拉萨和合肥环境下不同厚度保温材料 EPS 火蔓延特性研究*

黄新杰，纪 杰，张 英，张 毅，孙金华

（中国科学技术大学 火灾科学国家重点实验室，安徽 合肥 230026）

摘 要：为了揭示保温材料 EPS 在不同厚度以及不同压力和氧气浓度等条件下火蔓延特性规律，分别在高原地区的拉萨和平原地区的合肥对其进行了火蔓延实验。实验是在小尺寸火蔓延实验台中进行的。通过分析在水平放置时，不同厚度保温材料在两地火蔓延过程中火蔓延速度、平均池火长度、平均最大火焰高度等特性参数的变化规律，定量地揭示了高原和平原环境对不同厚度保温材料 EPS 火蔓延特性参数的影响。结果表明，保温材料 EPS 火蔓延速度、平均池火长度、平均最大火焰高度在拉萨和合肥环境条件下，均随着保温材料厚度的增加而增加。同种厚度 EPS 在两地火蔓延过程中，火蔓延速度、平均池火长度、平均最大火焰高度在合肥地区都高于拉萨地区的特点。

关键词：保温材料；EPS；低压低氧；火蔓延速度

中图分类号：TU7 **文献标识码**：A **文章编号**：1000 - 811X(2010)S0 - 0136 - 04

0 引言

硬质闭孔聚苯乙烯泡沫塑料(EPS)彩钢夹芯板是目前国际特别是国内市场上一种使用非常普遍的轻质新型建材保温材料[1]。EPS 芯材接近热源或火源时较易发生明火燃烧，在受火区表面产生黄橙色火焰并快速向芯材其它部位传播，芯材则软化、收缩、熔融和滴落，在空中和地面形成流窜火和流淌火，同时释放大量热量、黑烟和有毒有害气体，导致现场极具危险性且难扑救。

例如：2007 年 10 月 3 日，新疆吐鲁番市新拓市场发生火灾，过火面积 1 383.4 m^2。火灾造成 1 人死亡，起火材料为 EPS 彩钢夹芯板，耐火性能差。因此，系统地研究保温材料的火蔓延特性，具有重要的现实意义。

根据固体材料表面火蔓延过程中，热穿透厚度和保温材料半厚度的关系，可以将保温材料分为热厚型材料($d < L$)，以及热薄型材料($d > L$)[2]。C. di Blasi 等[3-4]通过数值模拟研究了材料的厚度对火蔓延的影响，根据材料的厚度与火蔓延特性的关系将其分成三种类型，即：化学动力学控制型、热薄型和热厚型。化学动力学控制型，材料的厚度非常薄，有限化学动力学控制了火蔓延的速度，火蔓延速度随着厚度的增加而增加，同时火焰和热解区的长度非常短；热薄型，材料的厚度比较薄，火蔓延速度随着厚度的增加而减小；热厚型，材料的厚度比较厚，火蔓延速度基本上不随着厚度的增加而变化。Subrata Bhattacharjee 等[5]研究了在静止的微重力环境下，PMMA 和纤维素物质火焰熄灭的临界厚度。研究表明，在静止的微重力环境下，所有物质能够进行稳态火蔓延燃烧，均为热薄型物质。同时，从固体表面辐射损失的角度，得到了火蔓延过程中材料的临界厚度。当材料的厚度大于临界厚度或材料的无量纲辐射数大于 0.25，火焰将熄灭，火蔓延不能维持。Mojtaba Mamourian 等[6]实验研究了三种厚度的 PMMA 薄片垂直向下的火蔓延情况。通过一维热量传递模型，得到了火蔓延速度和材料厚度的关系，即火蔓延速度随着厚度的增加而降低，最终趋于一个常数的关系。由于保温材料 EPS 密度非常小，燃烧过程中，收缩熔融，其火蔓延情况比较复杂，到现在为止，关于厚度对保温材料火蔓延特性的研究相对较少。同时，针对不同厚度的保温材料在高原环境(低压低氧)下火蔓延特性研究几乎是空白，仅有几篇关于可碳化固体可燃物在高原地区的火蔓延特性研究。因而有必要研究不同厚度保温材料在不同外界环境下火蔓延特性。

本文对常用的保温材料 EPS，分别在拉萨高原

* 收稿日期：2010 - 09 - 25

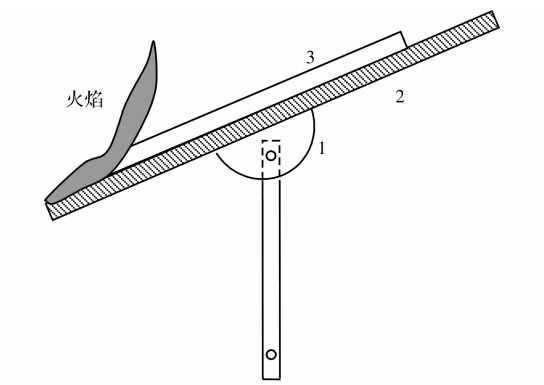
作者简介：黄新杰(1981 -)，安徽庐江人，博士研究生，主要从事保温材料火蔓延及安全系统工程研究. E-mail：hxj501@mail.ustc.edu.cn

环境和合肥平原环境下进行了小尺寸火蔓延实验。选取了材料的厚度为 2 cm、3 cm、4 cm、5 cm 四种厚度，材料的宽度为 4 cm，长度为 80 cm。对保温材料 EPS 在两地火蔓延过程中火蔓延速度、平均池火长度、平均最大火焰高度等特性参数进行了分析。

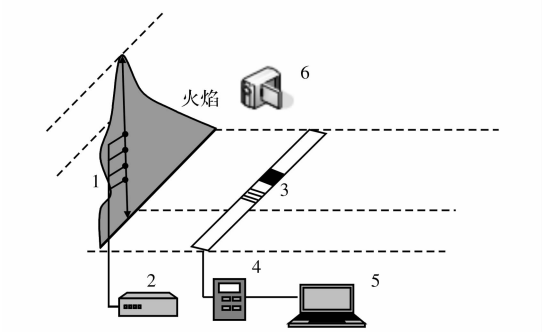
1　实验

1.1　实验系统

实验是在小尺寸火蔓延实验台进行的。实验系统如下图 1 所示，由以下 2 个部分组成：(a)旋转式实验支架系统，包括旋转实验支架和石膏板。在石膏板上放有保温材料，可进行保温材料在不同放置角度下单面火蔓延实验；(b)火蔓延特性测量系统，包括热电偶、辐射热流计、摄像机以及数据采集器和热流采集器。通过热电偶可以测定保温材料火蔓延过程中气相温度的变化以及保温材料表面和内部温度的变化；通过热流计可以测定火蔓延过程中热辐射通量的变化；通过摄像机拍摄保温材料火蔓延的动态过程，得到保温材料的热解前锋位置和时间的关系。



1.旋转支架; 2.石膏板;3.保温材料
(a) 旋转式实验支架系统



1.热电偶;2.数据采集器;3.热流计; 4.热流采集器; 5.PC机; 6.摄像机
(b) 火蔓延特性测量系统

图 1　保温材料 EPS 小尺寸火蔓延实验系统

1.2　试样准备和实验测量

通常建筑保温材料 EPS 的规格为 5 cm 厚[7]，本次实验中选取 EPS 厚度为 2 cm、3 cm、4 cm、5 cm四种，长度和宽度分别为 80 cm 和 4 cm，密度为 18 kg/m^3。试样的底表面用铝箔进行包裹，起到隔热和防止熔融的保温材料流淌到石膏板上。在试样的上表面每隔 5 cm 画一条平行线，便于拍摄火蔓延过程中，不同时刻热解前锋的瞬时位置。

2　实验结果及分析

保温材料火蔓延实验分别在高原环境的拉萨和具有平原环境的合肥进行的。实验时两地地理气象条件如上表 1 所示。

表 1　两地地理气象条件

地区	大气压力 /kPa	绝对氧气浓度/%	空气密度 /kgm^{-3}	相对湿度 /%	环境温度 /K
拉萨	655.1	13.2	0.83	25	297
合肥	1 018.5	21.0	1.28	35	295

分别在两地对四种厚度的 EPS 进行了火蔓延实验，得到了火蔓延速度，平均池火长度，平均最大火焰高度等特征参数的变化规律。

2.1　不同厚度保温材料 EPS 火蔓延特点

图 2 是厚度分别 $d=2$ cm，3 cm，4 cm，5 cm 的四种 EPS，在拉萨环境下的火焰形状图，起始时刻 $t=0$ s 定义为热解前锋火焰蔓延经过 20 cm 位置处的时刻。火焰结构示意图如图 3 所示。从图 2 可以看出，对于不同厚度 EPS 在火蔓延过程中，热解前锋在相同时刻的位置有所不同，即不同厚度 EPS 火蔓延速度有所不同。同时，不同厚度 EPS 在火蔓延过程中，平均池火长度，平均最大火焰高度均有所不同。同样这四种厚度 EPS 在合肥环境下，火蔓延速度，平均池火长度，平均最大火焰高度随着厚度的变化有着和拉萨相似的规律。

2.2　不同厚度 EPS 火蔓延速度

如图 4 所示，无论在拉萨和合肥环境下，四种厚度 EPS 火蔓延过程中热解前锋位置和火蔓延时间近似呈线性关系，即火蔓延速度为一常数，直线的斜率为火蔓延速度的大小。从图 4(a)，可以看出，不同厚度 EPS 在拉萨低压低氧环境下，火蔓延速度随着厚度增加，而略有增加，但是这种增幅不是很明显。厚度为 2 cm 的 EPS，在火蔓延过程中，出现了熄灭的现象。这主要由于，2 cm 厚 EPS 火蔓延过程中，热解熔融的 EPS 越来越少，

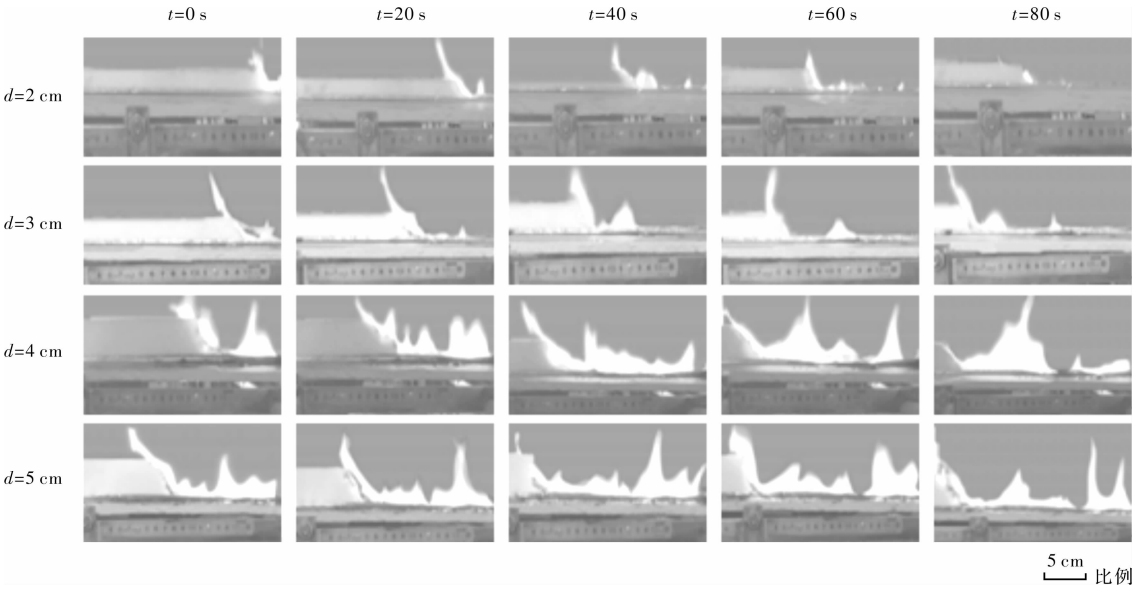
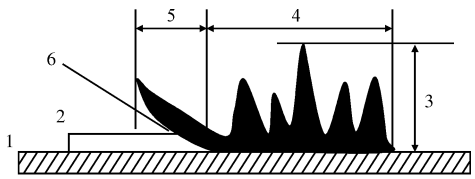


图 2 拉萨环境下不同厚度 EPS 不同时刻火焰形状



1.石膏板;2.保温材料;3.最大火焰高度;4.池火区长度;
5.表面燃烧火焰区;6.热解前锋

图 3 EPS 火蔓延过程中火焰结构简图

使得表面燃烧火焰区(如图 3 所示)火焰高度越来越低以及池火长度越来越短，火焰的热释放速率越来越小，因而使得 EPS 预热区接受到的热量越来越少，最终导致火焰的熄灭。而在合肥常压常氧的环境下，如图 4(b)所示，随着厚度的增加，火蔓延速度有逐渐增大的趋势，这种增加的幅度明显地高于在拉萨火蔓延情况下，说明在更高的压力和氧气浓度下，保温材料 EPS 火蔓延速度对厚度的敏感性越大。2 cm 厚的 EPS，在合肥进行火蔓延实验时，没有出现熄灭的情况。这主要由于，合肥的大气压力和绝对氧气浓度相应地比较大，更容易促进 EPS 的燃烧。同时，对于同种厚度的 EPS，在拉萨的火蔓延速度均要小于合肥的。说明大气压力和绝对氧气浓度的增加将促进保温材料 EPS 火蔓延的进行。

2.3 平均池火长度和池火区平均最大火焰高度

分别对 2 cm、3 cm、4 cm、5 cm 厚的保温材料 EPS，在拉萨和合肥火蔓延过程中，1 ~ 80 s 时间内，池火区长度和池火区最大火焰高度进行了测定。

图 5 为四种厚度的 EPS 在两地火蔓延过程中，测得的平均池火长度。从图 5 中可以看出，随着厚

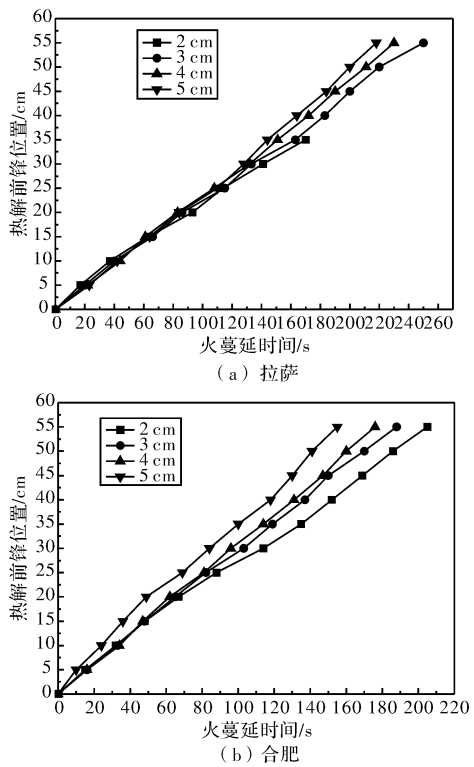


图 4 不同厚度 EPS 两地火蔓延过程中热解前锋 - 时间图

度的增加，无论在拉萨和合肥地区，平均池火长度均有增加的趋势，当厚度比较大的时候，这种增加趋势比较小。同时，同种厚度 EPS 的平均池火长度在合肥情况下均要高于在拉萨情况下。说明，在厚度比较小的情况下，此时保温材料厚度以及大气压力和氧气浓度共同影响着平均池火长度；而当厚度比较大的时候，厚度对平均池火长度的影响越来越弱，这时，大气压力和绝对氧气浓度主要影响着平均池火长度。

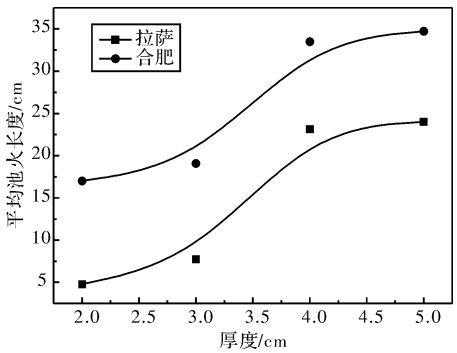


图 5　不同厚度 EPS 两地平均池火长度

同时，对四种厚度 EPS 在两地火蔓延过程中，池火区最大火焰高度进行了测定。得到两地不同厚度 EPS 平均最大火焰高度，如下图 6 所示。

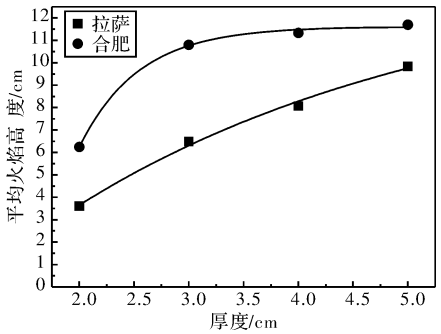


图 6　不同厚度 EPS 两地平均最大火焰高度

从图 6 可以看出，同种厚度 EPS 的平均最大火焰高度在合肥情况下均要高于在拉萨情况下。在拉萨环境下，随着保温材料厚度的增加，平均火焰高度呈线性增加的趋势。然而，在合肥环境下，保温材料厚度从 2 cm 到 3 cm，平均最大火焰高度增加的比较明显，之后，随着厚度的增加，火焰高度增加的很小。说明，在拉萨低压低氧环境下，保温材料 EPS 厚度对平均最大火焰高度的影响比较大；而在合肥常压常氧环境下，只有在保温材料厚度比较小的时候，厚度才对平均最大火焰高度有着比较大的影响。

3　结论

通过对常用的保温材料 EPS，厚度为 2 cm、3 cm、4 cm、5 cm，长度 80 cm 和宽度 4 cm，分别在拉萨高原环境和合肥平原环境下进行小尺寸火蔓延实验。分析了在水平放置的情况下，火蔓延过程中火蔓延速度、平均池火长度、平均最大火焰高度等特性参数的变化规律，得到：

(1)保温材料 EPS 在两地火蔓延过程中，随着厚度的增加，火蔓延速度均有增加的趋势，在合肥地区，增加趋势越明显。

(2)在拉萨和合肥两地，保温材料随着厚度的增加，平均池火长度呈现出逐渐增加的趋势，当厚度比较大的时候，增加趋势不明显。

(3)在拉萨，随着厚度的增加，平均火焰高度呈线性增加的趋势；而在合肥，只有当厚度比较小的时候，厚度才对平均最大火焰高度有着比较大的影响。

(4)同种厚度 EPS 火蔓延速度、平均池火长度以及平均最大火焰高度在合肥情况下均要大于在拉萨情况下。

参考文献：

[1] 吴振坤，颜东升，尤飞. 聚苯乙烯泡沫芯材的燃烧特性及其在火灾事故原因调查中的应用[J]. 火灾科学，2007，16(3)：180－184.

[2] Moghtaderi B，Novozhilov V，Fletcher D，et al. An integral model for the transient pyrolysis of solid materials [J]. Fire and Materials，1997，21：7－16.

[3] Jeff W，Matt K，Subrata B I，et al. Heat transfer pathways in flame spreading over thick fuels as a function of the flame spread regime：microgravity，thermal，and kinetic [J]. Combust－ion Science and Technology，1997，127(1)：119－140.

[4] Colomba D B. Influences of sample thickness on the ear－ly transient stages of concurrent flame spread and solid burning [J]. Fire Safety Journal，1995，25：287－304.

[5] Bhattacharjee S，Wakai K，Takahashi S. Prediction of a cri－tical fuel thickness for flame extinction in a quiescent mic－rogravity environment [J]. Combustion and Flame，2003，132(3)：523－532.

[6] Mamourian M，Esfahani J A.，Ayani M B. Experimental and scale up study of the flame spread over the PMMA sheets [J]. Thermal Science，2009，13(1)：79－88.

[7] 刘建国. 外墙粘贴聚苯乙烯板外保温施工[J]. 建筑施工技术，2007，139(1)：21－26.

(下转第 153 页)