

随着结构自由度和迭代次数的增加,所相对节约的 CPU 时间越多.从这些分析结果来看,该

方法有效地节省了计算时间,也有效地节省了内存.

参 考 文 献

- [1] Farhat, Charbel, Wilson, E., A new finite element concurrent computer program architecture. *Int. Jou. for Numer. Methods in Engng.* **24** (1987), 1771—1782.
- [2] Hajjar, Jerome F., Abel, John F., Parallel processing for transient nonlinear structural dynamics of three-dimensional frames. *Computer & structure*, **30**, 6 (1988), p. 1237—1254.
- [3] Shun Doi, Shoichi Koyama, A parallel computation technique for finite element method. *System. Computers, Controls*, **13**, 12 (1982).
- [4] Rosen, R., Rubinstein, M. F., Substructure analysis by matrix decomposition, *J. Struct. Div., ASME*, 96(ST3) (1970), 663—670.

(本文于 1990 年 9 月 29 日收到)

立式水膜旋风分离器的除尘效率

王 振 东

(天津大学力学系, 300072)

提要 本文讨论了立式水膜旋风分离器的除尘效率问题. 报告了用立式水膜旋风分离器取代两台普通旋风分离器, 较大地提高除尘效率的实验检测结果. 实测表明, 立式水膜旋风分离器的除尘效率在 97% 以上, 可使烟尘排放浓度远优于国家一类地区环境标准.

关键词 立式水膜旋风分离器, 除尘效率, 碰撞数, 旋风分离器

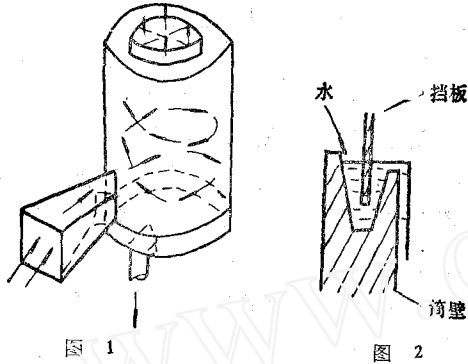
1. 引言

旋风分离器与依靠重力作为主要分离机制的沉降式分离器不同, 是使含固体颗粒的气体旋转, 使固体颗粒受到比气体微团大得多的离心力, 而达到气-固分离的目的. 柳绮年^[2]等曾对旋风分离器模型的三维流场进行测定, 指出在旋风分离器中有外涡旋, 内涡旋, 上涡旋, 还有在中心轴两侧并不对称的径向速度分布. 这种普通的旋风分离器对 10 μ m 以上的尘粒分离效率较高, 但对烧煤蒸汽锅炉排放的烟尘除尘效率(指除尘器的全效率, 即除尘器除下的烟尘

量与进入除尘器的烟尘量之比, 下同)仅在 70% 左右, 难以将烟尘排放浓度控制在国家对普通地区规定的排放环境标准 400mg/NM³ 以内, 也难以达到国家对一类地区的环境标准 200 mg/NM³ 要求.

为提高对烧煤蒸汽锅炉排放烟尘的除尘效率, 将烟尘排放浓度控制在国家对一类地区的环境标准以内, 我们协助某厂设计使用 3 立式水膜旋风分离器. 含尘气流进入除尘器的切线进口, 设置在除尘器下部(图 1). 在旋风分离器的上部, 采用挡板形式立式水膜稳定地供水, 如图 2 所示, 沿筒壁进入旋风分离器的水, 受到各种涡旋和不对称的径向速度场的作用, 除一部分会沿筒壁流下形成液膜外, 相当一部分水将在湍流作用下形成大量液滴, 随着气流进入整个流场, 并自上而下运动. 尘粒通过碰撞、扩散与液滴或液膜接触, 从气流中分离. 在重力的作用下, 液滴、液膜连同接触捕获的尘粒, 一

起流到除尘器底部出口排出，下文从机理上进行初步分析。



2. 除尘机理的初步分析

立式水膜旋风分离器的除尘机理主要有：

(1) 惯性离心力使尘粒从气流中分离甩到筒壁上，与沿筒壁流下的液膜接触后一同流下。由实验，这主要适用于直径 10μ 以上的尘粒。

(2) 通过碰撞，尘粒与液滴发生接触，使尘粒从气流中分离。由实测结果，这主要适用于 $2-10\mu$ 直径的尘粒。在这一范围内立式水膜旋风分离器的效率有较大提高(图3)。

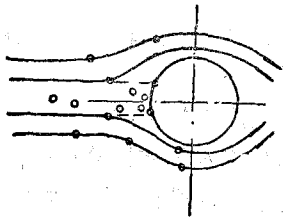


图 3

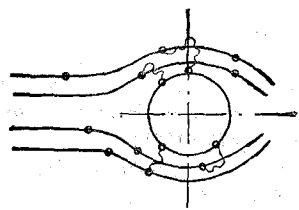


图 4

(3) 微小尘粒通过扩散与液滴接触。微小尘粒在气体分子的撞击下，象气体分子一样作布朗运动。如在运动过程中和液滴表面接触，就会从气流中分离，这一过程称为扩散。实验表明，特别是对于尘粒小于 0.3μ 时，惯性已不起作用，主要依靠扩散。布朗运动是随粒径的减

力学与实践

小而加强的(图4)。

(4) 加湿的尘粒相互凝聚。有的粉尘易为水湿润，与水接触后会发生凝聚、增重，有利于尘粒从气流中分离。饱和状态下的高温烟气，在除尘器内凝结时，要以尘粒为凝结核，可促使尘粒凝聚、增重。凝聚增重后的尘粒，又可由以上一些方法加强尘粒与液滴(液膜)接触，从气流中分离。

在以上的除尘机理中，尘粒与液滴的碰撞除尘起着重要作用。可以用 Wark 等^[1]提出的近似的方法来分析尘粒与液滴的碰撞过程，得到一个无量纲的碰撞数，用它可以反映碰撞对除尘效率的影响。用碰撞数，可以较清楚地分析立式水膜旋风分离器的优点。

Wark 定义碰撞数 (impaction number) 是两个长度的比值

$$N_I = \frac{x_i}{d_D}$$

其中 x_i 是尘粒从脱离流线到发生与液滴碰撞总共移动的距离， d_D 是液滴的直径。它经过一些计算，还给出碰撞数的近似表达式

$$N_I = \frac{d_p^2 \rho_p K_c V_{p,o}}{18 \mu_g d_D}$$

其中 $V_{p,o}$ 是尘粒与气流的相对运动速度， d_p 是尘粒的直径， μ_g 是气体的运动学粘度， ρ_p 是尘粒的密度， K_c 是康宁哈姆修正系数。随着碰

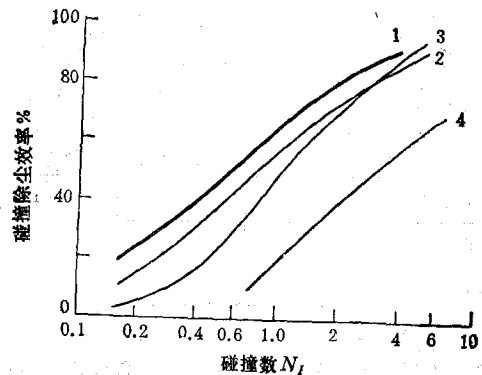


图 5 对于球形或圆柱形尘粒碰撞除尘效率的理论曲线和实验曲线

1. 球形尘粒理论曲线(位势流)
2. 球形尘粒实验结果
3. 圆柱形尘粒实验结果
4. 球形尘粒理论曲线(粘性流)

撞数的增加,除尘效率也在提高。这一点可从对于直径为 5μ 的球形或圆柱形尘粒,碰撞数与碰撞除尘效率关系的理论和实验曲线^[4]看出(图5)。

立式水膜旋风分离器在除尘器筒壁上部用稳定的水膜供水,液膜与液滴在重力作用下自上而下运动,而气流一面旋转一面自下而上运动,从而造成气液的相对速度 $V_{p,0}$ 较大。由前式可见,在同样的液滴直径 d_D ,尘粒直径 d_p 和尘粒密度 ρ_p 下, $V_{p,0}$ 越大,就使碰撞数 N_T 越大,从而使除尘效率提高。

3. 实验测定结果

两台蒸汽锅炉(SHL10-13/250型和SHL12-13/250型)原装有DG10型旋风分离器,除尘效率在70%左右,损坏率高,维修费用大,无法将烟尘排放浓度控制在 $800\text{mg}/\text{NM}^3$ 以下,最高时达 $1389\text{mg}/\text{NM}^3$,烟尘黑度达林格曼2级。采用自行设计安装的立式水膜旋风分离器后,经天津市环保部门监测,测定的结果如表1。

表 1

	炉 I	炉 II
除尘前灰尘浓度 (毫克/标米 ³)	4633.57	4828.11
除尘后灰尘浓度 (毫克/标米 ³)	119.07	105.4
除尘器净化效率 (%)	97.43	97.82
烟囱排气量 (标准状态干烟气,米 ³ /时)	27627.5	14244.9
烟囱排尘量 (公斤/时)	3.29	1.5
除尘前烟气林格曼黑度	2—4	2—3
除尘后烟气林格曼黑度	1	0—1
除尘设备区噪音 (分贝)	<65	<65

(上接第44页)

应力积累与释放;地球介质在相应温压范围内的高温高压状态方程;浅层地壳长期变形与本构方程的建立;大陆板块的岩石层演化的动力过程,地壳变形和矿床形成的动力演化和热演化机制;大陆裂谷、大陆碰撞及薄壳推覆等现象的深部介质相互作用与演化;岩石层与软流层之间的动力交换和热交换等属于板块运动、

表2 分级除尘效率测试结果

粒径区间 (μm)	0—2	2—5	5—10	10—15	>15
分级效率	33%	85%	92%	95%	97%

1. 分级除尘效率测试结果如表2。

由环保部门对立式水膜旋风分离器除尘情况的监测结果和除尘机理的初步分析,可得到以下结论:

(1) 立式水膜旋风分离器能造成较高的气液相对速度,从而增大碰撞数,着重提高了2—10 μ 尘粒的捕集效率。因此,使除尘效率比普通旋风分离器有显著提高,达到97%以上。烟尘排放浓度已远优于国家《锅炉烟尘排放标准》GB3841-83规定的一类地区 $200\text{mg}/\text{NM}^3$;除尘设备区噪音 < 65dB(A),也优于国家标准 85 dB(A) 以内的要求。

(2) 由此厂烟尘治理的实践结果,得知立式水膜旋风除尘,再加上多级多隔板减速沉降池,机械灰水分离装置,以及灰渣水、排污水、冷却水等回水实行闭路循环利用,可避免二次污染,节水、节能,收到了显著的环境效益、社会效益和经济效益。

(3) 从分级除尘效率测试结果看,2 μ 以下的微细尘粒用立式水膜旋风分离器尚难捕集。需从气溶胶力学方面进行研究,提出改进措施,以提高这一区间微细尘粒的捕集效率。

参 考 文 献

- [1] Wark, Kenneth and Warner, Cecil, F., Air Pollution: its origin and control, Horper & Row, Pub., New York (1981).
- [2] 柳筠年,贾复等,旋风分离器三维流场的测定,力学学报,3(1978), 182—191.

(本文于1991年6月4日收到修改稿)

地幔对流、岩石圈演化、板内地震成因的地球科学基本问题的基础研究;其中的部分模拟实验和参量测定工作也是该实验室工作内容。

6. 用于我国能源、资源勘探、国防和国民经济建设和开发利用等方面,如深井、矿山、铁路、隧道、煤碳、冶金,水利及地下工程长期稳定性研究和工程疑难问题研究。