

文章编号: 1671-6612 (2019) 05-481-05

# 联络线对地铁通风与热环境的影响

兰定京<sup>1</sup> 何磊<sup>2</sup> 雷波<sup>1</sup> 邓保顺<sup>2</sup> 郭永桢<sup>2</sup>

(1. 西南交通大学机械工程学院 成都 610031;

2. 中铁第一勘察设计院集团有限公司 西安 710043)

**【摘要】** 建立了西安地铁两条运营线路的 SES 模型, 对联络线连通前、后隧道风量、活塞风井风量以及隧道空气温度的变化进行了计算分析, 结果表明: 隧道风量最多变化了 57.75m<sup>3</sup>/s; 风量变化最大的活塞风井排风量增加了 33.59m<sup>3</sup>/s, 进风量减少了 22.61m<sup>3</sup>/s; 隧道空气温度最多上升了 0.67℃。以上变化最大值均出现在联络线前后两个车站范围以内。

**【关键词】** 联络线; 地铁通风; 隧道温度

中图分类号 TU834 文献标识码 B

## Effect of Connecting Line on Ventilation and Thermal Environment of Subway

Lan Dingjing<sup>1</sup> He Lei<sup>2</sup> Lei Bo<sup>1</sup> Deng Baoshun<sup>2</sup> Guo Yongzhen<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, 610031;

2. China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd, Xi'an, 710043)

**【Abstract】** In this paper, the SES model of two operation lines of Xi'an Metro is established, and the changes of tunnel air volume, piston air shaft air volume and tunnel air temperature before and after connecting the connecting lines are calculated and analyzed. The results show that: the maximum change of tunnel air volume is 57.75m<sup>3</sup>/s; the piston air shaft with the largest air volume change has an increase of 33.59m<sup>3</sup>/s in exhaust air volume and a decrease of 22.61m<sup>3</sup>/s in intake air volume; the air temperature in the tunnel increased by 0.67 °C at most. The maximum changes above are within the scope of two stations before and after the connecting line.

**【Keywords】** Connecting line; Subway ventilation; Tunnel temperature

## 0 引言

为了满足车辆调度、跨线运营等实际需求<sup>[1]</sup>, 不同的地铁运营线路之间往往会通过联络线连接起来。但由于工期差异及未来线路规划的不确定性, 地铁隧道的通风设计很难照顾到联络线带来的影响。实际上, 不同运营线路经由联络线隧道连通后, 空气流动变得异常复杂, 这将直接导致隧道通风及热环境有别于单线工况。

目前已有大量学者做过单线隧道的通风及热

环境研究, 例如: Ke<sup>[2]</sup>用数值模拟的方法对地铁隧道及车站活塞效应的影响进行了研究; 唐莎<sup>[3]</sup>分析了屏蔽门系统地铁隧道内的空气温度分布特性; 华正博<sup>[4]</sup>采用 SES 分析了正常工况下轨行区有、无轨道排热系统两种情况下的隧道空气温度分布情况。对于非单线隧道, 贾力、黄鹏<sup>[5]</sup>等采用 CFD 数值模拟的方法, 对地铁双向隧道内列车运动对隧道内空气流动特性的影响作了初步的讨论; 高宏<sup>[6]</sup>以武汉市某条地铁线路为例, 关于交叉渡线处的活

基金项目: 陕西省重点研发计划 2018SF-393

作者简介: 兰定京 (1995.8-), 男, 在读硕士研究生, E-mail: vaebro@foxmail.com

通讯作者: 何磊 (1987.8-), 男, 博士, 高级工程师, E-mail: swjtuhl822@126.com

收稿日期: 2019-06-20

塞风井设置对地铁隧道热环境影响进行了研究；李竞岷<sup>[7]</sup>等选取地铁某线9个区间隧道冷态通风试验，讨论了联络通道防火门打开前、后隧道内部气流组织变化其影响。目前，尚未见到针对联络线对地铁通风和热环境影响的相关研究。

本文以西安地铁两条运营线路为例，建立两条线路的完整SES模型，计算联络线连通前、后隧道风量、活塞风井风量以及隧道空气温度的变化，分析联络线对地铁通风和热环境的影响。

### 1 计算模型

西安地铁的A、B两条线路中，A线全长26.3km，共计21个车站，B线全长25.4km，共计19个车站，所有车站均为地下车站，并设有屏蔽门系统。本文将以A<sub>1</sub>-A<sub>21</sub>代指A线沿线各个车站，B<sub>1</sub>-B<sub>19</sub>代指B线沿线各个车站。A线行车对数为24对/h，B线行车对数为19对/h，两线最大行车速度均为80km/h。

两线在A线上行的A<sub>10</sub>站及B线下行的B<sub>10</sub>站处通过联络线于站外相连。此外，两线在靠近联络线处均设有渡线，如图1所示。

根据地铁设计规范，选择西安最热月7月平均温度26.7℃作为计算温度。

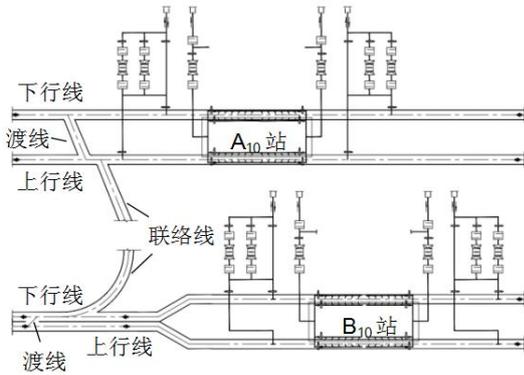


图1 联络线位置示意图

Fig.1 Schematic diagram of contacting line location

## 2 计算结果与分析

### 2.1 隧道与活塞风井风量变化

本文中，隧道风量变化 $\Delta L$ 定义为有、无联络线时的隧道风量之差，活塞风井风量变化 $\Delta L_s$ 定义为有、无联络线时的活塞风井风量之差。活塞风井的进风量及排风量均以正值表示。

#### 2.1.1 A线风量变化分析

联络线连通前、后A线隧道的风量变化情况如图2所示。由图2可知A线上行线联络线处风量变化最大，增加了41.98m<sup>3</sup>/s，该处隧道断面积为29.6m<sup>2</sup>，对应的风速变化为1.42m/s。下行线渡线处风量变化最大，增加了28.14m<sup>3</sup>/s，该处隧道断面积为23.0m<sup>2</sup>，对应的风速变化为1.22m/s。图2表明在经过联络线前，上、下行线的隧道风量均有所增加。这是因为A线原来的空气压力大于B线，联络线接通后使得A线上、下行线的隧道压力均有所减小，导致经A<sub>9</sub>站、A<sub>10</sub>站活塞风井排出的风量变小，更多的空气留在了隧道里面。而在经过联络线后，A线上、下行线的隧道风量均有所减少，这是部分气流通过联络线流入了B线隧道所致。

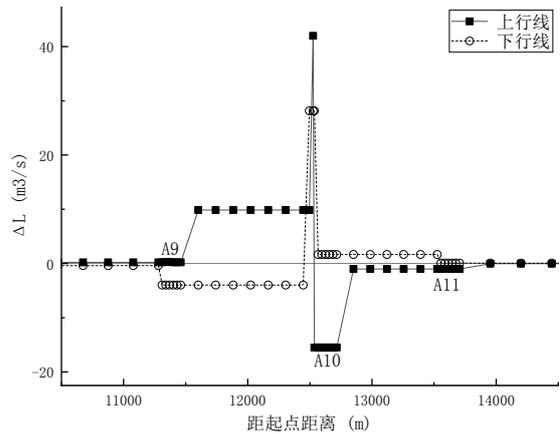


图2 A线隧道风量变化情况

Fig.2 Change of tunnel air volume of line A

表1统计了A线活塞风井的进、排风情况。

表1 A线活塞风井风量变化统计 (m<sup>3</sup>/s)

Table 1 Statistics of air volume change in piston air shaft of line A

类别	无联络线	有联络线	$\Delta L_s$
总进风量	1429.77	1452.93	23.16
总排风量	1343.72	1309.39	-34.33

由表1可知，A线活塞风井总进风量增加了23.16m<sup>3</sup>/s，总排风量减少了34.33m<sup>3</sup>/s。通过对比各活塞风井的风量变化，发现A线临近联络线的A<sub>9</sub>站和A<sub>10</sub>站活塞风井风量变化最为明显，如图3所示。

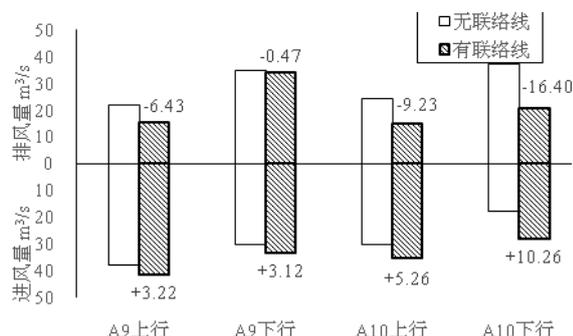


图 3 A 线主要活塞风井风量变化情况

Fig.3 Air volume change of main piston air shaft of line A

由图 3 可知, A<sub>9</sub> 站和 A<sub>10</sub> 站的活塞风井均表现为排风减少, 进风增多。其中最接近联络线的 A<sub>10</sub> 站下行方向活塞风井风量变化最大, 排风量减少了 16.40m<sup>3</sup>/s, 进风量增加了 10.26m<sup>3</sup>/s。

2.1.2 B 线风量变化分析

联络线连通前、后 B 线隧道的风量变化情况如图 4 所示。由图 4 可知 B 线上行线整体风量变化不大, 均在 1m<sup>3</sup>/s 以下, 对应的风速变化可以忽略不计。下行线联络线处风量变化最大, 减小了 57.75m<sup>3</sup>/s, 该处隧道断面积为 29.6m<sup>2</sup>, 对应的风速变化为 -1.95m/s。相较于 A 线而言, B 线隧道整体风量变化更小, 分析原因为 B<sub>10</sub> 站下行线的活塞风井与联络线非常接近, 从 A 线排入的空气将 B 线的隧道空气通过该活塞风井挤出隧道, 抵消了大部分 A 线空气带来的风量变化。

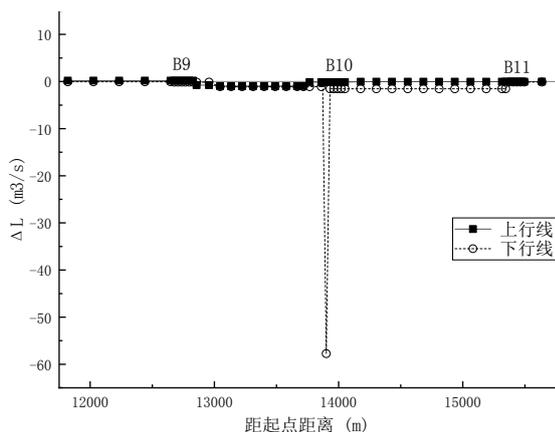


图 4 B 线隧道风量变化情况

Fig.4 Change of tunnel air volume of line B

表 2 统计了 B 线活塞风井的进排风变化情况。由表 2 可知 B 线活塞风井总进风量减少了 22.60m<sup>3</sup>/s, 总排风量增加了 34.89m<sup>3</sup>/s。其中 B 线

临近联络线的 B<sub>9</sub> 站和 B<sub>10</sub> 站活塞风井风量变化最为明显。如图 5 所示, B<sub>10</sub> 站下行线活塞风井的风量变化最大, 排风量增加了 33.59m<sup>3</sup>/s, 进风量减少了 22.61m<sup>3</sup>/s。如前所述, 这是由于该活塞风井最接近联络线, 产生了更多的风量变化。

表 2 B 线活塞风井风量变化统计 (m<sup>3</sup>/s)

Table 2 Statistics of air volume change in piston air shaft of line B

类别	无联络线	有联络线	ΔLs
总进风量	1612.50	1589.90	-22.60
总排风量	1555.72	1590.61	34.89

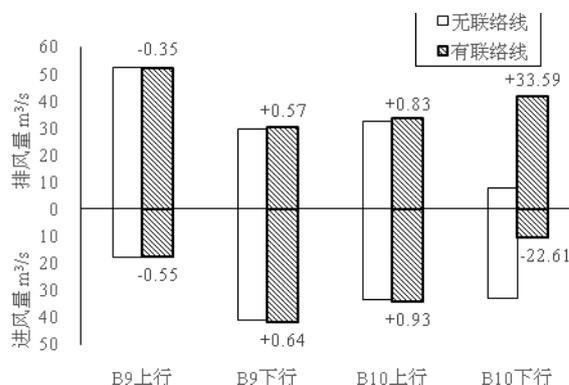


图 5 B 线主要活塞风井风量变化情况

Fig.5 Air volume change of main piston air shaft of line B

从图 2、图 4 可知联络线对隧道风量的影响范围主要为其所在的区间隧道。从图 3、图 5 可知临近联络线的活塞风井风量变化最大。

2.1.3 整体风量变化分析

对于任何一个地铁隧道系统来说, 整个系统的进风量与排风量应该是相等的。此处选择排风量来表示系统与外界的交流风量。

系统与外界连通主要靠隧道的出入口以及各个风井, 这些通道的风量变化可以直观反映出整个系统与外界的风量交换情况, 如表 3 所示。

表 3 系统与外界风量交换统计 (m<sup>3</sup>/s)

Table 3 Statistics of air volume exchange between system and outside

线路	类别	无联络线	有联络线	风量变化
	出入口	297.00	297.00	0
A 线	风井	1343.72	1309.39	-34.33
	总风量	1640.72	1606.39	-34.33

续表 3 系统与外界风量交换统计 (m³/s)

线路	类别	无联络线	有联络线	风量变化
	出入口	230.38	230.38	0
B 线	风井	1555.72	1590.61	34.89
	总风量	1786.10	1820.99	34.89
A+B 线	总风量	3426.81	3427.38	0.57

表 3 反映出,隧道的出入口处几乎没有受到联络线的影响。两线通过联络线连通后, A 线与外界少交换了 34.33m³/s 的风量, B 线则是与外界多交换了 34.89m³/s 的风量。总的看来,两线与外界产生的风量交换各有增减,但总交换量基本不变。

### 2.2 隧道空气温度分布变化

本文中,隧道空气温度变化 $\Delta T$ 定义为有、无联络线时的隧道空气温度之差。

#### 2.2.1 A 线温度变化分析

联络线连通前、后 A 线空气温度变化情况如图 6 所示。从图 6 可以看出 A 线上行线温度差值最大处出现在 A<sub>10</sub> 站轨行区及 A<sub>10</sub> 站至 A<sub>11</sub> 站的区间隧道,为-0.39℃,下行线差值最大处出现在 A<sub>10</sub> 站轨行区,为 0.56℃。联络线连通后, A 线上行线整体温度有所下降,但在 A<sub>10</sub> 站轨行区处温度有小幅度上升。这是因为上行线的高温空气通过联络线流入了 B 线隧道,使得下游 A<sub>10</sub> 站轨行区的活塞效应减弱,通过活塞效应所排除的列车停靠站台时的产热量减少,因此 A<sub>10</sub> 站轨行区的温度有所上升。A 线下行线整体隧道温度表现为升高,根据上一节的分析,这是由于联络线连通后下行线排风量减少,更多的高温空气留在隧道之中导致隧道温度升高。

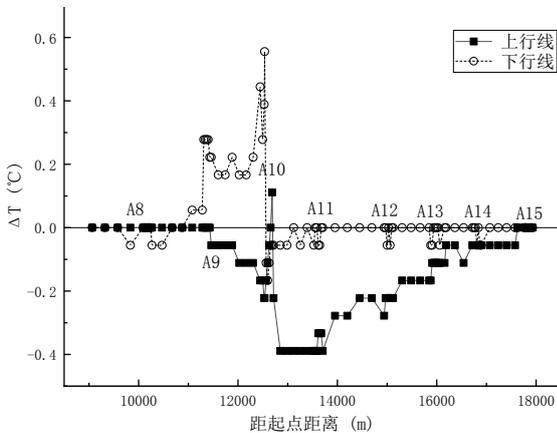


图 6 A 线空气温度变化情况

Fig.6 Air temperature change of line A

#### 2.2.2 B 线温度变化分析

联络线连通前、后 B 线空气温度变化情况如图 7 所示。从图 7 可以看出, B 线上、下行线的隧道空气温度均有所上升。其中, B 线上行线空气温度最大差值为 0.44℃,出现在 B<sub>10</sub> 站轨行区。B 线下行线空气温度最大差值为 0.67℃,出现在 B<sub>9</sub> 站轨行区。值得注意的是 B 线整体的风量变化很小,但隧道空气温度变化却很大。分析原因是自 A 线流入的高温空气等量替代了 B 线原有的隧道空气流向了下游方向,并通过渡线将影响传至 B 线上行线,使得上、下行隧道的空气温度均有较大变化。

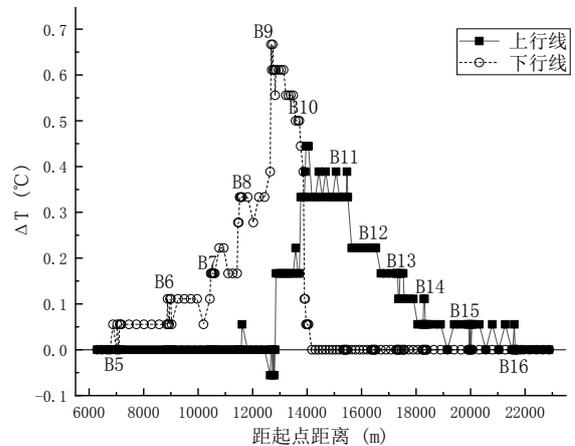


图 7 B 线空气温度变化情况

Fig.7 Air temperature change of line B

从图 6、图 7 可以看出,与联络线对隧道风量的影响范围不同,联络线对隧道空气温度的影响范围不仅仅局限于联络线所在的区间隧道,但温度变化最大处总是出现在临近联络线的下游车站轨行区。由联络线带来的温度上升有可能使地铁隧道温度超出地铁设计规范的限定值,因此在隧道通风设计时,有必要将联络线的影响纳入考虑之中。

### 3 结论

通过对西安地铁两条运营线路联络线连通前、后隧道空气温度、风量以及活塞风井风量的变化进行分析,得出以下结论:

- (1) 联络线对其所在的区间隧道风量影响最大,最大处风量变化了 57.75m³/s,其余区间隧道风量变化很小;临近联络线的活塞风井风量变化最大,受影响最大的风井排风量增加了 33.59m³/s,进风量减少了 22.61m³/s,其余风井风量变化很小;两线通过联络线连通后与外界产生的风量交换各

有增减, 但总换气量基本不变。

(2) 联络线对临近的下游车站轨行区温度影响最大, 最大处温度上升了 0.67℃。

上述结论表明, 联络线对地铁通风和热环境存在不可忽略的影响, 工程设计中应该考虑这个因素。

#### 参考文献:

- [1] 蒋玉琨. 轨道交通路网规划中联络线布局方法[J]. 中国铁道科学, 2006, (5): 122-126.
- [2] KE M -T, CHENG T C. Numerical simulation for optimizing the design of subway environmental control

system[J]. Building and Enviro, 2002, 37: 1139-1152.

- [3] 唐莎, 雷波. 屏蔽门系统地铁隧道空气温度分布特性研究[J]. 制冷与空调, 2018, 32(1): 82-85.
- [4] 华正博. 屏蔽门制式地铁轨行区通风模式研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2012.
- [5] 贾力, 黄鹏, 李时娟. 地铁双线隧道内流动特性的数值模拟[J]. 热科学与技术, 2006, (4): 331-334.
- [6] 高宏. 交叉渡线处活塞风井设置对地铁隧道热环境影响[J]. 建筑热能通风空调, 2010, 29(04): 89-91.
- [7] 李竞发, 李宏文, 王靖波, 等. 地铁区间隧道及联络通道气流组织特性试验研究[J]. 消防科学与技术, 2018, 37(6): 753-756.

#### (上接第 480 页)

(2) 无泵降温: 利用引射原理, 使水自动提升, 再进行蒸发冷却, 且无氟利昂类制冷剂, 具有臭氧消耗系数 (ODP) 和温室效应系数 (GWP) 均为零的环保优点;

(3) 舒适健康: 动感单车无动力蒸发冷却空调采用直流式全新风, 直送直排, 正好满足健身房人员密集度高, 室内空气二氧化碳浓度高, 需要大量新风保证舒适性的特点。

(4) 高效冷却: 本创新作品充分利用填料特点, 过风阻水, 延长蒸发冷却时长, 并且让新风在填料中进行一次湿过滤, 保证新风数量及新风质量。

(5) 工位送风: 冷量损耗小, 更舒适。

#### 参考文献:

- [1] 杜芳莉, 魏朝晖. 健身房有效通风气流组织的研究[J]. 制

冷与空调, 2017, 31(3): 336-340.

- [2] 申长军, 黄翔, 宋祥龙, 等. 蒸发冷却空调与风光互补发电结合使用的可行性分析[J]. 制冷与空调, 2014, 14(9): 50-53.
- [3] 汤珍, 都经杰. 巢湖市动感单车现状的调查分析[J]. 宿州教育学院学报, 2012, 15(2): 154-157.
- [4] 陆大江, 沈逸蕾. 健身房运动环境的研究与分析[J]. 体育与科学, 2012, 33(3): 9-17.
- [5] 吴显庆, 钱付平, 阚竟生, 等. 通风方式对室内热舒适性影响的数值模拟[J]. 制冷与空调, 2015, 29(1): 16-21.
- [6] 孙燕. 高大中庭空调气流组织的数值模拟研究[D]. 济南: 山东建筑大学, 2013.
- [7] 姚林, 彭小勇, 刘振昊. 不同气流组织下空调客房热舒适性的数值模拟[J]. 制冷与空调, 2012, 26(1): 101-106.
- [8] 高志明. 体育馆空调气流组织数值模拟及节能优化研究[D]. 广州: 华南理工大学