

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200710042873.9

[51] Int. Cl.

G01N 15/00 (2006.01)

G01N 21/59 (2006.01)

G06F 19/00 (2006.01)

[45] 授权公告日 2010 年 3 月 24 日

[11] 授权公告号 CN 100595558C

[22] 申请日 2007.6.27

[21] 申请号 200710042873.9

[73] 专利权人 上海理工大学

地址 200093 上海市杨浦区军工路 516 号

[72] 发明人 沈建琪 蔡小舒 于彬

[56] 参考文献

CN201063015Y 2008.5.21

CN1710444A 2005.12.21

JP1 - 314950A 1989.12.20

基于动态光散射法的亚微米级微粒粒度测量. 郭永彩等. 重庆大学学报(自然科学版), 第 29 卷第 2 期. 2006

透过率起伏光谱分析法测粒技术. 沈建琪等. 光学学报, 第 26 卷第 3 期. 2006

审查员 张丽

[74] 专利代理机构 上海申汇专利代理有限公司

代理人 吴宝根

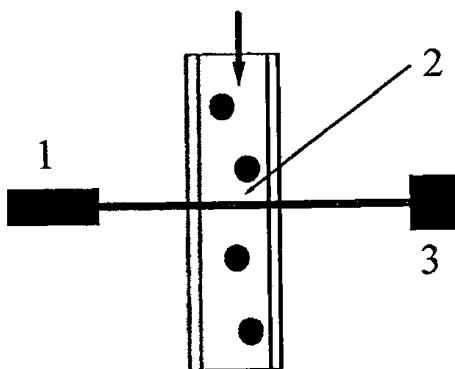
权利要求书 3 页 说明书 12 页 附图 3 页

[54] 发明名称

透过率脉动法颗粒测量方法及其装置

[57] 摘要

本发明公开了一种透过率脉动法颗粒测量方法及其装置，窄光束照射到流过的颗粒产生透过率脉动信号，通过光电探测器检测，采用模拟电路处理信号，降低了对数据采集速度、数据采集量、储存量、处理量等方面的要求，缩短了数据处理时间，可实现实时测量。加入了参考光探测用于获得入射光强度变化信息，参考光探测起到校正作用，可避免光源不稳定对测量结果的干扰影响。可实现同时对颗粒平均粒径和浓度进行测试。对颗粒粒径与光束截面大小没有 Gregory 方法的限制，可测颗粒粒径范围大。本发明可用于科学研究、化工能源的生产与过程控制、环境保护、水质检测等涉及颗粒测量的多个领域。



1. 一种透过率脉动法颗粒测量方法，其特征在于，方法步骤为：

- 1) 用一直径为  $D_B$ ，相应的光照截面为  $A_M = \pi D_B^2 / 4$ ，光强度为  $I_0$  的窄光束照射到流过的颗粒平均粒径为  $D_p$  的测量区，光束传播方向与颗粒流动方向垂直，测量区光学照射厚度为  $L$ ，在一段时间范围  $\{0, t_s\}$  内由光电探测器测量随时间脉动的透射光信号  $I(t)$ ，相应的透过率为  $T(t) = I(t)/I_0$ ；
- 2) 透过率脉动信号采用透过率平均值  $e\{T\}$  和透过率平方平均值  $e\{T^2\}$  来表达：

$$e\{T\} = \frac{1}{t_s} \int_0^{t_s} T(t) dt \quad (1)$$

$$e\{T^2\} = \frac{1}{t_s} \int_0^{t_s} [T(t)]^2 dt \quad (5)$$

透过率平方平均值  $e\{T^2\}$  与透过率平均值  $e\{T\}$  和透过率标准偏差  $\sigma_T$  存在关系  $e\{T^2\} = e\{T\}^2 + \sigma_T^2$ ，并可由

$$\ln e\{T^2\} = -\frac{1.5L}{D_p} C_V [2 - \chi(\Lambda)] \quad (7)$$

表示，其中特征函数  $\chi(\Lambda)$  可由

$$\chi(\Lambda) = \int_0^{+\infty} F_S \cdot \frac{2J_1^2(u)}{u} du \quad (8)$$

求解得到， $F_S$  是入射光束强度在截面上的分布因子，适用于圆形高斯光束、圆形均匀光束，对于高斯光束  $F_S$  为  $\exp[-(u\Lambda/2)^2]$ ，对于光强均匀分布的圆形光束  $F_S$  为  $[2J_1(u\Lambda)/u\Lambda]^2$ ， $\Lambda = D_B/D_p$  是光束直径与颗粒粒径的比值，特征函数  $\chi(\Lambda)$  与  $\Lambda = D_B/D_p$  存在单值关系，

透过率平均值  $e\{T\}$  由

$$\ln e\{T\} = -\frac{1.5L}{D_p} C_v \quad (6)$$

表示，

本发明数据处理模型公式(6)和(7)结合可得  $\chi(\Lambda)$  与  $e\{T\}$  和  $e\{T^2\}$  的关系：

$$\chi(\Lambda) = 2 - \frac{\ln e\{T^2\}}{\ln e\{T\}} \quad (9)$$

3) 由透射光探测器测量得到的透过率脉动信号采用模拟电路处理后得到的  $e\{T\}$  和  $e\{T^2\}$  代入公式(9)可得到  $\chi(\Lambda)$  的具体数值；

4) 对公式(8)作数值计算得到  $\chi(\Lambda)$ ，根据数值计算结果作  $\chi(\Lambda)$  和  $\Lambda (= D_B / D_p)$  的函数曲线图，测试得到的  $\chi(\Lambda)$  数值在曲线上查到对应的  $\Lambda$  值，结合已知光束直径  $D_B$  即可求出颗粒粒径  $D_p$ ，并通过公式(6)或(7)可计算得到颗粒体积浓度  $C_v$ 。

2. 根据权利要求 1 所述的一种透过率脉动法颗粒测量方法，特征在于，所述的步骤 3) 所述的模拟电路方法的具体步骤是：

1) 由透射光探测器测量得到透射光脉动信号预放大后，一路送低通滤波器得到透射光平均值  $e\{I\}$  表示为 S1，另一路经高通滤波器滤波后送入 RMS 方均根处理器得到透射光脉动信号的表示为 S2 的标准偏差平方值  $\sigma_I^2$  或直接送入 RMS 方均根处理器得到表示为 S2' 的透射光脉动信号平方的平均值  $e\{I^2\} = e\{I\}^2 + \sigma_I^2$ ；

2) 采集入射光信号  $I_0$ ，经放大后的信号表示为 S0，S0 结合上述得到的信号 S1，得到特征信号  $e\{T\} = e\{I\}/I_0$ ，S0 与上述得到的二路信号 S1 和 S2 结合或者 S0 与 S2' 结合得到特征信号  $e\{T^2\} = e\{T\}^2 + (\sigma_I/I_0)^2$ ；

3) 由上述 1) 和 2) 步骤得到的三路信号 S0、S1 和 S2 或者三路信号 S0、S1 和 S2' 通过由加法器、乘法器、除法器、对数放大器组成的信号后续处理器的运算处理，最后 S3 输出  $\ln e\{T\}$ 、S4 输出  $\ln e\{T^2\}/\ln e\{T\}$  进入数据采集 A/D 卡。

3. 一种为实现权利要求 1 所述的透过率脉动法颗粒测量方法的装置，它由测量区、获得入射光强度的参考光探测器、产生光束线度范围在 10 微米到 1.5 毫米之间的窄光束产生器、光电探测器和与其连接的信号处理装置构成，其特征在于，所述的信号处理装置包括模拟信号处理器和信号后续处理器，所述的模拟信号处理器由放大器、低通滤波器、高通滤波器、RMS 方均根处理器组成，透射光探测器检测到的透射光脉动信号通过放大器放大，一路经低通滤波器得到透射光平均值  $e\{I\}$  表示为 S1 的信号，另一路直接经 RMS 方均根处理器得到表示为 S2' 的透射光脉动信号平方的平均值  $e\{I^2\} = e\{I\}^2 + \sigma_I^2$  或通过高通滤波器后再经 RMS 方均根处理器得到表示为 S2 的透射光脉动信号标准偏差平方值  $\sigma_I^2$ ，参考光探测器输出经另一放大器放大后得到表示为 S0 的入射光信号  $I_0$ ；所述的信号后续处理器包括加法器、乘法器、除法器、对数放大器，由模拟信号处理器得到的三路信号 S0、S1 和 S2 或者由模拟信号处理器得到的三路信号 S0、S1 和 S2' 通过加法器、乘法器、除法器、对数放大器运算得到最后 S3 输出  $\ln e\{T\}$ 、S4 输出  $\ln e\{T^2\}/\ln e\{T\}$  进入数据采集 A/D 卡。

## 透过率脉动法颗粒测量方法及其装置

### 技术领域

本发明涉及一种可同时测量颗粒平均粒径和浓度的测量方法及装置，特别涉及一种透过率脉动法颗粒测量方法及其装置，属于测量技术领域。可用于科学研究、化工能源的生产与过程控制、环境保护、水质检测等涉及颗粒测量的很多领域。

### 背景技术

在大多数光学颗粒测量技术中，一般都对在一定时间范围内测量得到的光信号取平均，目的是消除一些偶然因素带来的信号波动。这些信号波动的来源各不相同，有些与被测颗粒无关，如光电器件的固有噪声；而有些则是颗粒本身某种特性对外界提供的信息，如由于测量区内不同时刻颗粒数量及其粒度变化引起的透射光信号的脉动。对于前者，测量时必须设法消除；而对于后者，如果能建立起适当的理论描述体系，则有可能从这种信号脉动中获取有关颗粒的信息，消光脉动法就是利用这种信息测量颗粒粒径和浓度的一种光学方法。

1985 年 Gregory 首次提出了透过率脉动法，可同时测量颗粒的平均粒径和浓度(J. Gregory, Turbidity Fluctuations in Flowing Suspensions, Journal of Colloid and Interface Science, Vol. 105, No. 2, 1985: 357-371)。用一束窄激光照射样品，测量原理见图 1。激光束直径为  $D_B$ ，相应的光照截面为  $A_M = \pi D_B^2 / 4$ ，颗粒平均粒径为  $D_p$ ，样品区光学照射厚度为  $L$ 。用光强度为  $I_0$  的入射光照射，在一段比较长的时间范围  $\{0, t_s\}$  内测量透射光信号  $I(t)$ ， $I(t)$  随时间脉动。可计算得到透过率  $T(t) = I(t)/I_0$  的平均值  $e\{T\}$  及其标准偏差  $\sigma_T$ 。

$$e\{T\} = \frac{1}{t_s} \int_0^{t_s} T(t) dt \quad (1)$$

$$\sigma_T^2 = \frac{1}{t_s} \int_0^{t_s} [T(t) - e\{T\}]^2 dt \quad (2)$$

由 Gregory 的透过率脉动法模型可得到颗粒的平均粒径  $D_p$  和体积浓度  $C_v$  :

$$D_p = \frac{D_B}{\sqrt{-\ln e\{T\}}} \ln \left[ \frac{\sigma_T}{e\{T\}} + \sqrt{\left( \frac{\sigma_T}{e\{T\}} \right)^2 + 1} \right] \quad (3)$$

$$C_v = -\frac{2D_p}{3L} \ln e\{T\} \quad (4)$$

在 Gregory 方法中, 要求光束直径比较小以便有足够的信号脉动幅度得到透过率标准偏差, 但同时要求光束直径远比颗粒粒径大。这限制了颗粒粒径的测量范围和准确度。

其次, 目前采用透过率脉动法在信号采集方面主要以采集透射光信号序列为  
主, 信号处理由计算机完成。这要求较高的数据采集卡(A/D 卡)采样速率、较大的  
计算机储存资源和一定的 CPU 处理时间, 对实时测量不利。

## 发明内容

本发明目的是在 Gregory 的颗粒测量技术基础上, 延拓颗粒粒径的测量范围, 并且解决 Gregory 方法数据处理困难、测量准确度不高等问题。其次, 采用模拟处理电路替代计算机信号处理, 降低对数据采集卡的要求、节省信号处理时间, 实现快速、实时测量。实现对颗粒粒度和浓度的在线、实时监测。

本发明的技术方案是, 一种透过率脉动法颗粒测量方法, 其特点是, 方法步骤为:

1. 用一直径为  $D_B$ , 相应的光照截面为  $A_M = \pi D_B^2 / 4$ , 颗粒平均粒径为  $D_p$ , 光强度为  $I_0$  的窄光束照射到流过的颗粒平均粒径为  $D_p$  的测量区, 光束传播方向与颗粒流动方向垂直, 测量区光学照射厚度为  $L_0$ , 在一段时间范围  $\{0, t_s\}$  内由透射光探测器测量随时间脉动的透射光信号  $I(t)$ , 相应的透过率为  $T(t) = I(t)/I_0$ ;
2. 透过率脉动信号采用透过率平均值  $e\{T\}$  和透过率平方平均值  $e\{T^2\}$  来表

达:

$$e\{T\} = \frac{1}{t_s} \int_0^{t_s} T(t) dt \quad (1)$$

$$e\{T^2\} = \frac{1}{t_s} \int_0^{t_s} [T(t)]^2 dt \quad (5)$$

透过率平方平均值  $e\{T^2\}$  与透过率平均值  $e\{T\}$  和透过率标准偏差  $\sigma_T$  存在关系  $e\{T^2\} = e\{T\}^2 + \sigma_T^2$ , 并可由

$$\ln e\{T^2\} = -\frac{1.5L}{D_p} C_V [2 - \chi(\Lambda)] \quad (7)$$

表示, 其中特征函数  $\chi(\Lambda)$  可由

$$\chi(\Lambda) = \int_0^{+\infty} F_s \cdot \frac{2J_1^2(u)}{u} du \quad (8)$$

求解得到,  $F_s$  是光束光强在截面上的分布因子, 适用于圆形高斯光束、圆形均匀光束, 对于高斯光束  $F_s$  为  $\exp[-(u\Lambda/2)^2]$ , 对于光强均匀分布的圆形光束  $F_s$  为  $[2J_1(u\Lambda)/u\Lambda]^2$ ,  $\Lambda = D_B/D_p$  是光束直径与颗粒粒径的比值, 特征函数  $\chi(\Lambda)$  与  $\Lambda = D_B/D_p$  存在单值关系,

透过率平均值  $e\{T\}$  由

$$\ln e\{T\} = -\frac{1.5L}{D_p} C_V \quad (6)$$

表示,

本发明数据处理模型公式(6)和(7)结合可得  $\chi(\Lambda)$  与  $e\{T\}$  和  $e\{T^2\}$  的关系:

$$\chi(\Lambda) = 2 - \frac{\ln e\{T^2\}}{\ln e\{T\}} \quad (9)$$

3. 由透射光探测器测量得到的透过率脉动信号采用模拟电路方法得到的  $e\{T\}$  和  $e\{T^2\}$  代入公式(9)可得到  $\chi(\Lambda)$  的具体数值;

4. 对公式(8)作数值计算得到  $\chi(\Lambda)$ ，根据数值计算结果作  $\chi(\Lambda)$  和  $\Lambda (= D_B / D_p)$  的函数曲线图，测试得到的  $\chi(\Lambda)$  数值在曲线上查到对应的  $\Lambda$  值，结合已知光束直径  $D_B$  即可求出颗粒粒径  $D_p$ ，并通过公式(6)或(7)可计算得到颗粒体积浓度  $C_V$ 。

步骤 3 中所述的模拟电路方法的具体步骤是：

1) 由透射光探测器测量得到透射光脉动信号预放大后，一路送低通滤波器得到透射光平均值  $e\{I\}$  表示为 S1，另一路经高通滤波器滤波后送入 RMS 方均根处理器，如 AD536 芯片模块，得到透射光脉动信号的表示为 S2 的标准偏差平方值  $\sigma_I^2$  或直接送入 RMS 均方根处理器得到表示为 S2' 的透射光脉动信号平方的平均值  $e\{I^2\} = e\{I\}^2 + \sigma_I^2$ ；

2) 采集入射光信号  $I_0$ ，经放大后的信号表示为 S0，S0 结合上述得到的信号 S1，得到特征信号  $e\{T\} = e\{I\}/I_0$ ，S0 与上述得到的二路信号 S1 和 S2 结合或者 S0 与 S2' 结合得到特征信号  $e\{T^2\} = e\{T\}^2 + (\sigma_I/I_0)^2$ ；

3) 由上述 1) 和 2) 步骤得到的三路信号 S0、S1 和 S2 或者三路信号 S0、S1 和 S2' 通过由加法器、乘法器、除法器、对数放大器组成的信号后续处理器的运算处理，最后 S3 输出  $\ln e\{T\}$ 、S4 输出  $\ln e\{T^2\}/\ln e\{T\}$  进入数据采集 A/D 卡。

一种为实现透过率脉动法颗粒测量方法的装置，它由测量区、获得入射光强度的参考光探测器、产生光束线度范围在 10 微米到 1.5 毫米之间的窄光束产生器、光电信号探测器和与其连接的信号处理装置构成，特点是，所述的信号处理装置包括模拟信号处理器和信号后续处理器构成，用以实现透过率信号处理。

所述的窄光束产生器由产生平行光束的激光器、扩束器、透镜或透镜组构成，由激光器发射出的宽光束经扩束器后，通过透镜或透镜组会聚，在焦点附近的瑞利区得到窄光束。

所述的窄光束产生器由产生平行光束的激光器和在光信号发射端和光信号接收端设置的光阑或光导纤维构成，通过激光器发射出的宽光束在传播方向上设

置的光阑或光导纤维得到窄光束。

所述的窄光束产生器由产生平行光束的激光器和微元信号探测器构成，所述的微元光电探测器由微小受光面积的由硅光薄膜材料制成的光电探测单元构成。

所述的窄光束产生器中的光阑的孔形状为矩形孔或圆孔，光导纤维受光面的形状为圆形孔，微元信号探测器的受光面形状为圆形或多边形的形状。

所述的信号处理装置包括模拟信号处理器和信号后续处理器，所述的模拟信号处理器由放大器、低通滤波器、高通滤波器、RMS 方均根处理器和 A/D 卡组成，透射光探测器检测到的透射光脉动信号通过放大器放大，一路经低通滤波器得到透射光平均值  $e\{I\}$  表示为 S1 的信号，另一路直接经 RMS 方均根处理器得到表示为 S2' 的透射光脉动信号平方的平均值  $e\{I^2\} = e\{I\}^2 + \sigma_I^2$ ，或通过高通滤波器后再经 RMS 方均根处理器得到表示为 S2 的透射光脉动信号标准偏差平方值  $\sigma_I^2$ ，参考光探测器输出经另一放大器放大后得到表示为 S0 的入射光信号  $I_0$ ；所述的信号后续处理器包括加法器、乘法器、除法器、对数放大器，由模拟信号处理器得到的三个信号 S0、S1 和 S2 或者三个信号 S0、S1 和 S2' 通过加法器、乘法器、除法器、对数放大器运算得到最后 S3 输出  $\ln e\{T\}$ 、S4 输出  $\ln e\{T^2\}/\ln e\{T\}$  进入数据采集 A/D 卡。

本发明的有益效果：测量方法和测量装置简单、价廉，可实现在线监测。由于采用模拟电路信号处理模块，降低了对数据采集速度、数据采集量、数据储存量和数据处理量等方面的要求，大大缩短了数据处理时间，可实现实时测量。在模拟信号处理电路中，加入了参考光探测用于获得入射光强度变化信息，参考光探测起到了校正作用，可有效避免光源不稳定对测量结果的干扰影响。可实现同时对颗粒多参数(颗粒平均粒径和浓度)进行测试。对颗粒粒径与光束截面大小没有 Gregory 方法的限制，可测颗粒粒径范围大。可用于科学研究、化工能源的生产与过程控制、环境保护、水质检测等涉及颗粒测量的多个领域。

### 技术原理：

本发明建立新的数据处理模型。与 Gregory 方法不同，本发明中透过率脉动

信号采用透过率平均值  $e\{T\}$  和透过率平方平均值  $e\{T^2\}$  来表达。

$$e\{T^2\} = \frac{1}{t_s} \int_0^{t_s} T^2(t) dt \quad (5)$$

透过率平方平均值  $e\{T^2\}$  与透过率标准偏差  $\sigma_T$  存在关系  $e\{T^2\} = e\{T\}^2 + \sigma_T^2$ ,

并可由

$$\ln e\{T^2\} = -\frac{1.5L}{D_p} C_V [2 - \chi(\Lambda)] \quad (7)$$

表示，其中特征函数  $\chi(\Lambda)$  可由

$$\chi(\Lambda) = \int_0^{+\infty} F_S \cdot \frac{2J_1^2(u)}{u} du \quad (8)$$

求解得到。 $F_S$  是光束光强在截面上的分布因子，适用于圆形高斯光束、圆形均匀光束、对于高斯光束  $F_S$  为  $\exp[-(u\Lambda/2)^2]$ ，对于光强均匀分布的圆形光束  $F_S$  为  $[2J_1(u\Lambda)/u\Lambda]^2$ 。 $\Lambda = D_B/D_p$  是光束直径与颗粒粒径的比值。特征函数  $\chi(\Lambda)$  与  $\Lambda = D_B/D_p$  存在单值关系，

透过率平均值  $e\{T\}$  由

$$\ln e\{T\} = -\frac{1.5L}{D_p} C_V \quad (6)$$

表示，

通过本发明数据处理模型公式(6)和(7)结合可得  $\chi(\Lambda)$  与  $e\{T\}$  和  $e\{T^2\}$  的关系：

$$\chi(\Lambda) = 2 - \frac{\ln e\{T^2\}}{\ln e\{T\}} \quad (9)$$

实际测试中，由测量得到的透过率脉动信号可采用模拟电路方法得到，代入公式(9)可得到  $\chi(\Lambda)$  的具体数值。 $\chi(\Lambda)$  可对公式(8)作数值计算得到，图 7 是

$\chi(\Lambda)$  的数值计算结果。由测试得到的  $\chi(\Lambda)$  数值可在曲线上查到对应的  $\Lambda$  值，结合光束直径  $D_B$  即可求出颗粒粒径  $D_p$ ，并通过公式(6)或(7)可计算得到颗粒体积浓度  $C_v$ 。

当光束直径远大于颗粒粒径 ( $\Lambda \geq 3$ ) 时，标准偏差远小于透过率平均值。因此，存在  $\chi(\Lambda) \approx -\frac{1}{\ln e\{T\}} \frac{\sigma_T^2}{e\{T\}^2}$  且在数值上  $\chi(\Lambda)$  逼近  $\Lambda^{-2}$ 。由此可得

$$D_p = D_B \sqrt{\frac{1}{-\ln e\{T\}}} \cdot \frac{\sigma_T}{e\{T\}} \quad (10)$$

同理，在标准偏差远小于透过率平均值时公式(3)中的  
 $\ln \left[ \frac{\sigma_T}{e\{T\}} + \sqrt{\left( \frac{\sigma_T}{e\{T\}} \right)^2 + 1} \right] \approx \frac{\sigma_T}{e\{T\}}$ ，由此得到公式(3)的近似式与公式(10)一致。这表示：Gregory 方法是本发明理论模型中光束直径远大于颗粒粒径时的特殊情况。

本发明的理论模型对光束直径与颗粒粒径的关系没有 Gregory 方法中的限制。因此，可测量颗粒粒径范围要宽得多。其次，Gregory 方法要求光束截面内的光强均匀分布，而本模型中对光束截面强度因子可灵活掌握，譬如可取高斯光束照射颗粒系。此外，从  $\chi(\Lambda)$  曲线可发现，在  $\Lambda \approx 1$  附近  $\chi(\Lambda)$  具有较大的斜率绝对值，说明在这范围透过率脉动方法具有较高的测量精度，而 Gregory 适用的区域测量精度明显偏低。

## 附图说明

图 1 透过率起伏法测量原理图；

图 2 模拟信号处理系统；

图 3 信号后续处理系统；

图 4 本发明测量装置实施例 1 示意图；

图 5 本发明测量装置实施例 2 示意图；

图 6 本发明测量装置实施例 3 示意图；

图 7 圆形均匀光束情况下的  $\chi(\Lambda)$  的曲线图。

### 具体实施方式

本发明采用模拟电路处理方式实现透过率脉动信号及其平均值的记录和处理，具体实施结合附图作详细描述：其方法实施步骤为：

1、由图 1 所示，由窄光束产生器发出光强度为  $I_0$  的窄光束 1 垂直入射照射到流过的颗粒平均粒径为  $D_p$  的测量区 2，测量区光学照射厚度为  $L$ ，在一段时间范围  $\{0, t_s\}$  内由透射光探测器 3 测量随时间脉动的透射光信号  $I(t)$ ，相应的透过率为  $T(t) = I(t)/I_0$ ；

2、建立新的数据处理模型，透过率脉动信号采用透过率平均值  $e\{T\}$  和透过率平方平均值  $e\{T^2\}$  来表达：

$$e\{T^2\} = \frac{1}{t_s} \int_0^{t_s} T^2(t) dt \quad (5)$$

透过率平方平均值  $e\{T^2\}$  与透过率标准偏差  $\sigma_T$  存在关系  $e\{T^2\} = e\{T\}^2 + \sigma_T^2$ ，  
并可由

$$\ln e\{T^2\} = -\frac{1.5L}{D_p} C_V [2 - \chi(\Lambda)] \quad (7)$$

表示，其中特征函数  $\chi(\Lambda)$  可由

$$\chi(\Lambda) = \int_0^{+\infty} F_S \cdot \frac{2J_1^2(u)}{u} du \quad (8)$$

求解得到， $F_S$  是光束光强在截面上的分布因子，适用于圆形高斯光束、圆形均匀光束，对于高斯光束  $F_S$  为  $\exp[-(u\Lambda/2)^2]$ ，对于光强均匀分布的圆形光束  $F_S$  为  $[2J_1(u\Lambda)/u\Lambda]^2$ ， $\Lambda = D_B/D_p$  是光束直径与颗粒粒径的比值，特征函数  $\chi(\Lambda)$  与  $\Lambda = D_B/D_p$  存在单值关系，

透过率平均值  $e\{T\}$  由

$$\ln e\{T\} = -\frac{1.5L}{D_p} C_V \quad (6)$$

表示，

由本发明数据处理模型公式(6)和(7)可得  $\chi(\Lambda)$  与  $e\{T\}$  和  $e\{T^2\}$  的关系：

$$\chi(\Lambda) = 2 - \frac{\ln e\{T^2\}}{\ln e\{T\}} \quad (9)$$

3、采用模拟电路方法得到的  $e\{T\}$  和  $e\{T^2\}$  代入公式(9)可得到  $\chi(\Lambda)$  的测试数值；

4、对公式(8)作数值计算得到  $\chi(\Lambda)$ ，根据数值计算结果作  $\chi(\Lambda)$  和  $\Lambda (= D_B / D_p)$  的函数曲线图 7，测试得到的  $\chi(\Lambda)$  数值在曲线上查到对应的  $\Lambda$  值，结合已知光束直径  $D_B$  即可求出颗粒粒径  $D_p$ ，并通过公式(6)或(7)可计算得到颗粒体积浓度  $C_V$ 。在  $0.1 \leq \Lambda \leq 10$  范围内，本发明理论模型可得到好的测量结果；然而 Gregory 方法的适用范围为  $\Lambda \geq 3$ 。

步骤 3 中所述的模拟电路方法，结合图 2、图 3，其具体步骤是：

1) 透射光探测器 3 测量得到透射光脉动信号经信号放大器 4 预放大后，一路送入低通滤波器 5 得到透射光平均值  $e\{I\}$  表示为 S1，另一路经高通滤波器 6 滤波后送入 RMS 方均根处理器 7(如 AD536 芯片模块)得到透射光脉动信号的表示为 S2 的标准偏差平方值  $\sigma_I^2$  或不经高通滤波器 6 而直接送入 RMS 方均根处理器 7 得到表示为 S2' 的透射光脉动信号平方的平均值  $e\{I^2\} = e\{I\}^2 + \sigma_I^2$ ；

2) 通过参考光探测器 8 采集入射光信号  $I_0$ ，经放大器 9 放大后的信号表示为 S0，并结合上述得到的二路信号 S1 和 S2 或二路信号 S1 和 S2'，经模拟信号处理模块后由 A/D 卡 10 采集送计算机处理，得到特征信号  $e\{T\} = e\{I\}/I_0$  和

$$e\{T^2\} = e\{T\}^2 + (\sigma_I/I_0)^2;$$

3) 由图 3 所示, 上述 1) 和 2) 步骤得到的三路信号 S0、S1 和 S2 或者三路信号 S0'、S1' 和 S2' 通过由加法器 15、乘法器 12 和 13、除法器 11、14 和 18、对数放大器 16 和 17 组成的信号后续处理器的运算处理, 最后 S3 输出  $\ln e\{T\}$ 、S4 输出  $\ln e\{T^2\}/\ln e\{T\}$  进入 A/D 卡 10。

当采用图 2 的信号处理电路时, S1 输出  $e\{I\}$ , S2 输出  $\sigma_I^2$  (采用高通滤波器的形式), S0 输出入射光强度  $I_0$ 。则可得

$$\begin{aligned} e\{T\} &= \frac{e\{I\}}{I_0} \\ e\{T^2\} &= e\{T\}^2 + \left(\frac{\sigma_I}{I_0}\right)^2 \end{aligned} \quad (11)$$

当采用图 2 的信号处理电路、并不使用高通滤波器时, S2' 输出  $e\{I^2\}$ 。公式(11)为

$$\begin{aligned} e\{T\} &= \frac{e\{I\}}{I_0} \\ e\{T^2\} &= \frac{e\{I^2\}}{I_0^2} \end{aligned} \quad (12)$$

当采用图 3 的后续处理电路时, 输出的二路信号即是  $\ln e\{T\}$  和  $\ln e\{T^2\}/\ln e\{T\}$ 。

代入公式(9)可得到函数  $\chi(\Lambda)$  的数值, 与  $\chi(\Lambda)$  曲线比较即可确定颗粒平均粒径进而由公式(6)或(7)得到颗粒体积浓度。

一种为实现透过率脉动法的颗粒测量方法的装置, 它由测量区、获得入射光强度的参考光探测器、产生光束线度范围在 10 微米到 1.5 毫米之间的窄光束产生器、光电信号探测器和与其连接的信号处理装置构成。装置中的参考光探测器用于监视入射光强度的波动, 避免对测试结果干扰。在调试阶段测量区中无颗粒时, 同时测量透射光信号和参考光信号, 调整参考光信号的放大倍数使透射光信号和参考光信号相等。

本发明测量装置实施例 1:

由图 4 所示，所述的窄光束产生器由产生平行光束的激光器 19、扩束器 22、透镜或透镜组 23 构成。由激光器 19 发射出的光束经分束器 20 和扩束器 22 后，通过透镜或透镜组 23 会聚，在焦点附近的瑞利区得到窄光束。窄光束通过测量区 2 后的透射光经接收透镜 24 后由光电探测器 3 接收。分束器 20 和参考光探测器 21 用于监视入射光强度的波动。

本发明测量装置实施例 2:

由图 5 所示，它包括激光器 19、分束器 20、参考光探测器 21、扩束器 22。本实施例中的窄光束产生器由在光信号发射端和光信号接收端设置的光阑或光导纤维构成。通过激光器发射出的宽光束在传播方向上设置的光阑或光导纤维得到窄光束。光阑设置为前方光阑 25 和后方光阑 26，两者可任选一或组合使用。激光器 19 发射出的宽光束经前方光阑 25 成窄光束通过测量区 2 后的透射光由光电探测器 3 接收或激光器 19 发射出的宽光束经通过测量区 2 后的透射光经后方光阑 26 由光电探测器 3 接收。

本发明测量装置实施例 3:

由图 6 所示，它包括激光器 19、分束器 20、参考光探测器 21、扩束器 22、测量区 2 和光电探测器 3。特点是，本实施例中所述的窄光束产生器由激光器 19、分束器 20、扩束器 22 和置于透射光探测器 3 前的采用微孔光阑或光导纤维的窄光束引导器 27 组成或是由产生平行光束的激光器和微元信号探测器构成，所述的微元光电探测器由微小受光面积的由硅光薄膜材料制成的光电探测单元构成。

由图 2、图 3 所示，信号处理装置包括模拟信号处理器和信号后续处理器。

所述的模拟信号处理器由放大器、低通滤波器、高通滤波器和 RMS 方均根处理器组成，透射光探测器 3 检测到的透射光脉动信号通过放大器 4 放大，一路经低通滤波器 5 得到透射光平均值  $e\{I\}$  表示为 S1 的信号，另一路直接经 RMS 方均根处理器 7(跨接高通滤波器 6 的输入与输出端)得到表示为 S2' 的透射光脉动信号平方的平均值  $e\{I^2\} = e\{I\}^2 + \sigma_I^2$  或通过高通滤波器 6 再经 RMS 方均根处理器 7 得到表示为 S2 的透射光脉动信号标准偏差平方值  $\sigma_I^2$ ，参考光探测器 8 输出经

放大器 9 放大后得到表示为 S0 的入射光信号  $I_0$ 。

所述的信号后续处理器包括加法器、乘法器、除法器、对数放大器。由模拟信号处理器得到的三路信号 S0、S1 和 S2，或者由模拟信号处理器得到的三路信号 S0、S1 和 S2' 通过加法器、乘法器、除法器、对数放大器运算，最后得到 S3 输出  $\ln e\{T\}$ 、S4 输出  $\ln e\{T^2\}/\ln e\{T\}$  进入数据采集卡(A/D 卡)。具体地说：S0 和 S1 经除法器 11 得到透过率平均值  $e\{T\}$ ，再由乘法器 13 得到透过率平均值的平方  $e\{T\}^2$ ；S0 经乘法器 12 得到入射光强度平方，再与 S2 经除法器 14 得到透过率的标准偏差  $\sigma_T^2$ ；由乘法器 13 输出的透过率平均值的平方  $e\{T\}^2$  与除法器 14 输出的透过率的标准偏差  $\sigma_T^2$  经加法器 15 得到透过率平方的平均值  $e\{T^2\}$ ，再经对数放大器 16 得到  $\ln e\{T^2\}$ 。除法器 11 得到透过率平均值  $e\{T\}$  经对数放大器 17 得到  $\ln e\{T\}$  表示为 S3。对数放大器 16 和 17 输出得  $\ln e\{T^2\}$  和  $\ln e\{T\}$  经除法器 18 得到  $\ln e\{T^2\}/\ln e\{T\}$  表示为 S4。信号 S3 和 S4 经数据采集卡送计算机处理可得颗粒平均粒径和浓度。

当输入的信号为 S2' 时，除法器 14 输出的信号是透过率平方的平均值  $e\{T^2\}$ ，将  $e\{T^2\}$  直接送对数放大器 16 得到  $\ln e\{T^2\}$ 。因此，乘法器 13 和加法器 15 可省去。

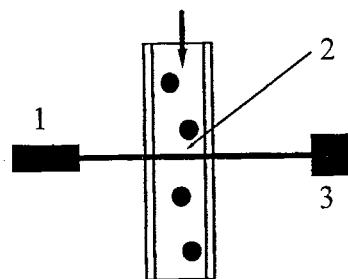


图 1

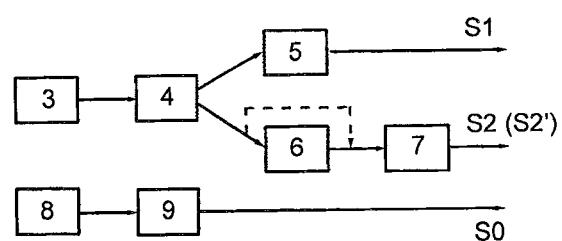


图 2

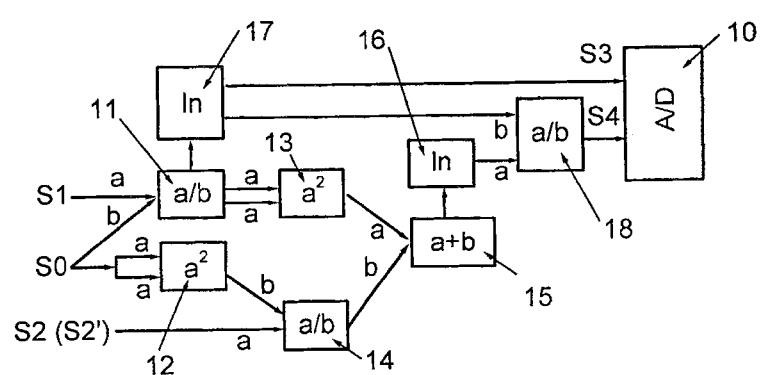


图 3

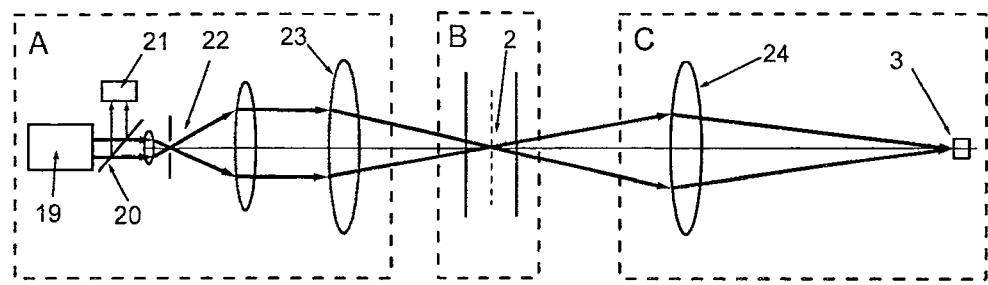


图 4

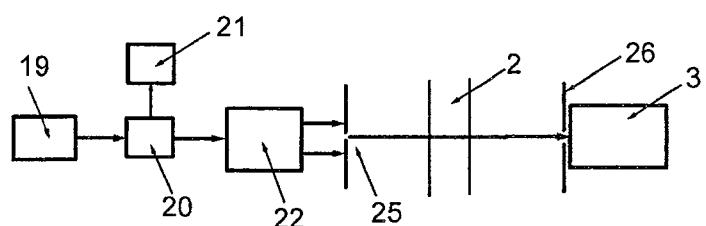


图 5

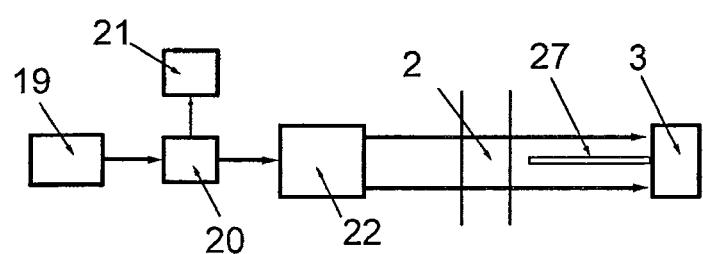


图 6

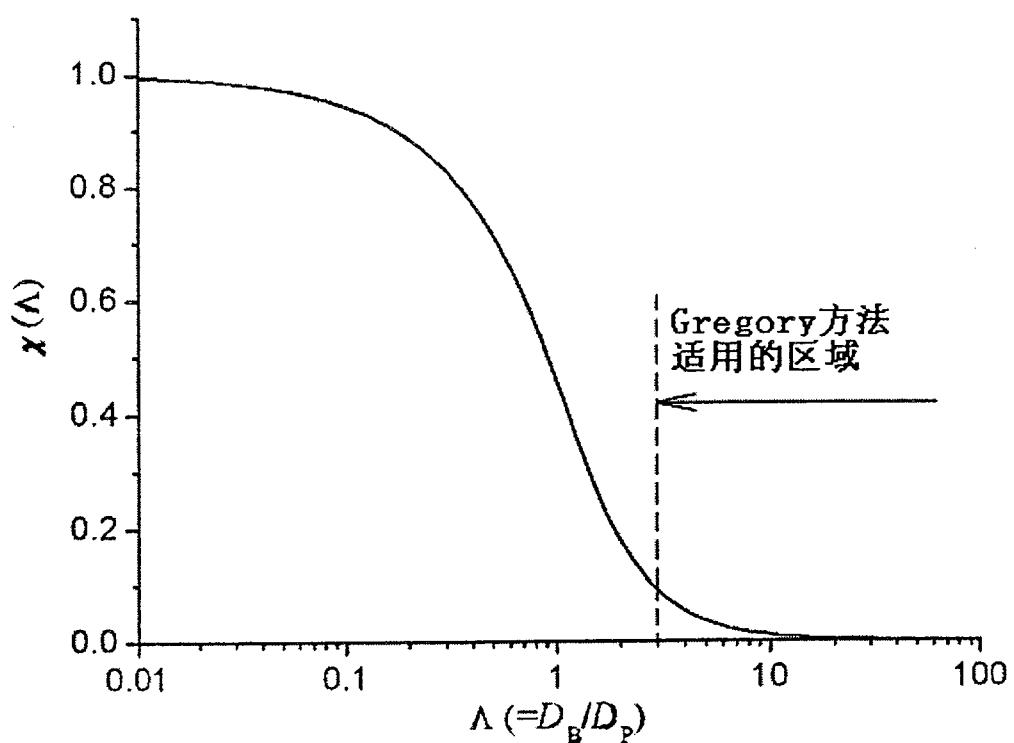


图7