

基于气动效应的北京城际铁路联络线地下车站 站台门退台距离研究*

李 科 董 骥 方恒堃

(北京市市政工程设计研究总院有限公司, 100082, 北京 // 第一作者, 高级工程师)

摘 要 为研究在建的北京城际铁路联络线地下车站站台门的退台距离,对海南岛东环城际铁路美兰机场地下车站的站台门风压进行了实测,并通过 IDA tunnel 及 ThermoTun 软件对城际列车通过地下车站时的空气动力响应进行模拟验证,分析不同退台距离下站台门承受的风压。研究结果可为站台门退台距离的选择提供参考。

关键词 城际铁路; 地下车站; 气动效应; 站台门; 退台距离

中图分类号 U231.4

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.06.013

Research on Platform Screen Door Setback Distance of Beijing Intercity Railway Connection Line Underground Station Based on Aerodynamic Effect

LI Ke, DONG Ji, FANG Hengkun

Abstract To study the platform screen door setback distance of Beijing Intercity Railway Connection Line that is under construction, the wind pressure of platform screen doors of Meilan Airport underground station in Hainan is measured, and IDA tunnel and ThermoTun softwares are adopted to simulate the aerodynamics of intercity train passing through underground station. The wind pressure of platform screen doors at different setback distances is analyzed. Research results provide reference for the selection of platform screen door setback distance.

Key words intercity railway; underground station; aerodynamic effect; platform screen door; setback distance

Author's address Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., 100082, Beijing, China

列车通过地下车站等相对封闭的空间时,会引起瞬变压力、活塞风等一系列空气动力学效应,会对人体的安全性、舒适性产生影响^[1]。为缓解车站隧道内的气动效应,通常采用在隧道洞身设置减压

井(即活塞风道、风井)。同时,随着人们对站台候车环境要求的不断提高,为了给乘客提供舒适、安全的候车环境,在站台设置站台门已成为一种有效方式。广深港客运专线的福田站是目前我国第一座设置全封闭站台门的地下客运专线车站。

目前,客运专线的站台门在站台边主要有两种安装位置:一种是门体邻近站台边沿安装,主要适用于列车进出站速度较低,且所在股道停靠列车的型号一致等情况;另一种是门体退台一定距离安装,主要适用于列车越行通过车站,或股道停靠列车型号不一致等情况。但门体退台安装对地下车站规模影响较大,合理的退台距离及其对站台门体强度的影响成为重要研究课题。因此,结合地下车站、区间隧道的结构型式及功能需求,对站台门风压进行实测和模拟,研究结果对站台门退台距离的选择具有实际指导意义。

1 北京城际铁路联络线概况

北京城际铁路联络线是一条建设中的铁路联络线,建成后,它将北京两大机场及北京城市副中心串联起来,形成速度为 200 km/h 的快速客运通道。该线路上的车站全部为地下车站,其中站台层、区间隧道均设在地下二层。

本次模拟选取北京城际铁路联络线上的一段线路,包含车站 A 和车站 B,以及两站之间长 11.2 km 的地下区间隧道。区间隧道的横断面有效面积为 70 m²,当量直径为 8.2 m;车站的越行轨行区横断面面积为 53 m²。越行列车经过时限速 200 km/h。单列车的车身断面面积为 12 m²,阻塞比为 0.228。北京城际铁路联络线隧道平面示意图 1 所示。

* 北京市科技计划课题项目(Z191100002419006)

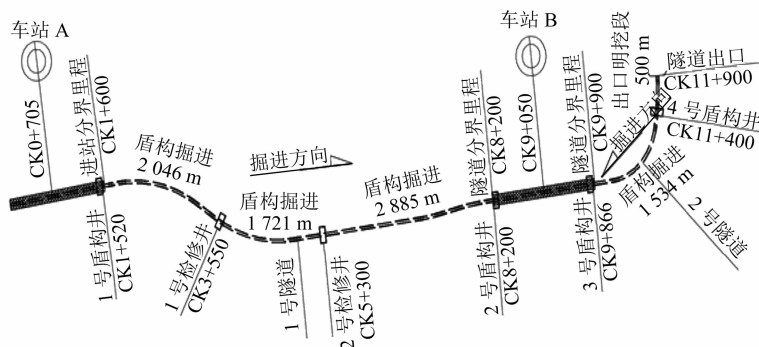


图1 北京城际铁路联络线隧道平面示意图

车站B为双岛四线车站,设置2条到发线和2条正线。正线临靠站台,车站与咽喉区共同形成菱形结构。为缓解车站隧道内的气动效应,在咽喉区与区间的连接处设置活塞风井。车站断面及站台门设置如图2所示。考虑实际运营中存在正线双向列车同时在车站通过交汇的情况,因此,本次模拟按最不利工况进行分析。

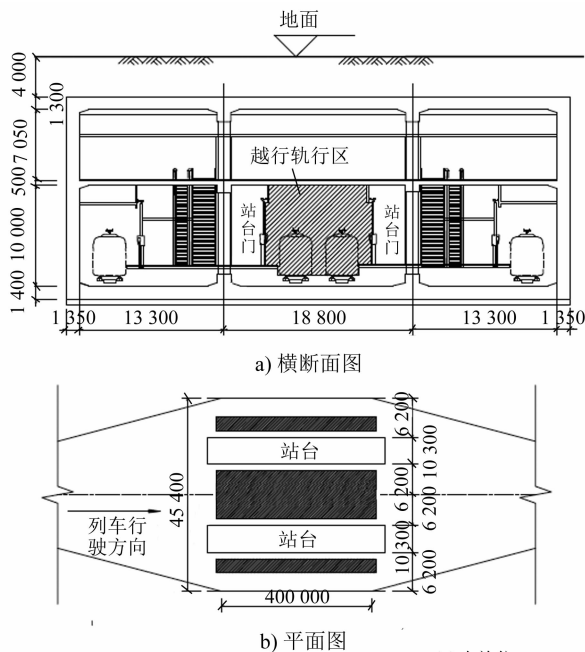


图2 车站B横断面及站台门设置示意图

2 研究方法

隧道内附属物的设计应考虑高速列车通过隧道时产生的压力变化,以及列车风对附属构筑物结构和安装键等附加力的影响,且设计应按照最不利情况考虑^[2]。

影响隧道空气动力学问题的因素很多,其中,

隧道的阻塞比和车速对其产生的影响最为明显,压力变化幅度与列车的活塞风压相关,压力变化梯度与车速、阻塞比等因素相关。

活塞风压 P 为:

$$P = \xi \frac{\rho v^2}{2} \quad (1)$$

式中:

v ——列车速度;

ρ ——空气密度;

ξ ——阻力系数(含局部和沿程阻力)。

压力波峰值 P_{\max} ^[3] 为:

$$P_{\max} = k \beta^M v^2 \quad (2)$$

式中:

k ——条件常数;

β ——阻塞比;

M ——瞬变压力对应的阻塞比幂指数系数。

由式(2)可知,压力波的幅值与 v^2 成正比,且与 β 密切相关。

尽管 v 和 β 对隧道空气动力学作用具有较好的定量关联性,但对应的参数产生的具体效应并不明确,对既有线的隧道风压未有很好的印证。针对于此,本文借鉴高校和科研单位对高速铁路隧道较为成熟的研究理论和结论,运用较为成熟的隧道通风软件进行模拟,并对既有的海南岛东环城际铁路美兰机场地下车站进行实地测试,对三者的结论进行对比和分析,给出不同退台距离的隧道风压建议值。

3 美兰机场地下车站风压实测与数值模拟

3.1 地下车站风压实测

测试在海南岛东环城际铁路的美兰机场地下车站进行。美兰机场地下车站规模小于北京城际铁路联络线车站B,但与车站B的结构型式基本一

致,具有一定的参考意义。在海南岛东环城际铁路的区间隧道、地下车站挑选具有代表性的6个测点(见图3),采用热线风速仪进行测试。测试考虑了列车以120 km/h的速度车头通过与车尾通过车站隧道的风速变化值以及持续时间等因素^[4-5]。测试结果如表1所示。

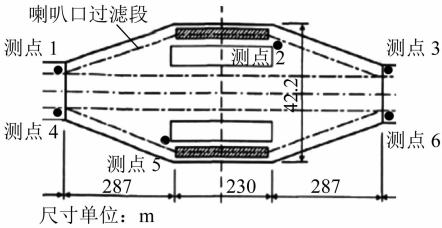


图3 美兰机场站测点位置图

表1 列车车头与车尾通过车站隧道时各测点的
风速与持续时间

测点	距轨面高度/m	车头通过瞬时风速/m/s	车尾通过瞬时风速/m/s	最大风速/m/s	最大风速时列车通过位置	持续时间/s
1	1.5	1.70	1.65	2.12	车尾即将通过测点	25
2	1.5	3.68	4.17	6.20	车尾通过测点后2 s	25

图4和图5分别为数据处理后的风速和风压线性拟合曲线。

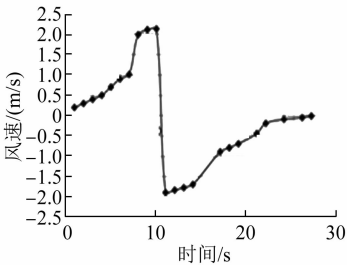


图4 测点1 风速-时间线性拟合曲线

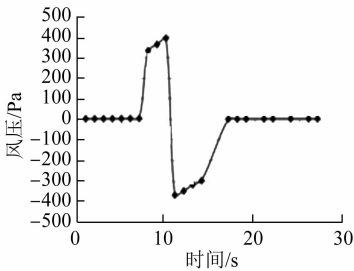


图5 测点1 风压-时间线性拟合曲线

图5中列车以120 km/h的速度通过车站时,测点1处的活塞风造成的正压峰值为380 Pa,负压峰值为360 Pa。

3.2 地下车站风压数值模拟

IDA tunnel 软件源自瑞典,作为目前仅存的隧道通风模拟软件,其可对隧道内空气动力学效应进行模拟,对复杂、超长隧道有良好的模拟结果,并可对结果进行三维动态展示。IDA Tunnel 软件的功能模块可以生成一个导入链接,可自动将数据模型导入 ThermoTun 软件,再将求解结果输出。

ThermoTun 是铁路隧道压力和流量预测的成熟程序,广泛应用于高速铁路隧道的设计。其开发者是苏格兰邓迪大学教授 Alan Vardy。ThermoTun 软件可在隧道方向求解可压缩的 Navier-Stokes 方程,已被验证可以非常准确地模拟高速列车在隧道内运行时的各种空气动力学现象。

图6、图7分别为由 IDA Tunnel 和 ThermoTun 模拟计算的风压图。由图6和图7可知,采用两种软件模拟的风压结果基本接近。因此,在实际可达到的精度范围内,由 IDA Tunnel 和 ThermoTun 模拟计算的风压可近似作为气动力的计算结果。

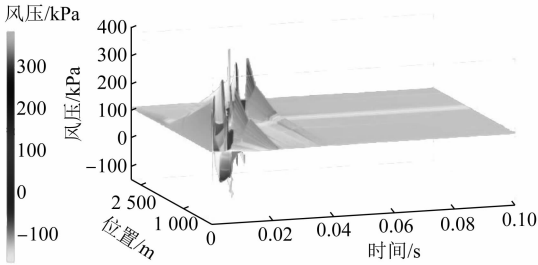


图6 由 IDA Tunnel 模拟计算的风压图

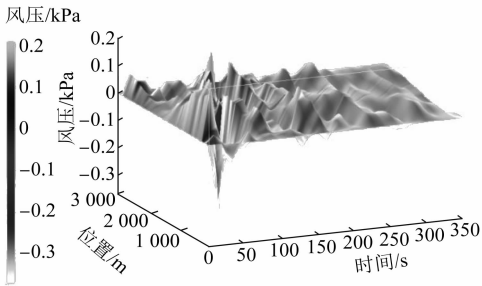


图7 由 ThermoTun 模拟计算的风压图

4 北京城际铁路联络线地下车站风压数值模拟

建模时,在车站两端与咽喉区的交界处设置断面面积为50 m²的活塞风井,在两个车站之间的隧道区间设置两处断面面积为50 m²的事故风井。

模拟中,列车共有2条行进路线,分别为:①路线1——车站A进站、开往车站B;②路线2——车

站 B 进站、开往车站 A。

图 8 为采用 IDA tunnel 软件建立的北京城际铁路联络线地下车站与区间的隧道模型。图 8 从左到右依次为列车进入隧道,行驶并进入车站 A 的咽喉区及车站,再通过车站 A 与车站 B 的 8 000 m 区间隧道,最后经过车站 B 驶出隧道,全程 11 200 m。

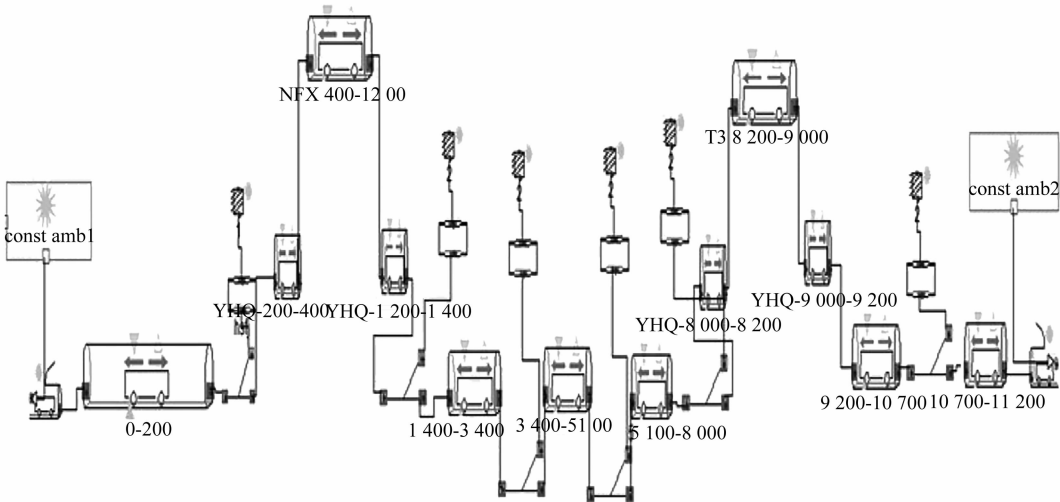


图 8 IDA tunnel 软件建立的北京城际铁路联络线地下车站与区间的隧道模型

4.1 工况 1

工况 1 为站台门不退台,列车以 200 km/h 的速度通过车站 B。

图 9 为站台不退台时的时间-压力-位置三维图。图 10 为选取的车站站台门承受的风压二维图。由图 10 可知,车站 B 处的站台门承受的正压峰值为 2 890 Pa、负压峰值为 2 320 Pa。

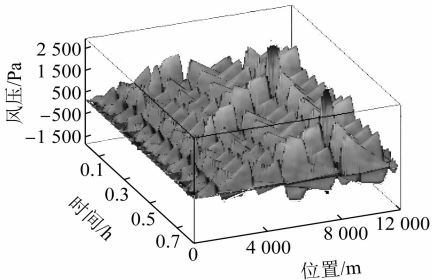


图 9 工况 1 下的风压-位置-时间三维模拟图

4.2 工况 2

工况 2 为站台门退台 1.2 m,列车以 200 km/h 的速度通过车站 B。

图 11 为站台退台 1.2 m 时的时间-压力-位置三维图。图 12 为站台退台 1.3 m 时的车站站台门承受的压力峰值。由图 13 可知,车站 B 处的站台门承受的正压峰值为 1 990 Pa、负压峰值为 1 810 Pa。

通过软件设置,模拟 2 条行进路线在隧道内会车的情况。会车地点不同,得到车站 B 处的压力亦不同。通过模拟结果可查看全线隧道在某一时刻的压力峰值,也可查看在某一处的全行驶过程压力峰值。分别对站台门不退台、退台 1.2 m、退台 1.5 m 等 3 种工况进行模拟分析。

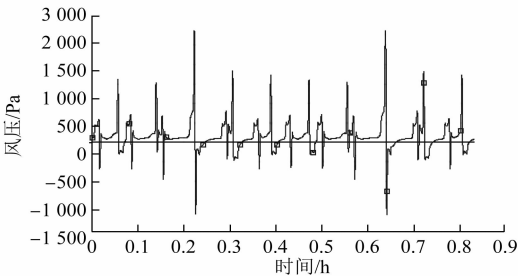


图 10 工况 1 下车站站台门的压力峰值

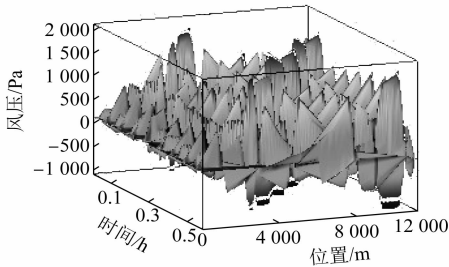


图 11 工况 2 下的风压-位置-时间三维模拟图

4.3 工况 3

工况 3 为站台门退台 1.5 m,列车以 200 km/h 的速度通过车站 B。

图 13 为站台退台 1.5 m 时的时间-压力-位置三维图。图 14 为站台退台 1.5 m 时的车站站台门承受的压力峰值。由图 15 可知,车站 B 的站台门承

受的正压峰值为 1 850 Pa, 负压峰值为 1 640 Pa。

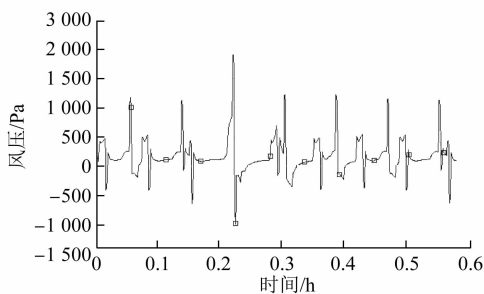


图 12 工况 2 下车站站台门的压力峰值

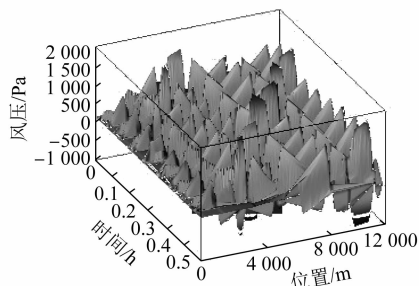


图 13 工况 3 下的风压-位置-时间三维模拟图

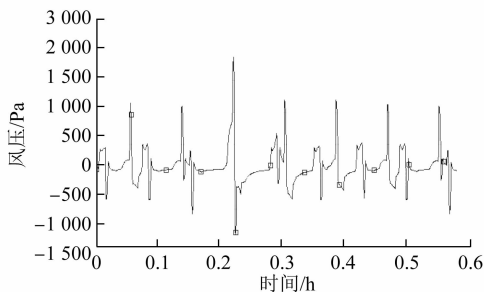


图 14 工况 3 下车站站台门的压力峰值

5 结语

综上所述,采用 IDA tunnel 以及 ThermoTun 软

件对美兰机场地下车站进行建模计算,其模拟结果与实测结果在可达到的精度范围内基本一致。因此,对北京城际铁路联络线地下车站风压数值的模拟结果也具有一定的参考价值。建议如下:

1) 城际列车以 200 km/h 的速度通过车站时,为避免站内压力变化、列车风及活塞风等影响,提高站内乘客候车舒适性,以确保站内乘客生命安全,车站应设置全封闭站台门^[7]。

2) 正线临靠站台时,站台门设置考虑一定的退台距离,这对正线隧道的压力峰值和压力波动较为有利。

3) 结合土建规模及目前站台门承压能力,当城际列车的车速为 200 km/h 时,建议站台门退台 1.2 m。

4) 站台门的设计风压还应考虑一定的安全系数。

参考文献

- [1] 赵有明,马伟斌,程爱军,等. 高速铁路隧道气动效应[M]. 北京:中国铁道出版社,1912: 87-89.
- [2] 国家铁路局. 高速铁路设计规范:TB 10621—2014[S]. 北京:中国铁道出版社,2016: 81.
- [3] 韩华轩. 屏蔽门对高速铁路地下车站气动效应影响的研究[J]. 铁道标准设计,2008(增刊): 108.
- [4] 吴培浩. 地铁屏蔽门风压实测研究[J]. 城市轨道交通研究,2006(6): 57.
- [5] 陈赤坤. 美兰机场地下车站隧道气动效应及缓解措施[J]. 高速铁路技术,2011(6): 269.
- [6] 邓国勇. 谈隧道风压对站台门关门的影响及应对措施[J]. Technology Forum,2017(5): 342.
- [7] 张成爽. 城际列车地下车站站台门系统比选与通风研究[D]. 成都:西南交通大学,2013: 69.

(收稿日期:2019-06-03)

(上接第 54 页)

4) 根据最新研究表明,新建地铁车站站台越来越多地考虑声学需求,除建筑上考虑安装吸声体外,还在站台公共空间壁面进行吸声处理,如喷涂具有吸声性能的涂料、在等候座椅表面铺设吸声面料等,这都将有效吸收车辆辐射的噪声能量。站台内仅铺设整体吸声天棚,与未进行吸声处理的老式站台相比,其噪声水平可至少降低 5~10 dB(A)。另外,站台屏蔽门可对车辆辐射噪声降低 5~6 dB(A)。

参考文献

- [1] 王四德,张春华,彭占辉,等. 地铁车站站台噪声限值及其测量方法的研究[J]. 铁道劳动安全卫生与环保,1990(4): 1.
- [2] 郑晋丽. 地铁列车噪声标准和车站站台噪声限值[J]. 地下工程与隧道,1997(10): 38.
- [3] 席天宇. 中国城市地铁站声环境设计策略研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2008.
- [4] 刘茜,史聪灵,伍彬彬,等. 城市轨道交通站台噪声测量研究[J]. 中国安全生产科学技术,2017(11): 143.

(收稿日期:2019-06-13)