细水雾喷头喷射压力影响灭火性能的实验

杨立军 富庆飞 王向东 廖圣洁

(北京航空航天大学 宇航学院, 北京 100191)

摘 要: 为了研究细水雾喷头在不同喷射压力情况下针对油盘火的灭火效果,采用正庚烷为火灾燃料,在4.6 m×3.3 m×4 m(长×宽×高)的空间内,针对同一型号的细水雾喷头在不同喷射压力下进行了灭火实验,在实验过程中采用热电偶树和气体分析仪对火焰温度及火场氧浓度进行了测量,得到了不同喷射压力下细水雾灭火的影响规律,为细水雾灭火设计、检验标准制定及细水雾灭火产品的开发提供了相应的实验依据.

关 键 词: 细水雾; 灭火; 喷射压力; 油盘火

中图分类号: TU 892

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2009)03-0361-05

Experimental of effect of water mist nozzle injection pressure on fire extinguishing

Yang Lijun Fu Qingfei Wang Xiangdong Liao Shengjie

(School of Astronautics, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: In order to investigate the effect of water mist nozzle to extinguish heptane fire under different injection pressure, a series of experiments were performed in an enclosed compartment of 4.6m×3.3m×4m with a certain type of water mist nozzle under various injection pressure. Thermocouples tree and gas analyzer were used to measure the temperature and oxygen concentration in the flame. The effect of injection pressure on the affectivity of water mist suppressing pan fire was gained, which provides corresponding experimental foundation for designing water mist system, establishing test standard and developing new product of water mist.

Key words: water mist; fire extinguishing; injection pressure; pool fire

细水雾是国际消防领域发展较快的灭火技术之一,国内外出现了大量的细水雾灭火产品.细水雾按喷射压力可以分为低压($p<1.6$ MPa)、中压(1.6 MPa$<p<$3.5 MPa)和高压(1.6 MPa$<p<$3.5 MPa)[1],对于单相流细水雾灭火系统来说,喷射压力是一个非常重要的参数,在喷嘴结构确定的情况下,压力决定喷嘴流量、喷射速度和雾化质量.

定型的细水雾喷头产品都具有一个确定的额定喷射压力,但是在以下2种情况,喷头可能不在额定喷射压力下工作:①当系统出现泄露时,喷头的喷射压力可能小于额定压力;②当保护空间较大,细水雾布置较多时,在满足最不利点处喷头的喷射压力是额定压力条件下,由于水流沿程损失的存在,其余各点的喷头喷射压力会高于额定喷射压力.为了检验最新研制的某型细水雾喷头在不同喷射压力条件下的灭火特性,本文开展了较为详细的实验研究,为细水雾喷头研制提供指导.

1 实验系统及测试仪器

实验在北京航空航天大学特种装备细水雾灭火实验室进行,实验系统主要由高压供水系统、细水雾生成系统、吊顶高度调节系统和测试系统组成.其中,高压供水系统由贮水罐、柱塞泵、管路、

收稿日期: 2008-03-10

基金项目: 北京市科技新星计划B类资助项目(2005B14)

作者简介: 杨立军(1970—),男,黑龙江大庆人,副教授,yanglijun@buaa.edu.cn.

过滤器、阀门等组成，高度调节系统由移动吊顶、滑轮、钢丝绳、导轨、定位销等组成，测试系统包括热电偶、流量计、氧浓度仪、数据采集系统等组成.

1) 灭火空间

图1所示为灭火空间平面图. 房间长为4.6 m，宽为3.3 m，高为4 m，吊顶可以在2～4 m范围内任意调节. 喷头选择一个喷头和4个喷头两种方案，进行一个喷头实验时，油盘位于喷头的正下方；进行4个喷头试验时，油盘中心位于4个喷头对角线的交点，喷头间距为1.5 m，吊顶高度选择2.5 m.

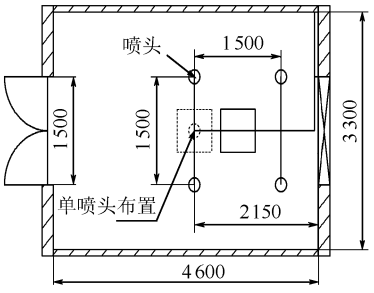


图1 灭火空间及喷头布置图(单位:mm)

2) 测试仪器

火焰温度测量采用5排热电偶树，氧浓度测量采用西门子Oxymat6氧气分析仪，温度和氧浓度测量(采样)点位置见图2.

氧浓度测量采用在测量点位置抽气采样，经过滤干燥处理后进入仪器. 测量传感器精度见表1. 热电偶和氧浓度仪通过计算机数据采集系统进行处理. 气流通过采样管的时间为10 s，因此氧浓度值与温度测量值相比存在滞后误差10 s.

表1 温度计氧浓度测量仪器性能参数

测量仪器	响应时间/μs	测量范围	测量精度/%
热电偶	100	0～1 100℃	±0.2
氧气分析仪	1×10^6	0～25%	$\pm0.2\times10^{-4}$

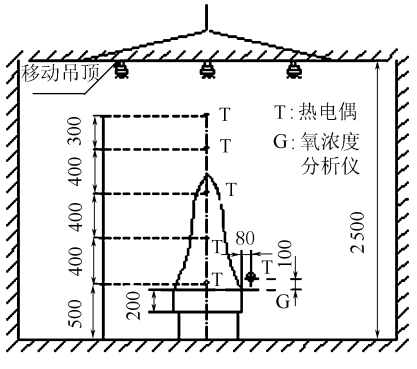


图2 热电偶及采样点安装位置(单位:mm)

3) 灭火实验过程

实验燃料选择正庚烷，油盘为600 mm×600 mm×200 mm方油盘，油盘底部和地面之间距离为200 mm，油盘内底层为清水，加入3 L纯度为99.99%的正庚烷，庚烷液面距油盘上沿50 mm. 保证点火前空间内温度和湿度相同，按照表2所示进行灭火实验.

实验准备完成后，打开房间门，开启数据采集系统，点燃油盘，经过预燃一定时间开始喷射细水雾. 在水雾喷射时刻，关闭房间门，当火焰被扑灭时，停止喷射细水雾，并同时打开房间门，测试系统再继续工作一段时间后关闭.

表2 喷头喷射压力实验方案

工况	喷射压力/MPa					
单喷头(预燃30 s)	2	2.5	3	3.5	4	4.5
四喷头(预燃30 s)	2	2.5	3	3.5	4	4.5
四喷头(预燃60 s)	2	2.5	3	3.5	4	4.5

2 细水雾喷头的冷态性能

实验所选用的为海军某装备研制的细水雾喷头，采用北航液体火箭发动机喷注器冷流实验系统测试喷头的冷流性能，雾滴直径和速度的测量采用丹麦Dantec公司生产的相位多普勒激光粒度仪PDA；测量的性能参数结果见图3～图4.

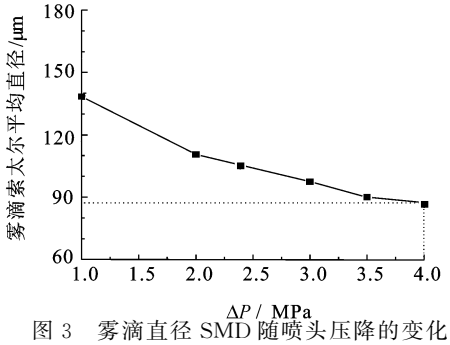


图3 雾滴直径SMD随喷头压降的变化

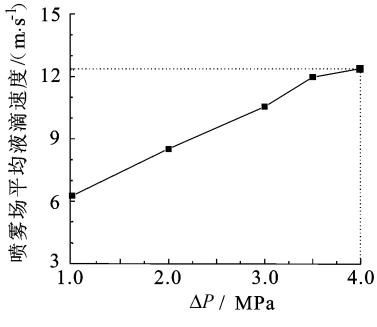


图4 雾滴喷射平均速度随喷头压降的变化

3 试验结果与分析

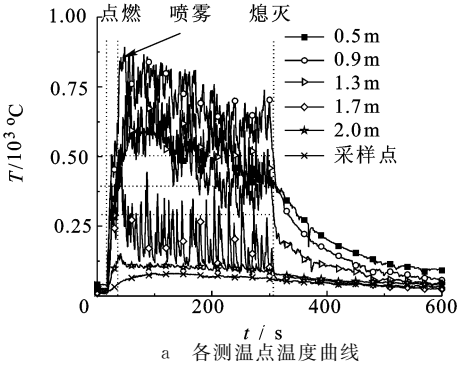
按照表2实验方案进行了18次灭火实验，实验过程全程录像. 采用秒表人工记录了灭火时间作为辅助参考. 热电偶和氧浓度仪的采样间隔时间设定为0.1 s，仅列出最小和最大压力情况下温

度及氧浓度的测量结果见图 5～图 8.

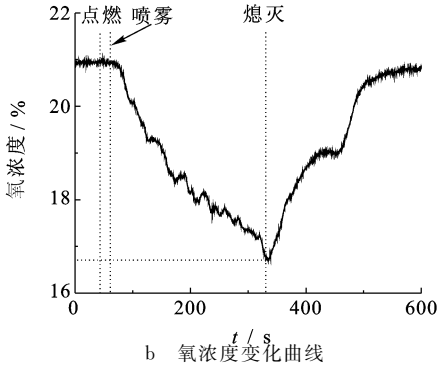
1) 灭火过程分析

由于在点火之前热电偶和氧浓度仪都已启动,因此点火之前有一段采集时间,图 5～图 8 中整个灭火过程温度和氧浓度测量曲线用虚线分成了 3 个阶段,从点火开始到喷雾为油盘预燃阶段,从喷雾开始到油盘火熄灭为细水雾灭火阶段,火焰熄灭以后为打开房门环境恢复阶段. 火场的最高温度点出现在 0.9 m 处热电偶位置,0.5 m 处的温度略低于 0.9 m 处位置. 1.3 m,1.7 m 处温度略低. 在 2.0 m 和测氧点处的火场温度的温度上升较慢,温度值也较低.

2) 喷头喷射压力影响分析



a　各测温点温度曲线

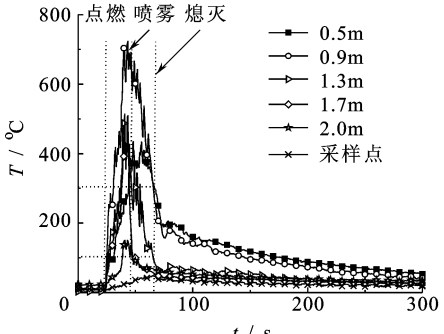


b　氧浓度变化曲线

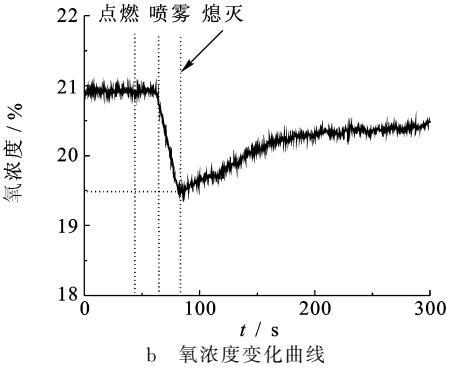
图 5　压力 2 MPa 时单喷头温度及氧浓度随时间变化

图 5 为单喷头喷射压力为 2 MPa 时灭火过程的温度和氧浓度变化测量曲线. 从图中可以看出喷头喷射压力较低时,单喷头灭火过程中温度和氧浓度下降缓慢,温度波动非常剧烈,火场中不同位置温度一直处于较高的水平,降温效果较差,即使在火灾熄灭的瞬时,0.5 m,0.9 m 处位置的温度也在 400 ℃以上. 氧浓度下降也比较缓慢,存在一些小幅波动,灭火时刻氧浓度降到 16.7% 左右. 火灾尽管被扑灭,但所需要的时间较长,从灭火时刻的温度和氧浓度值来看,火灾最终被扑灭是窒息效果占主导地位. 出现这种情况的原因是,喷头的喷射压力较低时,喷头流量、雾滴喷射速度较小,雾滴直径较大. 一方面,喷头流量小,冷却带走的热量较少,油盘燃烧维持在较高的温度. 另一方面,喷射速度较小,对流换热系数较小,雾滴直径较大,致使雾滴没有全部蒸发吸热就到达了地面,浪费了一部分水雾,尽管水雾的吸热效果差,但是水雾长时间的连续喷射使得氧浓度持续降低,最终火焰在较低的氧浓度水平被扑灭.

图 6 为单喷头喷射压力为 4.5 MPa 时灭火过程的温度和氧浓度变化测量曲线. 从图中可以看出喷头喷射压力较高时,温度和氧浓度下降非常迅速,在火灾熄灭的瞬时,0.5 m,0.9 m 处位置的温度也在 300 ℃左右,氧浓度降到 19.5% 左右. 灭火时间较短.



a　各测温点温度曲线

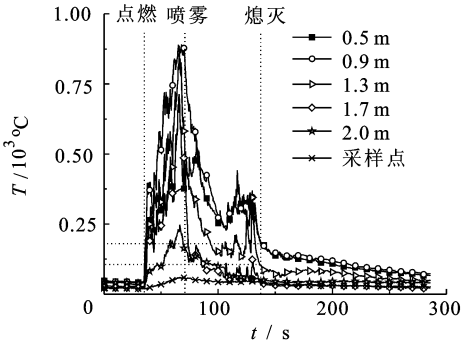


b　氧浓度变化曲线

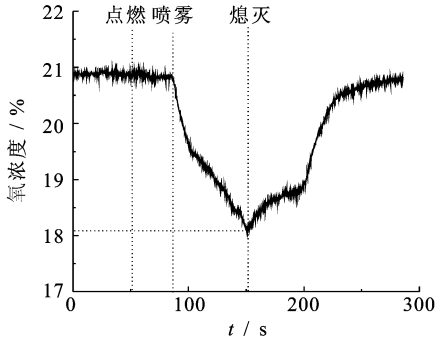
图 6　压力 4.5 MPa 时单喷头温度及氧浓度随时间变化

图 7、图 8 分别为四喷头喷射压力为 2 MPa,4.5 MPa 时灭火过程温度和氧浓度变化曲线. 从图中可以看出,在压力较低时 4 个喷头灭火效果明显优于单喷头,温度下降比较快,氧浓度下降未出现波动,长时间预燃优于短时间预燃的情况. 出现这种差别的原因是单喷头在低压灭火时流量较小,吸热降温的能力较弱,雾滴直径较大,蒸发量较小,造成温度和氧浓度下降较缓并且出现波动. 而 4 个喷头工作时,即使喷射压力较小,但是,整个房间内喷入的水量较大,降温效果明显;预燃时间的增加造成整个房间内温度较高,尽管雾滴直径较大,其蒸发量也较大,降低氧浓度的效果显著. 在高压情况,无论是单喷头还是四喷头,温度下降曲线相似,这是由于压力相同,雾滴直径和喷

射速度相同，吸热的效果差不多的缘故；在高压情况下，氧浓度曲线下降趋势相似，只是氧浓度最小值不同.

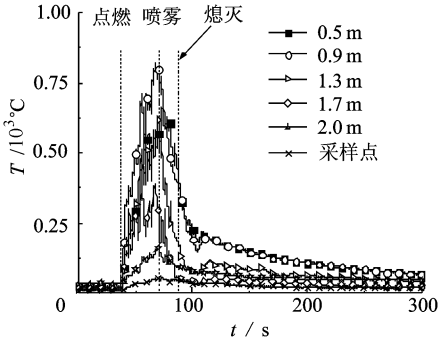


a 各测温点温度曲线

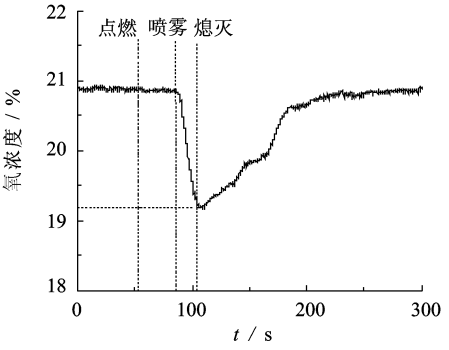


b 氧浓度变化曲线

图 7 压力 2 MPa 时四喷头温度及氧浓度随时间变化（预燃时间 30 s）



a 各测温点温度曲线



b 氧浓度变化曲线

图 8 压力 4.5 MPa 时四喷头温度及氧浓度随时间变化（预燃时间 30 s）

3）喷头喷射压力对灭火点温度、氧浓度影响分析

将以上曲线进行分析整理得到图 9～图 11 灭火时刻不同位置温度随喷射压力的变化关系，从图中可以看出，单喷头和四喷头在压力增加时，火场中某些位置的温度变化规律截然相反，单喷头灭火时，灭火时刻火场中 0.5 m，0.9 m，1.3 m 处温度随压力升高而下降. 四喷头灭火时，上述位置的温度随压力升高而上升. 出现这种情况的原因是，实验中四喷头灭火，油盘处于四喷头对角线交点处，4 个喷头的细水雾均是从油盘的侧向方向进行喷射. 在油盘的正上方水雾较少，造成对火焰正上方降温效果差，随着喷射压力的增加灭火时间缩短，造成灭火时刻火场温度较高.

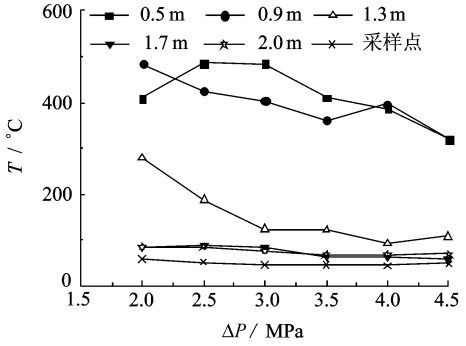


图 9 单喷头灭火时刻各点温度随压降的变化

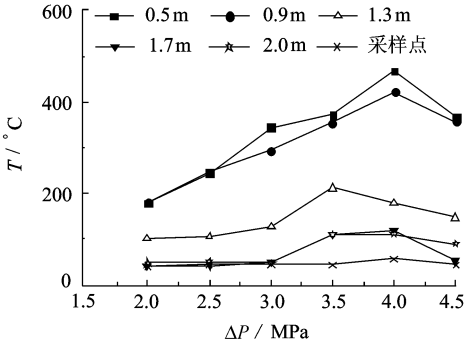


图 10 四喷头灭火时刻各点温度随喷头压降的变化（预燃时间 30 s）

如果从火场降温角度讲，显然实验中四喷头灭火不利，但是图 12 所显示的灭火时间与单喷头并无太大差别，这主要是由于四喷头喷射的水量较大，细水雾遍布整个灭火空间，蒸发量较大，窒息效果较好，从图 13 也得到了验证. 此外还可能存在另外的因素，四喷头是从侧向喷向火焰，对于火焰根部的影响较大，综合以上两种因素，可以解释四喷头喷射压力增加，灭火时刻的温度也随之增加这种实验现象.

图 12 为灭火时间随喷射压力的变化关系，喷射压力越高，灭火时间越短. 喷射压力对单喷头灭火效果的影响要大于四喷头，所研制的喷头在压力高于 3.5MPa 以后，灭火效果相差不大.

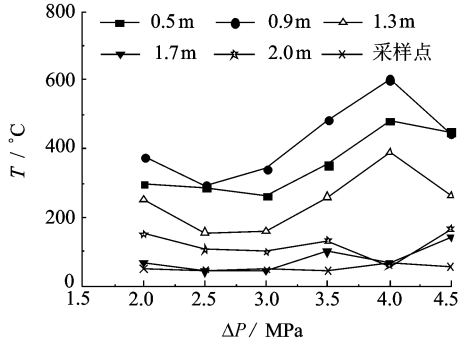


图 11　四喷头灭火时刻各点温度随喷头压降的变化(预燃时间 60 s)

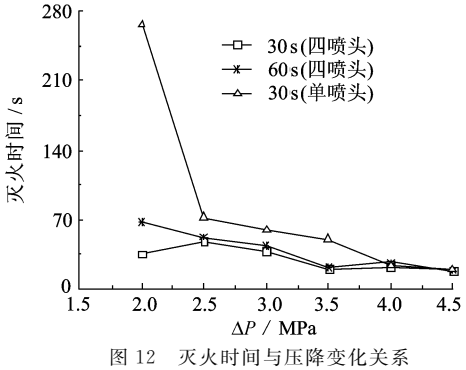


图 12　灭火时间与压降变化关系

图 13 为灭火时刻氧浓度随喷射压力的变化关系,喷射压力越高,氧浓度也越高,这是由于所测的是干氧浓度,由于喷射压力高,火焰熄灭的时间越短,燃烧耗氧越少的缘故.单喷头的灭火时刻氧浓度高于四喷头,是由于灭火时刻火场温度较低的缘故.预燃时间越长,燃烧耗氧越多,氧浓度越低,实验也验证了这一结论.

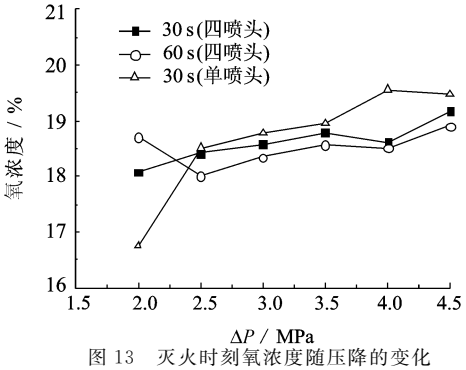


图 13　灭火时刻氧浓度随压降的变化

4　结　论

喷射压力是细水雾喷头的一个重要的工作参数,喷射压力决定流量、喷射速度和雾滴直径等参数,进而影响灭火效果.通过本文的研究可以得到以下几点结论.

1) 喷头的喷射压力对单喷头的灭火效果影响较大,对四喷头的灭火效果影响较小.

2) 对单喷头而言,随喷射压力增加,灭火时刻的火焰温度降低,氧浓度增加,灭火时间缩短;对四喷头而言,随喷射压力增加,灭火时刻的火焰温度上升,氧浓度增加,灭火时间缩短.

3) 所研制喷头在 2～4.5 MPa 之间都能扑灭油盘火,综合因素考虑将喷头额定工作压力设定为 4 MPa.

参考文献(References)

[1] NFPA750, Standard on water mist fire protection systems [S]. Milwaukee: NFPA, 2003

[2] Back G G, DiNenno P J, Hill S A, et al. Evaluation of water mist fire extinguishing systems for flammable liquid storeroom applications on US army watercraft [R]. NRL/MR/6180-95-7795, 1995

[3] UL2167, Water mist nozzles for fire protection service[S]. North Carolina, USA: Underwriters Laboratories Inc, 2004

[4] IMO MSC/Circ 1165, Revised guidelines for the approval of equivalent water-based fire- extinguishing systems for machinery spaces and cargo pump-rooms[S]. London: International Maritime Organization, 2005

(责任编辑:张　嵘)