

文章编号: 1671-6612 (2020) 01-049-04

# 防火卷帘对防护工程火灾烟气扩散影响研究

邢哲理<sup>1</sup> 龙洋波<sup>1</sup> 毛维<sup>1</sup> 吉少杰<sup>2</sup> 邓非凡<sup>1</sup> 李超峰<sup>1</sup>

(1.军事科学院国防工程研究院 北京 100036 ;

2.中央军委机关事务管理总局 北京 100120)

**【摘要】** 为讨论防火卷帘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,研究了不同工况条件下走廊内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,防火卷帘关闭后走廊中最高温度有所降低,走廊中温度竖向分布更加趋于一致,烟气的热分层稳定性降低;卷帘门关闭后导致烟气浓度发生变化的时间提前,且烟气浓度的极值向对人员安全不利的方向显著发展;建议火灾初期和人员未完全逃出防火分区时防火卷帘处于开启状态,当人员安全疏散出防火分区后再关闭。

**【关键词】** 火灾;防护工程;防火卷帘;烟气  
中图分类号 X936 文献标识码 A

## Study on the Influence of Fire Curtain on Fire smoke Diffusion in Protective Engineering

Xing Zheli<sup>1</sup> Long Yangbo<sup>1</sup> Mao Wei<sup>1</sup> Ji Shaojie<sup>2</sup> Deng Feifan<sup>1</sup> Li Chaofeng<sup>1</sup>

(1.Defense Engineering Institute of PLA Academy of Military Sciences, Beijing, 100036;

2.General Administration of Organs Affairs of the Central Military Commission, Beijing, 100120 )

**【Abstract】** In order to discuss the influence of fire curtain on fire smoke diffusion in Protective Engineering, a room-corridor-room 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, CO concentration, CO<sub>2</sub> concentration and O<sub>2</sub> concentration in smoke diffusion room and doorway corridor were compared and analyzed. The results show that the highest temperature in the corridor decreases after the closure of the fire curtain, the vertical distribution of temperature in the corridor tends to be identical, and the smoke thermal stratification stability is inhibited; the smoke concentration changes earlier after the down of the curtain, and the extreme value of smoke concentration develops significantly in a direction that is not conducive to the safety of personnel; it is suggested that the fire curtain is up at the initial stage of fire and the personnel do not completely escape from the fire prevention zones, the fire curtain will be down when all the persons evacuation.

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

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

通讯作者: 龙洋波 (1982.4-), 男, 硕士, 工程师, E-mail: lybisok@163.com.com

收稿日期: 2019-05-09

## 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>。因此,不少学者针对防护工程、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>，“单室一走廊”结构是防护工程中非常典型的结构样式,美国弗吉尼亚大学的研究组搭建了“房间一走廊”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>,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>。防护工程中一般设有防火卷帘,火灾发生时,防火卷帘的关闭会对走廊内的烟气温度以及烟气浓度产生影响,进而影响到人员的逃生。本文根据相似原理搭建“单室一走廊”模型实验台和数据采集系统,研究防火卷帘打开与封闭对走廊内烟气扩散规律的影响,为防护工程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,该原型由一个火源房间、长通道和一个烟气扩散房间组成。本文根据传热学相似理论和关键相似准则<sup>[9]</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。模型实验台走廊尺寸为 15 m×0.5 m×0.75 m,火源房间尺寸为 1.2 m×0.75 m×0.6 m,房间开一个高 0.75 m、宽 0.2 m 的门,没有窗户,烟气扩散房间尺寸与火源房间相同。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胶封堵以保证完全密封。搭建的实验台如图 1 所示。



图 1 模型实验台示意图

Fig.1 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 14.1 cm 的油池盛放 200 mL 正庚烷燃料作为火源,火源位于火源单室中央,其中工况 1 时走廊远火源端封闭,工况 2 时走廊远火源端打开。

### 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 0.5 mm 的 K 型热电偶制作热电偶树探测不同高度温度值,热电偶测量范围为 0~1300℃,测量精度为 0.4%,响应时间为 10 s。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 30 s,CO 和 CO<sub>2</sub> 的响应时间为 60 s,CO 的测量精度为 20 ppm (0-400 ppm), 5% (401-2000 ppm), 10% (2001-4000 ppm)。

### 1.4 测点布置

在走廊内由火源房间处至走廊远端共设置了 5 组热电偶树,分别距走廊的火源端 0.75m(T1)、3.75m(T2)、6.75m(T3)、10.75m(T4)、14.75m(T5),每组热电偶树有 6 个温度测点,由下至上分别为 1#—6#探头,6#探头距走廊顶端 2cm,1#—6#相邻探头距离为 14cm,1#探头距地面为 3cm。在距走廊的火源端 5m 处设有一个烟气分析仪,烟气分析仪探头距地面高度为 0.5m。

## 2 结果与讨论

### 2.1 温度特性分析

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,℃,  $t_{b,avg}$  为某一热电偶树上的温度平均值,℃,  $t_\infty$  为环境温度,℃。图 2 和图 3 所示为防火卷帘关闭和打开条件下走廊中无量纲最高温升和无量纲平均温升随时间变化。观察发现,防火卷帘关闭的情况下走廊中无量纲最大温升小于卷帘打开时,这一差别在各测点处温度达到最大

值以后比较明显。防火卷帘状态对 T2 处无量纲平均温升几乎没有影响, 卷帘关闭使 T4 处无量纲平均温升略高于卷帘打开, 结合无量纲最高温升的对比可认为卷帘关闭后使走廊内竖向温度更加趋向于一致, 热烟气与冷空气的热混合加强。

观察和分析模型实验过程, 认为走廊封闭后增加了烟气扩散的阻力, 热烟气与围护结构之间的换热时间增长, 同时烟气沉降速度加快, 热烟气与冷空气之间的卷吸作用加强, 虽然防火卷帘关闭后走廊中最高温度有所降低, 但是走廊中温度竖向分布更加趋于一致, 烟气的热分层稳定性受到抑制, 认为防火卷帘关闭后走廊中温度分布会对人员疏散造成不利影响。

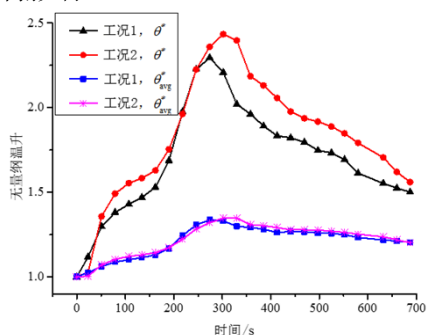


图2 T2处温度随时间变化

Fig.2 Temperature changes with time at position T2

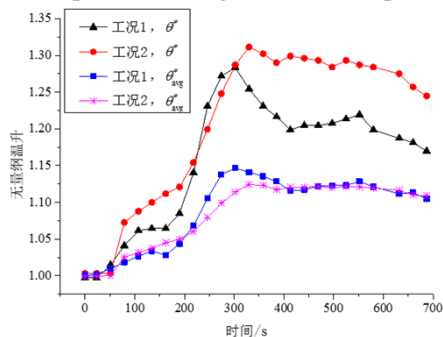


图3 T4处温度随时间变化

Fig.3 Temperature changes with time at position T4

## 2.2 烟气浓度分析

图4~图6所示为不同工况时一氧化碳、氧气和二氧化碳浓度随时间的变化。观察后可以发现防火卷帘对走廊中烟气浓度的影响主要体现在三个方面: 首先, 卷帘关闭后导致烟气浓度发生变化的时间提前, 并且一氧化碳和二氧化碳浓度的增长速度以及氧气浓度的降低速度明显加快, 卷帘关闭时走廊中二氧化碳浓度在 200 s 最先达到临界值 2%, 卷帘打开时只有二氧化碳浓度在 300 s 时刚达到 2%, 卷帘关闭对火灾初期人员疏散造成不利影响;

其次, 卷帘关闭后使烟气浓度的极值向对人员安全不利的方向显著发展, 卷帘打开时走廊中一氧化碳和二氧化碳浓度的最大值分别为 360 ppm 和 2%, 氧气浓度最小值为 18.1%, 卷帘关闭后一氧化碳和二氧化碳浓度的最大值分别达到了 600 ppm 和 3.3%, 氧气浓度最小值降低为 16.5%, 卷帘打开时只有二氧化碳浓度刚刚达到影响人员逃生的临界值 (2%), 卷帘关闭后一氧化碳、二氧化碳以及氧气浓度均超过了临界值 (600 ppm、2%、17%); 最后, 卷帘关闭时, 走廊中烟气成分的浓度达到极值后基本不变, 卷帘打开时烟气成分的浓度达到极值后逐渐向初始状态恢复, 火源热释放速率达到最大值以后, 如果人员在卷帘封闭的走廊中逃生是非常危险的。基于以上分析认为, 防火卷帘关闭后, 走廊中烟气分布状态会对人员疏散造成非常不利的影响。

经分析认为导致防火卷帘对人员疏散造成不利影响的原因主要为新风供给和排烟条件受限。工程内没有窗户, 卷帘关闭后, 没有了新风供给, 燃烧条件恶化, 不完全燃烧产物增多, 导致防火分区内有害气体浓度增加, 烟气也无法排出防火分区, 有害气体在走廊内聚集, 导致烟气浓度达到极致后无法向初始状态恢复, 并造成走廊中烟气分层状态恶化, 走廊中烟气热量和成分的扰动增强也增加了人员疏散的不确定性。

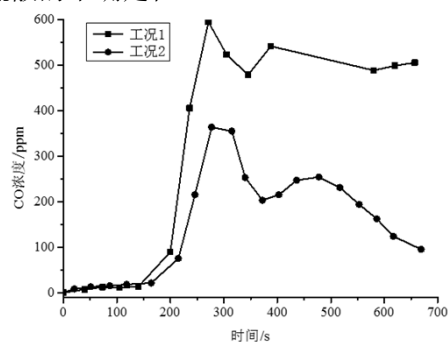


图4 CO浓度随时间变化

Fig.4 CO concentration changes with time

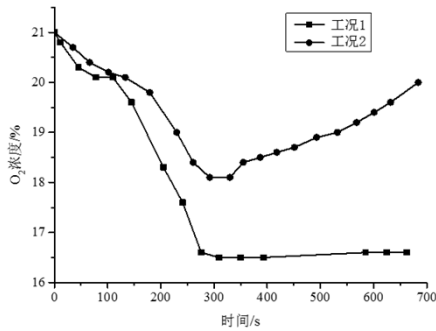


图 5 O<sub>2</sub> 浓度随时间变化

Fig.5 O<sub>2</sub> concentration changes with time

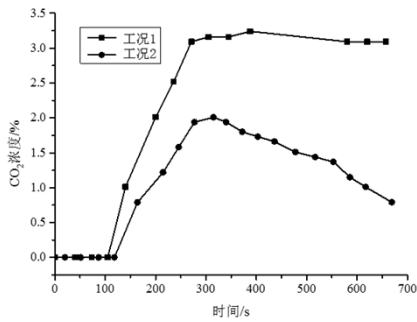


图 6 CO<sub>2</sub> 浓度随时间变化

Fig.6 CO<sub>2</sub> concentration changes with time

### 3 结论

基于以上分析,认为在火灾初期打开防火卷帘比较有利于人员的疏散和逃生,尤其当火源 HRR 达到最大值以后,关闭防火卷帘会对防火分区中的逃生人员造成不利的影响。因此,防护工程火灾时,建议火灾初期和人员未完全逃出防火分区时防火卷帘处于开启状态,当人员均安全疏散出防火分区后再关闭。

#### 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] 茅靳丰,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] Wieczorek 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.