

生物秸秆不燃板房安全防火间距试验

王厚华¹, 季文慧¹, 宋晓勇², 李 伟³

(1. 重庆大学 城市建设与环境工程学院, 重庆 400045; 2. 四川省消防总队防火部, 四川 成都 610036;
3. 威特龙消防安全集团股份有限公司, 四川 成都 611730)

摘要: 对新型生物秸秆不燃板材搭建的活动板房进行了全尺寸火灾试验. 通过测量板房室内外的温度数据及室外不同距离处的热辐射强度数据, 分析生物秸秆不燃板房的火灾蔓延特性. 通过回归分析建立生物秸秆不燃板房的室外最大热辐射强度与距离的函数关系式, 确定生物秸秆不燃板房的安全防火间距. 结果表明, 秸秆防火板材的阻燃性能对于抑制火灾蔓延有重要作用; 采用生物秸秆不燃材料的活动板房, 临栋的安全防火间距建议为 2.34 m; 对于极端大风天气, 生物秸秆不燃板房临栋的安全防火间距建议为 2.51 m.

关键词: 活动板房; 防灾; 防火间距; 秸秆

中图分类号: TU366.4

文献标志码: A

Full-Scale Experimental Evaluation of Fire Safety Distance of Straw Fireproofing Houses

WANG Houhua¹, JI Wenhui¹, SONG Xiaoyong², LI Wei³

(1. Faculty of Urban Construction and Environment Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China; 2. Sichuan General Fire Brigade, Chengdu 610036, China; 3. Vitalong Fire Safety Group Co., Ltd., Chengdu 611731, China)

Abstract: Full-scale fire experiments were conducted to study the fire safety distance of novel straw fireproofing houses. Room temperatures, ambient temperatures and thermal radiation intensities were measured to analyze the behavior of straw fireproofing houses during the fire. The formula for the maximum outdoor thermal radiation intensities of straw fireproofing house at various distances was obtained by regression analysis, and this equation could be used to calculate the fire safety distance. It is found that the fire spread is significantly restricted by using straw fireproofing material. For the straw fireproofing houses, the fire safety distance is suggested to be 2.34 m. Furthermore, for the straw fireproofing houses under severe weather conditions with strong wind, the fire safety distance is suggested to be

2.51 m.

Key words: temporary house; disaster prevention; fire safety distance; straw

我国地域辽阔, 人口众多, 多变的气候、复杂的地质等蕴灾环境使得我国成为世界上自然灾害最严重的少数国家之一^[1]. 在重大灾害发生后, 确保受灾民众得以妥善安置, 并预防次生灾害的发生尤为重要. 灾区的临时安置以及施工现场的活动板房多采用以发泡聚苯乙烯泡沫(EPS)作为芯材的彩钢夹芯盒式组合板房, 防火阻燃性能均得不到保障, 存在消防安全隐患问题^[2]. 根据相关文献^[3-4], 彩钢板导热系数较大, 在受到高温热源作用时极易变形, EPS芯材在 200 °C 时会发生熔融并产生可燃气体, 熔融物滴落流动形成熔融带, 遇到明火即会着火燃烧, 因此很容易导致火势蔓延; 当达到 495 °C 时 EPS 芯材会自行持续燃烧并产生大量黑烟. 此外, 用于过渡安置的活动板房材料大多不可降解, 在拆除临时板房后将产生大量的固体废料, 需要大量经费进行处理, 若处置不当还会对当地的生态环境造成巨大威胁^[5].

目前, 关于灾区安置点临时建筑安全间距仅有针对彩钢 EPS 夹芯板的全尺寸火灾实验研究. 包光宏等^[6]分析了阻燃型和非阻燃型 EPS 彩钢板活动房屋的火灾燃烧特性, 基于实测结果建议板房邻栋间距为 3 m, 同时每隔 2 栋设 1 条消防通道, 接民用建筑耐火等级为 3 级设置间距为 8 m. 王厚华^[7]、宋晓勇^[8]等进行了彩钢 EPS 夹芯板房的火灾试验, 测试现场的气象条件为晴天无风, 初始环境温度为 15.7 °C, 空气相对湿度 80%. 彩钢 EPS 夹芯板房的火灾试验过程中, 着火板房所在的整排板房均被烧毁, 间

收稿日期: 2018-01-28

基金项目: 国家自然科学基金(51578086)

第一作者: 王厚华(1952—), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为建筑防排烟、建筑节能及强化传热.

E-mail: whhxinxiang@aliyun.com

通信作者: 季文慧(1990—), 女, 博士生, 主要研究方向为建筑防排烟及建筑通风. E-mail: veraj0704@gmail.com

隔 1.9 m 的临栋板房在靠近着火板房的一侧因受到热辐射作用产生不同程度的变形. 李东书^[9]、李亚鹏^[10]基于实体测试结果, 根据美国消防规范 NFPA 的研究结果以 $10 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ 作为热辐射强度临界值, 采用 MATLAB 软件对着火板房外的热辐射强度峰值进行回归分析, 得出以下结论: 组团内板房行间距不应小于 4 m, 组团之间的防火间距应不小于 5 m; 若当地可能出现极端大风天气, 组团之间的防火间距应不小于 8.5 m.

以上研究结果表明, 彩钢夹芯板材的大规模使用对环境有害, 且对安全间距要求很高, 不利于灾区临时建筑的密集安置. 因此, 活动板房应采用环保型不燃或难燃材料. 近年来, 新型的防火型秸秆复合板材以天然矿粉、农作物秸秆、锯末、草灰等植物纤维为主要原料, 具有耐火性能好, 火焰形成速度低, 高温热解时有害烟气产生量少等特点^[11-12], 符合现行国家标准《建筑材料及制品燃烧性能分级: GB 8624—2010》定义的不燃 A(A1)级. 应用该种阻燃型生物秸秆板材既可以变废为宝, 又可以提高板房的防火性能.

为了研究真实条件下新型生物秸秆不燃板房的火灾蔓延规律, 本文开展了全尺寸火灾试验, 分析该板房在失火后的火灾蔓延特性, 并以临界热辐射强度作为判断标准, 确定生物秸秆不燃板房的防火间距要求, 为相关标准规范的制定提供理论支撑和试验依据.

1 试验概况

全尺寸火灾试验于 2017 年 7 月在四川省成都市某待建工地进行. 图 1 中三排白色板房即为本次试验板房, 板房平面布置如图 2 所示. 试验所用的板房材料均为生物秸秆环保型防火板. A、B 两排板房



图 1 火灾试验用地及周边环境

Fig.1 Test rooms and its surroundings

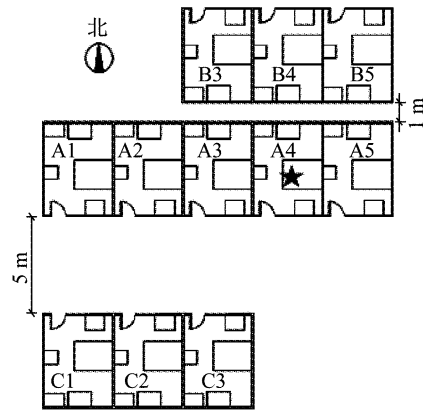


图 2 板房及室内家具的平面布置图

Fig.2 Layout of straw houses and indoor furniture

的间距为 1 m, A、C 两排板房的间距为 5 m, 平行排列. 单间板房宽度为 3.6 m, 进深 4.8 m, 板房坡屋面屋脊高 3.1 m, 檐口高 2.7 m. 所有试验板房采用的门窗尺寸相同, 门尺寸均为 $0.8 \text{ m} \times 2.1 \text{ m}$, 窗尺寸均为 $0.8 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$.

实测现场的气象条件为晴天, 初始时刻的环境温度为 $32 \text{ }^\circ\text{C}$, 空气相对湿度为 48%, 风速为 $0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 风向为西风. 板房内均放置有灾区居民日常所需的床、衣柜、沙发和桌椅. 图 3 为板房 A4 室内的可燃物布置.



图 3 板房 A4 室内可燃物布置

Fig.3 Layout of combustible furniture in Room A4

2 测试系统

为了测定板房的安全防火间距, 设置室内外的温度测点及室外热辐射强度测点. 图 4 为板房 A4 的室内外空气温度、室外热辐射强度及壁温测点的布置图. 着火板房 A4 室内正中距地面高度 $z=1.8 \text{ m}$ 和 $z=2.8 \text{ m}$ 处分别设置室内空气温度测点 T29 和 T30; 在着火板房外距地面高度 $z=1.8 \text{ m}$, 沿 x 轴正向距板房正面 $x=1 \sim 10 \text{ m}$ 处分别设置 10 个室外空气温度测点 T1~T10, 每个温度测点的间距为 1 m;

在着火板房 A4 外距地面高度 $z=1.6\text{ m}$,沿 x 轴正向距板房正面 $x=1\sim 8\text{ m}$ 处分别设置 8 个室外热辐射强度测点 R1~R8,每个热辐射强度测点的间距为 1 m .图 5 为着火板房 A4 右侧板房 A5 的室内外空气温度测点及壁温测点的布置图.板房 A5 的室内正距地面高度 $z=1.8\text{ m}$ 和 $z=2.8\text{ m}$ 处分别设置室内空气温度测点 T31 和 T32;在测试板房 A5 外距地面高度 $z=1.8\text{ m}$,沿 x 轴正向距板房正面 $x=1\sim 8\text{ m}$ 处分别设置 8 个室外空气温度测点 T17~T24,每个温度测点之间的距离仍为 1 m .此外,为了测定板房材料的隔热性能,在 A4 和 A5 两个相邻板房之间的隔墙两侧分别设置壁温测点:A4 板房内壁面距地面高度 $z=1.8\text{ m}$ 、 $z=2.8\text{ m}$ 处分别设置壁温测点 T33 和 T34,A5 板房内壁面距地面高度 $z=1.8\text{ m}$ 、 $z=2.8\text{ m}$ 处分别设置壁温测点 T35 和 T36.

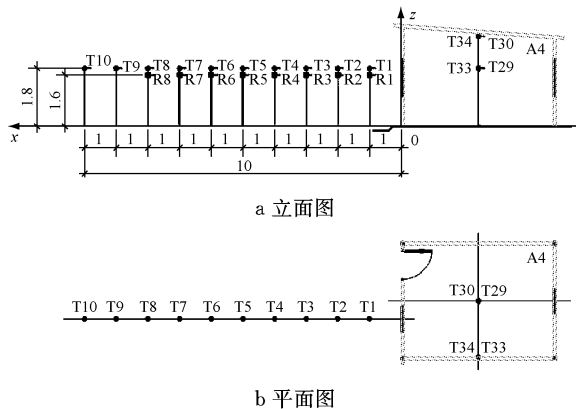


图 4 着火板房 A4 室内外的温度和热辐射强度测点(单位:m)

Fig.4 Locations of thermocouples and thermal radiation testers of Room A4(unit: m)

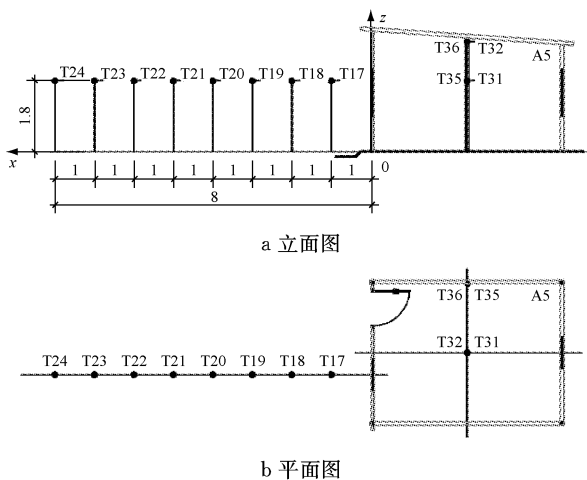


图 5 板房 A5 室内外的温度测点(单位:m)

Fig.5 Locations of thermocouples of Room A5(unit: m)

采用 WRK 型镍铬-镍硅铠装热电偶测量各测点温度,该热电偶的测量范围为 $-40\sim 1\ 100\text{ }^{\circ}\text{C}$,测量

误差为 $\pm 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,试验前均进行了热电偶标定和校验;采用 SWP-ASR 型数据采集仪实时采集并记录温度数据,板房外部的热辐射强度值采用 ZX7M-MR-5 型热辐射计测定,测量精度为 $\pm 5\%$.

3 试验结果

3.1 生物秸秆不燃板房的火灾试验场景

试验前,门、窗均为关闭状态.采用汽油先引燃 A4 板房内的床褥等织物,随后木质家具等相继被引燃.由于燃烧会消耗大量氧气,点火后约 46 s 时 A4 板房的外门在负压作用下打开,约 85 s 时 A4 板房的窗户破裂.图 6 为着火板房 A4 窗户破裂后的火灾现场照片,此时 A4 板房内可燃物均已被引燃,火灾处于旺盛期,仅有少量白色烟雾从门窗处喷出,板房结构未被破坏;相邻的 A3 及 A5 板房均有少量烟雾产生,但毗邻板房未见明火,表明 A4 板房着火并未发生横向蔓延;间隔 1 m 处的 B4 板房墙体无明显热变形.火灾发生 20 min 后,A4 板房内的可燃物燃尽,板房结构保存依然完整,如图 7 所示.毗邻的 A5 板房窗户崩坏,其余板房均未受损.

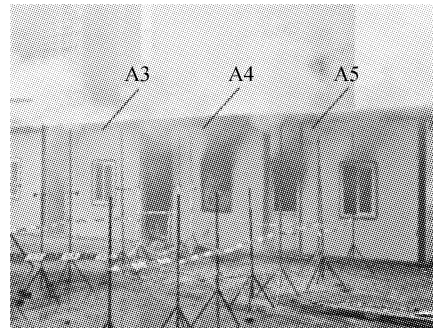


图 6 火灾试验现场

Fig.6 Photo of the field experiment



图 7 火灾结束后的 A4 板房

Fig.7 Post-test photo of Room A4

3.2 着火板房 A4 的室内外温度实测结果

图 8 为着火板房 A4 在火灾发生后的室内空气

温度变化曲线. 随着火灾的发展, 着火板房室内空气温度在着火后迅速升温, 当温度达到最大值后缓慢降低. 由于 A4 板房内可燃物的摆放高度较低, 因此升温阶段 $z=1.8\text{ m}$ 处测点 T29 的空气温度更高; 房间内可燃物充分燃烧后, 高温烟气羽流浮升聚集在顶棚下部, 因此在温度逐渐降低的阶段 $z=2.8\text{ m}$ 处测点 T30 的空气温度更高.

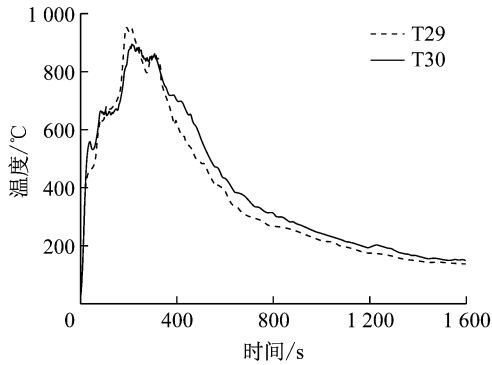


图 8 板房 A4 室内温度随时间的变化曲线

Fig.8 Temperature versus time of room temperature of Room A4

图 9 为着火房间 A4 室外不同距离处的温度测点的实测结果. 由于测点 T6~T10 的温度曲线难以区分且对结果影响不大, 因此本文仅给出 T1~T5 的温度曲线. 根据火灾现场的视频图像以及实测温度曲线, 着火房间外 $z=1.8\text{ m}$ 处各测点的温度值约在 150 s 时窗户玻璃破裂后迅速上升, 距离着火板房最近的 T1 测点的温度上升幅度尤为显著. A4 板房内可燃物均被引燃, 由于板房材质采用的生物秸秆板属于不燃材料, 因此在 220 s 左右 T1~T5 测点温度达到最大值之后随即降低, 火势随可燃物逐渐燃尽而减小, 400 s 后 T1 测点温度降至 50 °C 以下. 对于 T3~T5 测点, 室外空气温度最大值为 47 °C, 表明防火间距大于 3 m 可以保障人员安全疏散.

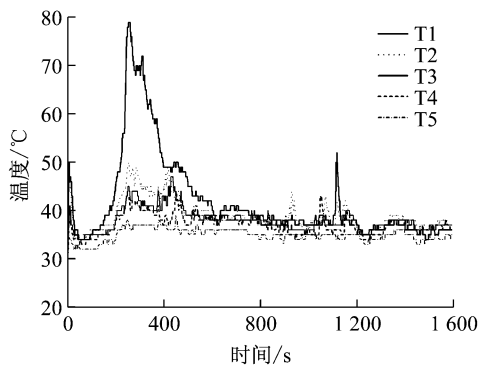


图 9 板房 A4 室外温度随时间的变化曲线

Fig.9 Temperature versus time of outdoor temperature of Room A4

3.3 板房 A5 的室内外空气温度实测结果

图 10 为着火板房 A4 右侧相邻板房 A5 的室内空气温度的实测结果, 测点温度先增大后减小, 在 A4 前窗玻璃破裂后, A5 板房受到热烟气的影响, 室内空气温度迅速上升; 当 A4 板房火势进入衰减期后, A5 板房室内温度也随即降低. 在整个火灾过程中, 距离地面 2.8 m 处测点 T32 的温度值明显高于距离地面 1.8 m 处测点 T31 的温度值, 表明高温烟气聚集在房间上部. 与图 8 中 A4 板房的室内空气温度值比较, A5 板房室内空气温度的峰值明显低于 A4 板房的室内空气温度峰值, 且 A5 板房室内峰值温度出现的时刻存在延迟.

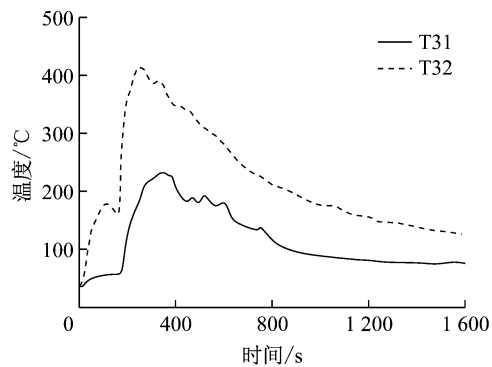


图 10 板房 A5 室内温度随时间的变化曲线

Fig.10 Temperature versus time of room temperature of Room A5

图 11 为 A5 板房室外空气温度测点 T17~T20 的实测值. 由于本次试验中板房采用不燃材料, 板房 A5 并未被引燃, 因此 A5 板房外各测点 T17~T20 的空气温度均显著低于 A4 板房外相同距离处的测点 T1~T4 的温度值. 火灾发生 300 s 后 A5 板房室外温度均低于 40 °C, 表明人员可以安全疏散.

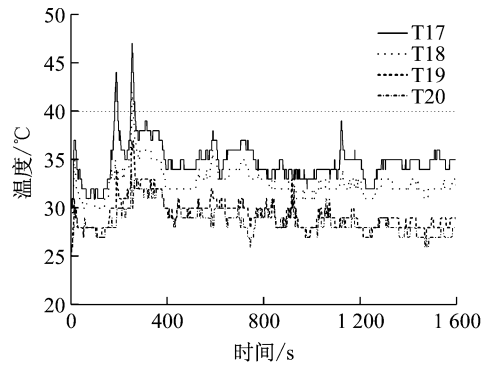


图 11 板房 A5 室外温度随时间的变化曲线

Fig.11 Temperature versus time of outdoor temperature of Room A5

3.4 着火板房与邻室的壁温实测结果

图 12 为着火板房 A4 与右侧相邻板房 A5 的隔墙壁面温度的实测结果, T33 和 T34 为 A4 板房的内壁面温度, T35 和 T36 为 A5 板房的内壁面温度. 由图 12 的实测数据可知, 着火板房 A4 的内墙壁面峰值温度为 786 °C, 隔墙另一侧的壁面峰值温度为 192 °C, 表明板房所采用的生物秸秆防火板材的隔热阻燃性能优异, 可以大幅减小火灾对邻室的影响, 为室内人员的安全疏散创造有利条件.

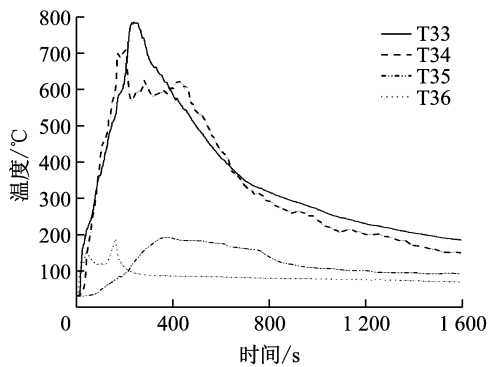


图 12 板房 A4 与 A5 隔墙两侧的壁面温度随时间的变化曲线
Fig. 12 Wall surface temperature of adjacent wall of Room A4 and Room A5

3.5 着火板房 A4 室外热辐射强度实测数据分析

图 13 为着火板房 A4 室外的热辐射强度测点 R1~R8 的实测热辐射强度值 I 随时间 t 的变化曲线. 距离板房 3 m 以内的测点 R1、R2 和 R3 的热辐射强度波动幅度显著, 测点 R1 的热辐射强度峰值可达 $24.43 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$. 当距板房的距离增至 2 m 时, 测点 R2 的最大热辐射强度为 $12.72 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$, 仅约为测点 R1 的热辐射强度峰值的一半. 实体试验中, 与板房 A4 的间距仅为 1 m 的板房 B4 在火灾中未受损, 这亦与热辐射强度实测结果吻合.

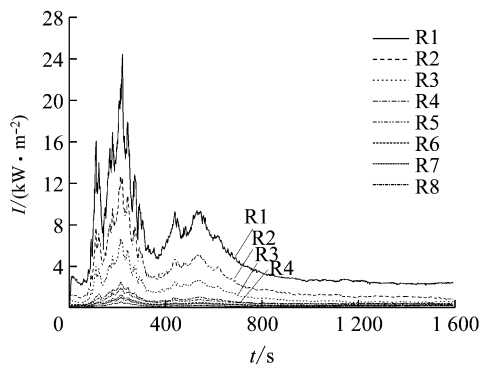


图 13 板房 A4 室外热辐射强度随时间的变化曲线
Fig. 13 Outdoor thermal radiation intensity evolution of Room A4

根据实测结果, 运用 MATLAB 软件对 A4 板房外的热辐射强度峰值进行一元回归分析, 采用指数函数拟合最大热辐射强度 $I_{\max,x}$ 随测点与板房间距 x 的函数关系式:

$$I_{\max,x} = 47.434 \exp(-0.6627x), R^2 = 0.9974 \quad (1)$$

式中: $I_{\max,x}$ 为测点距离板房 x 处的最大热辐射强度, $\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$.

式(1)的相关系数大于 0.99, 表明该指数函数式的拟合值与实测值相关性很好. 着火板房外不同距离处的最大热辐射强度与距离的变化曲线见图 14.

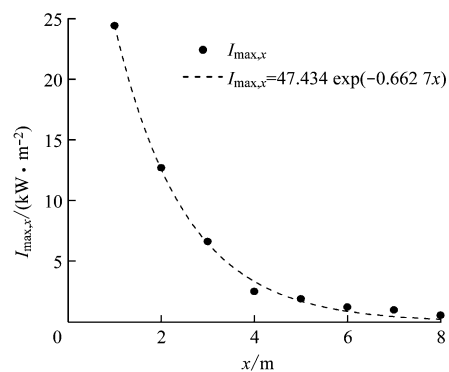


图 14 着火板房外最大热辐射强度 $I_{\max,x}$ 随测点与板房间距 x 的变化曲线
Fig. 14 Maximum thermal radiation intensities at different distances

根据美国消防规范 NFPA 的研究结果, 引燃织物、纸张等材料的热辐射强度临界值为 $10 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$, 将此热辐射强度临界值代入式(1), 可计算得出生物秸秆不燃板房的防火安全距离为 $x = 2.34 \text{ m}$. 表明当板房排间距 $x > 2.34 \text{ m}$ 时, 所接受到的辐射强度将小于 $10 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$.

4 极端情况分析

以上数据是基于初始环境温度为 $32 \text{ }^\circ\text{C}$, 初始环境风向风速为西风 $0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的实测数据的分析结果, 最终根据热辐射强度的临界值来确定安全防火间距. 事实上, 气象条件将对火灾的蔓延情况产生不同的影响, 其中, 风速和气温的影响尤为突出. 当风速增大后, 物体表面接收到的热量除了辐射传热以外, 还应包括烟气掠过物体表面时的对流传热. 文献 [9] 模拟分析得到: 常规气象条件下 (环境温度在 $-5 \sim 35 \text{ }^\circ\text{C}$, 环境风速小于 $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), 对流传热强度约占总传热强度的 2%; 极端天气条件下 (环境温度 $50 \text{ }^\circ\text{C}$, 环境风速 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), 对流传热强度约占

总传热强度的 10%。因此,考虑极端条件下总传热强度临界值为 $10 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$,其中辐射传热强度临界值为 $9 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ 时,由式(1)计算得到极端条件下生物秸秆不燃板房的防火安全距离为 2.51 m。

5 结论

本文对生物秸秆不燃板房进行了全尺寸火灾试验,研究该板房在失火后的火灾蔓延特性以及安全防火间距。研究结果表明:

(1) 生物秸秆不燃板材的阻燃性能对于抑制火灾蔓延有重要作用,可以有效减轻火灾的危害,为人员的安全疏散创造有利条件。

(2) 对于采用生物秸秆不燃材料的板房,临栋防火间距大于 2.34 m 可满足安全要求。考虑极端大风天气,生物秸秆不燃板房的临栋安全防火间距应增至 2.51 m。

因此,采用生物秸秆不燃材料搭建灾区活动板房,可以有效缩短安全防火间距,在安全可靠的前提下扩大灾区安置点的承载能力,同时也对保护灾区的生态环境有着重要意义。

参考文献:

- [1] 高庆华. 中国自然灾害的分布与分区减灾对策[J]. 地质前缘, 2013, 10(8): 258.
GAO Qinghua. The distributions of natural disasters and the divisional disaster-countermeasures for China [J]. Earth Science Frontiers, 2013, 10(8): 258.
- [2] 周全会, 刘仕杰. 聚苯乙烯泡沫夹芯板的火灾危险性评析[J]. 消防科学与技术, 2008, 27(9): 644.
ZHOU Quanhui, LIU Shijie. Fire risk evaluation of EPS sandwich board [J]. Fire Science and Technology, 2008, 27(9): 644.
- [3] 尤飞, 胡源. 金属面 EPS 泡沫夹芯板的对火反应特性和火蔓延特性[J]. 燃烧科学与技术, 2012, 18(3): 228.
YOU Fei, HU Yuan. Reaction-to-fire properties and fire spread properties of metal-skinned expanded polystyrene foam sandwich panel [J]. Journal of Combustion Science and Technology, 2012, 18(3): 228.
- [4] GRIFFIN G J, BICKNELL A D, BRADBURY G P, et al. Effect of construction method on the fire behavior of sandwich panels with expanded polystyrene cores in room fire tests [J]. Journal of Fire Sciences, 2006, 24(4): 275.
- [5] 宋晓勇. 汶川地震灾区安置点的防灾研究[J]. 消防科学与技术, 2010, 29(12): 1058.
SONG Xiaoyong. Disaster prevention of settlements of the Wenchuan earthquake hit area [J]. Fire Science and Technology, 2010, 29(12): 1058.
- [6] 包光宏, 卢国建, 王炯. 活动板房全尺寸火灾实验研究[J]. 火灾科学, 2010, 19(4): 205.
BAO Guanghong, LU Guojian, WANG Jiong. Experimental study on full-scale fire of temporary houses [J]. Fire Safety Science, 2010, 19(4): 205.
- [7] 王厚华, 李东书, 马锐. 彩钢夹芯板房防火间距的模拟与试验验证[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2014, 42(4): 552.
WANG Houhua, LI Dongshu, MA Rui. Simulation and experimental verification of fire safety distance between color steel sandwich panel houses [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2014, 42(4): 552.
- [8] 四川省消防总队. 板房火灾实验研究报告[R]. 成都: 四川省消防总队, 2010.
Sichuan General Fire Brigade. Experimental research report of panel house fire [R]. Chengdu: Sichuan General Fire Brigade, 2010.
- [9] 李东书. 彩钢夹芯板与救灾单帐篷防火间距的研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2014.
LI Dongshu. Study on fire safety distance between color steel sandwich panel houses and between unlined relief tents [D]. Chongqing: Chongqing University, 2014.
- [10] 李亚鹏. 不同气象条件下彩钢夹芯板房防火间距的模拟研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2016.
LI Yapeng. Fire safety distance analysis of color steel sandwich panel houses in different meteorological conditions [D]. Chongqing: Chongqing University, 2016.
- [11] 谭福太. 秸秆建材燃烧特性及生命周期研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
TAN Futai. Study on combustion characteristic and life cycle assessment of straw building material [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013.
- [12] 杨建铭. 阻燃秸秆人造板制造工艺研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2014.
YANG Jianming. Study on processing technology of retardant straw plywood [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2014.