

# 燃气轮机组进气用蒸发式冷却器中的气水分离技术实验研究

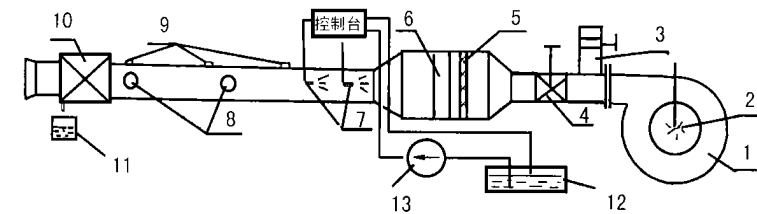
(哈尔滨七〇三研究所) 林 枫 李伟顺 侯宇辉 闻雪友

**【摘要】** 从工程应用角度出发,对自行开发的新型植物网垫式气水分离器的特性进行了实验研究,同时对目前工业中常用的波形板惯性级气水分离器在特定使用条件下的性能进行了测定,得出对工程具有实用价值的结果。

**关键词:** 蒸发式冷却器; 气水分离; 大粒度水滴分离器

中图分类号: TK47; TK264.1 文献标识码: A

## 1 简介



1—风机, 2—湿度调节喷嘴, 3—旁通管, 4—调节阀, 5—稳流网, 6—功率可调电加热器, 7—喷嘴, 8—激光测量孔, 9—温湿度测孔, 10—水分离组件, 11—计量水桶, 12—计量水箱, 13—水泵。

图1 实验装置简图

当燃气轮机组入口采用蒸发式冷却器以提高其在较高环境温度下的出力及经济性时,为了控制进入压气机内的水量以及大粒度水滴,在蒸发式冷却器下游应设置气水分离装置<sup>[1,2]</sup>。目前常用的气水分离器主要有两种类型:一、惯性级分离器;二、丝网式分离器。本文所研究的自行开发的植物网垫式气水分离器属于后一种。这种分离器是经过对多种植物体进行反复试验而精选出来的,它利用了植物体的细密性,亲水性和保湿性等特点,不但具有较高的气水分离效率,而且还对空气具有较强的加湿作用。文献[3]报导了国外利用植物网垫对压气机进气进行加湿/冷却的应用实例。丝网式气水分离器在除

去空气中水滴颗粒的同时,会对水滴起到凝聚作用,将小粒径的水滴凝聚成大粒径水滴,以至于有些场合将其做凝聚器来使用<sup>[4]</sup>。与丝网式分离器不同,从理论上讲,通过控制惯性级的几何参数可以使粒径小于某一数值,如 $10\mu\text{m}$ 的水滴通过,而除去 $10\mu\text{m}$ 以上的水滴。但在实际应用中如何保证惯性级后的气流中完全不存在大粒径水滴,如果有大颗粒水滴存在,其所占的比例有多大,便是一个值得研究的问题。

关于波形板惯性分离器的效率、阻力特性与其几何参数、空气流速等因素的关系,到目前为止,国内外已做了大量工作。本文只对其另一特点——分离器前后空气中水滴颗粒尺寸分布与几何参数、空气流速的关系

进行实验研究。进行此研究的目的在于通过让一定量的具有一定粒度的水滴进入压气机中,起到中冷作用,以进一步提高发动机的出力和效率。

## 2 实验装置简介

本文的实验装置见图1。实验时通过流量调节阀及旁通挡板来共同调节实验段的空气流速。

通过计量水箱12测定一定时间内喷入气流中的水量,通过计量水桶11测定一定时间内分离器分离出的水量。各激光测量孔处罩有光学玻璃以保证良好的透光性及空气流道的气密性。本实验中由光学玻璃造成的粒径测量误差 $<0.2\mu\text{m}$ 。

## 3 实验结果及分析

### 3.1 植物网垫式气水分离器实验研究

收稿日期: 1999-01-22 修改完稿: 1999-03-30

本文联系人: 林 枫(1966-),男(满族),辽宁抚顺人,博士研究生。通讯处:150036 哈尔滨市77信箱4分箱

气水分离器的分离效率定义为:

$$\eta_{分} = G_{分} / G_{水} \quad (1)$$

其中:  $G_{分}$ : 分离器分离出的水份

$G_{水}$ : 空气中所含水份

通过对植物网垫的分离效果测定表明: 当网前正面风速为 2.65 m/s 时, 其分离效率为 97%。当网前正面风速为 2.0 m/s 时, 在分离器后已采集不到水颗粒, 此时可以认为分离效率接近 100%。可见这种由植物制成的分离器具有非常好的气水分离效果。这是因为植物纤维具有亲水性, 而沿纤维纵向又具有较好的导水性能, 虽然网垫厚度不大(本实验为 20 mm), 水却不易透过。实验中观察到, 在大风速条件下, 即使有少量水滴出现在网垫的背面, 由于纤维的亲水作用, 水滴也不易被气流带走, 而是逐渐沿纤维方向向下流动。当采用金属丝时, 纵横交错的金属丝使得所形成的水滴向下流动不畅, 容易穿过丝网, 一旦透过丝网又很容易被气流带走。所以用金属丝网做分离器时, 一般需要较大的厚度(大于 50 mm)才能获得较高的分离效率。实验表明, 对于植物网垫式分离器, 其安装角度及方向对分离效率有较大影响。本文实验中所采用的植物网垫的阻力特性见图 2。

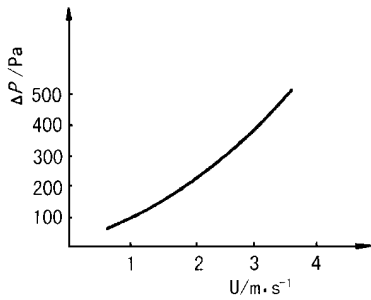


图 2 植物分离器阻力特性

为了衡量这种植物式网垫在除水的同时对空气的加湿能力, 实验中将其与目前国内外常用的海藻加湿膜进行了对比实验。在面积相同、阻力接近的

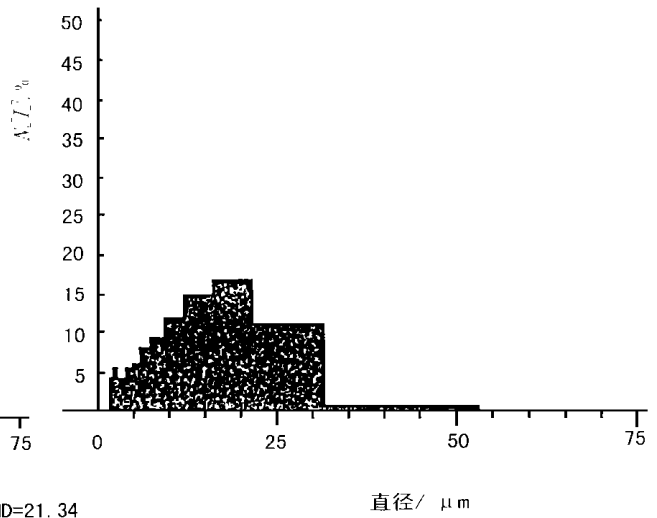
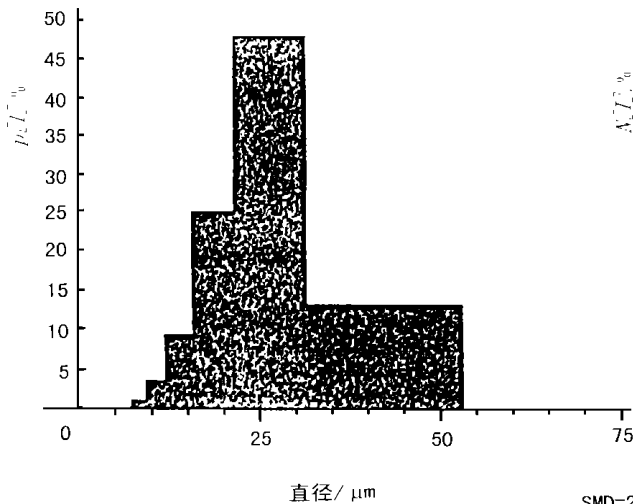


图 4 水滴粒径分布

条件下, 25℃、18% 相对湿度的空气经喷水量 1.10% 喷雾与海藻湿膜加湿后, 测得相对湿度为 85%, 而用植物网垫代垫海藻湿膜后, 测得空气相对湿度为 95%。

### 3.2 惯性级气水分离器实验研究

丝网式气水分离器的普遍缺点之一是破膜速度较低, 使用时正面风速一般控制在 2~3 m/s。而采用惯性级进行气水分离时, 破膜速度可大大提高, 其正面风速可达 8~12 m/s。对于图 3 所示的惯性级, 其节距定义为  $W = B/L$ 。

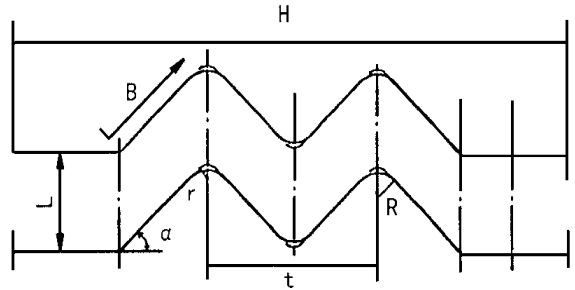


图 3 惯性级结构图

图 4 为惯性级前空气中水滴颗粒的粒度分布情况: 其中  $P(I)$  为质量百分数,  $N(I)$  为颗粒数百分数,  $SMD$  为 Sauter 平均直径。

实验中, 对每一工况点进行多次采样测量, 以确保测得结果具有代表性。特别在气流速度较高达到破膜速度时, 如果只进行少量次数的采样测量, 有可能捕捉不到破膜所产生的大粒度水滴。

图 5 为对应于不同的惯性级节距  $W$  及不同的正面风速  $U$ , 在惯性级后测得的空气中水滴的平均直径。

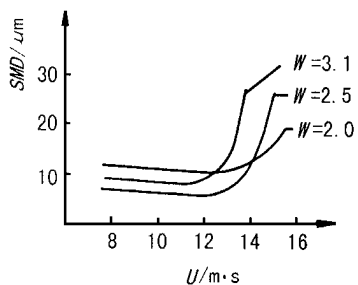


图5 惯性级分离特性

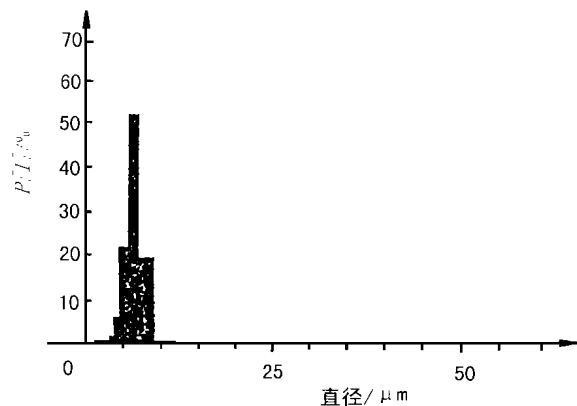
从图5中可以看到, 节距  $W$  一定时, 在空气流速达到破膜速度之前, 随着气流速度提高, 水滴颗粒的平均直径呈减小趋势。空气流速一定时, 随着节距  $W$  在一定范围内的增加(未达到破膜速度), 水滴的平均直径也呈下降趋势。当  $W$  增加到一定数值时, 水滴的平均直径反而上升。原因是由

于流道过窄, 造成了二次携带, 当气流速度达到破膜速度后, 虽然水滴颗粒的平均直径仍较小, 但从图6所示的直方图中可以看到, 这时气流中已存在直径在  $100 \mu\text{m}$  以上的水滴, 这将对压气机的安全运行非常不利。因此在实际应用中应避免气体流速超过破膜速度。从以上实验结果中可以看到, 随着节距  $W$  的降低, 破膜速度随之升高。

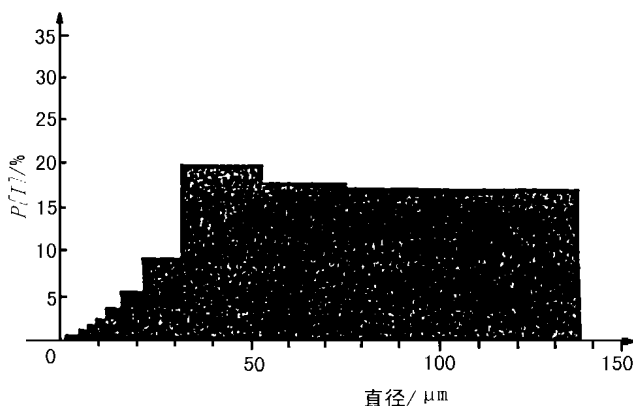
图6为空气流速达到破膜速度前后的惯性级后测得的水滴粒度分布情况。

图7为所采用的惯性级在不同节距及空气流速下的阻力变化情况, 随着流速和节距的增加, 阻力增加比较明显。

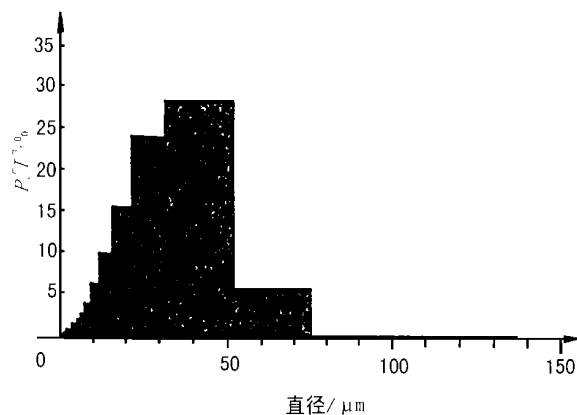
图7为所采用的惯性级在不同节距及空气流速下的阻力变化情况, 随着流速和节距的增加, 阻力增加比较明显。



6a)  $W=2.5$   $U=12 \text{ m/s}$ ,  $SMD=6.2 \mu\text{m}$



6b)  $W=2.5$ ,  $U=15 \text{ m/s}$ ,  $SMD=27.0 \mu\text{m}$



6c)  $W=2.0$ ,  $U=15 \text{ m/s}$ ,  $SMD=17.11 \mu\text{m}$

图6 破膜速度前后水滴粒径分布

综合上述实验结果可以得出结论: 惯性级能有效地分离气流中大粒度水滴。其最佳节距  $W_{\text{opt}} \approx 2.5$ , 气流速度应控制在  $8 \sim 12 \text{ m/s}$  范围之内。

### 4 结论

(1) 植物网垫式气水分离器在网前正面风速

$2 \sim 3 \text{ m/s}$  时有很好的除水效果, 同时对空气有较强的加湿作用, 有很好的应用前景。

(2) 波形板惯性级能有效地去除空气中所含的大粒度水滴, 从而显著地降低空气中所含水滴的平均直径。

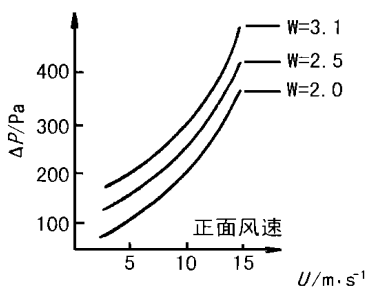


图7 惯性级阻力特性

### 参考文献

- [1] Johnson R.S. The theory and operation of evaporative coolers for industrial gas turbine installations. Journal of Engineering for Gas Turbine and Power, April 1989, 111:327~334.
- [2] Iroin Stambler. Spray cooling inlet and compressor flow increases hot day plant rating. Gas Turbine World, May-June 1997, 27:37~42.
- [3] 'KHUS' Water Curtain cuts inlet temperatures by 10 degrees. Gas Turbine World, November-December 1995, 25:43.
- [4] 张志俭著. 湿蒸汽汽轮机汽水分离技术. 哈尔滨工程大学出版社, 1997.

(复 编)

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