

文章编号:1006-2106(2008)09-0062-04

特长城市道路水下隧道防排烟方案设计*

苏立勇**

(中铁第五勘察设计院集团有限公司, 北京 102600)

摘要:研究目的:隧道防排烟是隧道设计中的重点和难点,如何合理的设置防排烟系统不仅关系到隧道设计的成败,同时也关系到人民生命财产的安全。本文结合一水下特长隧道,研究如何选择合理的隧道防排烟设计方案,并为其他隧道设计提供借鉴。

研究结论:根据隧道所处路网、隧道内防灾救援设施的设置及交通状况、通风系统设置等实际情况,分析隧道不同路段灾害发生概率及造成损失的可接受程度,吸收性能化消防设计理念,对重点防灾地段采用横向重点排烟方案、对一般地段采用纵向综合排烟方案。并将民用建筑的防排烟设计理论引入到隧道防排烟设计中,完善了隧道防排烟设计理念。通过分析服务隧道和气流、人流组织情况,取消了服务隧道的正压设计,使隧道防排烟方案技术经济上更加合理。

关键词:隧道;通风;横向排烟;纵向排烟

中图分类号:U452.2 **文献标识码:**A

The Scheme Design for Resistance Discharge Fume in Extra-long Subsea Tunnel of City Roadway

SU Li-yong

(The Fifth Survey and Design Institute of China Railways, Beijing 102600, China)

Abstract: Research purposes: The resistance and discharge fume is the major and difficult part in the tunnel design. The rational design for the resistance and discharge fume system is in connecting with the tunnel design success-fail and the people's lives and property. Take the lengthy submarine tunnel for example, this paper studies how to choose rational design for the resistance and discharge fume system and provides referrence for other tunnel designs.

Research conclusions: According to the tunnel's road net, resistance and recovery facilities' layout, traffic conation, ventilation system, this paper analyzes the fire probability in the different regions and the accepted extent of loss and absorbs the concept of performance fire control design. The transverse ventilation was adopted in the important fire resistance position and the comprehensive discharge fume scheme on the base of longitudinal ventilation in the general position. The resistance and discharge fume theory of civil architecture was taken in the tunnel's resistance and discharge fume design, and the tunnel's resistance and discharge fume theory was perfected. By analyzing the service tunnel, air flow and personal dispersal, the service tunnel's positive pressure design was cancelled to make the tunnel's resistance and discharge fume scheme on economic technique more proper and feasible.

Key words: tunnel; ventilation; transverse ventilation; longitudinal ventilation

* 收稿日期:2008-04-24

** 作者简介:苏立勇,1973年出生,男,高级工程师,中铁第五勘察设计院集团有限公司建筑与地铁设计院副总工程师。

1 工程概况

国内某海底隧道工程是连接城市主城与辅城的重要通道,南接薛家岛,北连团岛,下穿湾口海域,隧道全长约8 000 m,双向六车道,设计车速80 km/h,设2条主隧道,海底段另设1条服务隧道。隧道在团岛端上岸后,逐渐分开,分别由四川路和云南路爬出地面,并在台西三路和团岛二路分别设置进、出匝道。隧道间设置横通道,无法设置横通道部分设置地面紧急疏散口。

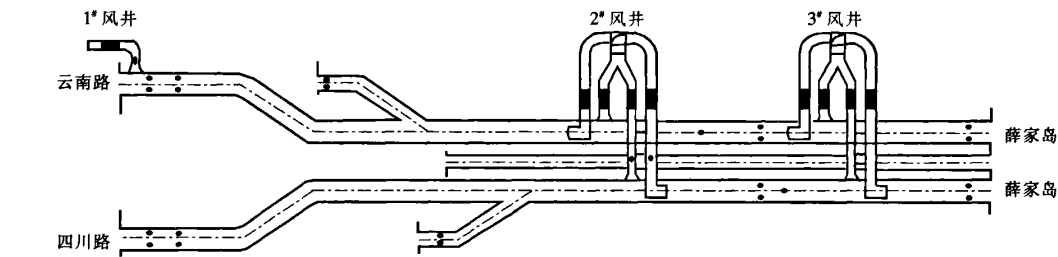


图1 双竖井送排式分段纵向通风方案示意图

2.2 通风系统组成与布置

通风系统由设在洞内的射流风机、联络风道、地下风机房、竖井等组成。在ZK 1+250、ZK 3+245、ZK 7+330处分别设置1座通风井,通风竖井中间设置隔板,分为送风井和排风井,送、排风井通过联络通道与隧道内联系。为减小对周围环境的影响,设置地下风机房。

为满足气流组织和调压需要,主隧道安装 $\phi 1\,250\text{ mm}$ 射流风机;进、出匝道隧道内设置 $\phi 710\text{ mm}$ 的射流风机;射流风机直接悬挂在隧道顶部,构成串、并联运行。

地下风机房内布置主轴流风机、消声器、电动风阀等设备。根据隧道内的情况,通过控制轴流风机、射流风机的组合运行,满足各种隧道运行工况。

3 隧道防排烟设计

隧道防排烟设计范围包括隧道内排烟、疏散通道加压送风等。

3.1 隧道防排烟设计的标准和要求

- (1) 隧道按照同一时间只发生一次火灾考虑;
- (2) 火灾规模根据预测交通量、交通方式和车种比例等选择确定;
- (3) 隧道应设置机械排烟系统;
- (4) 隧道火灾避难设施内设置独立的机械加压送风系统,其送风的余压值应为30~50 Pa。

2 隧道通风设计

2.1 隧道通风方案

隧道采用双竖井送排式分段纵向通风方案,左、右线隧道均在团岛和薛家岛岸边设置1座通风竖井,将隧道分为3段,通风区段长度分别为2 160/2 353 m、4 150/4 097 m、1 563/1 550 m,如图1所示。根据环保要求,在左线隧道云南路隧道出口端设置洞口高排风塔。

3.2 隧道火灾规模确定

火灾规模通常根据隧道内通行车辆的种类确定。胶州湾隧道为客运城市道路隧道,以小客车为主(远期小客车和中巴的比例高达94%)。根据美国国家防火协会(NFPA)、国际道路协会隧道委员会(PIARC)的相关推荐值,以及国内以客运为主的道路隧道选用火灾规模的调查结果^[1-2],设计选用20MW的火灾热释放率作为设计标准。

3.3 隧道防排烟方案选择

隧道排烟主要包括隧道纵向排烟方案和隧道横向排烟方案2种。

第1种隧道纵向排烟方案,主要应用于采用纵向通风的单向行车隧道内。火灾时,隧道通风排烟系统在隧道行车道内形成不小于临界风速的风流,使烟气顺车流方向流动。火灾点前方的车辆可以继续行驶顺利离开隧道;火灾点后方的车辆处于新风流中,可以安全撤离。纵向排烟方案的优点是是与隧道通风系统合用,造价低;其缺点是火灾时事故地点的前方交通阻塞,车辆将受到烟气威胁,甚至形成更大的灾害。

第2种隧道横向排烟方案,在隧道顶部设置排烟道和电动排烟风口。发生火灾时,启动排烟风机和相应排烟风口,排除隧道内烟气,保证人员的安全疏散和救援。横向排烟方案的优点是排烟效果好;其缺点是难以与目前采用的纵向通风系统合用,需单独设置排烟道、排烟风机等,造价高。

总结以往工程的经验教训,根据该隧道所处路网,隧道内防灾救援设施的设置及交通状况,通风系统设置等实际情况,分析隧道阻塞工况下发生火灾的概率和人员疏散,对重点防灾地段采用横向重点排烟,对于一般地段采用纵向排烟的综合排烟方案。

该隧道为城市快速路的一部分,全线不设置平交路口,且为三车道隧道,在隧道出口和一般路段不易发生阻塞,且有横通道服务隧道联系,因此该区段可以采用纵向排烟方案。

但对于入线匝道与隧道连接处,则容易发生阻塞和交通事故,其发生火灾的概率远高于其他地段。同时考虑到该点后方接线隧道采用地面疏散口方式进行人员疏散,疏散较为困难;入线匝道发生火灾时匝道内采用纵向排烟容易进入主隧道。由此看出,如果采用纵向排烟方案,则隧道阻塞时火灾点前方人员疏散困难,容易造成重大的人员伤亡;结合考虑隧道拱部空间可以利用,为保证人员安全,对于隧道右线 YK 1 + 650 ~ YK 3 + 245 部分设置横向重点排烟,即在隧道顶部设置专用排烟风道。隧道发生火灾时利用排烟风道横向排除烟气,保证最小清晰高度,以利于人员疏散和救援。

出线匝道隧道洞口为平交路口,发生阻塞的可能性较大。但由于匝道断面较小,难以设置顶部排烟道,因此,通过在该路口和较远处设置监视器,并与隧道控制中心、市交通控制中心连接,匝道隧道设置紧急行车道等措施,避免车辆堵塞在匝道隧道内,造成灾害事故的发生。

3.4 隧道内排烟量计算方法

根据隧道不同排烟地段的排烟方式的不同,分别采用不同的排烟计算方法。隧道横向排烟量采用美国防火协会 NFPA 推荐的“最小清晰高度”计算方法进行计算,隧道纵向排烟量采用“临界风速”^[1]公式确定。经计算,隧道横向排烟量为 59.5 ~ 73.4 m³/s,主隧道纵向排烟临界风速为 2.32 m/s,匝道隧道纵向排烟临界风速为 2.44 m/s。

隧道横向排烟量计算公式为^[1]:

$$M_p = 0.032 Q_c^{3/5} Z \quad (1)$$

$$H = 1.6 + 0.1 H \quad (2)$$

$$\Delta T = Q_c / M_p C_p \quad (3)$$

$$V = M_p T / \rho_0 T_0 \quad (4)$$

式中 M_p ——烟缕质量流量(kg/s);

Q_c ——热释放率的对流部分(kW),一般取值为 0.7 Q ;

Z ——燃料面到烟层底部的高度(m);

H_q ——最小清晰高度(m);

H ——排烟空间的建筑净高度(m);

C_p ——空气的定压比热(J/kg · K),一般取 1.02;

ΔT ——烟气温度与环境温度的差(℃);

V ——排烟量(m³/s);

ρ_0 ——环境温度下气体的密度,通常 $t_0 = 20$ ℃ 时, $\rho_0 = 1.2$ kg/m³;

T ——烟气的绝对温度(K), $T = T_0 + \Delta T$;

T_0 ——环境的绝对温度(K)。

隧道纵向排烟量计算公式为^[1]:

$$V_c = K_g \cdot K \cdot \left[\frac{gHQ}{\rho_\infty C_p \Delta T_f} \right]^{1/3} \quad (5)$$

$$T_f = \frac{Q}{\rho_\infty C_p A V_c} + T_\infty \quad (6)$$

式中 V_c ——临界速度(m/s);

g ——重力加速度(m/s²);

H ——隧道高度(m);

Q ——火源热量释放效率(W);

ρ_∞ ——周围空气密度(kg/m³);

C_p ——在恒压下的空气比热(J/kg · K);

A ——隧道净横断面面积(m²);

T_f ——热空气温度(K);

K ——无量纲系数,取 0.61;

K_g ——坡度修正系数;

T_∞ ——环境温度(K)。

3.5 隧道防排烟系统布置

右线隧道 YK 1 + 650 ~ YK 3 + 245 采用半横向重点排烟方式,在隧道顶部设置专用排烟风道,隧道排风机兼做隧道排烟风机。行车道顶部隔板中央每隔一定间距设置电动可调风门,发生火灾时打开电动可调风门进行排烟,保证隧道内发生火灾时的最小清晰高度,为人员疏散和消防救援提供保障。

主隧道除半横向重点排烟地段外的其余部分,以及进、出匝道均采用纵向排烟方式,隧道根据运营通风和防灾需要设置风机。隧道发生火灾时通过射流风机和轴流风机的联合运行,在隧道内形成不小于临界风速的风流,使烟气顺车流方向流动,为人员疏散和消防救援提供保障。

3.6 隧道防排烟气流组织

在横向排烟地段发生火灾时,应首先降低隧道内风速,防止火源迅速扩大和烟雾的蔓延,然后打开火灾点处的排烟口,启动排烟风机,排除隧道内的烟气。同时,视火灾具体位置,对服务隧道或紧急疏散口进行加

压送风,保证疏散人员的安全。

在主隧道的纵向排烟地段发生火灾时,应首先降低隧道内风速,防止火源迅速扩大;然后启动一定数量的射流风机和轴流风机,为隧道提供一定的纵向风速(略大于临界风速),避免烟雾的反向蔓延。同时,对服务隧道进行加压送风,保证疏散人员的安全。

火灾发生在进口匝道段时,首先降低隧道内风速,防止火源迅速扩大;启动匝道内的射流风机,为隧道提供一定的纵向风速(略大于临界风速),避免烟雾的反向蔓延。同时,打开匝道与主隧道连接处的排烟口,启动排烟风机,通过排烟风道排除隧道内的烟气。

火灾发生在出口匝道段时,首先降低隧道内风速,防止火源迅速扩大;启动匝道内的射流风机和轴流风机,为隧道提供一定的纵向风速(略大于临界风速),避免烟雾的反向蔓延,烟气由匝道驶出峒口排出。

3.7 紧急疏散口和服务隧道防排烟

3.7.1 紧急疏散口防排烟

隧道在团岛端上岸后,逐渐分开,分别由四川路和云南路爬出地面,其线间距长达500 m左右,难以设置横通道。为保证人员的安全疏散,在该隧道部分间隔一定距离设置紧急疏散口直通地面。

对于地面紧急疏散口设置加压送风机,采用加压送风方式,避免烟气侵入,其计算按压差法和流速法^[9]进行。

3.7.2 服务隧道防排烟

隧道在海底段设置服务隧道,服务隧道采用纵向通风方式,在团岛和黄岛端洞口设送风机和排风机。

由于设置服务隧道的部分采用纵向排烟方式,从气流组织和人员疏散方案看,火灾点前方的人员和车辆可以顺利疏散,无需开启防火门横向疏散人员和车辆;火灾点后方的人员和车辆尽管需要开启防火门横向疏散人员和车辆,但由于处于新风中,不存在烟气进入服务隧道的可能。且由于防火门和卷帘门面积大,若采用正压设计则经济上不合理、技术上难以实现。

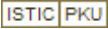
因此服务隧道不考虑正压通风设计。但防灾时,可利用正常通风的风机给予一定的正压。

4 结论

随着我国经济发展的需要,已建和拟建的长大水下隧道越来越多,比如伶仃洋海底隧道、台湾海峡隧道、琼州海峡隧道等。对于特长海底道路隧道,在隧道防排烟方案设计中,应结合隧道的路网、车辆、交通、周边环境等实际情况,采用合理可行的设计方案。本隧道排烟设计方案吸收了性能化消防设计的理念,具有以下特点:分析隧道不同路段灾害发生概率及造成损失的可接受程度;将普通民用建筑的防排烟设计理论引入到隧道防排烟设计中,在一定程度上完善了隧道防排烟设计理论。分析了服务隧道和气流、人流组织情况,取消了服务隧道的正压设计,采取不同的排烟措施,使隧道的防排烟达到技术经济上更加合理。通过对隧道通风及防排烟方案的探讨,希望能为国内同类工程的设计提供借鉴作用。

参考文献:

- [1] 顾闻,乔宗韶,沈婕青. 隧道通风设计中火灾热释放率的取用[J]. 地下工程与隧道,2005(4):58-62.
- [2] 黄元红,杨福基. 纵向通风隧道火灾场景的选择[J]. 公路交通技术,2006(2):108-110.
- [3] Gonzalez J A, Danaziger N H. 公路隧道的防火通风设计[J]. 隧道译丛,1994(2):12-17.
- [4] GB 50016—2006,建筑设计防火规范[S].
- [5] 范益群,王曦,蒋卫艇,等. 水底公路隧道安全方案及消防安全性能化设计[J]. 中国勘察设计,2006(1):60-64.
- [6] 殷李革. 越江隧道的性能化消防安全设计对策[J]. 消防科学与技术,2006(5):357-359.
- [7] JTJ 026. 1—1999,公路隧道通风照明设计规范[S].
- [8] DGJ—88—2006,建筑防排烟技术规程[S].
- [9] GB 50045—95,高层民用建筑设计防火规范[S].

作者: [苏立勇](#), [SU Li-yong](#)
作者单位: [中铁第五勘察设计院集团有限公司, 北京, 102600](#)
刊名: [铁道工程学报](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)
年, 卷(期): 2008, 25 (9)

参考文献(9条)

1. [顾闻;乔宗韶;沈婕青](#) [隧道通风设计中火灾热释放率的取用](#)[期刊论文]-[地下工程与隧道](#) 2005 (04)
2. [黄元红;杨福基](#) [纵向通风隧道火灾场景的选择](#)[期刊论文]-[公路交通技术](#) 2006 (02)
3. [Gonzalez J A;Danaziger N H](#) [公路隧道的防火通风设计](#) 1994 (02)
4. [GB 50016-2006](#). [建筑设计防火规范](#)
5. [范益群;王曦;蒋卫艇](#) [水底公路隧道安全方案及消防安全性能化设计](#)[期刊论文]-[中国勘察设计](#) 2006 (01)
6. [殷李革](#) [越江隧道的性能化消防安全设计对策](#)[期刊论文]-[消防科学与技术](#) 2006 (05)
7. [JTJ 026. 1-1999](#). [公路隧道通风照明设计规范](#)
8. [DGJ 88-2006](#). [建筑防排烟技术规程](#)
9. [GB 50045-1995](#). [高层民用建筑设计防火规范](#)

本文读者也读过(10条)

1. [苏立勇](#) [胶州湾隧道防排烟方案设计](#)[会议论文]-2008
2. [唐铮铮](#) [日本东京湾横断道路的隧道防灾系统](#)[期刊论文]-[中国交通信息产业](#)2004 (4)
3. [陶双江](#) [竖井对长大公路隧道火灾影响的模型试验研究](#)[学位论文]2004
4. [董勤银](#) [乌鞘岭特长隧道救援防灾预案及坍塌技术措施](#)[期刊论文]-[西部探矿工程](#)2006, 18 (11)
5. [西安金路交通工程科技发展有限责任公司](#) [《雁门关公路隧道运营通风与防灾技术研究》课题成果简介](#)[期刊论文]-[中国交通信息产业](#)2004 (12)
6. [范益群. 曾明. 曹文宏. 乔宗韶](#) [水底公路隧道的风险管理](#)[会议论文]-2005
7. [梁晖. LIANG Hui](#) [地铁火灾防排烟设计探讨](#)[期刊论文]-[中国安全生产科学技术](#)2010, 06 (6)
8. [胡斌. 宋国森. 张协崇](#) [特长公路隧道平导通风方式研究及优化](#)[会议论文]-2010
9. [李保国. 王建民. 孟庆一. Li Baogou. Wang Jianmin. Meng Qingyi](#) [建筑防排烟系统在消防中的地位及影响因素](#)[期刊论文]-[河北建筑工程学院学报](#)2005, 23 (1)
10. [刘磊. LIU lei](#) [防排烟系统设计施工中的问题分析及应对措施](#)[期刊论文]-[黄石理工学院学报](#)2010, 26 (4)

引用本文格式: [苏立勇. SU Li-yong](#) [特长城市道路水下隧道防排烟方案设计](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2008 (9)