

地铁车站站厅排烟口位置对乘客安全疏散的影响

范乐乐

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 430063, 武汉//工程师)

摘要 为改善地铁车站站厅层公共区的排烟效果,以郑州某地铁车站为研究对象,利用 FDS(火灾数值模拟)软件对不同的排烟工况下的火灾数据进行数值模拟计算,得出以下结论:在安全疏散时间内,除了着火点周围 3 m 区域范围,其他位置均能够满足乘客的安全疏散要求;火灾时,相比排烟管道设置在站厅层公共区围护结构两侧区域,排烟管道在站厅层公共区中部区域时更有利于乘客的安全疏散;在进行排烟设计时,站厅层公共区易发生火灾部位周围沿站厅层长度方向上 12.6 m 范围内、宽度方向上 6.45 m 范围内不应设置排烟防火阀。

关键词 地铁;站厅火灾;排烟模式;仿真模拟

中图分类号 U231.96

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.05.043

Influence of Smoke Outlet Location in Subway Station Hall on Passenger Safety Evacuation

FAN Lele

Abstract In order to improve the smoke emission effect in the public area on subway station hall floor, a subway station of Zhengzhou rail transit is taken as the research target. Fire data simulation (FDS) software is used to simulate and calculate the fire data under different smoke exhaust conditions, following conclusions are drawn. During the period of safe evacuation, except the 3 m area around the fire, all other places can meet the requirements for passenger safe evacuation; in case of fire, compared to the areas on both sides of the protective structure which is set in the public area on the station hall floor, the smoke exhaust pipe set in the central area on the station hall floor is more conducive to the safe evacuation of passengers. Therefore, in smoke exhaust duct design, the smoke exhaust valves should not be set in the 12.6 m range along the length direction and 6.45 m range along the width direction of the places prone to fire on the station hall.

Key words subway; station hall fire; ventilation mode; simulation

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

地铁车站是地下的狭长封闭建筑,仅通过有限的楼梯及风亭同地面相通,故发生火灾时,大量高温、有毒烟气难以及时排出。在以往的地铁火灾事故中,有 70% 以上的乘客因为吸入过多有毒烟气及物质而导致昏迷或死亡^[1-4]。因此,研究地铁车站的排烟方案及排烟效率十分重要。

本文以郑州某地铁车站(以下称为“典型车站”)为研究对象,通过改变站厅层公共区排烟管道的位置,利用 FDS(火灾数值模拟)软件模拟不同的排烟工况,计算并分析不同排烟工况下站厅层公共区清晰高度^[5]内的温度、CO 浓度、能见度等相关数据,进而得到排烟管道的最佳设置位置。

1 模型建立及工况设计

1.1 物理模型

典型车站的站厅层公共区长度为 101.2 m,宽度为 18.70 m,高度为 4.80 m,设有 4 个 6.60 m×3.80 m(宽×高)的出入口,其吊顶采用镂空格栅形式。

根据典型车站站厅层公共区的实际尺寸建立 1:1 的物理模型。并选定站厅层公共区左下角为坐标原点建立三维坐标轴, x 轴平行于该站站厅层长度方向, y 轴平行于该站站厅层宽度方向, z 轴平行于该站站厅层高度方向。物理模型平面如图 1 所示。

该站站厅层公共区在 y 方向和 x 方向上,分别以 $x=51.60$ m 面及 $y=9.35$ m 面为对称轴呈两侧对称。 $x=51.60$ m 面和 $y=9.35$ m 面将该站厅层公共区划分为 A、B、C、D 等 4 个区域。4 个区域内分别设置 1 根金属送风管(不可燃),即 1 根尺寸为 1.25 m×0.50 m(宽×高)的金属排烟管(不可燃),以及 FAS(防灾报警系统)、BAS(环境与设备监控系统)、综合监控系统、通信系统等电缆桥架(难燃)。在站厅层公共区顶板下方,设有高度不同的下翻梁。其中: $x \in (0, 10.60 \text{ m}) \cap y \in (8.95 \text{ m}, 9.35 \text{ m})$ 及 $x \in (93.20 \text{ m}, 103.20 \text{ m}) \cap y \in (8.95 \text{ m}, 9.35 \text{ m})$ 区域,混凝土结构梁下翻 0.30 m;在 $x \in$

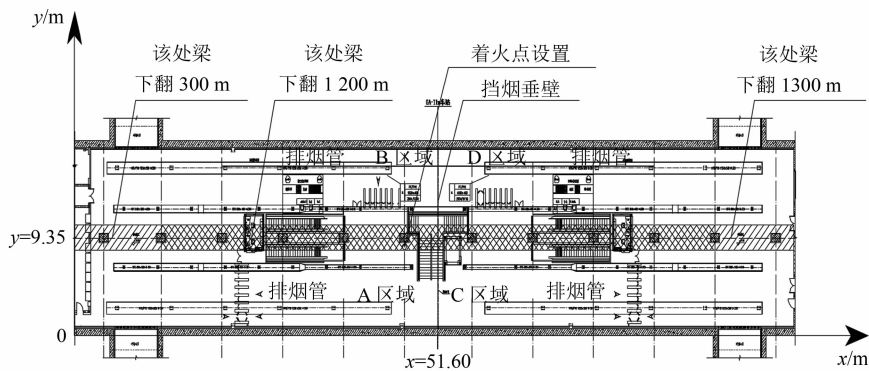


图1 地铁典型车站站厅层公共区物理模型平面图

(10.60 m, 93.20 m) $\cap y \in (8.95 \text{ m}, 9.35 \text{ m})$ 区域混凝土结构梁下翻1.20 m;在 $x \in (51.50 \text{ m}, 51.60 \text{ m}) \cap y \in (0, 18.70 \text{ m})$ 区域,设有底标高为 2.90 m 的挡烟垂壁。

站厅层公共区建筑面积为 1 888.9 m²。根据 GB 50157—2013《地铁设计规范》等相关规范对地铁车站站厅层公共区排烟量的规定,经计算可知,该地铁车站站厅层公共区的总排烟量为 $1.13 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{h}$ 。考虑 20% 的漏风量,每根排烟风管的排烟量为 34 000 m³/h。

1.2 火源设置

该站厅层公共区仅有局部位置采用 B1 级难燃材料,其余部位均采用 A 级不燃材料,且该地铁车站未设置任何商业开发区域。参考文献[7-9],该站厅层公共区主要火灾荷载为由乘客随身携带的行李物品,相应的火源热释放最大速率设定为 3 MW。

火源尺寸设置为 2 m×2 m (长×宽),火源的位置设定在站厅层公共区排烟系统的最不利点(即站厅层公共区中部区域且距排烟口最远处),火源的中心坐标为(46.60 m, 8.25 m, 0.60 m)。

随着时间推移,火源的热释放速率 Q 为^[10]:

$$Q = \alpha t^2 \quad (1)$$

式中:

α ——火源热释放速率的增长系数,以超快速增长火计算^[11], $\alpha = 0.1878 \text{ kW/s}^2$;

t ——起火时间。

经计算可知, $t = 126.4 \text{ s}$ 时,火源的热释放速率达到峰值 3 MW,且随后保持稳定状态。

1.3 排烟工况

站厅层公共区 A、B、C、D 区域内每根排烟管上各设置 6 个 500 mm×400 mm 的下排烟口。每根排

烟管上两排烟口间距为 8 m。着火 1 min 后,开启排烟风机,依靠出入口自然补风。

根据排烟管位置的不同,设定 2 个站厅层公共区排烟工况。

1) 工况 I。排烟管设于站厅层公共区围护结构两侧。A、C 区域排烟管的纵向中心坐标为 $y = 2.125 \text{ m}$, B、D 区域排烟管的纵向中心坐标为 $y = 16.575 \text{ m}$ 。

2) 工况 II。排烟管设于站厅层公共区中部。A、C 区域排烟管的纵向中心坐标为 $y = 6.350 \text{ m}$, B、D 区域排烟管的纵向中心坐标为 $y = 12.350 \text{ m}$ 。

1.4 基本假设

为方便 FDS 软件建模及计算,作以下合理假设:①未起火时,该站站厅层公共区室内及周围围护结构的温度默认为 20 ℃;②忽略该地铁车站内的照明、售票机及检票机等设备对火灾的影响。

2 数值模拟计算理论及方法

本文利用 FDS 软件内的 LES(大涡模拟)方法进行数值模拟求解,可获取各测点处的温度、CO 的体积分数、CO₂ 的体积分数及能见度等一系列相关数据。根据文献[12],由质量守恒方程,有:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0 \quad (2)$$

由动量守恒方程,有:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \mathbf{u}) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \mathbf{u}) = \rho \mathbf{g} + \mathbf{f} + \nabla \cdot \tau_{ij} \quad (3)$$

由能量守恒方程,有:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} h) = \frac{DP}{Dt} + \dot{q} - \nabla \cdot \mathbf{q}_w + \Phi \quad (4)$$

由组分守恒方程,有:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i) + \nabla \cdot \rho Y_i \bar{u} = \nabla \cdot \rho D_i \nabla Y_i + \dot{m}_i \quad (5)$$

式中:

u ——速度矢量;

Y_i ——第 i 种组分的质量分数;

D_i ——第 i 种组分的扩散系数;

\dot{m}_i ——第 i 种组分的质量生成速率;

\dot{q} ——单位体积内的热释放速率;

q_w ——热通量矢量;

h ——单位质量流体的焓值;

ρ ——密度;

P ——压力;

\bar{u} ——平均速度;

g ——重力加速度;

τ_{ij} ——微元体中垂直于 j 的表面上所受到的 i

方向切应力 ($i, j=1, 2, 3$);

Φ ——单位质量流体在单位时间内由于黏性摩擦而耗散的机械能;

∇ ——梯度算子;

f ——单位质量力;

$\frac{D}{Dt}$ ——质点导数算子。

3 模拟结果及分析

3.1 人员安全疏散时间指标

根据 GB 50157—2013《地铁设计规范》,当地铁车站发生火灾时,乘客的安全疏散可用时间应不少于 6 min。

根据 GB 51251—2017《建筑防烟排烟系统技术标准》计算可知,当地铁车站站厅层发生火灾时,最小清晰高度为 2.1 m。

由于我国尚未制定相关的人员安全疏散判定标准,可参考国外的相关安全准则要求。由澳大利亚消防工程规范及文献[14-15]可知,在清晰高度 2.1 m 范围内,应达到温度 $\leq 60^\circ\text{C}$,能见度 $> 10\text{ m}$, CO 的质量分数 $< 250 \times 10^{-6}$ 。

3.2 两种排烟工况的模拟结果

3.2.1 温度分布

在两种工况下,不同时刻站厅横向截面的温度分布如图 2 和图 3 所示。从图 2 和图 3 可以看出:

1) 在工况 I 和工况 II 中,在起火后 6 min 内,除了着火点周围 3.00 m 范围内,其他区域 2.10 m 高度以下温度均不超过 60°C 。

2) 起火后 60 s 时,两种工况下的温度分布相同。

3) 随着时间推移,两种工况下的温度都逐渐升高。工况 II 在公共区中部区域的温度比工况 I 的高,工况 II 在公共区靠围护结构两侧区域的温度比工况 I 的低。

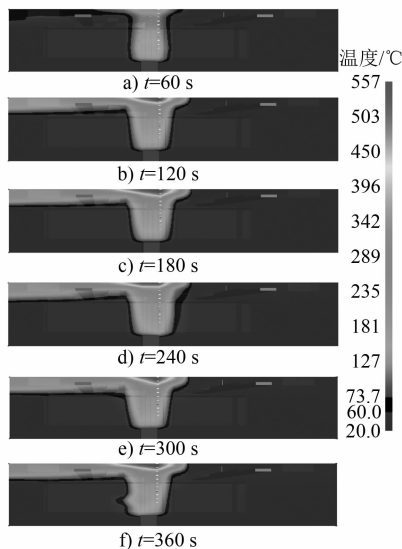


图 2 工况 I 下不同时刻的站厅横向截面温度分布云图

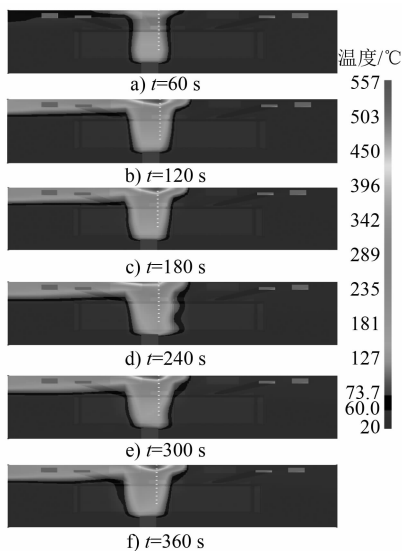


图 3 工况 II 下不同时刻站厅横向截面温度分布云图

3.2.2 能见度分布

两种工况下,不同时刻站厅横向截面的能见度分布如图 4 和图 5 所示。从图 4 和图 5 可以看出:

1) 在工况 I 和工况 II 下,在起火后 6 min 内,除了着火点周围 3.00 m 范围内,其他区域 2.10 m 高度以下能见度均超过 10 m。

2) 起火后 60 s 时,两种工况下的能见度分布

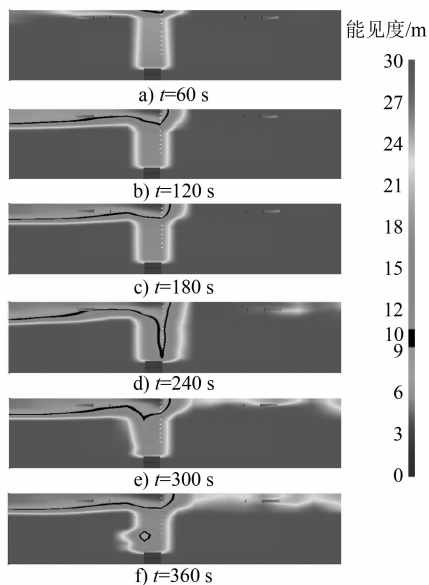


图4 工况 I 下不同时刻站厅横向截面能见度分布云图

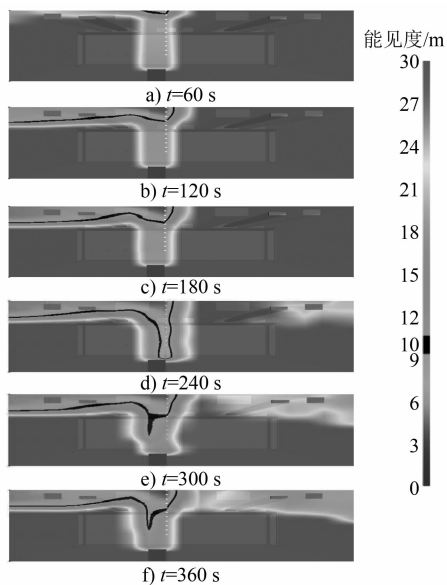


图5 工况 II 下不同时刻站厅横向截面能见度分布云图

相同。

3) 随着时间推移,两种工况下的能见度均越来越差。工况 II 在公共区中部区域的能见度状况比工况 I 差,工况 II 在公共区靠围护结构两侧区域的能见度状况比工况 I 好。

3.2.3 体积分数分布

两种工况下,不同时刻站厅横向截面的 CO 体积分数分布如图 6 和图 7 所示。从图 6 和图 7 可以看出:

1) 工况 I 和工况 II 下,在起火 6 min 内,除了着火点周围 3.00 m 范围内,其他区域 2.10 m 高度以下 CO 体积分数均不超过 250×10^{-6} 。

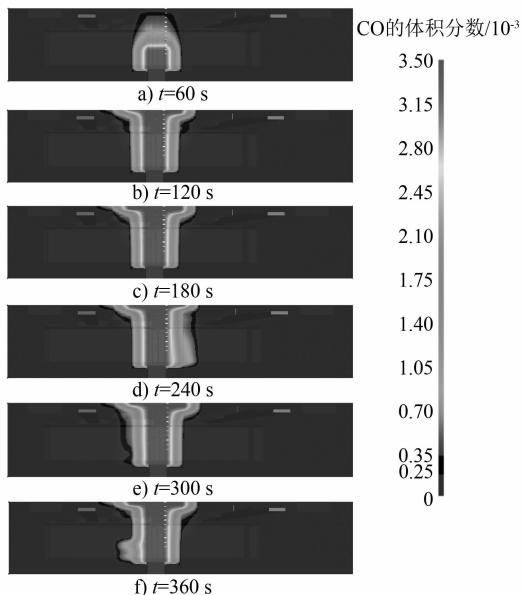


图6 工况 I 下不同时刻的站厅横向截面 CO 体积分数分布云图

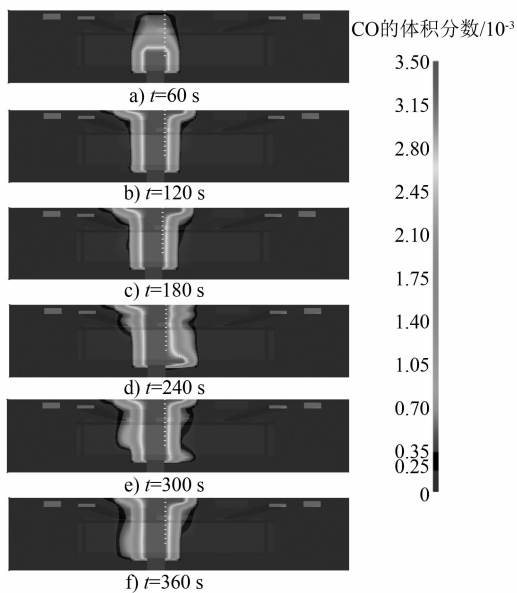


图7 工况 II 下不同时刻站厅横向截面 CO 体积分数分布云图

2) 起火后 60 s 时,两种工况下的 CO 体积分数分布相同。

3) 随着时间的推移,两种工况下的 CO 体积分数均越来越高,且 CO 体积分数分布差别不大。

3.2.4 综合分析

综合分析上述指标可知:

1) 两种工况下,在 6 min 的安全疏散时间内,除了着火点周围 3.00 m 范围内,其他区域均能满足乘客的疏散要求。

2) 起火后 60 s 时,两种工况下的各项指标均相同。

3) 随着时间推移,相比工况 I,在工况 II 下,站厅层公共区内靠围护结构两侧区域的疏散条件更好,站厅层公共区内中部区域的疏散条件更差。

进一步分析可知:

1) 当着火点位于车站站厅层公共区中部区域,发生火灾时,烟气自着火点上升至顶板后,沿着顶板纵向及横向逐渐扩散。故在烟气上升过程及烟气上升至顶板后,若能越早地将烟气排除,则剩余在车站内的烟气就越少,越有利于乘客的疏散。相比工况 I,工况 II 的排烟管道设于站厅层公共区中部区域,其排烟管道上排烟口距离火灾位置更近,故能更好、更快地排除烟气。

2) 当站厅层公共区发生火灾时,排烟管道负责排烟,出入口负责自然补风。工况 I 下,火灾产生的烟气被排烟管吸至站厅层公共区围护结构两侧区域上方,又随着新风从 4 个出入口进入车站。这将使靠近围护结构两侧区域的疏散通道气流紊乱,不利于乘客的安全疏散。工况 II 下,排烟管道上排烟口的吸力能更好地将烟气控制在站厅层公共区中部区域,且从 4 个出入口进入的新风也能进一步阻挡烟气向围护结构两侧区域处的疏散通道扩散,更有利于乘客的疏散。故地铁车站站厅层公共区发生火灾时,排烟管道设置在站厅层公共区中部区域更有利于乘客的安全疏散。

3.3 站厅层公共区排烟防火阀的设置位置

GB 15930—2007《建筑通风和排烟系统用防火阀门》规定:排烟防火阀安装在机械排烟系统的管道上,平时呈开启状态,火灾中当排烟管道内烟气温度达到 $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时关闭;排烟口安装在机械排烟系统排烟吸入口处,平时呈关闭状态,火灾或需要排烟时打开,当温度达到 $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时再次关闭。

通过调研可知,绝大多数地区地铁车站站厅层公共区的排烟管道在非火灾时用作通风或空调管道,而排烟口在非火灾时处于关闭状态,故地铁车站站厅层排烟管道上的风口不能使用排烟口。而排烟管道在穿越防火墙等处需设置排烟防火阀,因此,发生火灾时排烟防火阀处温度是否高于 $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ 将直接决定该排烟管道是否能够排烟。

图 8 和图 9 为工况 II 下的站厅着火点所在断面的温度分布云图。从图 8 和图 9 可以看出,发生火

灾后 6 min 内,着火点上方一定范围内的温度已超过 $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

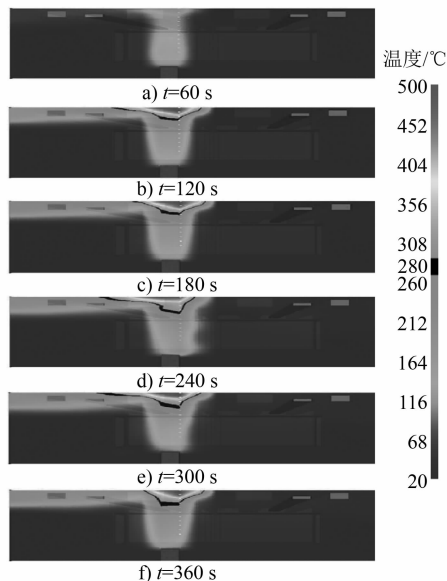


图 8 工况 II 下不同时刻站厅 $x=46.6\text{ m}$ 处横向截面温度分布云图

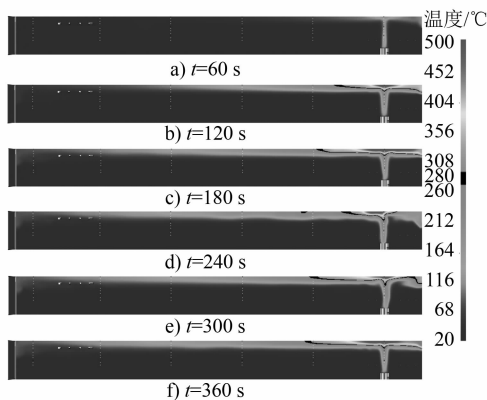


图 9 工况 II 下不同时刻站厅 $y=8.25\text{ m}$ 处纵向截面温度分布云图

从图 10 可以看出,在 $t=180\text{ s}$ 时,站厅层公共区 $x=35.00\text{ m}$ 顶板处温度超过 $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。由模拟结果还可知,在 $t=6\text{ min}$ 时, $x=34.00\text{ m}$ 处温度均不超过 $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。即发生火灾后 6 min 内,沿站厅层公共区 x 方向上,着火点周围 12.60 m 范围内有温度超过 $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的区域。

从图 11 可以看出,在 $t=180\text{ s}$ 时,站厅层公共区 $y=1.90\text{ m}$ 处顶板温度超过 $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。由模拟结果还可知,在 $t=6\text{ min}$ 时, $y=1.80\text{ m}$ 处温度均不超过 $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。即发生火灾后 6 min 时间内,沿站厅层公共区 y 方向上,着火点周围 6.45 m 范围内温度有超过 $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的区域。

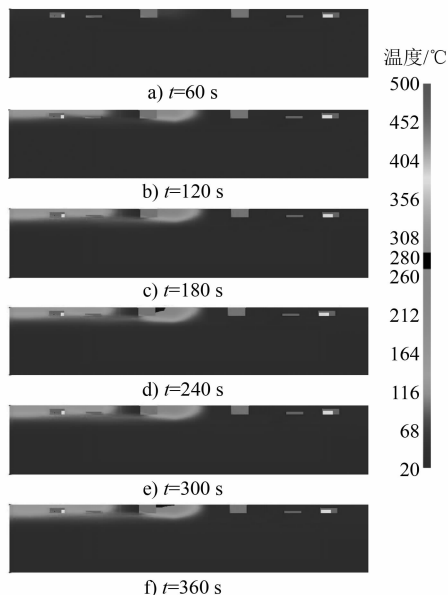


图 10 工况 II 下不同时刻站厅 $x=35.0$ m 处
横向截面温度分布云图

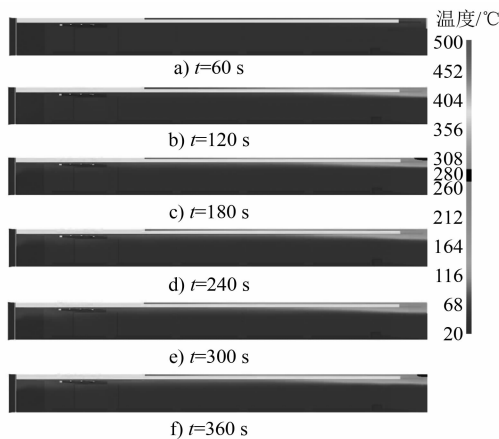


图 11 工况 II 下不同时刻站厅 $y=1.9$ m 处
纵向截面温度分布云图

由上述分析可知:当地铁车站站厅层公共区发生火灾时,在 6 min 的安全疏散时间内,沿站厅层公共区长度方向上,着火点周围 12.60 m 范围内有超过 $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的区域;沿站厅层公共区宽度方向上,着火点周围 6.45 m 范围内有超过 $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的区域;该范围内的排烟防火阀在 6 min 内将会关闭,不利于人员的安全疏散。

因此,在进行排烟设计时,站厅层公共区易发生火灾部位周围沿站厅层长度方向上 12.60 m 范围内、宽度方向上 6.45 m 范围内不应设置排烟防火阀。确需设置排烟防火阀时,应合理调整站厅层公共区易燃点的位置,使发生火灾时,排烟防火阀不会在 6 min 的安全疏散时间内关闭。

4 结语

本文经模拟分析,得出如下结论:

1) 在工况 I 及工况 II 下,在 6 min 的安全疏散时间内,除了着火点周围 3.00 m 区域范围,其他位置均能够满足乘客的安全疏散要求。

2) 火灾时,相比排烟管道设置在站厅层公共区围护结构两侧区域,排烟管道设置在站厅层公共区中部区域时更有利于乘客的安全疏散。

3) 在进行排烟设计时,站厅层公共区易发生火灾部位周围沿站厅层长度方向上 12.60 m 范围内、宽度方向上 6.45 m 范围内不应设置排烟防火阀。

根据上述研究结论,郑州某地铁车站的排烟管道设置于站厅层公共区中部区域。

参考文献

- [1] 常磊,史聪灵,涂旭炜.地铁岛式车站火灾排烟模式的计算与验证[J].消防科学与技术,2010,29(8): 664.
- [2] 周荣义,黎忠文.地铁火灾的防范与疏散[J].工业安全与环保,2005,31(11): 58.
- [3] 李俊梅,蔡娜,李炎锋,等.北京某地铁车站性能化火灾危险分析[J].北京工业大学学报,2011,37(9): 1377.
- [4] 岳海玲,徐莉雅,高松.地铁站台火灾时通风模式[J].实验室研究与探索,2012,31(3): 35.
- [5] 仲煜炜.地铁车站的火灾模拟与安全性研究[D].北京:北京交通大学,2013.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部.地铁设计规范:GB 50157—2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [7] 魏雨.地铁火灾人员安全疏散研究[D].沈阳:沈阳航空航天大学,2011.
- [8] 纪杰,钟委,张英,等.典型多层地铁车站中间层起火时的通风模式优化分析[J].中国铁道科学,2010,31(2): 131.
- [9] 纪杰.地铁站火灾烟气流动及通风控制模式研究[D].合肥:中国科学技术大学,2008.
- [10] 史聪灵,钟茂华.深埋地铁车站火灾实验与数值分析[M].北京:科学出版社,2009.
- [11] NFPA.Standard for Smoke and Heat Venting:ANSI/NFPA 204 M—2002[S].Quincy, Ma, USA:National Fire Protection Association Publisher of the National Electrical Code,2002.
- [12] 刘全忠,李小斌.高等流体力学[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2008.
- [13] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑防排烟系统技术标准:GB 51251—2017[S].北京:中国计划出版社,2017.
- [14] 刘万福,王静莹,葛明慧,等.地铁通风排烟系统评价指标的实验研究[J].工程热物理学报,2008,29(4): 602.
- [15] 潘一平.地铁站台通风排烟系统有效性分析[J].铁道科学与工程学报,2012(1): 95.

(收稿日期:2018-10-10)