

文章编号: 1671-6612 (2020) 04-463-05

地铁活塞风道风速及变化规律试验研究

张悦¹ 张强¹ 毕海权² 王君宜²

(1.广州地铁设计研究院股份有限公司 广州 510010;

2.西南交通大学机械工程学院 成都 610031)

【摘要】 列车在隧道内运行产生的活塞风随列车运行呈现有规律的周期性变化, 由于目前列车运行速度高且行车密度高, 活塞风对隧道内设备及活塞风道内的设备产生长期的作用, 可带来不可忽视的安全问题。以广州地铁某站及某中间风井为研究对象, 对地铁风道内的风速进行了现场测试, 得到了地铁站及区间风井风道内的风速变化规律。结果表明: 该站出站端活塞风道内的正、负风速最大幅值均低于进站端; 相比于车站进出站端活塞风井, 中间风井内风道的风速更高, 最大正风速为 5.7m/s, 最大负风速为 7m/s; 区间左右线中间风井活塞风道内风速变化周期和变化规律一致, 但风速幅值差别较大。

【关键词】 现场试验; 地铁; 活塞风井; 风速
中图分类号 U451 文献标识码 A

Field Measurement and Analysis of the Wind Speed of the Air Passage at the Airshaft for Subway

Zhang Yue¹ Zhang Qiang¹ Bi Haiquan² Yang Xiao²

(1.Guangzhou Metro Design & Research Institute Co., Ltd, Guangzhou, 510010;

2.School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, 610031)

【Abstract】 The piston wind generated by the train running in the tunnel present a regular periodic change with the train operation. Due to the higher speed of trains and higher operating frequency, the piston wind has a long-term effect on the equipment in the tunnel and the air passage. It brings safety issues that cannot be ignored. For A Station and the middle airshaft during two stations along Guangzhou Metro, the velocity at the airshafts is tested and the change characteristics are obtained. The results show that the maximum amplitudes of the wind speed of the airshaft at the exit are lower than those at the entrance for the Station; compared with the airshaft set at the station, the wind speed in the middle airshaft is higher, with a maximum positive value of 5.7 m/s and a maximum negative value of 7 m/s. The change trend of the wind speed of the middle airshaft at the right and left track line is the similar, but the amplitudes are the different.

【Keywords】 Field measurement; Subway; airshaft; wind speed

作者(通讯作者)简介: 张悦(1979.10-), 女, 本科, 高级工程师, E-mail: 31649391@qq.com

收稿日期: 2020-03-27

0 引言

随着国家的快速发展, 我国的地铁建设也取得了巨大成就。截至 2018 年底, 我国共有 35 座城市

开通城市轨道交通运营线路 185 条, 运营总里程为 5761.4km。地铁运营线路 4354.3km 占比 75.6%^[1]。随着运营里程的增加, 地铁列车的运行速度也不断

地提高。

目前,国内已开通和在建多条 120km/h 城市轨道交通快线,如广州地铁 3 号线、上海 16 号线、深圳地铁 11 号线、东莞 2 号线、北京 19 号线、广州 21 号线等,而在建和规划有 140km/h 城市轨道交通快线,如成都 18 号线、成都 11 号线、台州市 S1 线等。在开工建设的北京新机场线设计最高设计运行速度将则达到 160km/h^[2]。

列车在隧道内运行产生的活塞风随列车运行呈现有规律的周期性变化,由于目前列车运行速度高且行车密度高,活塞风对隧道内设备及活塞风道内的设备产生长期的作用,可带来不可忽视的安全问题。目前的研究多围绕活塞风对地铁系统通风和能耗的影响^[3-5],较少文献关注活塞风引起的风道安全问题。由于隧道活塞风形成机理与过程十分复杂,而参与其形成过程的因素很多,从而影响活塞风大小的因素也非常多。隧道活塞风风速的大小主要受列车车速、列车车长、隧道截面、隧道长度和阻塞比的影响。隧道活塞风风速大小与列车车长,列车速度和阻塞比成正比;与隧道截面与隧道长度成反比^[6]。

针对地铁隧道内活塞风的研究,主要包括理论计算、数值计算和现场测试。理论分析主要基于伯努利方程和流体的连续性方程推导得到简单隧道结构形式下活塞风速的理论计算公式^[7]。另外,一些学者基于 SES 和 CFD 商业软件通过数值分析得到活塞风的变化规律和形成机理^[8-10]。

本文以广州地铁某站及某中间风井(均取自最高时速 100km/h 的线路)为研究对象,对车站以及区间风井风道内的活塞风速进行了现场测试,研究了列车运行对活塞风道内风速变化的影响,为地铁隧道结构安全设计及优化提供试验参考依据。

1 活塞风的形成原理及隧道内风井结构

1.1 活塞风的成因

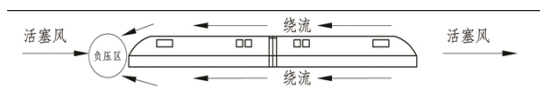


图 1 活塞风的形成过程

Fig.1 The formation of piston wind

列车在隧道内运行时,由于列车所排挤的空气空间上受到隧道壁的限制,不能全部绕流到列车后

方,有部分空气会被列车向前推动,顺着列车运行的方向向前流动,被排除到隧道出口外,而列车尾部后方的区域为负压区,因此必然也会有部分进洞口处的空气被引入隧道中,这一现象称为列车的活塞效应,活塞效应所形成的气流即为活塞风^[11]。活塞风的形成过程如图 1 所示。

1.2 活塞风井的构造

隧道通风系统是地铁通风空调系统的重要组成部分,它分为区间隧道通风系统和车站隧道通风系统两部分。它主要起到排除隧道内余热、余湿,满足隧道内通风换气及温度控制、阻塞情况下向阻塞区间送新风、火灾情况下排出隧道烟气的的作用。隧道通风系统有单活塞风道和双活塞风道两种模式。单活塞风道通常只在车站出口端设置一个活塞风道,如图 2 所示;双活塞风道则是在车站的进口端和出口端分别设置活塞风道,如图 3 所示。根据《地铁设计规范》^[12],当列车在区间隧道发生火灾时,应背着乘客主要疏散方向组织排烟,乘客迎着新风方向疏散。为便于有效组织排烟,需保证在区间隧道端头的活塞风井之间不出现 2 列车同时追踪运行的情况;若出现该情况,则需在两站区间内设置中间风井。选取的区间中间风井,如图 4 所示,该区间前后车站均为双活塞通风系统。

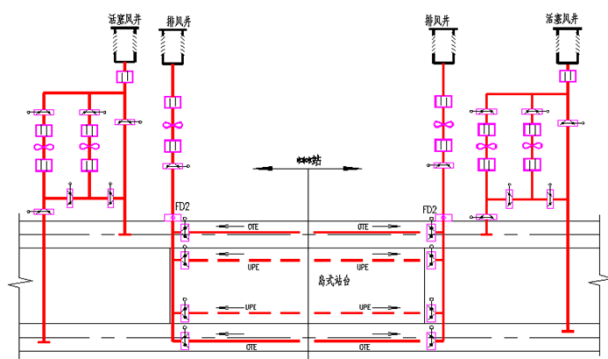


图 2 单活塞风井

Fig.2 Single-piston airshaft

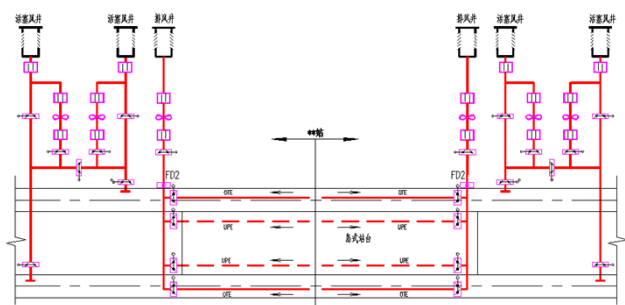


图 3 双活塞风井示意图

Fig.3 Double-piston airshaft

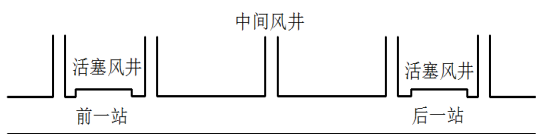


图 4 区间中间风井示意图

Fig.4 The middle airshaft during two stations

风井系统一般由风阀、风道和通向室外气体的风亭构成。风道内的风阀是活塞风离开隧道和室外风进入隧道的关键部件。为了控制活塞风道的启闭,在轨行区和风道之间会设置一道风阀。此外,有的风井系统为了便于控制空气的流动方向,将其引入其它风道,会在风井内设置第二道阀门,如图 5 所示。

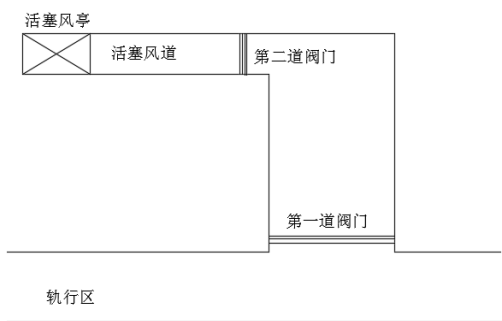


图 5 风井内风阀的布置图

Fig.5 Arrangement of the air valve in the airshaft

2 活塞风道风速的现场测试

2.1 测试方案

风道风速测试方案如图 6 所示,在相应的测点上安装超声波风速仪,通过信号调理及数据采集系统,利用数据采集软件和数据分析处理软件,得到相应的风速变化曲线。

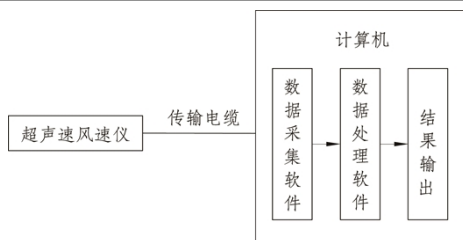


图 6 测试方案

Fig.6 Test scheme

2.2 测试仪器

本次现场测试选用型号为 MODEL 8100 UCTRASONIC ANEMOMETER 的超声波风速仪,该风速仪可同时测量三个方向的风速,如图 7 所示。风速仪测试范围为 0~40m/s。风速小于 30m/s 时精度为±0.05m/s。

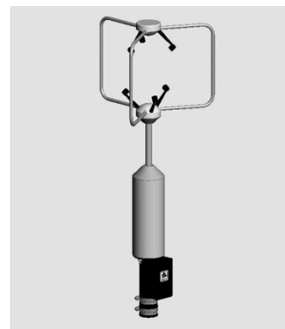


图 7 超声波风速仪

Fig.7 Ultrasonic anemometer

2.3 测点布置

本次测试一共选择了五个测点,分别为车站进站端活塞风道第一道阀门后(测点 1),前一站站出站端活塞风道第一道阀门后(测点 2),右线中间风井第一道阀门后(测点 3),左线中间风井第一道阀门后(测点 4),左线中间风井第二道阀门后(测点 5),具体测点的布置图如图 8 和 9 所示,其中车站出站端活塞风道第一道阀门后测点 2 与测点 1 相对应,区间右线中间风井第一道阀门后测点 3 与测点 4 相对应。

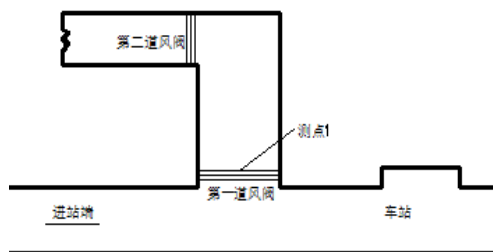


图 8 某站进站端活塞风道第一道阀门后(测点 1)示意图

Fig.8 The first valve of the airshaft at the entrance of Shacun Station (point 1)

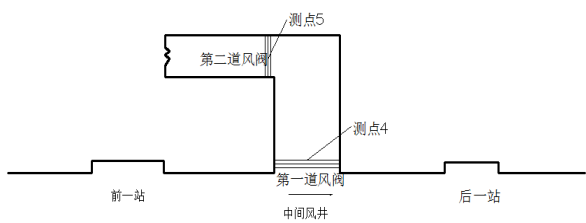


图9 左线中间风井测点4、5示意图

Fig.9 Point 4 and point 5 at the middle airshaft

由于气流通过活塞风阀时并不是均匀分布的,为了减小流动不均匀性带来的测试误差,本次测试中在活塞风阀上部选取5个测点,使用超声波风速仪连续测试半个小时,然后通过取平均值来得到活塞风速。测点布置如图10所示。

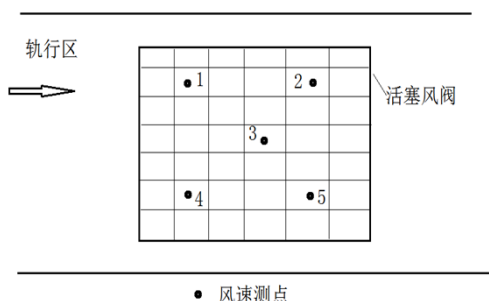
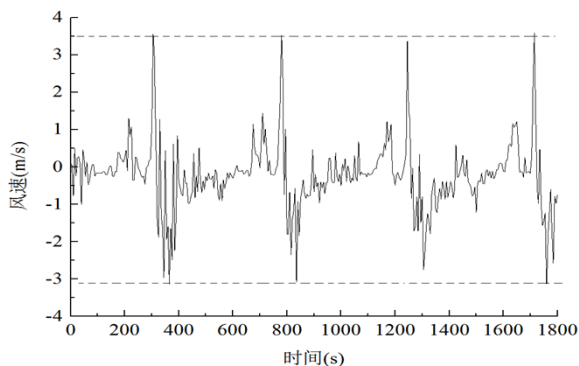


图10 活塞风阀上方风速测点布置

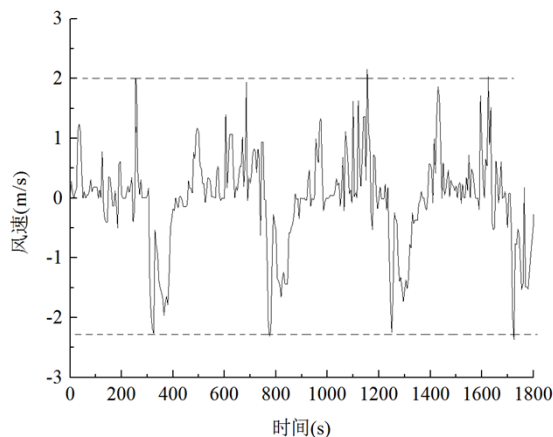
Fig.10 Measurement points of velocity at the air valve

3 测试结果分析

3.1 某站进出站端风井活塞风道内风速



(a) 进站端第一道活塞风阀后(测点1)



(b) 出站端第一道活塞风阀后(测点2)

图11 活塞风道内风速

Fig.11 The velocity at the air passage of the airshaft

车站进站端和出站端活塞风道内的活塞风速测试结果分别如图11,其中,正的风速表示空气由轨行区流入活塞风道,负的风速表示空气由活塞风道流入轨行区。从图中可知进站端活塞风道内最大正的活塞风速为3.5m/s,最大负的活塞风速为3.1m/s,出站端活塞风道内最大正的活塞风速为2m/s,最大负的风速为2.3m/s。

测点1和测点2的风速变化周期和变化趋势相一致,但是测点2的风速更小。列车经过进站端风井后,逐渐减速进站,列车前端空气不再受力,再加上传播过程中的损耗,因此风速有所下降。

3.2 中间风井活塞风道内风速

区间左右两线活塞风道内的活塞风速测试结果分别如图12和图13所示。其中,正的风速表示空气由轨行区流入活塞风道,负的风速表示空气由活塞风道流入轨行区。从图中可知右线活塞风道内第一道风阀后最大正的活塞风速为5.7m/s,最大负的风速为4.6m/s;左线长通道内最大正的活塞风速为4m/s,最大负的风速为7m/s,左线活塞风道内第二道风阀后最大正的风速为5.4m/s,最大负的风速为6.6m/s。

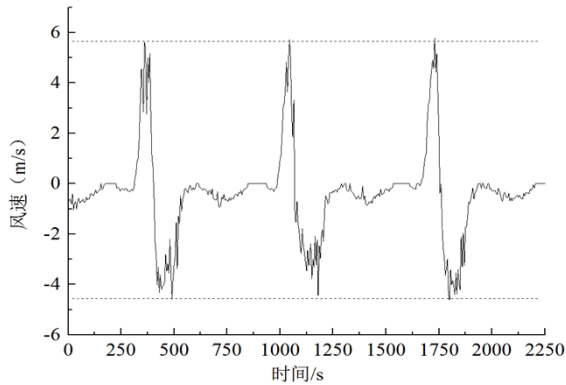
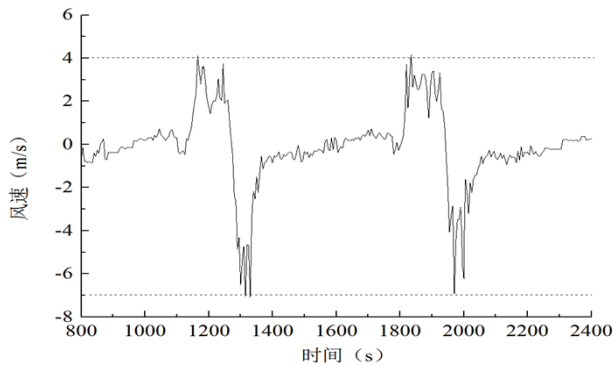
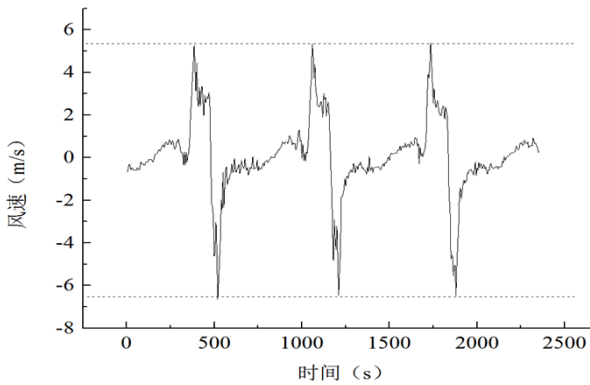


图12 区间右线中间风井第一道风阀后(测点3)活塞风速

Fig.12 The velocity at the air passage of the airshaft at the right track line



(a) 长通道内(测点4)



(b) 第二道风阀后(测点5)

图13 区间左线中间风井活塞风速

Fig.13 The velocity at the air passage of the airshaft at the left track line

测点4与测点3相对比,风速变化周期和变化规律一致但风速幅值有较大差异,说明左右线隧道结构的不同会对活塞风速会产生一定影响。测点5的最大正风速大于测点4,而最大负风速要小些。

通过对比车站活塞风井和区间中间风机内风道的风速,中间风井内风道的风速更高,这是由于列车通过中间风井处的速度更高而造成的。

4 结论

通过对地铁车站及中间风井的活塞风道内风速的现场测试,可得如下结论:

(1) 车站出站端活塞风道内的正、负风速最大幅值均低于进站端,进站端风井活塞风道内最大正风速为3.5m/s,最大负风速为3.1m/s。

(2) 相比于车站进出站端活塞风井,中间风井内风道的风速更高,最大正风速为5.7m/s,最大负风速为7m/s。

(3) 由于风速与风道风压是同时测量的,从测试结果的时间对比来看,风速变化与压力变化是同步的。

(4) 区间左右线中间风井活塞风道内风速变化周期和变化规律一致,但风速幅值差别较大,这是由于隧道结构造成的。

参考文献:

- [1] 中国城市轨道交通协会.城市轨道交通2018年度统计和分析报告[OL]. <http://www.camet.org.cn>, 2019.
- [2] 段忠辉.高速地铁隧道空气动力学特性及控制技术研究[D].北京:北京交通大学,2019.
- [3] 刘焱,史柯峰,张越,等.列车运营组织对活塞风井换气量的影响分析[J].暖通空调,2019,49(9):7-13.
- [4] 齐江浩,赵蕾,王君,等.地铁隧道活塞风实测及特征分析[J].铁道科学与工程学报,2016,13(4):740-747.
- [5] 杨鑫泽.广州地区地铁车站隧道活塞风的应用研究[D].广州:广州大学,2019.
- [6] 田卫明,翁其能,张建伟,等.地铁隧道活塞风成风影响因素分析[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2012,31(1):41-43.
- [7] 罗忠,韩贵鑫,赵凯,等.隧道活塞风速计算方法及其影响因素分析[J].东北大学学报(自然科学版),2019,40(5):694-699.
- [8] 崔景东,李炎,刘炎举,等.隧道内列车活塞风效应数值模拟分析[J].制冷与空调,2019,33(2):188-192.
- [9] 王丽慧,施逵,宋洁,等.地铁活塞风井及迂回风道速度场特性研究[J].流体机械,2010,38(3):22-27.
- [10] 任明亮,陈超,郭强,等.地铁活塞风的分析计算与有效利

-
- 用[J].上海交通大学学报,2008,42(8):1376-1380.
- [11] 王方宇. 地铁区间隧道风速分布特性及监测方法研究. 成都:西南交通大学,2017.
- [12] GB 50157—2013,地铁设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.