

The Characteristics of Fire Spread and Prevention and Control Measures in the Building of the Mall

Baoku Qi, Meiqi Zhang

Shenyang Jianzhu University, Shenyang Liaoning
Email: 925768535@qq.com

Received: Mar. 10th, 2018; accepted: Mar. 23rd, 2018; published: Mar. 30th, 2018

Abstract

The fire accident in shopping mall has always been one of the focuses of the society. If we want to thoroughly prevent the occurrence of fire accidents in shopping malls, we must start with eliminating fire hazards. Through the experiment, small size and narrow space fire combustion characteristics were studied. This paper studies the development and change process of the market fire from fire to the vigorous stage, and the variation of the flame temperature and the spread characteristics of the flue gas at different locations at the fire point, and analyzes the heat release rate of the combustible materials at different stages. Finally, the conclusion is made to make reasonable suggestions according to the characteristics of different stages of combustion.

Keywords

Store Fire, Small Size Experiment, Propagating Characteristics

商场火灾蔓延特性实验研究

齐宝库, 张美琪

沈阳建筑大学, 辽宁 沈阳
Email: 925768535@qq.com

收稿日期: 2018年3月10日; 录用日期: 2018年3月23日; 发布日期: 2018年3月30日

摘要

商场火灾事故一直是社会关注的焦点问题之一, 要想彻底地预防商场火灾事故的发生, 就必须从消除火

灾隐患方面着手。通过小尺寸实验对狭长空间火灾燃烧特性进行研究, 研究商场火灾从起火到旺盛期的发展变化过程及距离起火点不同位置火焰温度的变化和烟气的蔓延特性, 并对不同阶段可燃物的热释放速率进行了分析。最后得出结论根据不同阶段的燃烧特点为制定商场火灾防控对策提出合理的建议。

关键词

商场火灾, 小尺寸实验, 蔓延特性

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

商场属于大型公共建筑, 具有用电设备多、电气线路隐患突出、可燃物多、消防设施管理不到位、人员高度密集疏散难度大等特点, 一旦发生火灾, 火灾蔓延速度很大, 灭火和救援工作很难快速展开。因此, 对商场火灾蔓延特性研究尤为重要。学者张姣对商场火灾危险性进行分析, 运用层次分析法对指标体系进行了权重值计算, 建立了火灾风险评估体系[1]。吴凤开展了扁平地下大空间实体火灾实验, 对烟气的蔓延特点进行了分析, 拟定了大型商场的防火策略[2]。杜兰萍等学者根据家电商场火灾的实际特点, 对货架和堆垛两种摆放形式的模拟家电标准组件进行了全尺寸的火灾实验研究, 用实验结果分析了火灾过程中不同阶段的燃烧特点, 以及温度、辐射热流和火灾载荷等参数对火灾发展和蔓延规律的影响[3]。本研究通过对商场实际走访调查, 发现商场中杂物堆积现象十分严重, 堆积物大多为用来包装商品的泡沫, 泡沫是可燃物, 遇明火极易引起火灾, 而且泡沫塑料的主要成分有的是聚苯乙烯, 有的是聚氯乙烯聚氨酯, 泡沫塑料在燃烧时多为不完全燃烧, 浓烟含有大量的 CO、CO₂、HCHO、HCN 等有毒性气体, 一旦引起火灾, 造成的伤害不可小视。因此, 本文采用泡沫作为燃烧物进行火灾实验模拟研究商场火灾的特性, 采用狭长空间实验模型, 对事先准备好的可燃物(泡沫)进行燃烧试验, 在开口及通风条件不变的基础上, 从可燃物起火开始直至熄灭整个过程中, 监测模型中距可燃物不同位置温度的变化情况以及烟气组成成分含量的变化情况。

通过可燃物的燃烧参数用于评价材料的危险性, 为制定商场火灾防火规范以及改善相关防火技术、防火对策研究提供有利参考。

2. 实验部分

2.1. 实验系统与装置

实验采用狭长空间小尺寸实验模型装置见图 1(a), 主体尺寸长宽高分别为 4.5 m × 1.8 m × 0.8 m, 采用 0.6 L 的酒精作为引燃物, 放入直径为 30 cm 的燃烧盆中, 在容器中再放入事先准备好的三块尺寸约为 20 cm × 20 cm × 10 cm 的标准泡沫试块进行燃烧试验。模型的壁面和顶部、底部均采用“1 mm 厚镀锌钢板 + 30 mm 岩棉保温层 + 1 mm 厚镀锌钢板”的结构形式, 模型的两端设活动镀锌钢板, 以实现对于通风口面积的调整。实验模型图如图 1(b)所示。

实验模型中部放置直径为 300 mm 的不锈钢燃烧盘作为主油盘, 内置酒精作为主火源。采用三块尺寸约为 20 cm × 20 cm × 10 cm 的标准泡沫进行试验, 质量约为 0.1 kg。对实验平台进行测点布置, 如图 2(a)所示。

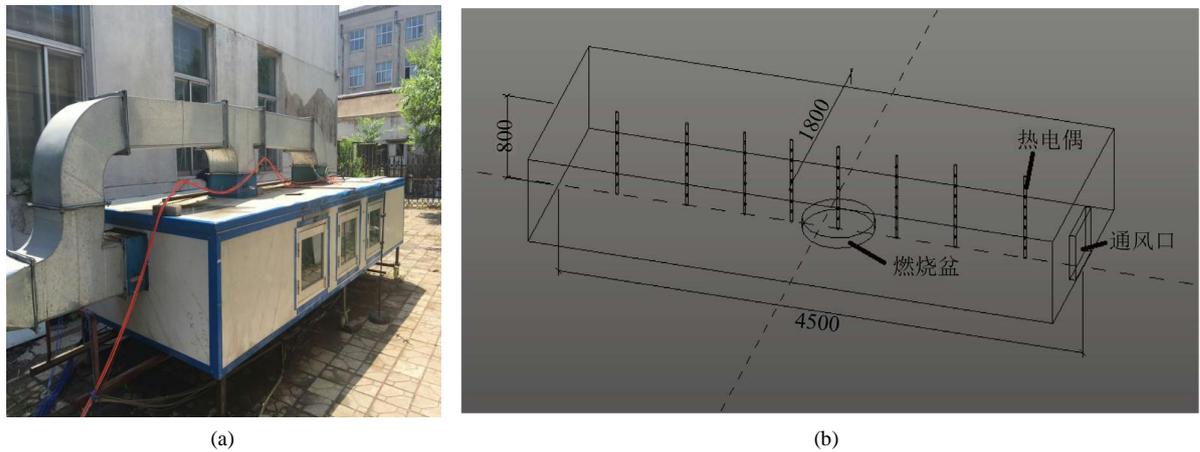
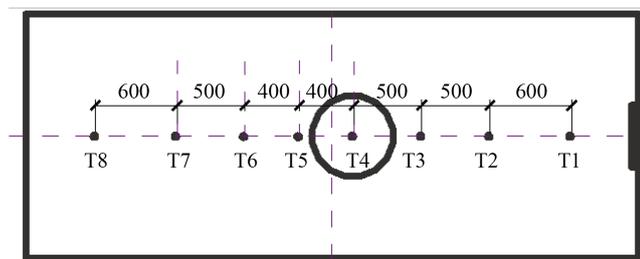


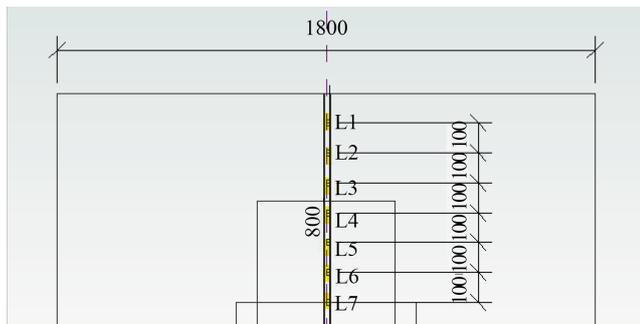
Figure 1. (a) Physical map of the experimental model of narrow space; (b) Experimental model of narrow space
图 1. (a) 狭长空间实验模型实物图; (b) 狭长空间实验模型图



(a)



(b)



(c)

Figure 2. (a) Actual layout of the electric couple; (b) Layout of single galvanic measurement point; (c) Layout map of the horizontal direction of the electric couple

图 2. (a) 电偶实际布置图; (b) 单根电偶测点布置图; (c) 电偶水平方向测点布置图

自狭长空间顶部以下共布置了 7 层(L1~L7), 8 颗点偶树。垂直方向热电偶间距如图 2(b)所示。水平方向电偶布置图如图 2(c)所示。

实验中的热电偶均为直径 1.0 mm 的 K 型铠装热电偶, 以测量火源表面、火焰以及上部热烟气层温度的演变。K 型热电偶具有线性度好, 热电动势较大, 灵敏度高, 稳定性和均匀性较好, 抗氧化性能强, 价格便宜等优点, 能用于氧化性惰性气氛中。其测量范围为 50℃~1300℃, 可长期测量 900 度的高温, 短期可测到 1200 度, 误差一般在 0.67%~0.89%之间。

温度检测系统热是通过电偶及热流传感器产生的电压信号将输入到 LR8400-21 数据记录仪, 数据记录仪再将电压信号转化成温度, 最终通过 RS232 端口传送到计算机或者进行 USB 外部保存, 完成温度的采集与储存。

烟气分析系统主要部件是 VARIO PLUS 增强型烟气分析仪, 两台烟气分析仪的探头分别布置在距离主油盆中心左右两侧 600 mm 且距顶部 450 mm 的位置。

2.2. 实验步骤

- 1) 开启温度测量系统、烟气分析系统等各监测系统, 并对其进行调零和校准。
- 2) 将燃烧盆点燃, 记录点燃时的时间, 并观察记录实验现象, 在不同角度对实验整个过程进行拍摄。
- 3) 待火焰完全熄灭时, 关闭各监测系统并存储实验数据。同时把火焰完全熄灭时间记录下来。实验过程中现场照片如图 3(a)、图 3(b)所示。

3. 数据分析与结果讨论

3.1. 火源热释放速率

火源热释放速率主要根据 t^2 模型来进行计算, 本文在此模型基础上构建了火灾发展的完整模型来计算火灾的热释放速率。在实验中通过记录点火时间和熄灭时间, 然后根据温度检测系统记录的数据进行如下步骤计算, 汇总出火源的热释放速率随时间的变化图。

t^2 模型: 主要采用模型描述火灾过程中热释放速率过程。不考虑火灾的初期准备过程时, 其模型如下:

$$Q = bt^2 \quad (1)$$

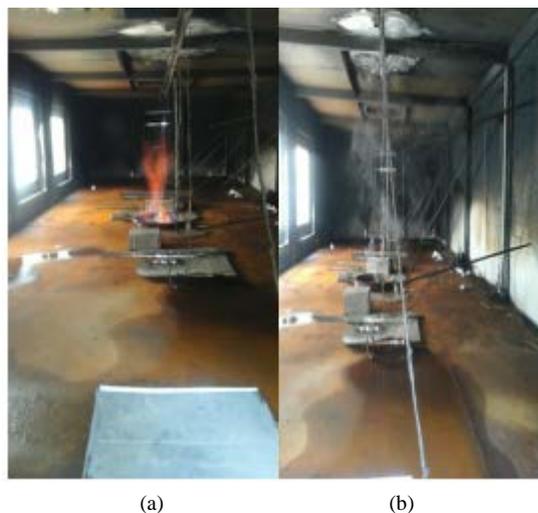


Figure 3. (a) Full combustion stage; (b) Extinguishing stage
图 3. (a) 充分燃烧阶段; (b) 熄灭阶段

式中: Q : 火源的热释放速率, kw;

b : 火灾发展系数 $b = Q_0^2 / t_0$, kw/s²;

t : 火灾的发展时间, s;

t_0 : 火源热释放速率 $Q_0 = 1$ MW 时所需要的时间, s。

火灾发展系数 b 表征火灾蔓延的快慢, 根据 NEPA 的分类, 火灾发展阶段可分为极快、快速、中等、和缓慢四种类型。

本文在模型的基础上, 采用预先给定最大热释放速率和火灾衰减阶段的方法构造火灾发展的 t^2 完整模型, 其数学描述如式(2)所示:

$$Q = bt^2 \quad 0 \leq t \leq t_1 \quad (2)$$

$$Q = Q_{\max} \quad t_1 \leq t \leq t_2 \quad (3)$$

$$Q = b'(t - t_3)^2 \quad t_2 \leq t \leq t_3 \quad (4)$$

式中: b' 火灾衰减阶段的系数, $b' = (t_2 - t_3)^2$, w/s;

Q_{\max} 火源的最大热释放速率, kw;

t_1 火源热释放速率达到最大值 Q_{\max} 时所需要的时间, s;

t_2 火源热释放速率开始衰减时所需要的时间, s;

t_3 火源热释放速率衰减至 0 时所需要的时间, s。

实验通过测量不同时刻所对应的火源热释放速率, 每秒记一次数据, 最后通过数据筛选, 绘制出整个燃烧过程中燃烧速率随时间变换的曲线。

图 4 所示, 可以看出在整个过程中火源的热释放速率大致呈现上升—平稳—下降这样一个趋势。起火阶段初期火源热释放速率较小, 火灾发展速度较慢, 可以推测出在发展过程中, 火势不稳定。随着时间推移, 火源热释放速率逐渐加快, 火势加强, 燃烧向充分发展阶段过渡。在燃烧的充分发展阶段, 可燃物猛烈燃烧, 燃烧处于稳定期, 火源热释放速率达到整个过程的最大值, 且可燃物的燃烧速率接近定值, 火灾温度上升到最高点。随着燃料的不断消耗, 燃烧强度减弱, 明火消失, 燃烧速率逐渐减慢, 进入熄灭阶段。

3.2. 燃烧过程中气体浓度分析

泡沫塑料的主要成分有的是聚苯乙烯, 有的是聚氯乙烯聚氨酯, 泡沫塑料在燃烧时多为不完全燃烧, 浓烟含有大量的 CO、CO₂、HCHO、HCN 等有毒性气体, 我们通过实验对部分气体浓度变化进行了测定, 统计分析结果如下:

1) 燃烧过程中二氧化碳浓度的分析

根据图 5 火焰上方二氧化碳浓度随时间变化曲线可以看出, 二氧化碳含量随时间分布基本上是先增大后减小, 二氧化碳的浓度从 $t = 120$ s~360 s 一段时间内浓度较高, 而该阶段为火焰的全面发展阶段, 燃烧较旺盛, 消耗氧气产生大量二氧化碳。而本实验是在自然通风的条件下进行的, 其中二氧化碳体积分数最高时可达 1%, 二氧化碳属于窒息性气体, 过高浓度的二氧化碳会使呼吸中枢神经系统先兴奋后抑制, 最后导致呼吸中枢麻痹。空气中二氧化碳的体积分数达到 1% 时, 对人体有害, 达到 10%, 会使人窒息。浓度达 17%~18% 时, 吸入量大时即可发生“闪电样”死亡。因此, 在化工安全与环境、医学中毒急救等方面、把过高浓度的二氧化碳作为“致因物质”而归称为“毒气”。本实验中虽然二氧化碳浓度最高为 1%, 不会使人窒息死亡, 但若持续时间长, 也会使人窒息, 对人体产生危害。因此, 设置机械排烟系统对于火灾发生时烟气的输送十分重要。

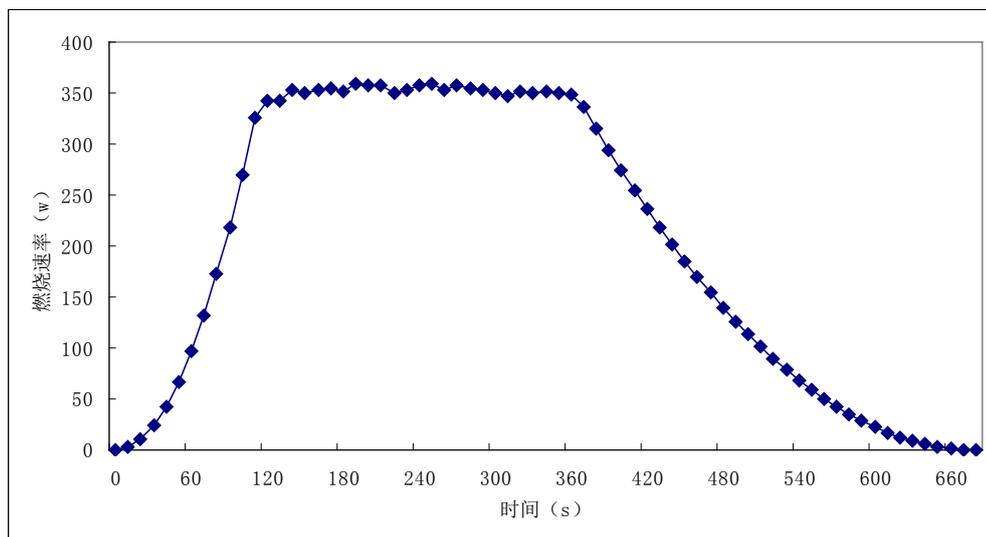


Figure 4. Flame heat release rate diagram

图 4. 火焰热释放速率图

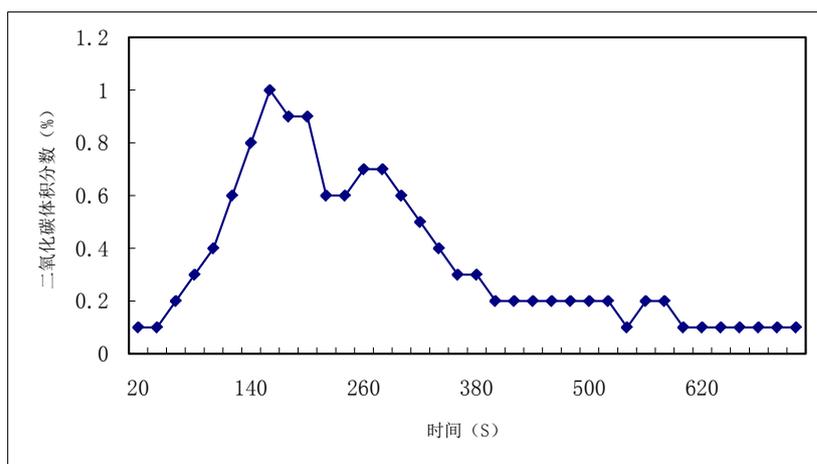


Figure 5. The curve of the volume fraction of carbon dioxide above the flame

图 5. 火焰上方二氧化碳体积分数随时间变化曲线

2) 燃烧过程中氧气浓度的分析

由图 6 火焰上部氧气浓度随时间变化曲线可以看出, 在点燃之后的一段时间, 空间中氧气浓度趋于平稳, 随着时间推移, 氧气浓度不断下降, 在 $t = 100\text{ s} \sim 300\text{ s}$ 这段时间里, 氧气浓度较低, 最低浓度可以达到 19.8%。而该段时间为火焰燃烧的充分发展阶段, 燃烧剧烈会消耗大量氧气。 $t = 300\text{ s}$ 之后随着燃烧强度减弱, 氧气浓度逐渐上升, 最终趋于平稳, 燃烧进入熄灭阶段。在一般环境中, 人们吸进的空气, 按体积计算, 氧气占 20.93%, 空气中正常含氧量为 21%, 氧含量缺少时, 就会导致人员窒息。当氧气含量为 12%~15% 时, 人的呼吸就会急促、头痛、眩晕、浑身疲劳无力, 动作迟钝; 当氧气含量为 10%~12% 时, 人就会出现恶心呕吐、无法行动乃至瘫痪; 当氧气含量为 6%~8% 时, 人便会昏倒并失去知觉; 当氧气含量低于 6% 时, 6~8 分钟的时间内, 人就会死亡; 当氧气含量为 2%~3% 时, 人在 45 秒内会立即死亡。在本实验中燃烧时氧气最低浓度略低于正常浓度, 较为安全, 但应该根据实验提出加强性意见, 使燃烧时氧气浓度趋于正常, 从而利于人员疏散。

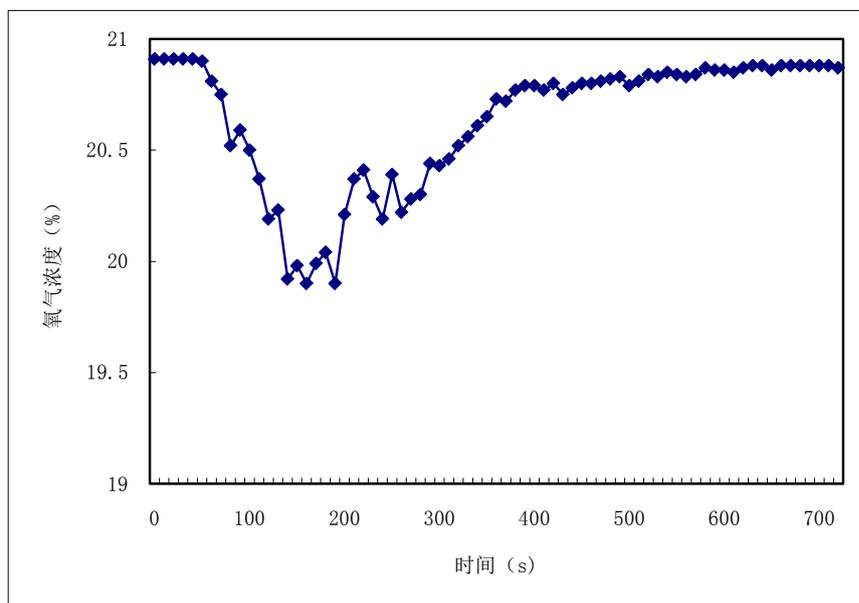


Figure 6. Oxygen consumption diagram on the upper part of the flame
图 6. 火焰上部氧气消耗图

3) 燃烧过程中一氧化碳浓度分析

从图 7 中可以看出一氧化碳浓度在 120~360 s 时, 即为火焰的充分发展阶段时, 浓度较高, 最高为 87 ppm。50 ppm 为成年人置身其中所允许的最大含量, 200 ppm (2~3) h 后, 有轻微的头痛、头晕、恶心, 400 ppm 2 h 内前额痛, 3 h 后将有生命危险。800 ppm 45 min 内头痛、恶心, (2~3) h 内死亡。1600 ppm 20 min 内头痛、恶心, 1 h 内死亡。一氧化碳进入人体之后会和血液中的血红蛋白结合, 进而使血红蛋白不能与氧气结合, 从而引起机体组织出现缺氧, 导致人体窒息死亡。

国家对一氧化碳浓度作业时间规定:

- 1) 一氧化碳浓度达到 160 ppm 可工作 15~20 分钟。
- 2) 一氧化碳浓度达到 80 ppm 可工作 30 分钟。
- 3) 一氧化碳浓度达到 40 ppm 可工作 60 分钟。
- 4) 一氧化碳浓度达到 24 ppm 以下可连续工作。

本实验在燃烧过程中产生的一氧化碳浓度较高, 超过成年人所允许的最大含量 50 ppm, 再对照国家对一氧化碳浓度作业时间规定, 在该种可燃物燃烧状态下, 必须在 30 分钟之内撤离才能避免对人体的伤害。

3.3. 燃烧过程中距火焰不同位置电偶温度的分析

根据图 8~10 对比室内火灾发展过程图可以看出: 对于火焰正上方的单颗电偶来说, 离火焰越近, 电偶的温度越高, 随着距离火焰越远温度依次降低, 但每颗电偶的温度随时间变化的趋势大致相同。从长度方向来看, 中间位置即离火源最近的两颗电偶温度最高, 其他位置电偶的温度值以及变化趋势大体一致。从沿高度方向每层电偶的平均温度来看, 处于最高层的电偶平均温度最高, 然后随高度下降依次递减。结合三个图可以看出, 在 0~120 s, 处于火灾的起火阶段, 温度较低, 变化不大。在 120 s~360 s, 此时温度较高, 呈现上升趋势, 燃烧较猛烈, 某一点最高温度达到 800℃。360 s 以后, 温度逐渐下降趋于平缓, 进入熄灭阶段。

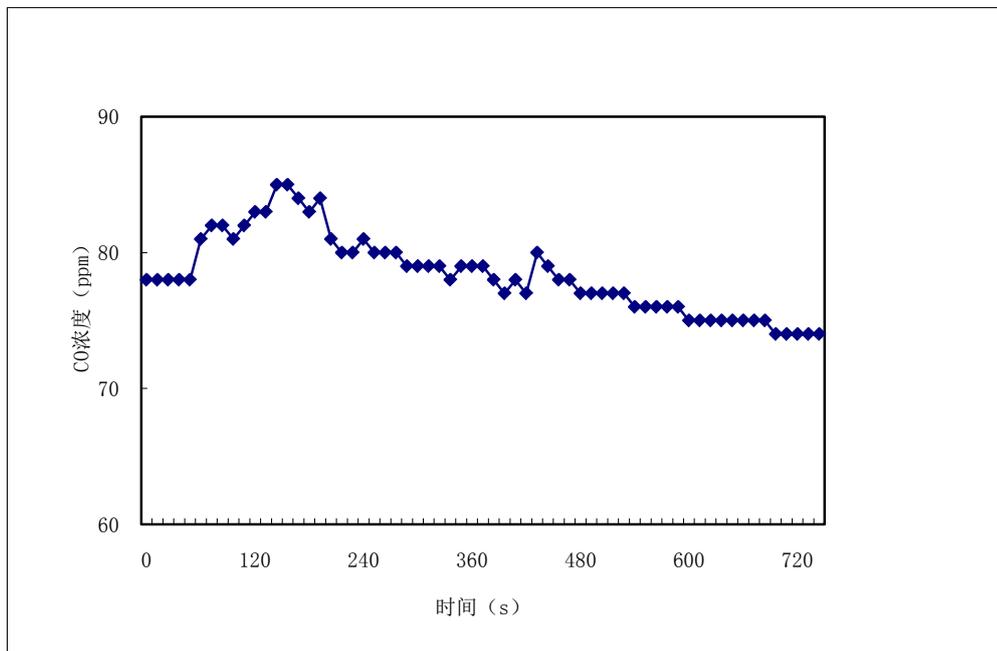


Figure 7. Carbon monoxide concentration with time change diagram
图7. 一氧化碳浓度随时间变化图

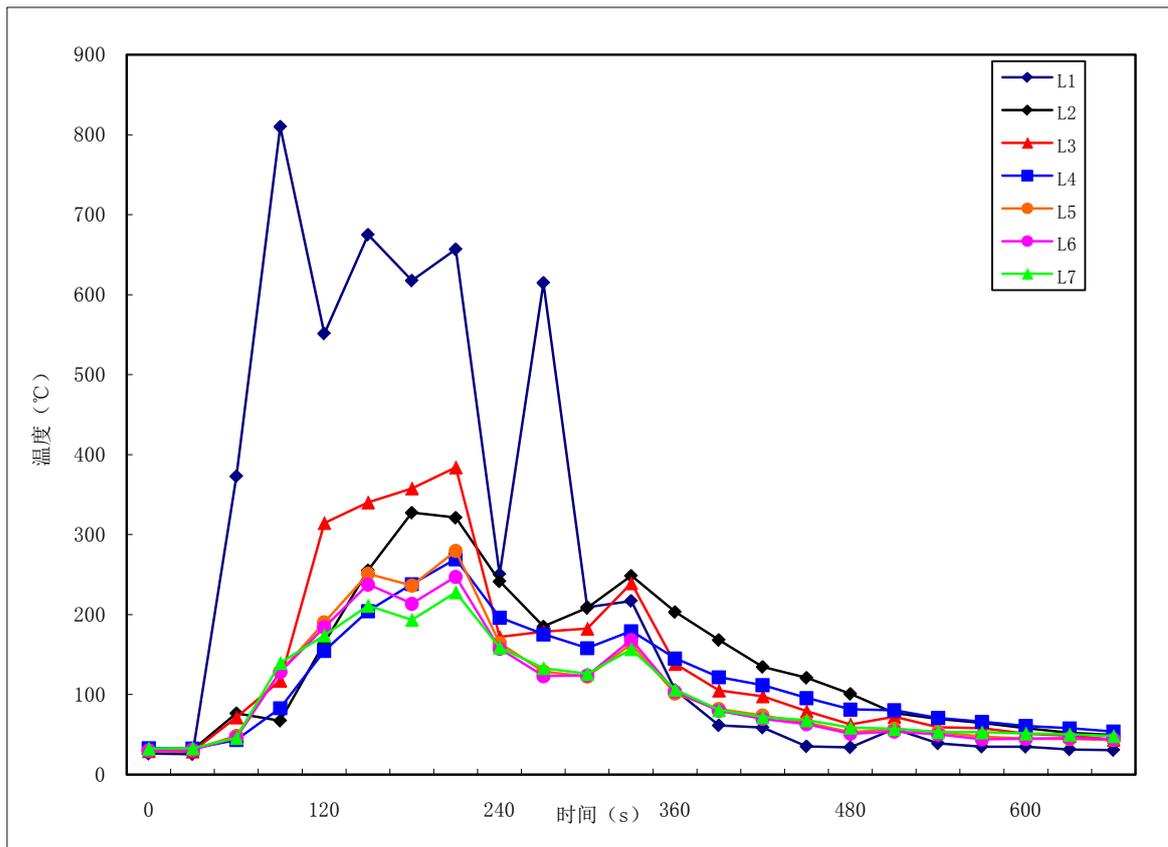


Figure 8. The temperature of the electric couple varies with time above the flame
图8. 火焰正上方电偶温度随时间变化

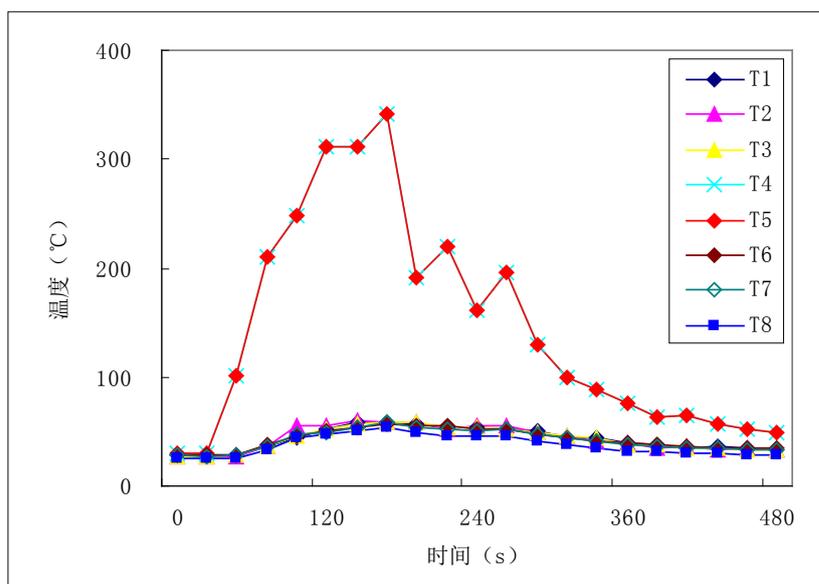


Figure 9. The average temperature of each electric couple tree

图 9. 每颗电偶树的平均温度

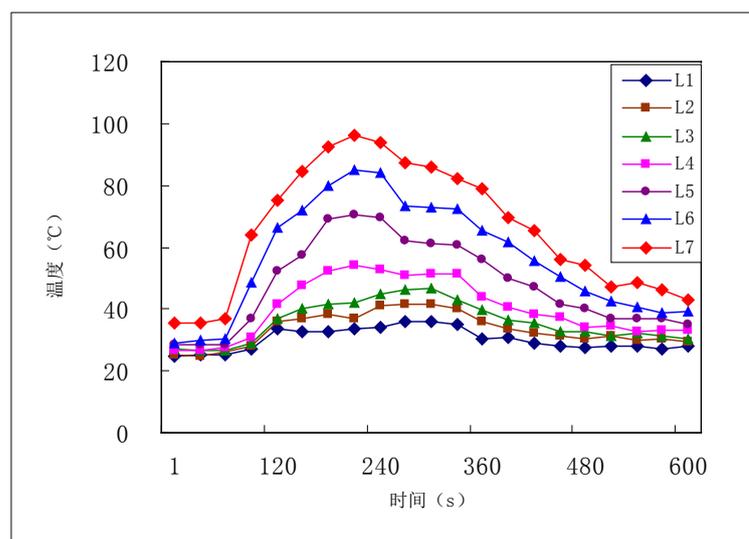


Figure 10. The average temperature of each layer of electric couple in a high direction

图 10. 高度方向每层电偶的平均温度

3.4. 上、下烟气层平均温度分析

如图 11, 分别对 1~4 层和 4~7 层烟气层各测点的温度进行整理计算, 求出上、下部热烟气层的平均温度, 见图 9, 从整体上来看, 上、下烟气层平均温度变化趋势基本相同, 在燃烧到 120 s 之前, 上下烟气层平均温度低, 即室内平均温度低, 火灾发展速度较慢。在燃烧至 120~360 秒这一段时间内, 上部烟气层的平均温度较下部烟气层高, 最高温度可达到 120°C, 燃烧至 360 秒之后, 下部烟气层平均温度略微高于上部烟气层。上、下烟气层平均温度降至 60°C 左右, 即室内平均温度大约降至到最高温度的 80%, 则认为火灾进入熄灭阶段。

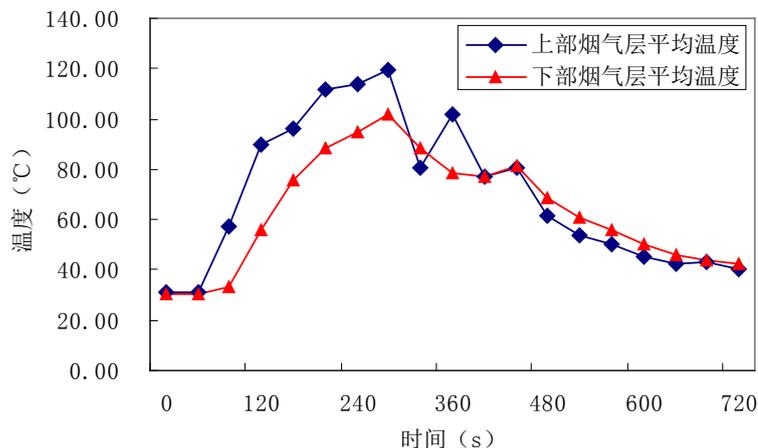


Figure 11. Average temperature of upper and lower atmosphere
图 11. 上、下烟气层平均温度

4. 实验结论

狭长空间小尺寸燃烧试验结果表明:

1) 泡沫作为大多数产品的包装材料属于易燃物, 且燃烧速率较大, 火灾整个过程中火源的热释放速率大致呈现上升 - 平稳 - 下降趋势。从起火到充分燃烧只需 120 s, 占整个燃烧时长的 1/5, 属于危险性较大的火灾。

2) 火灾的蔓延特点为从火源向四周扩散, 大致成 V 型。水平方向上离火源越近温度越高, 垂直方向上随着高度增加温度依次升高。烟气在大约燃烧至整个燃烧时间的 1/5 时, 浓度最大。燃烧过程中产生的一氧化碳浓度较高, 超过成年人所允许的最大含量。

3) 商场火灾发展过程大致可分为起火阶段、火灾全面发展阶段、火灾后期和熄灭阶段。初期起火阶段是灭火最为有利的时机, 应设法尽早发现火灾, 在建筑物内安装和配备适当数量的灭火设备、设置报警装置很有必要。火灾充分发展阶段, 商场的部分商品极易破坏, 甚至一些商品会发生爆炸, 建筑设计时, 应注意选用耐火性能好、耐火时间长的材料并进行防火分隔结构设计。熄灭阶段要防止建筑构件因经受火焰高温作用和灭火射水的冷却作用出现裂隙、下沉、倾斜或倒塌, 防止火灾和烟气向相邻建筑物蔓延。

参考文献

- [1] 张姣. 大型地下商场火灾风险评估的研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2013.
- [2] 吴凤. 大型地下商场火灾安全疏散性能化设计研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安科技大学, 2005.
- [3] 杜兰萍, 马一太, 马依东, 刘圣春. 家电商场火灾蔓延特性的实验研究[J]. 燃烧科学与技术, 2007, 13(2): 152-156.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2330-4677，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：jsst@hanspub.org