

特长公路隧道集中排烟方式研究*

张玉春¹, 何川¹, 曾艳华¹, 吴德兴^{1,2}

(1. 西南交通大学地下工程系, 成都 610031; 2. 浙江省交通规划设计研究院, 杭州 310006)

摘要: 纵向通风排烟是我国长大公路隧道发生火灾时通风的主要形式, 目前开始应用一种新型的特长公路隧道纵向通风集中排烟方式。本文借助CFD三维数值模拟技术, 对两种排烟方式在火灾时的烟气控制效果进行了对比分析, 研究了顶部设排烟道时, 不同排烟开口大小和排烟口间距对隧道火灾时排烟效果的影响。研究表明: 顶部设排烟道排烟较纵向通风排烟有较好的烟气控制效果, 排烟口的设置间距和开口大小将影响隧道火灾时的排烟特性。

关键词: 公路隧道火灾; 烟气特性; 排烟方式; 数值模拟

中图分类号: U453.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2132(2009)06-0663-05

0 引言

隧道火灾发生的概率较小, 但一旦发生且短时间内得不到有效控制, 将造成重大的社会影响和经济损失。近年来, 随着现代隧道技术的日臻成熟, 公路隧道朝着长大、特长化的方向发展。特长公路隧道由于距离长、隧道内车辆和人员密集, 具有火灾时排烟与散热条件差、烟雾浓度大、人员疏散和救援困难等特点^[1,2], 因此研究特长公路隧道火灾时的烟气控制显得尤为重要。

现阶段我国长大公路隧道营运通风的主要形式为纵向通风, 火灾时隧道的排烟也采用纵向排烟, 即通过临界风速控制火灾烟气蔓延, 烟气将沿隧道下游纵向流动, 通过隧道出口或竖(斜)井排出。该方式在隧道发生火灾时通风机正常启动下能有效阻止火灾烟气向隧道上游蔓延, 保障火灾上游人员的生命安全^[3-5]。但在隧道单洞双向交通发生火灾事故或隧道发生二次事故(如追尾、翻车)引发火灾时, 纵向排烟并不能有效解决排烟等问题。针对特长隧道纵向通风方式在运营通风和火灾通风时的优缺点, 一种新型的特长隧道集中排烟方式被提出^[6,7]。本文针对特长公路隧道集中排烟方式, 开展了隧道火灾时集中排烟方式的火灾排烟特性研究, 分析隧道纵向通风排烟和顶部设排烟道集中排烟方式的烟流控制效果, 研究顶部设排烟道时不同开口大小和间距对排烟效果的影响, 为特长公路隧道合理选择排烟方式

提供依据。

1 模型建立与火灾场景

1.1 隧道模型

隧道纵向通风集中排烟方式在我国大型跨江(海)隧道已开始采用, 如在建的上海长江隧道, 浙江省的庆春路过江隧道和钱江隧道在设计阶段均采用了集中排烟模式^[8,9]。特长隧道纵向通风集中排烟方式是在隧道顶部加设排烟通道, 隧道营运时采用纵向通风, 火灾时采用排烟通道排烟, 控制烟气蔓延, 如图1和图2所示。

针对集中排烟方式, 以浙江某特长公路隧道为模型, 借助大型流体计算软件FLUENT对该公路隧道发生火灾进行三维实体模拟, 该隧道长度为7 900 m, 隧道断面积65 m², 隧道内间隔250 m设置疏散人行横通道, 隧道坡度为1.7%, 选取长度1 300 m模型进行火灾模拟分析。图3为隧道顶部设排烟道的三维模型, 图4为隧道上方的排烟隔板和排烟口示意。

1.2 火灾场景设置

(1)火灾热释放速率 《公路隧道通风照明设计规范》^[10]规定隧道火灾通风应针对中型火灾(火灾热释放率为20 MW), 为研究特长公路隧道大型火灾时两种不同排烟方式对烟气的控制效果, 本次模拟火灾热释放率取30 MW。

* 收稿日期: 2009-03-06; 修回日期: 2009-05-29

作者简介: 张玉春(1980-), 男, 讲师, 硕士。主要从事隧道及地下工程防灾新技术研究。Email: zycfire@swjtu.cn

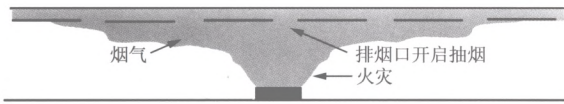


图1 隧道火灾顶部集中排烟

Fig. 1 The central smoke extraction system for tunnel fire

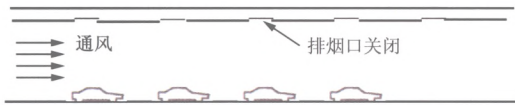


图2 正常营运纵向通风

Fig. 2 Schematic view of operation ventilation

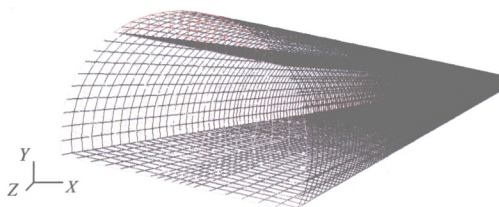


图3 隧道三维模型

Fig. 3 Tunnel 3D model



图4 隧道排烟隔板和排烟口

Fig. 4 Smoke extract separator and open

(2)工况设置 传统纵向排烟方式时,设隧道内风速为2 m/s,纵向排烟;顶部设排烟道排烟时,火灾上部设300 m 排烟道,所设置排烟口大小分别为2 m ×1.5 m、2 m ×1.25 m,排烟口间距分别为25、50 m (分别有12个排烟口和6个排烟口),共有4种工况。隧道两端进风,风速均为1 m/s。

2 不同排烟方式烟气流动特性

图5、图6为火灾时两种排烟方式下隧道内的纵向CO浓度分布和温度分布。如图所示,纵向排烟方式通过风速控制隧道火灾向上游蔓延,烟气将沿隧道下游纵向流动,通过隧道出口流出,火区下游烟流沿隧道纵向弥漫整个隧道,隧道内烟雾浓度大、能见度低,且由于上游风速控制为2 m/s,一部分烟气向上游蔓延。而当隧道顶部设排烟道排烟时,由于烟气热驱动和火风压的作用,并且火灾时火区上、下游风

速都小于临界风速,烟气将向隧道两侧蔓延,当排烟口开启后,由于轴流排烟风机的抽吸作用,隧道排烟道内形成较大负压,大量热烟气通过排烟道排出,CO浓度和温度扩散距离短(火区上、下游普遍扩散到70~80 m处),隧道内烟气浓度低,烟流分层明显,排烟效果好,便于人员逃生和火灾救援。图7为两种排烟方式下的隧道内CO浓度分布。

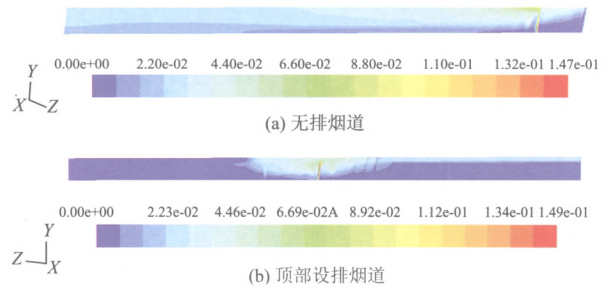


图5 隧道内纵向CO浓度分布

Fig. 5 Longitudinal CO distribution of tunnel

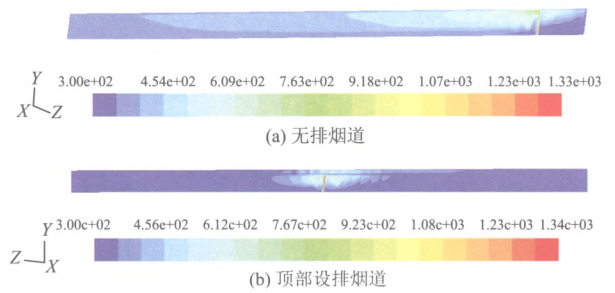
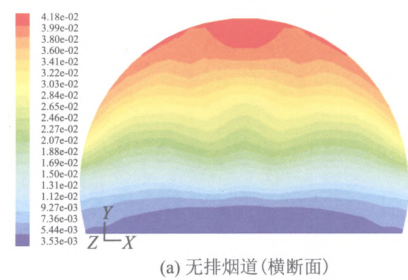
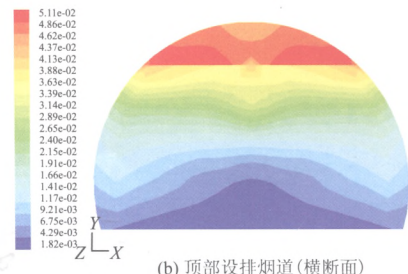


图6 隧道内纵向温度分布

Fig. 6 Longitudinal temperature distribution of tunnel



(a) 无排烟道(横断面)



(b) 顶部设排烟道(横断面)

图7 两种排烟方式下的隧道内CO浓度分布

Fig. 7 CO distribution of different smoke extraction systems

3 顶部排烟口参数研究

3.1 排烟口开口大小的影响

图8为排烟道中排烟口间距为25、50 m和两端风速为1 m/s时,不同排烟口开口大小下,隧道内1.6 m高处的CO浓度曲线和温度曲线。模拟发现,在25、50 m两种排烟口间距下,2 m×1.25 m开口时的隧道内温度和CO浓度值普遍较2 m×1.5 m

开口的高,且前者的隧道内最高温度和最高CO浓度值也较后者大,表明开口越大,排烟效果越好,火灾危险性越低。这是因为排烟口开口越大,有效吸烟面积越大,吸烟量越大;同时,当火灾产烟量一定时,开口面积越大,烟流流过排烟口的流速也越低,排烟道的局部损失越小,排烟道效果就越好。

3.2 排烟口间距的影响

图9为排烟口开口2 m×1.5 m、2 m×1.25 m和两端风速为1 m/s时,不同排烟口间距(25 m和

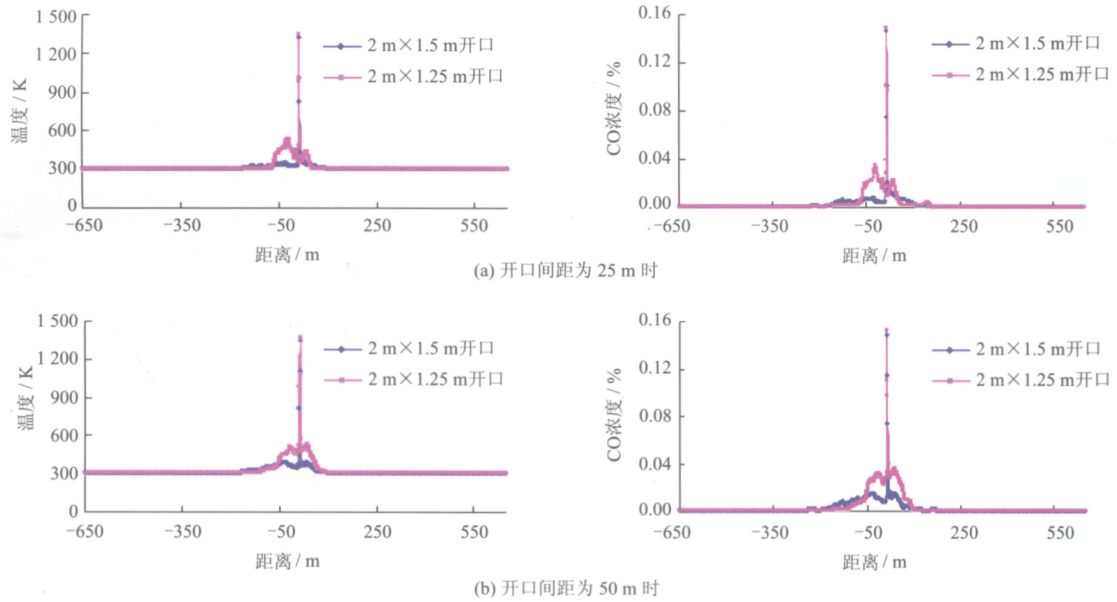


图8 排烟口开口大小不同时隧道内1.6 m高处的温度和CO浓度曲线

Fig. 8 CO and temperature curves of different smoke open size

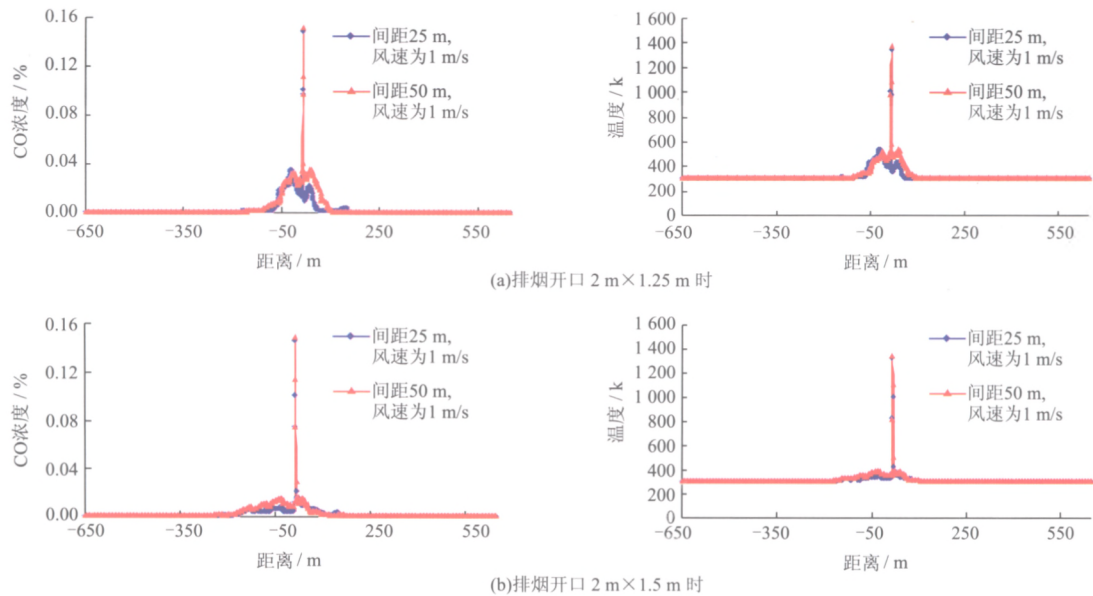


图9 排烟口间隔不同时隧道内1.6 m高处的CO浓度和温度曲线

Fig. 9 CO and temperature curves of different smoke open spacing

50 m)下,在隧道内1.6 m 高处的CO 浓度曲线和温度曲线。模拟发现,排烟口间距的变化对隧道内CO 浓度和温度分布的影响较小,两种排烟口间距下火灾烟气都被很好地控制,烟流浓度较低,火灾危险性小,说明两种间距的排烟口都起到了较好作用。

排烟口间距的变化对隧道内CO 浓度和温度分布的影响较小的原因,在于隧道顶部排烟口对火灾烟流的抽吸效果与轴流风机提供排烟道的负压和沿程负压损失有关:分析图10所示的两种排烟口间距下的流场速度以及隧道内CO 浓度和温度分布曲线可知,当隧道风机提供的排烟负压较大时,排烟道沿纵向的负压分布受沿程阻力损失和局部阻力损失的影响,远离火源处的排烟口的负压高,排烟能力强;越靠近火源处,排烟口的负压越低,排烟能力越弱。由于这种抽吸效果与烟气量相反的结果,大大减弱了火灾中25 m 排烟口间距差异的影响,因为25 m 间距的排烟口更多,对远离火灾处的排烟效果更好,而对靠近火灾处排烟作用却相对较弱,致使排烟口50 m 间距与25 m 间距的排烟效果相当。但开设25 m 间距的排烟口可以更加安全,一旦火灾规模增大,烟气量增大,烟气传播更远时,25 m 间距的排烟口将发挥更加积极的作用。

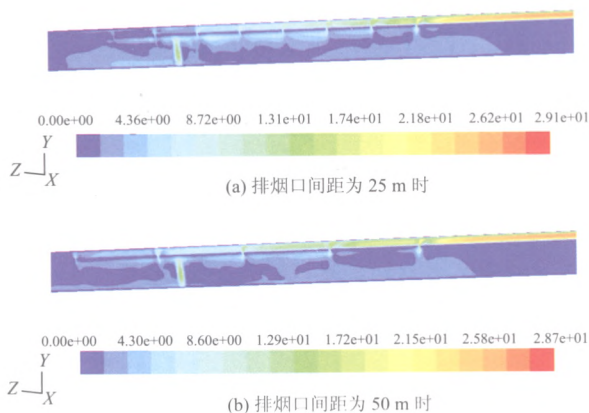


图10 两种排烟口间距下的流场速度分布

Fig. 10 Velocity distribution of different smoke open spacing

4 结论

针对特长公路隧道,对比分析了隧道纵向通风排烟和顶部设排烟道集中排烟这两种方式的火灾烟气控制效果,研究了顶部设排烟道时的不同排烟开口大小和排烟口间距对隧道烟气流动特性的影响。结果表明:

(1)顶部设排烟道集中排烟较纵向通风排烟有

较好的排烟效果,隧道内CO 浓度和温度扩散距离较短(火区上、下游普遍扩散到70~80 m 处),隧道内烟气浓度低,烟流分层明显,便于人员逃生和火灾救援。

(2)排烟口开口越大,有效吸烟面积越大,吸烟量越大,排烟效果越好。

(3)25 m 和50 m 排烟口间距都能满足隧道排烟要求,间距的改变对隧道火灾时的排烟效果影响较小。主要原因在于,隧道排烟口对火灾烟流的抽吸效果与轴流风机提供排烟道的负压和沿程负压的损失有关:当隧道风机提供的排烟负压较大时,25 m 间距排烟口更多,对远离火灾处的排烟效果更好,而对靠近火灾处的排烟作用却相对较弱,致使排烟道中开设50 m 间距的排烟口与25 m 间距的排烟口的排烟效果相当。但相对而言,开设25 m 间距的排烟口可以更加安全。

参考文献:

- [1] 戴国平. 英法海峡隧道火灾事故剖析及其启示[J]. 铁道建筑, 2001, (3): 6-9.
Dai G P. The channel tunnel fire accident analysis and enlightenment [J]. Railway Engineering, 2001, (3): 6-9.
- [2] 蔡加发. 公路隧道火灾分析及救灾预案研究[D]. 重庆:重庆交通大学, 2005.
Cai J F. The study on the fire analysis and the fire rescue preplan of highway tunnel[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2005.
- [3] 雷兵. 公路隧道火灾烟气流动的数值模拟[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2008, 36(2): 64-69.
Lei B. Numerical simulation of smoke flow during highway tunnel fire[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2008, 36(2): 64-69.
- [4] Jae S R, Hong S R, Dong H K. Critical velocity and burning rate in pool fire during longitudinal ventilation [J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2007, (22): 262-271.
- [5] Vauquelin O, Wu Y. Influence of tunnel width on longitudinal smoke control [J]. Fire Safety Journal, 2006, (41): 420-426.
- [6] 吴德兴,李伟平,郑国平. 苍岭隧道火灾条件下的通风排烟设计[J]. 公路, 2008, (5): 200-205.
Wu D X, Li W P, Zheng G P. Design for ventilation and smoke extraction of Cang ling tunnel in fire [J].

- Road, 2008, (5):200-205.
- [7] Lin C J, Chuah Y K. A study on long tunnel smoke extraction strategies by numerical simulation[J]. Tunneling and Underground Space Technology, 2008, (23):522-530.
- [8] 彭子晖. 上海长江隧道的消防疏散及救援设计简述[J]. 地下工程与隧道, 2007, (7):43-46.
- Peng Z H. Design for fire protection evocation and rescue in yangtze river tunnel [J]. Underground Engineering and Tunnel, 2007, (7):43-46.
- [9] 高峻, 谢宝超, 徐志胜. 杭州过江隧道火灾时人员安全疏散研究[J]. 防灾减灾工程学报, 2007, 27(2):159-164.
- Gao J, Xie B C, Xu Z S. Study on safe evacuation of fire for river-crossing tunnel of Hangzhou[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2007, 27(2):159-164.
- [10] JTJ 026.1-1999, 公路隧道通风照明设计规范[S].

Research on the Central Smoke Extraction System of Extra-long Highway Tunnel

ZHANG Yu-chun¹, HE Chuan¹, ZENG Yan-hua¹, WU De-xing^{1,2}

(1. Department of Underground and Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

2. Zhejiang Provincial Plan Design and Research Institute of Communications, Hangzhou 310006, China)

Abstract: Tunnel longitudinal ventilation system for smoke control was the main form in extra-long road tunnels. A new central smoke extraction system for tunnel fire was introduced with consideration of smoke control. Using three-dimensional numerical simulation technology, smoke control effect and movement characteristics of the two smoke control methods were analyzed. With different smoke open size and spacing, the smoke control effect was studied for tunnel fire in central smoke extraction system. The central smoke extraction system has better effect than longitudinal ventilation system for smoke control. The smoke movement characteristics and control effect were influenced by smoke open size and spacing.

Key words: fire in road tunnel; smoke movement characteristics; smoke control method; numerical simulation