

新型喷雾光学测量仪的研制

吴伟亮, 陈汉平, 金 浩, 罗次申

(上海交通大学 机械与动力工程学院, 上海 200030)

摘 要: 饱和器是 HAT 循环中的关键部件, 如何测量其内部水滴粒径、浓度及其变化是现在研究工作中的一个难题。文中描述了一种新型光学喷雾粒径、浓度测量系统, 利用该系统对双流体喷嘴在空气中喷雾时水滴粒径及在不同位置的变化进行了测量, 同时在相应位置和相同工况下用 PDA 对喷雾特性进行了比较测量。对得到的实验数据进行定量分析, 说明测量结果的准确性。实验测量结果表明, 用该系统测量喷嘴喷雾粒径是可行的, 可以进一步用于饱和器内部水滴的测量。

关 键 词: 喷雾特性; 喷雾测量; HAT 循环; 饱和器; PDA

中图分类号: TK11; TH741 文献标识码: A

1 前 言

HAT 循环具有高效低污染等优良性能, 被称为未来几十年中最富有竞争力的热力循环方式之一^[1]。与普通燃气轮机回热循环和联合循环不同, HAT 循环利用一个被称为饱和器的部件进行传热传质, 饱和器是 HAT 循环中的关键部件。由于饱和器内部过程非常复杂, 国内外都从实验角度对其进行了研究^[2~4]。这些实验研究工作主要集中在对饱和器总体性能上的探索, 如进出口水和空气传热传质间的相互影响等。由于测量技术和手段上的原因, 对水滴传质的细节研究尚处在摸索阶段。

热水可以以多种方式进入饱和器, 通过与空气的接触进行传热传质。为了增强传热传质效果, 通常采用热水喷淋到主流空气中的方法。在这种形式饱和器的研究工作中, 水滴粒径和浓度是非常重要的参数, 对饱和器性能有重要影响, 因此首先要解决喷淋水滴粒径测量问题。由于喷雾形成的液滴都有一定速度, 能够独自在空间存在的时间有限, 采样法测量时存在相当大的难度。所以现代喷雾测量技术要求过程必须是非接触和在线的, 这对测量技术和仪器要求都很高。到目前为止, 能够用于喷雾测量

的成熟技术和仪器种类并不多, 且主要集中在光学类测量仪器。光衍射式颗粒粒度分析仪^[5~9]和相位多谱勒分析仪(PDA)^[7~9]被广泛地使用在喷雾实验研究方面, 也有利用激光全息测量喷雾粒径的报道^[10]。其中光衍射式颗粒粒度分析仪和 PDA 对于自由空间中的喷雾测量, 近乎达到了完美的程度。

利用上述测量仪器对象饱和器这样封闭容器内部喷雾进行测量时, 有很多不足之处: 光衍射式颗粒粒度分析仪由于需要接收颗粒的衍射光, 接收端的光窗要求相当大的面积; PDA 测量要求激光发射和接收端成一定角度, 激光束也有多条, 这对光窗数量和位置都有苛刻要求; 而全息技术对光路的要求众所周知。真实饱和器是工作于高温高压下的封闭容器, 对光窗强度要求很高, 而且内部强烈的湍动无法避免地使水滴污染光窗表面, 从而降低测量精度, 严重时导致实验失败。这些问题实际上来自于仪器本身, 因为仪器原理和生产商的原因, 现有条件下在进行饱和器实验时, 只能以仪器为中心, 使实验用饱和器设计首先要满足仪器使用要求。所以有必要针对此开展研究, 以饱和器试验件为中心, 开发出适合高温条件下的高压封闭容器的喷雾粒径测量系统。

2 测量系统

在能够测量喷雾范围粒径的光学技术中, 脉动法(fluctuation method)是近几年发展起来的方法。该方法最早由 Wesely 和 Ripper 等人实际应用到颗粒测量中^[11], 后由本文作者进行了改进和发展^[12]。该技术利用透射光信号, 结合光散射理论和颗粒在空间分布概率规律计算求解颗粒粒径和浓度。由于测量的是透射信号, 而且为了增强信号中有效脉动的份额, 系统中均采用直径细小的激光光束, 所以据此开发的测量系统的光发射和接收端可以做得很

小,为仪器的各种在线使用提供了先天优势。

该种测量技术不但可以给出喷雾的粒径,还可以给出空间体积内的颗粒浓度。因此,测量结果除了可以用来观察喷雾粒径的变化外,还可以用来研究喷雾浓度分布均匀程度。

系统工作原理参见图 1。

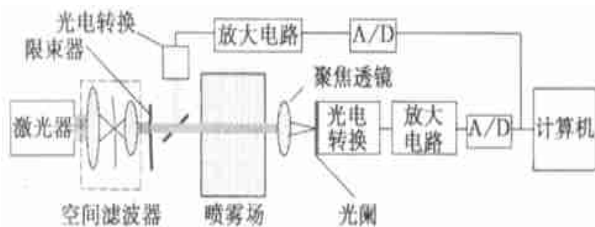


图 1 喷雾测量系统工作原理图

激光光源发出的激光首先通过空间滤波器,形成高质量的光束;利用限束器,得到测量工作需要的细光束;这一光束经过透射——反射镜,分出部分光能作为参考光,用来计算入射光的强度,而主要部分穿越喷雾场;在另一端,穿超喷雾场的光束通过聚焦透镜——光阑组合后由光电转换元件接收,将光信号转换成电信号;该电信号经过必要的放大处理后经 A/D 转换后输入到计算机,由计算机负责计算喷雾液滴的粒径和浓度。

测量系统光学部分由分离的发射端和接收端组成(见图 2),这种结构可以根据喷雾浓度、现场条件和所要测量部位随意调节发射端和接收端间的距离、安装方式和位置,应用上非常灵活方便。

为了保护发射端和接收端内部的光学、电子器件不被喷雾水滴污染,本系统采用空气保护方式,即从发射端和接收端内部吹出清洁空气,只要空气射流的速度足够大,就可以防止水滴进入测量装置内部。为了降低空气射流对喷雾场的干扰,可采取两种措施:一是减小空气射流孔的直径,这样可以降低所需的空气流量。测量系统发射端和接收端的射流孔直径分别为 3 mm 和 5 mm;这样小孔径可以保证空气射流的干扰程度不会很大;二是控制流体的射流速度,在保证水滴不进入传感器内部的前提下,尽量用低的空气射流速度。测量实际饱和器时,可以通过安装必要的流量调节装置来完成,而保护空气的气源可以直接从饱和器前端的压气机中获得。

另外,本测量系统所根据的测量原理是一种绝对方法,原则上不需要标定工作。由于元器件的加

工精度和光束的衍射作用的影响,本发明在使用前应该进行一定的校正实验,这较标定实验的工作量要小。

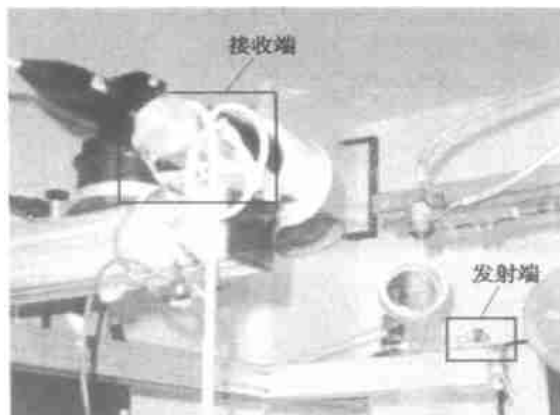


图 2 喷雾测量实验

3 喷嘴特性测量及结果

本系统原本是为在线测量饱和器内部喷雾场开发的,在应用到饱和器现场测量之前,应该对其可靠性进行实验验证。该系统所依据的原理的可靠性在文献[12]中利用标准颗粒给出了充分的实验证明,但对于此新的喷雾测量系统的可靠性还需要通过实验来证明。根据现有条件,利用本喷雾测量系统和相位多谱勒动态分析仪(PDA)对喷雾场在相同条件下进行了比较测量,测量对象为上海交通大学涡轮机研究所自行开发的气液两相流喷嘴,并以 PDA 测量结果为准,对本系统测量的结果进行了说明。

实验时喷嘴被安装在固定支架上,喷出的水被安置在下方的大水槽收集并循环使用。新研制的喷雾测量系统和 PDA 探头同时安装在自动三维导轨架的横梁上,通过仪器上各自的调节装置使本喷雾测量系统和 PDA 处于良好工作状态。实验中所用的三维导轨架是全自动的,可以利用计算机控制其在三维方向上的移动。通过三维导轨的运动,实现对喷嘴不同位置喷雾粒径和浓度测量,图 2 为喷雾实验时的照片,新研制的喷雾测量系统的发射端和接收端在照片上标识出来,它们旁边带有大透镜的器件为 PDA 发射和接收探头,从照片上可以看出,本喷雾测量系统的发射和接收端体积相当小。

在测量数据比较中有一点需要说明,PDA 测量的是单个颗粒的粒径,而本发明测量的是被激光束

照亮直线上所有水滴的平均粒径, 严格讲两种测量结果之间没有可比性。但喷雾液滴粒径都很小, 由于表面张力的作用, 水滴球形度也很好, 两者的粒径测量结果在变化趋势上应相同, 数值上的差异也不应很大。PDA 测量结果是这样表示的: 沿一条穿过喷嘴轴线的水平线上, 每隔 3 mm 设定一个测量点, 这些测点上所有的测量结果的等效 Sauter 平均值作为在这一直线上喷雾的平均粒径, PDA 的测量方式和粒径计算方法如图 3 所示, 实验测量结果见图 4。由于 PDA 探头安装在具有一定高度的支座上, 而且自动导轨架的行程有限, 新研制的测量系统没能测得距喷嘴最近点(距离喷嘴口 160 mm)的水滴粒径数据。

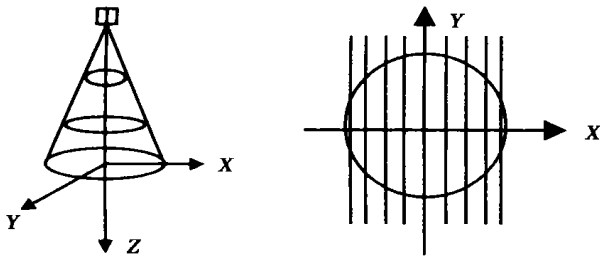


图 3 PDA 测量结果的表示方法

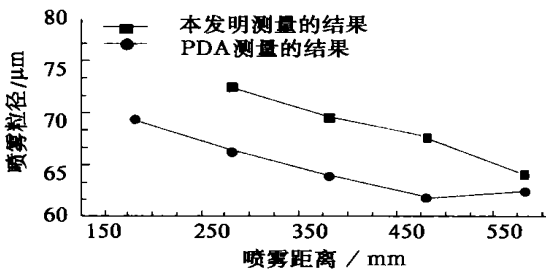


图 4 比较实验测量结果

图 4 的实验结果表明, 本喷雾测量系统实验结果同 PDA 测量结果间有一定差异, 这种差异可能的来源: (1) 由于两种系统的测量原理不同, 他们对粒径的解释也不同; (2) 被测对象不完全一致: PDA 测量结果是在一条直线上不同点上测量结果的平均值, 而新测量系统测量的是光束照亮区域上所有颗粒的平均值; (3) 新喷雾测量系统在使用前没有经过校正, 由于限束器加工精度和激光束的衍射作用, 测量结果不可避免地存在一定测量误差。但从总的实验结果来看, 本系统测量结果同 PDA 测量结果粒径变化趋势是相同的, 在数值上两者之间相对偏差小

于 10%, 说明新研制的喷雾测量系统可以用于喷雾场的测量。

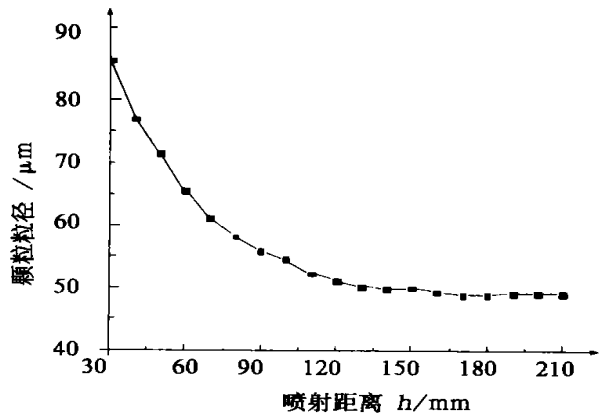


图 5 确定工况下喷雾粒径随喷射距离的变化

在现有条件下无法用其它经证实的方法测量喷雾场粒子浓度, 也就无法对用本系统测量出的浓度数据给出合理性说明, 所以文中没有给出浓度测量数据。但在脉动法测量原理中, 颗粒粒径和浓度是根据相同方程组导出, 粒径和浓度测量结果的合理性从理论上讲应是统一的, 所以粒径测量结果的合理性可以作为对浓度测量的一个间接评价。

另外, 应用本测量系统对其它型号的气液两相流喷嘴的喷雾场进行了较详细的测量, 以研究该型两相流喷嘴喷雾过程中的水滴粒径分布规律, 实验结果见图 5 和图 6。图 5 是喷雾粒径沿喷射距离的粒径分布情况, 可以得出两相流喷嘴喷雾在喷射方向上粒径变化规律: 液体在刚离开喷嘴时, 粒径较大, 但沿喷射距离的变化。粒径迅速减小, 液滴喷射到一定距离后粒径变化趋于平缓, 这时可以认为喷雾进入粒径稳定距离。由此可以推论: 在两相流喷嘴雾化室内, 液态水并不能完全雾化, 在喷嘴口附近水滴粒径还是比较大, 在其运动过程中不断同周围空气摩擦, 大水滴进一步被撕裂成更小的水滴, 但由于水滴速度越来越慢, 粒径减小的速度也相应地变慢, 在经过一定距离后, 粒径达到了稳定值。从这一实验现象可知: 在饱和器设计时, 喷嘴的这一距离和喷雾粒径是重要的指标参数。图 6(a)(b)(c)(d) 是喷嘴轴线不同水平截面内水滴在半径方向上粒径分布规律。从图中可以看出, 喷雾粒径在水平截面内的相对分布呈现出如下的发展过程: 在离喷嘴较

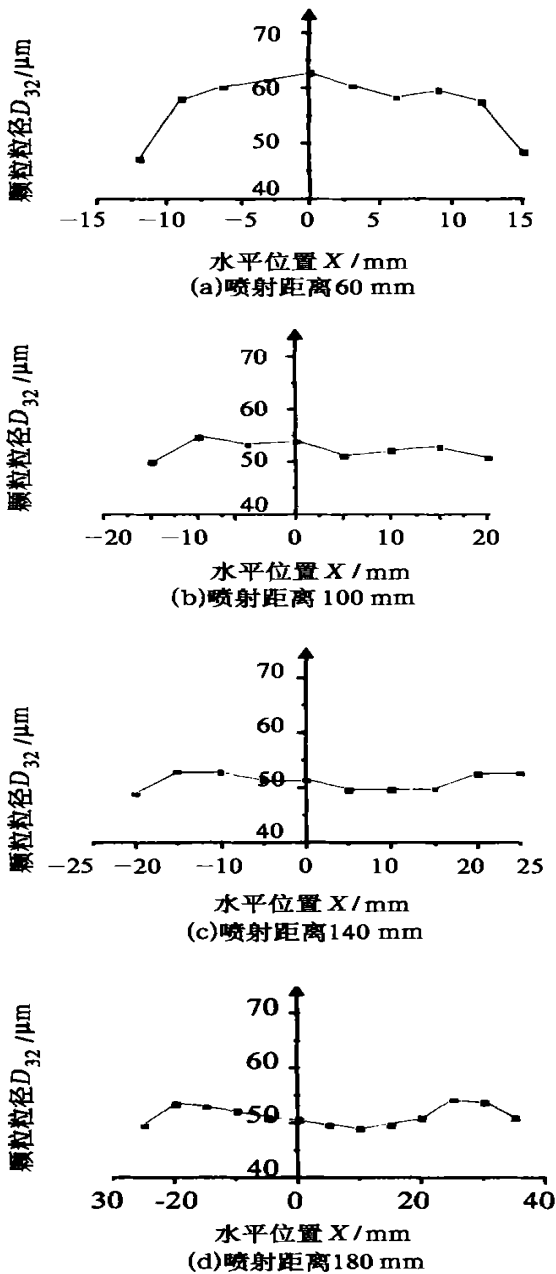


图 6 水平面内沿某一方向喷雾粒径的变化

近的距离内,中心线附近粒径大而边沿粒径小;随着距离的增加,中心的粒径变小,而粒径较大的颗粒逐步向喷雾的边沿靠拢,这一现象可能是由于喷嘴内的旋流造成。在不同的喷雾距离上,喷雾粒径沿某一中心线大致呈对称分布。图 6 中这一中心线不完全同 y 轴重合,可能是由于喷嘴加工、装配存在的误差,以及喷嘴在安装到测量实验台时中心线不完全垂直造成的。

4 结束语

饱和器工作于高温高压环境下,为了利用实验方法研究其内部喷雾过程的传质特性,必须有性能适用的喷雾测量系统,而现有的成熟测量仪器用于喷雾测量,虽说取得了许多令人满意的实验结果,但将它们用于饱和器的热态在线测量仍存在一些难以克服的困难。本文针对这一状况专门开发了适用于象饱和器这样高压压力容器内部喷雾测量的系统,并用该系统对喷嘴在自由空间喷雾特性进行了测量,同时对该喷嘴用 PDA 进行了比较测量。初步实验结果表明,利用新研制系统开展喷雾场特性研究是可行的,它为喷雾特性研究提供了一种新的测量手段,为饱和器的实验研究提供了一种有利的辅助实验工具。

参考文献:

- [1] 焦树建. HAT 循环的热力学分析[J]. 燃气轮机技术, 1995, 8 (2): 1-11.
- [2] 孙晓红, 翁史烈, 王永泓. 湿空气透平循环(HAT 循环)中饱和器性能实验台的设计[J]. 船舶工程, 1998(2): 21-24.
- [3] 赵丽凤, 张世铮, 王 逊. HAT 循环关键部件——空气雾化器的初步实验性能[J]. 工程热物理学报, 1999, 20(6): 677-680.
- [4] AGREN N D, CAVANI A, WESTERNMAVK M O. New humidifier concept in evaporative gas turbine cycles[A]. **Thermodynamic Analysis and Improvement of Energy System (TAIES 97)**[C]. Beijing: Chinese Society of Engineering Thermophysic, 1997. 134-139.
- [5] 张志伟, 王乃宁, 虞先煌. PSS 激光瞬态颗粒测量装置的研制和应用[J]. 粉体技术, 1996, 2(1): 35-39.
- [6] 陈 斌, 郭烈锦, 张西民. 喷嘴雾化特性实验研究[J]. 工程热物理学报, 2001, 22(2): 237-240.
- [7] GILLANDT I, FRITSCHING U, BAUCKHAGE B. Measurement of phase interaction in dispersed gas/ particle two-phase flow[J]. **International Journal of Multi Phase Flow**, 2001, 27: 1313-1332.
- [8] AISA L, GARCIA J A, CERECEDO L M. Particle concentration and local mass flux measurements in two-phase flows with PDA[J]. **International Journal of Multi Phase Flow**, 2002, 28: 301-324.
- [9] 梁雪萍, 郭志辉, 徐 行. 气泡雾化喷嘴水平喷射的雾化特性研究[J]. 北京航空航天大学学报, 1998, 24(1): 24-27.
- [10] 余金刚, 周彦煌, 李 丽. HAN 基液体发射药喷雾场颗粒分布特性研究[J]. 弹道学报, 2001, 13(2): 37-40.
- [11] WESELY B. The use of statistical properties of transmission signals for particle characterization[J]. **Chemical Engineering & Technology**, 1996 19(5): 438-442.
- [12] 吴伟亮. 脉动法颗粒测量技术及在煤粉输送管道中在线测量的应用[D]. 上海: 上海理工大学, 1999.

(何静芳 编辑)

基于粗糙集理论的汽轮机组回热系统故障诊断模型= **Fault Diagnosis Model for the Regenerative Heating System of a Steam Turbine Unit Based on a Rough Set Theory** [刊, 汉] / WANG Wei-jie, HUANG Wen-tao, ZHAO Xue-zeng, et al (College of Mechanical Engineering under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(6). — 618 ~ 622

After an analysis of the insufficiency of current fault diagnostic methods used for the regenerative heating system of a steam turbine to resolve the problem of redundant fault symptoms the authors have proposed a new fault diagnosis model based on a rough set theory. With the typical fault modes of a regenerating heating system being taken into account a fault diagnostic decision table was established through a discretization of continuous fault symptom attributes. A reduction of the fault symptom attributes was realized by making use of a genetic algorithm. An optimal selection stratagem of minimal reduction is proposed based on domain knowledge. Then, a decision rules base for fault diagnosis was set up through the basic principle of decreasing the given decision rules. When the proposed model is employed for fault diagnosis the discretized fault symptom attributes to be diagnosed are first matched with the diagnostic decision rules in the rules base. The returned diagnostic decision rules will undergo a comprehensive evaluation with a diagnostic conclusion being reached. The simulation of typical faults by a power plant simulator was performed to verify the fault diagnosis model. Engineering practice shows that the proposed model is highly effective in reducing redundant fault symptoms and credited with a good fault-diagnosis effect as well as a fair fault-tolerant capability. **Key words:** steam turbine unit, regenerative heating system, fault diagnosis, rough set theory, genetic algorithm

新型喷雾光学测量仪的研制= **Development of an Innovative Mist-spray Optical Measuring Device** [刊, 汉] / WU Wei-liang, CHEN Han-ping, JIN Hao, et al (College of Machine and Power Engineering under the Shanghai Jiao-tong University, Shanghai, China, Post Code: 200030) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(6). — 623 ~ 626

To measure the water droplet diameter and concentration as well as their variation in a humidifier, the key element of a humid air turbine (HAT) cycle, has long been an intractable problem during relevant experimental tests. In view of this the authors have developed an innovative mist-spray optical system for measuring the water droplet diameter and its changes at various locations during the mist-spray process of a dual-fluid nozzle in air. Meanwhile, at proper locations and under identical operating conditions a contrast measurement of mist-spray characteristics was conducted with the use of a phase Doppler anemometer. The measurement results indicate that the recommended system can be used for measuring nozzle mist-spray particle diameter and is well suited for the measurement of water droplet parameters in a humidifier.

Key words: mist-spray characteristics, mist spray measurement, humid air turbine cycle, humidifier, phase Doppler anemometer

直吹式制粉系统满足等离子点火浓度技术的应用= **Technical Version of a Direct-fired System for Attaining the Pulverized-coal Concentration as Required by Plasma Ignition** [刊, 汉] / ZHANG Xiao-yong, ZHANG Yong-cai, ZHANG Shi-kai, et al (Yantai Longyuan Electric Power Technology Co. Ltd., Yantai, Shandong Province, China, Post Code: 264006), // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(6). — 627 ~ 629

Plasma ignition technology is applied to a dual-in dual-out direct-fired system, which satisfied pulverized-coal concentration requirements and practical operating conditions. The selection of a rational layout for a plasma burner and the proper adjustment of coal-mill operating mode have met the requirements of the temperature-rise and pressure-rise characteristics for the plasma ignition of a boiler. A detailed description is given of the use of an impact-type centrifugal separation-based concentration device for achieving the pulverized-coal concentration required by the plasma ignition. **Key words:** plasma burner, pulverized-coal concentration, ignition

直控式液粘调速器的开发= **Research and Development of a Direct-controlled Hydro-viscous Variable Speed Driver** [刊, 汉] / LI Fu-shang (Shandong Electrical Power Research Institute, Jinan, China, Post Code: 250002),