

防火封堵对建筑幕墙外保温系统耐火性能的影响

张苗^{1,2}, 宋文华¹, 刘幸娜³, 魏东⁴, 黄鑫⁵

(1. 天津工业大学环境与化学工程学院, 天津 300387;
2. 天津市河北区消防支队, 天津 300090; 3. 芜湖市消防支队, 安徽芜湖 241000;
4. 中国人民武装警察部队学院, 河北廊坊 065000; 5. 公安部天津消防研究所, 天津 300381)

摘要: 利用 FDS 软件模拟了不同宽度、不同位置防火封堵下建筑幕墙外保温系统的火蔓延情况, 讨论了防火措施抑制火焰传播的有效性, 得到了防火构造设计的基准参数. 并通过大尺寸窗口火试验测试了防火封堵下两种幕墙保温系统的耐火性能, 分析了防火封堵在真实火灾条件下的有效性和可行性, 提出了最优的防火构造组合.

关键词: 建筑幕墙; 外保温系统; 外保温材料; 防火措施; 火灾蔓延

中图分类号: X924.3 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.0253-2778.2015.09.013

引用格式: Zhang Miao, Song Wenhua, Liu Xingna, et al. Effect of fireproof clogging on combustion resistant property of external thermal insulation systems with curtain walls[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2015, 45(9): 784-794.

张苗, 宋文华, 刘幸娜, 等. 防火封堵对建筑幕墙外保温系统耐火性能的影响[J]. 中国科学技术大学学报, 2015, 45(9): 784-794.

Effect of fireproof clogging on combustion resistant property of external thermal insulation systems with curtain walls

ZHANG Miao^{1,2}, SONG Wenhua¹, LIU Xingna³, WEI Dong⁴, HUANG Xin⁵

(1. College of Chemical and Environmental Engineering, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China;
2. Tianjin Hebei Fire Detachment, Tianjin 300090, China; 3. Wuhu Fire Detachment, Wuhu 241000, China;
4. Chinese People's Armed Police Forces Academy, Langfang 065000, China;
5. Tianjin Fire Research Institute of MPS, Tianjin 300381, China)

Abstract: The fire spreading on insulation systems with curtain walls under different fire prevention measures was simulated by FDS. Then the effectiveness of fire prevention measures was discussed and the design parameters of fire prevention structure were obtained. Finally, combustion performance on external insulation systems with curtain walls under different fire prevention measures were tested, their feasibility and effectiveness under real conditions were analyzed, and the optimal combination of fire prevention structure and its technical requirements were put forward.

Key words: building curtain wall; external insulation system; external insulation material; fire prevention measure; fire spreading

0 引言

近年来,建筑幕墙保温工程火灾事故高发、频发,消防安全形势越来越严峻,其防火安全问题开始受到人们的普遍关注.建筑幕墙保温系统采用“夹心保温”的方式^[1],在幕墙板与主体结构之间的空气间层中设置保温层(幕墙式外保温系统),或者在幕墙内部设置保温材料(保温装饰板外保温系统).这种做法提高了墙体的热阻,增强保温效果,同时也加大了火灾安全隐患.火灾发生后,幕墙面板会很快变形、破碎并发生大面积脱落,火焰从幕墙破碎洞口的外侧卷入,使得内部保温层表面发生砂浆龟裂、脱落并引燃其他未燃区域.此外,幕墙结构与主体建筑之间存在的空腔加大了燃烧的烟囱效应,火焰极易在水平和垂直方向上蔓延并形成大范围立体式火灾.

建筑外墙外保温系统主要面临3种起火源因素的威胁:窗口火、外墙附近火源和邻近建筑火灾,其中窗口火是最严重、最普遍的现象^[2].在没有考虑外保温系统存在的情况下,许多学者^[3-6]对窗口火火焰轨迹及其物理蔓延机制进行了探讨,建立了可燃物火焰蔓延模型和随机模型.对于外保温系统在窗口火作用下的火灾蔓延特性,国内外学者^[7-11]从20世纪90年代开始针对外墙保温系统进行研究,对影响其火灾蔓延的起火源特性、材料的厚度和性质以及系统的结构因素进行了大量的理论研究和试验研究,并基于这些研究成果发展了外保温系统标准试验方法,用于区分不同外保温系统防火性能的差异.国内对外保温系统的研究起步较晚,大部分是应用国外的试验方法对具体的外保温系统的燃烧性能进行测试,同时一些学者^[12-16]还对不同的外墙保温材

料的燃烧特性进行了一系列的试验研究.2006年,中国建筑科学研究院等8家单位共同承担了建设部“外墙保温体系防火试验方法、防火等级评价标准及建筑应用范围的技术研究”课题,课题组研究了典型外墙保温材料的耐火性能、燃烧特性和烟气毒性等因素^[17-23].然而,国内外很少有人对具有建筑幕墙的新型外墙外保温系统的耐火性能进行系统研究,对防火封堵措施对建筑幕墙外保温系统火蔓延的抑制作用的有效性也缺乏相关研究.

因此,本文利用FDS软件模拟了不同宽度、不同位置下防火封堵对建筑幕墙外保温系统火蔓延的影响,讨论了其抑制火焰传播的有效性,得到了防火构造设计的基准参数.并通过采集系统在窗口火下的火焰蔓延特性、温度分布特性、系统损毁程度等耐火性能试验数据,测试了防火封堵下两种建筑幕墙外保温系统的防火性能,分析了防火封堵在真实火灾条件下的有效性和可行性,提出了最优的防火构造组合.

1 防火封堵对火蔓延影响的数值模拟研究

1.1 模型搭建与参数设定

数值模拟利用FDS软件实现.模拟的建筑墙体高9 m,宽2.8 m,墙体内部保温材料为聚氨酯泡沫,厚度为35 mm,外挂2.5 mm厚的铝单板,该板材通过不锈钢龙骨固定于结构层外侧,在外挂板材和保温层之间存在150 mm的空腔.在FDS输入文件中对建筑幕墙外保温系统的材料特性进行定义,如表1所列.点火源为单位面积热释放速率恒定的热源,热释放速率设定为3 MW,对壁面的可燃保温材料采用自由火灾燃烧形式.

表1 燃料参数表

Tab. 1 Thermal parameters of the fuels

参数符号	参数含义	单位	聚氨酯	铝单板
CONDUCTIVITY	导热系数	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	0.024	203.5
DENSITY	密度	$kg \cdot m^{-3}$	43.67	2700
SPECIFIC_HEAT	比热	$kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	2	0.215
THICKNESS	材料厚度	m	0.035	0.0025
IGNITION_TEMPERATURE	点燃温度	$^{\circ}C$	310	—
HEAT_OF_VAPORIZATION	燃料的汽化热	$kJ \cdot kg^{-1}$	1500	—
HEAT_OF_COMBSTION	燃料的燃烧热	$kJ \cdot kg^{-1}$	25300	—
REFERENCE_TEMPERATURE	参考温度	$^{\circ}C$	350	—

网格尺寸是 FDS 需要设置的重要参数,在正式模拟计算前对网格敏感性进行验证,结果表明网格尺寸的经验值为特征火焰直径的 $1/4 \sim 1/16$ 较为合适,应用中可取 $1/8 \sim 1/12$. 在综合考虑计算时间和准确度的前提下,本文整体计算区域的格点尺寸为 0.2 m ,在外墙保温层附近进行适当加密,格点尺寸为 0.04 m . 计算区域大小为 $2.8 \text{ m} \times 3.4 \text{ m} \times 9 \text{ m}$,整个区域网格划分为多个 MESH,共 71 470 个网格,模拟时间为 300 s . 图 1 为利用 FDS 软件得到的建筑幕墙外墙壁面模拟图. 在保温层中间设置垂直和水平方向的热电偶树,垂直方向上设置 5 个测点,位于墙体中心,测点之间间隔 1.25 m ,高度分别为 $2, 3.25, 4.5, 5.75$ 和 7 m . 水平方向上分别选取 4.5 m 和 7 m 两个平面高度,分别设置 5 个测点,测点间隔 0.5 m . 温度测点的具体布置图如图 2 所示.

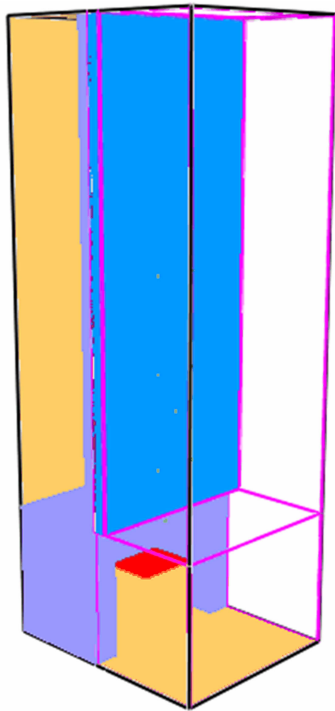


图 1 建筑幕墙外墙壁面模拟图

Fig. 1 Model of the building curtain wall

1.2 模拟工况设计

防火封堵可以阻断空腔中的热对流,抑制高温烟气和火焰对上层保温层的破坏,当防火封堵设置位置距火源较近时,在高温作用下会收缩变形,进而失去阻燃效果,随着墙体高度的增加,火源的辐射强度降低,火焰无法继续向上伸展,氧气浓度逐渐减少使得防火封堵的有效性更加明显;而防火封堵的宽度直接影响了对烟气的阻隔作用,若设置过窄则

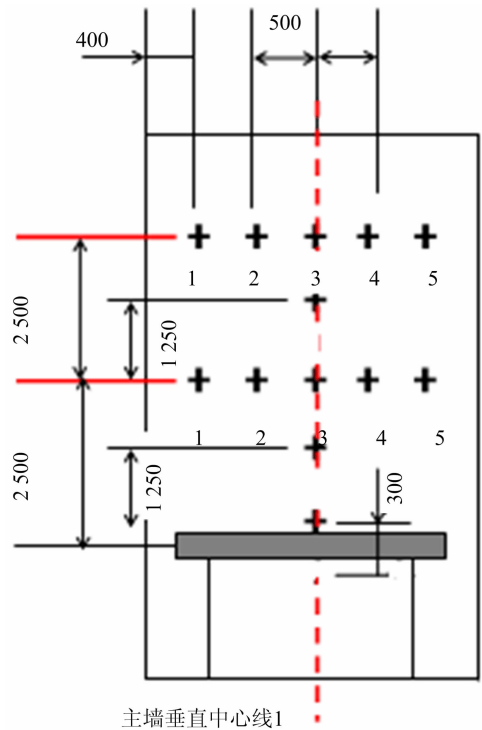


图 2 壁面热电偶布点示意图

Fig. 2 Positions of thermocouples

无法有效阻止火焰的穿透,设置过宽则导致保温性能的下降. 因此,探究防火封堵的宽度和位置意义重大. 本文分别在窗口上方(高 2 m)、各层楼板下方(4.5 m 和 7 m),设置 $50, 100$ 和 150 mm 宽的防火封堵进行对比分析,封堵材料为岩棉,且完全填充空腔. 具体的设置参数如表 2 所示.

表 2 模拟工况设置参数表

Tab. 2 Parameters of the simulated condition

编号	防火构造	材料	宽度/mm	高度/m
1	防火封堵	岩棉	50	2
				4.5
				7
2	防火封堵	岩棉	100	2
				4.5
				7
3	防火封堵	岩棉	150	2
				4.5
				7

1.3 结果分析与讨论

1.3.1 热释放速率曲线

图 3 为不同封堵情况下壁面火焰热释放速率曲线. 可以发现,未设防火封堵的壁面热释放速率明显高于进行封堵后的情况,且壁面火焰热释放速率的

增长速率随封堵宽度的增加而减小. 热释放速率在火灾初期有个快速增长阶段, 之后进入到一个较为平稳的阶段, 这时火焰高度蔓延到最大, 无法继续向上传播. 其中, 100 mm 和 150 mm 封堵宽度下火焰的热释放速率平均值基本相同, 而在 50 mm 封堵的情况下, 其值较大, 火焰蔓延高度也较高.

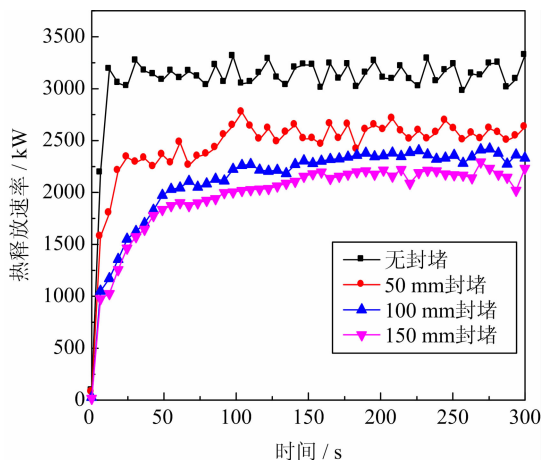


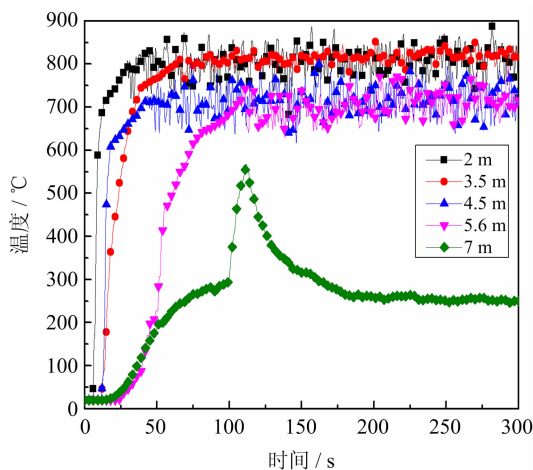
图 3 不同封堵情况下火焰热释放速率曲线

Fig. 3 Heat release rates varying with time in different cases

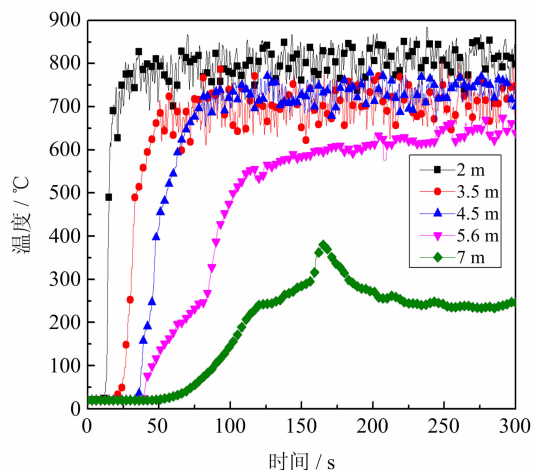
1. 3. 2 温度分布曲线

图 4 分别显示了不同封堵下壁面垂直方向的温度变化曲线. 通过对比发现, 随着封堵宽度的增加, 壁面温度的升温速率逐渐减小, 到达温度峰值的时间延长, 阻燃效果更明显. 在 25 s 时, 3 种封堵宽度下的窗口封堵上方温度均升高到 700 °C 以上; 50 s 时, 第 1 条防火封堵上的温度均达到 600 °C 以上; 125 s 时, 50 mm 封堵宽度下第 2 条防火封堵上的温度达到 550 °C 以上, 火焰蔓延至墙体 7 m 以上; 在 150 s 时, 墙面 5.6 m 以下区域的保温材料均发生了较为剧烈的燃烧; 100 mm 和 150 mm 防火宽度可以有效抑制火焰在 7 m 以上蔓延, 温度峰值下降了 230 °C, 蔓延高度减少了 1.4 m, 阻燃效果提高了 20%.

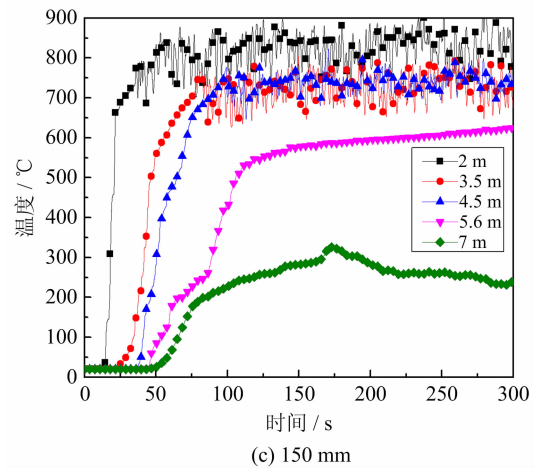
表 3 和表 4 分别列出了不同封堵宽度下墙体 4.5 m 和 7 m 处水平方向上各个温度测点的温度峰值和时间. 从表中可以看出, 不同封堵下各测点的温度峰值在 4.5 m 处相差不大, 墙体中间温度高, 两侧温度低, 最大温度峰值均在 750 °C 以上; 到达测点温度峰值的时间基本相同, 且随着封堵宽度的增加而增加. 而在 7 m 处, 50 mm 封堵下各测点温度峰值明显高于其他两种情况下的温度, 温度差值约为 206 °C, 到达温度峰值的时间短; 100 mm 和 150



(a) 50 mm



(b) 100 mm



(c) 150 mm

图 4 不同宽度防火封堵下壁面温度分布曲线

Fig. 4 Temperature distributions at different heights with 3 protection widths of fire blocking

mm 封堵下各测点温度峰值相差不大, 到达温度峰值的时间也基本一致. 从表中数据还可以看出, 壁面 7 m 处到达温度峰值的时间明显比 4.5 m 的情况

表 3 不同封堵下壁面 4.5 m 处保温层各测点温度峰值及其对应时间

Tab. 3 Temperature peaks and corresponding times of the insulation layer at 4.5 m with different block widths

		测点 1	测点 2	测点 3	测点 4	测点 5
50 mm 封堵	温度峰值/°C	473.58	736.46	812.57	750.48	530.27
	时间/s	236	233	225	237	232
100 mm 封堵	温度峰值/°C	434.37	724.26	802.86	725.73	512.39
	时间/s	260	260	254	263	258
150 mm 封堵	温度峰值/°C	420.79	703.24	784.19	715.67	490.46
	时间/s	269	264	260	269	265

表 4 不同封堵下壁面 7 m 处保温层各测点温度峰值及其对应时间

Tab. 4 Temperature peaks and corresponding times of the insulation layer at 7 m with different block widths

		测点 1	测点 2	测点 3	测点 4	测点 5
50 mm 封堵	温度峰值/°C	353.496	542.49	561.57	630.11	396.26
	时间/s	114	113	112	113	110
100 mm 封堵	温度峰值/°C	285.17	340.34	380.35	340.9	244.95
	时间/s	172	168	165	168	171
150 mm 封堵	温度峰值/°C	220.61	307.15	329.93	319.82	229.76
	时间/s	179	177	174	176	180

快,这是由于火焰高度未能蔓延至 7 m 处,使得壁面温度很快下降;而在 4.5 m 处,各测点温度在 100 s 以后温度整体处于平稳状态,墙体中间位置的热电偶在一定温度范围内呈上下波动状态,这是由于火焰在此处稳定燃烧造成的。

2 两种建筑幕墙外保温体系防火性能的试验研究

2.1 试验平台

参照《建筑外墙外保温系统的防火性能试验方法》(GB/T 29416-2012)^[24],在室外环境下建造窗口火实体火灾试验装置。该试验装置模拟垂直的建筑外立面,由主墙和与之垂直的副墙构成。试验装置高 9.5 m,厚 0.35 m,主墙与副墙宽分别为 2.8 m 和 1.8 m。试验装置为混凝土结构,共 3 层,底层为燃烧室,第 2,3 层为观察层,具体如图 5 所示。

2.2 温度测点布置

试验过程中,温度场通过布置在建筑墙体上的 K 型铠装热电偶采集,用于测量外保温系统表面温度、系统空腔温度以及系统内部保温层温度,其具体平面位置见图 6(a)所示。其中,测量外保温系统表面温度的热电偶伸出系统外表面 50 mm,测量空腔温度和保温层温度的热电偶分别位于其中心线上。对试验墙体上的 24 个热电偶测点进行编号,燃烧室窗口顶部火焰温度测点为 TE, TM, TI;燃烧室内部上方的 3 个测点为 F-1, F-2, F-3;水平准

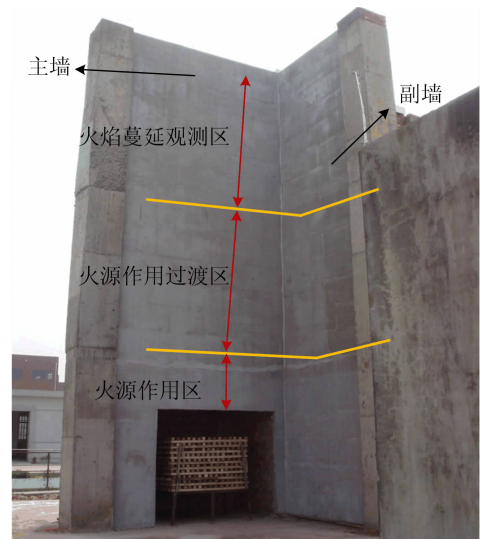


图 5 大尺寸窗口火试验装置

Fig. 5 Test apparatus of the full-size window fire test

位线 1 处测点为 L1E-1~L1E-8(外部热电偶)、L1M-1~L1M-8(空腔热电偶)、L1I-1~L1I-8(保温层热电偶);水平准位线 2 处测点为 L2E-1~L2E-8, L2M-1~L2M-8, L2I-1~L2I-8;主墙垂直中心线处测点为 R1E-9~R1E-10, R1M-9~R1M-10, R1I-9~R1I-10;副墙垂直中心线处测点为 R2E-11~R1E-12, R2M-11~R2M-12, R2I-11~R2I-12。具体设置如图 6(b)所示。

2.3 试件构造及工况

为研究防火封堵抑制火焰蔓延的有效性并探讨

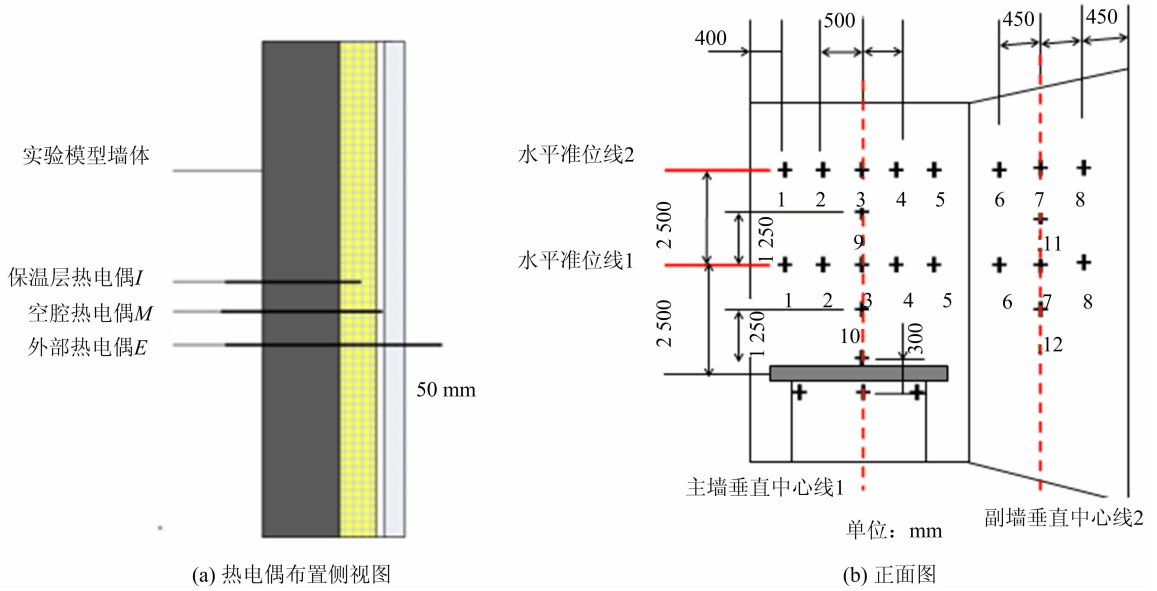


图 6 热电偶测点布置示意图

Fig. 6 Thermocouple locations

其技术要求,考虑到实体试验的周期和成本,本文基于数值模拟的预演结果得到的防火封堵基础设置参数,即宽度不小于 100 mm,高度为外墙窗口上方、水平准位线 1 或水平准位线 2 下 20 mm 处,对设有防火封堵的两种建筑幕墙外保温系统(薄抹灰金属幕墙保温系统和水泥纤维聚氨酯复合板保温系统)分别进行了大尺寸窗口火试验.两种系统的基本构造及规格如表 5 所示.同时,为了探究防火封堵的数

量对抑制火蔓延的影响,两种系统防火封堵的设置位置稍有不同,防火封堵均采用镀锌钢板包覆的岩棉材料自基层墙体至系统表面作横向分隔的方式填满空腔,具体的设置位置如图 7 所示.由于全尺寸火灾试验是真实火灾场景的再现,所得火灾数据较为真实可靠,同时该试验属于破坏性试验且成本昂贵,故每组试验只做 1 次,试验工况如表 6 所示.

表 5 两种建筑幕墙外保温系统基本构造

Tab. 5 Basic structures of the two building curtain wall thermal insulation systems

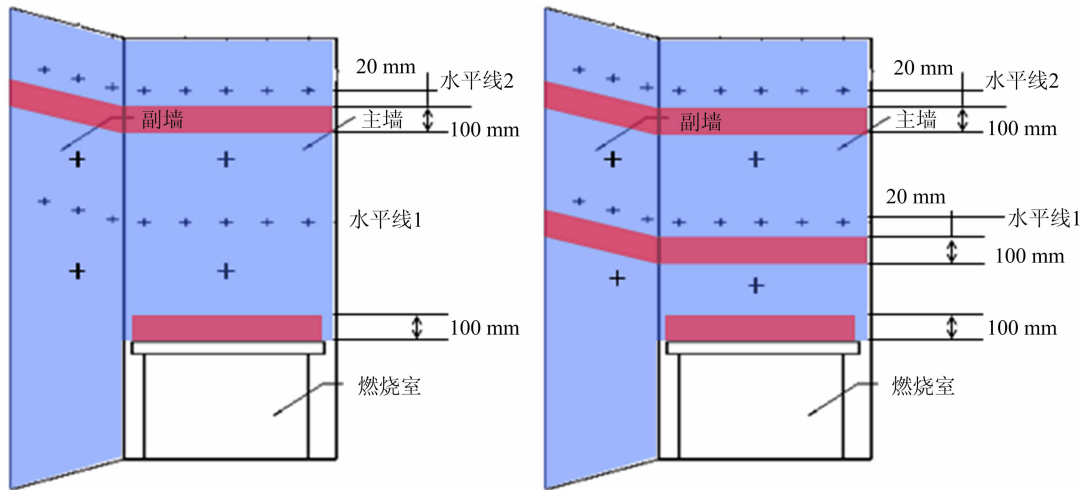
系统类型		系统的基本构造					
幕墙式外保温系统	薄抹灰金属幕墙系统	基层墙体	粘结层	硬质聚氨酯泡沫板	玻纤网增强聚合物抹面砂浆	龙骨	饰面层
		砌体墙	10 mm 水泥砂浆	60 mm×47 mm×35 mm	5 mm 薄抹灰	钢龙骨+150 mm 空腔	2.5 mm 铝单板
保温装饰板外保温系统	水泥纤维聚氨酯复合板外保温系统	基层墙体	龙骨	保温层+饰面层			
		240 mm 混凝土砌体墙	钢龙骨+25 mm/50 mm 空腔(锚固在基层墙体上)	聚氨酯复合板(铝膜+聚氨酯硬泡+水泥板/铝板)(锚固在龙骨上)			

表 6 试验工况设计

Tab. 6 Experimental conditions

试验编号	外保温系统名称	防火构造			
		防火保护面层	防火隔离带	防火封堵	
1	幕墙式外保温系统	薄抹灰金属幕墙系统	√	—	√ ^①
2	保温装饰板外保温系统	水泥纤维聚氨酯复合板外保温系统	—	—	√ ^②

【注】 ①表示在燃烧室上方和水平准位线 2 下 20 mm 处设置防火封堵,如图 7(a)所示. ②表示在燃烧室上方、水平准位线 1 和水平准位线 2 下 20 mm 处设置防火封堵,如图 7(b)所示.



(a) 薄抹灰金属幕墙保温系统(空腔宽150 mm)

(b) 水泥纤维聚氨酯复合板保温系统(空腔宽50 mm)

图 7 防火封堵设置示意图

Fig. 7 Diagram of the fire blockings

2.4 试验结果及分析

2.4.1 温度曲线对比分析

图 8 为薄抹灰金属幕墙系统主墙和副墙防火封堵区域上下的温度变化曲线. 从图中可以看出, 窗口上方的封堵仅在火灾发展初期对上层壁面温度的升高有一定的抑制作用, 随着燃料充分燃烧, 火焰温度升高, 窗口上方的岩棉在 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上时部分发生炭化收缩, 同时装饰铝板也开始变形熔化, 失去了阻火作用, 使得火焰和高温烟气进入到上层空腔内部发生蔓延, 最高温度超过 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$. 但随着燃料的燃尽, 火焰的高度和温度均降低, 壁面保温层的温度逐渐下

降, 加上第 2 条防火封堵的抑制作用, 使火焰无法继续向上蔓延, 第 2 条防火封堵以上的壁面温度较低, 仅少部分区域的保温层发生热解. 从图中还可以看出, 壁面 5.75 m 以下的保温层升温速率明显高于上层. 说明窗口上方的防火封堵在火灾充分发展阶段失去了有效的阻火作用, 而第 2 条防火封堵可以较为有效地抑制火焰蔓延, 但仍存在有机材料热解的现象.

图 9 显示了水泥纤维聚氨酯复合板保温系统防火封堵上下的温度变化曲线. 从图中可以看出, 窗口上方的封堵在火灾发展初期较为有效地抑制了火焰

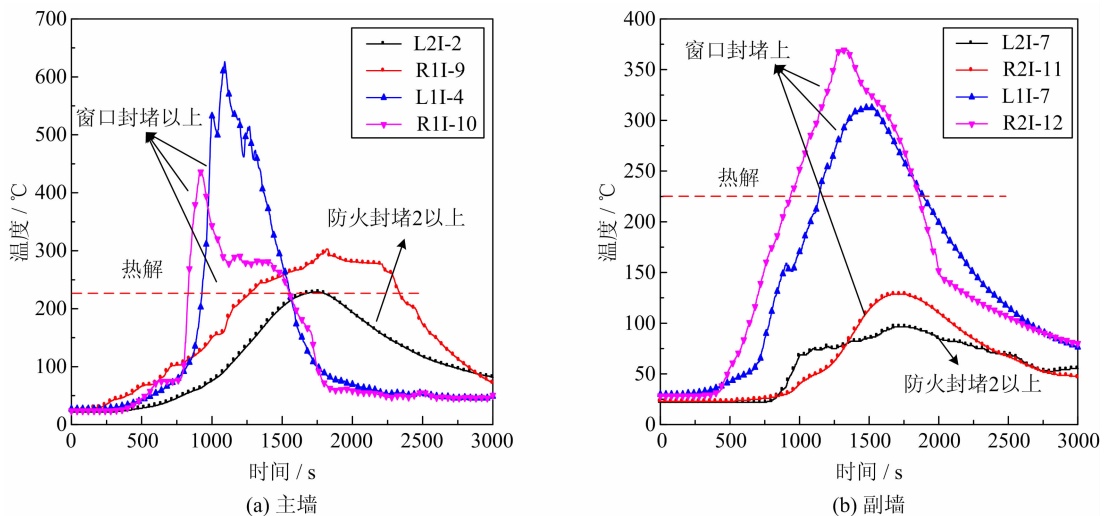


图 8 薄抹灰金属幕墙系统防火封堵上下温度曲线

Fig. 8 Temperature distribution curves of the thin plaster curtain wall insulation system with fire blocking

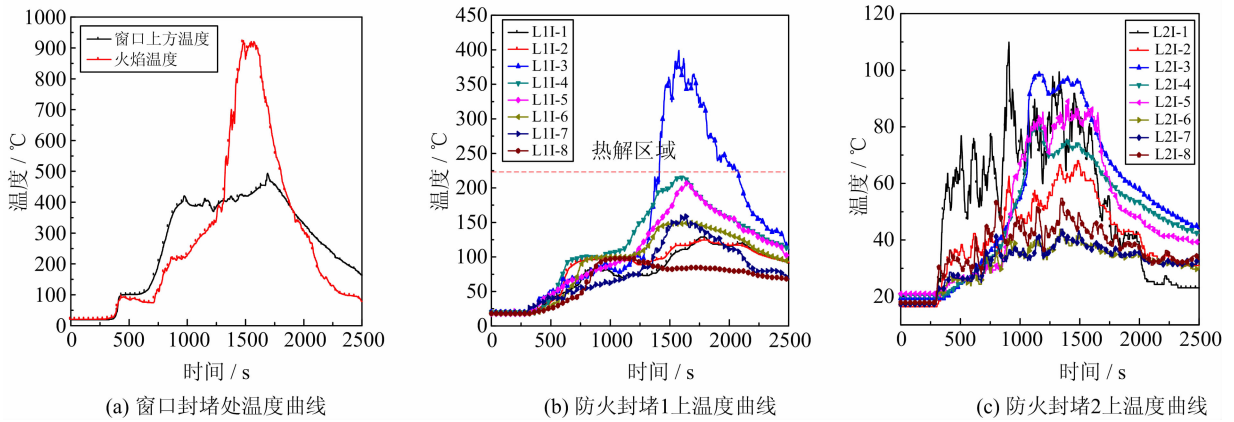


图9 水泥纤维聚氨酯复合板保温系统防火封堵上下温度曲线

Fig. 9 Temperature distribution curves of SLPU with fire blocking

在窗口上方的蔓延,使其最高温度不超过 $500\text{ }^{\circ}\text{C}$,但该区域的保温层依然发生了热解燃烧.第1条防火封堵在整个火灾阶段对抑制火焰的竖向和横向蔓延起到了关键性的作用,使得该区域上方的保温层表面温度基本在其热解温度之下,仅窗口正上方的保温层发生了较为严重的热解燃烧.而第2条防火封堵则完全阻断了火焰和高温烟气的蔓延,壁面温度均在 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,该处保温层处于聚氨酯材料的耐热温度范围之内,材料自身性质保持良好.说明在窗口上方设置防火封堵后,每隔 1.25 m 再设置1条贯穿主、副墙的防火封堵可以在整个火灾阶段有效地抑制火蔓延,提高系统整体的防火性能.

2.4.2 火焰蔓延速率对比分析

图10显示了两种建筑幕墙外保温系统在垂直方向上热解位置的变化所对应的时间.可以看出,在防火封堵的作用下系统的火蔓延速率呈递减趋势,而在墙体水平线1下方再增设1条防火封堵的做法可以有效地降低火焰在竖向和横向的蔓延速率,最大蔓延速率降低了 84.77% ,使系统整体防火性能更加优化.

2.4.3 保温体系破损程度对比分析

图11显示了试验过后水泥纤维聚氨酯复合板保温系统的受损情况.可以看到窗口正上方第1排和第3排的保温板外表面的水泥纤维板因高温受热而开裂脱落,脱落面积约为 1.4 m^2 ,内部保温材料被烧尽;主墙窗口上方 5 m 以下及副墙上第3排及第4排的保温板表面出现向外鼓起和开裂的现象,水泥纤维板之间的缝隙处有白色的熔融物,说明有燃烧迹象,试验过后将水泥纤维板剥除后,可以看到

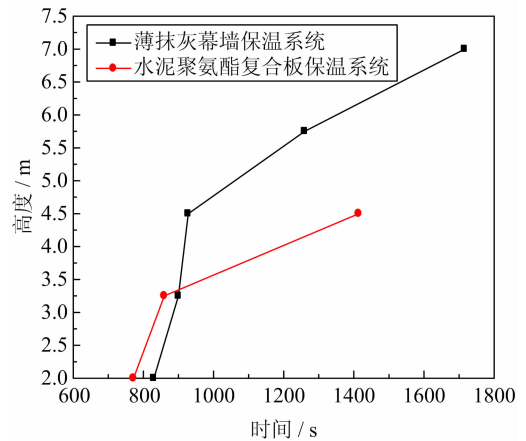


图10 两种构造系统在主墙上的火蔓延高度对比

Fig. 10 The fire spread rate on main wall of the two curtain wall insulation systems

内部聚氨酯已经碳化,碳化程度与保温板表面的烟熏痕迹对应.整个燃烧过程中可见火焰的最大高度约为 8 m ,内部保温层的过火高度为 5 m ,系统整体未发生火焰沿保温板蔓延的情况.

图12和图13显示了薄抹灰幕墙保温系统及保温材料的受损情况.可以看到金属铝单板发生熔化的高度为窗口上方 2.6 m ,熔化面积约为 3.7 m^2 ,内部薄抹灰层脱落露出基层墙体的面积约为 2 m^2 ,内部保温材料在主墙上的碳化高度约为 7 m ,在副墙上的碳化高度约为 5 m ,且受防火封堵影响,碳化面呈现倒三角形,内部保温材料随高度的增加呈现不同程度的热解燃烧.

两种系统保温层破损程度的具体数值如表7所示.可知薄抹灰幕墙系统的烧损面积占总表面的 44.48% ;相比之下,水泥纤维聚氨酯复合板保温系



(a) 系统整体受损状态

(b) 剥去面板后保温材料的炭化程度

图 11 水泥纤维聚氨酯复合板保温系统的损坏状态

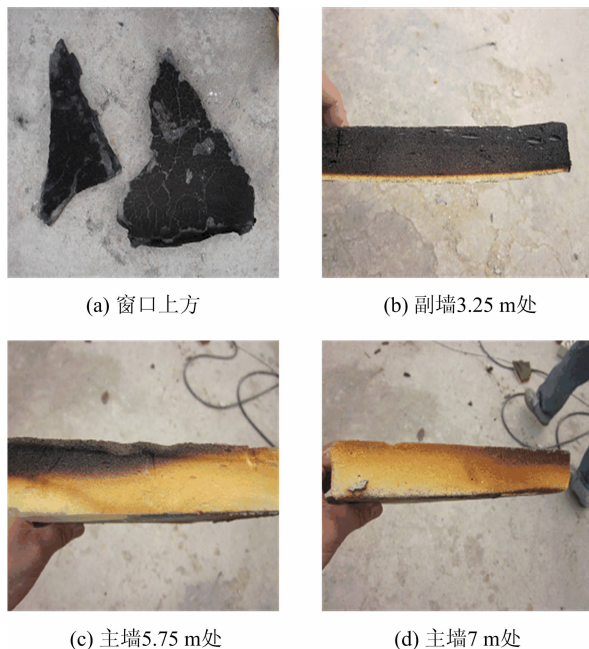
Fig. 11 Damage status of SLPU after the test



图 12 薄抹灰幕墙保温系统的损坏状态

Fig. 12 Damage status of the thin plaster curtain wall insulation system after the test

统的受损面积仅为总表面的 26.7%，受损率降低了 17.78%。说明在窗口上方、水平线 1 及水平线 2 下方分别设置防火封堵可以有效地抑制火焰的蔓延与扩散，减少保温层的过火面积及受损程度，使系统整体具有较高的防火性能。但由于试验中采用的防火封堵方法仍无法做到与幕墙表面完全密封，高温烟气还是会对防火封堵上方的保温材料产生影响。



(a) 窗口上方

(b) 副墙3.25 m处

(c) 主墙5.75 m处

(d) 主墙7 m处

图 13 内部保温材料炭化情况

Fig. 13 Carbonization conditions of the internal thermal insulation materials

表 7 两种构造系统烧损对比表

Tab. 7 Damage values after tests of the two curtain wall insulation systems

项目	薄抹灰幕墙保温系统	水泥纤维聚氨酯复合板保温系统
烧损高度/m	7	5
烧损宽度/m	3.3	2.4
烧损面积/m ²	17.66	10.6

3 结论

(I) 建筑幕墙外保温系统中,有机保温层和装饰面层之间或者保温装饰一体板与基层墙体之间的空腔可以在火灾发生时为燃烧提供充足的氧,在火灾发生后提供烟囱通道,加速火灾的蔓延,火灾隐患较大。

(II) 数值模拟结果表明,防火封堵可以有效阻挡火焰在垂直方向上的蔓延,降低高温烟气对上层墙体的热辐射,抑制有机保温材料之间的热传导,延迟热量传递至基层墙体的时间,提高系统整体的防火性能。当防火封堵的宽度达到 100 mm 时,系统具有较好的防火性能。

(III) 试验研究结果表明,在窗口上方、水平线 1 及水平线 2 下方 20 mm 处分别设置宽度为 100 mm 的防火封堵可以使火焰最大蔓延速率降低 84.77%,系统破损面积减少 17.78%。

(IV) 窗口上方使用岩棉材料制成的防火封堵只能在火灾发展初期抑制火焰的蔓延,当火灾发展到充分燃烧阶段时会被烧毁而失去阻火作用,因此对于室内大功率火焰,其作用有限。

(V) 在窗口火实验中,整体燃烧性能达到 A 级的水泥纤维聚氨酯复合板外保温系统和 B1 级的薄抹灰金属幕墙外保温系统均具有较好的防火性能,仅直接受火区域发生了不同程度的破损,未发生大面积的燃烧和火蔓延的情况。其中,水泥纤维聚氨酯复合板外保温系统由于设置了 3 条防火封堵,其破损程度及受火焰影响的范围最小,测点温度也最低,防火性能更佳。

参考文献(References)

- [1] Zhuo Ping, Wang Guohui, Du Xia, et al. The development of building external insulation systems in China [J]. Fire Science and Technology, 2011, 30(1): 8-11.
卓萍, 王国辉, 杜霞, 等. 我国建筑外保温系统发展动态及趋势[J]. 消防科学与技术, 2011, 30(1): 8-11.
- [2] Deng Xiaobing, Zhao Chenggang, Lu Jianguo, et al. Temperature distribution of external thermal insulation systems under the attack of window spill plume [J]. Fire Science and Technology, 2013, 32(7): 721-723.
邓小兵, 赵成刚, 卢建国, 等. 窗口火作用下外保温系统温度分布特性[J]. 消防科学与技术, 2013, 32(7): 721-723.
- [3] Lee Y, Delichatsios M A, Ohmiya Y. The physics of

the outflow from the opening of an enclosure fire and re-examination of Yokoi's correlation [J]. Fire Safety Journal, 2012, 49: 82-88.

- [4] Himoto K, Tsuchihashi T, Tanaka Y, et al. Modeling the trajectory of window flames with regard to flow attachment to the adjacent wall [J]. Fire Safety Journal, 2009, 44(2): 250-258.
- [5] Oleszkiewicz I. Fire exposure to exterior walls and flame spread on combustible cladding [J]. Fire Technology, 1990, 26(4): 357-375.
- [6] Rangwala A S, Buckley S G, et al. Upward flame spread on a vertically oriented fuel surface: the effect of finite width [J]. Proceedings of the Combustion Institute, 2007, 31: 2 607-2 615.
- [7] Quintiere J G. The application of flame spread theory to predict material performance [J]. Journal of Research of the National Bureau of Standards, 1988, 93(1): 61-70.
- [8] Quintiere J G, Harkleroad M. New concepts for measuring flame spread properties [S]. National Bureau of Standards (U. S.), 1984: NBSIR 84-2943.
- [9] Sumathipala K. Exterior wall fire spread of combustible cladding assemblies [R]. Ottawa, Canada: National Research Council Canada, 1995.
- [10] Wang H Y, Coutin M, Most J M. Large-eddy-simulation of buoyancy-driven fire propagation behind a pyrolysis zone along a vertical wall [J]. Fire Safety Journal, 2002, 37(1): 259-285.
- [11] Delichatsios M A. Flame heat fluxes and correlations of upward flame spread along vertical cylinders in various oxygen environments [J]. Proceedings of the Combustion Institute, 2000, 28(1): 2 899-2 904.
- [12] Zhuo Ping, Wang Guohui, Zhao Bi, et al. Combustion performance of colored steel composite sandwich panel building [J]. Fire Science and Technology, 2014, 33(10): 1 105-1 108.
卓萍, 王国辉, 赵璧, 等. 彩钢复合夹芯板建筑体燃烧性能试验研究 [J]. 消防科学与技术, 2014, 33(10): 1 105-1 108.
- [13] Deng Xiaobing, Zhao Chenggang, Lan Bin, et al. Effect of combustion property of foam plastic core materials on fire resistance of thin plastering external thermal insulation system [J]. Journal of Building Materials, 2014, 17(5): 849-855.
邓小兵, 赵成刚, 兰彬, 等. 泡沫塑料芯材燃烧性能对薄抹灰外保温系统防火性能的影响 [J]. 建筑材料学报, 2014, 17(5): 849-855.
- [14] Xu Liang. The study on fire performance of typical thermoplastic lining [D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2007.

- 徐亮. 典型热塑性装饰材料火灾特性研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2007.
- [15] Xu Lei. The vertical ignition process of external thermal insulation system based on polystyrene foam under a radiation heater [D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2014.
许磊. 聚苯乙烯外墙外保温系统在竖直条件下的辐射引燃过程研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2014.
- [16] Jiao Lingling. Thermal degradation characteristics and mechanism research of typical organic insulation materials for building[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2014.
焦玲玲. 典型建筑有机保温材料热解特性及机理研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2014.
- [17] Song Changyou, Ji Guangqi, Zhu Chunling, et al. Test and evaluation method for fire-proof capability of outer-wall external thermal insulation system[J]. Building Science, 2008, 24(2): 21-26.
宋长友, 季广其, 朱春玲, 等. 建筑外墙外保温系统防火性能试验与评价方法[J]. 建筑科学, 2008, 24(2): 21-26.
- [18] Ji Guangqi, Zhu Chunling. How to assess the burning behavior class of external thermal insulation system [J]. Building Science, 2008, 24(2): 27-31.
季广其, 朱春玲. 如何评定外保温系统的燃烧性能等级[J]. 建筑科学, 2008, 24(2): 27-31.
- [19] Ji Guangqi, Zhu Chunling, Song Changyou, et al. Fire-proof text for outer-wall external thermal insulation system; Model fire BS 8414-1 test No. 2[J]. Building Science, 2008, 24(2): 74-77.
季广其, 朱春玲, 宋长友, 等. 外墙外保温系统防火试验研究: 模型火 BS 8414-1 试验二[J]. 建筑科学, 2008, 24(2): 74-77.
- [20] Ji Guangqi, Zhu Chunling, Song Changyou, et al. Fire-proof text for outer-wall external thermal insulation system; Model fire BS 8414-1 test No. 1[J]. Building Science, 2008, 24(2): 70-73.
季广其, 朱春玲, 宋长友, 等. 外墙外保温系统防火试验研究: 模型火 BS 8414-1 试验一[J]. 建筑科学, 2008, 24(2): 70-73.
- [21] Ji Guangqi, Zhu Chunling, Song Changyou, et al. Fire-proof text for outer-wall external thermal insulation system; Model fire UL 1040 test No. 2[J]. Building Science, 2008, 24(2): 56-63.
季广其, 朱春玲, 宋长友, 等. 外墙外保温系统防火试验研究: 模型火 UL 1040 试验二[J]. 建筑科学, 2008, 24(2): 56-63.
- [22] Ji Guangqi, Zhu Chunling, Song Changyou, et al. Fire-proof text for outer-wall external thermal insulation system; Model fire UL 1040 test No. 3[J]. Building Science, 2008, 24(2): 64-69.
季广其, 朱春玲, 宋长友, 等. 外墙外保温系统防火试验研究: 模型火 UL 1040 试验三[J]. 建筑科学, 2008, 24(2): 64-69.
- [23] Ji Guangqi, Zhu Chunling, Song Changyou, et al. Fire-proof text for outer-wall external thermal insulation system; Model fire UL 1040 test No. 1[J]. Building Science, 2008, 24(2): 49-55.
季广其, 朱春玲, 宋长友, 等. 外墙外保温系统防火试验研究: 模型火 UL 1040 试验一[J]. 建筑科学, 2008, 24(2): 49-55.
- [24] Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 29416-2012 Test method for fire-resistant performance of external wall insulation systems applied to building facades [S]. Beijing: Standards Press of China, 2012.
国家标准化管理委员会. GB/T 29416-2012 建筑外墙外保温系统的防火性能试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.