

气泡雾化细水雾灭火有效性实验研究

黄鑫, 刘江虹, 廖光焯, 陆强

(中国科学技术大学 火灾科学国家重点实验室, 安徽合肥 230026)

摘要: 气泡雾化技术是一种双流体的细水雾发生方法。作者根据气泡雾化的雾化机理自行设计了一种气泡雾化喷嘴, 并通过先进的实验诊断手段和模拟实验, 对该喷嘴产生的细水雾的雾场特性进行了测量, 研究了其熄灭煤油火和酒精火的有效性, 为发展新型的细水雾发生方法积累了必要的实验数据。

关键词: 气泡雾化; 细水雾; 雾场特性; 灭火有效性; 相互作用

中图分类号: X932 **文献标识码:** A

0 前言

细水雾灭火技术以其无环境污染(不会损耗臭氧层或产生温室效应)、灭火迅速、耗水量低、对防护对象破坏性小等特点展示出广阔的应用前景, 目前已成为国际火灾科学前沿研究热点之一^[1]。现在常用的细水雾喷头主要有压力式、撞击式和双流体式三种, 其中压力式喷嘴产生的雾滴粒径相对较大, 若要产生较小的雾滴则需要很大的压力, 这样对管道抗压的要求就很高。撞击式喷嘴产生的喷雾动量小, 雾通量分布不均匀, 要求工作压力在 1.3 MPa 以上。双流体式雾化喷嘴的缺点则是结构较为复杂, 成本较高^[1~3]。

由于现有细水雾雾化喷嘴的局限性, 引入高新技术发展适用于火灾防治的新型雾化喷嘴成了当前一个非常重要的课题。气泡雾化技术从二十世纪八十年代末期开始研究起, 现在已经应用在内燃机、燃烧装置、锅炉和涂料等许多方面^[4]。但前人主要研究的是气泡雾化方法在燃烧方面的应用, 在灭火方面的应用却至今在国内外尚未见文献报导, 从它的

喷雾特点来看, 这项技术有应用在灭火系统上的可行性。根据前人对这项技术的研究结果, 如果将气泡雾化喷嘴使用在灭火上应该有以下几个优点: (1) 在比传统的雾化喷嘴低几倍的注射压力下就能够达到好的雾化效果; (2) 一定的注射压力下, 能够产生比传统的雾化方法更小的液滴; (3) 气体流量要比别的双流体雾化方法的小的多; (4) 这项方法简单、易行、可靠, 且成本很低^[4]。

1 气泡雾化的机理和技术实现

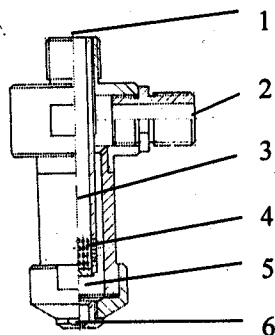
1.1 气泡雾化的机理

气泡雾化是一种双流体细水雾发生方法, 它是将气体低速注入到喷嘴中, 气体通过一个有孔长管成气泡状进入液体, 形成两相流。两相流在流过末端的喷口时根据气液流量比的不同有三种不同的流动方式, 随着气液流量比的增加将依次为泡状流动, 块状流动和环状流动。两相流在从喷口喷出时, 气相迅速膨胀, 液相则破碎成液带。这些液带不稳定, 又迅速的分裂成液段。液段有的继续破碎, 有的稳定下来成为相对大的液滴, 从而形成了细水雾^[4]。由于气泡的表面膜远小于液柱或液膜的厚度, 雾化所需能量较小, 雾化的粒度也很细, 可以说, 气泡雾化最有效的利用了雾化气的能量, 实现了最佳的雾化效果^[5]。

1.2 气泡雾化的技术实现

因为以往该种类型的喷嘴主要是应用在内燃机、燃烧装置和锅炉等方面, 所以现在要将此喷嘴应用在灭火上, 必须对喷嘴的结构进行改进, 使其喷雾特性有利于灭火。根据喷嘴的几何结构对喷雾特性

参数的影响以及有效灭火对喷雾特性的要求,设计出的喷嘴与以往的喷嘴相比主要在喷口面积和通气孔总面积的比值,通气孔与喷口的距离,喷口直径以及喷口长度和直径的比值等方面进行了改进^[4,6,7]。结构图如图1,由六个零部件组装而成,共分为四个部分:液体和气体输入部件,气体进入液体流形成气泡的混合室和喷嘴出口。喷嘴总长为120mm,混合室直径为30mm,喷嘴的通气孔共有四排48个孔,孔直径为1mm,底部喷口共有7个,中心一个,周围还有对称的6个,直径均为1mm。考虑到通气孔距喷口的距离对喷雾有影响,因而中部的通气长管离喷口的距离是可调的。



1. 气体注入口;2. 液体注入口;3. 通气管;4. 通气孔;5. 混合室;6. 喷口

图1 实验所用气泡雾化喷嘴结构图

2 气泡雾化细水雾雾场特性的实验诊断

细水雾的雾场特性决定着灭火效果,因而本文使用三维LDV/APV系统研究了自行设计的气泡雾化喷嘴所产生的喷雾的粒径和速度的大小和分布^[8-11]。实验中喷嘴的液压分别取为0.15MPa、0.25MPa和0.35MPa,对应的气压分别为0.18MPa、0.30MPa和0.45MPa。液压为0.35MPa时,沿中心线测量了离喷口0.6~1.0m处的三维平均速度的轴向分布和喷口下方1.0m处平均速度的径向分布,结果显示中心线处轴向平均速度在1.0m/s左右,径向平均速度在0.2m/s左右,离中心线较近处的轴向平均速度维持在1.0m/s左右,从离中心线0.25m处开始下降,在离中心线0.4m处下降到0.8m/s以下,而径向平均速度则在0.1m/s处波动。从图2可以看出压力减小时平均速度也减小。

实验中还使用三维LDV/APV系统测量了液压为0.25MPa时,喷口下方1.0m处喷雾体积平均直径沿径向的分布,数据显示体积平均直径随着径向

距离的增加而增加,从中心线处的50 μ m增加到离中心线0.3m处的75 μ m。图3显示了不同压力下体积平均直径沿轴向的分布,可见压力增大时体积平均直径减小。

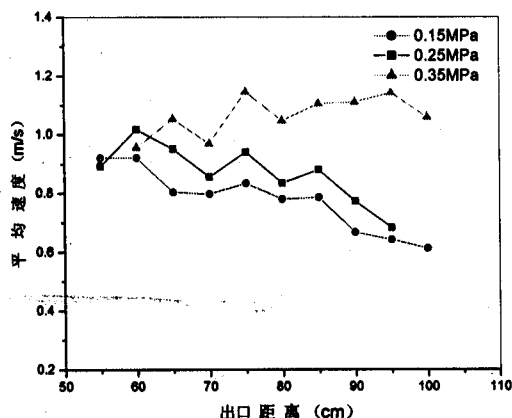


图2 不同压力轴向平均速度沿轴向分布

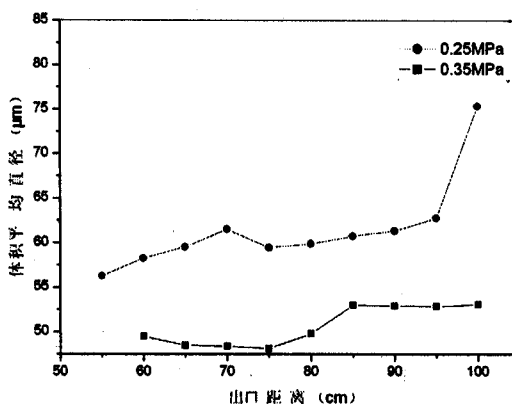


图3 体积平均直径沿轴向分布(沿中心线测量)

3 气泡雾化细水雾灭火有效性模拟实验

3.1 实验装置

实验装置如图4所示,试验间几何尺寸3.0m×3.0m×3.0m,顶部安装可控硅无级调速控制器和两台功率为0.75KW电磁调速电机,同时采用双烟道进行抽排风风机排烟,新鲜空气从底部进入。燃料试样分别选用具有代表性的无水乙醇和煤油,前者易于挥发,燃料与氧化剂混合较好,燃烧完全,而后者燃料与氧化剂混合不好,燃烧不完全,有大量浓烟产生。燃料试样用直径为18cm的油池盛装,每次所用的燃料试样均为200ml。细水雾由自己设计制造的气泡雾化喷嘴产生,喷头竖直向下,细水雾在试样燃烧30s后开始作用。铠装热电偶沿试样中心线布置,共有6对,用于测量火焰温度。实验时环境温度21℃,相对湿度40%。

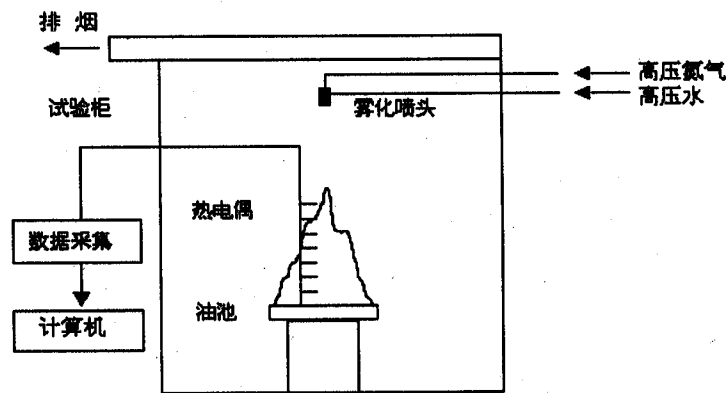


图 4 实验装置示意图

表 1 熄灭煤油火的时间

液压 (MPa)	高度 (cm)	灭火时间 (s)
0.15	110	3
	130	4
	150	4
0.23	110	4
	130	8
	150	6
0.39	110	4
	130	8
	150	6

表 2 熄灭酒精火的时间

液压 (MPa)	高度 (cm)	灭火时间 (s)
0.15	110	30
	130	43
	150	63
0.23	110	15
	130	25
	150	48
0.39	110	8
	130	12
	150	15

3.2 实验结果与讨论

实验中通过改变液体注入压力和喷嘴作用高度研究了气泡雾化喷嘴产生的细水雾熄灭煤油火和酒精火的效果,气体的注入压力略高于液压。表 1 和表 2 分别给出了细水雾熄灭煤油和酒精火的熄灭时

间,从表中的数据可以看出细水雾熄灭煤油火的时间很短,在 6 秒左右,基本上与液体的注入压力和喷嘴作用高度无关。细水雾熄灭酒精火的时间则要长一些,而且从表中可以看出随着液压的增加,灭火时间是逐渐减少的;随着喷嘴作用高度的增加,灭火时间是逐渐增加的。这与理论是相符的,因为压力越高,平均粒径就越小,雾通量和液滴的速度就越大;而离喷嘴越远处的细水雾其平均粒径越大,液滴的速度越小。

图 5~图 8 是不同工况下细水雾与煤油火和酒精火相互作用的温度变化曲线。酒精火的温度要比煤油火的高,在细水雾作用后温度均迅速降低,基本上都是在 10 秒钟之内就能降到几乎接近室温,但煤油火在 10 秒内会熄灭,而酒精火则不然。对酒精火虽然细水雾施加后温度已接近室温,但在油池边缘仍有小火焰,还要经过一段时间才能完全熄灭,这是因为中心气流的冲力使得火焰向四周散开,再加上细水雾的抑制作用使得火焰只存留在油池边缘。从图 5—图 8 还可看出,无论是酒精火还是煤油火,液体的注入压力降低或者喷嘴的作用高度增加,都将导致火焰的温度下降相对要平缓些。另外由于细水雾对火焰的扰动,个别热电偶测点温度时高时低。

通过气泡雾化细水雾灭火有效性的模拟实验,表明气泡雾化技术应用在灭火系统上是可行的,用这种方法产生的细水雾可以很迅速的熄灭煤油火,熄灭酒精火时间则要长一些,但实验中也是在 65 秒之内熄灭,而且施加细水雾后酒精火会立即得到抑制。实验还表明当液体的注入压力降低,或者喷嘴的作用高度增加时,熄灭火焰的难度将增加。因此在实际应用气泡雾化方法产生的细水雾灭火时,应综合考虑多种因素的影响规律,力求在细水雾作用

高度、细水雾流量、火源功率、液压和气压等之间寻找到一个最佳的匹配值,提高细水雾控制和扑灭火

灾的有效性、经济性和适应性。

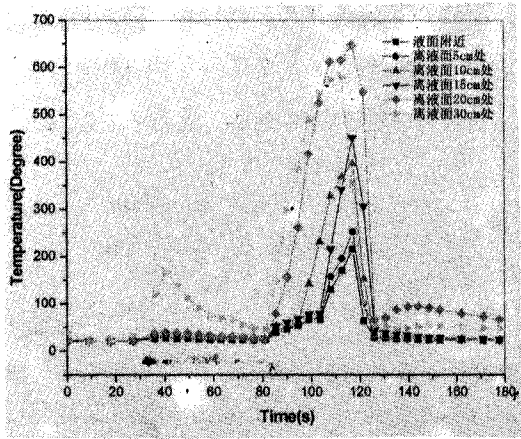


图5 细水雾与煤油火相互作用的温度变化
(液压0.23MPa、喷嘴作用高度1.3m)

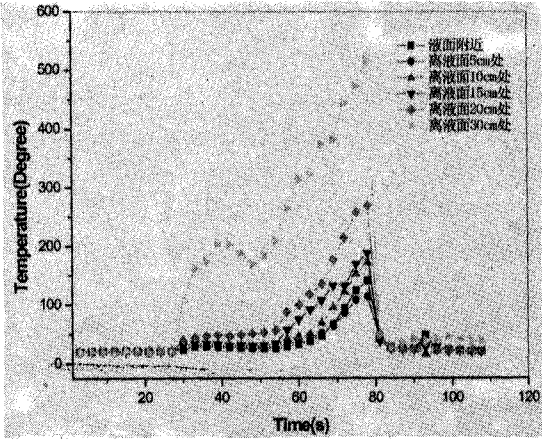


图6 细水雾与煤油火相互作用的温度变化
(液压0.39MPa、喷嘴作用高度1.1m)

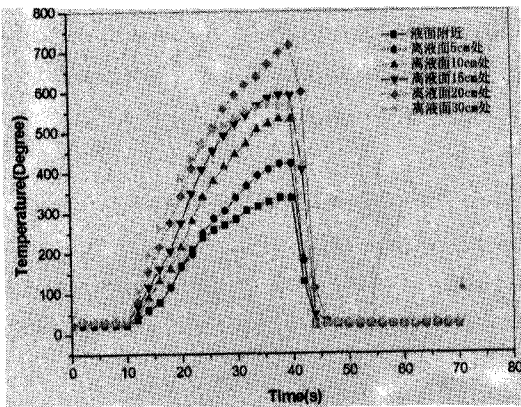


图7 细水雾与酒精火相互作用的温度变化
(液压0.39MPa、喷嘴作用高度1.3m)

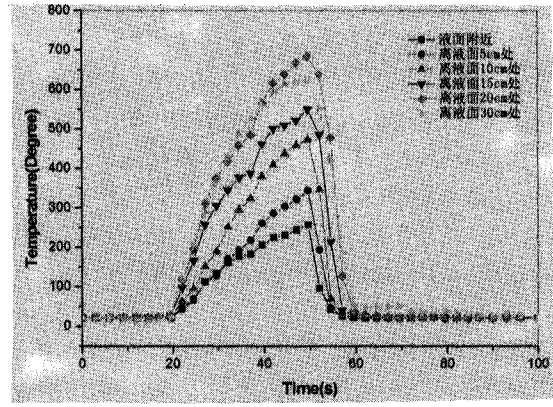


图5 细水雾与酒精火相互作用的温度变化
(液压0.23MPa、喷嘴作用高度1.3m)

4 结论

气泡雾化技术作为一种双流体细水雾发生方法,它与其它的双流体细水雾发生方法一样也需要双流体管道和雾化气体,但是由于它的雾化机理不同,它又具有独特的优点。它最有效的利用了雾化气的能量,因此它在很低的压力下就可以获得很好的雾化效果并且所需的气体量很小,实验中最高的液压是0.39MPa,最低是0.15MPa,而一般双流体喷嘴的工作压力是0.5MPa~0.8MPa。另外气泡雾化喷嘴在喷口直径较大时也能获得很好的雾化效果,这样喷口就不容易堵塞。气泡雾化喷嘴的缺点就是雾化锥角小,因而在中心喷口的周围又加了6个对称的喷口。

本文在测量了气泡雾化细水雾的雾场特性后,

又进行了熄灭油池火的实验,实验所使用的燃料试样为无水乙醇和煤油。实验显示了气泡雾化细水雾能迅速熄灭煤油火,酒精火在施加细水雾后也能迅速得到抑制,熄灭时间也较短。另外由于中心气流的影响,火焰在受到细水雾作用后会被气流吹向四周。气泡雾化细水雾与油池火相互作用的实验研究显示了该项技术能够很好的应用在细水雾灭火系统上。

由于是第一次研究将这种新型的细水雾发生方法运用于灭火系统的效果,所以在本文的基础上今后可以更细致,更深入的进一步研究各种影响因素及其优缺点,并建立理论模型。

参 考 文 献

[1] 姚斌. 细水雾与扩散火焰相互作用的模拟研究[D].

合肥:中国科学技术大学,1999.

- [2] 刘江虹. 细水雾抑制熄灭固体火焰的模拟实验研究[D]. 合肥:中国科学技术大学,2001.
- [3] 黄鑫. 一种新的细水雾发生方法——气泡雾化[D]. 合肥:中国科学技术大学,2002.
- [4] S. D. Sovani, P. E. Sojka, A. H. Lefebvre, Effervescent atomization[J]. *Progress in Energy and Combustion Science*, 2001, 27(4): 483~521.
- [5] 包国平, 邓龙国. 气泡雾化燃烧技术油枪在夏港电厂煤粉炉上的应用[J]. *中国电力*, 2000, 33(12): 10~12.
- [6] G. Grant, J. Brenton, D. Drysdale, Fire suppression by water sprays[J]. *Progress in Energy and Combustion Science*, 2000, 26(2): 79~130.
- [7] 董希琳, 邢浩颖, 杨玉胜. 细水雾与火焰的相互作用[J]. *火灾科学*, 1999, 8(4): 8~17.
- [8] 刘联胜, 吴晋湘, 韩振兴. 气泡雾化喷嘴出口下游液雾流强特性实验研究[A]. 中国工程热物理学会第十届年会论文集[C], 青岛:中国工程热物理学会, 2001.
- [9] 刘联胜, 吴晋湘, 韩振兴. 气泡雾化喷嘴混合室内两相流型及喷嘴喷雾稳定性[J]. *燃烧科学与技术*, 2002, 8(4): 353~357.
- [10] 刘联胜, 吴晋湘, 傅茂林, 王恩宇. 气泡雾化喷嘴雾化特性实验[J]. *燃烧科学与技术*, 2001, 7(1): 63~66.
- [11] 秦俊, 姚斌, 廖光煊, 王喜世. APV 激光流场诊断系统及其应用[J]. *火灾科学*, 1999, 8(2): 37~42.

Experimental Study on Fire Extinguishing Effectiveness of Water Mist Produced by Effervescent Atomizer

HUANG Xin, LIU Jiang-hong

LIAO Guang-xuan, LU Qiang

(State Key Lab. of Fire Science, USTC, Hefei, Anhui 230026, China)

Abstract: Effervescent atomization is a new method of producing water mist. Based on fluid mechanics of effervescent atomization we designed an effervescent atomizer. The current paper tried to use advanced measuring method and simulative experiments to measure water mist field characteristics produced by effervescent atomizer and study effectiveness and its influencing factors of application in cleanly and good efficiency fire suppression systems of the new method of twin-fluid atomization. These developed a new technique path for new method of producing water mist.

Key words: effervescent atomization; water mist; water mist field characteristics; extinguishing effectiveness; interaction

研究进展

城市火灾安全数字化智能综合管理系统

实现了城市不同功能区典型火灾过程虚拟现实仿真。

采用 Open Inventor 编写虚拟现实场景浏览器(Examiner Viewer),并结合 3DS MAX 和 AutoCAD 进行建模,构建了一个虚拟油罐区和一个虚拟生活小区。可对虚拟现实场景进行一定的控制,比如在虚拟场景中漫游、以随意角度旋转场景等。

建立了城市火灾扑救辅助决策模型。

建立了不同火灾类型、火险等级的应解预案库;

建立了应急资源优化配置和优化调度模型,并在 GIS 平台上实现。