

细水雾抑制熄灭障碍物油池火的有效性研究

房玉东, 刘江虹, 廖光焯, 林霖

(中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室, 合肥 230026)

[摘要] 传统水喷淋灭火系统很难扑救有障碍物遮挡的火焰。针对障碍物油池火进行了全尺寸细水雾灭火有效性的实验研究, 深入了解障碍物存在时细水雾对油池火的抑制熄灭作用, 同时研究了障碍物与火焰的相对位置、细水雾的工作压力、雾通量、喷头距火焰垂直距离及水平距离等关键因素对灭火有效性的影响, 分析了障碍物存在时细水雾的灭火特性, 揭示了实验中某些工况下不能扑灭火焰的原因, 为细水雾的实际工程应用提供了科学的参考依据。

[关键词] 细水雾; 障碍物; 油池火; 灭火有效性

[中图分类号] P7 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2006)02-0075-05

1 引言

细水雾灭火技术具有无环境污染、灭火迅速、用水量少、对防护对象破坏小、有效冲刷烟气等特点, 目前被公认为是卤代烷系列灭火剂的主要替代品。自上世纪80年代开始, 世界各国对细水雾灭火技术开展了广泛深入的研究工作, 取得了一系列重要成果^[1]。研究表明普通细水雾的灭火机理主要包含5个方面^[2], 即气相冷却、表面冷却、隔绝氧气、衰减热辐射、动力学作用。研究人员在没有障碍物的情况下进行了广泛的灭火实验, 实验发现对于航空煤油火焰, 在细水雾喷射覆盖范围之内可以迅速地熄灭火焰, 灭火时间基本小于10 s。实验证明障碍物的存在对预混火焰或者非预混火焰都有稳定作用。在火灾环境中, 障碍物的遮挡使灭火变得更加困难^[3]。传统的水喷淋灭火系统基本无法扑灭障碍物遮挡火焰。某些气体灭火系统可以有效地扑灭障碍物遮挡火焰, 但由于多数气体灭火剂破坏环境; 对人有毒害、窒息作用, 需要预留人员疏散时间, 延误最佳灭火时机, 因此研究人员正在寻找气体灭火剂的替代技术, 细水雾就是很好的选择之

—^[4-6]。美国的NIST等研究机构进行了细水雾扑救计算机箱内部深位火焰的实验研究^[7], 发现在细水雾工作压力低于1 MPa的情况下, 很难扑灭机箱内部的深位火焰。进一步提高细水雾的灭火性能、扩展其应用范围备受各国的重视^[8-14], 细水雾抑制熄灭障碍物火成为当今国际火灾科学前沿的研究热点和难点之一。目前国际上尚未进行高压细水雾灭火系统(压力大于3 MPa)与障碍物火相互作用的研究工作, 因此有必要开展该方面的研究工作。

2 实验模型及实验工况

实验是在8 m × 10 m × 5 m的全尺寸受限空间内进行的, 在受限空间顶部开有一个自然通风窗口和一个机械排烟窗口。采用0.85 m × 0.75 m × 0.75 m的铁制桌子作为障碍物, 航空煤油作为燃料, 油盘直径为0.16 m、深度为0.01 m, 水平放置于地面, 位于桌子的下方(见图1, 图2)。细水雾由恒压供水的7N型压力雾化喷头产生。喷头距离地面分别为4.5 m和2.7 m, 细水雾的工作压力为0~4 MPa。在油盆火焰正上方布置热电偶, 沿表面中心线每隔0.2 m布置一个热电偶, 共4个, 由数据采

[收稿日期] 2004-12-02; 修回日期 2004-12-18

[基金项目] 国家重点基础研究发展计划“九七三”资助项目(2001CB409609)

[作者简介] 房玉东(1979-), 男, 黑龙江阿城市人, 中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室博士研究生

集卡采集热电偶的测量数据输入计算机进行处理。
实验环境温度为 30 ℃。

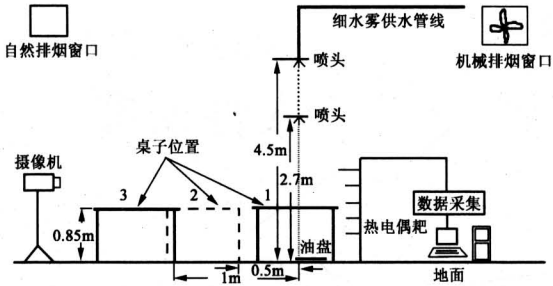


图 1 实验系统示意图

Fig.1 Schematic view of the experimental system

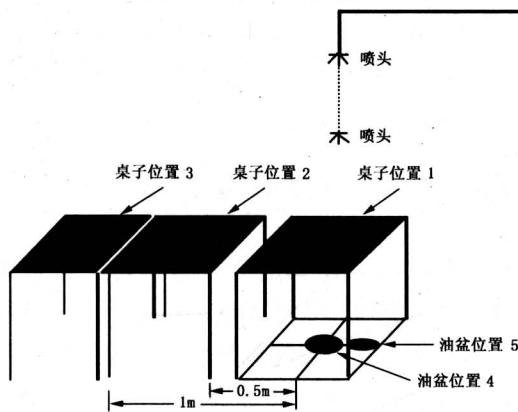


图 2 障碍物、油盆位置示意图

Fig.2 Schematic view of the barrier and the kerosene plate position

实验工况列于表 1，每种工况进行多次实验取平均测量结果。实验开始时，首先调整好障碍物与油盆的相对位置。接着点燃油池火，经过 20 s 左右的预燃时间，油池达到稳定燃烧阶段后，开始施加细水雾。当火焰熄灭后，关闭供水阀，打开排烟通道排烟，清理实验环境，进行下一实验。在实验中如果灭火所需时间超过 120 s，记录为灭火失败。最后对采集到的实验数据进行处理分析。

3 实验结果与分析

3.1 障碍物在 1 号位置时细水雾灭火有效性评价

由图 3 可以看出工况 1 细水雾只能抑制火焰的燃烧，火焰很难被扑灭。当压力升高时，这种情况也没有得到明显的改善。这主要是因为障碍物完全遮挡了火焰，细水雾不易到达火焰区域，不能直接作用到火焰根部，冷却燃料表面的灭火机制不能充

表 1 实验工况

Table 1 The summary of test programs

工况	喷头高度 /m	桌子位置	油盆相对桌子位置	细水雾工作压力 /MPa
1	4.5	1	4	0.2, 0.5, 0.8, 1, 2, 3, 4
2		1	5	
3		2	4	
4		2	5	
5		3	4	
6	3	5		
7	2.7	1	4	
8		1	5	
9		2	4	
10		2	5	
11		3	4	
12	3	5		

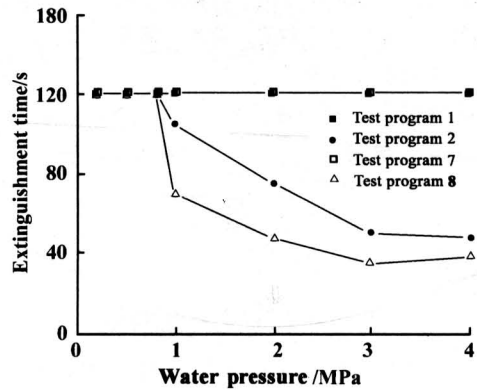


图 3 工况 1, 2, 7, 8 的灭火时间与水压之间关系

Fig.3 Relation between extinguishment time and water pressure with program 1, 2, 7, 8

分发挥。从图 4 中可以看出在工况 1 随着细水雾的继续施加，火焰温度有所下降并最终维持在 300 ℃ 左右。这是因为随着压力的增大笼罩在火焰周围的雾通量明显增加，有效地隔绝氧气并冷却火焰。在工况 2 当细水雾压力增大到 1 MPa 时可以在 105 s 左右的时间熄灭火焰。随着压力的升高，细水雾对火焰的拉伸以及对火焰根部的冲击作用增强，细水雾灭火所需时间亦随之减少。当压力超过 3 MPa 后，再增加压力，灭火时间没有明显减少。由图 3 可以看出，在工况 7 细水雾还是难以快速熄灭火焰。在工况 8 当细水雾工作压力超过 1 MPa 时，可以有效地熄灭油池火。同工况 2 相比，在相同的工作压力下细水雾灭火时间有所减少，这是因为喷头降低，到达火焰区域的细水雾动量明显增加，细水

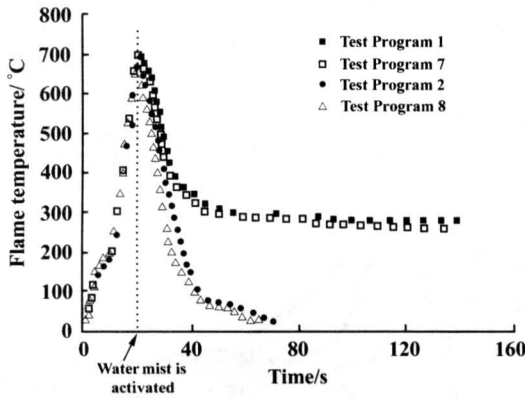


图 4 工况 1, 2, 7, 8 火焰温度变化曲线 (压力 3 MPa)

Fig.4 Flame temperature curve of program 1, 2, 7, 8 (3 MPa)

雾对火焰的冲击作用大大增强，笼罩在桌子周围的细水雾流量也明显增加，提高了细水雾隔绝氧气和降温的效果。图 5 给出了工况 8 在细水雾工作压力为 3 MPa 时的灭火过程。

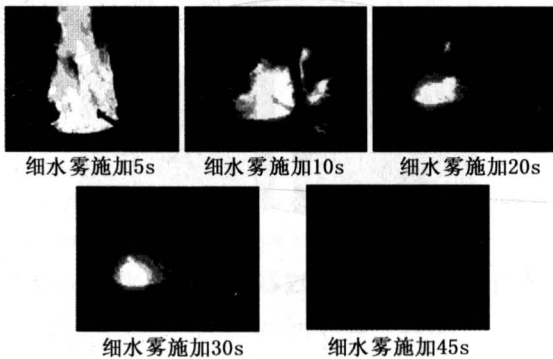


图 5 工况 8 灭火过程示意图 (压力 3 MPa)

Fig.5 Extinguishing process of program 8 (3 MPa)

3.2 障碍物在 2 号位置时细水雾灭火有效性评价

由图 6 可以看出，在工况 3 当压力增大到 1 MPa 时，细水雾可以熄灭火焰，但灭火所需时间较长。从图 7 中可以看出工况 3 在灭火过程中火焰温度随时间明显下降。在工况 4 当细水雾工作压力超过 1 MPa 时，细水雾可以被扑灭，当细水雾工作压力达到 3 MPa 以上时，细水雾灭火时间降低到 40 s 左右，灭火效率随着压力增大明显提高。主要是因为在该位置障碍物没有完全遮挡火焰，细水雾可以大量地进入火焰区域，随着细水雾喷射动量的增加灭火效果得到了显著的提高。从图 6 中可以看出在工况 9 细水雾灭火时间相对于工况 3 有所减少。在

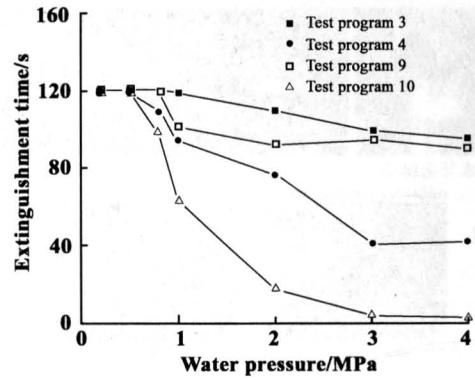


图 6 工况 3, 4, 9, 10 的灭火时间与水压之间关系

Fig.6 Relation between extinguishment time and water pressure with program 3, 4, 9, 10

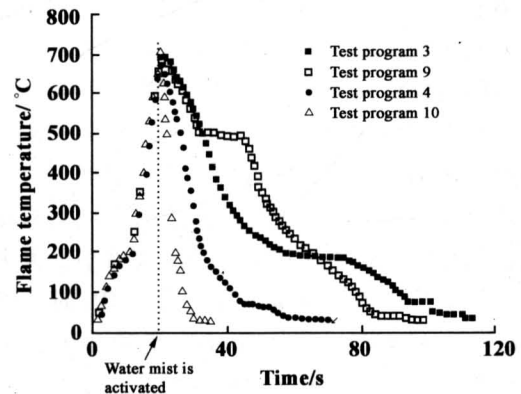


图 7 工况 3, 4, 9, 10 火焰温度变化曲线压 (3MPa)

Fig.7 Flame temperature curve of program 3, 4, 9, 10 (3 MPa)

工况 10 细水雾灭火时间随着压力的升高大大地减少了，灭火效果明显好于工况 4，当压力达到 3 MPa 时细水雾灭火所需时间大约为 4 s 左右。原因主要有 2 点，一是因为当压力增大后，细水雾的粒径减小，动量增大，从而提高了雾滴的蒸发吸热速率，增强了细水雾穿透火羽流的能力。同时细水雾喷射动量增大之后可以更加有效地冲击火焰根部，限制火焰的发展。二是因为喷头高度降低使得到达火焰区域的细水雾流量增大，强化了细水雾灭火效果。由此看出火源在部分被遮挡的情况下，当喷头高度降低到 2.7 m 时，增大细水雾的工作压力可以明显地提高灭火效率。这表明喷头距离火源的垂直高度明显的影响灭火效率。图 8 是工况 10 细水雾工作压力为 3 MPa 时的灭火过程。

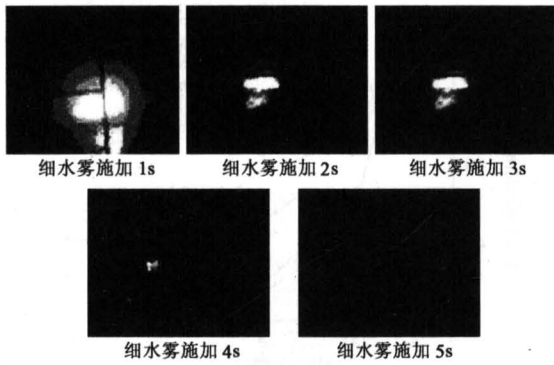


图 8 工况 10 灭火过程图片 (压力 3 MPa)

Fig.8 Extinguishment process of program 10 (3 MPa)

3.3 障碍物在 3 号位置时细水雾灭火有效性评价

由图 9 可以看出工况 5 由于喷头距离油盆的水平距离加大, 再加上障碍物的遮挡, 使得细水雾很难进入到火焰区域, 因而细水雾很难熄灭火焰。随着水压的升高, 细水雾对火焰的抑制效果有所提高。从图 10 中可以看出在工况 5 虽然细水雾不能快速熄灭火焰, 但能有效地抑制火焰温度, 使火焰温度随时间不断下降。工况 6 由于障碍物局部遮挡火焰, 并且喷头距离火源的水平距离缩小, 灭火情况得到明显的改善, 在水压增大到 3 MPa 时可以在 50 s 左右熄灭火焰。工况 11 中障碍物几乎完全遮挡住火源, 而且喷头距离火源水平距离较远, 细水雾无法大量到达火焰区域, 火源很难被扑灭。而在工况 12, 当压力增大到 3 MPa 时, 细水雾可以快速有效地熄灭火焰, 灭火时间在 8 s 左右。由于工况 12 喷头距离火源的水平距离大于工况 10, 因此灭火时间稍大于工况 10。图 11 给出了工况 12 细水雾

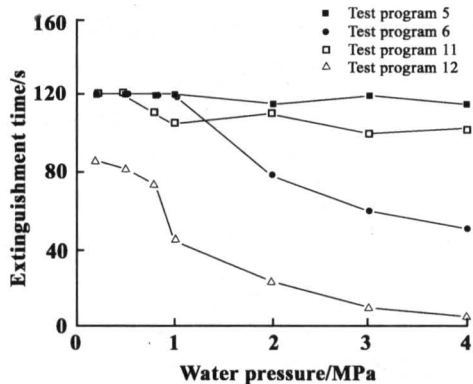


图 9 工况 5, 6, 11, 12 的灭火时间与水压之间关系

Fig.9 Relation between extinguishment time and water pressure with program 5, 6, 11, 12

工作压力压力为 3 MPa 时的灭火过程。

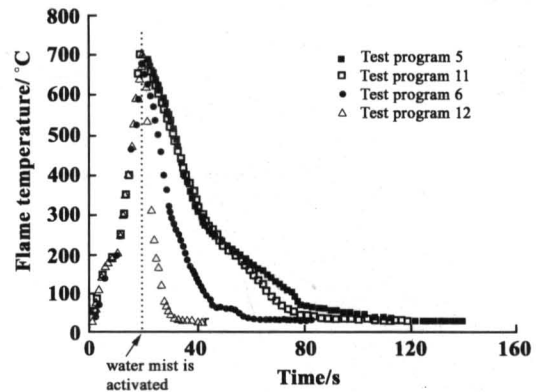


图 10 工况 5, 6, 11, 12 火焰温度变化曲线 (压力 3 MPa)

Fig.10 Flame temperature curve of program 5, 6, 11, 12 (3 MPa)

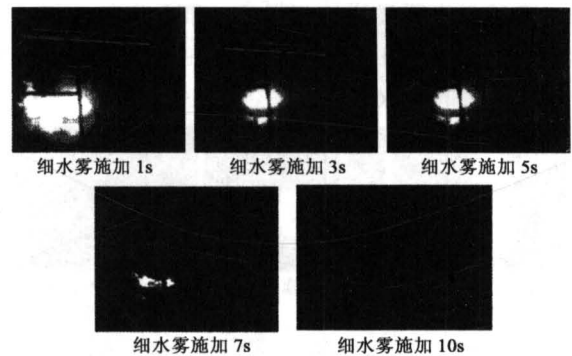


图 11 工况 12 灭火过程图片 (压力 3 MPa)

Fig.11 Extinguishment process of program 12 (3 MPa)

4 结论

通过上述 12 种工况的实验可以发现: 对于有障碍物火焰, 在完全遮挡的情况下, 普通细水雾很难快速有效熄灭火焰; 在火焰被局部遮挡的情况下, 会有较多的细水雾进入到火焰区域。增大细水雾工作压力可以缩短灭火时间, 降低细水雾喷头的高度也会缩短细水雾灭火所需的时间。因此在实际的火灾防治中, 应当充分考虑如何布置细水雾喷头的位置以及如何确定系统工作压力。在整个实验中, 虽然某些工况下细水雾不能快速熄灭火焰, 但可以有效地抑制火焰发展, 大大降低火焰温度和火焰高度, 控制燃烧的规模。实验结果揭示出细水雾熄灭有障碍油池火的能力主要依赖于 3 个方面:

1) 障碍物与火焰的相对位置, 决定着火焰被遮挡的程度。

2) 细水雾粒子浓度最大处和火焰之间的水平距离以及垂直距离, 决定着是否能够有足够的细水雾进入到火焰区域。

3) 细水雾喷射动量, 主要影响到细水雾对火焰的拉伸以及对火焰根部的冲击能力, 也就是所谓的细水雾灭火动力学作用。

参考文献

- [1] Grant G, Brenton J, Drysdale D. Fire Suppression by Water Sprays [J]. Progress in Energy and Combustion Science, 2000, 26: 79 ~ 130
- [2] Cdubizu C, Ananth R, On water mist fire suppression mechanisms in a gaseous diffusion flame [J]. Fire Safety Journal. 1998, 31: 253 ~ 276
- [3] 崔正心, 廖光焯. 细水雾抑制障碍物稳定火焰的实验研究 [J]. 火灾科学. 2001, 10(3): 174 ~ 177
- [4] Kim A, Mawhinney J, Su J. Water-mist system can replace Halon for use on electrical equipment [J]. Canadian Consulting Engineer. 1996, (5): 30 ~ 35
- [5] Mawhinney J R. Water - mist fire suppression systems for the telecommunication and utility industries [A]. Proceedings: Halon Alternatives Technical Working Conference [C]. Albuquerque, 1994. 395
- [6] Mawhinney J R. Findings of experiments using water mist for fire suppression in an electronic equipment room [A]. Proceedings: Halon Alternatives Technical Working Conference [C]. Albuquerque, 1994. 395
- [7] Grosshandler W, Lowe D. Protection of Data Processing Equipment with Fine Water Sprays [M]. National Institute of Standards and Technology
- [8] Liu Z, Kim A K. Review of water mist fire suppression technology part two - application studies [J]. Journal of Fire Protection Engineering. 2001, (11): 16 ~ 43
- [9] 丛北华, 毛涛, 廖光焯. 含添加剂的细水雾与油池火的相互作用 [A]. 全国高校工程热物理会议, 2002. 677 ~ 685
- [10] Richard G G. Next Generation Fire Suppression Technology Program [M]. National Institute of Standards and Technology, 2000. 1059
- [11] Anthony, E F. Water-based fire-extinguishing agents [R]. U S Army Research Laboratory, 1995. 95 ~ 101
- [12] King M D, Wendy J C. Evaporation of a small water droplet containing an additive [A]. Proceedings of the ASME National Heat Transfer Conference [C]. Baltimore, 1997
- [13] Anthony J, Hughes Bogdan, Dlugogorski Z. Extinguishment of small scale pool fires with ultrafine particles [A]. HOTWC 96 [C], 1996
- [14] Madrzykowski D. Water additives for increased efficiency of fire protection and suppression. fire detection, fire extinguishment and fire safety engineering [A]. NRIFD 50th Anniversary Symposium Proceedings [C]. Japan, 1998

Experimental Studies on Fire Extinguishment Efficiency of Water Mist With Obstruction Pool Fires

Fang Yudong, Liu Jianghong, Liao Guangxuan, Lin Lin

(University of Science & Technology of China, State Key Laboratory of Fire Science, Hefei 230027, China)

[Abstract] In fire environments, the traditional fire extinguishing agents can't effectually put out a fire which is sheltered by barrier. Now, a lot of water mist fire extinguishing researches have been made. This paper mainly studies the validity of water mist fire extinguishing and investigates the controlling and extinguishing effects of water mist fire extinguishing when barrier exists. At the same time, this paper also studies how the key factors, including opening degree between nozzle and barrier, water mist pressure, water mist flux and so on, influence the fire extinguishing validity, analyzes the water mist fire extinguishing characters when barrier exists, gives the reason why the water mist can't put out a fire in some conditions, and provides references for practical engineering application.

[Key words] water mist; barrier; kerosene fire; fire extinguishing validity