

悬浮颗粒计数信号等效体积的分形测度

杨 娟 赖晓明 彭 刚 卞保民[†] 陆 建

(南京理工大学信息物理与工程系, 南京 210094)

(2008 年 9 月 24 日收到, 2008 年 11 月 11 日收到修改稿)

提出悬浮颗粒质量子集的概念, 并将其推广为与计数测量信号幅度档对应的等效质量子集概念. 根据统计学原理, 进一步建立了悬浮颗粒质量子集颗粒平均体积的分形测度模型. 基于悬浮颗粒群不同质量子集的几何形貌结构分布具有统计自相似性的特征, 推导出计数法颗粒质量测量中与信号幅度档对应的颗粒等效质量计算公式, 建立起计数法悬浮颗粒质量测量的基础理论模型.

关键词: 分形测度, 形貌参数, 质量测量, 质量子集

PACC: 0555, 0630E

1. 引 言

在目前通行的悬浮颗粒测量理论及实验研究中, 一般都采用“等效粒径”这一概念作为描述颗粒大小的线度参数, 其定义是^[1,2]: 当被测颗粒的某种特性与某一直径的同质球体相当时, 就把该球体的直径称为该颗粒的等效粒径. 而悬浮颗粒都是不规则的, 对于质量相同几何形状不同的颗粒在不同测量方式下会有不同的等效粒径^[2]. 因此, 仅从颗粒的等效粒径参数来描述颗粒的大小是不够完备的. 究其本质, 是因为传统的对颗粒的研究模型是建立在欧氏几何的理论基础上. 欧氏模型绝大多数是线性模型, 而现实中的悬浮颗粒其形貌均是不规则的, 因此很多问题无法或很难用欧氏几何的方法来解决.

Mandelbrot 于 1975 年提出的分形理论^[3], 为研究用传统的数学方法不能描述的颗粒大小和形状分布提供了全新的数学手段和理论基础. 根据分形几何学, 对于大自然创造的复杂的真实物体, 其不具有特征长度, 通常采用迭代语言对它进行描述^[4]. 随着分形理论在破碎及颗粒学中的应用, 在国内外文献中已有大量相关的报道^[5-9]. 而上述这些研究大多是从煤粉的破碎过程来说明颗粒的大小分布和形状具有分形结构, 并以此作为分形特性的观测基础, 并没有给出颗粒测量结果具有分形结构的理论基础.

文献 [10] 中报道了光散射计数法测量悬浮颗粒

物质量的一种新计算方法, 该方法使用了两个标定参数 k_A 和 α (k_A 为仪器的灵敏度系数, α 为光散射等效截面分形维数), 由这两个参数得到第 j 个计数通道对应的单颗粒平均质量 \overline{m}_j . 对于悬浮颗粒物, 被实验证明在 0—5 mg 的浓度范围内与标准仪器的测量结果符合得很好. 该计算方法给出了一种新的思路分析, 但没有进行深入的理论研究, 还需要从物理模型和测量理论的角度研究分形维数参数 α 的本质.

针对上述存在的问题, 本文提出悬浮颗粒质量子集概念. 根据统计学原理, 分析颗粒测量结果具有分形特征的理论基础, 建立悬浮颗粒计数信号等效体积的分形测度模型. 基于悬浮颗粒群不同质量子集的几何形貌结构分布具有统计自相似性的特征, 推导出计数法颗粒质量浓度测量中与信号幅度档对应的颗粒等效质量计算公式, 建立起计数法悬浮颗粒质量测量的基础理论模型.

2. 悬浮颗粒群质量子集概念

无论悬浮颗粒个体有多少种类的不同特征, 其中质量是最基本的. 颗粒质量越小, 在空中的平均悬浮时间就越长, 所以颗粒质量大小直接影响颗粒的动力学特性. 形貌相同的颗粒, 质量越大几何线度越大, 颗粒线度不同在测量中的影响也明显不同.

随机过程产生的同质量颗粒的几何形状可以有

[†] E-mail: bianbaomin_56@yahoo.com.cn

很大差别,一般颗粒群并不存在趋于一致的形状概念^[5].任何颗粒群 N 能够根据颗粒质量 m 的大小顺序进行分类,从而将颗粒群分成不同质量级别的颗粒“质量子集” $N(m)$.单颗粒的质量 m 显然与颗粒测量过程无关.与“线度”相比而言,用 m 定义颗粒大小,概念将更加明确.在颗粒测量领域中常用的“标准粒子”——聚苯乙烯颗粒球实质上是颗粒质量子集的一个特例.

由同质量颗粒组成的子集 $N(m)$ 将具有很复杂的“几何参数”结构 $D_m(j)$,正是颗粒群几何参数的粒子数分布 $N(D_j)$ 构成了各种颗粒测量方法的度量基础.考虑到颗粒产生的随机性,相邻质量子集内部几何结构具有一定的相似程度^[9].子集的质量差异越小,这种几何相似度越高.悬浮颗粒群质量子集中颗粒个体的形貌差异虽然比较明显,但子集中颗粒数的几何参数分布 $N_m(D_j)$ 却比较稳定.子集中的颗粒数目 $N(m)$ 越大,这种颗粒数 D_j 分布的稳定性也越高.由于悬浮颗粒质量测量都是统计性测量,所以颗粒质量子集的颗粒数统计分布在颗粒质量测量中具有重要理论意义和应用价值.

颗粒群两个基本参数分别为颗粒群总质量 M 和颗粒总数 N . M 与悬浮颗粒群所占空间体积 V_N 的比一般称为质量浓度 $C = M/V_N$.设颗粒群按质量子集的质量大小顺序划分成 s 个区间,每个区间的颗粒数为 N_i ,质量子集 N_i 的颗粒平均质量为 \overline{m}_i (质量是属性,平均质量是该属性的度量结果).则 M 可表示成

$$M = \sum_{i=1}^s N_i \overline{m}_i. \quad (1)$$

定义颗粒数质量概率密度函数 f_i 为比值 N_i/N 的数学期望,即 $f_i = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N_i}{N}$.显然悬浮颗粒质量可以表示成

$$M = N \sum_{i=1}^s f_i \overline{m}_i. \quad (2)$$

由于悬浮颗粒太小,颗粒质量 m 和 \overline{m}_i 都难以直接测量.但可通过一定的物理学方法 $S(m)$,测量颗粒对应的信号档 S ,再由信号档数分布 $n(S)$ 与 S 对应的平均颗粒质量 \overline{m}_S 应用(1)式或(2)式计算悬浮颗粒质量浓度.原理上, $n(S)$ 可以看成是 \overline{m}_S 的数分布 $n(\overline{m}_S)$ 称之为广义的颗粒数等效质量分布函数.则有

$$\begin{aligned} M &= N \sum_{S=S_{\min}}^{S_{\max}} f_S \overline{m}_S \\ &= \sum_{S=S_{\min}}^{S_{\max}} n(S) \overline{m}_S, \end{aligned} \quad (3)$$

(3)式即为颗粒质量浓度测量更基础的原理.

3. 颗粒体积及等效粒径参数

除了质量参数外,颗粒的另一个基本特征参数是体积.颗粒的体积 V 定义为颗粒外表面所包围的空间大小,比值 m/V 为颗粒的密度 ρ .对确定密度的颗粒,可由颗粒体积计算出颗粒质量.颗粒体积显然与“线度”有关,在颗粒测量领域中,常用“等效粒径”概念来描述颗粒线度.等效粒径 D 的原意为:与颗粒体积相等的球半径,即有 $D \rightarrow D_V \equiv \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}}$.

悬浮颗粒形貌不规则,其体积难以直接测量,实用中是通过具有几何线度效应的测量方法 $D(S)$ 获得与颗粒数相关的信号数分布 $n(S)$,进而计算颗粒体积 $V = \sum n(V_i) V_i$.而颗粒的形貌结构对几何线度效应 $D(S)$ 影响很大.常用的颗粒等效粒径数分布测量方法有^[3]:筛分法,通过相同筛孔 D 档的颗粒数分布 $n(D)$;库尔特法,产生相同电脉冲幅度 E 档的颗粒数分布 $n(E)$;光散射法,产生相同散射光幅度 A 档的颗粒数分布 $n(A)$;空气动力学方法,产生相同动力学稳定速度 U 档的颗粒数分布 $n(U)$.

由于颗粒形貌不同和测量系统具有随机性,测量信号与颗粒质量没有一一对应关系.颗粒质量测量要解决的原理性问题就是确定与测量信号第 j 档对应的颗粒平均质量 $\overline{m}_S(j)$,再通过(3)式计算颗粒质量.对于不规则单颗粒而言,质量与体积成正比.但根据非欧氏几何学,颗粒的体积 V 用线度 D 的更高维尺度 D^α 进行度量.对于规则几何体,维数 $\alpha = 3$,对不规则几何体,线度维数满足 $3 > \alpha > 2$.即一般情况下,用测量线度表示颗粒体积 $V \propto D^\alpha$ 中的维数 α 为非整数.

4. 悬浮颗粒计数信号等效体积的分形测度

设颗粒测量信号幅度 S 与颗粒线度 $D(S)$ 单调相关, j 为依信号幅度 S 大小的排序记号,颗粒对应

的最大信号幅度为 $S_{j_{\max}}$, 最小信号幅度为 $S_{j_{\min}}$. 定义测量结果出现在第 j 个信号幅度档中的概率为 $f(\chi(S)) \equiv \lim_{N' \rightarrow \infty} \frac{n[\chi(S)]}{N'}$, N' 代表测量总次数, $n[\chi(S)]$ 为测量输出 N' 个信号中幅度落在第 j 个信号幅度档中的次数. 可见, 能够用 $f(\chi(S))$ 描述测量过程. 由于信号幅度与测量线度 $D(S)$ 相关, 测量结果能够用对应的 $D_{j_{\max}}$, $D_{j_{\min}}$ 和概率 $f(\chi(D))$ 描述 (对于颗粒筛分测量方法, S 即为 D). 显然, 颗粒的各类“测量线度”定义为相应测量线度的数学期望

$$\overline{D^{\alpha}} = \sum_{j=j_{\min}}^{j_{\max}} D_j^{\alpha} f(\chi(D)). \quad (4)$$

对于单颗粒而言, 与测量线度 D_j 对应的“一次测量体积” V 可以表示成

$$V \propto k_{SV} D_j^{\alpha_V}, \quad (5)$$

其中 k_{SV} 是与测量方法 S 、体积量纲相关的系数, α_V 是颗粒非规则几何特性对应的形貌参数. 设 ξ_j 是以测量线度 $k_{SV} D_j^{\alpha_V}$ 为单位的颗粒体积测量比值, 根据 (4) 式, 单颗粒测量体积为

$$\begin{aligned} \bar{V} &= \lim_{N' \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{N'} \sum_{k=1}^{N'} k_{SV} \xi_k D_k^{\alpha_V} \right] \\ &= k_{SV} \sum_{j=j_{\min}}^{j_{\max}} \xi_j D_j^{\alpha_V} f(\chi(D)). \end{aligned} \quad (6)$$

由于颗粒体积为可测量值, 故存在一个确定的测量线度 $D_{S^V}^{\alpha_V} \in D_j^{\alpha_V}$, 满足 $D_{S^V}^{\alpha_V} \equiv \sum_{j=j_{\min}}^{j_{\max}} \xi_j D_j^{\alpha_V} f(\chi(D))$, 则 $D_{S^V}^{\alpha_V}$ 可作为该颗粒的最佳体积形式. 取无量纲变量 $\eta_j \equiv D_j / D_S$, 相似函数 $f(\chi(\eta)) \rightarrow f(\chi(D))$, 则有 $\sum_{j=j_{\min}}^{j_{\max}} \xi_j \eta_j^{\alpha_V} f(\chi(\eta)) \equiv 1$, 该归一化关系式是颗粒测量体积与具体测量方法无关的约束形式. 至此可得颗粒测量体积为

$$\begin{aligned} \bar{V} &= k_{SV} D_{S^V}^{\alpha_V} \sum_{j=j_{\min}}^{j_{\max}} \xi_j \eta_j^{\alpha_V} f(\chi(\eta)) \\ &= k_{SV} D_{S^V}^{\alpha_V}, \end{aligned} \quad (7)$$

D_S 是根据颗粒固有几何形貌定义的与测量方法有关的归一化线度最佳单位, η_j 是以 D_S 为基准的测量线度相对值. (7) 式表明, 颗粒几何特性能够通过测量方法 $D(S)$ 反映出来.

质量(同体积)子集定义的本质是: 对于确定的一个颗粒集合, 任意颗粒在规定的测量方式 $D(S)$ 下具有等价的测量体积. 设质量子集 N_m 的最大测

量信号幅度为 $S_{j_{m \max}}$, 最小信号幅度为 $S_{j_{m \min}}$, 测量信号数分布概率函数定义为

$$f_{N_m}[\chi(S)] \equiv \frac{1}{N_m} \lim_{N' \rightarrow \infty} \frac{1}{N'} \sum_{k=1}^{N'} n[\chi(S_k)], \quad (8)$$

式中 $n[\chi(S_k)]$ 为 N' 组测量中, 每组 N_m 次随机选取子集中的任何个体, 出现信号落在第 j 个信号幅度档的平均次数. 同理对于子集 N_m 的测量结果, 对应于有最大测量线度 $D_{j_{m \max}}$ 、最小测量线度 $D_{j_{m \min}}$ 和与信号数分布相似的测量线度概率分布函数 $f_{N_m}[\chi(D)]$.

任意颗粒的一次测量体积为 $V_{N_m} \propto k_{SV} D_{j_m}^{\alpha_m}$, α_m 是颗粒子集 N_m 非规则几何特性对应的整体形貌参数. 设 ξ_j 是以 $k_{SV} D_{j_m}^{\alpha_m}$ 为单位的颗粒体积测量值, 子集中的单颗粒测量体积为

$$\begin{aligned} \overline{V_{N_m}} &= \lim_{N' \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{N_m N'} \sum_{k=1}^{N_m N'} k_{SV} \xi_k D_k^{\alpha_m} \right] \\ &= k_{SV} \sum_{j=j_{m \min}}^{j_{m \max}} \xi_j D_{j_m}^{\alpha_m} f_{N_m}[\chi(D)]. \end{aligned} \quad (9)$$

由于子集中各颗粒的“体积”被定义为是相同的, 可以用 $D(S)$ 方法测量的, 故存在一个确定的测量线

度 $D_{N_m}^{\alpha_m} \in D_{j_m}^{\alpha_m}$, 满足 $D_{N_m}^{\alpha_m} \equiv \sum_{j=j_{m \min}}^{j_{m \max}} \xi_j D_{j_m}^{\alpha_m} f_{N_m}[\chi(D)]$. 且

以 D_{N_m} 为测量线度的单位, 可定义一组无量纲系数 $\eta_j \equiv D_j / D_{N_m}$ 来描述任意测量结果. 取与函数 $f_{N_m}[\chi(D)]$ 相似的分布函数 $f_{N_m}[\chi(\eta)]$, 则有关系式

$\sum_{j=j_{m \min}}^{j_{m \max}} \xi_j D_{j_m}^{\alpha_m} f_{N_m}[\chi(\eta)] \equiv 1$. 由此可给出质量子集中颗粒的测量体积与测量线度对应的最佳表示式为 $\overline{V_{N_m}} = k_{SV} D_{N_m}^{\alpha_m}$.

对于质量不同但整体形貌结构相似的质量子集 N_m , 子集形貌参数满足 $\alpha_{am} = \alpha_m = \alpha_S$, 则有

$$\begin{aligned} am &= \rho k_{SV} D_{N_m}^{\alpha_m} \\ &= \rho k_{SV} D_{N_m}^{\alpha_m} \\ &= \rho k_{SV} (b D_{N_m})^{\alpha_m} \\ &= b^{\alpha_m} \rho k_{SV} D_{N_m}^{\alpha_m} \\ &= b^{\alpha_S} m, \end{aligned} \quad (10)$$

即两个几何形貌相似的质量子集的测量线度系数 b 与质量系数 a 的关系为 $b = a^{1/\alpha_S}$. 对于由形貌结构相似子集组成的一般颗粒群 N , 其总体积 V_N 为所有

颗粒体积之和 $V_N = \sum_{i=1}^N V_i$. 由于所有颗粒的体积原理上均能够测量, 则用颗粒测量体积计算颗粒群体积时有

$$\begin{aligned} V_N &= \sum_{j=J_{M \min}}^{J_{M \max}} \sum_{k=1}^{N(j)} k_{SV} \xi_{jk} D_j^{\alpha_S} \\ &= k_{SV} \sum_{j=J_{M \min}}^{J_{M \max}} D_j^{\alpha_S} \sum_{k=1}^{N(j)} \xi_{jk} \\ &= N k_{SV} \sum_{j=J_{M \min}}^{J_{M \max}} D_j^{\alpha_S} \frac{\sum_{k=1}^{N(j)} \xi_{jk}}{N}, \quad (11) \end{aligned}$$

$\sum_{k=1}^{N(j)} \xi_{jk}$ 为测量线度为 D_j 时对应第 j 档中 $N(j)$ 个信号测量值之和. 对于颗粒群 N 的实际测量信号, 如果用颗粒测量体积和信号计数值表示颗粒总体积, 根据平均值的计算公式则有唯一的形式

$$\begin{aligned} V_N &= k' \sum_{j=J_{M \min}}^{J_{M \max}} D_j^{\alpha_S} n[f(S)] \\ &= N k' \sum_{j=J_{M \min}}^{J_{M \max}} D_j^{\alpha_S} f(j), \quad (12) \end{aligned}$$

其中 $f(j) = \sum_i f_i(j)$, $f_i(j)$ 为颗粒群 N 中, 第 i 个量子集 N_i 内的颗粒落入第 j 个信号计数档的信号出现的概率. 比较 (11) (12) 两式, 从量纲关系上看必然有 $k_{SV} = k'$, 且有信号档对应的计数概率为 $f(j) \equiv \left(\sum_{k=1}^{N(j)} \xi_{jk} \right) / N$, 信号档对应的颗粒等效体积为 $\bar{V}_j = k_{SV} D_j^{\alpha_S}$. 则颗粒群总体积可表示为

$$\begin{aligned} V_N &= \sum_{j=J_{M \min}}^{J_{M \max}} n[f(S)] \bar{V}_j \\ &= \sum_{j=J_{M \min}}^{J_{M \max}} n[f(S)] k_{SV} D_j^{\alpha_S}. \quad (13) \end{aligned}$$

(13) 式给出了与悬浮颗粒计数信号幅度档对应的等效体积分形测度. 由此可得颗粒总质量为

$$\begin{aligned} M &= \sum_{j=J_{M \min}}^{J_{M \max}} n[f(S)] \rho k_{SV} D_j^{\alpha_S} \\ &= \sum_{j=J_{M \min}}^{J_{M \max}} n[f(S)] \bar{m}_j, \quad (14) \end{aligned}$$

(14) 式中 $\bar{m}_j = \rho k_{SV} D_j^{\alpha_S}$ 即为计数法颗粒质量测量中信号档平均质量的计算公式. 该公式中 $D_j[f(S)]$ 可以从理论计算, $n[f(S)]$ 为测量计数值, k_{SV} 由单位制确

定, 密度则可以通过对材料特性的分析获得. 只有反映颗粒群整体形貌特征的特征参数 α_S 需要通过测量标定, 其数值不仅与颗粒群相关, 也和测量方法密切相关, 从而建立了计数法悬浮颗粒质量测量的基础理论模型. 可以看出 (14) 式与 (3) 式形式一致, 且 (14) 式给出了在仅考虑颗粒形貌不规则特性对测量结果影响的情况下 (3) 式中平均颗粒质量 \bar{m}_S 的计算公式.

5. 实验验证

在颗粒质量测量的众多方法中, 光散射法以其测量速度快、精度高得到了广泛的应用, 因此此处以光散射法为例给出上述模型的实验验证. 在文献 [11] 中, 作者通过实验方法验证了粒子计数器测量悬浮颗粒物的质量计算公式为

$$M = k_A \sum_{j=1}^q n[f(u)] u_j^{\alpha} = \sum_{j=1}^q n[f(u)] \bar{m}_j, \quad (15)$$

其中 u 表示电压通道的相对中值电压, $n[f(u)]$ 为粒子计数器测量的第 j 个电压通道内的信号脉冲数, $\bar{m}_j = k_A u_j^{\alpha}$ 为第 j 个电压通道内的平均质量. 可以看出 (15) 式和 (14) 式形式完全一样, 但是 (15) 式中的分形维数的对象为电压, 而 (14) 式中的分形维数的对象为颗粒的测量线度. 同时由于在实际测量中, 对测量结果的影响因素除了颗粒形貌的不规则性外, 还包括光强分布的不均匀性、电路的非线性等因素, 因此实际测量的分形维数 α 的大小不一定满足 $3 > \alpha > 2$.

在文献 [11] 中, 作者采用 2048 通道的电路, 对两种烟尘通过两步标定法采用取分形维数交集的方法对 α 和 k_A 进行了标定, 得出当 $\alpha = 0.435$ 时 $k_A = 3.014 \times 10^{-5} \text{ mg/m}^3$. 将其代入 (15) 式计算粒子计数器测量的质量 M , 并将 M 与美国 TSI 公司智能防爆粉尘仪 SIDEPAK AM510 测量的标准参照值 M_{TSI} 进行了比较. 图 1 是粒子计数器 (OPC) 和智能防爆粉尘仪测量值的关系图, 两次实验拟合直线的斜率分别为 1.080, 0.9582, 相关系数分别为 0.9939, 0.9991. 两次实验拟合直线的斜率均与 1 比较接近, 相关系数都在 0.99 以上, 表明粒子计数器测量的烟尘质量值 M 与标准参照仪器的测量值 M_{TSI} 基本一致, 反映了分形维数概念的应用价值并给出了 α 的标定方法.

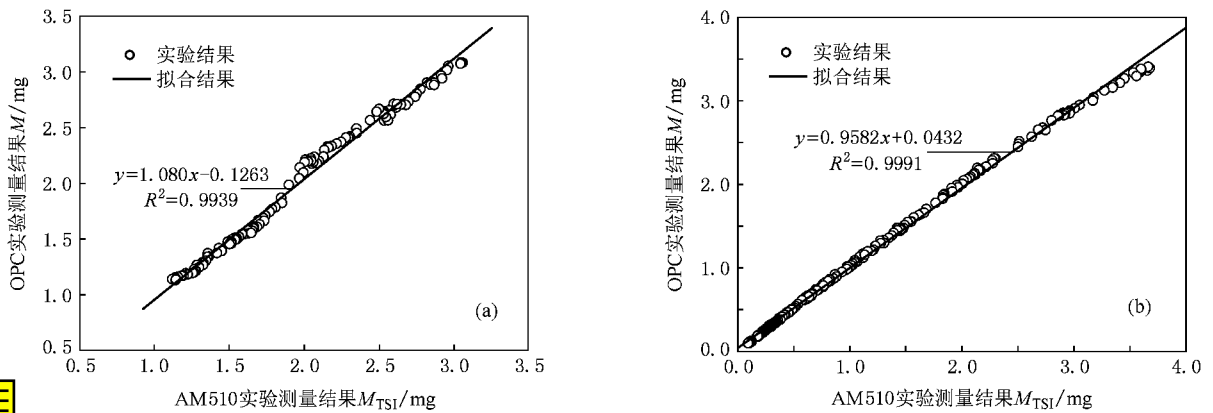


图1 OPC测量值与SIDEPAK AM510测量值的关系图 (a)香烟烟尘;(b)滤香烟尘

6. 结 论

悬浮颗粒群计数信号等效体积分形测度是颗粒形貌几何线度随机分布在测量过程中的反映.由测量信号幅度档对应的几何线度参数描述的颗粒平均

体积一定具有非整数维的分形形式,与此对应的悬浮颗粒等效质量计算公式是各种计数法测量颗粒质量的理论基础.所以,无论计数法悬浮颗粒质量测量传感器设计了多少个信号幅度计数通道,仪器需要标定的唯一特征参数是描述颗粒计数信号等效体积的分形维数.

- [1] Schmidt-Ott A, Wüstenberg J 1995 *Journal of Aerosol Science* **26** (Suppl 1) S923
- [2] Allen T 1984 *Particle Size Measure*(Beijing : China Architecture & Building Press) p108 [in Chinese] 艾伦 T 1984 颗粒大小测定 (北京 : 中国建筑工业出版社) 第 1082 页]
- [3] Mandelbrot B B 1982 *The Fractal Geometry of Nature* (San Francisco : W. H. Freeman)
- [4] Zhang J Z 1995 *Fractal* (Beijing : TsingHua University Press) p42 [张济中 1995 分形 (北京 : 清华大学出版社) 第 42 页]
- [5] Turcotte D L 1986 *J. Geophys. Res.* B **2** 192
- [6] Fabrizio S, Andrea B, Francesco S 2003 *Earth and Planetary Science Letters* **206** 173
- [7] Shu X M, Fang J, Shen S F, Liu Y J, Yuan H Y, Fan W C 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 4466 [in Chinese] 疏学明、方俊、申世飞、刘勇进、袁宏永、范维澄 2006 物理学报 **55** 4466]
- [8] Qiao L F, Zhang Y M, Xie Q Y, Fang J, Wang J J 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 2126 [in Chinese] 乔利锋、张永明、谢启源、方俊、王进军 2007 物理学报 **56** 6736]
- [9] Capinteri A, Pugno N 2003 *Powder Technology* **1** 93
- [10] Gu F, Yang J, Bian B M, He A 2007 *Acta Optica Sinica* **9** 1706 [in Chinese] 顾芳、杨娟、卞保民、贺安之 2007 光学学报 **9** 1706]
- [11] Gu F, Yang J, Bian B M, He A Z 2008 *Chin. Opt. Lett.* **3** 214

The fractal measurement of aerosol equivalent volume based on counting signal

Yang Juan Lai Xiao-Ming Peng Gang Bian Bao-Min[†] Lu Jian

(*Department of Information Physics and Engineer , Nanjing University of Science and Technology , Nanjing 210094 , China*)

(Received 24 September 2008 ; revised manuscript received 11 November 2008)

Abstract

The conception of mass subset is proposed for aerosol which also has been extended to the equivalent mass subset corresponding to counting signal channel. According to statistics , the fractal measurement model of aerosol 's equivalent volume for counting signal is established. Due to the aerosols ' shape distribution of different mass subsets showing the statistical self-similar character , the calculating formula is given for aerosol equivalent mass of signal channels in the process of aerosol mass measurement. Based on this , the theoretical basis is founded for aerosol mass measurement by using counting method.

Keywords : fractal measurement , shape parameter , mass measurement , mass subset

PACC : 0555 , 0630E

[†] E-mail : bianbaomin_56@yahoo.com.cn