

自然通风对细水雾降温速率影响研究

房玉东¹, 苏国锋¹, 廖光焯², 袁宏永¹

(1. 清华大学公共安全研究中心, 北京 100084;

2. 中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室, 合肥 230027;)

[摘要] 在受限空间通过模拟试验研究细水雾作用下烟气温度的变化规律。实验中通过改变通风口面积、通风口与火源的相对位置及喷雾强度等因素, 研究自然通风对细水雾降温速率的影响规律, 定量地表征不同自然通风条件下降温速率的衰减比例, 实验发现增加喷雾强度可以降低自然通风造成的降温速率衰减。研究结果可为细水雾灭火系统的工程应用和优化设计提供必要的参考依据。

[关键词] 细水雾; 烟气; 自然通风; 降温速率

[中图分类号] P7 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2007)10-0055-05

1 引言

社会的发展与科学技术的进步, 对扑灭火灾的方法提出更高的要求, 即: 快速响应, 有效灭火, 对环境和逃生人员安全, 对扑救和防护对象无破坏作用, 特别是能迅速应付特殊火灾的挑战。抑制火灾的传统物理方法已无法满足这些要求, 而传统的化学方法对人员有危害极大的窒息作用, 至今仍广泛应用的卤代烷系列灭火剂则严重破坏大气臭氧层。寻求其替代产品的开发研究工作正在世界范围内积极开展。细水雾灭火技术以其无环境污染、灭火迅速、耗水量低及对防护对象破坏性小等特点, 在喷水灭火系统中占有重要的地位。对于防治高技术领域和重大工业危险源的特殊火灾, 细水雾展示出广阔的应用前景, 具有很大的经济效益和社会效益, 目前已成为国际火灾科学前沿研究热点之一。

在实际的建筑火灾环境中, 经常会有自然通风的情况, 自然通风会对细水雾的灭火效率、降温速率等造成一定的影响。作者通过改变通风口面积、通风口与火源的相对位置及喷雾强度等因素, 研究自然通风对细水雾降温速率的影响规律, 定量地表征不同自然通风条件下降温速率的衰减比例, 为细水雾灭火系统

的工程应用和优化设计提供必要的参考依据。

2 实验描述

实验在 3 m × 3 m × 3 m 受限空间内进行, 实验空间顶棚装有二级调速的排烟风机。在顶棚中心位置安装细水雾喷头, 喷头距离顶棚 0.2 m。利用柴油燃烧产生烟气, 油盘尺寸 0.4 m × 0.4 m × 0.05 m。实验中利用热电偶测量火源近端和远端不同高度的烟气层温度。实验时的环境温度 5 ℃。实验中在受限空间顶棚共有 2 个半径为 0.25 m 的自然通风口, 表 1 给出了实验中的 9 种自然通风状态。图 1 是该实验系统示意图。

表 1 实验工况

Table 1 Experimental case

工 况	喷头开启	工作压力 /MPa	1 号通	2 号通
	位置		风口	风口
1	1	7, 8, 9, 10	关	关
2	2	7, 8, 9, 10	关	关
3	1, 2	7, 8, 9, 10	关	关
4	1	7, 8, 9, 10	开	关
5	1	7, 8, 9, 10	开	开
6	2	7, 8, 9, 10	开	关
7	2	7, 8, 9, 10	开	开
8	1, 2	7, 8, 9, 10	开	关
9	1, 2	7, 8, 9, 10	开	开

[收稿日期] 2006-12-18

[基金项目] 中国博士后科学基金资助项目(20070410067)

[作者简介] 房玉东(1979-), 男, 黑龙江阿城市人, 清华大学公共安全研究中心博士

实验中采用高压泵式细水雾发生装置产生细水雾,利用激光多普勒分析仪测量雾滴速度和粒径分布。图2给出了雾滴速度和粒径随工作压力变化曲线,从图中可以看出随着压力增大,雾滴粒径不断减小,雾滴速度不断增大。

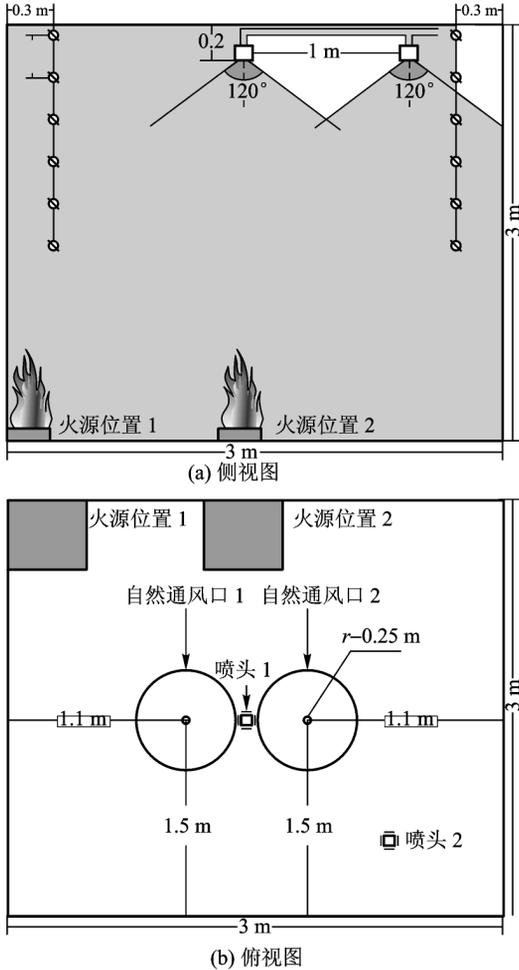


图1 实验系统示意图

Fig. 1 Schematic of experimental system

3 典型试验结果及分析

3.1 降温速率定义

从图3可以看出在细水雾施加的初始阶段,烟气温度快速下降,随后下降速度变慢。这是因为在细水雾作用过程中,火羽流不断对其上方烟气加温,因此火源近端烟气温度下降速度缓慢,距离火源较远的烟气,因没有持续的热量供给,烟气层只能通过对流传热及辐射热反馈获取热量,细水雾在与烟气相互作用过程中吸收了大量的热量,有效的阻隔了热辐射,同时降低了对流传热的强度,因此远端烟气温度快速下降,并很快降低至环境温度。

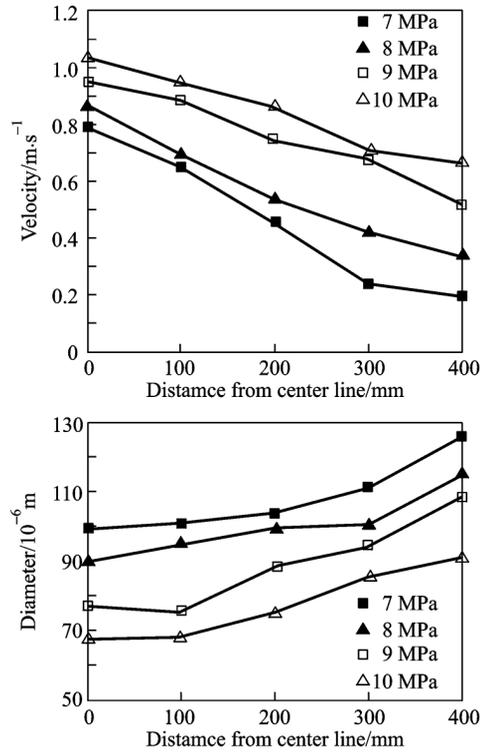


图2 雾滴速度和粒径随压力变化曲线

Fig. 2 Variational curves of droplet velocity and diameter with pressure

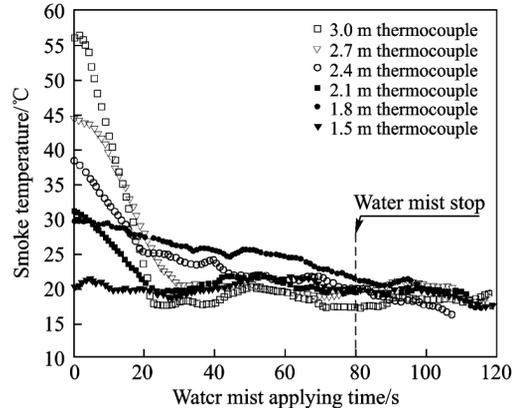


图3 细水雾作用下远端烟气温度变化曲线

Fig. 3 Variational curve of smoke temperature with water mist applying

定义一个变量,即细水雾降温速率 V_i 。所谓的细水雾降温速率指的是在烟气温度快速下降阶段温度下降值和所需时间的比值:

$$V_i = \frac{\theta_t - \theta_0}{t} \quad (1)$$

其中: θ_t 代表在阶段时间 t 时的烟气温度 ($^{\circ}\text{C}$); θ_0 代表在初始时刻的烟气温度 ($^{\circ}\text{C}$); t 为阶段时间长

度(s); V_t 代表在阶段时间 t 时的细水雾降温速率($^{\circ}\text{C}/\text{s}$)。

3.2 自然通风对降温速率影响分析

表2给出了不同自然通风面积、不同喷头位置 and 不同喷雾强度下火源近端的细水雾降温速率。其中 S_V 代表自然通风面积,

表2 自然通风条件下细水雾的降温速率*

喷头位置	S_V/m^2	近端 $V_t / ^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$				
		0.3 m	0.6 m	0.9 m	1.2 m	1.5 m
0		1.42	0.659	0.492	0.442	0.339
1	0.196	1.11	0.491	0.302	0.253	0.154
	0.392	0.985	0.408	0.204	0.129	0.051
2	0	0.37	0.215	0.178	0.165	0.147
	0.196	0.348	0.197	0.159	0.142	0.126
1,2	0	1.843	1.545	1.479	1.432	1.334
	0.392	1.779	1.425	1.353	1.303	1.205

* 喷雾压力 10 MPa

表3 自然通风状况下 V_t 的衰减比例*

喷头位置	S_V/m^2	d_V				
		0.3 m	0.6 m	0.9 m	1.2 m	1.5 m
0		0	0	0	0	0
1	0.196	0.218	0.255	0.386	0.428	0.546
	0.392	0.306	0.381	0.585	0.708	0.85
2	0	0	0	0	0	0
	0.196	0.059	0.084	0.107	0.139	0.143
1,2	0	0	0	0	0	0
	0.196	0.019	0.047	0.053	0.061	0.079
	0.392	0.035	0.078	0.085	0.09	0.097

* 喷雾压力 10 MPa

通过对实验数据的分析发现,自然通风导致 V_t 下降,为了定量的分析上述因素对 V_t 造成的影响,定义一个无量纲参数 d_V ,代表通风造成的 V_t 衰减比例。如公式(2)所示。

$$d_V = \frac{V_t^V - V_t^0}{V_t^0} \quad (2)$$

其中: V_t^V 代表自然通风时的细水雾降温速率; V_t^0 代表无自然通风的细水雾降温速率; d_V 代表通风因素

造成的 V_t 衰减比例。表3给出了 V_t^V 的计算值。图4是 d_V 与自然通风面积 S_V 关系直方图。

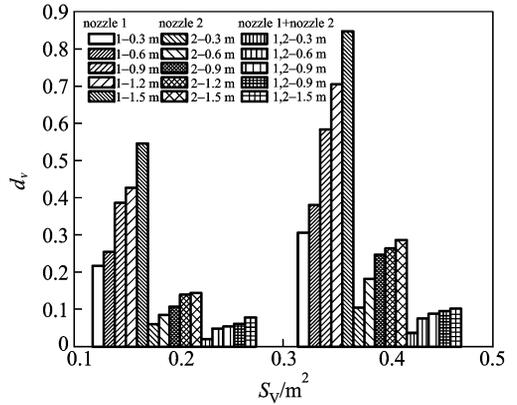


图4 d_V 与自然通风面积 S_V 关系直方图

Fig. 4 Relation between d_V and S_V

从图4可以看出,随着通风面积增大,细水雾降温速率衰减比例 d_V 增大,在同一通风面积 S_V 下,喷头位于2号位置的时候衰减比例 d_V 要大于喷头位于1号位置。当1号位置和2号位置的喷头同时打开后,此时的衰减比例 d_V 最小。从上面的分析我们可以看出,喷头位于通风口正下方时衰减比例 d_V 最大,喷头远离自然通风口时衰减比例 d_V 减小,当同时开启两个喷头时,衰减比例 d_V 继续减小。这表明自然通风位置明显的影响细水雾的降温速率,增大喷雾强度可以有效降低自然通风对细水雾降温速率造成的衰减比例 d_V 。这是因为自然通风条件下,热烟气不断由通风口向外排出,当喷头位于自然通风口下方时,热烟气羽流带走了大量的细水雾,导致细水雾通量降低。当喷头远离自然通风口时,烟气羽流带走的细水雾数量减少,当增加喷雾强度时,可以弥补通风造成的雾通量下降。

从图5可以看出,在同一通风面积下,喷头位于1号位置的衰减比例 d_V 要大于2号位置,同时衰减比例 d_V 沿喷头轴向距离的增大而增大。从图6中可以看出,在同一位置,同时打开两通风口的衰减比例 d_V 要大于打开一个通风口,同时衰减比例 d_V 沿喷头轴向距离的增大而增加。从图7中可以看出,在同一通风面积下,当同时打开1号和2号位置的喷头时,衰减比例 d_V 要远小于单独打开1号位喷头。造成上述现象的原因是轴向距离较小的地方雾通量较大,烟气羽流带走的细水雾数量相对较少,因此造成的衰减比例较小。轴向距离较大的地方雾通量较小,烟气羽流带走的细水雾数量相对较多,因此造成的衰减比例较大。

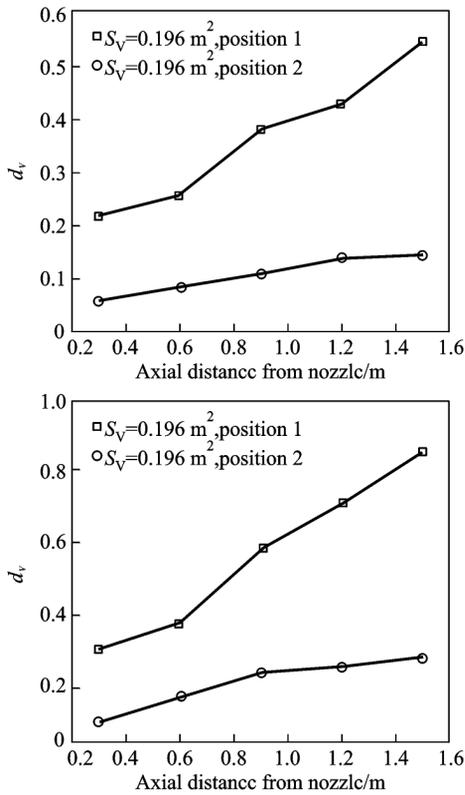


图5 不同喷头位置 d_v 沿轴线距离变化规律

Fig. 5 Variational principle of d_v along axial direction with different nozzle position

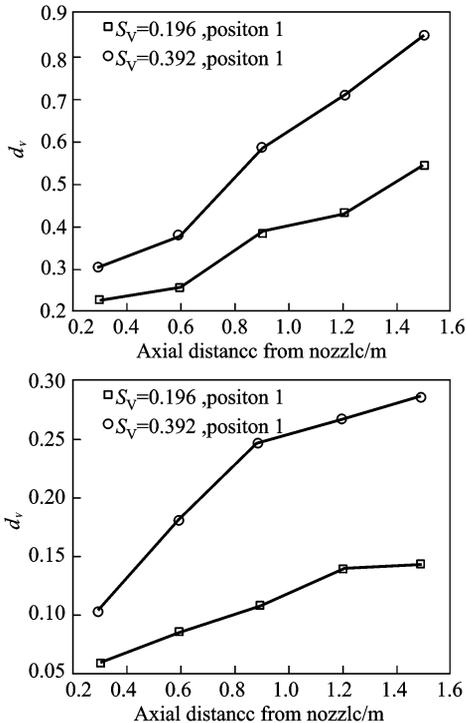


图6 不同自然通风面积 d_v 沿轴线距离变化规律

Fig. 6 Variational principle of d_v along with different ventilation area

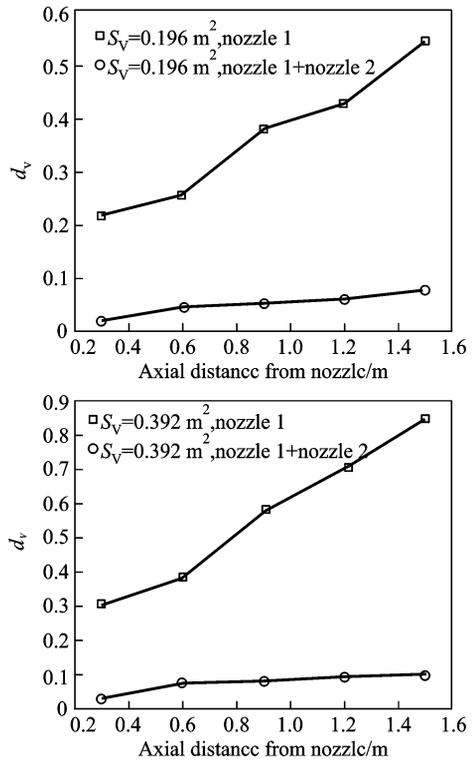


图7 不同喷雾强度 d_v 沿轴线距离变化规律

Fig. 7 Variational principle of d_v along axial direction with different water mist flux

4 结论

通过实验研究和理论分析得出如下结论:

- 1) 在未施加细水雾之前,柴油预燃 50 s 后受限空间烟气温度场进入稳定状态。细水雾施加之后抑制了燃烧反应,有效的阻隔热辐射,同时降低了对流传热的强度,在与烟气相互作用过程中快速蒸发并大量吸热,烟气温度快速下降。
- 2) 实验发现自然通风导致 V_i 明显下降, V_i 的衰减比例 d_v 随着自然通风面积增大而增加,随着喷头与通风口水平距离的增大而减小,增大喷雾强度可以有效降低自然通风造成的 V_i 衰减。

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] Rufino P, de Marzo M. Measurements of temperature in a hot gas laden with water droplets [R]. Department of Fire Protection Engineering, University of Maryland College Park, MD 20742.

- [3] Cooper L Y. The interaction of an isolated sprinkler spray and a two - layer compartment fire environment[J]. J Heat Mass Transfer, 1995, 38(4): 679 ~ 690
- [4] Cooper L Y. The interaction of an isolated sprinkler spray and a two - layer compartment fire environment. Phenomena and model simulations[J]. Fire Safety Journal, 1995, 25: 89 ~ 107
- [5] Wang An, Lu Xiyun, Liao Guangxuan. Large eddy simulation on the control of smoke movement by water sprays[J]. Fire Safety Science, 2002. 11(4): 191 ~ 200
- [6] Nam S. Development of a computational model simulating the interaction between a fire plume and a sprinkler spray[J]. Fire Safety Journal, 1996, 26: 1 ~ 33
- [7] Nam S. Numerical simulation of the penetration capability of sprinkler sprays[J]. Fire Safety Journal, 1999, 32: 307 ~ 329
- [8] Beyler C L, Cooper L Y. Interaction of sprinklers with smoke and heat vents[A]. Fire Science and Engineering[C]. Baltimore, Maryland; Hughes Associates, Inc, 1999
- [9] Chow W K, Yao B. Numerical modeling for interaction of a water spray with smoke layer[J]. Numerical Heat Transfer: Part A: Applications, 2001, 39(3): 267 ~ 283
- [10] 王丽娜,郑 财,王世龙.利用速度场常数测量烟气平均流速方法的研究[J]. 计量技术, 2004, (10): 1 ~ 4

Study on Effect of Ventilation Temperature Decreasing Velocity in the Presence of Water Mist

Fang Yudong¹, Su Guofeng¹, Liao Guangxuan², Yuan Hongyong¹

(1. Tsinghua University, Center for Public Safety Research, Beijing 100084, China;

2. University of Science and Technology of China, State Key Laboratory of Fire Science, Hefei 230026, China)

[**Abstract**] Variational principles of smoke temperature are studied in confined space with water mist applying. Effect of ventilation area, position between ventilation and fire and water mist flux on temperature decreasing velocity is studied by experiments. The attenuation of temperature decreasing velocity is described under different ventilation conditions. It is found in experiments that the attenuation of temperature decreasing velocity caused by ventilation can be reduced by increasing water mist flux. This paper provides necessary references for water mist application in fire protection.

[**Key words**] water mist; smoke; ventilation; temperature decreasing velocity