

高大净空场所火灾实体灭火试验研究

宋波, 杨丙杰, 李毅, 刘欣

摘要: 为研究自动喷水灭火系统对非仓库类高大净空场所火灾控灭火的影响, 按照真实场所的场景布置, 采用标准燃烧物组合替代实际场所中的可燃物品, 进行了 2 次 16m 高度下高大净空场所火灾的实体灭火试验。试验结果显示, 在供氧充足的情况下, 由于此类场所净空较高, 自动喷水灭火系统控灭火效果受空间条件、喷头水滴冲量的影响较大。当火灾发展到快速发展阶段的时候, 能见度低, 火场的烟气浓度很高, 自动喷水灭火系统灭火较为困难, 导致灭火时间长, 消防用水量较大。

关键词: 高大净空场所, 火灾, 自动喷水灭火系统, 实体试验

1 引言

随着经济社会的快速发展, 一些民用建筑中的高大空间场所(《自动喷水灭火系统设计规范》规定为非仓库类高大净空场所), 如一些酒店/商场中庭、会展中心展厅、影剧院舞台/演播室等的消防保护问题日益受到人们的重视。此类场所的共同特点就是净空高度高, 内存可燃物的高度较低。国外一些研究机构将非仓库类高大净空场所定义为燃料堆垛储存高度低于 3m 的场所, 净空高度为燃料堆垛顶部与天花板的距离。此类场所设置消防设施时, 涉及到的主要问题是: 是否设置自动喷水灭火系统, 以及系统设置后能否动作和对控灭火产生影响等。

在现行国家标准《自动喷水灭火系统设计规范》(GB50084-2001, 2005 年版)(以下简称《规范》)批准实施之前, 由于缺乏相关规定, 国内对于一些净空高度超过 8m 的场所消防设施的设置做法不尽一致, 有的采用消防炮系统, 有的采用设置 ESFR 喷头的自动喷水灭火系统和智能型灭火设施, 有的除设置消火栓系统并在周围摆放一些灭火器外, 没有设置自动灭火设施。《规范》规定了非仓库类高大净空场所(净空高度 8~12m)设置自动喷水灭火系统的设置参数, 最大净空高度为顶板/吊顶与室内地面的垂直距离。条文说明中指出, 此条参数是参照 FMRC (Factory Mutual Research Corporation) 所做的试验而得。FMRC 曾在净空高度为 18m 的场所, 在不同条件下做了 5 次实体火试验, 试验取得了较为理想的效果, 但由于没有相应的标准作为支撑, 因此对试验结果的可靠性无法进行判定。公安部天津消防研究所承担了国家“十一五”科技支撑计划课题“高净空

场所及高架仓库自动喷水灭火系统应用研究”的研究工作，其中之一研究方向即是通过实体试验，探究在 12m~18m 的高大净空场所下自动喷水灭火系统的性能，为《规范》制修订提供理论依据和技术支持。

2 试验方法

2.1 试验设备

试验在公安部天津消防研究所试验基地燃烧体验馆进行。燃烧体验馆主体为框架结构，总长度 117.75m，宽度 40.5m，低跨区高度约 20m，高跨区高度约 32m，场馆空间总容积为 102846.6m³，屋顶为网架结构，馆内部北面有四层试验室，主体南侧设有二层试验室，总建筑面积 12298 m²。馆内建有 33m×33m 大型升降吊顶，采用液压升降技术可以在 3~24m 范围自由调节。试验在升降吊顶下进行，吊顶下敷设有环状供水管网，双向供水，供水干管管径 DN200，配水支管管径 DN80，配水支管共 10 根，每根可安装 10 个喷头，喷头间距为 3m。

升降吊顶顶部设置有现场数据采集系统，测量仪表包括：125 只热电偶（温度范围 0~1000℃，用于测量喷头处温度、钢梁温度等）、10 只压力传感器（测量范围 0~1.6MPa，精度 0.5 级，用于测量各支管供水压力）、100 只喷头开启探测器（用于自动测定喷头的开启时间）、5 个电磁流量计等。安装在升降吊顶上的现场总线系统通过 PROFIBUS-DP 总线与总控制室的数据采集处理系统相连接，实现试验数据的实时监测、处理、分析、记录。

2.2 试验燃料的确定

由于不可能对每一种类的物品都选取实物进行实体火试验，因此，目前国际上普遍采用等效替代的方法，用标准燃烧物组合作为替代燃烧物，通过采用标准燃烧物不同的组合方式来模拟实际场所物品，如果采用标准燃烧物组合的火灾热释放速率增长曲线能够与实际场所可燃物的火灾热释放速率增长曲线基本吻合，则可认为所选用的标准燃烧物组合能够替代实际场所中的可燃物。

标准燃烧物为由瓦垅纸箱、聚苯乙烯塑料杯、纸隔板和木托盘等组成的标准燃烧品，其中瓦垅纸箱尺寸为 500mm×500mm×500mm，重 2.72kg，纸箱内装聚苯乙烯塑料杯，塑料杯排列 5 层，每层 25 只，纸箱中用以隔离塑料杯的隔离板的厚度为 4mm，每个纸箱中塑料杯的总重 3.67kg，标准燃烧物单体总重 6.39kg，如图 1 所示。

通过非仓库类高大净空场所进行实地调研，发现此类场所内的可燃物在数量、

类别等方面各不相同，但以塑料、木材、皮革为主。通过对不同标准燃烧物组合进行热量标定试验，以及与一些研究机构所做的办公家具组合火灾、服装火灾和沙发火灾等火灾的对比分析，确定采用 8 个标准燃烧物单体+1 个木托盘的标准燃烧物组合来替代此类场所中的可燃物品，标准燃烧物单体按 2×2×2 摆放，木托盘重 23.6kg。标准燃烧物组合总重 74.8kg，其中 40%为聚苯乙烯塑料杯，29%为纸箱，31%为木货架板。标准燃烧物组合的热量标定试验及火灾热释放速率随时间变化曲线如图 2 和图 3 所示。



图 1 标准燃烧物单体

图 2 标准燃烧物组合火灾试验

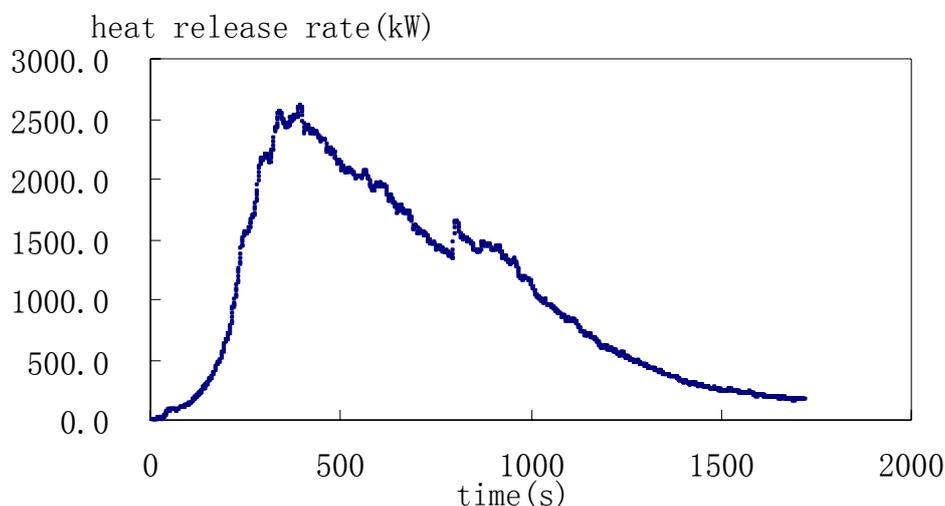


图 3 标准燃烧物组合火灾热释放速率随时间变化曲线

2.3 点火方式和位置

试验采用 GB5135.12《自动喷水灭火系统 第 12 部分 早期抑制快速响应喷头》规定的点火方式。点火器的火源为浸有 0.11L 汽油的纤维棉棒，直径 7.6cm，长 7.6cm，并将纤维棉棒用聚苯乙烯袋包裹。试验时 4 个聚苯乙烯包裹的纤维棉棒放置在试验燃料最底部 4 个试验货品相交处，使用浸有丙烷的火炬点燃聚苯乙烯包。点火位置在燃料的正中间部位，也在 1 只喷头正下方。

2.4 试验基本情况

本文在吊顶净高 16m 情况下，针对不同类型的洒水喷头进行了两组实体火试验。试验基本情况如表 1 所示，燃料布置如图 4 和图 5 所示。试验期间所有门窗处于关闭状态，以保证试验过程中无强空气对流影响。试验过程使用数码摄像机和数码照相机进行记录。

表 1 试验基本情况

试验基本条件	试验 1	试验 2
环境温度 (°C)	20	14
顶板净空高度 (m)	16	
燃料类型	标准燃烧物组合	
燃料布置总数 (个)	240	
布置形式	条形	
燃料净高 (m)	点火位置正上方 1.5；其余部位 1.0	
托盘高度 (m)	0.13	
燃料顶部与吊顶的距离 (m)	距中间燃料堆垛：14.37；距其余部位堆垛：14.87	
喷头类型	ZSTX-20	ELO-231
喷头流量系数	115	161
喷头温级 (°C)	68，玻璃球	74，易熔合金
喷头安装方式	下垂型	下垂型
喷头响应类别	快速响应	标准响应
喷水强度 (L/min.m ²)	20	22
喷头溅水盘与吊顶距离 (mm)	290	
喷头间距 (m)	3×3	
喷头布置个数 (个)	64 (8×8)	
点火位置	1 只喷头正下方	

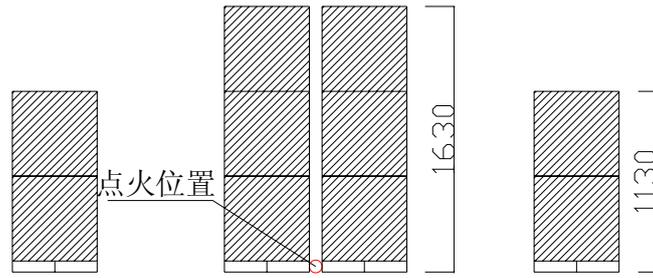


图4 燃料布置立面图

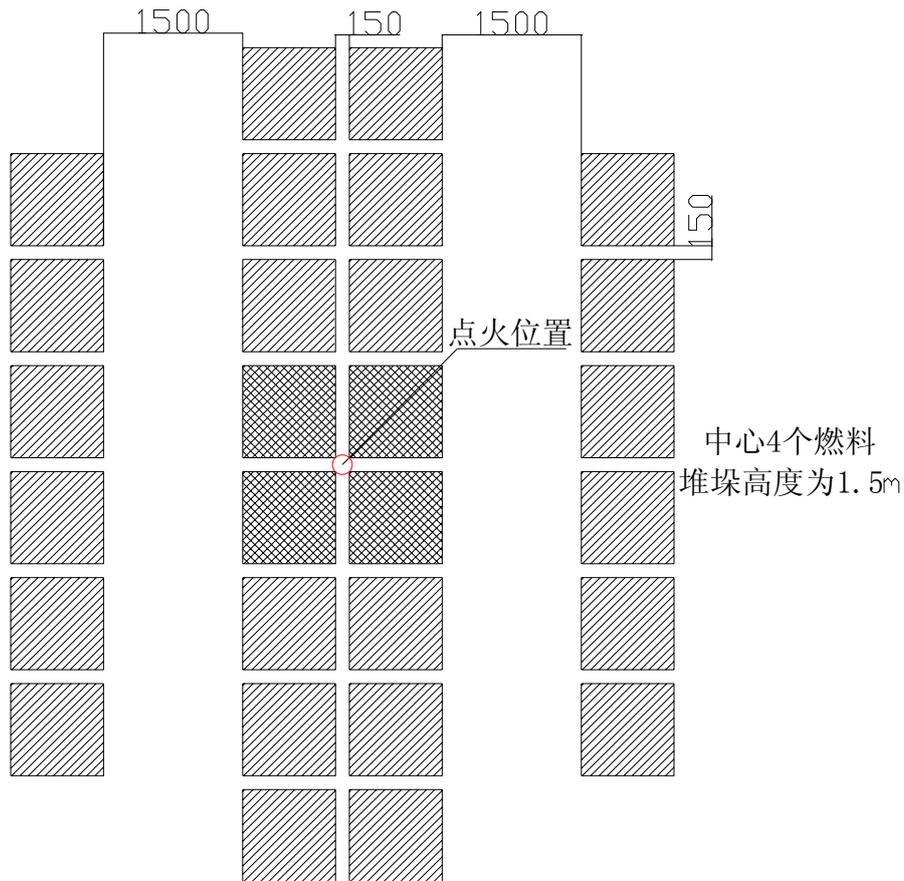


图5 燃料布置平面图

3 试验结果及分析

3.1 试验1 结果与分析

点火后 34s，火焰高度达到 1.5m 左右，与燃料堆垛顶部齐平，2min 时点火位置正上方的 45 号喷头率先动作，火焰高度约 7.2m。此时，吊顶下方已聚集较多的烟气，烟气层厚度约 1m 左右，肉眼已无法观察到喷头的动作状况。由于喷头洒水粒径较小，在上升火羽流的浮力作用下，只有很少一部分水滴能够穿透上升的火羽流，喷头洒水对控制火势的影响较小。7min30s 时进行人工干预。

图 6 显示了动作喷头的温度随时间变化曲线。由图可见，点火引燃阶段和火

灾缓慢发展阶段的时间较短，点火后温度开始全面上升。其中点火位置正上方的45号热电偶升温最为迅速，45号喷头在120s时率先动作，此时温度已达到100℃。喷头动作后，温度急剧下降到30℃左右，并使得喷头附近的温度随之下降，导致45号喷头周围的4只喷头均没有动作。但是，此时火势仍继续增长，5min39s和5min44s时，与45号喷头相隔1个喷头的33号喷头和25号喷头相继动作，喷头出现跳跃开放现象（见图8）。

3.2 试验2结果与分析

与试验1有所不同的是，试验2中采用了标准响应型大水滴喷头，并适当提高喷水强度，以使水滴在下落过程中能更好的穿透上升的火羽流。在第一只喷头动作前，火势发展过程与试验1基本一致。

图7为动作喷头的温度随时间变化曲线。由于采用了标准响应喷头，第一只喷头（45号喷头）在2min44s时才动作，较试验1慢了44s，此时喷头处的温度已经达到了160℃。45号喷头动作后，周围温度迅速下降到30℃左右，对于控制火势的增长起到了明显的压制作用。

虽然第一只喷头的动作时间较试验1晚，但由于采用了大水滴喷头，在穿透火羽流能力和冷却火场温度方面要优于试验1采用的标准喷头。可见，在净空高度较高的场所下，水滴的冲量对控制火势的增长具有十分重要的作用。从其它位置布置的热电偶测得的温度变化曲线结果分析，第一只喷头动作后的200s时间内，45号喷头相邻的44号、46号、35号和55号喷头温度也急剧下降，并维持在30℃左右不再增长。试验维持了10min，仅动作了1只喷头（见图9）。

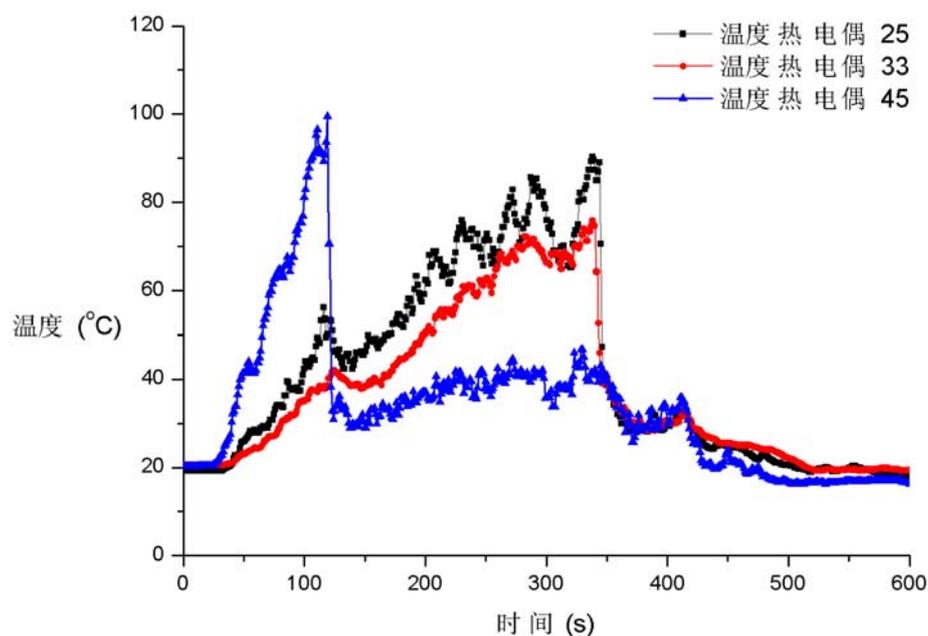


图 6 试验 1 中动作喷头温度变化曲线

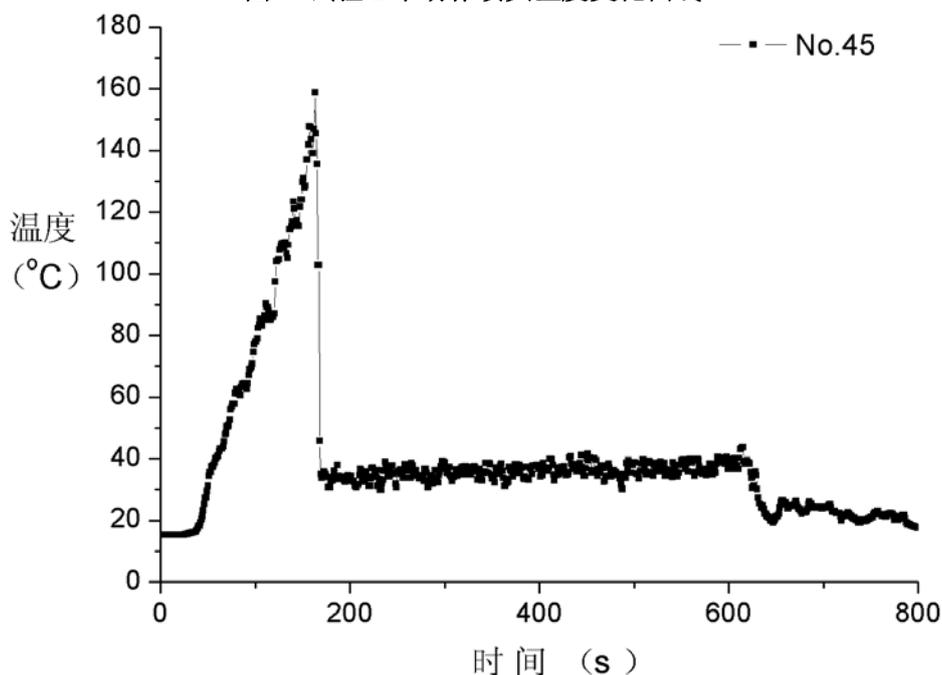


图 7 试验 2 中动作喷头温度变化曲线

3.3 试验小结

由于 2 次试验的试验场馆体积超过 10 万 m^3 ，可视为供氧充足。从 2 组试验的结果分析，在净空高度为 16m 的条件下，自动喷水灭火系统动作后，周围温度迅速降低，冷却效果明显，能够防止火势的进一步增长以及向相邻燃烧物的蔓延，但不能够实现灭火功能，水滴冲量及第一只喷头的动作时间对于系统控火具有非常重要的影响。

2 组试验中，均是点火位置正上方的喷头率先动作，但试验 1 中喷头出现了跳跃开放，这是自动喷水灭火系统在实际应用中最忌讳的现象，主要原因是试验 1 采用了快速响应喷头，由于其能够在火灾较小的规模下动作，周围温度迅速下降，而此时其余部位火势仍然继续增长，距离点火位置稍远处的温度继续上升，从而驱动较远处的喷头动作。因此，对于一些火灾危险等级较高的场所不宜采用快速响应喷头，以防止出现喷头跳跃开放现象。

另外，对于控火型系统的功能应定位为：系统动作后能够淋湿周围可燃物，火灾不向周围蔓延。FMRC 研究机构对于控火型系统的判定指标是：在 30min 的供水时间内，喷头应在动作不超过 6~10 个的情况下，能够控制火势的增长，且不蔓延到相邻燃烧物。本课题由于试验条件所限，吊顶迎火面承受的极限温度为 1000°C，不能进行极限性试验，在供水 10min 时即人为干预。

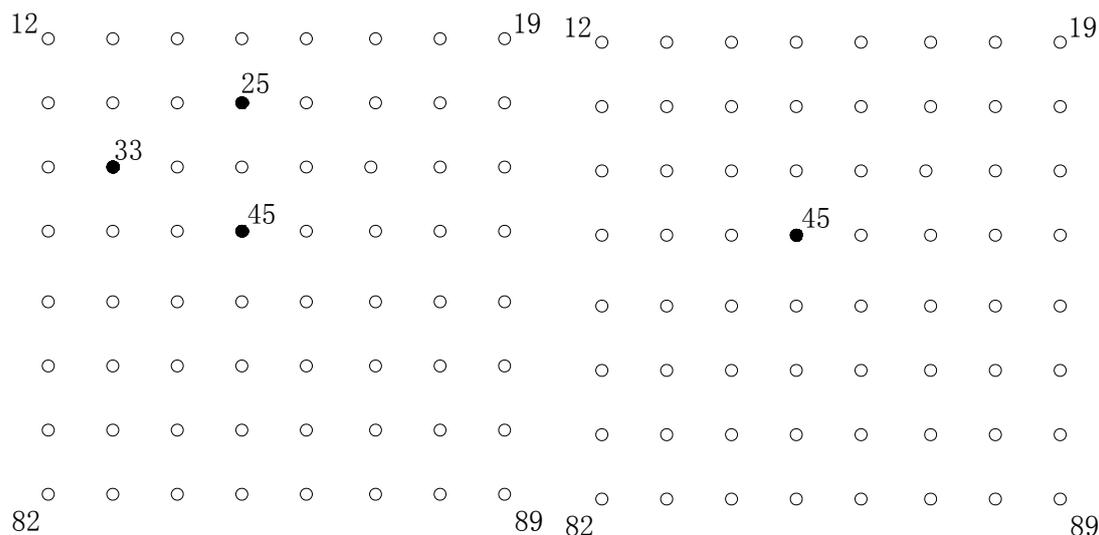


图 8 试验 1 喷头动作图

图 9 试验 2 喷头动作图

4 结论

为研究非仓库类高大净空场所中自动喷水灭火系统控灭火效果的影响,在对非仓库类高大净空场所实地调研的基础上,通过标准燃烧物组合与实物火灾的对比分析,按照模拟真实的场景布置并进行了实体灭火试验,试验结果显示:

(1) 自动喷水灭火系统动作后,火场温度迅速下降,冷却效果明显。系统控火效果除受喷水强度、火势的蔓延速度和燃烧强度的影响外,水滴冲量对控制火势的增长影响也较大。试验 1 采用标准喷头,由于受到上升火羽流的影响,只有较少一部分水能够到达燃烧物表面,对于控制火势的增长影响不大。而试验 2 由于采用大水滴喷头,喷水强度较试验 1 提高了 $2\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}^2$,差别不大,但能够明显控制火势的增长和蔓延,较试验 1 更为理想。对于非仓库类高大净空场所,可优先选用大水滴喷头。

(2) 喷头的动作时间受空间条件、火灾的蔓延和强度以及喷头的响应级别等影响较大,第一只喷头的开放时间尤为重要,如果初期开放的几只喷头不能成功控火,则随后开放的喷头对火势的发展也难以构成影响。因此,高大净空场所应在提高第一只喷的动作时间的基础上,加大系统的喷水强度,而不是增加作用面积。

(3) 从 2 次试验可以判定,在供氧充足的条件下,对于非仓库类高大净空场所火灾,采用常规方式设置的自动喷水灭火系统很难达到灭火目的,因此应对系统功能进行重新定位,即在抑制火势增长、控制火势向周围燃烧物蔓延的基础上,保护建筑结构的整体安全,为外部救援争取时间。

参考文献

- [1] 自动喷水灭火系统设计规范（GB50084—2001，2005年版）[S]
- [2] Soonil Nam. Actuation of sprinklers at high ceiling clearance facilities [J]. Fire Safety Journal, Volume 39, Issue 7, October 2004, Pages 619-642
- [3] Nam, S., Braga, A., Kung, H. C. and Troup, J. A, “Fire Protection for Non-Storage Occupancies with High Ceiling Clearances” [J]. 7th International Symposium on Fire Safety Science, 16-21 June 2002, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, Massachusetts, U. S A.
- [4]公安部天津消防研究所. 火灾增长分析的原则和方法[R]. 国家十五重点科技攻关项目专题四研究报告, 2004年.
- [5] 刘圣春 宋波, 标准燃烧物选定及燃烧特性实验研究[J].燃烧科学与技术. 已录用, 待发表。

——本文发表于《消防科学与技术》（2009年第12期）