

文章编号: 1671-6612 (2019) 05-538-04

# 火源位置对防护工程火灾烟气扩散影响研究

邢哲理 李春东 龙洋波 毛维 邓非凡 李超峰 樊成飞

(军事科学院国防工程研究院 北京 100036)

**【摘要】** 为讨论火源位置对防护工程火灾时走廊内烟气扩散的影响,根据相似原理搭建了模型与实体比例为1:4的单室-走廊模型实验台,进行了2个工况的模型实验,分析了走廊内烟气温度分布,研究了火灾分别位于走廊和单室时走廊内烟气温度、CO浓度、CO<sub>2</sub>浓度及O<sub>2</sub>浓度等烟气特性。结果表明,火源位于走廊时,走廊内烟气最高温度、平均温度及烟气温度变化速率均大于火源位于单室时,火源位于走廊时走廊内CO浓度、CO<sub>2</sub>浓度及O<sub>2</sub>浓度与火源位于单室相比对人员也更不利,应避免在工程的走廊内放置易燃、可燃物品,尤其是高热值物品。

**【关键词】** 火源位置;防护工程;火灾;烟气

中图分类号 X936 文献标识码 A

## Influence of Fire Location on Fire Smoke Diffusion in Protective Engineering

Xing Zheli Li Chundong Long Yangbo Mao Wei Deng Feifan Li Chaofeng Fan Chengfei

(Defense Engineering Institute of PLA Academy of Military Sciences, Beijing, 100036)

**【Abstract】** In order to discuss the influence of fire location on smoke diffusion in corridors when fire happened in Protective Engineering, a room-corridor model test-bench with a ratio of 1:4 between model and entity was built according to the similarity principle, and model experiments were carried out under two working conditions. The smoke temperature distribution in corridors was analyzed, smoke temperature, CO concentration, CO<sub>2</sub> concentration and O<sub>2</sub> concentration were studied. The results show that when the fire source is located in the corridor, the maximum temperature, average temperature and the change rate of smoke temperature in the corridor are higher than those in the room. When the fire source is located in the corridor, the CO concentration, CO<sub>2</sub> concentration and O<sub>2</sub> concentration in the corridor are more harmful to the personnel than those in the single room. It is necessary to avoid placing inflammable and combustible goods, especially high calorific value articles in the corridor of Protective Engineering.

**【Keywords】** fire location; Protective Engineering; fire; smoke

## 0 引言

火灾烟气是指火灾时产生的气体和悬浮在其中的烟粒子的总称,是燃烧和热解产物的混合物,是衡量火灾危害性的重要要素,是火灾的基本表征参数之一。火灾发生后,在短时间内会形成大量的高温烟气,烟气是人员伤亡的主要原因<sup>[1,2]</sup>,烟气

的高温不仅会对人员安全造成威胁,还对设施设备、工程建筑结构造成巨大损坏<sup>[3,4]</sup>,甚至造成坍塌。近年来,不少人员针对防护工程、隧道等地下工程进行了研究<sup>[5-8]</sup>。

由于火灾的破坏性,模型实验成为研究火灾的重要手段<sup>[9]</sup>,"单室-走廊"结构是防护工程中非常

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No.51608524)

作者简介:邢哲理(1986.9-),男,博士,工程师,E-mail:zheli86@sina.com

通讯作者:李春东(1977.1-),男,本科,工程师,E-mail:13691271599@163.com

收稿日期:2018-11-12

典型的结构样式,美国弗吉尼亚大学的研究组搭建了“房间-走廊”结构的模型实验台,研究了通风受限情况下的烟气迁移规律研究<sup>[10,11]</sup>,受他们启发,国内火灾研究人员也搭建并改进了小尺度模型实验台进行了相关的研究<sup>[12,13]</sup>。火灾具有随机性,走廊和单室内均有可能发生火灾,本文根据相似原理搭建“单室-走廊”模型实验台和数据采集系统,通过变换工况研究火源分别位于单室和走廊时对走廊内烟气扩散规律的影响,为建筑火灾人员逃生及消防救援工作提供参考。

## 1 实验

### 1.1 实验台搭建

实验选择一个防护工程的防火分区为原型,该

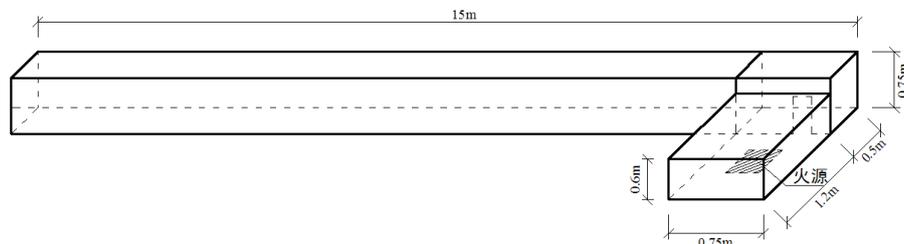


图 1 模型实验台尺寸

Fig.1 Model test bench size



图 2 模型实验台示意图

Fig.2 Schematic diagram of model test bench

### 1.2 火源及工况设置

工况 1 和工况 2 均采用直径 10cm 的油池盛放 100mL 正庚烷燃料作为火源,其中工况 1 的火源位置位于走廊一端,油池的圆心距相近的走廊端为 0.3m,走廊远火源端封闭,走廊宽度为 0.5m,走廊高度为 0.75m。工况 2 时模型实验台为单室-走廊结构,火源位于单室中央,走廊尺寸与工况 1 相同。

### 1.3 数据采集系统

火灾模型实验数据采集系统主要包括烟气成分浓度采集系统、火源质量损失速率采集系统以及温度采集系统,本文分析只涉及温度采集系统和烟气成分浓度采集系统。温度测量采用直径 0.5mm 的 K 型热电偶制作热电偶树探测不同高度温度值,

原型由一个火源房间和长通道组成,中间为走廊(尺寸为 60m×2m×3m),火源房间尺寸为 4.8m×3m×2.4m,房间开一个高 2m、宽 0.8m 的门,没有窗户。

本文根据传热学相似理论和关键相似准则<sup>[5]</sup>以 1:4 的几何比例建立模型,依据模型率分析可得到模型与实体之间的温度、烟气浓度关系均为 1:1,时间比例为 1:2,热释放速率比例为 1:32,火源热值比例为 1:64,模型实验台尺寸如图 1 所示。模型主体采用塑钢材料,模块化连接,可变换模型的宽度和高度,火源房间选用耐高温钢化玻璃材质,以便于观察火焰,火源房间顶部采用厚铁皮,模块之间连接处采用防火密封剂封堵以保证完全密封。搭建的实验台如图 2 所示。

热电偶测量范围为 0~1300℃,测量精度为 0.4%,响应时间为 10s。经过温度采集模块 R-8018BL 处理后通过 RS-485 通信总线将数据显示在采集软件上,数据采集软件由 VIASUAL BAISC 编写,能够实时的采集、观察和储存各测点处的温度情况。

通过 TESTO 310 烟气分析仪进行一氧化碳、二氧化碳及氧气浓度三个物理量的同时测量,氧气的测量精度为 0.2%,响应时间为 30s,CO 和 CO<sub>2</sub> 的响应时间为 60s,CO 的测量精度为 20ppm (0~400ppm), 5% (401~2000ppm), 10% (2001~4000ppm)。

### 1.4 测点布置

如图 3 所示,从走廊近火源端到远火源端布置了五组热电偶树 (T1~T5),它们与走廊近火源端纵向距离分别为 0.75m、3.75m、6.75m、10.75m、14.75m。走廊高度为 75cm 时每个热电偶树上包含 6 个探头,从下往上分别是 1#~6#测点,其中 6#测点与走廊顶棚距离为 1cm,1#热电偶与地面距离为 4cm,每相邻的两个探头之间相距 14cm。在距走廊近火源端 5.75m 处设置一个烟气分析仪测点,位于走廊的中线。

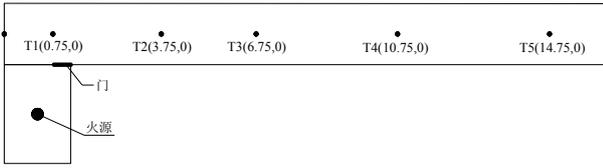


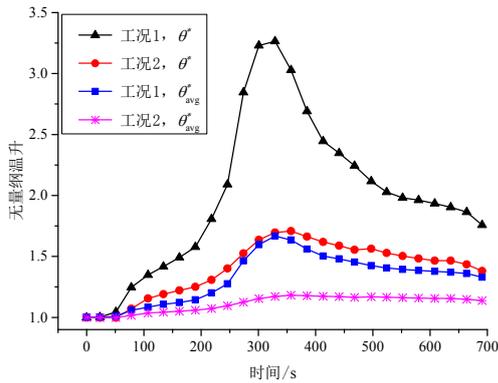
图3 测点布置图

Fig.3 Layout of measuring points

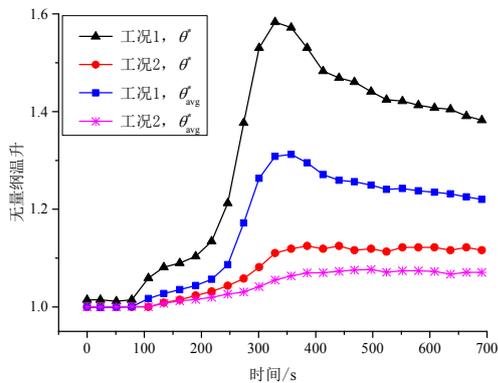
## 2 结果与讨论

### 2.1 火源位置对烟气温度影响分析

定义走廊中无量纲最高温升  $\theta^* = (t_{b,max} - t_{\infty}) / t_{\infty}$  和无量纲平均温升  $\theta_{avg}^* = (t_{b,avg} - t_{\infty}) / t_{\infty}$ , 其中  $t_{b,max}$  为走廊中某一热电偶树上最高温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{b,avg}$  为某一热电偶树上的温度平均值,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\infty}$  为环境温度,  $^{\circ}\text{C}$ 。图4所示为火源分别位于走廊(工况1)和单室(工况2)时无量纲最高温升和无量纲平均温升随时间变化。



(a) T2 处



(b) T4 处

图4 无量纲温升随时间变化

Fig.4 Dimensionless temperature rise varies with time

从图4可以发现,火源位于单室时走廊中温度远远低于火源位于单室时,工况1时走廊中T2处无量纲最大温升达到将近3.5(120 $^{\circ}\text{C}$ ),工况2时T2处无量纲最大温升约为1.75(60 $^{\circ}\text{C}$ ),工况1的T2处最高温度比工况2几乎高了一倍,工况1时T4处无量纲最大温升比工况2时也高了45.5%。除此之外,还可以发现工况1时T2和T4处的无量纲平均温升也远远高于工况2时,并且工况1时温度的变化速率也比工况2时大。以上说明,火源位于走廊时对人员的热伤害作用远大于同种规模火源位于单室。

由文献[8]可知,火源位于单室时燃烧释放的热量几乎50%被围护结构吸收,向走廊中扩散的烟气带走的热量占总热量的40%左右,而火源位于走廊时燃烧产生的热量全部在走廊中扩散,因此,火源位于单室时走廊中温度变低。

### 2.2 火源位置对烟气浓度影响分析

图5~图7所示为火源分别位于单室和走廊中时一氧化碳、氧气和二氧化碳浓度随时间的变化。人员在火灾中逃生时空气质量的标准应该比正常情况下严格,因为在逃生过程中只要一氧化碳、二氧化碳和氧气等气体浓度对人员的判断和反应能力以及身体机能产生影响,会大大增加人员逃生的不确定性,降低人员逃生成功的概率,这些气体的浓度可能还没达到相关规范说明的致死量人员就已经被困,因此火灾时这些气体浓度的临界值应该以正常状况下对人员产生重要影响的浓度标准来衡量。一般情况下,当氧气浓度为10%~17%时人员会感觉疲惫、活动能力下降,设人员火灾逃生中氧气的浓度危险值为17%;当一氧化碳浓度为600ppm~700ppm时人员会感觉头疼、呼吸不畅,设人员火灾逃生中一氧化碳浓度危险值为600ppm;二氧化碳浓度为2%时人员会呼吸困难和头晕,设人员火灾逃生中二氧化碳浓度危险值为2%。

观察可发现,火源位于走廊和位于单室时一氧化碳、氧气和二氧化碳浓度的变化趋势基本一致。工况1和工况2时一氧化碳和氧气浓度均未达到危险值,火源位置对它们影响不大。但是二氧化碳浓度在两个工况下均达到了2%以上,工况1时烟气测点处二氧化碳浓度在300s达到了2%,工况2时烟气测点处二氧化碳浓度比工况1晚了150s达到2%。因此,火源位于走廊时烟气浓度也对人员造

成了不利影响。

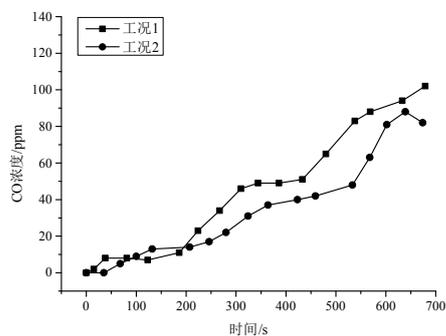


图 5 火源位置不同时 CO 浓度对比

Fig.5 Comparison of CO concentration

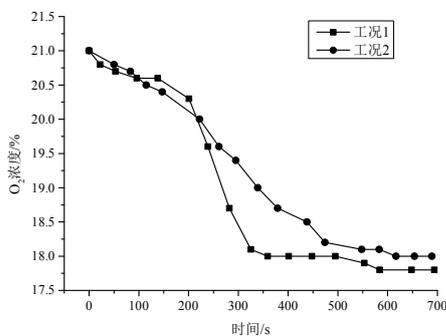


图 6 火源位置不同时 O<sub>2</sub> 浓度对比

Fig.6 Comparison of O<sub>2</sub> concentration

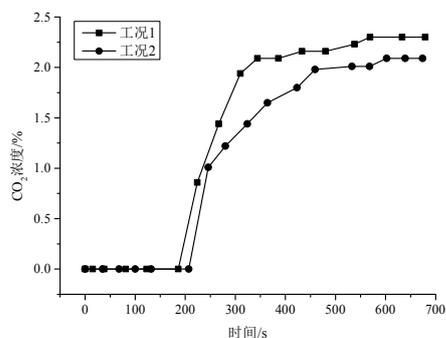


图 7 火源位置不同时 CO<sub>2</sub> 浓度对比

Fig.7 Comparison of CO<sub>2</sub> concentration

### 3 结论

火源位于走廊时, 高温烟气在走廊中直接扩散, 没有了单室的围护结构对火源释放热量的吸收, 走廊内最高温度和平均温度均高于火源位于单室时工况, 烟气温度的变化速率也大于火源位于单室时工况, 火源位于走廊时对人员的热伤害作用很大。除此之外, 火源位于走廊时烟气浓度与火源位

于单室内相比也对人员更加不利, 因此尽量避免在防护工程走廊中放置、储存可燃物, 尤其是易燃、热值高的物品, 对于走廊内可燃物的放置地点应该重点设置火灾报警和灭火措施, 避免在防护工程的走廊中形成火灾。

### 参考文献:

- [1] 黄锐, 杨立中, 方伟峰, 等. 火灾烟气危害性研究及其进展[J]. 中国工程科学, 2002, 4(7): 80-85.
- [2] 杨立中, 方伟峰. 火灾中的烟气毒性研究[J]. 火灾科学, 2001, 10(1): 29-33.
- [3] 李忠友, 刘元雪, 刘树林, 等. 火灾作用下隧道衬砌结构变形理论分析模型[J]. 岩土力学, 2012, 33(2): 307-310.
- [4] 林志, 郭军, 李强. 公路隧道衬砌混凝土火灾高温下的物理力学损伤规律[J]. 公路交通技术, 2012, (6): 92-96.
- [5] 郭辉. 集中防烟模式下特长铁路隧道救援站火灾烟气控制数值模拟分析[J]. 制冷与空调, 2015, (1): 87-93.
- [6] 王松, 王子云, 梁园, 等. 基于 FDS 的公路隧道火灾温度分布和烟气回流分析[J]. 制冷与空调, 2015, (5): 601-605.
- [7] 付召, 王子云. 隧道火灾羽流质量流量计算公式的研究[J]. 制冷与空调, 2018, (3): 231-234.
- [8] 茅新丰, 邢哲理, 黄玉良, 等. 防护工程密闭空间火灾热分配试验研究[J]. 中国安全科学学报, 2014, 24(5): 44-50.
- [9] 姚亦君. 城市隧道自然通风模型实验研究[D]. 南京: 解放军理工大学, 2008.
- [10] Wiecek C J, Vandsburger, et al. The Applicability of Correlations Between the Species Formation and the Global Equivalence Ratio in a 1/2 Scaled ISO Compartment with Nongaseous Fuel[M]. Proceedings of the Sixth international Symposium on Fire Safety Science. Boston: International Association for Fire Safety Science, 2000: 965-976.
- [11] Lattimer B Y, Vandsburger U, Roby R J. Carbon Monoxide Levels in Structure Fires: Effects of Wood in the Upper Layer of a Post-Flashover Compartment Fire[J]. Fire Technology, 1998, 34(4): 325-355.
- [12] 杨立中, 方廷勇, 冯文兴, 等. 远离火源位置点烟气浓度变化规律的实验研究[J]. 工程热物理学报, 2004, 25(4): 717-719.
- [13] 方廷勇, 杨立中, 冯文兴, 等. 典型建筑结构中烟气毒物迁移的实验及数值分析[J]. 燃烧科学与技术, 2005, 11(1): 62-67.