

138-142
25

1999年9月
第22卷第5期

重庆大学学报 (自然科学版)
Journal of Chongqing University(Natural Science Edition)

Vol. 22
Sep. 1999

文章编号:1000-582x(1999)05-0138-05

·研究简报·

锥形水射流的实验研究

张风华, 廖振方

(重庆大学 机械工程学院, 重庆 400044)

0358

摘要:提出了锥形水射流锥膜雾化模型,并对锥形水射流的雾化能力和降尘效果进行了实验研究,所得结果供从事降尘和灭火工作的研究人员和设计人员参考。

关键词:锥形水射流;膜;雾化;降尘

中图分类号:TD 714+.41

射流

文献标识码:A

锥形水射流不同于普通水射流(13°锥形喷嘴产生的射流),它在喷嘴出口附近具有一段空心圆锥体,随后射流很快就裂散成细小雾粒。虽然细水雾(粒径小于200 μm)可以通过撞击、气动、高压、静电及超声波等多种方式产生^[1],但锥形水射流喷嘴产生细水雾却具有结构简单、易于实现的优点。水喷雾降尘在某些特定的条件下则具有不可比拟的优越性,例如在矿山的机掘工作面采用水射流除尘风机除尘,由于除尘器内无运动部件,不易产生火花,克服了其他除尘器在高瓦斯和有瓦斯、煤尘突出的矿井不能使用的缺点^[2]。在电厂锅炉烟道内安装水射流捕尘装置能有效地减少电厂烟尘和硫的排放量,减轻大气污染。细水雾灭火具有不破坏大气臭氧层、灭火迅速、耗水量低、破坏性小以及适用于特殊环境火灾(如计算机房、航空器)的特点,因而在喷水灭火系统中占有极其重要的地位^[3]。在锥形水射流的雾化段,锥形水射流比普通水射流具有更大的雾粒分布区、更小的雾粒粒径和更均匀的雾粒分布。

1 雾化机理与锥角的近似计算

由于喷嘴前部旋流芯的作用,当水由喷嘴射出时,射流不仅有轴向速度 u 和径向速度 v_r ,还有切向速度 v_θ ,使离开喷嘴后的空心圆锥体还会继续往前延伸,形成具有空心圆锥体的锥形水射流。由于锥形射流具有切向速度,与普通射流相比,其轴心速度衰减更快,射流的碎裂点提前,故雾化效果更好。

锥形水射流的雾化机理是:具有一定压力的水进入锥形射流喷嘴,由于旋流芯的作用,在喷嘴出口处液体的离心力将克服其表面张力,在空间形成中空圆锥薄膜状流动,此空心

· 收稿日期:1998-09-14

作者简介:张风华(1960-),男,彝族,云南人,重庆大学副教授,从事水射流技术研究。

的圆锥薄膜继续往前延伸；随着锥膜流动断面直径的增大，锥膜厚度逐渐减薄；当锥膜厚度减薄至一定厚度时，锥膜的离心力与收缩张力相平衡，射流锥膜断面直径就不再增大，锥膜厚度也不再减薄；此时，在外界雾化力（如射流的脉动和不均匀性、空气介质阻力以及振动等）的作用下，射流锥膜被破坏而形成碎膜；在液体张力的作用下，进一步形成细小的球形液滴作分散流动，从而达到雾化。我们把这一锥形射流的雾化机理称为锥形射流锥膜雾化模型，如图 1 所示。

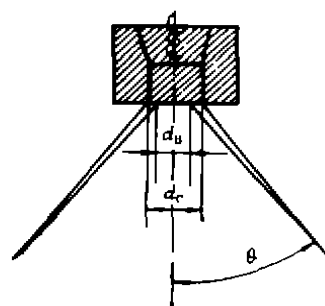


图 1 锥形射流喷嘴雾化模型

锥角是描述锥形射流的重要特征参数。锥形射流的锥角应根据液体作旋转喷射的作用力的关系，即由锥形射流的离心力和惯性力所产生的液体压力来确定。为了论述方便，这里按锥形射流在喷嘴出口断面上所受的平均压力来确定。

喷嘴出口断面上喷射液体的充满情况用喷嘴断面的充满系数 φ 表示

$$\varphi = 1 - \frac{f_b}{f_c} = 1 - \frac{d_b^2}{d_c^2} \leq 1 \quad (1)$$

式中 d_c, f_c ：分别为喷嘴出口的直径和面积

d_b, f_b ：分别为喷嘴出口中心喷涡空腔直径和面积

定义

$$A_c = u_t / u_c \quad (2)$$

式中 A_c ：喷嘴的旋流系数，仅决定于喷嘴的结构

u_t, u_c ：分别为切向和轴向的平均流速

A_c 和 φ 之间的关系

$$A_c = \frac{1 - \varphi}{\sqrt{\varphi^3/2}} \quad (3)$$

锥形水射流的锥角

$$\theta = \arctan^{-1} \left(\frac{p_t}{p_n} \right) \quad (4)$$

式中：平均轴向喷射压力

$$p_n = \frac{1}{2\varphi^2} \rho u_c^2 \quad (5)$$

平均径向离心压力

$$p_t = \frac{\rho}{2} \frac{\varphi}{1 - \varphi} u_c^2 \quad (6)$$

式(5)、(6)代入式(4)得

$$\theta = \arctan^{-1} 2(1 - \varphi) \quad (7)$$

由于影响锥形水射流锥角的因素较多，上式只作为射流锥角的近似计算和锥形射流喷嘴特性的评价。

2 实验观察

通过实验直观观察可见:随着工作压力的升高、喷射速度的增大,锥形水射流形成一个渐扩开口的圆锥薄膜状流动。随着圆锥直径的增大、相应的锥膜厚度不断变薄,最后锥膜被破坏而形成如图 2(b)所示的雾化流动。与普通水射流相比,锥形水射流具有大得多的扩散角、更小的有效射距和更大的雾粒分布区。水射流低压喷射时,喷射速度低,分散成的雾粒粒度大,雾粒离开喷嘴一段距离后,就很快进入衰减区。当射流工作压力较低时,水在喷嘴出口附近呈现麻花绞股状流动,见图 2(a)。高压喷雾则不同,它所喷出的高速旋转的锥形水射流经过很短距离就分散成细小雾粒,并在雾粒之后形成一股气流,见图 2(b)。射流中雾粒的继续运动除了压力的作用外,也有气流的作用。当工作压力和相应的喷射速度继续增大时,液体在喷嘴出口所形成的旋转锥膜得到加强,液体与气体紊动混合加快,雾化更加强烈,射程增大。雾粒的粒径也随压力的增加不断减小,在喷嘴出口附近出现气雾。试验表明:当压力达 4 MPa 时就有较强的含尘气流被卷入雾区,压力超过 6 MPa 时,卷吸作用十分强烈。雾粒在射流有效长度段内的运动速度超过了沉降速度,不出现低压喷雾时的明显的衰减区。

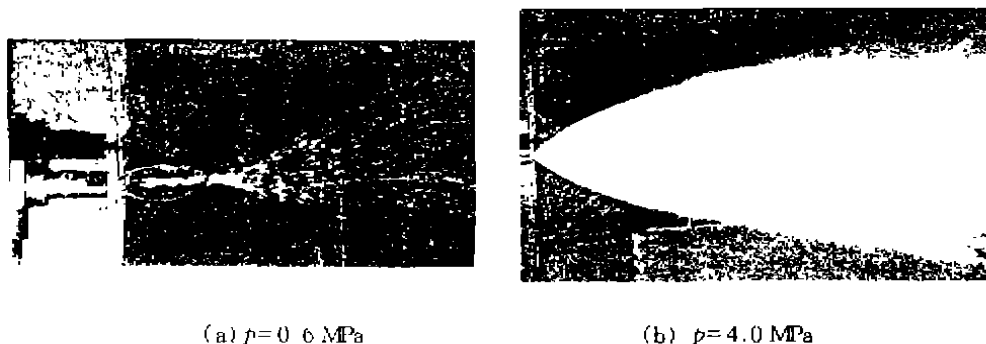


图 2 不同压力下水射流形状

3 锥形水射流的雾粒粒度

水射流中雾粒的粒度,是一个对降尘效果和灭火能力有很大影响的重要因素。采用重庆大学光电工程学院研制的 WL-1 型微粒和雾粒度分析仪分别测量了相同喷嘴直径的普通射流和锥形射流在不同压力下的水滴粒度列于表 1。该分析仪测量的雾粒粒度范围是 3~1300 μm 。

由测量结果可以看出,在测量范围内,相同压力下锥形射流的水滴粒度比普通射流的水滴粒度小,而且雾粒分布更均匀。这种差别在低压段(如 2.5 MPa)更为明显,因为低

表 1 雾粒粒度(喷嘴直径 $D=1 \text{ mm}$)

压力/MPa	雾粒直径/ μm	
	普通射流	锥形射流
2.5	452	150
5.0	198	88
7.5	96	56
10.0	75	43
12.5	60	33

注:普通射流的测试点:距喷嘴出口 7 m 处射流中心;锥形射流的测试点:距喷嘴出口 5 m,距射流轴心 1.25 m。

压时普通射流的发散性差,雾化效果差,而锥形射流由于切向速度的作用,射流的发散性好,在低压时就可获得较好的雾化效果。表 1 中的数据是在不同的喷距下获得的,若喷距相同,那么两种射流所产生的雾粒直径将相差很大。

4 旋流槽的导程及头数对射流锥角的影响

用摄视技术测得不同旋流芯导程时的射流锥角见表 2。在相同的压力下,导程小,锥角大;导程大,锥角小。减小导程,旋转强度增大,在同一能量(A_0 , Q_0 相同)时,射流的切向速度将增大,即其轴向速度将减小,这势必增大射流的锥角。同时,笔者在实验中还观察到,旋流槽的头数太少则喷出的水沿周向分配不均匀,影响射流的降尘效果。旋流槽的头数太多,则加工时易造成不对称,反而使射流不均匀,影响射流降尘效果。旋流槽的头数取 3 头比较合适。

表 2 锥形射流锥角

喷嘴结构	锥角/(°)
6-3	110
12-3	85
48-3	45

5 降尘效果

锥形水射流降尘效果的实验与测试系统如图 3 所示。为了使测量更精确,利用两台 KBC 型矿用采尘器同时采样,取其平均值为测试的粉尘浓度。采样时间降尘前为 3 min,降尘后为 20 min。实验用粉尘粒度小于 $7\ \mu\text{m}$,设计粉尘浓度为 $500\ \text{mg}/\text{m}^3$,实验风速 $4\ \text{m}/\text{s}$ 。相同喷嘴直径时,不同压力下普通水射流和锥形水射流降尘效果的测试结果列于表 3 中,对应的降尘效率列于表 4 中。从表 1、3、4 可见:压力低,水滴粒度大,水滴数量少,分散性差,降尘效果差;压力高,水滴粒度小、水滴数量多,分散性好,降尘效果好,对直径小于 $5\sim 7\ \mu\text{m}$ 的呼吸性粉尘更为明显;随着压力的提高,喷射后的粉尘浓度降低,降尘效率提高。锥形水射流与普通水射流相比,在同等压力下前者降尘效果优于后者,这是因为锥形水射流的雾化效果、卷吸含尘气体的能力和其捕尘面积都优于普通水射流。这种优越性在低压段(如 $2.5\ \text{MPa}$)时表现得更为明显,这是由于锥形水射流切向速度的作用,使射流易于发散和分裂的结果所致。由于锥形水射流比普通水射流具有大的扩散角和较小的水滴粒度,在相同的条件下,锥形水射流降尘较其他的水射流具有独特的优越性。

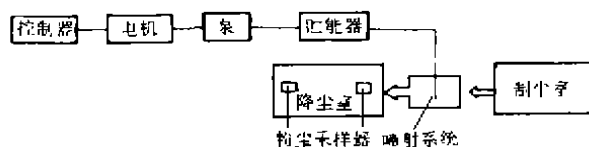


图 3 实验与测试系统

表 3 粉尘浓度 (mg/m^3)

压力/MPa	普通水射流		锥形水射流	
	喷射前	喷射后	喷射前	喷射后
2.5	498	73.7	501	35.1
5.0	501	60.1	499	27.9
7.5	500	55.0	499	19.0
10.0	499	44.9	500	9.5
12.5	500	43.0	500	3.0

注:喷嘴直径 $D=1\text{ mm}$

表 4 降尘效率 (%)

压力/MPa	普通水射流	锥形水射流
2.5	85.2	93.0
5.0	88.0	94.4
7.5	89.0	96.2
10.0	91.0	98.1
12.5	91.4	99.4

6 结 论

- 1) 射流的雾化能力和捕尘效果随压力的升高而提高;
- 2) 锥形水射流较之普通水射流具有更大的雾粒分布区、更小的雾粒粒径和更均匀的雾粒分布;
- 3) 锥形水射流的雾化能力和捕尘效果均优于普通水射流,这在低压段(如约 2.5 MPa)表现得更加明显;
- 4) 由于锥形水射流喷射时的卷吸能力强,加快了水滴与含尘气体的紊动混合,提高了射流的捕尘能力;
- 5) 改变压力和锥形射流喷嘴的有关尺寸可改变射流的锥角和雾粒粒径,从而满足不同应用环境和喷雾目的的需要。

参 考 文 献

- [1] JONES, P F NOLAN. Discussions on the use of fine water sprays or mists for fire suppression[J]. J Loss Prev Process Ind, 1995, 1(8): 17~22.
- [2] 姚焕文. PSCE 型水射流除尘风机研究[J]. 高压水射流, 1988, 1: 38~43.
- [3] 姚斌. 细水雾灭火技术的研究[J]. 中国安全科学学报, 1998, 6: 21~25.

Experimental Study on Cone Water Jet

ZHANG Feng-hua, LIAO Zhen-fang

(College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

ABSTRACT: The model of conical membrane atomization for cone water jet is presented. The atomizational ability and dust-laying effect for water jet are investigated experimentally. Some results are useful for dust-laying and fire-extinguishing researchers and designers.

KEYWORDS: cone water jet; membrane; atomization; dust-laying

(责任编辑 张小强)