

文章编号: 1006 - 2106( 2012) 04 - 0104 - 04

# 南京地铁过江隧道通风系统方案研究<sup>\*</sup>

张之启<sup>\*\*</sup>

( 中铁第四勘察设计院集团有限公司 , 武汉 430063)

**摘要:** 研究目的: 随着国内地铁线路的增多 , 有时难免需要穿越大江、大河; 同时随着隧道数量的增多 , 在隧道中发生的火灾也越来越频繁 , 危害性也越来越严重 隧道通风排烟系统成为日益重要的研究课题。

**研究结论:** 本文针对地铁的长大过江区间隧道 , 从通风系统形式、气流组织等方面详细研究了长大区间隧道的通风、排烟系统设计方案 , 对于同时存在多列车同向运行的长大区间隧道 , 当区间隧道采用大洞方案时 , 设置顶部风道、风口来组织隧道内的通风排烟; 当区间隧道采用小洞方案时 , 在区间隧道上设置中间风井 , 利用中间风井进行通风排烟。

**关键词:** 地铁; 系统; 通风; 排烟; 过江隧道; 大洞方案; 小洞方案; 火灾工况

**中图分类号:** U25      **文献标识码:** A

## Research on Ventilation System Scheme for River - crossing Tunnel of Nanjing Subway

ZHANG Zhi - qi

( China Railway Siyuan Survey and Design Group Co. Ltd , Wuhan , Hubei 430063 , China)

**Abstract: Research purposes:** With the more and more subway built in China , some subways have to cross the big river. With the increase of tunnels , more and more fire accidents happened in tunnels that caused more serious harmfulness. Therefore , the ventilation and discharge smoke system inside tunnels becomes one of the most important research topics.

**Research conclusions:** This paper researches the ventilation and discharge smoke schemes for the large river - crossing tunnel of subway from the areas of the form of the ventilation system and the organization of air flow. For the large tunnel in which the several trains run simultaneously in the same direction , when the large tunnel is design , the top air channels and top air vents should be installed for the ventilation and discharge smoke. When the small tunnel is designed , the intermediate air channels and vents should be installed for the ventilation and discharge smoke.

**Key words:** subway; system; ventilation; discharge smoke; river - crossing tunnel; big tunnel; small tunnel; fire

地铁长隧道由于具有狭长的几何尺寸和发车密度高、客流大等运营特点 , 当灾害来临时 , 易发生燃烧迅速、烟气弥漫快、疏散空间狭窄、人员疏散慢等不利情况。由于列车运行和设备运转等都会散发大量的热量 , 若不及时排除 , 隧道内部的环境会使得设备无法正

常运转。因此 , 必须设置通风系统 , 对隧道内部的空气温度、气流速度和空气质量等空气环境因素进行控制 , 保证地铁设备能够正常运转。本文结合南京地铁 3 号线工程可行性研究报告 , 探讨南京地铁过江隧道通风系统的设计方案。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2011 - 08 - 04

<sup>\*\*</sup> 作者简介: 张之启 , 1980 年出生 , 男 , 工程师。

## 1 工程概况

南京地铁3号线是一条整体呈南北走向的线路, 沿线经过江北的浦口区、江南的下关区、鼓楼区、玄武区等重要片区。浦珠路站—滨江路站过江(长江)隧道区间长度为3 321 m, 属超长区间, 其区间通风(包括正常运营模式、阻塞运营模式、火灾工况排烟模式等)模式应通过模拟计算、分析比选来确定。

南京地铁3号线越江隧道采用盾构法施工方案, 具体分为大洞方案和小洞方案。下面对大洞方案、小洞方案的隧道通风系统分别进行分析研究。

## 2 大洞方案的通风系统

### 2.1 大洞方案简介

大洞方案地铁过江隧道主体为一条单洞双线圆形盾构隧道, 隧道直径11 m, 隧道内加设中隔墙, 设计为防火墙, 将隧道分为2个相对独立的部分, 墙上每200 m开设防火门1个, 为列车着火时人员疏散使用。由于不设置中间通风竖井, 利用圆形隧道顶部比较大的空间在两条线路的顶部设置一条土建通风道, 采用纵向通风方式来解决过江隧道列车阻塞与火灾事故时的通风排烟。土建风道面积约为 $10.6\text{ m}^2$ , 从滨江路站北端的事故/活塞风道开始, 到浦珠路路南端的事故/活塞风道结束, 该风道作为列车在隧道内发生火灾时的排烟风道或送风风道, 车站事故风机通过区间事故风阀和结构风道相连。两车站端部靠过江区间的单台隧道风机风量为 $80\text{ m}^3/\text{s}$ , 风压为 $1\,400\text{ Pa}$ 。如图1所示。

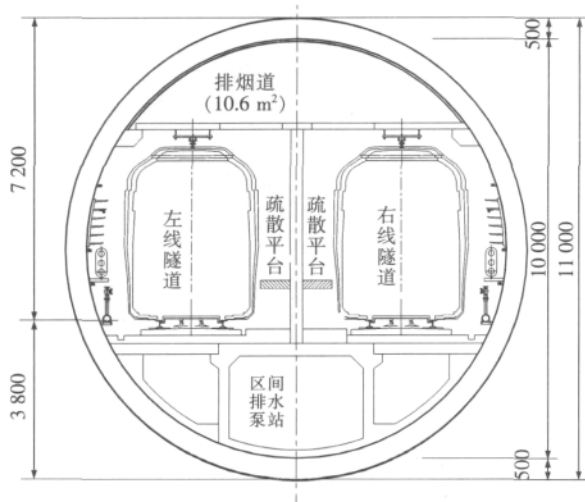


图1 大洞方案断面图(单位: mm)

### 2.2 正常运行工况

由于在大洞中间布置了隔墙, 使得单洞的断面积

与一般区间隧道面积相差不大, 在这种条件下经模拟计算可知, 正常运行时过江段远期隧道温度最高点为 $38.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 可以控制在规范要求的 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内。正常运行时, 利用列车运行的活塞效应, 使隧道与外界通风换气, 维持温度不超过 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的规范标准。

### 2.3 区间阻塞工况

当列车由于事故阻塞在区间隧道时, 应根据列车的阻塞地点对阻塞段区间隧道进行机械通风, 保证该段区间隧道内温度不超过 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 且最不利点温度满足列车空调冷凝器工作温度( $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ )。列车在该段隧道内发生阻塞的最不利情况为同方向阻塞两列车, 此时列车前进方向车站一端的两台事故风机并联送风, 同时后方车站一端的两台事故风机并联排风。经模拟计算, 对区间的纵向通风可控制隧道内最不利点温度不超过 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 且该段区间风速大于 $2\text{ m/s}$ 。

### 2.4 区间火灾工况

由于利用过江隧道上部的富裕空间设置了排烟道(兼送风道), 因此提出了以下2个非常规的通风防排烟方案进行研究分析。

#### 2.4.1 方案一——区间中部集中设1组排烟口的两段式方案

区间中部设一组排烟口是在过江段区间隧道左右线中间顶部各开1组 $3\text{ m}$ (宽) $\times 5\text{ m}$ (长)的排烟口, 同时也可以做为送风口, 列车着火时可根据火灾位置组织气流纵向送风, 人员可以通过隔墙上的防火门进入另一条隧道逃生。活塞风井至排烟口之间的距离为 $1\,660\text{ m}$ , 而两列车在本区间的最小间距约为 $1\,800\text{ m}$ , 因此在活塞风井和排烟口之间不可能同时存在两辆列车。火灾时, 打开中部排烟口, 根据火灾位置的不同, 开启一端(远离火灾点)的车站隧道风机通过排烟道进行排烟, 开启另一端(靠近火灾点)的车站隧道风机通过隧道进行送风。

#### 2.4.2 方案二——区间轨顶分散设多组排烟口的多段式方案

采取在区间轨顶设多组排烟口的多段式方法, 这种方案是在火灾列车上方直接排烟。只需将火灾列车产生的烟气直接由列车顶部的排烟口经排烟道排出隧道, 具体设置就是在盾构段顶部每隔 $60\text{ m}$ 开一个 $3\text{ m}\times 3\text{ m}$ 的排烟口, 排烟口均为常闭式排烟口, 列车着火后以列车中部为基准点, 根据火灾的位置开启列车上方前后共 $180\text{ m}$ 范围内的4个排烟口, 同时打开两端排烟风机, 利用顶部产生的吸力达到横向排烟的效果, 使烟气在最短时间内进入排烟道, 并保证烟气离疏散平台距离不小于 $2\text{ m}$ , 以保证人员顺利疏散及救援。这种情况下只考虑列车着火一种情况, 不分列车在车

身何处着火,但要求事故列车的停车位置精确,以便于就近开启其顶部的排烟口,及时排除烟气。

综上所述,大洞方案的两种排烟模式均能满足排烟要求。方案一控制点较少,操作方便,漏风量也较少,因而可靠性较高。而方案二采用横向排烟,从理论上讲其排烟效果好于纵向排烟,但排烟口数量多,漏风量较大,控制点多,控制模式相对复杂。故大洞方案采用方案一排烟方式较优。

### 3 小洞方案的通风系统

#### 3.1 小洞方案简介

当地铁过江隧道主体为两条单线圆形盾构隧道时,单洞隧道直径仅为 6.2 m,由于没有条件设置专用的送、排风道,因此只适于采用纵向通风方式。纵向通风方式具有系统简洁易实施的优点,但由于其沿行车

方向纵向排烟的特点,火灾发生后易造成隧道内温度升高快,对隧道结构破坏面积大的缺点,人员疏散环境恶化得也很快,人员可用疏散时间相对缩短。纵向通风方式不适于同时疏散两列及两列以上满载乘客的列车,当可能出现该状况时,可通过设置中间风井来解决。由于该区间过长,会出现两列车在区间内追踪的情况,因此在该区间必须设置中间风井及联络通道。两中间风井将整个区间分为三段,其中中间风井的设置原则是保证两风井所在的中间区段内不会同时存在两列车且尽量保证中间风井都设在长江两岸的陆地上。从浦珠路站至滨江路站方向依次分为 a、b、c 三段,长度分别为 1 220 m、1 800 m、301 m。由于两列车在本区间的最小间距约为 1 800 m,因此不会出现两列车在同一区段内。如图 2、图 3 所示。

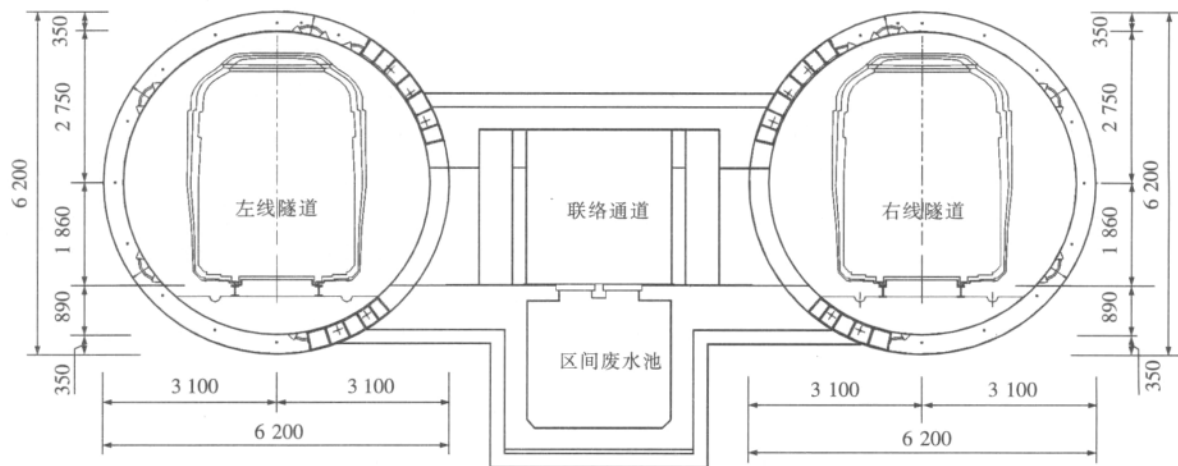


图 2 小洞方案断面图(单位: mm)

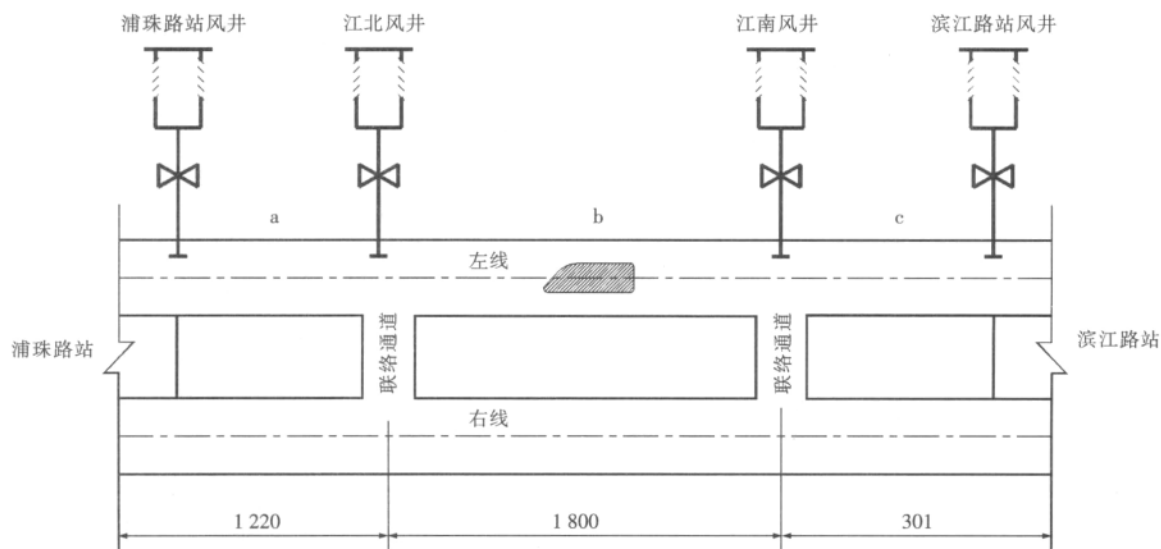


图 3 小洞方案分段示意图(单位: m)

对于过江段,由于距离较长,为了便于隧道内外气体热湿交换,为地下空间尽量创造一个好的环境,采用技术比较成熟,通风效果好的双活塞风道形式。活塞风井兼区间事故风井,通风竖井内设置活塞风道和事故通风机房,机房内设置2台隧道风机单台风量 $60\text{ m}^3/\text{s}$ ,风压 $1\,000\text{ Pa}$ ,并设置相应的消声器、风阀等设备。

### 3.2 正常运行工况

列车正常运行时,利用列车运行的活塞效应,使隧道与外界通风换气,来自自然冷却三段隧道。经计算,在远期晚高峰运行条件下,区间小时平均温度维持在 $31\sim 36\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,绝大多数区域维持在 $32\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,仅靠活塞风就可以控制在规范要求的 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内。

### 3.3 区间阻塞工况

若停车时间超过 $2\text{ min}$ ,即确定为列车阻塞;当确定列车阻塞在区间隧道时,区间隧道通风系统将被启动进行阻塞通风,降低阻塞列车位置处的隧道温度,阻塞通风的运行模式一般考虑按与行车一致的方向送风,此种情况下温度控制点为列车车头处的环境温度,保证该段区间隧道内温度不超过 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,且最不利点温度满足列车空调冷凝器工作温度( $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ )。

列车由于事故阻塞在a段右线区间隧道时,开启浦珠路路南端右线事故风机并联动送风,同时开启长江北岸通风竖井内右线事故风机排风。列车由于事故阻塞在b段右线区间隧道时,开启长江北岸竖井内右线事故风机送风,同时长江南岸竖井内右线事故风机排风。列车由于事故阻塞在c段右线区间隧道时,开启滨江路站北端右线事故风机排风,江南岸竖井内右线事故风机送风。阻塞在左线区间隧道时,隧道风机的送排与右线区间的相反。列车在a、b两个区间有同时阻塞时,在这种情况下采用中间风井送风,两端风井排风的运行模式,即两列车中间的通风竖井内风机送风而两列车两端竖井或车站风机排风的形式。经初步模拟计算以上情况下对区间的纵向通风均能满足区间阻塞时的温度要求,且该段区间风速大于 $2\text{ m/s}$ 。

### 3.4 区间火灾工况

当列车区间隧道内发生火灾事故时,应根据火灾地点有效组织通风、排烟和人员疏散,由区间一端的风机送风,另一端排烟,排烟方向与多数人员的疏散方向相反,人员可就近疏散到车站或通过联络通道疏散到另一条隧道内。火灾模拟情况分析如下。

#### 3.4.1 火灾情况1——两中间风井间右线列车车尾着火

列车停在浦珠站—滨江路站区间右线两中间风井之间且列车尾部发生火灾,此时应按与行车相反方向

组织排除烟气,多数乘客按与行车一致的方向疏散,开启列车头前部的联络通道,通过相邻隧道疏散乘客。此时关闭车站轨道排风系统,开启右线江北中间风井事故风机排风,右线江南风井事故风机送风,同时关闭滨江路站及浦珠路站车站右线各活塞风道的活塞风阀。模拟显示流经火灾列车断面空气流速 $1.72\text{ m/s}$ ,小于危急空气流速 $2\text{ m/s}$ ,不能有效控制烟气流动。因此加开浦珠路站右线出站端隧道风机排风,加开江北风井左线隧道风机送风以维持联络通道相对火灾隧道正压,模拟显示此时流经火灾列车断面空气流速 $2.34\text{ m/s}$ ,满足烟气控制要求。

#### 3.4.2 火灾情况2——两中间风井间右线列车车头着火

列车停在浦珠路站—滨江路站区间右线两中间风井之间且列车头部发生火灾,根据控制排除烟气原则,此时应按与行车一致的方向组织排除烟气,多数乘客按与行车相反的方向疏散,开启列车尾部后部的联络通道,通过相邻隧道疏散乘客。关闭车站轨道排风系统,开启江北中间风井右线事故风机送风,江南风井右线事故风机、滨江路站北端右线事故风机排风,开启江南风井左线隧道风机送风以维持联络通道相对火灾隧道正压,同时关闭浦珠路站及滨江路站车站右线各活塞风道的活塞风阀。模拟显示流经火灾列车断面空气流速 $2.50\text{ m/s}$ ,满足烟气控制要求。

#### 3.4.3 火灾情况3——浦珠路站—江北风井间右线列车车头火灾

列车停在浦珠路站—江北风井间右线且列车车头发生火灾,此时应按与行车一致的方向组织排除烟气,多数乘客按与行车相反的方向疏散至浦珠路车站站台。此时关闭车站轨道排风系统,开启浦珠路站右线出站端隧道风机送风,江北及江南风井右线事故风机排风,同时关闭浦珠路站所有活塞风道的活塞风阀及滨江路站车站右线各活塞风道的活塞风阀,开启江北风井左线隧道风机送风以维持联络通道相对火灾隧道正压,模拟显示流经火灾列车断面空气流速 $2.31\text{ m/s}$ ,满足烟气控制要求。

## 4 结论

根据以上分析研究,对于同时存在多列车同向运行的长大区间隧道,当采用大洞方案时,需在隧道内设置顶部排烟风道、若干排烟口,将隧道分为若干个通风排烟区段;当采用小洞方案时,需在区间隧道上设置中间风井,利用中间风井将隧道分为若干个通风排烟区段,从而保证长大区间隧道的每个通风排烟区段内只

(下转第117页)

铁路养护维修基地上主要有以下几点异同。

(1) 对于新建线路,维修基地设置的类型级别相同,均为两级机构。

(2) 维修基地设置的地点,国标规定设置在新线,UIC 标准规定还可设在既有普速线路上。

(3) 维修基地的规模: UIC 标准设置股道数量较多、长度较大,而占地面积相同。

(4) 国标与 UIC 标准在维修基地生产生活设施上基本相同,在铁路线路、加油设施和堆场设置上略有不同。

总的来说,UIC 标准规定的内容较为具体,而国标则较为宏观。

## 参考文献:

- [1] 张一兵. 铁道行业标准应重点采用国际铁路联盟(UIC)标准[J]. 铁道技术监督, 2000(9): 13-15.  
Zhang Yibing. Railway Should Use UIC Standards [J]. Railway Technology Supervision, 2000(9): 13-15.
- [2] 雷中林. UIC 标准限界及相关问题计算研究[J]. 铁道工程学报, 2011(8): 121-125.  
Lei Zhonglin. Research on Calculations of UIC Gauge

Code and Its Relative Issues [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2011(8): 121-125.

- [3] UIC—IF—7/96, 高速铁路线养护维修[S].  
UIC—IF—7/96, Maintenance of High Speed Lines [S].
- [4] UIC—720, 无缝线路养护维修[S].  
UIC—720, Laying and Maintenance of CWR Track [S].
- [5] TB 10621—2009, 高速铁路设计规范(试行) [S].  
TB 10621—2009 High Speed Railway Design Standards [S].
- [6] 铁运[2009]36号, 关于客运专线固定设施维修管理有关问题的指导意见[S].  
Railway Transportation [2009] No. 36, Directive Options on Maintenance of Fixed Installation of Passengers only Railway [S].
- [7] 崔艳萍. 我国客运专线基础设施养护维修体制模式研究[J]. 铁路运输与经济, 2008(10): 89-91.  
Cui Yanping. Study on the Modes of PDL Infrastructure Maintenance and Repair System [J]. Railway Transportation and Economy, 2008(10): 89-91.

(编辑 赵立兰)

(上接第107页)

有一列车,这样才能对事故列车组织起有效的通风排烟和救援,以及使非事故列车不受影响。

## 参考文献:

- [1] GB 50019—2003, 采暖通风与空气调节设计规范[S].  
GB 50019—2003, Code for Design of Heating Ventilation and Air Conditioning [S].
- [2] GB 50157—2003, 地铁设计规范[S].  
GB 50157—2003, Code for Design of Metro [S].
- [3] GB 50490—2009, 城市轨道交通技术规范[S].  
GB 50490—2009, Technical Code of Urban Rail Transit [S].
- [4] 中铁第四勘察设计院集团有限公司. 南京地铁三号线工程可行性研究报告[R]. 武汉: 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 2009.  
China Railway Siyuan Survey and Design Group Co. Ltd. The Feasibility Report for the Third Metro of Nanjing [R]. Wuhan: China Railway Siyuan Survey and Design Group Co. Ltd, 2009.
- [5] 赵运臣, 方正. 长大交通隧道防灾设计探讨[J]. 铁道工程学报, 2007(3): 40-44.  
Zhao Yunchen, Fang Zheng. Exploration on Disaster Prevention Design of Long Traffic Tunnels [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2007(3): 40-44.

- [6] 冯炼. 地铁环境控制系统的应用及其数值模拟软件[J]. 城市轨道交通研究, 1999(2): 37-39.  
Feng Lian. The Study and Development of the Subway Environmental Control and Numerical Simulation [J]. Urban Mass Transit, 1999(2): 37-39.
- [7] 本德利斯. 隧道内的火灾和人员营救[J]. 隧道与地下空间技术, 2002(17): 159-161.  
A. G. Bendelius Tunnel Fire and Life Safety Within the World Road Association [J]. Tunneling and Underground Space technology, 2002(17): 159-161.
- [8] 英戈. 等. 吉斯维尔隧道的通风系统[J]. 隧道(中文版), 2005(1): 27-28.  
Dr. Ingo RieB M. Lempp. Ventilation System for the Giswil Tunnel [J]. Tunnel, 2005(1): 27-28.
- [9] 米莉亚. 鲁内哈马隧道大型火灾试验综述[J]. 隧道(中文版), 2005(11): 4-7.  
Mirjam Nelisse, J. Brekelmans, A. Iemaire, Dr. H. Ingason A. Jonnermark. Overview of the Large-Scale Fire Tests in the Runehamar Tunnel [J]. Tunnel, 2005(11): 4-7.

(编辑 梅志山)