

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2017.01.019

# 地铁长大过海区间 隧道通风排烟方案

朱祝龙, 田峰, 陈洋, 张宇

(中铁隧道勘测设计院有限公司第五设计分院, 天津 300133)

**摘要:** 针对地铁长大过海区间隧道通风排烟问题, 结合青岛地铁1号线瓦贵区间工程, 采用理论及对比分析、数值解算等方法, 分析过海区间隧道区间风井设置、火灾工况气流组织等问题。介绍青岛地铁1号线瓦贵区间概况, 然后提出区间风井设置的要点, 参考国内相关城市过江工程实例, 采用土建排烟风道, 以保证灾害工况下两车追踪人员的疏散安全。阐述陆域段防排烟和海域段防排烟方案, 对于陆域段, 排烟方案可以按照常规地铁区间进行设置; 对于海域段, 需根据区间长度, 采用全吊顶或者局部吊顶排烟方案。通过研究区间火灾安全目标, 设定热释放功率为 10 MW, 隧道临界风速为 2.1 m/s, 重点排烟量为 80 m<sup>3</sup>/s, 并绘制通风网络解算结果图, 解算结果表明各区间风井的防排烟系统均满足规范要求。

**关键词:** 地铁; 长大过海区间; 通风排烟; 隧道; 海域防排烟; 通风网络解算

**中图分类号:** U231.5

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-6073(2017)01-0094-04

## Ventilation and Smoke Extraction in Long Subsea Subway Tunnel

ZHU Zhulong, TIAN Feng, CHEN Yang, ZHANG Yu

(Fifth Design Branch, China Railway Tunnel Survey &amp; Design Institute Co., Ltd., Tianjin 300133)

**Abstract:** Some technical problems including ventilation and smoke exhaust, fire escape and evacuation, etc., have occurred in long subsea tunnels with the rapid development of tunneling technology which allows to construct longer and more complicated subsea tunnels. Shaft and smoke extraction in the subsea section of the tunnel is analyzed by citing Wagui tunnel in Line 1 in Qingdao as a case. Theoretical and contrastive analysis is made and ventilation network calculation is done. The reasonable and feasible ventilation and smoke extraction that can ensure safe operation of the tunnel is put forward. The fire safety target is studied and it is found that the heat release power is set to 10 MW, the tunnel critical wind velocity is 2.1 m/s, the smoke emission is 80 m<sup>3</sup>/s, and the results of the ventilation network are plotted. The solution shows that every smoke control system of the ventilation can meet the requirements of the code.

**Keywords:** subway; long subsea section; ventilation and smoke extraction; tunnel; smoke prevention and control; ventilation network solution

### 1 研究背景

近年来, 地铁过海隧道作为改善城市环境、缓解城市交通的有效措施开始出现。地铁运营期间的主要灾害为火灾事故、大客流的人群踩踏事故、地铁工程水淹事故、恐怖袭击时的爆炸和毒气泄漏事故、高架线路列车脱轨事故等。对国内外地铁火灾、水灾、停电、列车出

轨或相撞、爆炸、地震等事故进行统计, 如图1所示<sup>[1-2]</sup>。

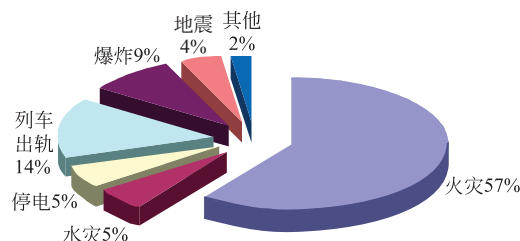


图1 地铁事故分布

Fig. 1 Statistics of subway accidents

收稿日期: 2016-01-15 修回日期: 2016-06-27

第一作者: 朱祝龙, 男, 工程师, 硕士, 主要从事地铁、公路隧道及铁路隧道设计工作, Zhuzhulongqd@163.com



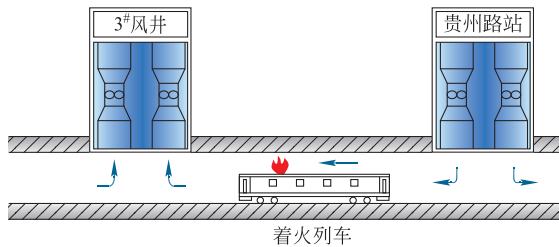


图5 陆域段3#区间风井—贵州路站区间  
列车火灾气流组织示意

Fig. 5 Diagram of air current with fire in  
3# shaft of Guizhou station for sea area

## 4.2 海域段防排烟方案

海域段(2#风井至3#风井4 km区间)远期高峰时段同一时刻有2列车运行,可以采用分段纵向排烟及半横向排烟方案。借鉴南京、武汉、厦门等城市轨道交通工程实例,在行车隧道上部设置土建排烟道,有局部设置排烟道和全长设置排烟道两种方案,如图6所示。

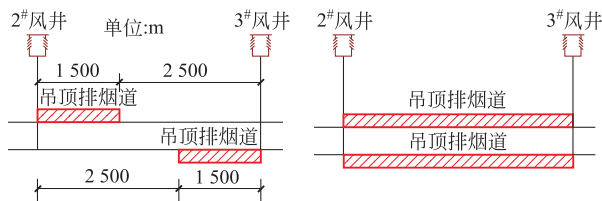


图6 海域段土建排烟道设置示意

Fig. 6 Diagram of smoke duct in sea area

为了避免海域段列车追踪,局部土建排烟道应能将整个区间划分为2个区段,且分段长度小于2 700 m。采用局部土建排烟道设置方案,若2#至3#区间风井为一个牵引供电区段,当前车车尾或后车车头着火排烟时将影响非火灾车辆人员的疏散。虽然局部土建排烟道设置方案工程投资少,施工工期短,但其不能解决整个海域段牵引断电时着火列车的排烟问题,因此海域段采用全长设置土建排烟道方案。全长设置排烟道时列车火灾气流组织示意如图7所示。

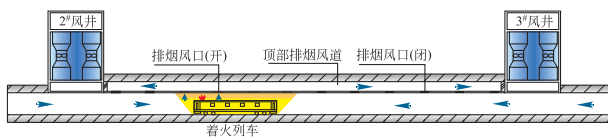


图7 列车火灾排烟气流组织

Fig. 7 Air current of smoke extraction  
when the train caught fire

## 5 区间火灾通风网络解算

### 5.1 区间火灾安全目标

1) 火源热释放功率。对于国内新投入运行的地

铁车辆,其结构都是由不燃或阻燃材料构成,列车内发生火灾多是由于乘客的行李燃烧后引起车厢内材料的局部燃烧。热释放速率设定为10 MW。

2) 排烟风速设定。《地铁设计规范》<sup>[9]</sup>第28.4.12条要求:区间隧道火灾的排烟量,应按单洞区间隧道断面的排烟流速不小于2 m/s且高于计算的临界风速计算,但排烟流速不得大于11 m/s。当隧道采用纵向通风控制烟流时,纵向风速应大于临界风速。纵向通风临界速度可由Kenndy公式<sup>[10]</sup>计算。

$$V_c = K_1 K_g (gHQ/\rho C_p A T_f)^{1/3} \quad (1)$$

$$T_f = (Q/\rho C_p A V_c) + T \quad (2)$$

$$K_g = 1 + 0.0374 G^{0.8} \quad (3)$$

式中, $K_1 = 0.606$ ;  $V_c$ 为临界风速, m/s;  $H$ 为隧道顶高度, m;  $A$ 为隧道断面面积,  $m^2$ ;  $G$ 为隧道坡度;  $K_g$ 为坡度修正系数;  $T_f$ 为烟气平均温度, K;  $T$ 为环境空气温度, K;  $C_p$ 为空气定压比热,  $kJ/(kg \cdot K)$ ;  $g$ 为重力加速度,  $m/s^2$ ;  $\rho$ 为空气密度,  $kg/m^3$ 。

经计算,本隧道临界风速为2.1 m/s。

3) 半横向排烟量设定。当隧道采用重点排烟时,根据《上海市建筑防排烟技术规程》相关要求,可采用轴对称模型计算火灾产烟量:

$$\text{当 } Z > Z_1 \text{ 时, } M_p = 0.071 Q_c^{1/3} Z^{5/3} + 0.0018 Q_c \quad (4)$$

$$\text{当 } Z \leq Z_1 \text{ 时, } M_p = 0.032 Q_c^{3/5} Z \quad (5)$$

$$Z_1 = 0.166 Q_c^{2/5} \quad (6)$$

$$\Delta T_p = Q_c / M_p C_p \quad (7)$$

$$V = M_p T / \rho_0 T_0 \quad (8)$$

式中, $Q_c$ 为热释放量的对流部分,一般取0.7  $Q$ , kW;  $Z$ 为燃料面到烟层底部的高度, m;  $Z_1$ 为火焰极限高度, m;  $M_p$ 为烟缕质量, kg/s;  $\Delta T_p$ 为烟气平均温度和环境温度差, K;  $C_p$ 为空气定压比热,  $kJ/(kg \cdot K)$ ;  $V$ 为排烟量,  $m^3/s$ ;  $\rho_0$ 为环境空气温度下的密度,  $kg/m^3$ ;  $T_0$ 为环境绝对温度, K;  $T$ 为烟气的绝对温度, K。

经计算,火灾下烟气产烟量为51  $m^3/s$ 。根据文献<sup>[11]</sup>研究,当排烟道风量达到80  $m^3/s$ 时,能长时间将10 MW规模火灾的烟气控制在列车周边150 m范围内,乘客只要及时撤离有烟区域即能安全疏散出去。因此综合产烟量、最大漏风量及相关研究,本研究设定重点排烟量为80  $m^3/s$ 。

### 5.2 网络解算

青岛地铁1号线采用站台门系统,隧道通风系统

采用双活塞风道模式。每座车站设置 4 台隧道风机, 每台风量为  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ 。结合前述分析, 1<sup>#</sup>风井设置 2 台隧道风机, 每台风量为  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ ; 2<sup>#</sup>和 3<sup>#</sup>风井分别设置 2 台隧道风机, 每台风量为  $80 \text{ m}^3/\text{s}$ 。当区间发生火灾时, 车站 U/O 风机不开启, 因此计算时不予考虑, 火灾阻力根据 PIARC 经验公式进行计算后作为自然风压等效处理, 停止列车的计算通风阻力等效隧道流程阻力<sup>[7]</sup>, 通风网络示意如图 8 所示。

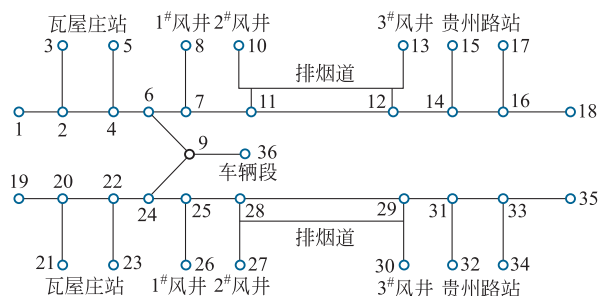


图 8 通风网络解算节点图

Fig. 8 Node diagram of ventilation network calculation in subsea tunnel

以左线海域段发生火灾为例, 开启 2<sup>#</sup>风井风机进行排烟, 3<sup>#</sup>风井风机进行补风, 在隧道内形成沿行车方向的气流, 海域段通风网络解算结果如图 9 所示。各区间火灾 (均以左线为例) 通风网络解算结果如表 1 所示。

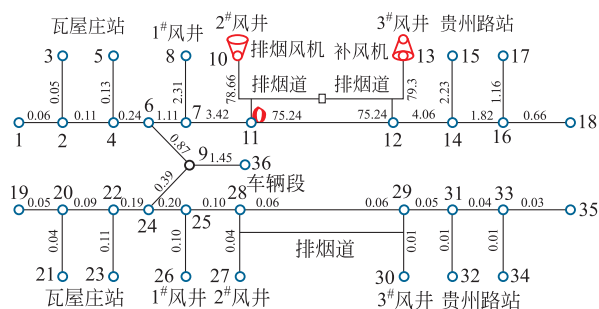


图 9 海域段通风网络解算结果

Fig. 9 Result of ventilation network calculation in subsea tunnel

### 5.3 解算结果判定

根据表 1, 各区间结果判定如表 2 所示。

## 6 结论与建议

对于地铁长大过海区间, 需针对不同区域设置不同的排烟方案。对于陆域段, 排烟方案可以按照常规地铁区间进行设置; 对于海域段, 需根据区间长度, 采用全吊顶或者局部吊顶排烟方案。

表 1 火灾工况计算风量

Tab. 1 Calculation of the wind on fire  $\text{m}^3/\text{s}$

主要区段编号	瓦屋庄站—1#风井火灾 (陆域段)	1#—2#风井火灾 (陆域段)	2#—3#风井火灾 (海域段)	3#—贵州路站火灾 (陆域段)
4—5	58.49	14.21	0.13	0.16
4—6	54.92	21.51	0.24	0.25
6—7	55.16	1.08	1.11	1.12
7—8	59.74	57.55	2.31	3.61
7—11	4.58	56.47	3.42	4.73
11—10	3.35	74.32	78.66	13.36
11—12	1.23	17.85	75.24	18.09
12—13	0.76	13.76	79.30	75.39
12—14	0.47	4.11	4.06	57.30
14—15	0.21	2.65	2.23	58.76

表 2 对比分析结果

Tab. 2 Comparison and analysis

区间	排烟模式	排烟量/ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	风速/ ( $\text{m/s}$ )	火灾要求	结果判定
瓦屋庄站—1#风井	纵向排烟	54.92	2.49	$> 2 \text{ m/s}$	满足要求
1#—2#风井	纵向排烟	56.47	2.59	$> 2 \text{ m/s}$	满足要求
2#—3#风井	半横向排烟	75.24	—	$> 51 \text{ m}^3/\text{s}$	满足要求
3#—贵州路站	纵向排烟	57.3	2.62	$> 2 \text{ m/s}$	满足要求

本文仅针对长大区间及相邻两车站进行火灾风网解算, 尚有待后续纳入全线进行解算, 以便提出更全面的火灾排烟方案及火灾工况下设备的联动措施。另外, 需结合通风排烟方式综合考虑人员疏散, 以便对工程最终实施提供更可靠的理论支撑。

### 参考文献

- [1] 中铁隧道勘测设计院有限公司. 青岛地铁 1 号线过海隧道工程专题研究报告[R]. 天津, 2014.  
China Railway Tunnel Survey & Design Institute Co., Ltd. Research report for the subsea tunnel in Line 1 in Qingdao [R]. Tianjin, 2014.
- [2] 陈菁菁. 城市轨道交通重大运营事故和灾害分析[J]. 城市轨道交通研究, 2010, 13(5): 41-45.  
CHEN Jingjing. Analysis on grave accidents and disasters in urban rail transit operation [J]. Urban mass transit, 2010, 13(5): 41-45.

(下转第 105 页)