

地铁区间隧道火灾自然排烟的数值分析

朱常琳 高明亮

(西安建筑科技大学环境与市政工程学院 西安 710055)

摘要 针对地铁区间隧道火灾的自然排烟,采用FDS(fire dynamics simulator)软件,数值模拟通风竖井的长宽比、埋深和开口形式对自然排烟效果的影响。模拟结果表明:当通风竖井的长宽比在1.25~2.5时,其自然排烟效果明显好于其长宽比为5时的自然排烟效果;当通风竖井的埋深在5~15 m时,对自然排烟的影响不明显;采用直通通风竖井的自然排烟效果优于采用渐扩通风竖井的自然排烟效果。

关键词 地铁区间隧道;火灾;自然排烟;数值模拟;通风竖井

中图分类号 U231.96 **文献标识码** A

文章编号 1672-6073(2012)03-0056-04

对列车中部着火的区间隧道火灾采用传统的纵向通风模式,无论从隧道哪侧排烟,都会使一部分人需要经过浓烟区才能逃生,这对人员疏散很不利。有学者提出,在区间隧道顶部采用通风竖井的自然通风模式,使通风竖井间距不超过35 m,就可以把隧道内人员逃生高度处的温度控制在66℃以内,满足人员疏散的温度要求^[1]。还有的学者针对地铁区间隧道火灾的自然排烟情况进行研究,得到通风竖井间距不超过30 m的结论,就可以把人员逃生平台高度处的温度控制在66℃以内,满足人员逃生的温度要求^[2]。上述研究得到了自然排烟通风竖井的间距,但均未进一步给出通风竖井结构对自然排烟效果的影响。因此,有必要对通风竖井的结构进行研究,分析其对自然排烟效果的影响。

1 地铁区间隧道火灾中的临界危险状态

火灾中的临界危险状态是指火灾环境可对室内人员造成严重伤害的状态,火灾危险临界条件按以下情况确定^[3]:一是当烟气层界面高于人眼特征高度时,

上部烟气层的温度达到180℃便可对人构成辐射灼烧危险;二是当烟气层高度低于人眼特征高度时,烟气温度达到115℃便可对人构成直接灼烧危险。人眼特征高度通常为1.2~1.8 m,这里取距离疏散通道地面1.6 m高度处(即人眼特征高度为1.6 m)的温度作为火灾到达危险状态的一个判据指标。这个温度指标的临界值如下:人在温度超过体温的环境中,因为出汗过多,会出现脱水、疲劳和心跳加快等现象,温度超过66℃便难以呼吸,造成消防人员救援困难、室内人员逃生迟缓^[2,4]。因此,本研究将区间隧道内1.6 m人眼特征高度处安全温度的上限定为66℃。

2 数值模拟的物理模型和计算模型

2.1 物理模型

笔者选取长为100 m、断面面积为4.3 m×5.1 m单线矩形区间隧道为研究对象,不考虑列车运行活塞风的影响和列车形状对烟气蔓延的影响,火源位于区间隧道中部,通风竖井的间距均为30 m、底部断面面积均为20 m²,物理模型如图1所示。



图1 区间隧道物理模型

关于地铁火灾的火源强度,香港地铁工程技术人员保守估计其最大值为2 MW,而英美等国一般采用5~50 MW,且重点研究10 MW火源强度下的火灾试验^[5-6]。笔者选取的地铁区间隧道火源强度为10 MW,火源燃料主要为车厢装饰材料及车厢地板材料聚氯乙烯(PVC),火源大小为2 m×2 m×1 m(长×宽×高)^[7]。

2.2 计算模型

采用FDS软件进行数值模拟,湍流模型采用大涡模型,燃烧模型采用混合分数模型,辐射模型为非散射灰体近似,利用有限体积法分析求解辐射传输方程。

收稿日期:2011-07-08 修回日期:2011-09-19

作者简介:朱常琳,女,工学硕士,副教授,主要从事地铁环控系统的研究,93050688@qq.com

环境温度为 20 ℃,模拟采用结构化网格,模拟计算时间为 600 s。

3 数值模拟结果及分析

针对列车中部着火且列车停靠在隧道中部的地铁区间隧道火灾,笔者研究了不同通风竖井的结构(如表 1 所示)对自然排烟效果的影响。其中,通风竖井间距均为 30 m,竖井底部断面面积均为 20 m²。

表 1 通风竖井的结构

竖井长宽比			竖井埋深/m			通风竖井开口形式	
1.25	2.5	5	5	10	15	渐扩竖井	直竖井

3.1 不同竖井长宽比对自然排烟的影响

在不同通风竖井长宽比的情况下(竖井埋深均为 15 m),隧道内 1.6 m 人眼特征高度处(距轨面高度 2.65 m)的温度变化和隧道中心纵断面的烟气层高度变化如图 2~图 3 所示。模拟结果表明:在 3 种竖井长宽比的情况下,火源附近 15 m 处隧道内的温度均低于临界温度 66 ℃,达到了自然排烟的温度指标,有利于人员的安全疏散;在 3 种竖井长宽比情况下,火源 10~25 m 范围内烟气层的高度有明显升高,这主要是由于该范围内烟气流动受到隧道顶部通风竖井的影响。与竖井长宽比为 5 时的情况相比,在竖井长宽比为 1.25 和 2.5 的情况下,火源附近 15 m 以内隧道内的温度下降非常明显;在竖井长宽比为 1.25 和 2.5 的情况下,隧道内的烟气层高度明显高于通风竖井长宽比为 5 时隧道内的烟气层高度。因此,在满足排烟和人员疏散要求的情况下,应该考虑竖井长宽比对区间隧道火灾自然排烟的影响。从隧道内温度变化和烟气层高度变化看,推荐通风竖井的长宽比控制在 1.25~2.5 范围内。

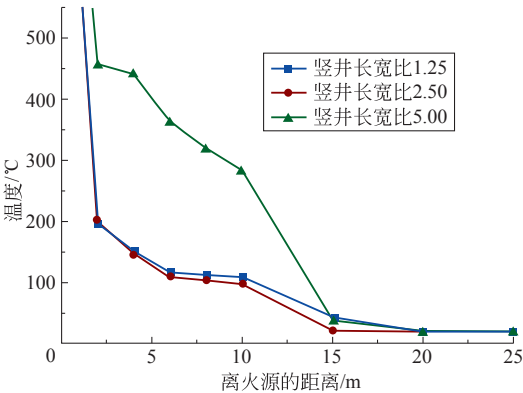


图 2 不同竖井长宽比下人眼特征高度的温度变化

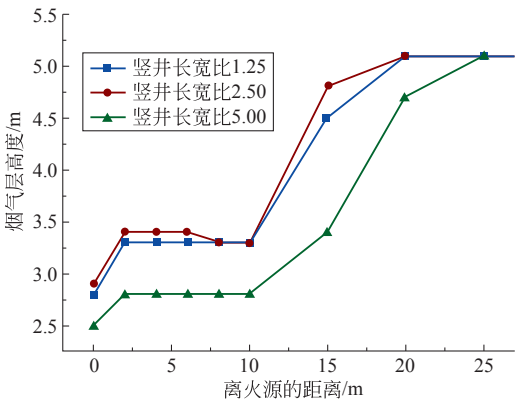


图 3 不同竖井长宽比下烟气层高度的变化

3.2 不同竖井埋深对自然排烟的影响

在不同通风竖井埋深情况下(竖井长宽比均为 5),隧道内 1.6 m 人眼特征高度处(距轨面高度 2.65 m)的温度变化和隧道中心纵断面的烟气层高度变化如图 4~图 5 所示。模拟结果表明:在 3 种通风竖井埋深情况下,距离火源 15 m 以外隧道的温度均低于临界温度 66 ℃,达到了自然排烟的温度指标,有利于人员安全疏散;在 3 种不同竖井埋深排烟情况下,离火源 10~25 m

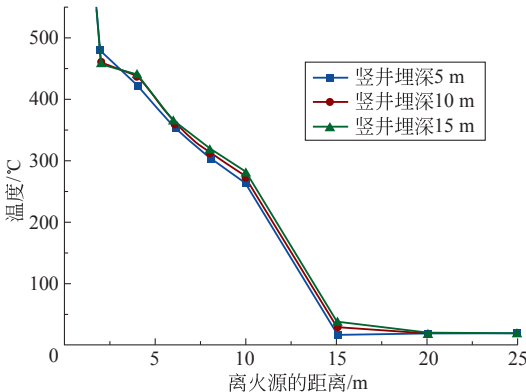


图 4 不同竖井埋深下人眼特征高度的温度变化

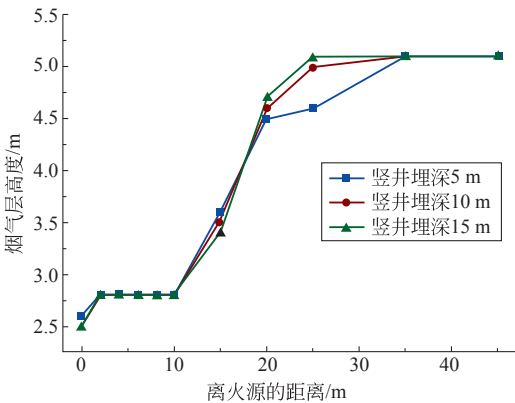


图 5 不同竖井埋深下烟气层高度的变化

范围内烟气层的高度有明显升高,这主要是由于该范围内烟气流动受到隧道顶部通风竖井的影响,离火源35 m之外的温度趋于环境温度20℃和烟气层高度升高到5.1 m(即隧道顶部),说明该区域烟气量很少,甚至为无烟区;在3种不同竖井埋深情况下,隧道内的温度变化和烟气层高度变化都很相似,差别较小。因此,对于区间隧道火灾的自然排烟,在5~15 m竖井埋深范围内,可以忽略竖井埋深对自然排烟的影响。

3.3 通风竖井开口形式对自然排烟的影响

通风竖井开口形式如图6所示。笔者研究了埋深为5 m、长宽比为2.5的直通风竖井和渐扩通风竖井(渐扩角 θ 分别为30°、60°和90°^[8])对自然排烟的影响。在这两种不同开口形式的通风竖井自然排烟情况下,隧道内1.6 m人眼特征高度处(距轨面高度2.65 m)的温度变化和隧道中心纵断面的烟气层高度变化如图7~图8所示。模拟结果表明:在这两种开口形式的通风竖井自然排烟情况下,火源附近15 m处的温度均低于临界温度66℃,达到了自然排烟的温度指标,为人员疏散提供了一个安全空间;在两种不同竖井开口形式的自然排烟情况下,离火源10~25 m范围内烟气层的高度有明显升高,这主要是由于10~25 m范围内烟气流动受到隧道顶部通风竖井的影响。

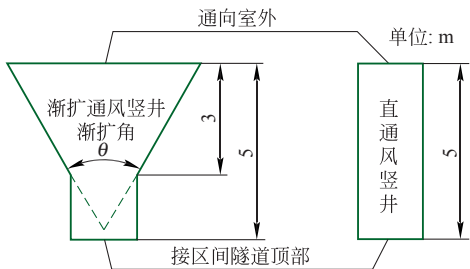


图6 两种不同开口形式的通风竖井

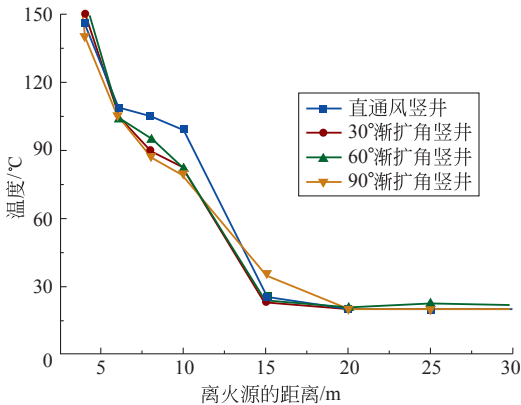


图7 不同竖井开口形式下人眼特征高度的温度变化

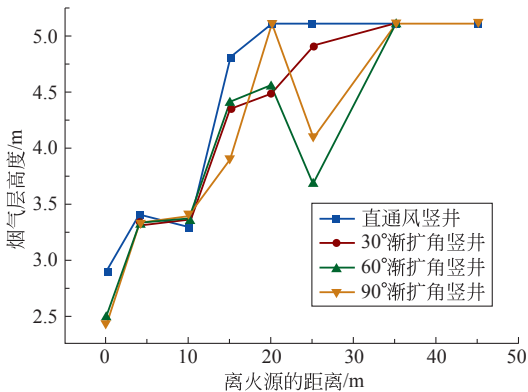


图8 不同竖井开口形式下烟气层高度的变化

从温度变化看,直通风竖井与渐扩通风竖井对隧道内温度变化的影响差别不是很大。从烟气层高度看,与3种渐扩通风竖井相比,采用直通风竖井自然排烟时,隧道内的烟气层高度更高,尤其在通风竖井附近(即离火源15~35 m)更明显;采用3种不同渐扩通风竖井自然排烟时,通风竖井附近(即离火源距离15~35 m)隧道内烟气层高度波动情况不同,主要是由于3种不同渐扩角情况下通风竖井的出口局部阻力系数不同引起的,而且随着渐扩角由30°逐渐增大到90°时,通风竖井附近烟气层高度的波动也逐渐变大。因此,从隧道内温度变化和烟气层高度变化看,采用直通风竖井的自然排烟效果优于采用渐扩通风竖井的排烟效果。

4 结论

通过对上述模拟结果的分析可以看出,通风竖井的结构对地铁区间隧道火灾的自然排烟效果有一定的影响,尤其是竖井的长宽比对自然排烟的影响较大。为了达到更好的自然排烟效果,建议在进行地铁区间隧道的通风竖井结构设计时考虑以下影响因素:

- 1) 从隧道内温度变化和烟气层高度变化看,通风竖井长宽比在1.25~2.5范围内,地铁区间隧道火灾的自然排烟效果明显好于通风竖井长宽比为5时的自然排烟效果。
- 2) 从隧道内温度变化和烟气层高度变化看,通风竖井埋深在5~15 m范围内,可以忽略竖井埋深对地铁区间隧道火灾自然排烟的影响。
- 3) 从隧道内温度变化和烟气层高度变化看,采用直通风竖井的自然排烟效果优于采用渐扩通风竖井的排烟效果。

参考文献

[1] 陈中,张良焯. 地铁区间隧道火灾自然排烟模式的研究与应用[J]. 现代隧道技术,2006,43(3):62-66.

[2] 李亮,李晓峰. 地铁隧道火灾自然排烟模式数值模拟研究[J]. 暖通空调,2005,35(12):6-9.

[3] 霍然. 性能化建筑防火分析与设计[M]. 合肥:安徽科学技术出版社,2003.

[4] 周军良,胡峥晖. 火灾的危害及逃生对策[J]. 防火博览,2002(3):14-15.

[5] 周孝清,赵相相,丁云飞,等. 地铁区间隧道火灾通风模式的数值分析[J]. 暖通空调,2006,36(8):7-11.

[6] Ingason H. Heat release rate measurements in tunnel fires [C]//Proc Int Conf on Fires in Tunnels. Boras,1994:86-103.

[7] 王洪德,林琳,赵轶. 地铁隧道火灾事故通风方式数值模拟[J]. 辽宁工程技术大学学报,2010,29(2):177-181.

[8] 夏永旭,石平. 公路隧道扩(缩)径风道局部损失数值模拟[J]. 中国公路学报,2006,19(6):83-86.

(编辑:郭洁)

Numerical Analysis of Natural Smoke Exhausting in Subway Tunnel Fire

Zhu Changlin Gao Mingliang

(School of Environmental and Municipal Engineering,
Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055)

Abstract: Considering natural ventilation in Subway tunnel fire, this paper adopted FDS software to simulate numerically the influence of different aspect ratios, overburdens and opening forms of ventilation shaft on natural ventilation. Results indicated that the natural exhaust effect of the ventilation shaft with 1.25 to 2.5 aspect ratios was better than the ventilation shaft with aspect ratio 5; that overburdens at 5 m to 15 m range for ventilation shaft had no obvious influence on natural ventilation; and that the straight ventilation shaft had a better natural exhaust effect than the diverging ventilation shaft.

Key words: metro running tunnel; fire; natural ventilation; ventilation shaft; numerical simulation

(上接第 55 页)

参考文献

[1] 李力. 城市轨道交通运营与管理综合应用[M]. 北京:中国电力出版社,2008.

[2] (美)沃麦克,琼斯. 精益思想[M]. 沈希瑾,译. 北京:商务印书馆,2006.

[3] 魏大鹏. 丰田生产方式研究[M]. 天津:天津科学技术出版社,2003.

[4] 赵卓. 精益思想理论与实践探析[J]. 航空工业经济研究,2006(6):43-46.

[5] 齐二石,蔺宇. 中国精益的现实路径[J]. 当代经理人,2007(2):106-107.

(编辑:曹雪明)

Error Proofing Technology Applied to Urban Rail
Transit Operation Management

Zhang Biao

(Tianjin Subway Operation Co., Ltd., Tianjin 300222)

Abstract: An urban rail transit system and its operation organization structure involve many different disciplines and joint efforts among different work departments in different places. Therefore, maintaining long-term safe and smooth operation constitutes a very big challenge. By reviewing operation accidents in urban rail transit, it has been found that human errors are probably the most common to occur and the most difficult to control. This article introduces the error proofing technology. Starting from human error mechanism and the key idea for error proofing, the author analyzes the importance of applying the error proofing technology to urban rail transit system. In line with the actual operation needs for the proposed error proofing technology, the implementation principles are formulated and a “three-stage and six-step” method is proposed, with the operation practice of case studies presented.

Key words: error proofing technology; urban rail transit; operation management; application study