

激光衍射仪在雾化油滴粒度测量上的应用

范仲华 华彩琴 孙瑜珉

(哈尔滨船舶锅炉涡轮机研究所)

〔摘要〕 本文简述了应用以Fraunhofer几何光学理论为基础的LPI-2型激光衍射粒径仪测量雾化油滴尺寸和分布特性,阐明了这一应用对深入开展油雾化研究的重要意义。

关键词 激光衍射仪 测量技术 燃油雾化颗粒度

1 前言

燃油燃烧中, 喷油器的最重要作用之一, 就是将供入的燃料流分裂为数量尽可能多的油滴, 使燃油表面积尽可能增大, 并使燃料束合理地分布在燃烧区域内。雾化质量对油和空气的混合及燃烧状况有极重要的影响。因此燃料雾化粒度及其分布研究成为一项很关键的基础课题。

油雾在炉膛内燃烧是一个复杂的物理、化学过程, 焦粒的燃烧, 油雾与空气的混合等对油滴燃烧速度都有影响。油滴在炉内停留的时间极其短促, 显然油雾中颗粒愈细, 油气的表面积愈大, 与空气混合愈均匀, 能为燃料在极短时间内达到完全燃烧创造良好的条件。通过油滴粒度测定及其分布特性的研究和评价, 有助于进一步改善喷油器雾化特性。对于强化燃烧, 实现低氧燃烧, 提高燃烧效率以及合理选定锅炉炉膛热容积负荷、炉型等均有重要意义。

2 测量原理

2.1 评定雾化粒度的方法

2.1.1 油滴平均直径

油滴平均直径的计算方法有很多种, 但为评述燃烧过程的特性, 油滴的平均直径通常选用表面积—体积平均直径法即索太尔平均直径法 (S、M、D)。燃料的快速蒸发的能力与其有效表面积成正比, 显然某一燃料流的索太尔平均直径越小即表示燃烧能力越大。

$$S \cdot M \cdot D = \frac{\sum n_i d_i^3}{\sum n_i d_i^2} = \frac{6V}{S}$$

式中 d_i 为某种油滴的直径, n_i 是直径为 d_i 的油滴数, V 为油滴的总体积, S 为油滴的总表面积。

2.1.2 油滴大小的分布

研究表明, 喷油器出口燃油雾化流的油滴大小分布具有一定的规律性, 通常认为 Rosin—Rammner 分布可有效地描述它的分布特性。表征这一特性的公式如下

$$R = 100 \exp \left[- \left(\frac{d_i}{d_0} \right)^m \right]$$

式中 R 表示直径大于 d_i 的油滴重量占取样总重量的百分数 (%), d_0 为油滴的特性尺寸或称粒度常数 (μm), m 值为雾化粒度均匀性指数。对于机械雾化喷油器 $m = 2 \sim 4$ 。如设 $d_0 = d_i$ 则

$$R = 100/e = 36.8\%, \text{ 这就是说, 粒度常}$$

数 d_0 是指大于 d_0 的油滴的重量占试样总重的百分比等于36.8%时的油滴直径。由上式取对数可得

$$\ln \frac{100}{R} = \left(\frac{d_i}{d_0} \right)^m$$

$$\lg \ln \frac{100}{R} = m \lg \frac{d_i}{d_0}$$

则

$$m = \frac{\lg \ln \frac{100}{R}}{\lg \frac{d_i}{d_0}}$$

按此作出的直线图形即为Rosin—Rammeler分布曲线,斜率 m (均匀性指数)决定于油滴大小的分布范围,斜率越大,表示油滴大小越均匀。通常如已知试样中大于两种直径 d_1 、 d_2 的油滴的重量占试样总重量的百分数 R_1 、 R_2 ,可以从下式求出均匀性指数 m 值

$$m = \left(\lg \ln \frac{100}{R_1} - \lg \ln \frac{100}{R_2} \right) / (\lg d_1 - \lg d_2)$$

2.2 粒度的测量方法

长期以来,人们利用颗粒的各种物理特

性研究和开发了很多测量方法和测量装置,目前世界各国研制的测量装置和仪器已达200多种。油滴测量的方法有印痕法、照相法、干涉法和光散射法等,它们各自有其不同的适用范围和应用特点。

光散射法应用于微粒非接触测量,是近年来颇受欢迎的测量方法。随着激光技术和计算机的不断发展和广泛应用,以激光源代替了传统的白光源,使颗粒的光射强度增加了10倍以上,这样光电探测器接受的能量大大增强,加以与计算机配合使用,这种测量方法越来越受到了人们的重视。它明显地具有测量范围宽、精度高、速度快的特点,是目前比较理想的一种测量方法。

2.3 激光衍射粒径测量仪原理

由于测量原理上具体应用的不同,光散射法又分为全散射法,角散射法和衍射法等。我们现用的LPI—2型激光粒径测量仪是国内首批试制的新产品。用激光衍射法进行微粒的直径及其分布的测量基于Fraunhofer衍射理论,其原理如图1所示。

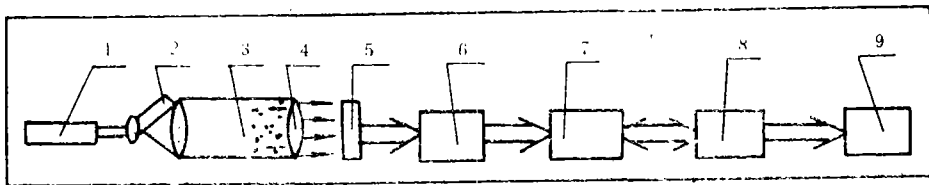


图1 测量原理图

1. 激光器 2. 扩束器 3. 测量区 4. 富里埃交换透镜(接收透镜)
5. 多环光电转换器 6. 放大器 7. A/D转换器 8. 计算机 9. 显示屏及打印机

由激光器1发出的光束经扩束器2后得到一定宽度的平行光。当平行光照射到测量区3的颗粒群时,便会产生光衍射现象,衍射光的强度及分布与颗粒的直径及颗粒的浓度有关;用接收透镜4使由各个颗粒衍射出来的相同方向的光聚焦到该透镜的焦平面上,在该平面上放置一个多环光电探测器5,它是由多个半圆环组成,用来检测衍射光的能量分布。每个环输出的信号正比于照射该环

的全部光能量。由Fraunhofer衍射理论得知,一束平行光照到某一颗粒上,在光屏上产生的衍射光强度分布为:

$$I(\theta) = I_0 \left(\frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{1}{f\lambda} \right)^2 \cdot \left(\frac{2J_1(x)}{x} \right)^2$$

式中 I_0 —入射光强度, D —颗粒直径, f —接收透镜的焦距, λ —入射光线在颗粒周围介质中的波长, J_1 —一阶Bessel函数, $x = \pi D/\lambda$ 。此时环半径从 r_n 到 r_{n+1} ,衍射角是从 Q_n 到

Q_{n+1} , 落在第 n 环的光环上的衍射光能量可由下式得到

$$E_n = \int_{r_n}^{r_{n+1}} I(Q) 2\pi r dr \quad (n=1, 2, \dots, 30)$$

由于油雾束是一个颗粒群, 由上述基本公式可知, 光电探测器上每个光环上所接收的总光能量, 将是每个颗粒的衍射光能量的总和。所有各环上输出的电信号经放大器6和模数转换(A/D转换器7)后一起送入计算机8进行处理, 计算机根据测得的各环上的光能量值按预先编好的计算程序进行计算, 最后将被测颗粒的尺寸分布, 平均直径参数显示并打印出来。

3 测量系统

3.1 激光发射系统

主要由光源、扩束器组成, 其作用是产生一束光强均匀的平行光。

3.1.1 光源 本仪器采用单模的氦氖激光器作为光源, 其波长为 $0.6328 \mu\text{m}$, 额定输出功率为 15 mW 。

3.1.2 扩束器 它是由两个正透镜组成, 相当于一个望远镜系统。其作用是使激光的光束直径增加, 一般控制在 10 mm 左右。

3.2 信号接受系统

主要由富里埃变换透镜、光电探测器, 接口电路组成。

3.2.1 富里埃变换透镜 根据不同的测量要求, 焦距可分别选用 150 、 300 、 600 mm 的透镜, 粒径的测量范围从 $5 \mu\text{m}$ 到 $800 \mu\text{m}$ 。本机根据实际需要, 选用焦距为 330 mm 的透镜, 测量范围从 $6 \mu\text{m}$ 到 $457 \mu\text{m}$ 。

3.2.2 光电探测器 光电探测器由多个半环组成, 该件是本机的关键部件。它将落在各环上的衍射光能量转换为电信号。每一个环相当于一个光敏二极管, 环与环之间相互隔离, 当接通一个反向电压后, 在光的照射下回路中便会产生电流, 该电流大小正比

于落在相应光环上的光能量。

3.2.3 信号放大及接口 光电探测器输出的信号比较弱, 必须经过放大再输入计算机, 为此放大器应具有较高的放大倍率, 并能根据光能信号的大小自动调整放大倍率以适应在较宽的范围内变化的衍射光能量。对光电探测器的输出信号根据需要逐个快速进行采样和A/D转换。采用了自动补偿系统使本机能够在环境温度变化情况下正常工作。

3.3 软件

本机选用了通用微机实现信号快速采集、数据处理及测量数据的自动输出。程序的编制采用了汇编语言和BASIC语言。汇编语言用于数据的采集和预处理, 计算和结果的输出采用了BASIC语言。主要程序框图见图2。

4 LPI—2型激光粒径测量仪

4.1 主要技术参数

测量对象: 固体粉末、喷雾液滴

测量范围: $6 \sim 457 \mu\text{m}$

测量时间: 采样不超过 0.8 秒, 现场计算一般在 4 分钟。

测量精度: \bar{x} 平均粒径: 3% , 重复性 $\pm 1 \mu\text{m}$ 。N 粒度均匀性指数 0.1 , 重复性 ± 0.1 。

使用光源: He—Ne 激光器, 波长 6328 \AA 功率 5 mW 。

透镜焦距: $f = 330 \text{ mm}$

电源: $220 \pm 2 \text{ V}$ 50 Hz

测量结果显示和记录方法: 屏幕显示, 打印机打印。

4.2 测量

4.2.1 仪器调整 仪器安放在具有一定防振性的水平工作台上, 调整激光与发射光孔中心及富里埃接收透镜的光轴中心三点的连线重合。检验激光经扩束准直后, 是否平行, 只要在两个不同距离的平面上, 看其光斑直

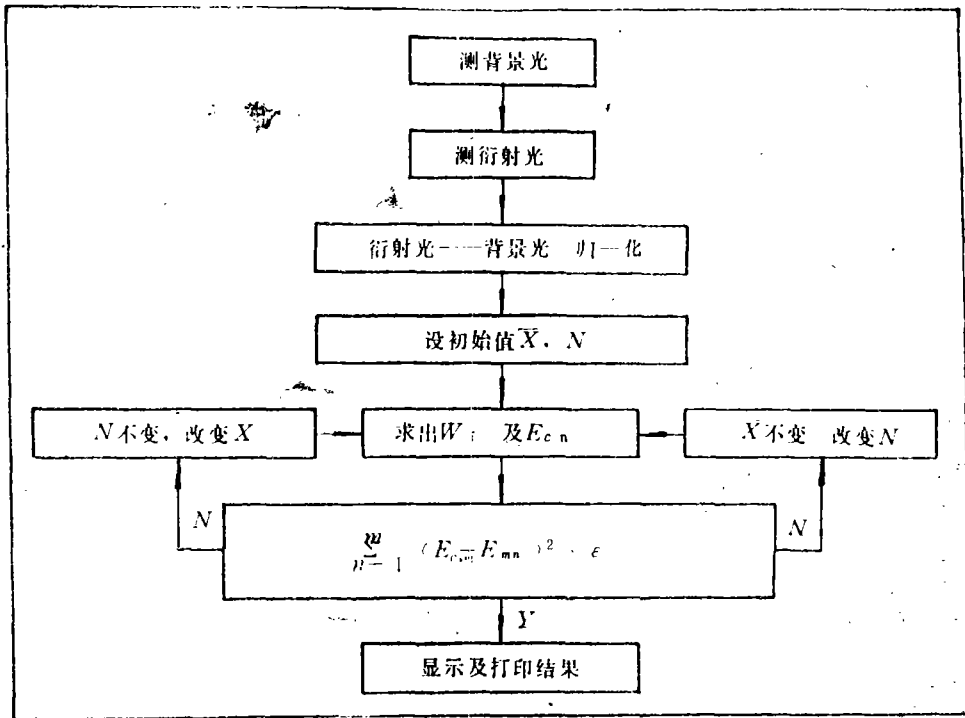


图 2 程序框图

径是否一致。主要靠调节聚焦镜与准直镜之间的相对位置来进行平行光的调试。光电探测器对中心调节, 是通过调整探测器上定位小孔来进行, 它可以上下、左右调整, 直到各环的输出信号达到最小。

4.2.2 测量方法和测量步骤

仪器经过调整后, 进行人机对话, 将试验日期、试样名称及工况等输入。首先测量背景光分布, 即对未喷入被测介质的测量空间进行预测获得光电探测器各环的输出信号。然后让被测介质的颗粒进入测量区, 测量其颗粒的衍射光在光电探测器各环上的输出信号。在计算机进行计算时, 输入值是有被测介质颗粒时各环值减去背景光的值。数据处理后, 解出颗粒分布状态参数和特性, 并以显示及打印其分布规律及有关重要参数。一次测量完毕后, 计算机便进入“等待”, 如需重复测量或继续下一次新的测

量, 只要给计算机输入有关指令, 便可进行重复或新的测量。

4.2.3 仪器标定及标准粒子板

采用几种“标准粒子板”对仪器进行标定。这是一种通用的, 也是严格验证粒径测量仪测量精度的手段。

标准粒子板是将金属镀在光学玻璃上, 再用腐蚀的方法将粒子以外的金属去掉, 而留下按一定规律分布的粒子群。我们采用的是粒子尺寸相同的粒子板, 10 μm, 50 μm, 100 μm 三种。当接收透镜进行测量 100 μm 的粒子板时, 光电探测器的光能量集中在第三道环上, 该环上接收的光能量对应的粒子直径从 136.4~93.27 μm (实际使用时 30 环输出为 15 个值, 每两个环并成一路输出); 当测量 50 μm 粒子板时, 多环光电探测器的光能量集中在第六道环上, 该环对应的粒子直径从 51.35~39.74 μm; 当

测量10 μm粒子板时,多环光电探测器光能量集中在十三道环上,该环对应的粒子直径从11.26~9.16 μm。

在仪器进行采样测量时,首先要用标准粒子板进行标定数次,满意后才进行测量。

5 实 测

本机在喷油器冷态试验台进行了初步测试。在用标准粒子板标定之后,对机械离心式喷油器雾化颗粒度作了测量,测量结果列于下表。

粒径尺寸 μm <i>d</i>	重量百分数 %	小于 <i>d</i> 重量 百分数%	粒数百分数 %
	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>Ni</i>
457.00~228.50	0.00	99.99	0.00
228.50~136.40	3.66	96.33	0.04
136.40~93.27	28.30	68.01	1.43
93.27~68.20	30.23	37.78	4.41
68.20~51.35	18.48	19.29	6.64
51.35~39.74	9.36	9.93	7.61
39.74~31.40	4.66	5.26	7.96
31.40~25.11	2.41	2.85	8.21
25.11~20.35	1.25	1.59	8.22
20.35~16.68	0.67	0.91	8.18
16.68~13.74	0.38	0.52	8.35
13.74~11.26	0.22	0.30	8.94
11.26~9.16	0.13	0.17	9.67
9.16~7.45	0.07	0.09	10.10
7.45~6.10	0.04	0.05	10.18

SMD = 65.05

试验日期 90-11-22 喷嘴流量 $Q = 410 \text{ kg/h}$
燃油压力 $P = 1.6 \text{ MPa}$ 粒度均匀指数 $m = 2.8$

6 结 束 语

1. 采用 LPI—2 型激光衍射粒径仪配计算机测量喷油器雾化颗粒尺寸和分布,具有取样和计算速度快、测量方便、精确度高、重复性良好、显示直观等特点,对于深入开展有关研究工作具有重要意义。

2. 测量前的调整以及用标准粒子板的标定是试验关键步骤,只有经多次标定结果令人满意时,测量的精度高,测试结果准确,可靠。

3. 选用接收透镜焦距 $f = 330 \text{ mm}$ 在 $6 \sim 457 \mu\text{m}$ 的颗粒测量范围内能适用于各种喷油器的粒度测量。如更换适当焦距的接收透镜可满足上述颗粒尺寸范围以外的微粒测量。

4. 仪器配置适当的附件,可以进行雾化油束局部区域的粒子尺寸和分布的测量。

参 考 文 献

- [英] 葛文伦 T. 颗粒大小测定. 喇华瑛, 童三多 施娟英译. 中国建筑工业出版社, 1984
- 燃油锅炉燃烧设备及运行编写组. 燃油锅炉燃烧设备及运行. 水利电力出版社, 1976

The Application of Laser Diffractometer for Measuring Atomized Oil Particle Size

Fan Zhonghua, Hua Caiqin, Sun yumin

(Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute)

Abstract

Briefly described in this paper is the measurement of atomized oil particle size and its distribution characteristics by use of LPI—2 type laser diffractometer, which is based on the theory of Fraunhofer geometric optics. The major significance of this measuring method for furthering the study of oil atomization mechanism is also expounded.

Key words, measurement techniques, laser diffractometer, fuel oil atomization particle size