油盘火热释放率影响细水雾灭火特性试验

杨立军 廖圣洁 富庆飞 王向东

(北京航空航天大学 宇航学院, 北京 100083)

摘 要: 为了研究细水雾针对不同热释放率条件下的灭火特性及规律, 采用7种不同尺寸油盘火模型和正庚烷燃料, 在4.6m×3.2m×4m的空间内, 进行了单喷头和四喷头灭火试验, 试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, 得到了不同热释放率条件下的细水雾灭火特性规律和灭火过程中火场温度场的变化规律, 为细水雾灭火系统设计、检验标准制定及细水雾灭火产品开发提供了相应的试验依据.

关 键 词: 细水雾; 灭火; 油盘火; 热释放效率

中图分类号: TU 892

文献标识码: A 文章编号: 1001-5965(2008)05-0537-04

Experiment of heat release rate of pool fire effect on water mist fire suppression

Yang Lijun Liao Shengjie Fu Qingfei Wang Xiangdong

(School of Astronautics, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract In order to research on fire extinguishing characteristics and rules of water mist under different heat release rate conditions, seven heptane-pan fire of different sizes were applied to single-nozzle and four-nozzle fire extinguishing experiments in the compartment of 4.6m×3.3m×4m. Thermocouple tree and gas analyzer were used to measure flame temperature and oxygen concentration around the flame during the experiment. The characteristics rules of water mist fire extinguishing under different heat release rate conditions and change rules of flame temperature field during fire extinguishing were obtained respectively. The design and test standard method of water mist fire extinguishing system and the development criteria of water mist fire extinguishing products were provided from the experiment.

Key words: water mist; fire extinguishing; pool fire; heat release rate

细水雾灭火系统一般针对一定保护空间而设, 空间内可燃物种类和数量不同造成发生火灾时热释放率不同, 在一定保护空间内针对不同热释放率的火灾, 细水雾是否能够有效灭火以及灭火特性如何, 是消防技术设计人员关心的重要问题. 细水雾扑灭较大热释放率火灾相对容易的观点[1]已在文献[2-3]的不同功率喷雾火研究中得到验证, 但并没有进行不同功率油盘火的灭火研究.

此外, 油盘火是细水雾灭火效果研究和检验的重要方法. 油盘尺寸是油盘火模型的主要参数之一, 国内外的细水雾灭火试验对此参数并没有统一规定. 文献[3]的细水雾灭火试验采用了0.25m^{2}与0.41m^{2}的油盘, 我国气体灭火系统标准GA400要求油盘为钢质正方形, 面积0.25±0.02m^2[4], GB 4351-1997根据油盘面积分成不同级别的B类火模型[5], 油盘尺寸的不统一造成细水雾的很多研究结果无法对比推广.

本文采用不同尺寸油盘火模型产生不同热释放率, 对细水雾灭火特性开展了较为详细的研究工作, 为细水雾灭火系统设计、检验标准制定及细水雾灭火产品开发提供了相应的试验依据.

收稿日期: 2007-01-30

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

1 试验系统及测试仪器

试验在北京航空航天大学特种装备细水雾灭火试验室进行,试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、过滤器、阀门等组成. 图 1为灭火空间平面图. 房间长 4.6m,宽 3.2m,高 4m,吊顶可在 2~3.5m 范围内任意调节. 单喷头试验,油盘放置在喷头的正下方. 四喷头试验,喷头布置间距为 1.5m,油盘中心和四喷头对角线交点重合. 温度测量采用 5根热电偶组成的热电偶树,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,经滤干燥处理后进入仪器,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.传感器精度见表 1.

表 **1** 仪器参数

测量仪器	响应时间 /μs	测量范围	测温精度 /%
热电偶	100	0~1100℃	±0.2
氧气分析仪	1×10^{6}	0~25%	$\pm0.2\times10^{-4}$

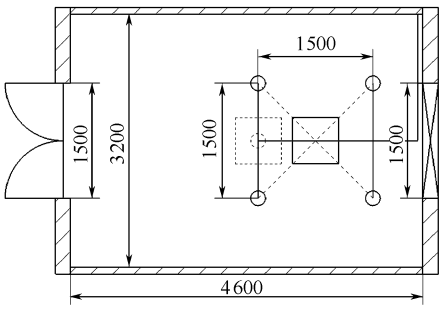


图 1 灭火空间及喷头布置图

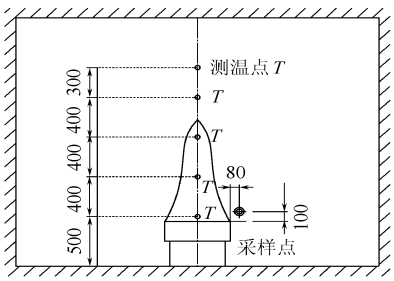


图 2 热电偶及采样点安装位置

2 试验内容

试验用自行研制的某细水雾喷头,喷头工作及性能参数见表 2 喷头工作压力 4MPa,吊顶高度 2.5m,庚烷液面距油盘沿口距离 50mm. 油盘底部和地面之间距离 250mm,油盘内底层为清水,加入 3L纯度 99.99%正庚烷,预燃时间 30 s 保证点火前空间内温度和湿度相同,试验采用 7个边长不同的正方形油盘,见表 3.

表 **2** 细水雾喷头参数

参数	工作压力 /MPa	流量 *K* 系数	索泰尔平均直径 /μm	喷雾角度 /(°)
数值	4	1.3	100	90

表 **3** 试验油盘方案

油盘编号	方油盘边长 /mm	热释放率 /MW	油盘编号	方油盘边长 /mm	热释放率 /MW
1	360	0.10	5	700	0.90
2	500	0.37	6	850	1.41
3	600	0.61	7	1000	2.02
4	640	0.72			

根据文献[3]所提供的油盘热释放率与面积的计算关系式(1),可以得到如表 3所示的油盘热释放率:

$$Q = 2\ 195A - 0\ 18 \qquad (1)$$

式中,Q 为油盘名义功率,MW;A 为油盘面积,m^2.

试验准备完成后,打开房间门,开启数据采集系统,点燃油盘,经过预燃 30 s细水雾开始喷出灭火. 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. 将油盘内庚烷再次点燃,能够点燃的视为灭火成功.

3 试验结果及分析

单喷头灭火进行了 12次灭火试验,四喷头进行了 10次灭火试验. 在每次灭火试验过程中,每次试验按照图 2所示位置测量了火场中的温度和氧浓度变化,典型温度变化曲线见图 3,氧浓度变化曲线见图 4 整个灭火过程曲线用虚线分成了 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.

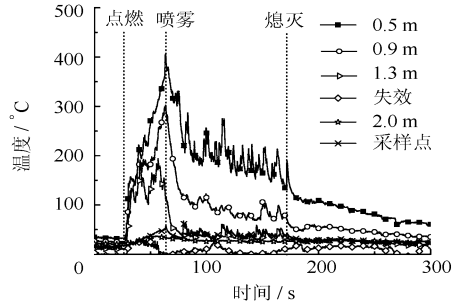


图 3 单喷头 0.1*MW* 温度随时间变化 *(B*06121307*)*

3.1 热释放率对温度的影响

将每次试验如图 3所示的温度测量曲线进行整理得到火焰最高温度随热释放率的变化,见

图 5. 从图中可以看出, 随热释放率的增加火焰最高温度也逐渐增加, 最大温度达 1 000℃以上. 在全部试验的温度随时间变化曲线中发现, 火焰最高温度点出现的位置高度随热释放率的增加而增加, 0. 1MW 出现在 0. 5m左右, 0. 72MW 出现在 0. 9m 左右, 2. 02MW 出现在 1. 7m 左右. 这说明火焰高度随热释放率的增加而增大, 试验中所观测到的现象也证明了这一点. 图 6为预燃结束细水雾喷出时刻测氧点处空气温度随热释放率的变化曲线, 从图中看出, 尽管预燃时间相同, 热释放率大, 测氧点的空气温度也较高.

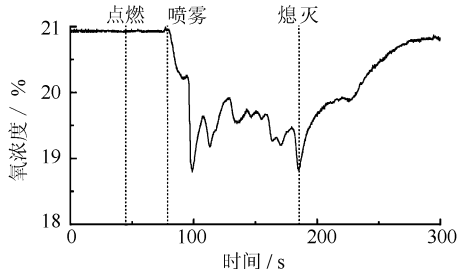


图 4　单喷头 0. 1MW 氧浓度随时间变化 (B06121307)

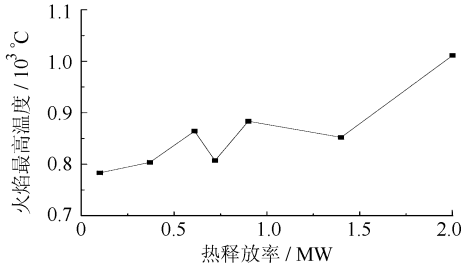


图 5　不同热释放率下火焰最大温度

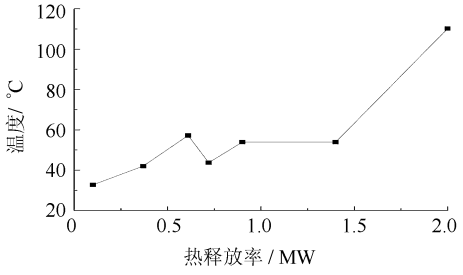


图 6　开始喷雾时刻不同功率火焰测氧点温度

图 7、图 8分别为不同热释放率条件下单喷头、四喷头在灭火时刻各测点温度情况. 从图中可以看出, 热释放率越大, 灭火时刻各测点的温度越高. 0. 90MW, 1. 41MW, 2. 02MW 工况灭火时刻的火焰温度 (在 0. 5m, 0. 9m 处) 在 400~ 600 ℃之间. 尽管在大热释放率时火焰温度下降较快, 但由于灭火时间很短, 因此在火焰熄灭时温度较高. 图 9为不同热释放率条件下单喷头、四喷头在灭火时刻测氧点温度变化情况. 测氧点处于燃烧卷吸空气的位置, 其温度值代表了卷吸进火焰中支持燃烧的空气温度, 决定了当地的水蒸汽饱和蒸汽压值, 进而影响当地氧浓度含量. 从图中可以看出, 热释放率越大, 灭火时刻测氧点的温度越高.

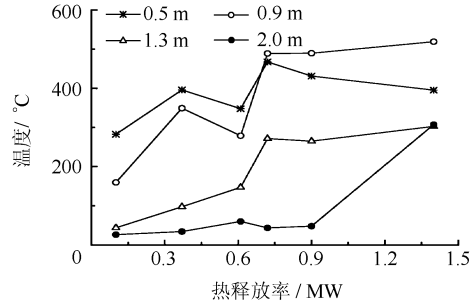


图 7　灭火时刻不同热释放率火焰各测点温度 (单喷头)

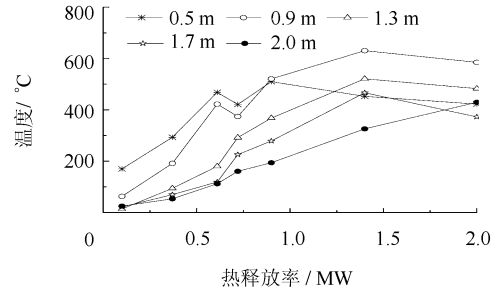


图 8　灭火时刻不同热释放率火焰各测点温度 (四喷头)

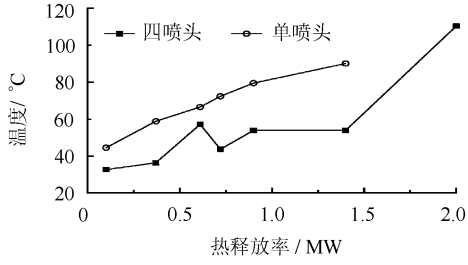


图 9　灭火时刻不同热释放率火焰测氧点温度

3. 2　热释放率对灭火过程氧浓度的影响

将每次试验如图 4所示的氧浓度测量曲线进行整理得到不同热释放率条件下单喷头、四喷头在灭火时刻氧浓度的变化对比情况, 见图 10.

从图中可以看出, 小热释放率油盘灭火时刻

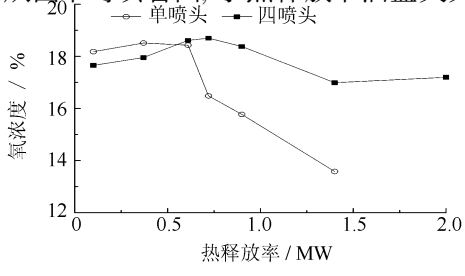


图 10　不同热释放率火焰灭火时刻氧浓度

氧浓度值比较接近,均在 18% 左右. 随热释放率的增大,无论单喷头还是四喷头,灭火时刻的氧浓度值都下降,单喷头灭火的氧浓度值下降更快,这是由于单喷头位于油盘的正上方,细水雾与火焰对流换热更加强烈,造成更多雾滴蒸发成水蒸汽的缘故.

3.3 油盘火热释放率对灭火效果的影响

图 11为不同热释放率条件下单喷头、四喷头在灭火时间的变化情况. 从图中可以看出,热释放率越大,灭火时间越短. 即细水雾更容易扑灭大火,灭小火比较困难.

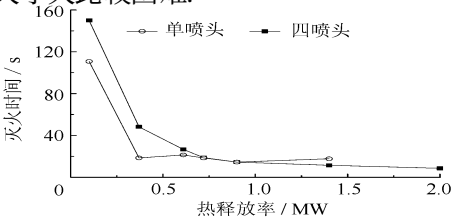


图 11 不同热释放率灭火时间

单喷头灭火试验,小热释放率(0.1MW)的情况下,灭火时间较长,在热释放率超过 0.37MW 后,灭火时间相差不大. 由于考虑到试验室安全,单喷头灭火的 2.02MW 的试验未进行. 从图 11可以看出,单喷头由于油盘布置在喷头的正下方,对流换热较强,扑灭小火的效果优于四喷头. 扑灭小火较为困难是细水雾灭火机理所导致的,细水雾灭火的机理是利用水蒸发吸热和蒸发变成水蒸汽降低氧浓度,小火的热释放率较小,单位时间能够提供水雾蒸发的数量较少,造成灭火困难. 图 4中已显示出针对小热释放率油盘火氧浓度下降波动较大,在灭火工程中出现了多个氧浓度较低点,但是并未发生灭火,出现这种情况的原因有两个:①所对应的这些氧浓度点火焰温度还较高,未达到灭火条件;②水蒸汽蒸发量少,造成火焰周围水蒸汽浓度不均匀,可能这个时刻测氧点处的氧浓度较低,其他位置的氧浓度仍然较高,火焰通过卷吸其他位置的氧气来维持燃烧. 在最终灭火时刻,温度已经下降较低,见图 3. 灭火时刻各点的温度值都已经在 300℃以下,温度远低于其它热释放率的温度. 另外对于较大热释放率油盘火,火焰熄灭时刻的温度较高,远超过火焰熄灭温度,氧浓度较低. 这些现象揭示了一个重要结论——细水雾扑灭小火主导机理是吸热,扑灭较大火灾的主导机理是窒息.

3.4 庚烷油盘火热释放率与灭火时间的关系

采用本文的试验数据并结合文献[2-3]中的研究结果,对试验数据进行拟和,可以得到灭火时间和热释放率关系的经验公式,见图 12

$$t_e = a\,e^{-bw} + t_0 = 544.28e^{-0.37w} + 13.93$$

$$0.8\ \mathrm{kW/m^3} < w < 55\ \mathrm{kW/m^3}$$

式中,t_e 为灭火时间,s;$t_0 = 13.93$ s 为细水雾喷射、吸热蒸发和灭火的最少时间;w 为灭火空间单位体积庚烷火热释放率,kW/m^3;$a = 544.28$ s,取决于细水雾和燃料特性;$b = 0.37\ \mathrm{m^3/kW}$,取决于细水雾和燃料特性.

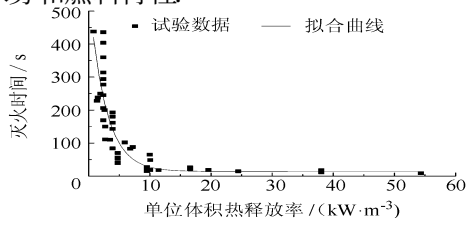


图 12 细水雾扑灭庚烷火时间与空间热释放率关系

4 结 论

细水雾灭火是一个复杂的物理过程,针对热释放率的研究是检验灭火可靠性的一项重要内容,通过以上研究工作得到了以下结论:①热释放率大小对细水雾的灭火效果影响较大,热释放率越大(大火),火焰越容易被扑灭. 热释放率越小(小火),火焰越难被扑灭. ②细水雾灭火时间随保护空间单位体积热释放率的增大而减少,呈指数函数下降. ③热释放率越大,灭火时刻油盘火焰温度越高,氧浓度越低,灭火主导机理是窒息. ④热释放率越小,灭火时刻油盘火焰温度越低,氧浓度越高,灭火主导机理是吸热.

参考文献 (References)

[1] 杨立军,蔡国飙,刘洪山,等. 超细气水雾灭火机理研究[J]. 消防科学与技术,2003,22(1):11-13
Yang Lijun, Cai Guobiao, Liu Hongshan, et al. Study of theory of extinguishing of water fog and air[J]. Fire Science and Technology, 2003, 22(1): 11-13(in Chinese)

[2] Williams F W, Beck G G, Dinenno P J, et al. Full-scale machinery space waterm ist test final design validation[R]. Naval Research Laboratory, NRL/MR/6180-99-8380, 1999

[3] Back G, Lattimer B, Beyler C, et al. Full-scale testing of water m ist fire suppression systems for small machinery spaces and spaces with combustible boundaries[R]. U.S. Coast Guard Research and Development Center, CG-D-21-99, 1999

[4] GA 400-2002, 气体灭火系统及零部件性能要求和试验方法[S]
GA 400-2002, Performance requirements and method of test for components of gas fire extinguishing systems[S](in Chinese)

[5] GB 4351-1997, 手提式灭火器通用技术条件[S]
GB 4351-1997, General specifications for portable fire extinguishers[S](in Chinese)

(责任编辑:张 嵘)