

文章编号:1671-6833(2013)02-0099-04

高速铁路站台列车风特性与人员安全性分析

彭立敏, 刘程, 施成华, 杨伟超, 晏伟光

(中南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410075)

摘要:采用数值模拟方法,对一CRH2型列车在高速铁路隧道以时速200 km运行时的环境进行了模拟,当列车经过站台时,对站台上的列车风的变化过程进行了分析,讨论了站台上列车风的分布特性,并确定了站台人员的安全避让距离.结果表明:紧贴列车壁的边界层风速梯度很大;列车尾部为风速最不利位置;为确保人员的安全,必要时应采取保护措施.

关键词:隧道;列车风;特性;安全

中图分类号: U25 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2013.02.025

0 引言

最近几年,我国大力发展客运专线以及高速铁路,由于城市土地资源的有限,采用隧道穿越城区以及修建地下车站成了必然趋势.

当列车以较高速度通过站台(不停)时,所产生的空气动力效应将会影响到车站内乘客以及作业人员的舒适性和周围的生活环境,甚至会危及他们的安全.随着列车速度的提高,这种空气动力学效应会越来越显著,目前针对列车高速通过地下车站时列车风的研究还比较少.

笔者采用数值模拟的方法,运用流体力学软件Fluent对一CRH2型列车在高速铁路双线隧道内以时速200 km行驶(有一同类型列车停靠在车站内)通过站台时的环境进行了模拟,并采用Tecplot后处理软件对结果进行了分析与处理,分析了列车在双线隧道内通过站台时列车风的变化过程和分布特性,对站内人员的安全性进行了分析并提出了建议.

1 边界条件和计算方法

1.1 边界条件

以车站屋顶和边墙作为计算流场边界,列车与隧道之间的相对运动采用滑移网格技术处理.

1.2 计算方法

利用Fluent软件求解非定常可压缩流动的RANS方程和Realizable κ (湍动能)- ϵ (湍动耗散率)二方程湍流模型,对车站的列车风流场进行数值模拟.用有限体积法离散方程,动量、能量、 κ 和 ϵ 方程中的对流项采用一阶迎风格式离散,扩散项采用中心差分格式离散.列车的运动使用Fluent的Profile文件进行控制.

2 计算模型及参数

2.1 模型

按照隧道设计断面条件,建立1:1的数值仿真模型,具体模型见图1和图2所示.

2.2 参数

基本计算参数如表1所示.

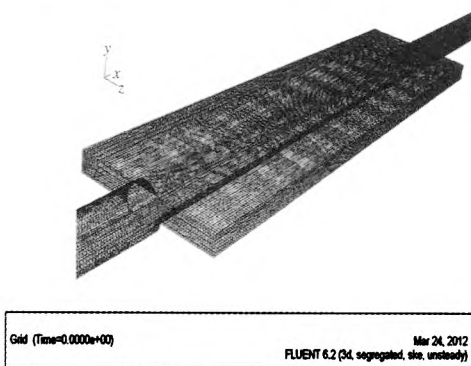


图1 站台模型图

Fig.1 Picture of station model

收稿日期:2012-11-22;修订日期:2012-12-29

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51008310)

作者简介:彭立敏(1956-),男,湖南澧县人,中南大学教授,博导,研究方向为隧道与地下工程;刘程,中南大学硕士生,研究方向为隧道空气动力学,E-mail:469820584@qq.com.

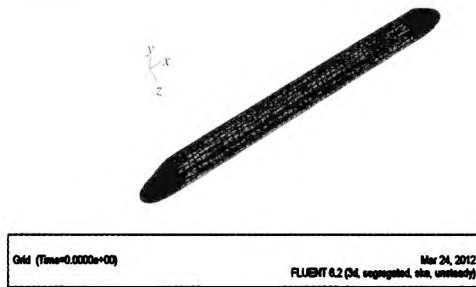


图2 列车模型图

Fig.2 Picture of train model

表1 模型参数表

Tab.1 Parameters of models

| | | | | |
|----|------|----------|----------------------|---------|
| 列车 | 车型 | 车速 | 车长 | 车高 |
| 参数 | CRH2 | 200 km/h | 60 m | 3.8 m |
| 隧道 | 线型 | 长度 | 断面积 | 外部大气长度 |
| 参数 | 双线 | 400 m | 83.01 m ² | 200 m |
| 站台 | 宽度 | 长度 | 站台顶部净高 | 轨面距站台面 |
| 参数 | 20 m | 200 m | 5 m | 1.427 m |

3 站台列车风变化过程

依据文献,日本以 9 m/s 风速作为站台安全距离,英国以人体可承受 11.1 m/s 风速作为站台安全距离,以 16.9 m/s 风速为作业安全距离^[1],国内目前还没有这方面的标准,笔者建议对于站台人员的最高避让风速不能大于 14 m/s^[2]。

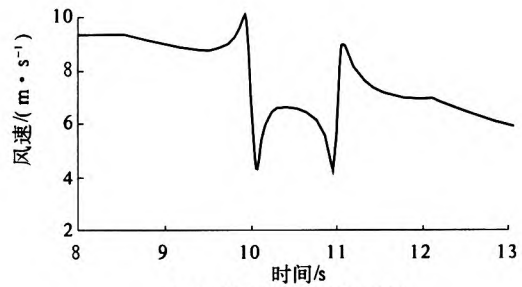
在车站进距进站口 100 m 处设置一分析点,该分析点高度为距站台地面 1.5 m,离运行列车壁 1.1 m。列车从进站($t=0$ s)到出站($t=4.68$ s)的过程中列车风纵向和横向的变化过程分别如图 3 所示。

由图 3 可知,(1)当列车经过分析点时,纵向风速波动较大。车头经过分析点时,风速迅速增大至全程最大值,待车头经过后,迅速恢复至环境风速,车尾经过分析点的情况与车头类似。其中在 $t=1\sim 2.3$ s 这段时间里,由于列车经过停靠列车,风速略有波动(对人员安全无影响,限于篇幅,不作详细讨论)。(2)同样地,列车经过测点时,横向风速波动情况与纵向风速类似。(3)列车进站过程中纵向风速大约维持在 2.5~12 m/s,横向风速最大值大约为 3.2 m/s,对人员安全无影响。

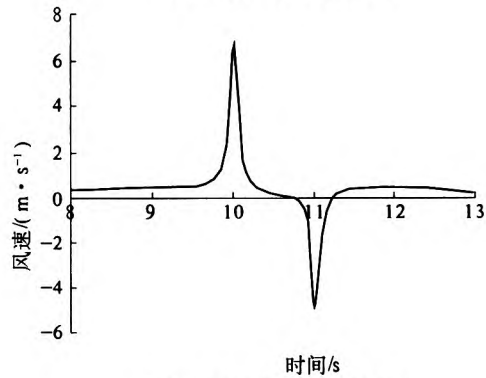
4 站台列车风分布特性

4.1 纵向分布特性

列车由区间隧道进入车站,由于地下车站相对区间隧道而言是一个对断面扩大很多的“大断面隧道”,流场环境发生了较大变化,从而导致列



(a) 纵向(列车行进方向)



(b) 横向(垂直列车侧壁方向)

图3 分析点风速时程变化曲线

Fig.3 The train wind speed time-history changing curve of the analyzed point

车风的形态也有所变化。列车进入车站后站台上 1.5 m 高处的水平面内列车风的流场风速分布如图 4 所示(坐标单位均为 m)。

由图 4 可知,(1)列车风主要出现在靠近列车附近,其它位置的列车风相对较小;列车风在纵向分布是不均匀的,其中在列车两端附近列车风的峰值较大,车中的列车风峰值较小。(2)气流从车头流向车尾,车尾处出现涡流现象,这是由于列车行驶时带动了活塞风,车头处产生正压,车尾处产生负压的缘故。(3)近列车侧的风速比远列车侧的风速略大一些,但不影响站台人员的安全。

4.2 横向分布特性

列车进入车站 80 m 时,列车头部,中部以及尾部的横向风速分布如图 5 所示(坐标单位均为 m)。

由图 5 可知:(1)紧贴列车壁存在较薄的边界层,在边界层内风速梯度很大,趋近列车壁处风速与列车运行速度相同;(2)靠近运行列车一侧的列车风风速较低,而远离列车一侧的列车风风速相对更低,其中列车尾部风速最大,属于风速最不利位置,相对而言,更容易引起人员安全问题。(3)靠近运行列车一侧站台边缘附近列车风最大风速约为 10 m/s,远离运行列车一侧站台边缘附近列车风最大风速约为 7 m/s,对人员安全无影响。

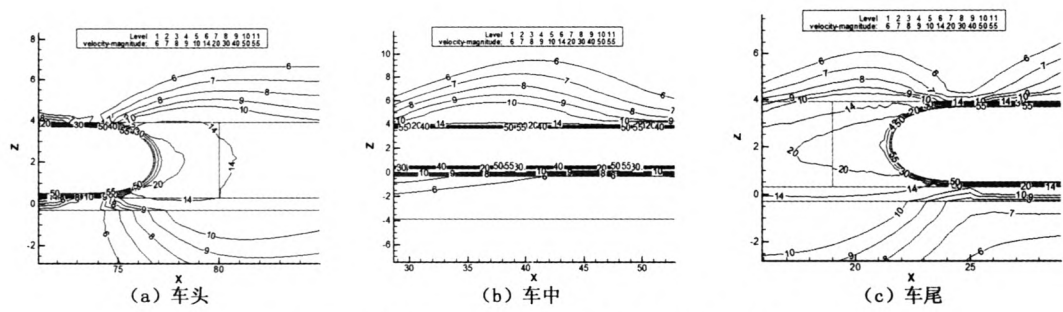


图 4 站台上 1.5 m 高处水平面内风速分布图

Fig.4 Wind speed distribution of 1.5 m high plane on the platform

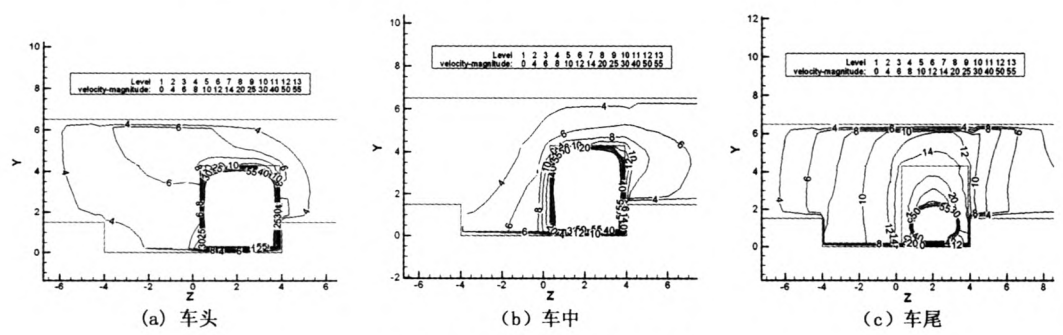


图 5 站台上横向风速分布图

Fig.5 Horizontal wind speed distribution on the platform

5 站台内安全避让距离判别

高速列车运行引起强烈列车风,列车风会对临近线路人体产生气动作用,可能威胁站台上乘客和路边作业人员的安全,确定站台上乘客和作业人员的安全距离,是涉及高速铁路建设和保障

高速列车安全运行的一个重要问题。通过对列车在站台上到达不同位置时站台内列车风纵向和横向分布进行分析,得到 CRH2 型列车时速 200 km 条件下,根据笔者建议的 14 m/s 的站台上列车风的人员安全避让值,确定出站台人员安全避让距离,如表 2 所示。

表 2 站台上人员安全避让距离

| 车头过进 站口/m | 运行列车侧 | | | | | 停靠列车侧 | | |
|--------------|---------------|------|------|------|------|---------------|----|----|
| | 站台内人员安全避让距离/m | | | | | 站台内人员安全避让距离/m | | |
| | 车头 | 车中 | 车尾 | 进站口侧 | 出站口侧 | 车头 | 车中 | 车尾 |
| 0 | 1.73 | — | — | 1.73 | 0 | 0 | — | — |
| 40 | 1.52 | 0.05 | — | 1.52 | 0 | 0 | 0 | — |
| 80 | 0 | 0.12 | 0 | 0.12 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 120 | 0.21 | 0 | 1.12 | 1.4 | 0.21 | 0 | 0 | 0 |
| 160 | 0.35 | 0 | 0 | 1.73 | 0.35 | 0 | 0 | 0 |
| 200 | 0 | 0 | 0.07 | 1.66 | 0.07 | 0 | 0 | 0 |
| 240 | — | 0 | 0 | 1.56 | 0 | — | 0 | 0 |
| 260 | — | — | 0 | 1.61 | 0 | — | — | 0 |

最大距离/m: 1.73

根据表 2 列车风的分布范围拟合出隧道内疏散通道范围内的安全避让空间,如图 6 所示。

由上可知,列车以时速 200 km 由双线隧道过站的条件下,站台人员最小安全避让距离不小于 1.73 m,由于笔者建议的 14 m/s 安全避让值可能较高,为避免发生安全事故,应在危险范围内予以

警示,如标识安全线等,必要时可设置防护栏,屏蔽门等保护措施。

6 结论

笔者对一 CRH2 型列车在高速铁路双线隧道内以时速 200 km 行驶经过站台时列车风的特性

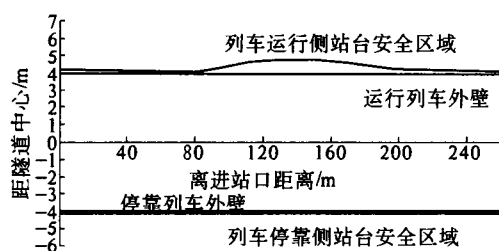


图6 站台人员安全避让距离示意图

Fig.6 Geological hazards distance schemes of personnel security on the platform

以及人员安全进行了分析。

(1)列车经过站台时,列车风速的波动较大,尽管未达到危险风速,仍应小心谨慎。

(2)紧贴列车壁的边界层风速梯度很大,列车两端风速较大,列车尾部会出现涡流现象,与实际情况相符。

(3)列车的尾部为风速最不利位置,因此车尾经过时要更加谨慎,注意安全。

(4)站台的最小安全避让距离为 1.73 m,由于笔者建议的 14 m/s 安全避让值可能较高,为确保人员的安全,应避免在危险范围内活动,必要时应加设护栏或采取其它的保护措施。

(5)笔者只对时速为 200 km 时进行了分析,速度相对较小,不够全面,可以再对时速分别为 300 km 和 400 km 时进行分析,从而对结果进一步研究与总结。

参考文献:

- [1] Federal Railroad Administration of USA. Aerodynamic effects of high speed trains on people and property at stations in the northeast corridor [M]. Washington: Federal Railroad Administration of American, 1999, 65-68.

- [2] 崔丽红,刘鑫,魏庆朝.高速铁路安全系统的研究[J].中国安全科学学报,2001,11(2):8.
- [3] 李人宪,赵晶.高速列车风对附近人体的气动作用影响[J].中国铁道科学,2007,28(5):98-104.
- [4] ARTURO B, MICHELE M, STEFANO S. The alleviation of the aerodynamic drag and wave effects of high-speed trains in very long tunnels [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2001, 89(6): 365-401.
- [5] 王建宇.高速铁路隧道空气动力学若干问题探讨[C]//2006中国高速铁路隧道国际技术交流会议论文集.北京:铁道部工程设计鉴定中心,中铁西南科学研究院,2006:74-85.
- [6] 李炎.铁路隧道列车活塞风特性分析及理论研究[D].兰州交通大学环境与市政工程学院.2010:68-75.
- [7] HOWE M S. The compression wave produced by high-speed train entering a tunnel. Proceedings of the Royal Society (London) [M]. Royal Society (United Kingdom), 1998: 1523-1534.
- [8] 铁道部第二勘测设计院,铁道部第四勘测设计院, TB 10068—2000 铁路隧道运营通风设计规范[S]. 2000:30.
- [9] 莫乃榕.工程流体力学[M].武汉:华中科技大学出版社.
- [10] 石先明,习博.城际铁路运营特点及列车运行控制系统控制系统功能定位[J].铁道勘测与设计.2010,23(6):1-2.
- [11] YOON T S, LEE S, HWANG J H, et al. Prediction and validation on the sonic boom by a high-speed train entering a tunnel [J]. Journal of Sound and Vibration, 2001, 247(2):195-211.

Characteristics of the Train Wind and Analysis of Personnel Safety in The High-speed Railway Station

PENG Li-min, LIU Cheng, SHI Cheng-hua, YANG Wei-chao, YAN Wei-guang

(School of Civil Engineering, Central South University, Changsha 410075, China)

Abstract: Based on the numerical simulation method, the environment where a train of the CRH2 type ran in the high-speed railway tunnel at a speed of 200 km per hour was simulated. And when the train passed the platform, the changing process of the train wind on the platform was analyzed, the distribution characteristics of the train wind on the platform were discussed and the safety of hazards distance of people on the platform was determined. The results showed that: the gradient of wind speed of layer close to the train wall boundary is very large; the train wind near the tail of the train is the most unfavorable position; protective measures should be taken to ensure people's security if necessary.

Key words: tunnel; train wind; characteristics; security