

文章编号:1673-9469(2012)04-0053-05

沈阳地铁冬季隧道的温度特性实验研究

薛鹏¹, 由世俊¹, 李博佳¹, 王奕然², 陈克松²

(1. 天津大学 环境科学与工程学院, 天津 300072; 2. 北京城建设计研究总院有限责任公司, 北京 100037)

摘要:对沈阳地铁1号线列车运行时出、入段线隧道, 典型区间隧道及典型车站进行了现场测试, 并通过自记仪器记录列车运行时的相关参数。通过分析结果表明, 隧道入口段空气温度与室外温度同步性较高, 合理使用大功率热风幕可以在短时间内有效提高隧道温度, 并保证自端点车站起的隧道温度全天高于0°。在冬季活塞竖井关闭的情况下, 列车运行热量及站台空气通过活塞效应对区间隧道产生了间歇性的影响, 使其空气温度在1摄氏度范围内波动。但隧道空气温度始终低于采暖车站的温度, 热量不能有效被车站公共区利用。

关键词:地铁隧道; 活塞风; 热环境; 热风幕

中图分类号: TU834

文献标识码: A

Experimental study on winter tunnel temperature of Shenyang subway

XUE Peng¹, YOU Shi-jun¹, LI Bo-jia¹, WANG Yi-ran², CHEN Ke-song²

(1. School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. Beijing Urban Engineering Design and Research Institute CO, LTD, Beijing 100037, China)

Abstract: Shenyang No. 1 line was measured in order to know about the subway tunnel thermal environment in cold winter. A typical underground tunnel, a tunnel between ground and underground and a typical station were picked as the test content. Test was measured by self-recording instruments to record parameters when train was running. The measurement results show that there exists a high synchronism between the entrance of the tunnel temperature and the outside temperature. Reasonable use of high-power air curtain can effectively improve tunnel temperature in a short time, and it will ensure the tunnel temperature will stay above zero from the first station, which could make the fire protection system avoid freezing without insulating course. The heat produced by train and platform have an intermittent influence on tunnel temperature by piston effects with the piston shaft off. And the air temperature fluctuates in the range of 1 degree Celsius, which always lower than the heating temperature in station. So this energy will not be able to use by the ventilation and air condition system of station. It is suggested here that using an adjustable ventilation platform doors and realizing its shielding function in winter will be an effective way to prevent energy dissipation.

Key words: subway tunnel; piston wind; thermal environment; hot air-curtain

现有的地铁热环境及活塞风的研究, 多数集中在寒冷地区和夏热冬冷地区, 在这些地区, 大量实验发现, 地铁活塞风对隧道热环境有巨大影响^[1], 与此同时数值模拟方法也被广泛用于计算地铁隧道流场分布^[2-4], 及分析高效的送风形

式^[5]和活塞风的作用^[6]。过渡季节活塞风中对地铁隧道进行通风换气, 有效地与外界进行热量交换^[7], 节约风机能耗。夏季活塞风携带一部分车站空调冷风进入隧道, 冷却隧道内的空气^[8]; 冬季携带大量隧道热量进入站台, 加热站台空气^[9]。

收稿日期: 2012-09-02

基金项目: 世界银行贷款项目(TF 024121-CHA)

作者简介: 薛鹏(1988-), 男, 河北邯郸人, 硕士研究生, 从事地铁通风系统的设计与优化。

表 1 太原街附近区间隧道空气温度与壁面温度
Tab. 1 Running tunnel temperature and wall temperature near Taiyuanjie station

测点	6	5	4	3	2	1	7	8	9	10	11	12	13
$T_t/^\circ\text{C}$	12.4	13.2	13.9	14.1	14.2	13.3	14.1	13.7	14.1	14.1	14.3	14.7	14.8
$T_w/^\circ\text{C}$	12.2	13.2	13.6	14	13.8	14	14.8	13.8	14.4	14.2	14.4	15.2	15.2



图2 区间隧道空气温度变化曲线
Fig. 2 Result of running tunnel temperature

实验结果显示壁面温度与空气温度相差在 $\pm 0.7^\circ\text{C}$, 考虑到设备引起的误差, 壁面和空气的温度整体趋于平衡, 反映壁面温度对隧道温度的影响能力是有限的。与此同时, 列车运行产热也是地铁隧道的主要热负荷, 主要包括列车表面空气阻力摩擦生热, 车轮与钢轨间及车轮与轴承间摩擦生热等。我们通过温度自记仪在 14 个测点测量的数据来对比分析列车产热, 如图 2 所示。

通过图 2 可以看出, 各测点的空气温度在每日地铁开始运营后有所提升, 每辆列车的运行都会引起隧道内温度的小幅波动。但是由于监测段地铁投入运行时间较长, 活塞风阀处于关闭状态, 区间维护结构蓄热多、热容量大, 区间隧道各点温度浮动范围在 1°C 之内。在图 2a 和 2b 中, 测点 6 和测点 8 的温度值在列车不运行时波动相对较大, 此两点同处于站台隧道端点。隧道环境将在隧道端点通过活塞效应直接同站台环境相互作用。将站台周围的测点数据单独拿出来进行对比分析, 太原街站站台附近隧道及站台的温度变化, 如图 3 所示。

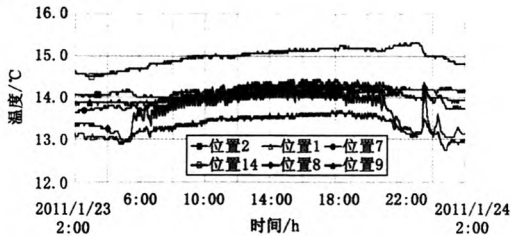


图3 太原街站附近隧道空气温度变化对比曲线
Fig. 3 Result of running tunnel temperature near Taiyuanjie station

由图 3 可知, 隧道的空气温度低于 15°C , 低于冬季室内供热的最低温度, 同时也低于站台空气

温度。这说明岩土蓄热及列车产热的热量是不能被站台有效利用的, 全高安全门系统在沈阳地区冬季运行时相比于屏蔽门系统增大了车站公共区空调通风系统的热负荷。

在图 3 中测点 8 的波动幅度大于测点 1, 测点 7 较测点 14 的波动幅度大, 由此可知, 站台内温度受隧道温度影响较小, 反而站台温度对隧道温度影响较为明显。这主要是活塞风作用造成的。

当列车进站的时候, 活塞风阀处于关闭状态, 活塞风 Q_a 的一部分进入迂回风道 Q_b , 一部分吹向车站 Q_c , 如图 4a 所示。隧道空气被挤入站台, 因此测点 1 的温度波动主要受列车产热影响, 受站台温度影响较小。当列车离站, 后方产生负压区, 车站 Q_c 和迂回风道 Q_b 的空气会被抽吸过来, 如图 4b 所示。车站的温度较隧道温度高, 因此测点 8 的温度受列车和站台温度的共同影响, 有明显的波动, 测试值在 $13.5^\circ\text{C} \sim 14.5^\circ\text{C}$ 之间。

站台和站台隧道平时是一个联通空间, 它们的压力保持一致, 当车辆来时, 活塞效应推动的空气应该符合流体力学中简单管路的并联方程, 如式(3)、式(4)。

$$Q_a = Q_b + Q_c \tag{3}$$

$$Q_b/Q_c = \sqrt{S_c/S_b} \tag{4}$$

式中 Q_a - 隧道中的总风量, m^3/h ; Q_b - 进入迂回风道的风量, m^3/h ; Q_c - 吹向站台的风量, m^3/h ; S_b - 迂回风道的阻抗, $\text{Pa} \cdot \text{h}^2/\text{m}^6$; S_c - 吹向站台侧的阻抗, $\text{Pa} \cdot \text{h}^2/\text{m}^6$ 。

由式(4)可知, 地铁隧道各开口的活塞风量是由各段分支阻抗决定的, 并联分支段中阻抗大的一段通过活塞风量小。北京科技大学王峰等人^[7]

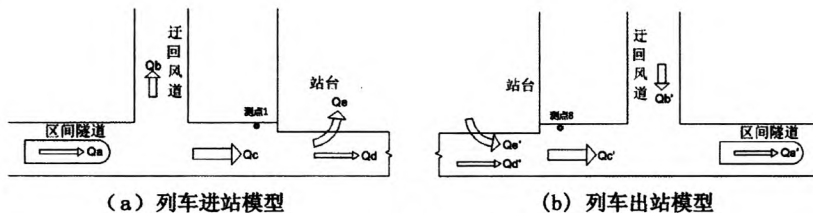


图4 活塞风在隧道内流动模型

Fig.4 Schematic model of piston wind in tunnel

与同济大学吴喜平教授等人^[9]都以不装站台门时的车站为研究对象。当站台装有全高安全门后, $Q_c \neq Q_d$, 存在一个并联问题。对于进口三通, 局部阻力系数 $\xi_{ce} \gg \xi_{cd}$, 因此 Q_c 较小, 隧道对于车站的温度影响较小; 而在出口三通中, $\xi_{ce} \approx \xi_{cd}$, Q_c 较大, 站台的温度对隧道的温度影响因此较大。

通过以上数据的分析, 隧道温度处于比较平稳的范围, 平均温度为 13.66℃。这满足规范中规定的冬季隧道平均温度高于 5℃^[13]。但是隧道空气温度相对于车站供热系统较低, 热量不能被站台有效利用, 建议我国严寒地区地铁车站安装可调通风型站台门^[14-15]。可调通风型站台门可以在夏季实现安全门功能, 并在过渡季和冬季运行时实现屏蔽门功能, 有效防止车站公共区的能量耗散。

2.2 热风幕对出入段隧道温度的影响

列车的出、入段线隧道通过罩棚与室外直接相连, 其温度受室外气温影响较大, 具体数据如图 5。

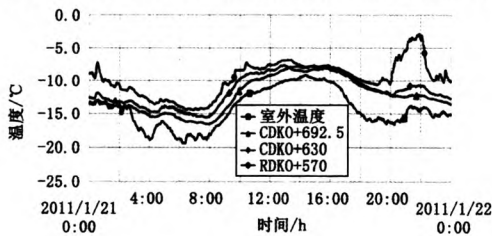
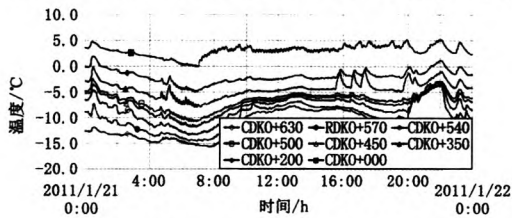


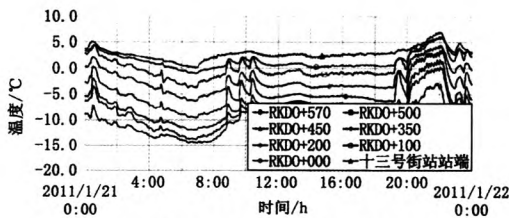
图5 罩棚内空气温度及室外温度变化曲线对比

Fig.5 Comparison of awning temperature vs. outdoor temperature

由图 5 知, 室外温度日浮动在 -20℃ ~ -10℃ 之间, 罩棚中的三条曲线同室外温度曲线



(a) 出段线隧道及罩棚内空气温度变化曲线



(b) 入段线隧道及罩棚内空气温度变化曲线

图6 出、入段线隧道空气温度变化曲线

Fig.6 Temperature result of out-section and in-section of the line

的趋势基本一致。尤其在 6 时到 20 时, 温度浮动的同步性很高, 由于热风幕没有工作, 地铁频繁的运动导致室外空气同罩棚内空气经常性的混合。结果说明对于地铁系统, 在出、入段线室外温度对罩棚内的温度影响是显而易见的。夜晚隧道内的温度随着室外气温将持续下降。为了降低此影响, 沈阳地铁在隧道入口处加装了两排侧送风热风幕, 功率为 105kW, 送风温度 30℃, 送风量为 29 700m³/h, 开启时间为 20 时至 22 时。温度自记仪在 17 个测点测量的数据如图 6。

由图 6 可以看出, 20 时前气温已经开始下降, 但是热风幕的打开, 改变了温度变化的趋势。在出段线, 列车的活塞效应使热风幕的暖风和室外冷空气一同进入隧道, 此时空气温度会比此前略高, 由于壁面的热惰性, 隧道温度升高出现了一定的延迟性; 在出段线, 随着进入隧道空气温度的升高, 十三号街站站端温度有所提升, 在活塞风的作用下, 较温暖的空气不断吹向隧道的出口, 使入段线隧道温度显著提高。

根据《建筑设计防火规范》中关于隧道防火的规定, 严寒地区消防管路和消防栓需采取防冻措施。从图中可以看出, 热风幕的开启对隧道起到了很重要的升温作用, 如图 6b 中的样 13 号站站端测点温度曲线, 在 21 日中该测点最低温度是 6 时 50 至 58 分出现的 0.1℃。这表明, 在沈阳地铁隧道中的第一站, 也受室外极端气温影响最大的车站隧道温度全天保持在零度以上, 地铁车站的消防管路可以不设保温即满足防冻要求。

总体来说,出、入段线隧道热环境主要受列车运行情况影响,具体表现在列车的活塞效应致使室外冷空气及热风幕热空气经常性地进入隧道进而影响隧道的热环境。如果较好的利用热风幕可以有效提高地铁区间的温度,减弱室外环境对地铁隧道温度的影响,防止消防管路的冻裂。

3 结论

1)在严寒地区冬季,列车的频繁运动及活塞效应使室外冷空气较大程度地影响了出、入段线隧道的温度,并使之具有很高的同步性。在隧道入口加上热风幕可以有效打破这种同步趋势,利用列车运行时的活塞效应短时间内提高隧道温度,使端点车站隧道温度高于 0°C 。

2)在严寒地区冬季,活塞竖井关闭的情况下,列车运行热量及站台空气通过活塞效应对隧道温度产生了间歇性的影响,但地下岩土能较好的维持隧道内的温度,使之在 1°C 范围内波动。

3)在我国严寒地区冬季地铁隧道温度满足平均温度 5°C 的设计规范,但其仍低于供热的最低温度,且低于实际车站温度,说明冬季隧道热量是不能被站台利用的。建议我国严寒地区地铁车站安装可调通风型站台门,并在冬季运行时实现屏蔽门功能,有效防止车站公共区的能量耗散。

参考文献:

[1] 王丽慧. 地铁区间隧道速度场温度场特性研究[J]. 制冷学报, 2010, 31(3): 55-62.

[2] HUANG YUANDONG, GAO WEI. A numerical study of the train-induced unsteady airflow in a subway tunnel with natural ventilation ducts using the dynamic layering method[J]. Journal of Hydrodynamics, 2010, 22(2): 164-172.

[3] HUANG YUANDONG, GONG XIAOLU, PENG YUE-JIAO, et al. Effects of the ventilation duct arrangement and duct geometry on ventilation performance in a sub-

way tunnel[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2011, 26(2011): 725-733.

[4] GUAN X Y, JIANG Y Q, YAO Y. CFD simulation of a novel ventilation system of subway station in Harbin[J]. Building Simulation, 2007, 13(2007): 432-436.

[5] YUAN FENG DONG, YOU SHI JUN. CFD simulation and optimization of the ventilation for subway side-platform[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2007, 22(2007): 474-482.

[6] LIN C, YEW K C, CHIA W L. A study on underground tunnel ventilation for piston effects influenced by draught relief shaft in subway system[J]. Applied Thermal Engineering, 2008, 28(2008): 372-379.

[7] JIA LI, HUANG PENG, YANG LIXIN. Numerical simulation of flow characteristics in a subway station[J]. Heat Transfer - Asian Research, 2009, 38(5): 275-283.

[8] FENG WANG, ZHI FANGYIN. A study on subway tunnel ventilation for piston effects[J]. International Conference on Pipelines and Trenchless Technology, 2009: 910-921.

[9] 李涛. 活塞风对地铁站内环境的影响[D]. 天津: 天津大学, 2005.

[10] 王栋, 吴喜平, 于连广. 地铁车站过渡季节环控测试研究[J]. 建筑节能, 2011, 38(11): 72-75.

[11] 沈翔, 吴喜平, 董志周. 地铁活塞风特性的测试研究[J]. 暖通空调, 2005, 35(3): 103-106.

[12] HU ZENGHUI, LI XIAOZHAO, ZHAO XIAOBAO. Numerical analysis of factors affecting the range of heat transfer in earth surrounding three subways[J]. Mining and Technology, 2008, 18(2008): 67-71.

[13] GB 50157-2003, 地铁设计规范[S].

[14] 李国庆, 张春生. 城市轨道交通发展中的屏蔽门创新[J]. 都市快轨交通, 2007, 20(5): 81-84.

[15] 王奕然, 李国庆, 袁凤东. 设置可调通风型站台门的地铁通风空调系统方案研究[J]. 暖通空调, 2011, 41(6): 24-29.

(责任编辑 刘存英)