明可 马桂财 张红江 刘玉明	91
车辆常见螺栓扭力统计及垫片重复利用可行性研究	李伟岩	94
某地铁开通初期车辆轮对磨损情况分析	庞明潇 韩承斐	115
青岛地铁 3 号线停放手拉环改造方案可行性	孙承奇	120
能源管理系统在地铁系统应用前景分析	王 刚 赵宏宇	126
青岛无人驾驶地铁网络系统的探索应用	韩延光	132
浅谈线网应急指挥中心功能定位与设备需求	杨 宇	138
3 号线车辆照明系统节能措施浅析	李大勇 邓举明 程湘雅	142
青岛地铁岩土工程勘察工作的难点及应对措施	崔继升 王忠胜 李克建 顾朝杰	147
地铁大直径盾构区间土建工程造价指标研究	王 辉	152
青岛地铁 3 号线列车自动清洗机清洗效果研究	刘 洋 孙海涛 王宁宁 金骏霖	157
磁轨制动器用分体式极靴	杨 磊 郝保磊 王明星	161
浅谈 SKODA 低地板有轨电车碳钢车体的设计特点和制造工艺	刘海全	166
车辆常用螺栓除锈工艺	彭 岩	171
浅谈轨道交通维修作业定额管理	王文菁 纪 恺	178

变频多联空调技术在轨道车辆应用的试验研究

张从慧 李 剑 任广强 高福学

(中车青岛四方机车车辆股份有限公司)

摘要: 现有轨道车辆空调为整体式结构, 需要配合风道才能实现车内空气温度和湿度的控制, 存在车厢内部噪声大、温度场不均匀、舒适性差的问题。本文阐述了采用变频多联空调系统的方式来实现轨道车辆内部温湿度的控制, 并通过试验验证了变频多联空调系统在实际应用中具有噪声低、温度均匀、舒适性好的优势, 可解决传统车辆空调系统存在的各类问题, 为轨道车辆内部的温度控制提供一种更好的解决方案。

关键词: 变频多联空调; 轨道车辆; 试验研究

1 现有轨道车辆空调结构特点

空调系统是轨道车辆中的重要设备, 用于实现车内空气温湿度控制, 为乘客提供舒适的乘车环境。^[1]现有轨道车辆空调机组多为顶置单元整体式, 压缩机、冷凝器、管路系统、蒸发器、冷凝风机和通风机都布置在空调内部, 通过通风机向车厢内的风道进行送风。^[2]

由于整体单元式空调机组需要依靠送风风道向车内输送处理后的空气, 无法根据车体内部各点不同的热、湿负荷变化而进行调节, 车内温度不均匀。^[3]同时, 受长距离送风风道的限制, 为保证气流组织均匀性, 需要较大的送风机功率, 导致车厢内部噪声加大、舒适性下降和能耗增加。

2 变频多联空调技术

变制冷剂流量(variable refrigerant volume, VRV)多联空调系统是由一台室外机带多台室内机组的直冷(直热)式空调系统, 通过管路和控制系统调节进入室内各末端装置的制冷剂流量, 由制冷剂直接蒸发或直接冷凝来实现制冷或制热。^[4]

VRV变频多联空调的室外机组由室外侧换热器、压缩机、室外换热风机及其他制冷附件组成, 室内机组由室内风机、电子膨胀阀和室内侧换热器组成。压缩机可以通过改变运行频率控制制冷/制热量的输出, 满足各室内机组对制冷/制热的需求; 各室内机组通过控制各自电子膨胀阀的开度来改变进入各室内换热器的制冷剂流量, 可以实现各区域冷热负荷的自适应控制。

VRV变频多联空调系统原理如图1所示。制冷运行时, 低压饱和液体制冷剂在室内机组的蒸发器中蒸发, 吸收房间的热量汽化成低压低温蒸气, 被压缩机吸入后压缩成高温高压的气体排入冷凝器放热而成高压液体, 经节流装置电子膨胀阀降压为低压饱和制冷剂, 再次进入蒸发器吸热而汽化, 如此反复循环使房间降温, 达到制冷的目的; 制热时由四通换向阀转换。^[5]

变频多联空调系统是一种新型的变频空调, 具有普通变频空调节能、舒适性高、启动电流小等特点。同时, 相对于普通变频空调, 变频多联空调有多个独立的室内机组, 而且各室内机组有各自的温度检测和控制系统及电子膨胀阀, 可以根据各自回风温度来控制电子膨胀阀的开度进而控制通过室内机组的制冷剂流量。

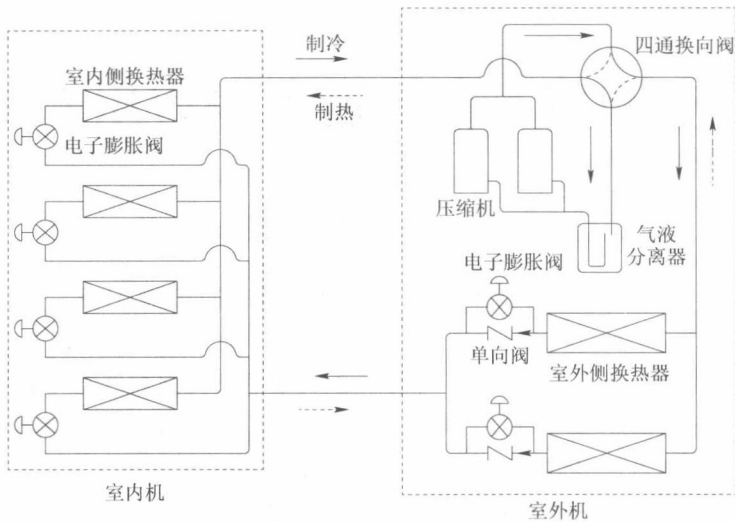


图 1 VRV 变频多联空调系统原理

布置于室内的多个室内机组利用制冷剂的直接蒸发来进行制冷，减小了送风过程中的热量和阻力损失，降低了送风机功率和车内噪声；同时，利用制冷剂变流量控制技术，保证了车内温度的均匀性，为乘客提供更好的乘车舒适性。

3 试验研究情况

基于变频多联空调技术的诸多优点，考虑将其应用于轨道车辆空调机组。使用直接蒸发式的室内机组替代传统的送风风道，从而可以实现取消送风风道、高静压送风、减小整机功率、降低噪声及提高车厢内部温度均匀性的目的，可以很好地解决传统单元整体式轨道空调面临的噪声大和温度不均匀等问题。

为了验证变频多联空调技术在轨道车辆上的应用可行性，本文在轨道车辆模型车上搭建了变频多联空调技术试验台，其布置方案如图 2 所示。

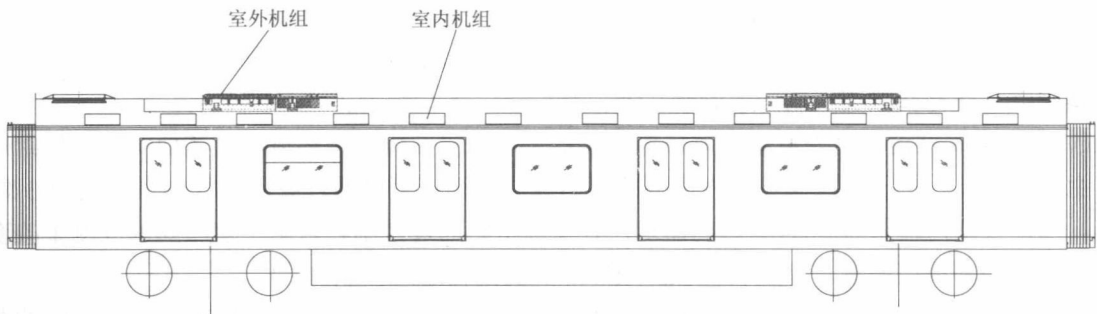


图 2 变频多联空调技术试验台布置方案

- 1) 室外机组的安装形式
- 变频多联空调室外机组的结构和安装形式符合轨道车辆要求，并安装于模型车顶部，其固定形式与现有轨道空调的固定方式相同，适用于轨道车辆较大的冲击、振动等恶劣运行条件。
- 2) 室内机组的安装形式
- 根据新、回风比例和分布情况，室内机组分为全回风室内机组和全新风室内机组两种，其安装形式如图 3 所示。在整车内部原送风风道的区域设置了 8 个全回风机组和 4 个全新风机组。

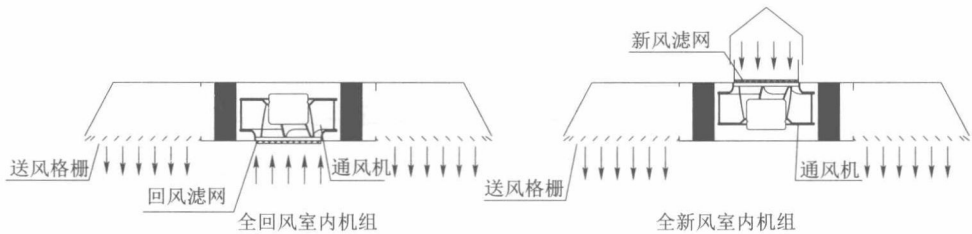


图 3 变频多联空调室内机组安装形式

全回风室内机组采用底部回风、两侧送风的方式；全新风室内机组采用上部进新风、两侧送风的方式。沿车体长度方向的室内机组的两侧布置送风静压腔，经过室内机组处理后的空气在室内风机的作用下送入送风静压腔进行混合，然后通过静压腔下部的送风孔板均匀送入车内。所有室内机的总送风量和总新风量满足车辆技术条件要求。

- 3) 室内机组制冷量的输出控制
室内机组根据其所检测的环境温度与设定温度的比较结果，通过设置在室内机组内部的控制器自动控制电子膨胀阀的开度，调节进入换热器的制冷剂流量，达到控制该处温度的目的。
- 4) 压缩机运行频率的控制
室内机组根据各自的使用需求和运行情况，通过通信方式发送给室外机组，室外机组根据所有室内机组的状态确定运行方式及压缩机的运行频率以满足室内机组的能力需求。
- 5) 试验过程
试验台搭建完成之后按相关轨道车辆空调标准对车厢内的通风、噪声及温度等参数进行了与传统轨道车辆空调机组相同的型式试验，主要包括：微风速测试、车内噪声测试、车内温度均匀性测试、温度波动性测试。

4 试验过程介绍及结果分析

4.1 微风速测试

车内微风速测试根据《铁道客车空气调节试验方法》(TB/T 1675—2001) 进行，客室内均匀布置如图 4 所示的 6 个断面，每个断面设置如图 5 所示的 4 个测试点。

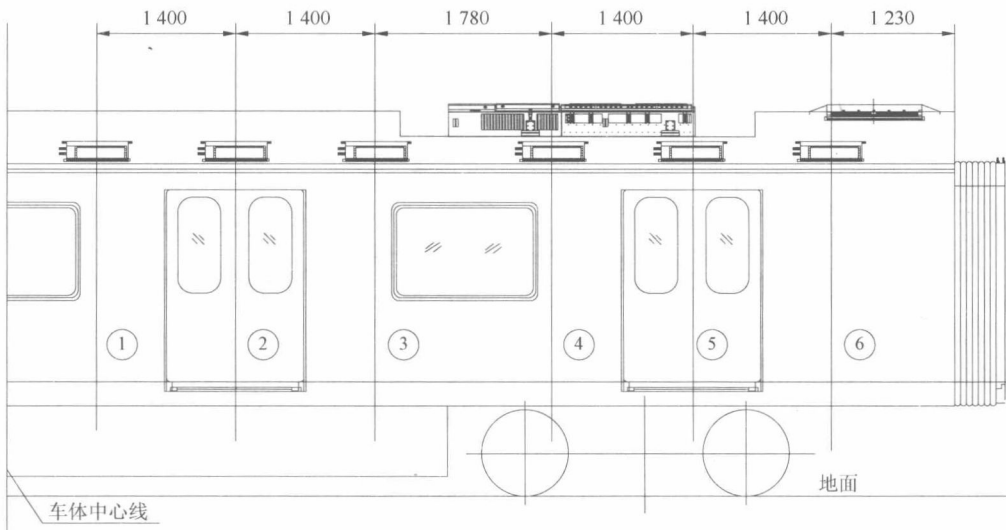


图 4 测试断面分布图

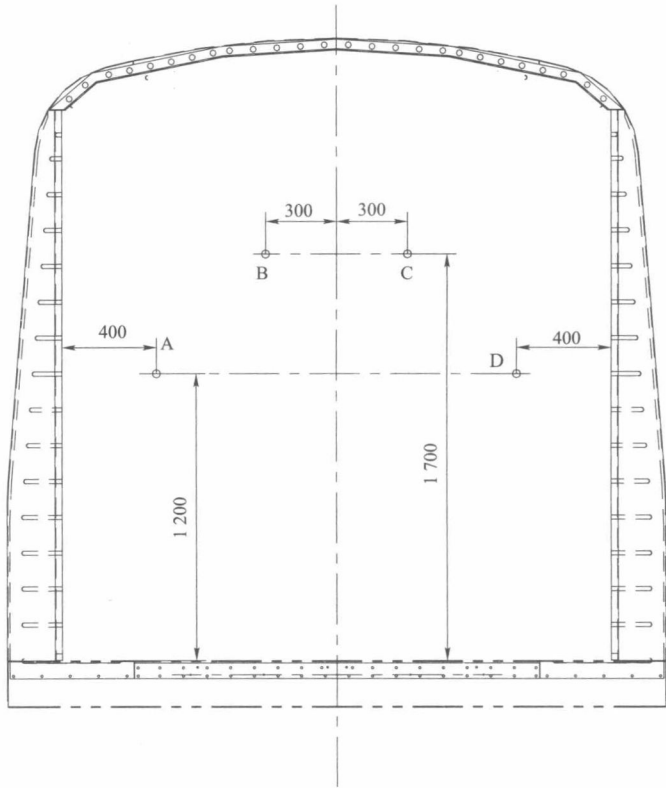


图 5 微风速断面测试点

经过测试，不同断面的微风速曲线如图 6 所示，最小风速为 0.1 m/s，最大风速为 0.28 m/s，各点风速差值很小。依据《城市轨道交通车辆空调、采暖及通风装置技术条件》（CJ/T 354—2010）中 5.3.2 节规定客室内气流速度应大于 0.07 m/s，最大气流速度应小于或等于 0.9 m/s 的要求看出：采用变频多联空调形式，车厢内部各处风速均匀且风速较低，具有很高的舒适性。

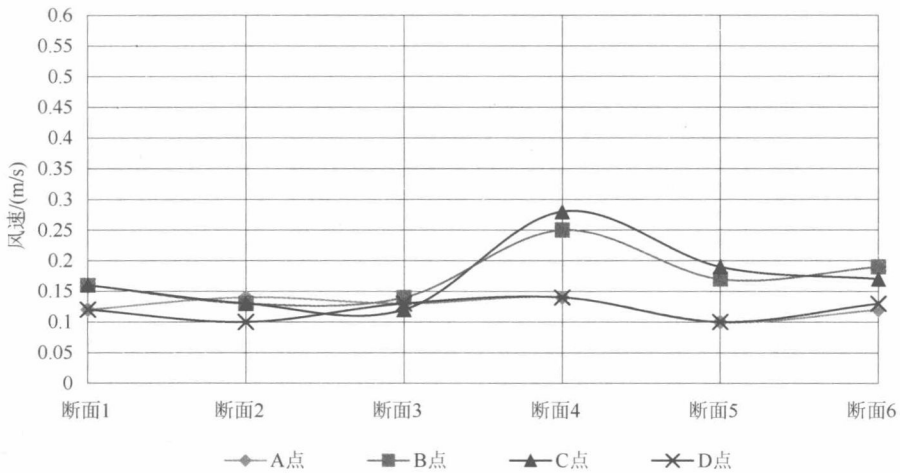


图 6 不同断面的微风速曲线

4.2 车内噪声测试

该项目主要测试空调机组额定制冷工作模式下的车内噪声值。
测试不同水平位置和垂直位置的噪声值，测试断面分布如图 4 所示，每个断面的噪声测试垂直分布点如图 7 所示。

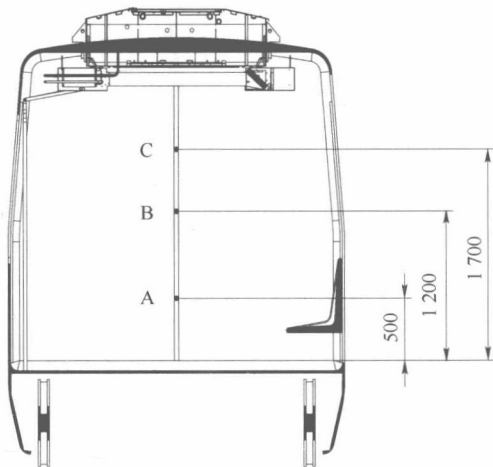


图 7 噪声测试垂直分布点

制冷模式下不同断面的噪声值如图 8 所示，从图中看出车厢内部噪声在 59~63 dB (A) 之间，而且各点噪声比较均匀；传统方式的空调机组装车后车内噪声平均值约为 67 dB (A)，而且回风口噪声甚至接近 70 dB (A)。由此可见，变频多联空调机组在降低室内噪声方面相比传统列车空调来说有较大的优势。

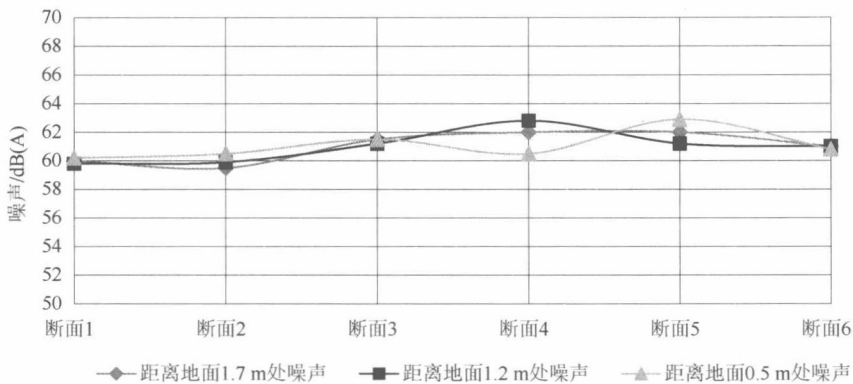


图 8 制冷模式下不同断面的噪声值

4.3 车内温度均匀性测试

该项目主要用于测试空调机组的送风均匀性，以保证车厢内部无送、回风死角。
根据《铁道客车空调装置运用试验方法》(TB/T 2433—1993) 的要求，客室内温度测点对应于旅客的脚部、膝部、坐下和站立时的头部等 4 个位置布置，测点距地板面的高度分别为 0.1 m、0.5 m、1.2 m 和 1.7 m。客室温度记录仪垂直布置图如图 9 所示。
不同断面各高度的温度测试结果如图 10 所示。采用变频多联空调形式，车厢内部温度分布均匀，任意两点的温度差均小于 2℃；而传统方式的空调机组装车后，车内温度差约为 4℃。变频多联空调机组在保证车内温度一致性方面相比传统列车空调来说有较大的优势。

第 3 辑

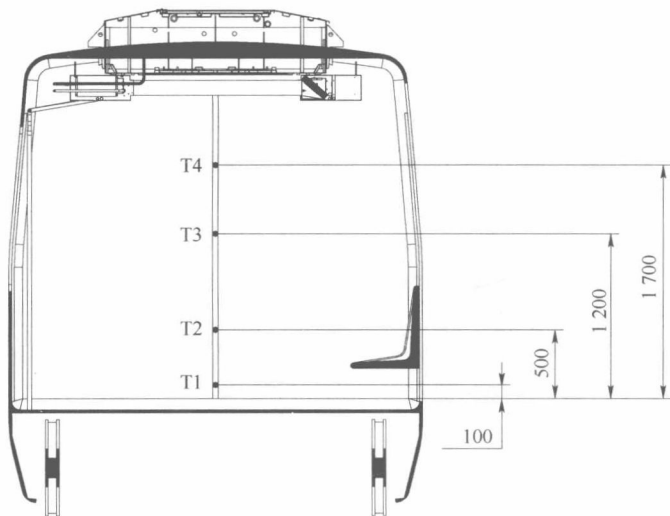


图 9 客室温度记录仪垂直布置图

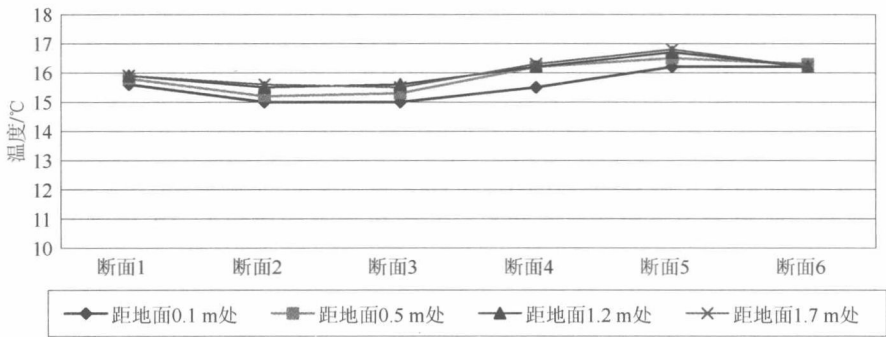


图 10 不同断面各高度的温度测试结果

4.4 温度波动性测试

该项目主要用于测试在热负荷变化的情况下，空调机组对于车内温度的控制能力。

车内温度设定 22℃，测试在不同时间段车厢内部多点温度，温度波动测试点分布如图 11 所示。测试时间从上午 10 点持续到晚上 6 点，每隔半小时测试一组数据。

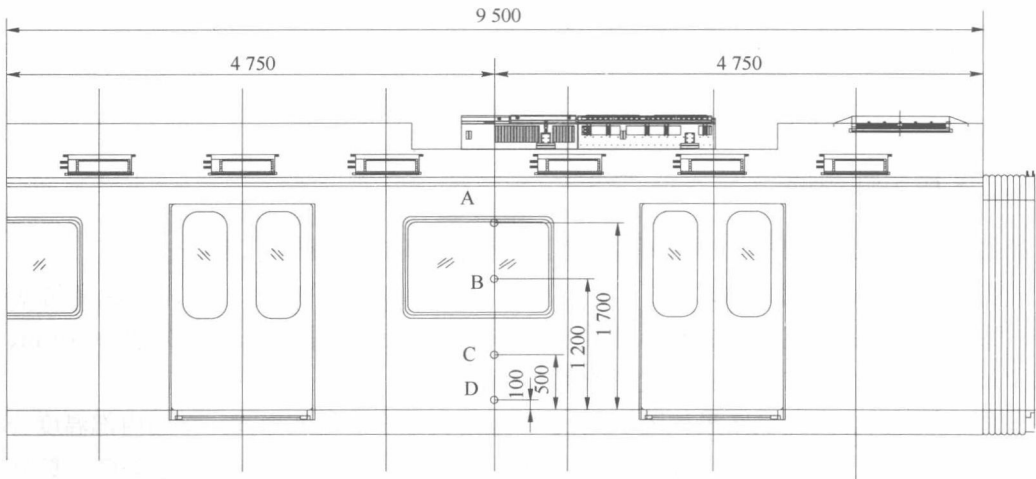


图 11 温度波动测试点分布图

温度波动性测试结果如图 12 所示。由图 12 可以看出,在外界温度为 14~34℃ 的大幅变化情况下,车厢内部温度始终维持在设定温度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 范围之内,说明变频多联空调对热负荷的变化具有良好的适应能力,可以维持车内温度的稳定。

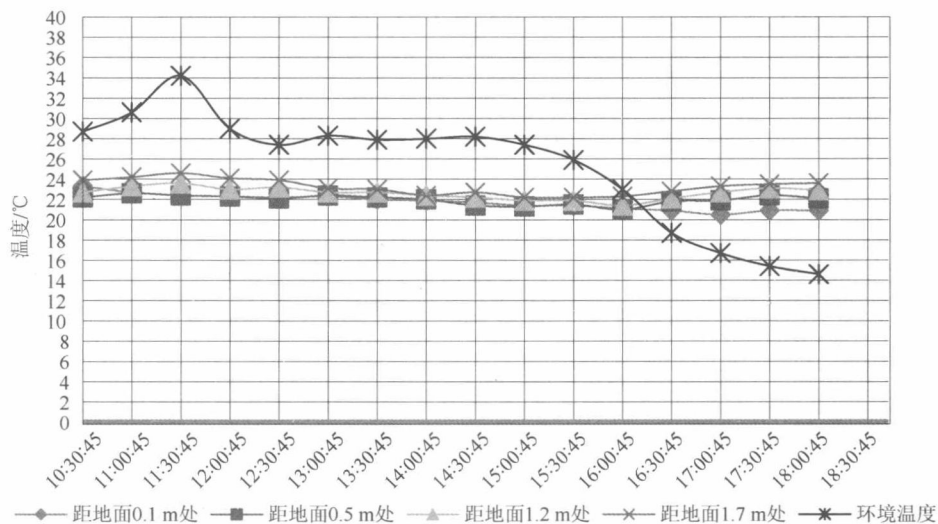


图 12 温度波动性测试结果

5 结论

通过以上试验结果得到,在轨道车辆中使用变频多联技术具有以下特点。

1) 送风均匀性好

变频多联空调系统取消传统风道,多个室内机均匀分布在车厢上部原风道所在位置,并且充分利用装饰板和顶部的空间作为静压腔,通过两侧送风格栅进行送风,保证了送风的均匀性,无送、回风死角。

2) 温度均匀性好

室内机分散布置且单独设置电子膨胀阀,可以根据回风温度和设定温度对各自电子膨胀阀进行独立调节,实现制冷剂流量的自动调节,实现车厢内不同位置热负荷条件下(车厢门、窗位置及乘客分布不均匀)的快速调节,保证车厢内温度的均匀性。

3) 噪声低、功率小

由于变频多联空调系统取消了贯穿于整个车厢内的送风风道,送风机不需要传统空调机组送风机的大静压来克服风道阻力,车厢内噪声低,通风机功率减小 30%~40%。

4) 滤网清洗方便

在滤网清洗方面,传统轨道车辆空调的混合风滤网安装于蒸发器之前,在滤网清洗时需要登到车顶打开空调顶盖才能取出;而变频多联轨道车辆空调系统的滤网安装于各室内机回风口,可以在车内进行更换操作,较传统轨道车辆空调的操作方式要安全和简单。

当然,在变频多联空调技术的具体实现中,还存在一些具体的技术难点。但相信这些技术难点会随着技术的发展而得到逐步解决,变频多联空调系统也会随着乘客对车内舒适性要求的进一步提高而得到推广应用。



参考文献

- [1] 欧阳仲志, 苗彦英. 地铁交通系统的环境控制和车辆空气调节 [J]. 铁道学报, 1999 (4): 87-91.
- [2] 龙静, 王书傲, 王周. 关于地铁车辆送风方式方案的探讨 [J]. 铁道车辆, 2004, 42 (8): 24-26.
- [3] 王柳. 地铁客车空调送风风道及客室内气流组织优化研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2008.
- [4] 邵双全, 梁楠, 田长青. 多联式空调制冷系统动态仿真研究 [J]. 制冷学报, 2011, 32 (1): 16-22.
- [5] 赵立影. 变频多联空调系统供热变负荷特性及房间流场的研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2009.

CFD 技术与热烟实验在地铁火灾研究中的应用

刘 树

(铁道第三勘察设计院集团有限公司)

摘要: 通过热烟实验,发现车站设备管理用房串烟现象较为严重,因而在进行走廊排烟自然补风设计时,风管上的手动防火阀要改为常闭电动防烟防火阀;通过现场测试,得知各测点风速、温度及实际烟气疏散效果良好,满足规范要求,说明车站的送排风系统合理,为其他地铁工程提供借鉴;建立地铁车站排烟系统排烟过程的数学模型,通过 Fluent 软件进行模拟求解,并对比热烟实验监测点的实测数据,验证所建立模型的准确性,也说明边界条件设置的合理性,为 CFD 模拟大规模的火灾提供思路。

关键词: 热烟实验;火灾;实验验证;CFD

1 引言

随着我国经济建设的不断发展,大中型城市开始投资建设地铁。地铁作为地下的密闭空间,一旦发生火灾,如不采取相应灭火措施,后果令人难以想象。如何准确地评估地铁内的排烟系统对于地铁的火灾安全性极为重要。常用的评估方法主要有冷烟实验、热烟实验及数值模拟^[1]。对于冷烟实验,由于烟气温度较低,且烟气蔓延的驱动力较弱,因而不能准确反映实际火灾场景下通风模式的正确性和防排烟系统的效果。冷烟实验只能对报警系统的可靠性及排烟系统的排烟能力做评价,并不能模拟实际火灾现场的情况^[2]。

目前对国内地铁车站公共区进行火灾研究时大部分都选用热烟实验进行实际研究,部分学者采用数值模拟或开发相应软件^[3],而将数值模拟与热烟实验进行对比研究的较少。但热烟实验对于已建成的地铁车站而言,考虑对建筑结构自身的保护,消防验收时模拟大规模的火灾火源功率是不实际的,常用的方法就是将火灾规模设定为地铁乘客所携带的行李产生的火灾规模^[4]。基于上述原因,本文对某地铁车站公共区排烟系统的排烟过程建立数学模型,利用 Fluent 软件进行模拟,并通过热烟实验进行实验验证,为地铁中大规模火灾模拟提供依据和参考。

2 研究方法

2.1 物理模型

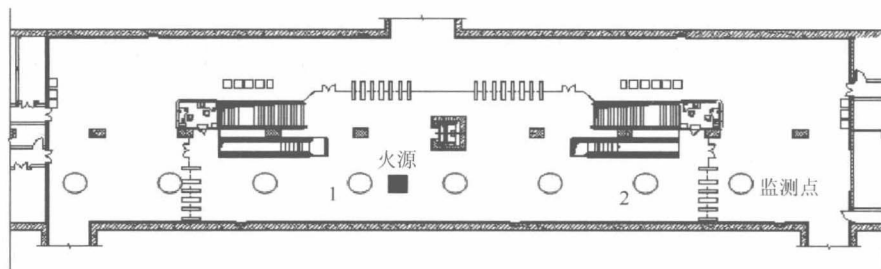
该地铁车站为地下二层车站,地下一层是站厅层,地下二层为站台层。车站总长度 180.4 m,车站标准段宽度 18.5 m,站台宽度 10 m,有效站台长度 118 m,站厅公共区面积 1 316 m²,站台公共区面积 1 104 m²,站厅层层高 4.85 m,站台层层高 4.4 m。站厅层共设有 3 个直通地面的出入口,有两个楼梯口通向站台层,如图 1 所示。

为了方便在 Fluent 中划分网格和模拟计算,建立物理模型时忽略对气流组织影响较小的因素,如公共区中的柱子、闸机、安检设备等。车站站厅公共区排风口尺寸为 800 mm×400 mm,总共 80 个,

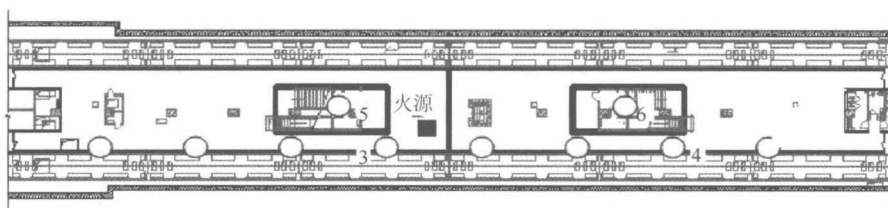


第 3 辑

站台公共区排风口尺寸为 500 mm×400 mm，总共 68 个。车站公共区物理模型如图 2 所示。

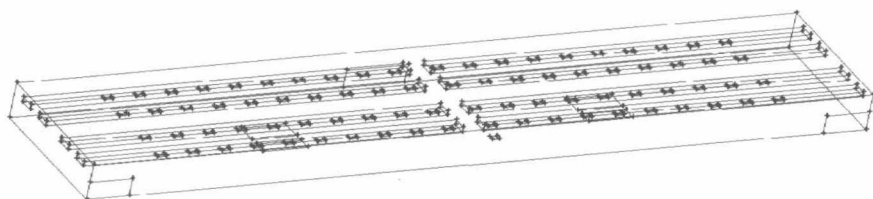


(a) 站厅层公共区

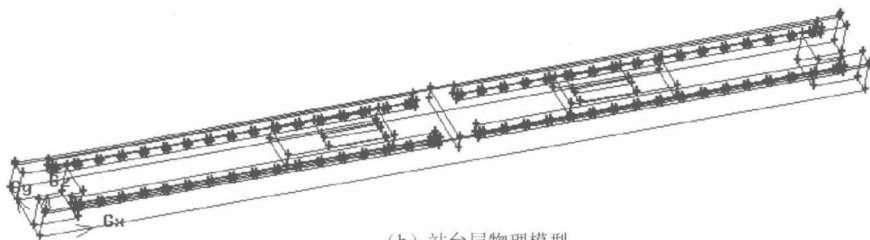


(b) 站台层公共区

图 1 车站公共区示意图



(a) 站厅层物理模型



(b) 站台层物理模型

图 2 车站公共区物理模型

2.2 数学模型

1. 控制方程

火灾过程是一个极其复杂的物理化学过程，包括传热传质、化学反应、流体流动和它们之间的耦合作用。描述地铁车站火灾烟气场的主要物理量有温度、速度和压力，其基本的控制方程有能量方程、连续方程和动量方程^[5]，通用形式可如下表示：

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi)}_{\text{时间导数项}} + \underbrace{\text{div}(\rho U \phi)}_{\text{对流项}} = \underbrace{\text{div}(\Gamma_{\phi} \text{grad} \phi)}_{\text{扩散项}} + \underbrace{S_{\phi}}_{\text{源项}} \quad (1)$$

式中： ϕ ——待求通用物理量；

Γ_{ϕ} 、 S_{ϕ} ——对应变量的扩散项和源项，通用符号表达式如表 1 所示。

表 1 通用符号表达式

方程	ϕ	Γ_ϕ	S_ϕ
连续方程	1	0	0
动量方程	u_i	μ	$-\frac{\partial p}{\partial x_i} + F_i$
能量方程	T	$\frac{\lambda}{c_p}$	S_T

2. 湍流模型

结合地铁火灾烟气的流动特性，考虑到 $k-\varepsilon$ 模型在有限空间燃烧过程的计算表现上佳，以及火灾烟气因受浮力作用产生烟囱效应，因而湍流模型选择带浮力修正的可实现（realizable） $k-\varepsilon$ 模型， k 与 ε 相对应的控制方程如下：

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon \tag{2}$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + \frac{\varepsilon}{k} [c_1 (G_k + G_b)(1 + c_3 R_f)] - c_2 \rho \varepsilon \tag{3}$$

式中： μ_t ——湍流黏性系数；
 G_b 、 G_k ——因速度梯度和浮力引起的动能产生项；
 常数取值为 $c_1=1.44$ ， $c_2=1.92$ ， $c_3=0.8$ ， $\sigma_k=1.0$ ， $\sigma_\varepsilon=1.3$ 。

3. 燃烧模型

选择应用范围广泛的通用有限速度模型（generalized finite-rate model），其通用的守恒方程如下：

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i) + \nabla(\rho v Y_i) = -\nabla J_i + R_i + S_i \tag{4}$$

式中： Y_i ——Fluent 通过第 i 种物质的对流扩散方程预估每种物质的质量分数；
 R_i ——化学反应的净产生速率；
 S_i ——离散项及用户定义的源项导致的额外产生速率。

2.3 边界条件

本模拟中站厅边界条件设置：出入口设为压力入口（pressure-inlet），相对压力为 0 Pa；排风口设为排风机模型（exhaust-fan），相对压力为 16.84 Pa；热源设为质量流入口（mass-flow-inlet），质量流为 0.7 kg/s（相当于 0.7 MW 规模的火源）。站台边界条件设置：楼扶梯口设为压力入口（pressure-inlet），相对压力为 0 Pa；排风口设为排风机模型（exhaust-fan），相对压力为 34 Pa，轨顶排风口相对压力为 1.76 Pa；热源设为质量流入口（mass-flow-inlet），质量流为 0.7 kg/s（相当于 0.7 MW 规模的火源）。车站风机配置及开启模式如表 2 所示。

表 2 车站风机配置及开启模式

风 机		TSF/A	TPF/A	TSF/B	TPF/B
站厅火灾	开/关	关	开	关	开
	送/排		排		排
	风量/（m³/s）		66		66
站台火灾	开/关	开	开	开	开
	送/排	排	排	排	排
	风量/（m³/s）	66	66	66	66



2.4 Fluent 求解

采用 Fluent 软件模拟火灾工况下车站公共区的温度变化及温度场的分布情况。网格划分时,均采用灵活性高、适用性好的非结构化网格,站厅总共生成网格 267 107 个,站台总共生成网格 1 696 082 个。

3 实验验证与分析

3.1 实验内容与目的

通过热烟实验,观察火灾工况下车站排烟系统的排烟效果,以及车站公共区的温度场、危险高度平面的温度分布、烟气层高度,为车站环控设计提供依据和参考。通过对比监测点温度的实测值和模拟值,验证所建立数学模型的准确性,为大规模火灾进行模拟分析研究提供指导。

3.2 火源设定

地铁车站公共区常见的火灾来源于乘客的行李,而普通行李的火灾规模约为 $0.7 \text{ MW}^{[6]}$ 。因此,热烟实验中的火源设定为两个 $0.8 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$ 的燃料盘,热释放速率约为 0.7 MW 。火源位置如图 1 所示。

3.3 实验装置

测试烟气产生的装置主要包括水浴、油盘及发烟器^[7]。水浴主要是起到冷却的作用,保持热释放速率的稳定。燃烧材料选用 95% 的工业甲醇,因甲醇燃烧稳定、辐射损失少、燃烧产物少且干净廉价,因而是热烟实验的最佳燃料。发烟器主要是用来产生示踪烟气,利用示踪烟气观察甲醇燃烧产生的气流运动。发烟材料为烟饼。

为观测站厅层、站台层内的烟气疏散情况和楼扶梯口处下行风速等指标,在站厅层、站台层分别设置 8 对热电偶树(各热电偶树上均有 7 个热电偶,且间距为 0.5 m ,最低点距地 1.5 m),测量不同位置 and 不同高度的温度变化,监测点的位置示意如图 1 所示。图中只显示了典型监测点的编号,1、2 点位于站厅层,距地 1.5 m ;3、4 点位于站台层,距地 4.0 m ;5、6 点位于站台层通向站厅层的楼扶梯口处(用于测量楼扶梯口处的风速)。

3.4 实验验证

1. 温度场的对比

从图 3 和图 4 可看出,点 1 比点 2 温度偏高,主要原因在于点 1 距火源较近,而点 3 与点 4 温度差异较大的原因在于站台层中间有挡烟垂壁,因挡烟垂壁的阻挡导致大部分烟气未能在短时间内进入点 4 附近区域。从图上还可看出,站厅层与站台层各典型监测点的温度分布与 CFD 模拟预测的结果比较吻合,且具有相同的变化趋势。距地 1.5 m 处的监测温度变化不大,说明烟气并未下降到此高度区域,距地 4.0 m 处的温度变化较大,为烟气的主要聚集区。但站台层的实验值相比于模拟值有较大的波动,主要是由于模拟结果较为理想,实际工况比较复杂,存在不确定性因素,比如首尾端门和屏蔽门的漏风等。整体上看,实验值与模拟值偏差不大,吻合度较好,变化趋势也保持一致。

2. 速度场的对比

地铁设计规范中要求站台层发生火灾时,应保证站厅至站台的楼扶梯口处的向下气流速度不应小