

城市轨道交通地下车站站台层设备区消防问题研究

刘苏敏

(中铁第四勘察设计院集团有限公司,430063,武汉//高级工程师)

摘 要 利用数值模拟软件建立某地铁站台公共区的部分区域模型,根据不同形式镂空率吊顶设置了多种工况,对该区域的火灾烟气扩散以及点型感烟火灾探测器响应时间进行模拟,结果表明:小镂空率格栅吊顶对烟气上升过程影响明显,烟气沿着垂直格栅的方向扩散,格栅镂空率和格栅方向直接影响到点型感烟火灾探测器的响应时间;不同格栅间隙对于烟气扩散影响则较小。

关键词 城市轨道交通;地下车站;消防

中图分类号 U231+.96

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.12.024

Research on Fire Protection Issue of Equipment Area on Urban Rail Transit Underground Station Platform Level

LIU Sumin

Abstract Model for partial platform level public area of certain metro station is established by using numerical simulation software. Multiple working conditions are set up according to drop ceilings with various hollowing rates, thus fire smoke diffusion and response time of point-type smoke detector in the area are simulated. The results show that low hollowing rate grid drop ceiling has obvious impact on the rising process of smoke, and the smoke diffuses along direction perpendicular to the grid. Response time of point-type smoke detector is directly affected by hollowing rate and direction of grid drop ceiling. The size of grid gap has less impact on smoke diffusion.

Key words urban rail transit; underground station; fire protection

Author's address China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., 430063, Wuhan, China

在城市轨道交通地下车站最为常见的格栅吊顶上方常常布置了通信及通风空调系统的许多线路及风管等设施。一旦发生火灾,热烟气对这些设施工作性能的影响不可忽视。

目前,站台公共区域设置的火灾探测器多为感烟型。文献[1-2]就点型感烟探测器在地铁车站的

设计及应用进行了数值模拟。文献[3]研究了实吊顶及不同镂空率吊顶对烟气层沉降和温度分布的影响。文献[4]研究了地铁车站格栅吊顶对探测器响应性能的影响。文献[5]研究悬空式格栅吊顶场所感烟火灾探测报警响应。文献[6]分析了地铁站台点型感烟火灾探测器的火灾响应性能。

本文采用数值模拟方法,在地铁站台公共区模拟研究不同格栅镂空率、格栅方向、格栅间隙条件下对火灾烟气扩散的影响,为格栅吊顶以及感烟型火灾探测器的设计提供参考。

1 数值模拟试验的设计

1.1 数值模拟方法

本文采用 FDS(火灾场模拟)软件模拟燃烧时的烟气流动过程和传热过程,重构火灾场景,并使结果可视化。

1.2 试验的模拟空间模型

根据某地下车站的站台公共区实际数据,设置模拟区域长 8.0 m、宽 8.0 m、高 4.5 m,格栅吊顶至站台地板的距离为 3.0 m,格栅吊顶至站台顶棚的距离为 1.5 m。站台层区域顶部全设置为镂空格栅吊顶。

模拟空间模型如图 1 所示。由图 1 可见,点型感烟探测器贴顶安装在站台顶棚(A 系列)和格栅吊顶下部(B 系列),且 A 系列与 B 系列探测器的安

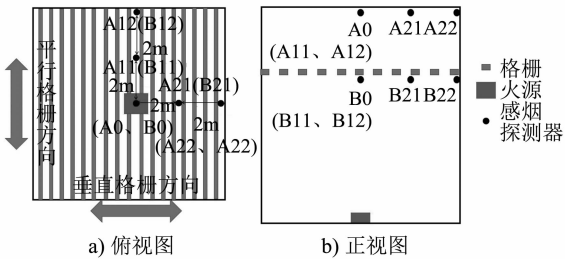


图 1 模拟空间模型示意图

Fig. 1 Diagram of simulation space model

装位置上下对应。在探测器 A0、B0 正下方设置功率为 236 kW/m^2 的 $40\text{ cm}\times 40\text{ cm}$ 聚氨酯火源^[7-8]。

1.3 模拟工况

模拟时长均为 100 s 。根据不同镂空率、不同格栅间隙及不同格栅宽度设置 6 个模拟工况,如表 1 所示。

2 数值模拟试验结果分析

不同工况下的探测器响应时间如表 2 所示。

表 1 模拟工况

Tab. 1 List of simulation working conditions

工况	镂空率/%	格栅宽度/cm	格栅间隙/cm
工况 1	14	12	2
工况 2	14	30	5
工况 3	33	4	2
工况 4	33	10	5
工况 5	50	2	2
工况 6	50	5	5

注:模型尺寸:8.0 m×8.0 m×4.5 m;镂空率=镂空面积/吊顶总面积。

表 2 不同工况下的探测器响应时间

Tab. 2 Detector response time under various working conditions

工况	A 系列探测器响应时间 t_A/s					B 系列探测器响应时间 t_B/s				
	火源上方	平行格栅方向		垂直格栅方向		火源上方	平行格栅方向		垂直格栅方向	
	A0	A11	A12	A21	A22	B0	B11	B12	B21	B22
工况 1	22	37	53	33	43	11	34	66	22	28
工况 2	23	31	42	29	39	12	34	61	23	31
工况 3	21	27	40	27	35	12	-	-	23	35
工况 4	19	28	39	22	33	11	-	-	23	35
工况 5	19	26	39	22	30	12	-	-	25	37
工况 6	18	26	28	20	37	11	-	-	34	66

注:“-”表示在模拟时间内探测器未报警。

2.1 格栅对烟气上升过程的影响

格栅间隙为 2 cm 时,不同镂空率下顶棚处的探测器响应时间模拟结果如图 2 所示。

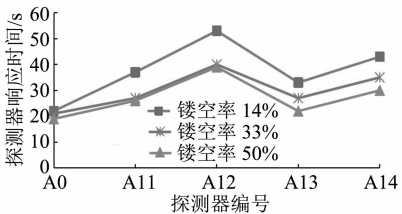


图 2 不同镂空率下顶棚位置探测器响应时间曲线

Fig. 2 Response time curve of detector on actual ceiling with different grid hollow rates

14%镂空率下顶棚与格栅处的探测器响应时间模拟结果如图 3 所示。

由表 2 可见:A 系列探测器的响应时间,在镂空率为 14%(工况 1 及工况 2)时最长,在其他镂空率工况下较短;在工况 1 中, t_A 明显要小于 t_B ;在工况 3、工况 4、工况 5 及工况 6 中,平行于格栅方向的 B11 和 B12 探测器未在模拟时间内发出报警。

进一步分析发现:当镂空率为 14%时,在非火源正上方,格栅处的 B21 探测器最先报警;当镂空率为 50%时,在非火源正上方,顶棚处的 A21 探测器最先报警,而平行格栅方向的 B11 和 B12 探测器

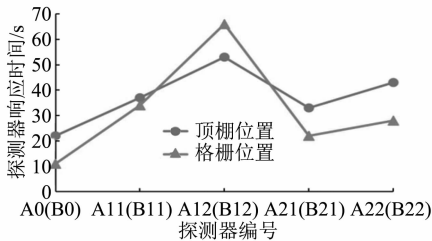


图 3 顶棚与格栅位置探测器响应时间曲线(镂空率 14%、格栅间隙 2 cm)

Fig. 3 Response time curve of detector on actual ceiling or grid drop ceiling (hollow rates of 14%, grid clearance of 2 cm)

甚至不报警。这表明,在格栅距离顶棚位置相同的条件下,镂空率的大小对烟气上升至顶棚处有明显影响,小镂空率格栅对烟气的上升有明显遮挡效果,会直接影响各处探测器的报警时间。

2.2 格栅间隙对烟气扩散的影响

由表 2 可以看出,当镂空率相同时, 2 cm 和 5 cm 格栅间隙的相同位置探测器响应时间差别不大。因此,在本试验中,格栅间隙大小对探测器的响应时间影响不大。

2.3 格栅方向对烟气扩散的影响

为了便于观察格栅方向对烟气扩散的影响,选择格栅间隙 2 cm 、镂空率相差较大的 14%和 50%比

较观察。镂空率为 14%、50% 时,平行格栅间隙方向

和垂直格栅间隙方向的烟气浓度对比如图 4。

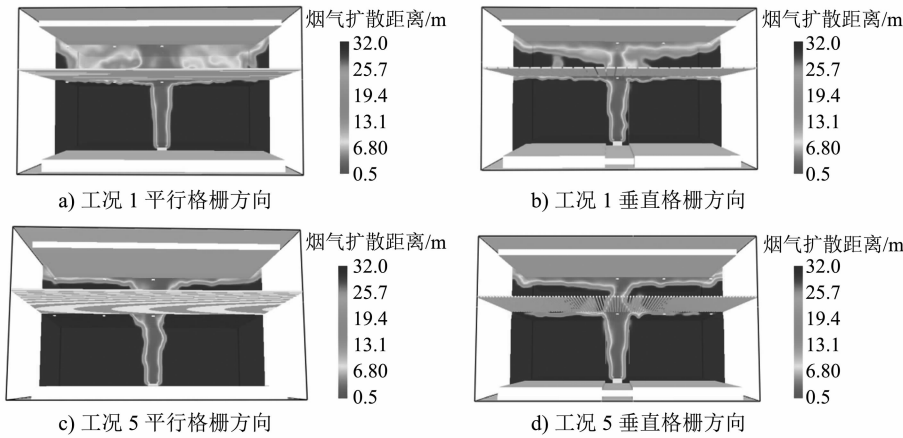


图 4 烟气沿不同方向扩散对比图

Fig. 4 Comparison diagram of smoke diffusion in different directions

由图 4 可以看出:当模拟时长相同时,无论是顶棚还是格栅下方,垂直格栅间隙方向的烟气扩散距离更长,而平行格栅间隙方向的烟气扩散距离较短;镂空率越小,沿不同方向的烟气扩散距离差距就越明显。

格栅间隙 2 cm 以及不同镂空率下,沿不同格栅方向的 B 系列探测器响应时间模拟结果如表 3 所示。

表 3 不同格栅方向的 B 系列探测器响应时间表

Tab. 3 Response time of B-series detectors on grid of different directions

与火源的 水平距离/m	与格栅 方向	探测器 编号	探测器响应时间/s		
			工况 1	工况 3	工况 5
2	平行	B11	34	-	-
	垂直	B21	21	23	25
4	平行	B12	66	-	-
	垂直	B22	28	35	37

注:“-”表示在模拟时间内未报警。

由表 3 可以看出:当镂空率为 14% 时,平行格栅间隙方向安装的格栅处探测器的响应时间明显长于垂直格栅间隙方向安装的探测器;当镂空率为 33% 及 50% 时,平行格栅间隙方向安装的探测器甚至没有做出响应。这表明,在格栅下方处,烟气沿着垂直格栅间隙方向更容易扩散。

格栅间隙 2 cm 以及不同镂空率下,沿不同格栅方向的 A 系列探测器响应时间模拟结果如表 4 所示。从表 4 中可以看出,与火源水平距离相同时,垂直于格栅间隙方向的探测器的响应时间也要明显小于平行于格栅间隙方向探测器响应时间。

表 4 顶棚位置探测器响应时间表

Tab. 4 Response time of detector on actual ceiling

与火源的 水平距离/m	与格栅 方向	探测器 编号	探测器响应时间/s		
			工况 1	工况 3	工况 5
2	平行	A11	37	27	26
	垂直	A21	33	27	20
4	平行	A12	53	40	28
	垂直	A22	43	35	37

3 结语

本文通过数值模拟试验,研究了地铁站台层在不同格栅方向、不同格栅镂空率下的探测器响应时间,并模拟了烟气扩散过程,得到如下结论:

1) 当镂空率为 14% 时,格栅对烟气上升过程的阻隔作用较为明显,格栅位置探测器比顶棚位置探测器响应时间要短;而镂空率为 33% 和 50% 时,格栅对烟气的阻隔作用较小,格栅位置探测器比顶棚位置探测器的响应时间要长,部分格栅位置的探测器甚至在计算时间内未能响应。

2) 与沿平行格栅方向相比,烟气更易沿着垂直格栅的方向扩散,且格栅镂空率越小,现象越明显;对于格栅下方的探测器,垂直格栅方向比平行格栅方向的响应时间明显要短;而对于顶棚处探测器,垂直格栅方向比平行格栅方向的响应时间要短。

3) 在镂空率相同时,2 cm 与 5 cm 格栅间隙的相同位置探测器响应时间没有明显差距。

根据上述结论,格栅吊顶的镂空率及格栅方向对烟气扩散都会产生一定的影响,进而影响火灾探测器的响应时间。因此,建议在地铁站台、站厅层

中有格栅吊顶的区域安装点型感烟火灾探测器或者其它感烟型火灾探测器时,需结合格栅镂空率、平行与垂直格栅间隔的方向上烟气的扩散速度,以及相关标准规范的要求,安装适量探测器。必要时可将探测器同时设置在吊顶上方和下方,也可通过实体试验来确定具体安装位置,以提高感烟火灾探测器的探测效果。

参考文献

- [1] 李宏文,刘旭,张昊,等. 地铁车站空调通风季火灾探测器性能试验研究[J]. 建筑电气,2011(10):58.
LI Hongwen, LIU Xu, ZHANG Hao, et al. Experiment research on the performance of fire detectors in subway station air conditioning and ventilation seasons[J]. Building Electricity, 2011(10):58.
- [2] 张昊,赵金勇,李宏文,等. 地铁运营工况点型探测器探测性能试验研究[J]. 中国安全科学学报,2011(8):43.
ZHANG Hao, ZHAO Jinyong, LI Hongwen, et al. Experimental study on performance of spot detectors on subway platform under subway operating condition[J]. China Safety Science Journal, 2011(8):43.
- [3] 张亦昕,李炎锋,张仁,等. 不同地铁车站吊顶形式对火灾烟气扩散的影响[J]. 中国安全生产科学技术,2016(1):117.
ZHANG Yixin, LI Yanfeng, ZHANG Ren, et al. Influence of different forms of suspended ceiling on smoke diffusion of fire in a subway station[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2016(1):117.
- [4] 李玉幸. 地铁车站格栅吊顶对探测器响应性能影响的研究[D]. 北京:北京建筑大学,2013.
LI Yuxing. Study on the response performance of the detector of subway station grille ceiling[D]. Beijing:Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2013.
- [5] 陈南. 悬空式格栅吊顶场所感烟火灾探测报警试验研究[J]. 火灾科学,2012(4):216.
CHEN Nan. Experimental study on the performance of smoke fire detectors alarming in area with grid suspended ceilings[J]. Fire Safety Science, 2012(4):216.
- [6] 庄永宁. 地铁站台点型感烟火灾探测器的火灾响应性能分析[J]. 城市轨道交通研究,2018(6):44.
ZHUANG Yongning. Analysis on fire response performance of subway platform point smoke detector[J]. Urban Mass Transit, 2018(6):44.
- [7] 陈和燕. 地铁站火灾模拟与人员安全疏散时间研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2019.
CHEN Heyan. Research on fire simulation and personnel evacuation time in subway station[D]. Wuhan:Wuhan University of Technology, 2019.
- [8] FU Y Y, GAO Z H, JI J, et al. Experimental study of flame spread over diesel and diesel-wetted sand beds[J]. Fuel, 2017, 204:54.

(收稿日期:2021-02-02)

(上接第 120 页)

3 结语

本文针对城市轨道交通回流系统钢轨电位动态分布规律进行研究,通过建立城市轨道交通供电-回流-列车动态运行等全供电系统模型下的钢轨电位分布模型,分析多列车动态运行过程中能量穿越分配对回流系统钢轨电位的影响。典型仿真实例分析结果表明,能量穿越对钢轨电位异常升高影响较大。因此,在实际现场钢轨电位规律分析及治理措施确定时,应考虑能量穿越对其的影响。

参考文献

- [1] 吴显志. 广州地铁轨电位过高分析及研究[J]. 机电工程技术,2012(6):142.
WU Xianzhi. Guangzhou metro high rail potential analysis and research[J]. M & E Engineering Technology, 2012(6):142.
- [2] 陈民武,赵鑫,丁大鹏,等. 城市轨道交通供电系统钢轨电位限制装置操作过电压研究[J]. 中国铁道科学,2017(6):94.
CHEN Minwu, ZHAO Xin, DING Dapeng, et al. Research on switching surge of rail over-voltage protection device in power supply system for urban rail transit[J]. China Railway Science, 2017(6):94.
- [3] 张栋梁,裴文龙,穆明亮. 地铁多区间钢轨电位分布及钢轨电位限制装置的合理投切[J]. 城市轨道交通研究,2014(9):53.
ZHANG Dongliang, PEI Wenlong, MU Mingliang. Rational distribution of rail potential and OVPD's switch in multiple metro intervals[J]. Urban Mass Transit, 2014(9):53.
- [4] 王猛. 直流牵引供电系统钢轨电位与杂散电流分析[J]. 城市轨道交通研究,2005(3):24.
WANG Meng. Railpotential and stray current of DC traction power system[J]. Urban Mass Transit, 2005(3):24.
- [5] 杨罡,刘明光,李娜,等. 钢轨电位分布模型及仿真[J]. 北京交通大学学报,2010(2):137.
YANG Gang, LIU Mingguang, LI Na, et al. Research on model of rail potential distribution and its simulation[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2010(2):137.
- [6] 李国欣,吴培林,裴文龙. 钢轨电位与杂散电流综合抑制研究[J]. 城市轨道交通研究,2017(4):65.
LI Guoxin, WU Peilin, PEI Wenlong. Research on integrative suppression of rail potential and stray current[J]. Urban Mass Transit, 2017(4):65.

(收稿日期:2019-08-19)