

Introduction of Water Mist Fire Protection System

Ye Chen*, Naiyun Gao#, Yongjie Ou, Yongji Zhang

State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai
Email: [#gaonaiyun@mail.tongji.edu.cn](mailto:gaonaiyun@mail.tongji.edu.cn)

Received: Aug. 21st, 2014; revised: Sep. 2nd, 2014; accepted: Sep. 9th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

This paper described the definition and mechanism of water mist fire protection system. The principle of single-phase pump type water mist fire protection system and double-phase cylinder type water mist fire protection system is introduced. Furthermore, the basic design process of the system is illustrated to make a comprehensive introduction of water mist fire protection system, therefore, to promote the development of research and design to the system.

Keywords

Firefighting, Water Mist, Fire Protection System, Fire Extinguishing Mechanism, Working Principle

消防的细水雾灭火系统介绍

陈 焯*, 高乃云#, 区永杰, 张永吉

同济大学污染控制与资源化国家重点实验室, 上海
Email: [#gaonaiyun@mail.tongji.edu.cn](mailto:gaonaiyun@mail.tongji.edu.cn)

收稿日期: 2014年8月21日; 修回日期: 2014年9月2日; 录用日期: 2014年9月9日

*第一作者。

#通讯作者。

摘要

本文对消防的细水雾灭火系统的定义和作用机理进行了阐述,介绍了应用较广泛的单相流泵组式细水雾灭火系统与双相流瓶组式细水雾灭火系统的工作原理,并对细水雾灭火系统的设计进行了介绍,以对细水雾灭火系统进行全面了解,推动细水雾灭火系统研究与设计的发展。

关键词

消防, 细水雾, 灭火系统, 灭火机理, 工作原理

1. 引言

我国在上世纪 80 年代初期到 90 年代中期使用的大部分是卤代烷类灭火剂,但有研究指出卤代烷化合物会造成大气臭氧层空洞,减弱了臭氧层对紫外的吸收,导致太阳光中的紫外线到达地球表面的强度增大,对人体的健康和地球的生态系统产生威胁[1]。因此,我国对卤代烷类灭火剂进行逐步淘汰。目前卤代烷类灭火剂的替代技术包括水喷淋、CO₂、惰性气体、泡沫和细水雾等技术。其中,细水雾灭火技术因为其无环境污染(不损害臭氧层或造成温室效应)、灭火速度快、节水、对防护对象的破坏性小等优点,日益受到重视,展现了良好的应用前景。因此,本文对细水雾灭火系统的概念和作用机理进行阐述,并介绍了应用较广泛的单相流泵组式细水雾灭火系统和双相流瓶组式细水雾灭火系统工作原理,以期推动细水雾灭火系统的研究和应用。

2. 细水雾灭火系统介绍

2.1. 细水雾灭火系统的定义

“细水雾”(water mist)是相对于“水喷雾”(water spray)的概念而言,所谓的细水雾,是使用特殊喷嘴,通过高压喷水产生的水微粒。按照目前国际上最具权威性的美国《NFPA750 细水雾灭火系统标准》(2006 年版),细水雾的定义如下:在最小设计工作压力下,距喷头下方 1 m 处的平面上,测得水雾最粗部分的水微粒直径 $D_{v0.99}$ 不大于 1000 μm 。

$D_v f$ 值指的是雾滴的大小, f 是雾滴直径从 0 到某一数值($D_v f$ 的值)的累计体积与总计体积之比。《微水雾滴灭火设备认证技术规范》(CNCA/CTS 0013-2010)中将细水雾定义为直径 $D_{v0.5}$ 小于 200 μm 且 $D_{v0.99}$ 小于 400 μm 的水雾滴。我国对细水雾的定义与国外有一定区别。

据有关研究表明,扑灭 B 类火灾(即液体火灾)水雾颗粒小于 400 μm 是必需的,而对于 A 类火灾(即固体火灾)来说,较大的水雾颗粒也是有效的,这是由于在 A 类火灾中,水雾颗粒较大时,燃料会被浸湿,阻碍火势发展[2]。因此,在我国的细水雾应用和研究中,一般情况下,细水雾是指 $D_{v0.99}$ 小于 400 μm 的水雾。

2.2. 细水雾的适用场合

细水雾灭火系统适用于扑救相对封闭空间内的可燃固体表面火灾、可燃液体火灾和带电设备的火灾。

1) 民用建筑中的场所

根据《全国民用建筑工程设计技术措施》(2009 年版)所规定,民用建筑中的下列场所可采用细水雾灭火系统:

- ① 柴油发电机房和柴油泵；
- ② 燃油燃气锅炉房、直燃机房等场所；
- ③ 油浸变压器。

当有可靠的试验数据和经认证时，下列场所也可采用细水雾灭火系统：

- ① 电缆夹层、电缆隧道等；
- ② 计算机房、交换机房等电气火灾；
- ③ 图书馆、档案馆火灾。

2) 其它特殊场所

① 航空与航天飞行器舱内：飞机火灾最严重的情况为落地碰撞，在油箱靠近乘客的机舱设置细水雾灭火系统，可迅速的吸收油箱燃烧的辐射热，保护乘客的安全；

② 船舱：轮船上各种可燃物，火灾荷载较大，细水雾灭火系统适合各种型态的灭火设备，以免在同一艘船上设有多种自动灭火设备，增加维护费用，增加载重量；

- ③ 潜艇、油库等。

现阶段，因经济因素，细水雾灭火系统通常用于替代洁净气体灭火系统和部分水喷雾灭火系统，一般不用于完全替代水喷雾和自动水喷淋灭火系统。

3. 细水雾的作用机理

3.1. 雾化机理

水雾化的机理是使用经过特殊处理的喷嘴，通过水与不同的雾化介质产生水微粒，产生水微粒的常见的几种方法为[3]：

- 1) 水以相对于周围空气很高的速度被释放，由于水与空气的速度差而被撕裂成水微粒；
- 2) 水流与固定的平面发生强烈碰撞，因碰撞产生水微粒；
- 3) 两股组成相似的水流碰撞，产生水微粒；
- 4) 通过超声波或静电雾化器产生水微粒；
- 5) 让水在压力容器中受热沸腾，并使温度高于沸点，然后突然释放到大气压力状态而产生水微粒。

3.2. 灭火机理

细水雾灭火的机理是利用水微粒在气化后的比表面积增大的原理，细水雾雾滴直径通常在几十微米到几百微米之间，由于雾滴直径很小，相对同样体积的水，其表面积剧增，从而加强了与火焰热交换的效能，起到了非常好的降温效果[4]。通过吸收火场热量后迅速二次气化，产生水蒸汽，体积急剧膨胀 1700 多倍，增加雾化单位体积，使得雾化方向分散，促进与火焰的相互作用，一方面冷却燃烧反应，利用气化吸热冷却可燃物以及吸收热幅射降低热回馈，另一方面体积膨胀快速降低空气中的氧气浓度，抑制了燃烧中的氧化反应速度，窒息燃烧反应来达到双重物理灭火的效果。

为方便描述雾粒直径与水雾总表面积的关系，设 1 L 水理想雾化成 i 个直径相同的雾滴，则雾滴的体积为：

$$V = \frac{\pi \times d^3}{6} \cdot i = 10 \quad (1)$$

式中 V ——体积，L；

d ——直径，mm；

i ——雾滴数量，个。

每个雾滴的直径可表示为：

$$d = \sqrt[3]{\frac{6 \times 10^6}{i\pi}} \quad (2)$$

所以每 1 L 雾化水的总面积为：

$$S = i\pi d^2 \quad (3)$$

式中 S ——每 1 L 雾化水的总面积。

由此得到 1 L 水在不同的雾化条件下的雾滴数量(i)，平均雾滴直径 d (mm)和喷雾的总表面(m^2)之间的关系，见表 1[5]。

细水雾灭火系统成功的关键，是增加单位体积水微粒的表面积。细水雾的微粒越小，其表面积越大，也比同体积水的总表面积大很多，则更容易吸收热量，冷却燃烧反应。水微粒细小后，吸收热量后易于汽化、体积易于膨胀。由于水蒸气的产生，既稀释了火焰附近氧气的浓度，窒息了燃烧反应，又有效地控制了热辐射。

细水雾的主要灭火机理可归纳如下：

1) 气相冷却

细水雾的蒸发使火焰冷却从而降低火焰对燃料表面的辐射热通量值，并使可燃气体的生成量减少。火焰温度的降低以及可燃气体的减少使得燃烧速度变慢，在有些情况下，火焰就会完全熄灭。例如将 1 L 水从 20℃ 升至 100℃ 需要 335 kJ 的热量，再将其转化成水蒸汽需吸收 2257 kJ 的热量。

2) 可燃物表面冷却

细水雾蒸发可使可燃物表面冷却，降低了可燃物的热解速度，从而有效延缓燃烧直至火焰完全熄灭。

3) 热辐射的减弱

细水雾及蒸汽会吸收部分热辐射，降低对燃料的热反馈。隔绝能阻止火焰向未燃的燃料表面蔓延，并降低燃料表面的蒸发和热解速率。从宏观角度来说，不管是否能扑灭火焰，细水雾对辐射的隔绝作用都可以保护目标和人员免受辐射的损害。

4) 隔氧

细水雾雾滴在蒸发时(95℃, 1 atm 下)其体积增加约 1700 倍。如果蒸发速度很快，雾滴周围的空气将被水蒸气取代。在受限空间中喷射粒径很小的细水雾时，雾滴将迅速蒸发、膨胀，形成的水蒸气将取代氧气。如果作用于燃烧的氧气浓度降至临界值以下，燃烧的效率会降低，火焰很容易通过冷却而被扑灭。相对气体灭火，高压细水雾灭火系统不要求完全封闭空间。在高压细水雾潜在的能量充分释放后，完整的火源被收藏在蒸发的水中，以便火灾能在几秒内窒息。通常空气中的氧气浓度为 21%，当氧的浓度从火源空间立即减少到 16%~18%时，不同灭火效应的组合将产生。

Table 1. Relationship between droplet number, diameter and total surface area of water mist

表 1. 雾滴数量、直径与喷雾总表面积关系表

雾滴数量(i)	平均雾滴直径 d (mm)	喷雾总表面(m^2)
10^{12}	0.012	484
10^{11}	0.027	225
10^9	0.124	48
10^4	5.7	1

5) 稀释可燃气体和空气混合物的浓度

可燃气体/空气混合物的浓度将降至临界可燃浓度之下，从而是燃烧难以维持。

6) 乳化作用

对某些可燃液体火灾，细水雾的施加会引起燃料表面产生乳化反应，起到阻隔和降低燃料气化的作用。

4. 两种常用细水雾灭火系统的工作原理

细水雾灭火系统主要有水源、供水装置、喷头、水雾灭火报警控制器、火灾探测及管网组成。

4.1. 单相流泵组式细水雾灭火系统

单相流泵组式细水雾灭火系统的工作原理见图 1。火灾发生时，探测器动作发出火灾信号，启动水雾报警控制器，当出现一个独立回路的火灾信号时启动声光报警器进入预警状态，当出现两个独立回路的火灾信号时确认火灾发生，也可以由人工发现火灾时直接手动启动报警控制器确认火灾发生。水雾灭火报警控制器确认火灾发生后，经适当延时后发出启动控制信号至系统就地控制盘，启动消防水泵，实施喷雾灭火，并显示喷放指示。同时水雾灭火控制器等待压力控制器反馈信号，如果在规定时间内没有接受到反馈信号或压力信号太低，水雾灭火报警探测器将自动启动备用消防水泵。火灾被扑灭后，需经人工确认对控制器实施复位。

4.2. 双相流瓶组式细水雾灭火系统

双相流瓶组式细水雾灭火系统的工作原理见图 2。当保护区发生火情时，火灾探测器将火灾信号送往报警灭火控制器，报警灭火控制器发出声光报警信号，同时发出联动指令，关闭联动设备，发出灭火

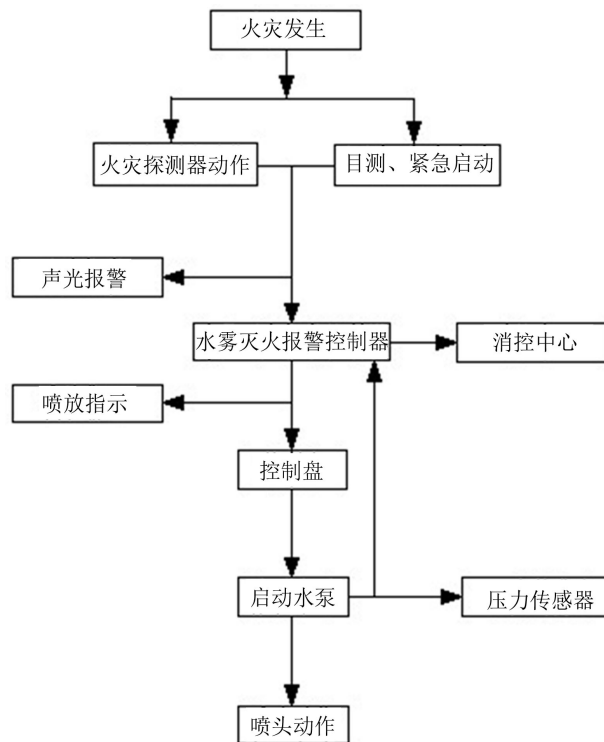


Figure 1. Fire extinguishing system operating principle of single-phase flow water mist

图 1. 单相流细水雾灭火系统工作原理图

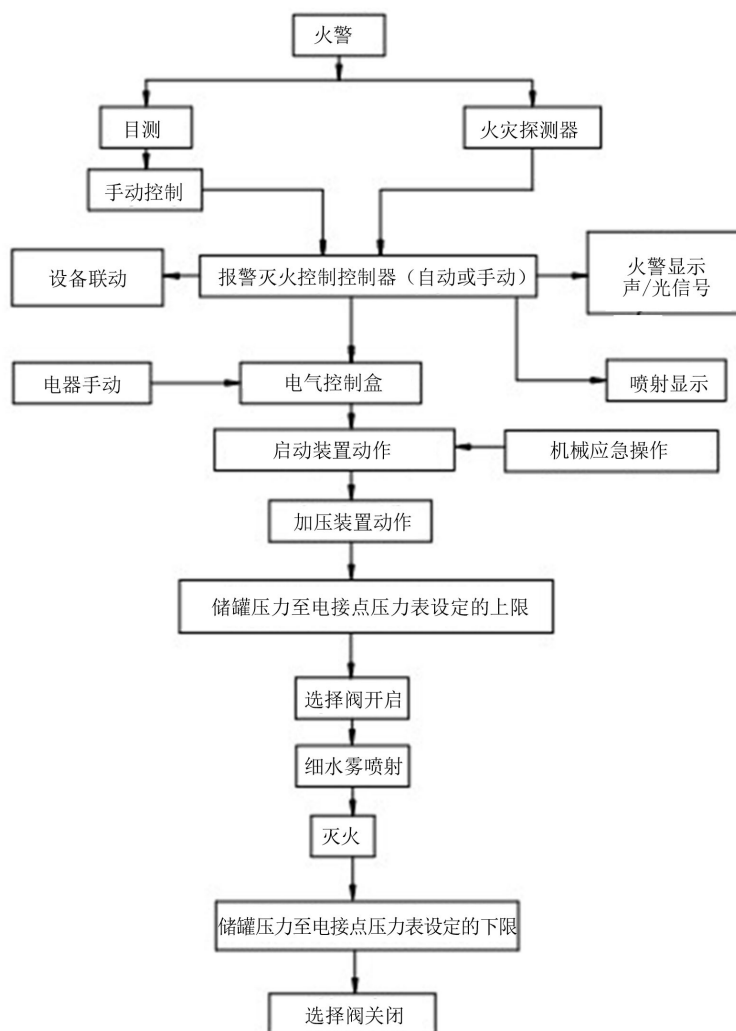


Figure 2. Fire extinguishing system operating principle two-phase flow bottle-group water mist
图 2. 双相流瓶组式细水雾灭火系统工作原理图

指令至控制盒；控制盒首先发出指令开启电磁阀，启动气体打开加压驱动装置瓶头阀，释放驱动气体(中压：经减压器减压)进入灭火剂储罐，对储罐加压。(中压：当储罐压力上升至电节点压力表设定的上限值(3.5 MPa)时，控制盒再发出指令)打开相应保护区的选择阀，释放灭火剂，实施灭火。(中压：当储罐内压力下降至电节点压力表设定的下限值时，控制盒会发出指令关闭相应的选择阀，停止释放灭火剂)。

4.3. 设计基本内容

- 1) 根据喷头的流量系数，喷头的最大、最小工作压力，在此基础上计算出每个喷头的流量。
- 2) 根据喷头特性、保护场所要求及相关规范、标准确定喷头的最大布置间距和最大、最小安装高度。
- 3) 通过系统管网水力计算，获得系统的最大、最小工作压力。
- 4) 确定系统的喷雾时间和闭式系统的作用面积，并由此获得水箱所需容积。

5. 结论

本文的研究工作初步探讨了细水雾灭火系统的原理和设计方法，表明了细水雾灭火系统是一种新型

高效的灭火系统，是一种既节约又环保的灭火系统，可以替代传统灭火系统在民用建筑领域、机舱、船舱、潜艇等处的应用。它也是一种有效性的、可行的、具有相当应用潜力的消防新技术，比气体灭火系统具有更多的优势性。但在水质处理和喷头开发上还比较滞后，工程建设成本较高，暂无法大面积推广应用。因此，研究细水雾灭火系统的灭火原理、特性及性能，加快喷头设备的国产化，推广该灭火技术在我国的发展和具有十分重要的意义。

参考文献 (References)

- [1] 刘江虹, 廖光焯, 范维澄等 (2001) 细水雾灭火技术及其应用. *火灾科学*, **1**, 34-38.
- [2] 田启东 (2007) 细水雾灭火系统介绍. *中国水运(学术版)*, **8**, 59-60.
- [3] 张慧 (2008) 细水雾灭火技术研究. 中北大学, 太原.
- [4] 杨南武, 韦毛山, 彭晓春等 (2011) 高压细水雾灭火系统的研究与探讨. *科学之友*, **18**, 70-73.
- [5] 杨琦 (2003) 高压细水雾灭火系统技术. *消防技术与产品信息*, **10**, 11-14.