

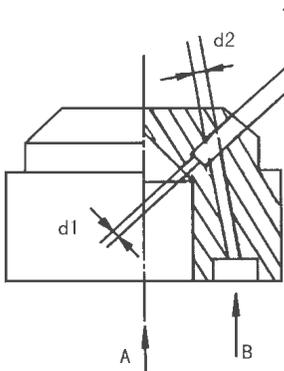
燃油喷嘴气液两相流雾化特性研究

(西安交通大学) 李广军 王新军 向宇 郭烈锦
(电力工业部热工研究院) 段建中 何红光

【摘要】 以空气、水为工质,利用马尔文粒度分析仪对气液两相流雾化器喷嘴的雾化特性进行了详细的实验研究。测量了气、液两相流不同入口压力比条件下通过喷嘴后形成的液体雾化粒子的粒径分布,详细讨论分析了气、液两相压力及进气、进液方式对喷嘴雾化效果的影响,得出了喷嘴雾化过程中气液两相流量与气液两相压力之间的变化规律和最佳雾化原则,并对喷嘴的雾化机理进行了探讨。

关键词: 喷嘴; 气液两相流; 雾化特征; 液体粒径分布
中图分类号: TK223.23; O359.1

1 概述



TYPE I: A 水 B 空气
TYPE II: A 空气 B 水
图 1 两相流雾化器的结构简图

液体雾化在工业生产过程中非常普遍,雾化粒子尺寸的分布特性对工业生产至关重要。如在大型电站锅炉燃烧器中,当燃油投入使用时,油喷嘴雾化的效果将直接影响到燃烧的稳定及燃烧效率。因此对喷嘴雾化特性进行详细的研究,具有重要的意义^[1,2]。

本文以空气、水为工质,利用马尔文粒度仪对电站燃煤粉锅炉点火助燃气液两相流油喷嘴进行了详细的实验研究,以了解油嘴结构、进液方式以及各相压力的配比关系等对其雾化效果的影响及规律。

2 实验装置

图 1 给出了本实验两相流雾化器的结构简图。为对气、液两相不同进入方式的雾化效果进行比较,采用两种不同的工质流动方式(TYPE I 和 TYPE II)。

气液两相的流量利用孔板计量,温度由镍铬镍硅铠装热电偶来测量,压力利用 0.4 级的标准压力表来测量。雾化粒子的尺寸分布利用马尔文粒度分析仪来测量^[3,4]。

实验以空气和水为工质,空气压力为 0.3~0.8 MPa,水压力为 0.3~0.65 MPa,流量在 0.033~0.250 kg/s 范围内。

3 实验结果及分析

3.1 气液两相压力对雾化粒子尺寸的影响

3.1.1 液相压力对雾化粒子尺寸的影响

由图 2 可见:(1)一定气相压力下,随液相压力 P_l 增大,雾化粒子的平均粒径增大,喷嘴的雾化角也逐渐增大;且当液相压力在一定范围内变化时,喷嘴均能获得很好的雾化效果(如 $P_g=0.5$ MPa, $P_l \leq 0.6$ MPa 时)。当液相压力增大到一定数值时,雾化粒子的直径迅速增大,雾化效果变差(如当 $P_g=0.3$ MPa, $P_l=0.4$ MPa 时,液相已出现连续射流现象)。(2)当气相压力大于和等于 0.4 MPa,且液相压力在 0.4~0.6 MPa 范围内变化时,液相粒子的平均直径 d 基本不变。实验中曾对此工况进行了多次测量,结果一致。它对喷嘴最佳工况的选择提供了一定的实验基础。

3.1.2 气相压力对雾化粒子尺寸的影响

由图 3 可见当液相压力一定时,随气相压力 P_g 增大,雾化水滴的平均直径 d 减小,且当气相压力在一定范围内变化时,喷嘴的雾化效果都很好,但当气相压力减小到一定的数值时,雾化粒子的直径将迅

收稿日期: 1997-03-19 收修改稿: 1997-06-03 定稿: 1999-04-25

作者简介: 李广军(1968-),男,山东汶上县人。副教授,博士,从事气液两相流与传热领域的研究工作。通讯处: 710049 西安交大动力工程多相流国家重点实验室。

速增大,雾化效果变差。

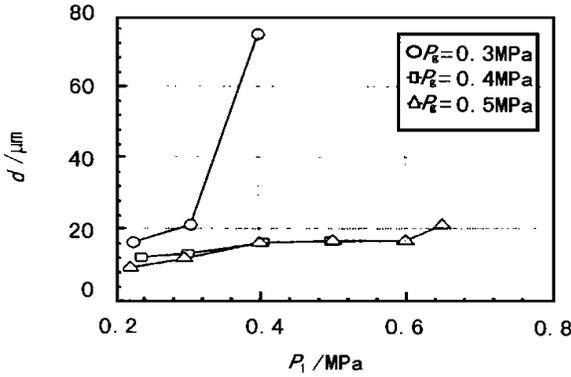


图2 液相压力对雾化粒子直径的影响

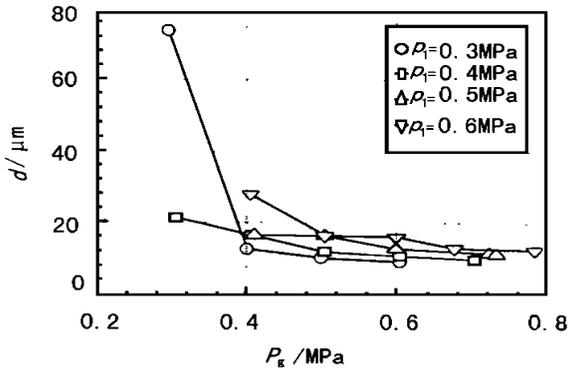


图3 雾化粒子粒径随气相压力的变化规律

3.1.3 气液两相压力之比与雾化粒子尺寸的关系

由上分析知,对一喷嘴而言,要得到理想的雾化效果,气、液两相的压力要保证一定的匹配关系。为进一步了解喷嘴雾化效果与气液两相压力变化的关系,在图4中给出了雾化粒子平均直径与气、液两相

压力之比 P_g/P_l 的变化关系。由图可见雾化粒子的平均直径随 P_g/P_l 的增大而减小;同时还可以发现,除个别情况外(气压和液压均为 0.3 MPa 时),雾化粒子的直径只是气、液两相的压力比的函数。对本实验结构的喷嘴,当气液两相压力均大于或等于 0.4 MPa,且 P_g/P_l 大于或等于 0.9 时,给出以下预测粒子平均直径的计算式,其适用范围为: $0.4\text{MPa} \leq P_g \leq 0.8\text{MPa}$, $0.4\text{MPa} \leq P_l \leq 0.65\text{MPa}$, $P_g/P_l \geq 0.9$ 。

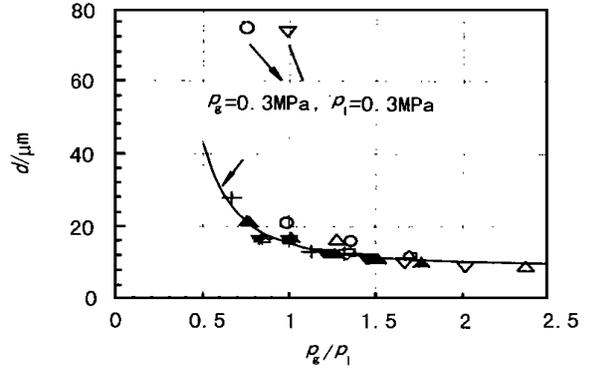


图4 气液两相压力之比与雾化粒子直径的关系

$$d_{\text{Sauter}} = 5.831 (P_g / P_l)^{-2.515} + 9.3969 \quad (\mu\text{m}) \quad (1)$$

上式与实验数据的相关系数为 0.90。93% 的预测值与实验值相对偏差在 $\pm 15\%$ 之内。

3.2 气、液两相流量随气、液两相压力的变化规律

3.2.1 液相流量的变化规律

由图5可见,一定气相压力下,喷嘴液相流量随液相压力增大单调增大,随气相压力增大单调递减。在本实验范围内,液相流量最大不超过 0.25 kg/s。

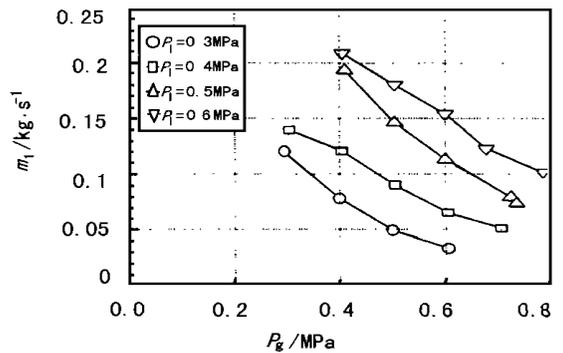
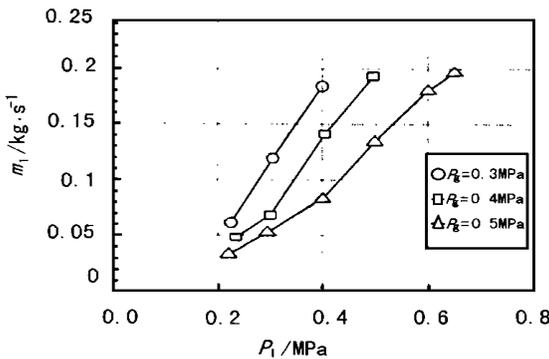


图5 喷嘴液相流量的变化规律

3.2.2 气相流量的变化规律

由图 6 可见, 一定气相压力下, 随液相压力增大, 气相流量减小。在本实验范围内, 气相流量最大

不超过 0.035 kg/s; 而在一定的液相压力条件下, 气相流量随气相压力的增大而增大。

3.2.3 气液两相流量随两相压力之比的变化规律

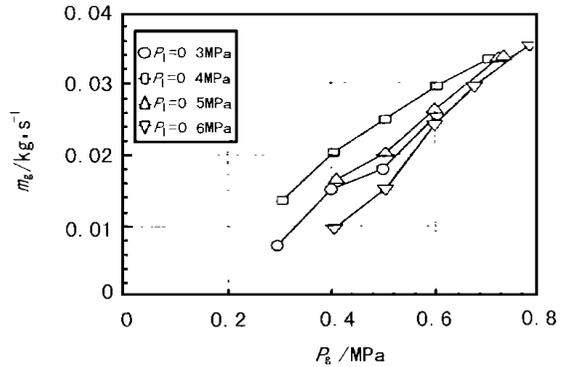
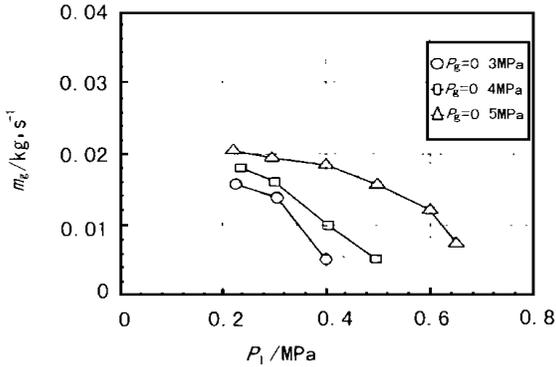


图 6 喷嘴气相流量随液相、气相压力的变化规律

由图 7 可见:

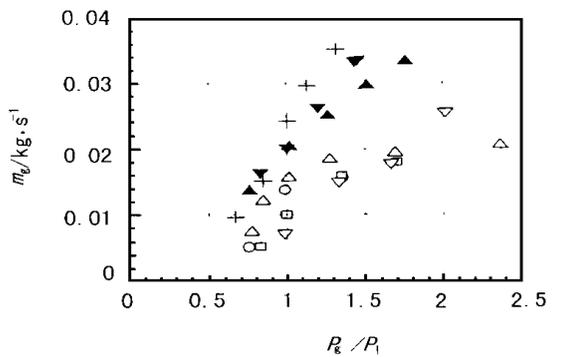
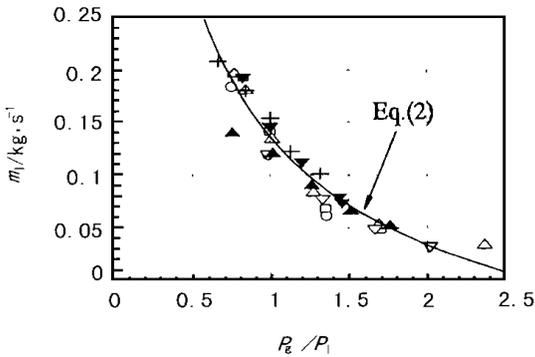


图 7 气液两相流量与两相压力之比的变化关系

(1)液相流量随两相压力之比 P_g/P_l 的增大而减小, 且二者成单调、单值关系, 根据实验数据, 可得到如下的液相流量预测关系式: 其适用范围为 $0.4\text{MPa} \leq P_g \leq 0.8\text{MPa}$, $0.4\text{MPa} \leq P_l \leq 0.65\text{MPa}$, $P_g/P_l \geq 0.9$ 。

相压力下, 随气相压力增大, 也有同样的结论。

3.4 喷嘴雾化机理分析

$$m_l = 0.3268(P_g/P_l)^{-0.5435} - 0.190 \text{ (kg/s)} \quad (2)$$

上式与实验数据的相关系数为 0.93, 其中 93% 的实验数据与预测值的偏差在 $\pm 14\%$ 之内。

(2)气相流量随 P_g/P_l 的增大而增大。

3.3 工质进入方式对喷嘴雾化特性的影响

图 8 给出了一定气相压力下, 工质两种不同进入方式时雾化粒子直径随液相压力的变化规律。由图可见在相同的流动条件下, 第二种流动结构(Type II)雾化粒子的直径都比第一种结构的大, 且随液相压力增大, 其粒径增大的幅度也大得多。由此可见, 第二种结构的雾化效果比第一种要差。对于一定液

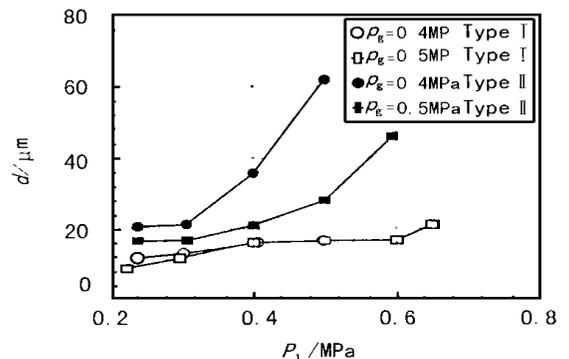


图 8 不同工质进入方式对喷嘴雾化效果的影响

由液体雾化的理论研究可知, 不论是什么类型的雾化器, 要使液体从整体连续状态全部分散成液

滴状态必须经历以下两个物理过程^[1]：(1)将液体扩散为很薄的液膜或很细的液束；(2)将液膜(或液束)破碎为各种尺寸的液滴群。这是确定雾化结构时所应遵循的基本原理。根据实验总结出的雾化粒度 d 与液膜厚度 t 之间的关系^[3]：

$$d \propto t^{0.55} \quad (3)$$

由此可见，在第一阶段形成的液膜越薄或液束越细就容易得到较细的雾化粒度，第二阶段各类型雾化器所采用的方法没有本质的差别，均是通过造成液体与周围介质之间相对运动来实现，本实验所用喷嘴的能量是气流动能。根据文献[5]和[6]知，在本文研究的实验参数范围内，气、液两相在离开雾化器喷射孔之前的流动皆为环状流，很显然当气(液)相压力一定时，随液(气)相压力增大，液相流量增大(减小)(图5)，因此环状液膜的液膜厚度增大(减小)，根据式(3)，从而使得雾化液体粒子粒径增大或减小(图2、3)。当气相动能不足以将环状液膜破碎为液滴时，即形成射流现象。

第二种流动结构条件下雾化粒子平均直径比第一种结构大，基于以下三个原因：(1)第二种流动结构下气流的中心动能没有被充分利用^[5]；(2)液体由于与喷孔壁面撞击破碎形成较大尺寸的液滴被气流卷带出喷嘴；(3)气液两相的流动通道的直径的不同。

4 结论

通过对燃油喷嘴雾化特性实验结果的分析，可以得到以下几点结论：

(1)一定气相压力下，随液相压力增大，雾化粒子的平均直径增大；一定液相压力下，随气相压力增大，雾化粒子的平均直径减小。当液相、气相压力在一定范围内变化时，喷嘴均能得到良好的雾化效果。根据对实验结果的分析，对于本实验所用喷嘴，当

气、液两相的压力满足 $P_g \geq 0.4\text{MPa}$, $P_l > 0.4\text{MPa}$, 且 $P_g/P_l \geq 0.9$ 时，可以获得较理想的雾化效果，此时雾化粒子的 Sauter 平均直径 d 可由式(1)计算得到。

(2)液相流量随气相压力增大而减小，随液相压力的增大而增大；气相流量随气相压力的增大而增大，随液相压力的增大而减小。在本实验范围内，液相流量最大不超过 0.27 kg/s ，气相流量最大不超过 0.035 kg/s ，在本文实验范围内，液相流量可由式(2)来计算得到。

(3)通过改变进水、进气结构对雾化效果的分析可知，第一种流动结构(即液相在中间，气相在周围)的喷嘴雾化效果要比第二种流动结构(即气相在中间，液相在周围)的效果好得多，因此在实际应用中，建议使用第一种结构形式。

符号说明

d	粒子直径, μm	下标	
m	质量流量, kg/s	g	气相
P	压力, MPa	l	液相

参考文献

- [1] 姚秀平, 俞茂铮等. 催化裂化装置新型重油雾化器的开发研究. 西安交通大学学报, 1991, 25(2): 113~118.
- [2] Takeshi Sakai. Mean diameters and drop size distribution of suspension sprays. Atomisation and Spray Technology, 1985, (1): 147~164.
- [3] 周俊虎, 姚强, 黄镇宇等. 激光衍射光散射技术在水煤浆喷嘴雾化特性测量中的应用. 多相流检测技术进展. 李海青, 乔贺堂主编. 石油工业出版社, 1996: 344~348.
- [4] User's Guide for Malvern Particle Analyzer, Malvern Instruments LTD, UK.
- [5] 毛靖儒, 姚秀平, 孔琼香. 用高速摄影技术进行液体雾化机理的研究. 多相流检测技术进展. 李海青, 乔贺堂主编. 石油工业出版社, 1996: 306~310.
- [6] 林宗虎编著. 气液两相流与沸腾与传热. 西安交通大学出版社, 1990.

(复 编)

市场信息

采购指南

“Power Engineering”1998年12月号发布了供电站建造者和营运者用的1999年采购指南。

列出了电站设备(包括燃气轮机、汽轮机、锅炉等)建造、维护和运行中使用的各种产品。

这份清单包括约400种产品以及2500多个供应者。

详细列出了提供产品并提供服务的各公司的细节, 诸如地址、电话号、传真号、电子信箱地址及公司的联系人。

(思娟 供稿)

船用增压锅炉技术的新进展 = **New Developments in Marine Supercharged Boilers** [刊, 中] / Liu Changhe (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1999, 14 (4). -

A brief description is given of the working principles, construction design, performance parameters of naval supercharged boilers as well as their research and development history and operating experiences. Also proposed is a more advanced overall layout scheme based on an improved boiler design. **Key words:** boiler, supercharged boiler, design, research and development

核态池沸腾中气泡生长和脱离的动力学特征 —— 气泡动力学研究回顾 = **Dynamic Characteristics of Bubble Growth and Detachment in the Course of Nucleate Boiling - Part I: A Review of Bubble Dynamic Study in Nucleate Boiling** [刊, 中] / Yang Chunxin, Wu Yuting, Yuan Xiugan (Beijing Aeronautical and Aerospace University), Ma Chongfang (Beijing Industrial University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1999, 14 (4). -

This paper presents a systematic review and analysis of the research progress of bubble dynamics over the past fifty years. Some deficiencies in the study of bubble growth and detachment have been identified with the orientation of future development conducive to a further in-depth study of the bubble dynamics being pinpointed. **Key words:** nucleate boiling, bubble, detachment diameter, detachment frequency, overview

燃气轮机进气用蒸发式冷却器中的气水分离技术实验研究 = **An Experimental Study of the Gas/Water Separation Technology for a Gas Turbine Inlet Air Evaporative Cooler** [刊, 中] / Lin Feng, Li Weishun, et al (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1999, 14 (4). -

Proceeding from the aim of enlarging engineering applications the authors have conducted an experimental study of the characteristics of a novel plant-mesh pad type gas/water separator developed by No. 703 Research Institute on its own. Meanwhile, performance evaluation was made of corrugated-plate inertial-grade gas/water separators commonly used in industries nowadays under certain specific conditions. The results thus obtained are of practical value for facilitating engineering applications. **Key words:** evaporative cooler, gas/water separation, large water droplet separator

燃油喷嘴气液两相流雾化特性研究 = **A Study of the Two-phase Flow Atomizing Characteristics of Oil Spray Nozzles** [刊, 中] / Li Guangjun, Wang Xinjun, Xiang Yu, et al (Xi'an Jiaotong University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1999, 14 (4). -

With air and water serving as working media a detailed experimental study was conducted of the atomizing characteristics of a two-phase flow atomizing nozzle with the help of a Malvern particle size analyzer. During the study measurements were made of the particle size distribution of atomized liquid particles formed after having passed the spray nozzles under different inlet pressure ratio conditions of the gas/liquid two-phase flow. Discussed and analyzed in detail was the influence on the nozzle atomizing effectiveness of the gas/liquid two-phase pressure and the gas and liquid feeding mode. As a result, determined was the variation relationship between the gas/liquid two-phase flow rate and gas/liquid two-phase pressure in the course of nozzle atomizing process as well as the optimum atomizing principles. In addition, the nozzle atomizing mechanism has also been discussed. **Key words:** spray nozzle, gas/liquid two-phase flow, atomizing characteristics, liquid particle size distribution

煤粉浓缩器阻力特性的试验研究 = **An Experimental Investigation of the Resistance Characteristics of Pulverized Coal Concentrators** [刊, 中] / Shi Liming, et al (Qinghua University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1999, 14 (4). -

By the use of an approximation simulation method a study was conducted of two types of pulverized coal concentrator without guide plates with respect to the variation of their mound-body and louver resistance characteristics with the change of structural parameters. The test results show that with the increase in mound-body inclined surface length there is an increase in the resistance factor. The louver resistance factor increases with an increase in the blade inclined angle or blade width. The variation of blade spacing ratio has a fairly significant effect on fluid flow. A relatively small flow resistance is