

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2023.07.019

# 建筑外墙防裂网对XPS燃烧行为及火灾危险性影响

潘娟, 石必明, 程静

(安徽理工大学安全科学与工程学院, 安徽淮南 232001)

**摘要:** 为了探究建筑外墙防裂网与挤塑聚苯乙烯保温泡沫板(XPS)复合层的火灾危险性,揭示防裂网对XPS火灾性能影响规律,采用热重分析仪和锥型量热仪对XPS热解特性及三种典型防裂网复合层燃烧特性参数进行了系统测定,并分析计算各复合层火灾危险综合指数。研究表明,不同升温速率下,环境温度超350℃时XPS均处于不稳定状态,升温速率越小,热解越完全;抹灰钢丝和玄武岩纤维这两种材料的双层防裂网复合结构均促进了XPS的燃烧,而单层防裂网复合结构则降低了XPS的火灾危险性;玻璃纤维单层防裂网复合结构的火灾危险性高于双层防裂网复合结构,且玻璃纤维网复合结构增大了XPS的火灾危险性。因此,在复合保温板制作或外墙保温设计时可优先考虑单层玄武岩纤维网格布或单层抹灰钢丝网与XPS进行复合;尽可能避免使用玻璃纤维网格布与XPS进行复合,若无法避免,则可以考虑使用双层玻璃纤维网复合进而降低火灾危险性。研究结论填补了不同材料防裂网对XPS火灾危险性影响方面的不足,为建筑外墙保温面层及新型保温板复合材料的选择提供参考依据。

**关键词:** 挤塑聚苯乙烯保温泡沫板;防裂网;复合层;燃烧特性;火灾危险性

**中图分类号:** TU551 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2023)07-0116-07

## Effect of Anti-Cracking Mesh on Combustion Behaviour and Fire Risk of XPS

Pan Juan, Shi Biming, Cheng Jing

(College of Safety Science and Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

**Abstract :** To investigate the fire hazards of the composite layer of anti-cracking mesh and extruded polystyrene insulation foam board (XPS), and to reveal the influence of anti-cracking mesh on the fire performance of XPS, the thermogravimetric analyser and cone calorimeter were used to systematically determine the pyrolysis characteristics of XPS and the combustion characteristics of three typical anti-cracking mesh composite layers, and to analyse and calculate the comprehensive fire hazard index of each composite layer. The experimental results show that, XPS is in an unstable state at ambient temperatures above 350 °C at different heating rates, and the smaller the heating rate, the more complete the pyrolysis. The double-layer anti-fracture mesh composite structure of plastered steel wire and basalt fibre both promote the combustion of XPS, while the single-layer anti-fracture mesh composite structure reduces the fire hazard of XPS. The fire hazard of the single-layer anti-fracture mesh composite structure of glass fibre is higher than that of the double-layer anti-fracture mesh composite structure. The fire hazard of the single-layer glass fibre composite structure is higher than that of the double-layer anti-cracking mesh composite structure, and the glass fibre mesh composite structure increases the fire hazard of XPS. Therefore, the use of single-layer basalt fibre mesh or single-layer plastered steel wire mesh with XPS can be considered a priority when making composite insulation panels or designing external wall insulation. The use of glass fibre mesh with XPS can be avoided as far as possible, and if this cannot be avoided, then double-layer glass fibre mesh can be considered to reduce the fire hazard. The findings of the study fill the gap in the impact of different materials of anti-cracking mesh on the fire risk of XPS and provide a reference basis for the selection of new insulation panels and composite materials for building facades.

**Keywords :** extruded polystyrene insulation foam board ; anti-cracking mesh ; composite layer ; combustion characteristics ; fire hazard

**基金项目:** 国家重点研发计划项目(2018YFC0808101)

**通信作者:** 石必明, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为安全科学与灾害防治

**收稿日期:** 2023-06-08

**引用格式:** 潘娟, 石必明, 程静. 建筑外墙防裂网对XPS燃烧行为及火灾危险性影响[J]. 工程塑料应用, 2023, 51(7): 116–122.

Pan Juan, Shi Biming, Cheng Jing. Effect of anti-cracking mesh on combustion behaviour and fire risk of XPS[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(7): 116–122.

随着我国绿色建材的推广应用及新型保温复合板的不断研发,不同类型的网格布常作为内外墙保温面层的加强材料与岩棉板、聚氨酯保温板、聚苯乙烯保温板等保温板组合使用<sup>[1-4]</sup>。然而,部分新型保温复合板研发者在选择复合材料时主要关注其保温性能及耐久性能,很少注重复合层材料之间的火灾性能参数的影响。挤塑聚苯乙烯保温泡沫板(XPS)常用作外墙保温材料与防裂网进行复合,但XPS具有一定的可燃性。故而,研究保温防裂网的存在对XPS火灾性能参数的影响,选择火灾危险性较小的防裂网与XPS的组合,为选择内外墙保温面层及新型保温板材料组合提供相关参考依据。

不同材料的防裂网可以增强保温板的保温性、耐候性以及力学性能。郑杨梅等<sup>[5]</sup>将EPS板与玄武岩纤维中空织物复合,测试其热导率并进行传热分析和热工计算,比较分析了新型复合板保温隔热效果。张永光等<sup>[6]</sup>将玄武岩纤维网格布与岩棉板复合制成新型网织增强板,并研究了其耐候性、耐冻融性和抗冲击性,提供了外墙保温复合层可行性探索研究。

玻璃纤维防裂网会影响保温板的燃烧行为及火焰蔓延过程,使得保温板的火灾特性存在差异。沈紫晨<sup>[7]</sup>运用锥型量热(CONE)仪及小尺寸立体燃烧实验研究得出玻璃纤维的存在会加剧模塑聚苯乙烯保温板(EPS)的燃烧。程静等<sup>[8]</sup>使用锥型量热研究了XPS与不同孔径玻璃纤维网复合层的燃烧特征,发现其火灾危险性与网格孔径呈负相关。

前人研究了防裂网对保温板的力学及保温性能影响,针对不同类型防裂网对保温板火灾性能影响的相关研究较少。笔者基于热重及锥形量热仪实验结果,对比分析玻璃纤维网、玄武岩纤维网、抹灰钢丝网覆盖下XPS保温板在25 kW/m<sup>2</sup>辐射条件下所产生的各项特性参数,对复合层的火灾性能及危险性进行对比分析。

## 1 实验参数测定

### 1.1 原材料

实验板材选取宇霸龙实业(上海)有限公司生产的B1级XPS,保温防裂网选取通用孔径为5 mm×5 mm的玄武岩纤维网格布、玻璃纤维网格布、抹灰钢丝网格布代号分别为BF、GF、SW,材料具体参数性能见表1。

根据锥型量热仪测试样品要求,将XPS裁剪成

表1 材料具体参数

| 材料     | 面密度/<br>(g·m <sup>-2</sup> ) | 热导率/<br>[W·(m·K) <sup>-1</sup> ] | 生产厂家           |
|--------|------------------------------|----------------------------------|----------------|
| 玄武岩纤维网 | 187                          | 0.043                            | 上海骁雀实业有限公司     |
| 玻璃纤维网  | 166                          | 0.032                            | 河北致远玻璃纤维制品有限公司 |
| 抹灰钢丝网  | 363                          | 45.47                            | 中恩丝网制品有限公司     |

尺寸为100 mm×100 mm×10 mm的块状,将网格布尺寸裁剪成100 mm×100 mm,并采用压入式平铺法将网格布覆盖在XPS上,进行复合。

单层防裂网与XPS复合的复合层分别记为XPS-BF<sub>1</sub>,XPS-GF<sub>1</sub>,XPS-SW<sub>1</sub>,双层防裂网与XPS复合得到复合层分别为XPS-BF<sub>2</sub>,XPS-GF<sub>2</sub>,XPS-SW<sub>2</sub>,双层复合结构为XPS上下各覆盖一层防裂网。

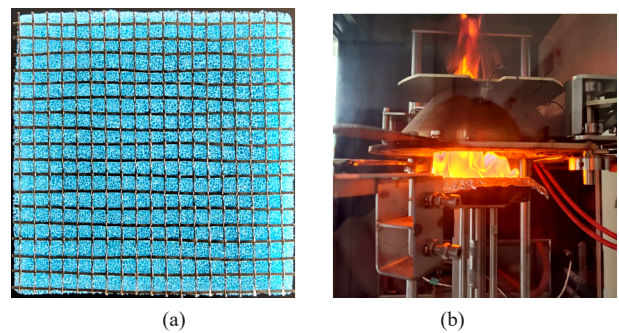
### 1.2 实验设备及工况设计

热重(TG)分析仪: TGA2型,瑞士METTLER TOLEDO公司。

TG测试工况:称取质量约2.5 mg的XPS颗粒状样品,在空气气氛下,升温速率为10,15,20 °C/min,气体流量为50 mL/min,升温范围为30~650 °C。

锥型量热仪: Icone Classic FTT 0484型,英国FTT公司。

锥型量热测试工况:室温22.7 °C,相对湿度为35.7%,设置热辐射强度为25 kW/m<sup>2</sup>,实验材料及其燃烧阶段如图1所示。



a—实验材料;b—燃烧阶段

图1 实验材料及其燃烧阶段

## 2 结果分析及讨论

### 2.1 不同升温速率下的XPS热解特性分析

实验得到空气气氛中XPS在不同升温速率下的TG和DTG曲线如图2所示。

由图2可知,在10,15,20 °C/min升温速率下的XPS质量损失率,均达到86.36%以上;热分解均存

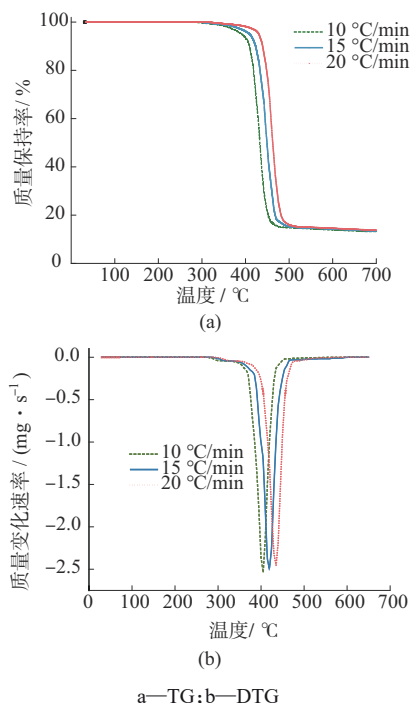


图2 XPS在不同升温速率下的TG,DTG曲线

在一个主要失重阶段,反应温度均在250~500℃范围内,且TG,DTG曲线的走向相似。升温速率对XPS热解规律存在影响,初始热分解温度和终止温度随着升温速率的增大而增大,反应两边均存在微小波动,因为材料的闭孔结构中存在气体,且B1级XPS经过特殊阻燃处理,故而存在微小变化。当火灾现场温度高于350℃时,材料均会迅速失重,使之处于不稳定状态;且现场升温速度越慢,达到同一热分解温度时XPS材料越不稳定。

## 2.2 XPS与防裂网复合层燃烧特性分析

火灾发展过程中,火灾带来的危险性可分为两类:热危害性和非热危害性<sup>[9]</sup>。复合层的保温材料在燃烧时不断释放热量与黑烟,对人员财产安全及疏散产生影响。通过锥型量热实验对复合保温层的火灾危险性进行分析,研究防裂网对XPS的燃烧危险性影响。

### (1)引燃性分析。

复合层的引燃性可以用引燃时间(TTI)来衡量,即复合层被点燃的难易程度及复合层表面因高温挥发出的可燃气体被点燃的能力<sup>[10]</sup>,TTI值越小则材料更容易被点燃,潜在危险性更高。相同辐射条件下,XPS复合层的TTI及热释放速率峰值时间( $T_{pHRR}$ )列于表2。

由表2可知,玻璃纤维网格布、抹灰钢丝网及双层玄武岩纤维网均会在一定程度上缩短XPS保温

表2 XPS复合层的时间参数

| 材料                  | TTI/s | $T_{pHRR}$ /s |
|---------------------|-------|---------------|
| XPS                 | 141   | 155           |
| XPS-SW <sub>1</sub> | 75    | 95            |
| XPS-BF <sub>1</sub> | 282   | 295           |
| XPS-GF <sub>1</sub> | 65    | 75            |
| XPS-SW <sub>2</sub> | 87    | 105           |
| XPS-BF <sub>2</sub> | 127   | 135           |
| XPS-GF <sub>2</sub> | 105   | 130           |

板的TTI和 $T_{pHRR}$ ,单层玄武岩纤维网则大大延长了XPS保温板的TTI和 $T_{pHRR}$ 。因此,单层玄武岩纤维网格布的存在增大了XPS的引燃难度,起到了部分阻燃作用,而玻璃纤维网格布、抹灰钢丝网及双层玄武岩纤维网加快了XPS的引燃。

### (2)热释放性能分析。

复合保温层燃烧过程中释放的热量通过对流和辐射对现场人员生命安全产生威胁,材料的热释放性能可以用热释放速率(HRR)和总热释放量(THR)来表征。XPS与防裂网复合层在相同辐射条件下的THR及HRR随时间变化曲线如图3所示。

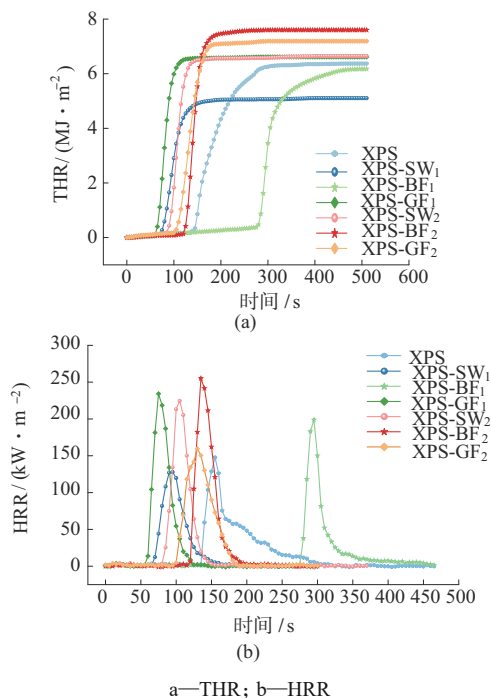


图3 XPS复合层的THR,HRR曲线

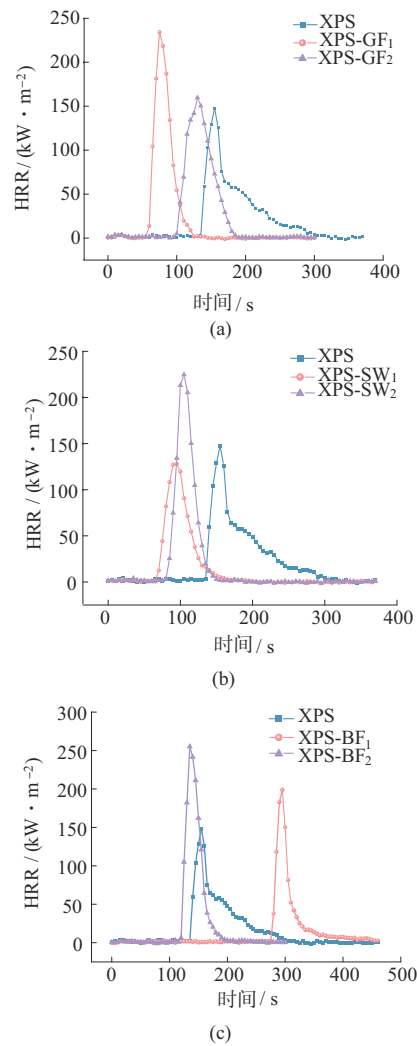
根据图3a的THR曲线可知,所有的双层防裂网复合层的THR均高于单防裂网复合层,但单层的抹灰钢丝网和单层玄武岩纤维网格布均减小了XPS保温板燃烧的THR,表明单层的抹灰钢丝网及玄武岩纤维在一定程度上可以具有阻燃的效果,而过量的防裂网则会提高复合层的热危害性。

不同材料的防裂网可以增强保温板的吸水性、耐候性以及力学性能<sup>[1]</sup>,同样也有可能对保温板的火灾性能产生影响。由图3b的HRR曲线显示,热辐射强度为 $25\text{ kW/m}^2$ 情况下,XPS单板燃烧时热释放速率曲线与XPS复合层曲线趋势相似,但存在微小差异。具体表现为:复合层与XPS单板上上升趋势几乎一致,均在点燃后30 s内急剧上升至热释放速率峰值(pHRR),在200 s内几乎完成了整个燃烧过程的热释放;与复合层相比,XPS单板HRR下降趋势更平缓,整个热释放过程明显比复合层耗时更久。这主要是因为材料会不断地积聚热量,XPS保温板在达到一定温度时熔融并热分解产生可燃性气体,材料被引燃后剧烈燃烧并充分释放热量,使得HRR在短时间内急剧升高;随着燃烧反应的继续,热分解速度降低,燃烧速度大于热分解速度,热解气体减少,HRR开始降低。具有单层防裂网覆盖的XPS复合层在燃烧过程中易积聚更多的热量,加快燃烧进程;故而XPS单板燃烧时间更久,且下降趋势更趋于平缓。

图4为同种材料XPS复合层HRR曲线。通过图4对比可知,防裂网复合层数对XPS的热危害性也存在影响。玻璃纤维的存在使总热释放量及pHRR均有所增大,使得XPS的燃烧更加充分,增大了XPS的热危害性;将双层的玻璃纤维与单层的玻璃纤维进行对比,发现随着玻璃纤维复合层数的增加,XPS的燃烧受阻程度增大,因为玻璃纤维为不燃材料,抑制了单复合层的燃烧。单层的抹灰钢丝网降低了XPS的pHRR,双层的抹灰钢丝网大大提高了pHRR,这是因为抹灰钢丝网虽不燃,蓄热能力较差,但足量的钢丝网却能增大其在燃烧过程中积蓄的热量,反而促进了XPS的燃烧。玄武岩纤维均提高了XPS的pHRR,单玄武岩复合层降低了XPS的pHRR,而双玄武岩复合层却提高了XPS的pHRR;这是由玄武岩纤维蓄热和阻燃能力之间的关系而决定的,双层的玄武岩纤维网能够快速积聚热量,其对XPS的阻燃能力在绝对高的热值面前发挥不了太大的作用,反而提高了XPS的热危害性。

有效燃烧热(EHC)是指在燃烧过程中某时刻测得的HRR与质量损失速率(MLR)之比,可表征材料受热挥发的可燃性气体在气相火焰中的燃烧程度,各复合层试样的平均EHC如图5所示。

由图5可知,玻璃纤维网在双层复合条件下,提



a—玻璃纤维网复合层;b—钢丝网复合层;c—玄武岩纤维复合层

图4 同种材料XPS复合层HRR曲线

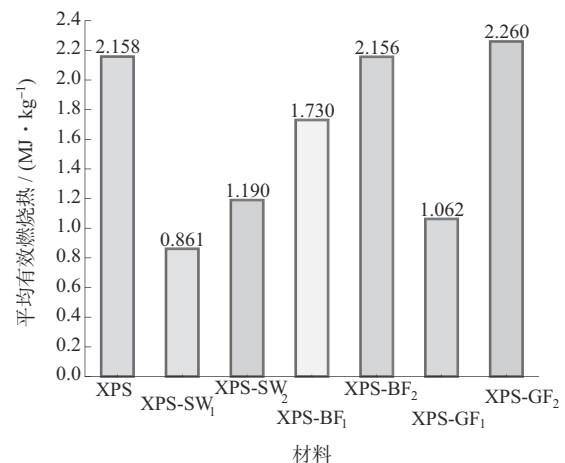


图5 XPS复合层的平均有效燃烧热

高了XPS的平均EHC,起到了助燃的作用,增加了XPS的火灾危险性;双层玄武岩纤维网复合层与XPS单板的平均EHC几乎持平,对火灾危险性的影

响较小;所有单层防裂网和双层抹灰钢丝网均降低了XPS的平均EHC,具有阻燃的效果,有效地降低了XPS的火灾危险性。

### (3)发烟性分析。

复合保温层燃烧时消耗空气中的氧气并产生大量黑烟携带热量释放到周围环境中,致使环境能见度降低及温度不断升高;烟气是材料燃烧不充分的产物,往往带有毒性,可能会导致现场人员中毒窒息。故而,烟危害会对现场人员疏散及生命安全造成影响。烟气生成总量(TSP)和烟生成速率(SPR)是分析材料烟危害性的重要参数,XPS与防裂网复合层的TSP,SPR曲线如图6和图7所示。

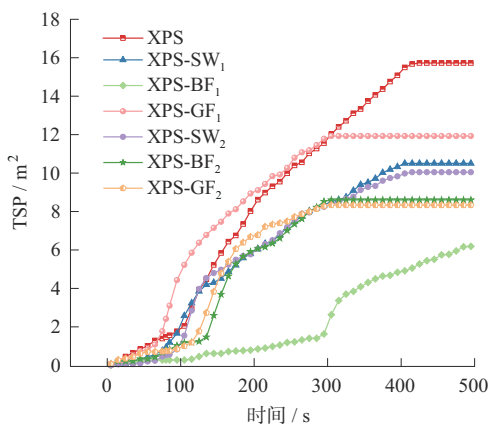
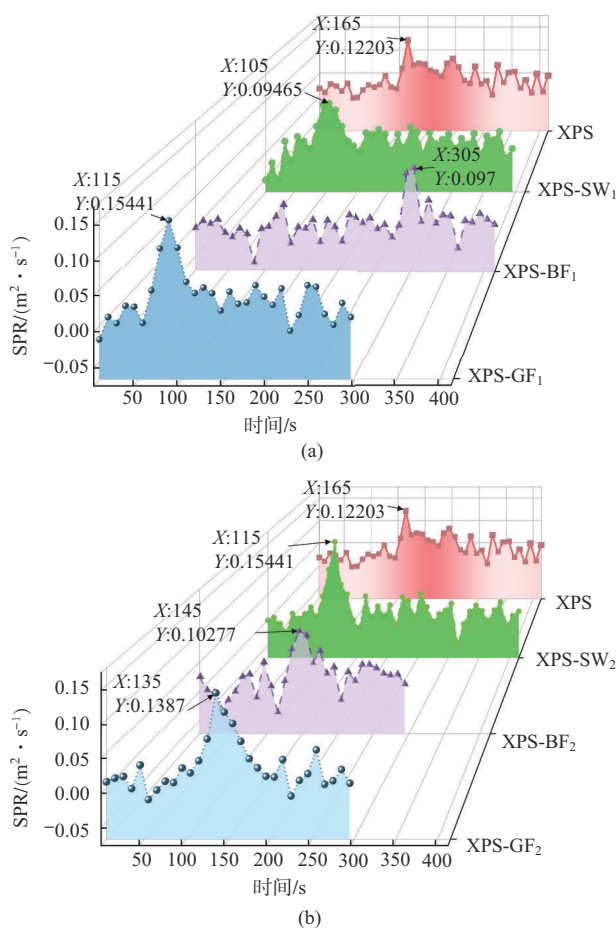


图6 XPS复合层的TSP曲线

由图6的TSP来看,在相同辐射强度下,材料燃烧时的TSP趋势基本相似,TSP排序为XPS>XPS-GF₁>XPS-SW₁>XPS-SW₂>XPS-BF₂>XPS-GF₂>XPS-BF₁,XPS单板的TSP明显高于复合层,说明在材料燃烧的整个过程中,防裂网降低了生烟总量。

对比分析图3和图7可知,烟气生成速率峰值(pSPR)出现的时间与pHRR值出现的时间较为接近,且规律存在一定的相似性,例如对于同种材料防裂网而言,在仅对比复合层的条件下,XPS的pSPR与pHRR随着玄武岩纤维网和抹灰钢丝网复合层数的增加而增大;相反,XPS的pSPR与pHRR随着玻璃纤维网复合层数的增加而减小。这是因为材料燃烧时产生的烟气带有部分热量,故而部分规律相似。

从pSPR的角度来看,对比XPS单板,玄武岩纤维网复合层和单层抹灰钢丝网复合层板均降低了XPS的pSPR,降低了XPS的烟危害性,而玻璃纤维网复合层和双层抹灰钢丝网复合层均增大了XPS的pSPR,增大了XPS的烟危害性。



a—XPS、单层结构复合层的SPR曲线;  
b—XPS、双层结构复合层的SPR曲线

图7 XPS复合层的SPR曲线

## 3 XPS复合层火灾危险性分析

为更加准确地分析不同复合层的火灾危险性,引入火灾蔓延指数(FGI)来表征火灾增长危险性,用放热指数(THRI<sub>7min</sub>)来分析火灾放热危险,发烟指数(TSPI<sub>7min</sub>)和毒气生成速率指数(ToxPI<sub>7min</sub>)分别分析XPS复合层的发烟危险及烟气毒性危险<sup>[12-13]</sup>。

### 3.1 复合层燃烧特性指数计算

复合层在锥型量热仪正常通风及供氧实验条件下进行燃烧,这与常规建筑外墙及保温材料的初始火灾阶段相似,且所有复合层燃烧实验几乎均在420 s内完成,建筑火灾规定的疏散时间也在5~7 min内<sup>[14]</sup>,故而此段时间内的复合层燃烧性能对火灾现场人员安全影响较大,选用复合层试样实验的前7 min内的指数较为合适。

一氧化碳是复合层燃烧所产生烟气中主要的毒性气体,可用复合层实验过程前7 min内一氧化碳的产率(COY)与MLR乘积,也就是一氧化碳释放

速率( $R_{COa}$ )的对数近似代替烟气中毒性气体生成速率指数( $ToxPI_{7min}$ )。该指数越大,产生的一氧化碳越多,则毒性危害越大,具体计算表达式如式(1)所示。

$$I_{Tox} = \lg(R_{COa} \times 1000) \quad (1)$$

式中, $I_{Tox}$ 为 $ToxPI_{7min}$ 。

锥形量热仪中的激光系统利用减光系数计算消光面积来测量烟气生成量,发烟指数( $TSPI_{7min}$ )则指材料实验燃烧过程的前7 min内TSP的对数值,该数值越大,则表明复合层产烟越多;计算表达式如式(2)所示。

$$I_{TSP} = \lg(a_{TSP} \times 100) \quad (2)$$

式中, $I_{TSP}$ 为 $TSPI_{7min}$ , $a_{TSP}$ 为TSP的对数值。

火灾蔓延指数(FGI)是指复合层在燃烧过程中热释放速率峰值( $pHRR$ )与之对应峰值时间( $T_{pHRR}$ )的比值,该指数越大,复合层在引燃后火灾蔓延越快<sup>[15-16]</sup>,计算表达式如式(3)所示。

$$I_{FGI} = \frac{V_{pHRR}}{T_{pHRR}} \quad (3)$$

式中, $I_{FGI}$ 为FGI, $V_{pHRR}$ 为 $pHRR$ 。

放热指数( $THRI_{7min}$ )为实验过程前7 min内THR的对数值;该指数越大,则表明复合层规定时间内受热损害越严重,计算表达式如式(4)所示。

$$I_{THR} = \lg(a_{THR}) \quad (4)$$

式中, $I_{THR}$ 为 $THRI_{7min}$ , $a_{THR}$ 为THR。

民用建筑火灾危险类型中,烟气毒性危险>发烟危险>火灾增长危险>放热危险,这4个指数的权重值 $W$ 分别为0.467,0.278,0.160,0.095,复合层材料火灾危险综合指数(IFHI)计算表达式如式(5)所示。

$$I_{IFHI} = \sum_{i=1}^n \left( 1 - \frac{SV_i - TR_i}{SV_i} \right) W_i, i = 1, 2, 3, 4 \quad (5)$$

式中, $I_{IFHI}$ 是IFHI; $SV_i$ 和 $TR_i$ 分别为第 $i$ 个指数的标准值和实测值<sup>[12-13]</sup>。

### 3.2 复合层材料燃烧特性指数计算结果分析

复合层燃烧特性指数计算所需的锥型量热实验参数,见表3,燃烧特征指数计算结果见表4。

由表4的计算结果可知,复合层均降低了XPS的发烟危险性;单层玄武岩纤维网XPS复合层的各方面指数均低于XPS单板;通过复合层材料火灾危险综合指数(IFHI)可知,玄武岩纤维网和抹灰钢丝网在单层复合条件,降低了XPS的火灾危险性;玻璃纤维网的存在提高了XPS的火灾危险性。仅对

表3 复合层燃烧实验参数

| 材料                  | $R_{COa}$ | TSP       | pHRR      | THR     |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|---------|
| XPS                 | 0.030 2   | 15.724 90 | 147.761 4 | 6.372 5 |
| XPS-SW <sub>1</sub> | 0.022 5   | 10.502 62 | 127.998 5 | 5.104 4 |
| XPS-SW <sub>2</sub> | 0.032 8   | 10.042 36 | 224.598 5 | 6.645 4 |
| XPS-BF <sub>1</sub> | 0.021 6   | 6.186 54  | 198.912 8 | 6.173 4 |
| XPS-BF <sub>2</sub> | 0.032 3   | 8.604 33  | 255.131 7 | 7.602 7 |
| XPS-GF <sub>1</sub> | 0.039 5   | 11.926 65 | 234.218 3 | 6.613 3 |
| XPS-GF <sub>2</sub> | 0.034 6   | 8.331 95  | 159.609 1 | 7.193 0 |

表4 复合层燃烧特征指数

| 材料                  | $ToxPI_{7min}$ | $TSPI_{7min}$ | FGI     | $THRI_{7min}$ | IFHI    |
|---------------------|----------------|---------------|---------|---------------|---------|
| XPS                 | 1.480 0        | 3.196 6       | 0.953 3 | 0.804 3       | 1       |
| XPS-SW <sub>1</sub> | 1.352 2        | 3.021 2       | 1.347 4 | 0.707 9       | 0.999 2 |
| XPS-SW <sub>2</sub> | 1.515 9        | 3.001 8       | 2.139 0 | 0.822 5       | 1.195 5 |
| XPS-BF <sub>1</sub> | 1.334 5        | 2.791 4       | 0.674 3 | 0.790 5       | 0.870 4 |
| XPS-BF <sub>2</sub> | 1.509 2        | 2.934 7       | 1.889 9 | 0.881 0       | 1.152 7 |
| XPS-GF <sub>1</sub> | 1.596 6        | 3.076 5       | 3.122 9 | 0.820 4       | 1.392 4 |
| XPS-GF <sub>2</sub> | 1.539 1        | 2.920 7       | 1.227 8 | 0.856 9       | 1.046 9 |

比复合层数时,XPS的火灾危险性随着玄武岩纤维网和抹灰钢丝网复合层数的增加而增大;相反,XPS的火灾危险性随着玻璃纤维网复合层数的增加而减小。

## 4 结论

(1)通过TG实验分析得到XPS在空气气氛下,XPS的初始热解温度和终止温度随着升温速率的增大而增大,升温速度越慢,达到同一热分解温度时XPS材料越不稳定;温度高于350℃时,材料均会迅速失重,且失重率均达到86.36%以上,具有潜在火灾危险性。

(2)在单层复合条件下,玄武岩纤维网降低了XPS的放热量及着火性,抹灰钢丝网降低了XPS放热危害,而玻璃纤维网提高XPS的火灾危险性。

(3)复合层与XPS综合比较,发现所有的复合层均降低了XPS的TSP,玄武岩纤维网复合层与单层抹灰钢丝网复合层均降低了XPS的pSPR值,降低了XPS的发烟危险性。

(4)对复合层的火灾危险性进行特征指数计算并分析,复合层均降低了XPS的烟害性;玄武岩纤维网和抹灰钢丝网复合层的FGI, $TSPI_{7min}$ 及所有复合层的 $THRI_{7min}$ 均随着层数的增加而增大。单层玄武岩纤维网复合层的各项指数均低于XPS单板,是安全较高的复合层材料。

(5)在复合保温板以及外墙保温设计时可优先考虑选用单层玄武岩纤维网布或单层抹灰钢丝网与XPS进行复合,避免对玄武岩纤维和抹灰钢丝材料使用双层防裂网结构复合;尽可能避免使用玻

玻璃纤维网格布进行复合,若无法避免,则可以考虑使用双层玻璃纤维复合进而降低火灾危险性。

### 参考文献

- [1] 刘玉章,张君,王家赫,等.建筑外墙外保温做法对结构安全性影响分析[J].建筑材料学报,2021,24(6):1 300-1 306.  
Liu Yuzhang, Zhang Jun, Wang Jiahe, et al. Analysis on influence of external thermal insulation on structural safety[J]. Journal of Building Materials, 2021, 24(6): 1 300-1 306.
- [2] 郑杨梅,田艳,李刚,等.新型苯板-BFRP中空织物保温板导热性能研究[J].非金属矿,2018,41(3):1-3.  
Zheng Yangmei, Tian Yan, Li Gang, et al. Study on thermal conductivity of new EPS-BFRP hollow fabric insulation board[J]. Non-Metallic Mines, 2018, 41(3): 1-3.
- [3] 刘君妹,贾立霞.玄武岩织物增强泡沫板材保温性能分析[J].棉纺织技术,2020,48(11):10-13.  
Liu Junmei, Jia Lixia. Analyses on the thermal insulation property of basalt fabric reinforced foam board[J]. Cotton Textile Technology, 2020, 48(11): 10-13.
- [4] 王建强,王红军,曹宝良. EPS钢丝网架板现浇混凝土外墙外保温系统的施工[J].建筑技术,2007(10):781-783.  
Wang Jianqiang, Wang Hongjun, Cao Baoliang. Construction of exterior heat insulation system of cast-in-situ concrete external wall with steel mesh EPS board[J]. Architecture Technology, 2007(10): 781-783.
- [5] 郑杨梅,田艳,秦子鹏,等. EPS板-玄武岩纤维中空织物保温板导热性能模拟[J].塑料,2019,48(2):82-85.  
Zheng Yangmei, Tian Yan, Qin Zipeng, et al. Simulation of the thermal property of EPS-basalt fiber hollow fabric insulation board [J]. Plastics, 2019, 48(2): 82-85.
- [6] 张永光,陈一全,王周琴.网织增强岩棉板制备合成及其性能研究[J].新型建筑材料,2020,47(1):87-93.  
Zhang Yongguang, Chen Yiquan, Wang Zhouqin. Research on synthesis preparation and main properties of mesh-stitched enhanced rock wool composite thermal insulation board[J]. New Building Materials, 2020, 47(1): 87-93.
- [7] 沈紫晨. EPS保温材料与玻璃纤维复合燃烧过程的研究[D].南京:南京理工大学,2016.  
Shen Zichen. Research on the process of compound combustion of glass fiber and EPS foam[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2016.
- [8] 程静,石必明,班鸿榆.玻璃纤维网与XPS复合层火灾危险性分析[J].消防科学与技术,2022,41(7):895-898.  
Cheng Jing, Shi Biming, Ban Hongyu. Fire hazard analysis of fiberglass mesh and XPS composite layer[J]. Fire Science and Technology, 2022, 41(7): 895-898.
- [9] 王霁,杨永斌.典型阻燃材料火灾毒性烟气释放规律研究进展[J].科学技术与工程,2022,22(32):14 100-14 109.  
Wang Ji, Yang Yongbin. Research progress on the regularity of toxic smoke released from typical flame retardant materials in fire [J]. Science Technology and Engineering, 2022, 22(32): 14 100-14 109.
- [10] 张锡艳.评价建材火灾危险性的重要参数及测试原理[J].消防科学与技术,1998,17(4):45.  
Zhang Xiyan. Important parameters and test principles for evaluating the fire risk of building materials[J]. Fire Science and Technology, 1998, 17(4): 45.
- [11] 封雷,封叶,王庆华.玻璃纤维网格布增强复合保温墙板的保温性能和力学性能研究[J].新型建筑材料,2016,43(3):73-76,84.  
Feng Lei, Feng Ye, Wang Qinghua. Study on insulation and mechanical properties of the composite insulation wallboard reinforced by fiberglass mesh[J]. New Building Materials, 2016, 43 (3): 73-76, 84.
- [12] 舒中俊,徐晓楠,杨守生,等.基于锥形量热仪试验的聚合物材料火灾危险评价研究[J].高分子通报,2006(5):37-44.  
Shu Zhongjun, Xu Xiaonan, Yang Shousheng, et al. Integrated Assessing fire hazard of polymer based on data of cone calorimeter[J]. Polymer Bulletin, 2006(5): 37-44.
- [13] 于宝钢.基于AHP热塑性塑料火灾危险评价[J].塑料,2008,37(5):105-107,79.  
Yu Baogang. Fire hazard evaluation of thermoplastics based on AHP[J]. Plastics, 2008, 37(5): 105-107, 79.
- [14] 于福海.建筑防火设计原理[M].北京:中国人民公安大学出版社,1998:172-173.  
Yu Fuhai. Principles of fire protection design for buildings[M]. Beijing: Chinese People's Public Security University Press, 1998: 172-173.
- [15] Schartel B, Hull T R. Development of fire retarded materials interpretation of cone calorimeter data[J]. Fire and Materials, 2007, 31(5):327-354.
- [16] 段嘉豪,杨玲,史聪灵,等.汽车用聚合物材料火灾燃烧特性研究[J].中国安全生产科学技术,2020,16(5):150-154.  
Duan Jiahao, Yang Ling, Shi Congling, et al. Study on fire combustion characteristics of polymer materials for automobiles [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2020, 16(5): 150-154.