

基于网络算法的地铁长大区间隧道火灾通风模式*

伍彬彬 史聪灵 赵 晨 李 建 车洪磊

(中国安全生产科学研究院地铁火灾与客流疏运安全北京市重点实验室,100012,北京//第一作者,高级工程师)

摘 要 建立通风网络模型,通过模拟列车车头火灾下6种典型工况的通风排烟,着重分析不同位置隧道风机的开闭数量对通风排烟效果的影响。讨论了不同模式下的气流组织方向及风速特征值。分析模拟结果发现,开启起火隧道列车车头前车站风井的2台隧道风机正转排风、列车车尾后中间风井的2台隧道风机反转送风,同时开启未起火隧道侧2台隧道风机反转辅助送风,则通风效果最好。

关键词 地铁;长大区间隧道;火灾通风模拟;网络算法

中图分类号 U231.96

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.05.038

Fire Ventilation Mode in Subway Long and Large Interval Tunnel Based on Network Algorithm

WU Binbin, SHI Congling, ZHAO Chen, LI Jian, CHE Honglei

Abstract Through establishing a ventilation network model, six typical ventilation and smoke exhaust modes under the train head fire condition are studied. The influence of tunnel ventilation fan (TVF) opening and closing numbers on ventilation and smoke exhaust effect is emphatically analyzed, the characteristics of air flow direction and wind velocity under different modes are discussed. The simulation analysis shows that the best effect is to open two TVF in the station air shaft in front of the train head just in the fire tunnel for air exhaust, and two TVF in the middle air shaft behind the train and two TVF on both sides of the tunnel without fire for fresh air supply.

Key words subway; long and large interval tunnel; fire ventilation simulation; network algorithm

Author's address Beijing Key Laboratory of Metro Fire and Passenger Transportation Safety, China Academy of Safety Science and Technology, 100012, Beijing, China

截止2017年末,中国内地共有34个城市开通城市轨道交通并投入运营,运营长度达3 884 km^[1],其中地铁长大区间隧道日益涌现。长大区间

隧道存在多种通风模式,其气流和烟流组织复杂,且疏散条件受限,脆弱性凸显。

文献[2-4]研究了强制通风情况下地铁区间隧道火灾时的烟气扩散规律,对深埋地铁隧道列车火灾进行了模型试验,并对不同形式的车站隧道列车火灾进行了数值模拟研究。文献[5]研究分析了地铁长大区间隧道火灾风机启动方案。文献[6-7]对地铁隧道火灾通风效果进行了数值模拟研究。文献[8]等分析了地铁长大过海区间隧道通风排烟等问题。文献[9]采用网络解算及模型试验研究了苍岭公路隧道集中排烟模式下火灾通风排烟技术。文献[10]用网络解算与稳态换热迭代计算了火灾情况下复杂公路隧道中风流的温度与流量。文献[11]用网络通风理论对秦岭终南山特长隧道的通风排烟进行了研究。

本文建立通风网络图,模拟列车车头火灾下6种典型工况的通风排烟效果,比较分析不同位置TVF(隧道风机)的开闭数量对通风排烟效果的影响。

1 长大区间隧道物理模型

研究隧道为D市地铁2号线HD-CW区间。以隧道纵向建立 x 轴。区间两端的车站分别为HD站($x=0$)和CW站($x=4\ 500\text{ m}$),设置全高封闭式站台门。HD站两端设置车站风井A1($x=-72\text{ m}$)和A2($x=72\text{ m}$);CW站两端设置车站风井B1($x=4\ 428\text{ m}$)和B2($x=4\ 572\text{ m}$)。区间隧道长度为4 500 m,设有1处中间风井M1($x=2\ 028\text{ m}$),并设置联络通道L1~L7共7处,其 x 值分别为580 m、1 156 m、1 732 m、2 300 m、2 876 m、3 442 m、3 920 m。联络通道截面开口尺寸为1.6 m×2.0 m。隧道断面采用管片内径 $\phi 60\ 000\text{ mm}$ 的衬砌环。隧道净间距为10.0 m。列车为A型车,其横断面尺寸为2 800 mm

* 十三五国家重点研发计划项目(2017YFC0804900);国家自然科学基金项目(71774148);中国安全生产科学院研究院基本科研业务费专项(2019JBKY02,2020JBKY02)

×3 800 mm。每处风井内设置 2 台 TVF。单台 TVF 风量为 60 m³/s,全压为 900 Pa,风口尺寸为 4 m×4 m。长大区间隧道模型示意图见图 1。



图 1 长大区间隧道模型示意图

2 模拟工况设置

根据地铁设计要求,隧道应按与多数乘客撤离相反方向组织气流和排除烟气,且断面风速不小于 2 m/s^[13]。长大区间隧道较一般区间隧道增加了中间风机,使得隧道通风排烟系统的运行组织模式更多样化。本文研究 HD 站至 CW 站的上行区间隧道在列车车头发生火灾时的通风模式。

模拟计算的列车起火位置如图 2 所示。对火灾模式下通用的 6 种通风工况进行模拟分析。工况如表 1 所示。正常状态下,L1~L7 联络通道均处于关闭状态,而当起火列车处在联络通道 L1~L2 之间时,开启 L1 和 L2 联络通道,而 L3~L7 仍处于关闭状态。

图 2 中:A-TVF1 和 A-TVF11 分别代表车站风

井 A1 的上行及下行区间隧道风口 TVF;A-TVF2 和 A-TVF22 分别代表车站风井 A2 的 2 个区间隧道风口 TVF;B-TVF1、B-TVF11、B-TVF2 及 B-TVF22 分别代表车站风井 B1、B2 的 4 个区间隧道风口 TVF;M-TVF3 和 M-TVF33 分别代表中间风井 M1 内的对应上行和下行区间隧道风口的 TVF。

由表 1 可见,由于启动的风机数量、送排风方案不同,有 6 种通风排烟工况。

3 模拟结果分析

以车站、车站风井、中间风井、隧道及联络通道等为气流通道,并以通道连接处为连接点,建立通风网络图。基于通风网络图,利用文献[13]的通风网络计算可视化系统对 6 种工况进行模拟。在网络

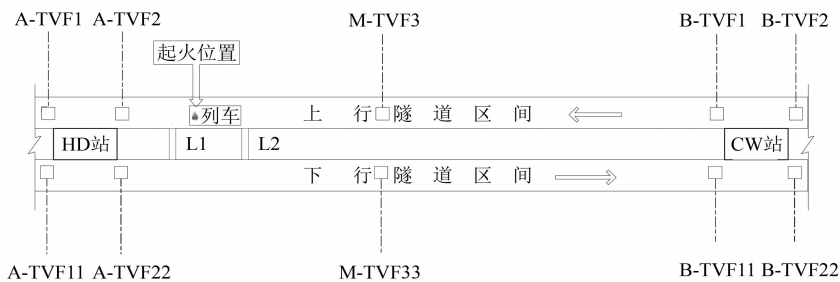


图 2 模拟工况模型示意图

表 1 不同工况下的 TVF 工作状态

工况	上行隧道(起火列车停靠侧)					下行隧道					TVF 启动数量/台
	A-TVF1	A-TVF2	M-TVF3	B-TVF1	B-TVF2	A-TVF11	A-TVF22	M-TVF33	B-TVF11	B-TVF22	
工况 1	0	+2	-2	0	0	0	0	0	0	0	4
工况 2	0	+2	-2	0	0	-1	0	0	-1	0	6
工况 3	+2	+2	-2	-2	0	0	0	0	0	0	8
工况 4	+2	+2	-2	-2	0	0	0	0	0	-2	10
工况 5	+1	+1	-2	0	0	-1	0	0	-1	0	6
工况 6	+2	+1	-2	0	0	0	-1	0	-1	0	7

注:0 表示未启动 TVF;-1 表示 1 台 TVF 送风;-2 表示 2 台 TVF 送风;+1 表示 1 台 TVF 排风;+2 表示 2 台 TVF 排风

阻力定律、节点风量平衡定律及网络风压平衡定律的理论基础上,采用加边法求最小生成树和快速双通路法查找独立回路,通过 Scott-Hinsley 法进行网络解算,通过 Gauss-Seidel 迭代逐次求解回路修正风量,直到获得一组接近方程组真实解的渐进风量。设定的迭代精度为 1.0×10^{-5} 。

图 3 是各工况下的隧道及联络通道的气流方向及流速模拟结果。分析模拟结果可知:

1) 各工况下的气流流向。L1 联络通道至起火列车车头之间,区间隧道的流速流场方向均为车尾→车头;L2 联络通道至起火列车车尾之间,区间隧道的流速流场方向均为车尾→车头;L1 联络通道的流场方向均为未起火隧道→起火隧道。可见,在整个长大区间隧道内,气流能受有效控制向列车车头方向流动。

2) 起火列车中心线周围的气流流速。工况 4 的气流流速最大,约为 6.43 m/s;工况 3 和工况 5 的气流流速接近,约为 4.70 m/s;工况 6、工况 2 与工况 1 的气流流速依次越来越低。

3) 经分析,L1 联络通道至起火列车车头之间及 L2 联络通道至起火列车车尾之间的区间隧道气流流速,与起火列车中心线周围的气流流速类似。工况 4 的气流流速最大,工况 1 的气流流速最小。其中工况 1 的气流流速小于规范要求的 2 m/s,不满足要求。

4) 起火列车隧道的其它区间气流流速均大于 2 m/s,满足要求

5) 分析联络通道 L1 的气流流速可知:工况 4 和工况 5 的气流流速均大于 11 m/s,不利于人员通过联络通道疏散到未起火隧道侧。故不建议采用此两种工况对应的通风模式。

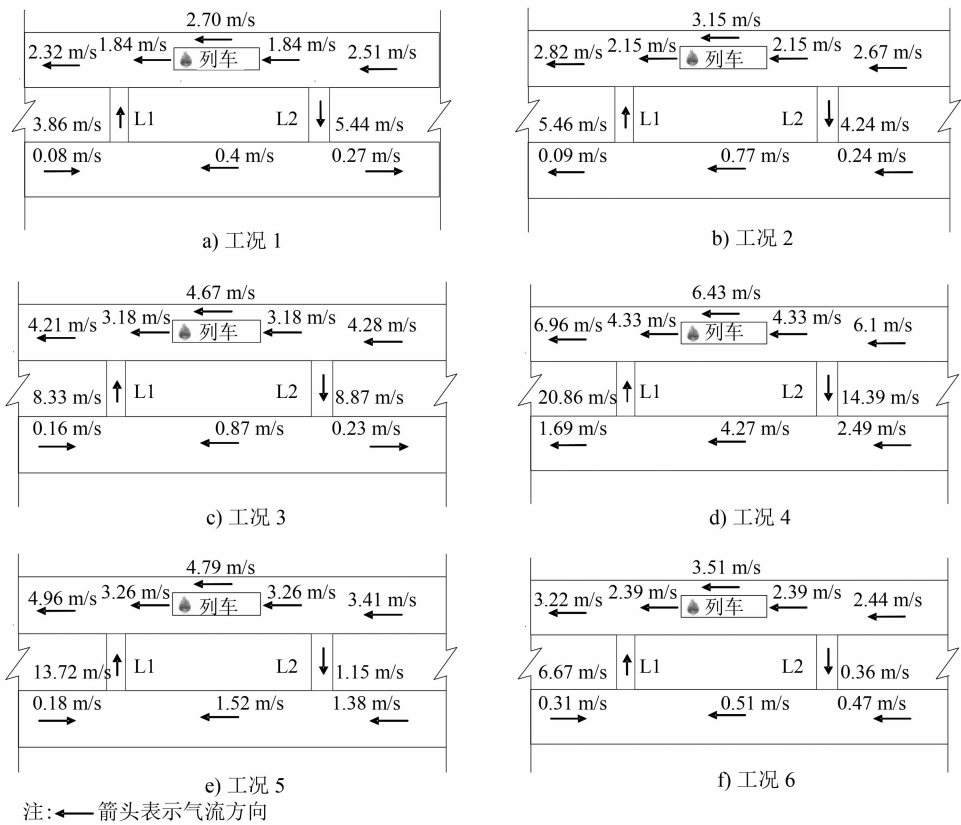


图 3 不同工况下的气流流动模拟结果

由综合分析可知,工况 1、工况 4 及工况 5 三种工况的通风效果最差。从表 1 可见:工况 1 仅开启 2 台 TVF 送风和 2 台 TVF 排风,相对于其他工况,其风机开启台数最少,因此风速最低;而工况 4 共开启 6 台 TVF 送风和 4 台 TVF 排风,使作用于隧道的总风量达 $600\text{ m}^3/\text{s}$,导致联络通道风速过大。

比较工况 3 与工况 5 可知:在起火侧隧道内,工况 3 比工况 5 虽多启动了 4 台 TVF,但两种工况下起火隧道内及起火列车周边的气流流速差别很小。由于工况 3 的 8 台风机(4 台送风+4 台排风)均作用于起火隧道,未起火隧道未开启风机进行正压送风,从而导致联络通道 L2 的气流流速损失了 8.87

m/s,效能损失过大。

比较工况 2 与工况 5 可知:两工况下的送风风机设置一致,工况 2 开启的 2 台排风风机在 HD 站靠近列车车头位置的车站风井内,工况 5 开启的 2 台排风风机分别设置在 HD 车站的两端车站风井内,但两工况下联络通道内的流速场差别却很大。

比较工况 2 与工况 6 可知,两工况下的风机布置数量跟位置均不同,但起火侧隧道及联络通道 L1 流速差别不大。

4 结论

1) 烟气流动方向主要跟开启 TVF 的位置及转向相关,与 TVF 开启的数量无关。故开启起火隧道列车车头前的 TVF 正转排风和车尾后的 TVF 反转送风,可保障乘客安全疏散的路径不受烟气污染。

2) 开启未起火侧隧道的 TVF 进行反转辅助送风,能有效减少起火侧隧道的风流通过联络通道而损失,进而提高效能。

3) 工况 2、工况 3 及工况 6 的流速场均满足要求。考虑不同工况下启动的风机数量,依次推荐工况 2、工况 6 及工况 3。

参考文献

- [1] 中国城市轨道交通协会.城市轨道交通 2017 年度统计和分析报告[R/OL].(2018-04-19)[2018-08-10].<http://www.cameo.org.cn/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=18&id=13532>.
- [2] 史聪灵,钟茂华,汪良旗,等.地铁车站及隧道全尺寸火灾实验

研究(2)——区间隧道火灾[J].中国安全生产科学技术,2012,8(8):28.

- [3] 史聪灵,钟茂华,涂旭炜,等.深埋地铁岛式站点火灾模型实验研究(2)-列车火灾[J].中国安全生产科学技术,2006,2(2):14.
- [4] 钟茂华,史聪灵,邓云峰.地铁浅埋岛式站台列车火灾烟气蔓延的数值模拟研究[J].中国安全科学学报,2005,15(11):10.
- [5] 李建.地铁长大区间隧道火灾风机启动方案数值模拟研究[J].中国安全科学学报,2017,13(9):139.
- [6] JAIN S,SHASHI K S.Numerical studies on evaluation of smoke control system of underground metro rail transport system in India having jet injection system: A case study[J].Building Simulation,2011,4(3):205.
- [7] KARAASLAN S,DINLER N,YUCEL N.Numerical fire simulation in subway station tunnel by using different combustion models[J].Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University,2011,26(3):533.
- [8] 朱祝龙,田峰,陈洋,等.地铁长大过海区间隧道通风排烟方案[J].都市轨道交通,2017(1):94.
- [9] 赵红莉.公路隧道通风排烟网络分析及计算方法研究[D].长沙:中南大学,2013.
- [10] 吴奉亮.复杂公路隧道火灾风网稳态求解模型及应用[J].长安大学学报(自然科学版),2011,31(5):57.
- [11] 王明年,杨其新,曾艳华,等.秦岭终南山特长公路隧道网络通风研究[J].公路交通科技,2002,19(4):65.
- [12] 中国人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.地铁设计规范:GB 50157—2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2014.
- [13] 伍彬彬.一种基于 GIS 的地下洞室群风网解算可视化研究[J].中国安全科学学报,2014,10(4):48

(收稿日期:2018-08-14)

(上接第 162 页)

- [2] 江捷,宋家骅,邵源.大都市圈轨道快线布局比较及其启示[J].城市轨道交通研究,2017(1):6.
- [3] 江永,叶霞飞.国外典型城市轨道交通配线方法和经验[J].城市轨道交通研究,2007(12):35.
- [4] 张向荣,蒲琪,杨超.国外主要大城市轨道交通客运服务特色的启示[J].城市轨道交通研究,2008(10):12.
- [5] 陈雪明.芝加哥城市轨道交通系统简介[J].国际城市规划,2013,28(2):123.
- [6] 徐艳文.哥本哈根的城市公交[J].城市公共交通,2018(9):81.
- [7] 章希.通宵地铁拉动城市“午夜经济”[J].交通与港航,2017,4(2):71.

- [8] 马祖琦.斯德哥尔摩城市轨道交通系统[J].都市轨道交通,2010,23(6):107.
- [9] 杜磊,季令,陈岩.世界八大城市的轨道运输[J].城市轨道交通研究,2001(2):75.
- [10] 凌小静.关于公共交通出行分担率指标的探讨[C]//中国城市规划学会.2013 年中国城市交通规划年会暨第 27 次学术研讨会论文集.北京:中国建筑工业出版社,2014:9.
- [11] Regional Plan Association.The Fourth Regional Plan[R].New York:Regional Plan Association,2013.
- [12] Volterra Partners.Impact of the Night Tube on London's Night-Time Economy[R].London:Volterra Partners,2014.

(收稿日期:2019-06-03)