

② 7-11

基于分维计算的颗粒粒度分析方法

TF122-1

郭永彩^① 谢利利^① 何振江^② 杨冠玲^② 陈卫^①

0552-1

(^① 重庆大学光电精密仪器系, 重庆, 400044; ^② 华南师范大学, 第一作者 34 岁, 女, 副教授)

TH1824

摘要 提出了一种基于分形检测超细颗粒粒度的新方法及实现算法。超细颗粒在一定条件下产生布朗运动, 通过光电系统记录的图象可看成是群体颗粒无规则漫游的结果, 从而可用分数布朗运动模型去描述。对所获取的超细微粒布朗运动图象进行处理, 然后按以上分形模型进行逐点的分维计算, 再用统计的方法转换为粒度信息, 从而实现粒度测量。文中给出了具体的算法及算例。

超细颗粒, 粒度

关键词 颗粒分析; 图象处理 / 分形

中国图书资料分类法分类号 TH741

布朗运动

0 引言

随着科技的发展以及应用的需要, 超细颗粒以其特殊的性能引起人们对它越来越大的关注, 而粒径大小及分布的测定更是超细颗粒研究领域的重要课题。随着粒径的减小, 常用的粒度测量方法变得越来越困难, 数据处理越来越复杂, 结果不易解释, 缺乏有效性。笔者根据实验中观察到的超细颗粒的布朗运动现象, 引入分形模型, 并结合图象处理技术, 尝试从超细微粒布朗运动产生的模糊图象中获取粒度信息, 并在本文中给出阶段研究结果。

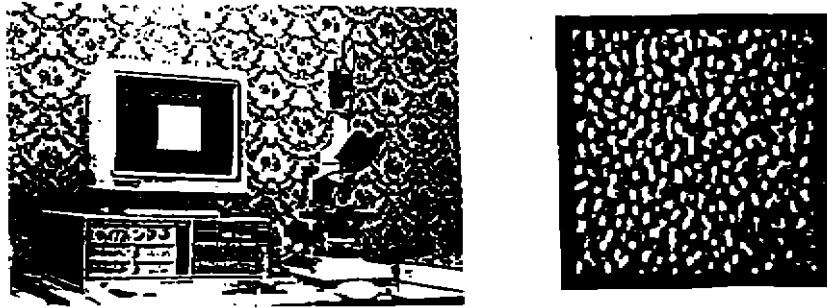
1 实验观察与建立数学模型

布朗运动是超细颗粒的一个重要特征, 通过已建立的实验系统, 笔者观察到粒子的布朗运动情况, 如图 1 所示。一方面, 颗粒的布朗运动将引起粒子散射光强的波动, 其中包含了颗粒的粒度信息, 通过对散射光强的自相关运算可获得粒子的平均粒度信息, 这就是光子相关光谱技术 (PCS)。另一方面, 通过实验还观察到, 不同粒度的颗粒布朗运动的激烈程度不同, 它与粒子的大小和浓度有关。对观察到的图象画面, 宏观感觉上由粒度的涨落程度引起的图象的粒糙度不同。

根据分形理论粒子的布朗运动可看成是粒子无规则的漫游过程, 可用分数布朗函数去描述它。群体超细微粒的布朗运动可看成是大量单颗粒子无规则行走的结果, 可用分形布朗面 (即二维分数布朗函数) 去描述, 从而建立起它的数学模型。

定义^[1] 分形布朗面是这样的一个随机函数 $I(x)$, 在所有的变化尺度内, 即 $\Delta x \in$

* 收文日期 1996-10-30
国家自然科学基金资助项目 (69278018)



(a) 实验系统

(b) 颗粒布朗运动图象

图1 微粒布朗运动实验

$(\Delta x_{\min}, \Delta x_{\max}), I(x)$ 满足。

$$P\left[\left|\frac{I(x+\Delta x)-I(x)}{\|\Delta x\|^H}\right| < y\right] = F(y) \quad (1)$$

其中 H 为 Hurst 参数, $F(y)$ 是随机函数 $I(x)$ 的累计分布函数(服从零均值、单位方差的高斯分布), 换言之, $I(x)$ 绝对增量的方差满足下式:

$$E[|I(x+\Delta x)-I(x)|^2] \propto \|\Delta x\|^{2H} \quad (2)$$

对实验中所观察到的颗粒运动所产生的面, 可看成是分形布朗面, 其相应的图象灰度 $I(P) = I(x)$ 满足上面定义的数学模型, 其中 P 为象面中任一象素点位置。此时的 H 参数反映了分形布朗面的粗糙度, 它与分维值关系为:

$$D_s = 3 - H \quad (3)$$

由分形理论知^[1], 分形维值相当接近我们感知的表面粗糙度, 随着分形维值的增加, 感知的粗糙度也线性增加, 而粗糙度又和构成象面的粒子的粒度线性相关, 因此我们可从颗粒布朗运动产生的分形布朗面的灰度图象 $I(P)$ 的分维值计算中, 获取粒度及分布的信息。

2 算 法

2.1 标尺区间划分

从定义讲, 由分数布朗运动模型产生的分形面应对空间所有的标尺都满足分数布朗函数, 但真实图象面不可能是纯数学上的单一的分形面, 而实际上是对一个区域中的所有标尺满足分形特征, 因此在实际应用中, 将一幅图象划分成许多小空域, 如表1所示。在这样的小空域内认为研究的图象对所有标尺满足参数为 H 的分形特征。

表 1 空域的划分及标尺区间的确定

$(x-3, y-3)$	$(x-3, y-2)$	$(x-3, y-1)$	$(x-3, y)$	$(x-3, y+1)$	$(x-3, y+2)$	$(x-3, y+3)$
$(x-2, y-3)$	$(x-2, y-2)$	$(x-2, y-1)$	$(x-2, y)$	$(x-2, y+1)$	$(x-2, y+2)$	$(x-2, y+3)$
$(x-1, y-3)$	$(x-1, y-2)$	$(x-1, y-1)$	$(x-1, y)$	$(x-1, y+1)$	$(x-1, y+2)$	$(x-1, y+3)$
$(x, y-3)$	$(x, y-2)$	$(x, y-1)$	(x, y)	$(x, y+1)$	$(x, y+2)$	$(x, y+3)$
$(x+1, y-3)$	$(x+1, y-2)$	$(x+1, y-1)$	$(x+1, y)$	$(x+1, y+1)$	$(x+1, y+2)$	$(x+1, y+3)$
$(x+2, y-3)$	$(x+2, y-2)$	$(x+2, y-1)$	$(x+2, y)$	$(x+2, y+1)$	$(x+2, y+2)$	$(x+2, y+3)$
$(x+3, y-3)$	$(x+3, y-2)$	$(x+3, y-1)$	$(x+3, y)$	$(x+3, y+1)$	$(x+3, y+2)$	$(x+3, y+3)$

2.2 各点处的 H_i 计算

记图象中某象素的位置为 $P_i = (x, y)$ ，相应的灰度值记为 $I(P_i) = I(x, y)$ ，以 P_i 为中心选取 7×7 的邻域空间，计算该点到所有象素间的空间距离 ΔS_i ，根据其最小值和最大值，确定相应的标尺区间 $(\Delta S_{\min}, \Delta S_{\max})$ ，认为图象在该区间内满足参数为 H_i 的分形特征。对该区间中的每一象素对距离 ΔS_i ，求所有该距离下的两象素灰度之差的绝对值的平方，然后相加取平均，近似得到 $E(|I(P + \Delta S_i) - I(P)|^2)$ ，其中 P 为该区域中任一象素点。对该邻域中每一不同的象素对距离 ΔS_i ，逐一进行上述计算，并取对数可得到如下关系曲线。

$$\ln[E(|I(P + \Delta S_i) - I(P)|^2)] \sim H_i * \ln|\Delta S_i|^2 \quad (4)$$

又对(2)式两边同时取对数并以 P 替代 x ， ΔS 替代 $\|\Delta x\|$ 则有

$$\ln[E(|I(P + \Delta S) - I(P)|^2)] = H_i * \ln|\Delta S_i|^2 + C \quad (5)$$

其中 C 为待定常数。根据实际算得的数据，用最小二乘法拟合^[8]，可估计出曲线的斜率，作为该区域中 P_i 点对应的 Hurst 参数 H_i 。

2.3 分维值计算

将上述 7×7 空间邻域看成一个以 P_i 为中心的窗口，在整幅图象上滑动计算，则可得到整幅图象各点对应的 Hurst 参数的分布，再根据分形维与 H 的关系式(3)，可得分维分布，其中包含着粒度信息。

2.4 粒度计算

对上述颗粒布朗运动产生的图象的分维处理得到的结果，按分维值的大小进行分级，并在整幅图象中进行统计转换，即可得到相应的粒度及分布信息。

3 算 例

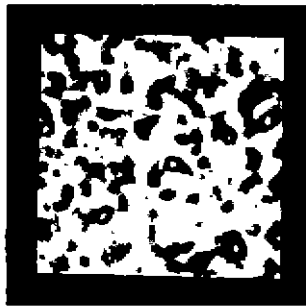
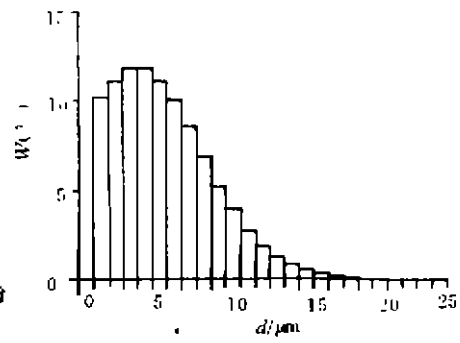
利用上面介绍的算法，对牙膏粉、金刚砂微粉以及金属钛粉等进行了测算。在相同的实验条件下对各个样品粒子产生的布朗运动图象经采集系统送入计算机，其大小为 200×200 象素。图象处理时窗口大小选为 7×7 象素、粒度分级间隔为 $0.1 \mu\text{m}$ ，共分 25 级，结果如图 2 所示。左图为布朗运动图象，右图为粒子段内重量(百分比)分布。表 2 给出了各样品的特征粒径参数的比较，其中 D_{10} 为累计分布为 10% 所对应的粒径， D_{63} 、 D_{80} 分别为累计分布为 63.8% 和 90% 时的粒径， $N = D_{80} - D_{10}$ 表示分布宽度， D_{\max} 表示段内重量百分比最大的粒度。

表2 特征尺寸比较

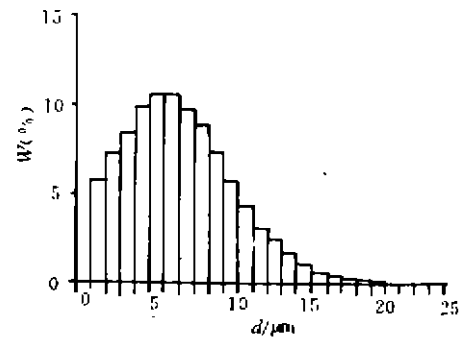
品名	$D1$ (μm)	$D2$ (μm)	$D3$ (μm)	N	D_{max} (μm)
牙膏粉	0.2	0.8	1.1	0.9	0.5
金钢砂1#	0.1	0.6	1.0	0.9	0.4
金钢砂2#	0.2	0.8	1.2	1.0	0.5
铝粉	0.3	0.9	1.3	1.0	0.7
钛粉	0.2	0.8	1.2	1.0	0.6
钛粉(电镀)	0.2	0.7	1.1	0.9	0.6



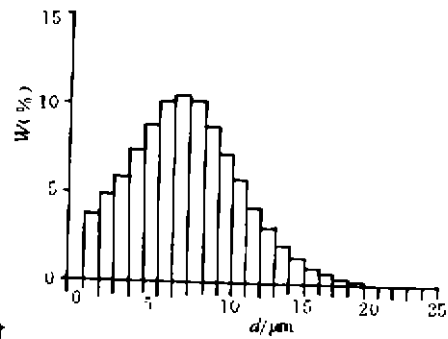
(a) 金刚砂微粉

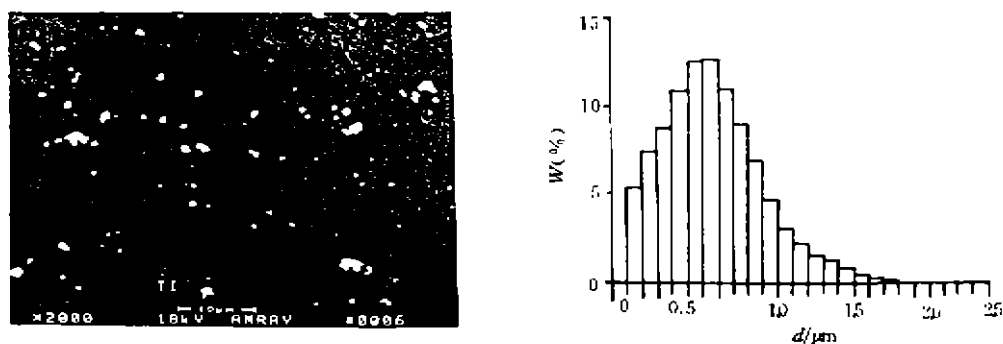


(b) 金属钛粉



(c) 长沙铝微粉





(d) 金属钛粉(扫描电镜测试结果)

图 2 算例及重量百分比分布结果

图 2(d) 给出了扫描电镜测试结果,用于标定。左图是被测粒子扫描照片,用 4 幅(共计 278 颗粒子)这样的照片进行统计,得到右图所示的段内重量百分比随粒径的分布。

4 结果及讨论

笔者用上述方法对不同的粒子进行了测算、分析,其结果如图 2 和表 2 所示。它表明了该方法的有效性,不同大小的超细颗粒得到了有效的区分,同时还较好的反映出了粒度大小的分布信息。有关空间邻域的划分对测量结果的影响,为实现精确测量所需的标定以及背景的影响等均需进一步深入研究。

参 考 文 献

- 1 Pentland A P. Fractal-based description of natural scene, IEEE Trans. Pattern And Machine Intell. 1984, Vol. PAMI-6:666~674
- 2 庄楚强. 应用数理统计基础. 广州:华南理工大学出版社,1992. 11

Particle Sizing Algorithm on the Basis of Fractal Dimensions

Guo Yongcai Xie Lili He Zhenjiang Yang Guanling Chen Wei

(Department of Opto electronic Precision Instrument, Chongqing Univ)

ABSTRACT A new method for particles sizing on the basis of fractals detecting and its fulfilling algorithm are given. Brownian motion takes place in submicro particles under experimental conditions, which results in an image surface of fractal characteristic. So, such process can be modeled by fractal Brownian function. In the model, Hurst parameter H is connected to surface roughness and then related to particle size. Combining image processing technologies, we can obtain particles' size the distribution. Some examples demonstrating this method and algorithm are also given in this paper.

KEYWORDS submicro partices; image processing / fractal