



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112461719 A

(43) 申请公布日 2021.03.09

(21) 申请号 202011297519.2

(22) 申请日 2020.11.19

(71) 申请人 南京工程学院

地址 211167 江苏省南京市江宁科学园弘景大道1号

(72) 发明人 乔正辉 潘效军 陈明 王娟 张长飞

(74) 专利代理机构 南京睿之博知识产权代理有限公司 32296

代理人 刘菊兰

(51) Int. Cl.

G01N 15/02 (2006.01)

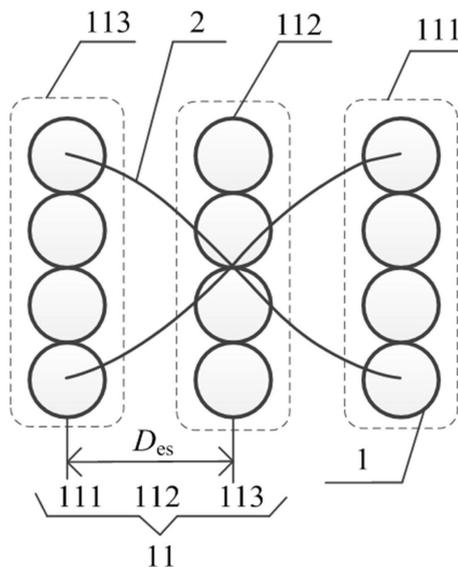
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种宽筛分颗粒主要粒径尺寸的非均匀声场测试方法

(57) 摘要

本发明公开了一种宽筛分颗粒主要粒径尺寸的非均匀声场测试方法,其特征在于将粒径尺寸不同的宽筛分颗粒放入非均匀声场中,颗粒在某个频率和声压强度的非均匀声场中悬浮、迁移、聚散、团聚、沉降,形成多条颗粒团条纹,用相机或带有显微镜功能的相机拍摄颗粒团条纹,统计、测量、计算出多个相邻颗粒团条纹的间距,并结合颗粒物性和声场参数,计算出颗粒直径;根据试验数据是否落在多条粒径-条纹间距-频率变化曲线上,筛选试验数据;根据粒径数值近似但频率和试验条纹间距不同,筛选出宽筛分颗粒的主要粒径尺寸。该宽筛分颗粒主要粒径尺寸测试方法,对于纳米、微米、毫米等尺寸小于声场波长的各种颗粒都具有非常高的测量精度。



1. 一种宽筛分颗粒主要粒径尺寸的非均匀声场测试方法,其特征在於:包括以下步骤:

第一步:用导线把具有信号输出的含功率放大功能的信号发生器和非均匀声场发生装置中的扬声器连接成电学回路;

第二步:通过调节信号发生器的输出频率和电压振幅,改变非均匀声场发生装置中扬声器的输出声压和频率,在非均匀发生装置中产生与驻波类似的特定声压强度和频率的非均匀声场(2);

第三步:将粒径尺寸不同的宽筛分颗粒(1)导入非均匀声场发生装置内产生的非均匀声场(2)中;

第四步:宽筛分颗粒(1)在非均匀声场中悬浮、迁移、聚散、团聚、沉降成多条颗粒团条纹(11);

用相机或带有显微镜功能的相机拍摄颗粒团条纹(11);

针对所拍摄的颗粒团条纹(11)图片,统计、测量、计算出多个相邻颗粒团条纹(11)的间距;

第五步:通过颗粒团条纹公式,在颗粒物性和声场参数一定的条件下,计算颗粒粒径 $d_p$ ;其中,一种颗粒团条纹公式可表示为:

$$D_{es}^6 = \frac{d_p^3}{4k^3} \left( \frac{\rho_p}{\rho_a} - 1 \right)^2 \left( \frac{\rho_p}{\rho_a} - \frac{\beta_p}{\beta_a} \right)^{-1}$$

式中 $D_{es}$ 表示所测得颗粒团条纹的相邻条纹间距; $d_p$ 表示组成颗粒团条纹的颗粒粒径; $\rho_a$ 和 $\rho_p$ 分别表示非均匀声场中主流气体介质和颗粒的密度; $\beta_a$ 和 $\beta_p$ 分别表示非均匀声场中主流气体介质和颗粒的可压缩系数; $k=2\pi f/c$ 表示波数, $f$ 和 $c$ 分别表示非均匀声场(2)的频率和声速;

利用不同相邻颗粒团条纹(11)的不同间距参数,计算出对应的不同颗粒粒径,也即是宽筛分颗粒中颗粒数量占比多的粒径;

第六步:改变信号发生器的输出频率和电压振幅,重复第二步至第五步一次以上,得到若干组由频率、粒径、条纹间距的数据组合;

第七步:利用颗粒团条纹公式,以粒径 $d_p$ 为横坐标,相邻条纹间距 $D_{es}$ 为纵坐标,在第六步选用的不同频率条件下,绘制纵横坐标轴为对数坐标系形式的二维线型图表,获得若干条粒径-条纹间距-频率变化数据线;

第八步:将第六步经实验测试计算获得的频率、粒径、条纹间距数据组合,绘入第七步的二维图表中,再去掉数据组合中不在二维图表中粒径-条纹间距-频率变化数据线上的数据组合,依据该筛选方法,获得正确的数据组合;

以粒径数值近似但频率和条纹间距不同为判断标准,筛选出粒径近似的数据组合,并把数值近似的不同粒径平均值作为宽筛分颗粒的主要粒径;粒径数值近似标准为针对围绕该主要粒径的某粒径数值范围区间,该主要粒径数值所对应的颗粒数量占比为区间内其它粒径所对应颗粒数量占比的极大值,即该主要粒径数值所对应的颗粒数量占比多;

第九步:宽筛分颗粒的主要粒径尺寸包括第八步获得的多个主要粒径。

2. 根据权利要求1所述的一种宽筛分颗粒主要粒径尺寸的非均匀声场测试方法,其特征在於包括:所述宽筛分颗粒(1)的来源是气液两相流或气固两相流或气液固三相流中的

燃烧源悬浮颗粒,或者是磨煤机研磨出的煤粉,或者是除尘器收集的粉尘,或者是燃烧产生烟气中的颗粒物,或者是大气环境中的空气悬浮颗粒。

## 一种宽筛分颗粒主要粒径尺寸的非均匀声场测试方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种宽筛分颗粒主要粒径尺寸的非均匀声场测试方法,属于微颗粒尺寸测试和操控领域。

### 背景技术

[0002] 燃烧源悬浮颗粒、磨煤机研磨出的煤粉、除尘器收集的粉尘、燃烧所产生烟气中的颗粒物、大气环境中空气悬浮颗粒、化妆品气溶胶颗粒等生产生活场合中常常遇到的实际多分散系颗粒物通常尺寸类型复杂,测得复杂尺寸颗粒系统的颗粒特性是颗粒学重点关注的重要课题,对于指导颗粒物产品的工业生产应用意义重大。

[0003] 宽筛分颗粒,特别是纳米、亚微米、微米级颗粒物的主要颗粒数量占比的粒径尺寸精确测试方法面临着巨大挑战。由于纳米、亚微米颗粒尺寸较小,在浓度较低的气固两相流场合,传统所采用的称重法需要大量的气溶胶样本和相当长的测试时间,并且对测试仪器称重灵敏度要求很高,使商用仪器价格昂贵。

### 发明内容

[0004] 发明目的:为了克服现有技术中存在的问题,本发明提供一种宽筛分颗粒主要粒径尺寸的非均匀声场测试方法,本发明通过变量操控非均匀驻波声场中纳米、微米、毫米等尺寸小于声场波长的各种颗粒形成的颗粒条纹间距,利用所测得的条纹间距获得宽筛分颗粒中颗粒数量占比相对较多的主要粒径,测量精度非常高。

[0005] 技术方案:为实现上述目的,本发明采用的技术方案为:

[0006] 一种宽筛分颗粒主要粒径尺寸的非均匀声场测试方法,其特征在于:包括以下步骤:

[0007] 第一步:用导线把具有信号输出的含功率放大功能的信号发生器和非均匀声场发生装置中的扬声器连接成电学回路;

[0008] 第二步:通过调节信号发生器的输出频率和电压振幅,改变非均匀声场发生装置中扬声器的输出声压和频率,在非均匀发生装置中产生与驻波类似的特定声压强度和频率的非均匀声场;

[0009] 第三步:将粒径尺寸不同的宽筛分颗粒导入非均匀声场发生装置内产生的非均匀声场中;

[0010] 第四步:宽筛分颗粒在非均匀声场中悬浮、迁移、聚散、团聚、沉降成多条颗粒团条纹;

[0011] 用相机或带有显微镜功能的相机拍摄颗粒团条纹;

[0012] 针对所拍摄的颗粒团条纹图片,统计、测量、计算出多个相邻颗粒团条纹的间距;

[0013] 第五步:通过颗粒团条纹公式,在颗粒物性和声场参数一定的条件下,计算颗粒粒径 $d_p$ ;其中,一种颗粒团条纹公式可表示为:

$$[0014] \quad D_{es}^6 = \frac{d_p^3}{4k^3} \left( \frac{\rho_p}{\rho_a} - 1 \right)^2 \left( \frac{\rho_p}{\rho_a} - \frac{\beta_p}{\beta_a} \right)^{-1}$$

[0015] 式中 $D_{es}$ 表示所测得颗粒团条纹的相邻条纹间距; $d_p$ 表示组成颗粒团条纹的颗粒粒径; $\rho_a$ 和 $\rho_p$ 分别表示非均匀声场中主流气体介质和颗粒的密度; $\beta_a$ 和 $\beta_p$ 分别表示非均匀声场中主流气体介质和颗粒的可压缩系数; $k=2\pi f/c$ 表示波数, $f$ 和 $c$ 分别表示非均匀声场的频率和声速;

[0016] 利用不同相邻颗粒团条纹的不同间距参数,计算出对应的不同颗粒粒径,也即是宽筛分颗粒中颗粒数量占比多的粒径;

[0017] 第六步:改变信号发生器的输出频率和电压振幅,重复第二步至第五步一次以上,得到若干组由频率、粒径、条纹间距的数据组合;

[0018] 第七步:利用颗粒团条纹公式,以粒径 $d_p$ 为横坐标,相邻条纹间距 $D_{es}$ 为纵坐标,在第六步选用的不同频率条件下,绘制纵横坐标轴为对数坐标系形式的二维线型图表,获得若干条粒径-条纹间距-频率变化数据线;

[0019] 第八步:将第六步经实验测试计算获得的频率、粒径、条纹间距数据组合,绘入第七步的二维图表中,再去掉数据组合中不在二维图表中粒径-条纹间距-频率变化数据线上的数据组合,依据该筛选方法,获得正确的数据组合;

[0020] 以粒径数值近似但频率和条纹间距不同为判断标准,筛选出粒径近似的数据组合,并把数值近似的不同粒径平均值作为宽筛分颗粒的主要粒径;粒径数值近似的标准为针对围绕该主要粒径的某粒径数值范围区间,该主要粒径数值所对应的颗粒数量占比为区间内其它粒径所对应颗粒数量占比的极大值,即该主要粒径数值所对应的颗粒数量占比多;

[0021] 第九步:宽筛分颗粒的主要粒径尺寸包括第八步获得的多个主要粒径。

[0022] 优选地:所述宽筛分颗粒的来源是气液两相流或气固两相流或气液固三相流中的燃烧源悬浮颗粒,或者是磨煤机研磨出的煤粉,或者是除尘器收集的粉尘,或者是燃烧产生烟气中的颗粒物,或者是大气环境中的空气悬浮颗粒。

[0023] 有益效果:本发明具有显著的有益效果:

[0024] 本发明提供了一种宽筛分颗粒主要粒径尺寸的非均匀声场测试方法,通过变量操控和测量非均匀驻波声场中纳米、微米、毫米等尺寸小于声场波长的各种颗粒形成的颗粒条纹间距,结合绘制的多条粒径-条纹间距-频率变化二维线型图表筛选出有效试验数据。根据大量粒径数值近似但频率和试验条纹间距不同的数据组合,筛选出宽筛分颗粒的主要粒径尺寸。该方法对测试的温度、压力等环境参数条件要求不高,在高/低温条件下也能够保证较高的测量精度。

## 附图说明

[0025] 图1为本发明中非均匀声场操控颗粒形成颗粒团条纹的方法示意图;

[0026] 图2为本发明中粒径-条纹间距-频率变化曲线二维线型图表示意图;

[0027] 图中:1-宽筛分颗粒;11-颗粒团条纹;111-第一颗粒团;112-第二颗粒团;113-第三颗粒团;2-非均匀声场。

## 具体实施方式

[0028] 下面结合附图对本发明作更进一步的说明。

[0029] 一种宽筛分颗粒主要粒径尺寸的非均匀声场测试方法,包括以下步骤:

[0030] 第一步:用导线把具有信号输出的含功率放大功能的信号发生器和非均匀声场发生装置的扬声器连接成电学回路。其中,非均匀声场发生装置具有较为密封的腔体,非均匀声场发生装置两端的扬声器可在腔体中产生非均匀声场。

[0031] 第二步:通过调节信号发生器的输出频率和电压振幅,改变扬声器的输出声压和频率,包括:输出声压改变但频率不变,输出声压改变且频率改变,从而在非均匀声场发生装置中产生与驻波类似的具有特定声压强度和频率的非均匀声场2,其中,声压强度的数值大于0Pa且小于1000Pa。

[0032] 第三步:将粒径尺寸不同的宽筛分颗粒1放入非均匀声场发生装置内产生的非均匀声场2中。

[0033] 第四步:宽筛分颗粒1在具有某个频率和声压强度的非均匀声场中悬浮、迁移、聚散、团聚、沉降成多条颗粒团条纹11。

[0034] 进一步的,用相机或带有显微镜功能的相机拍摄颗粒团条纹11。

[0035] 进一步的,针对所拍摄的颗粒团条纹11图片,统计、测量和计算出多个相邻颗粒团条纹之间的间距,相邻颗粒团条纹之间的间距为相邻颗粒团中心线之间的距离。

[0036] 第五步:通过颗粒团条纹公式,在颗粒物性和声场参数一定的条件下,计算颗粒粒径 $d_p$ ;其中,一种颗粒团条纹公式可表示为:

$$[0037] \quad D_{es}^6 = \frac{d_p^3}{4k^3} \left( \frac{\rho_p}{\rho_a} - 1 \right)^2 \left( \frac{\rho_p}{\rho_a} - \frac{\beta_p}{\beta_a} \right)^{-1}$$

[0038] 式中, $D_{es}$ 表示所测得颗粒团条纹的相邻条纹间距; $d_p$ 表示组成颗粒团条纹的颗粒粒径; $\rho_a$ 和 $\rho_p$ 分别表示非均匀声场中主流气体介质和颗粒的密度; $\beta_a$ 和 $\beta_p$ 分别表示非均匀声场中主流气体介质和颗粒的可压缩系数; $k=2\pi f/c$ 表示波数, $f$ 和 $c$ 分别表示非均匀声场的频率和声速。

[0039] 进一步的,利用多个相邻颗粒团条纹的多个间距参数,计算出对应的多个颗粒粒径参数,也即是宽筛分颗粒中颗粒数量占比较多的粒径。

[0040] 第六步:改变信号发生器的输出频率和电压振幅,多次重复第二步至第五步,得到多组由频率、粒径、条纹间距组合的数据,这里的频率可以是信号发生器的输出频率、扬声器的输出频率或者声场的频率。

[0041] 第七步:利用颗粒团条纹公式,以粒径 $d_p$ 为横坐标,相邻条纹间距 $D_{es}$ 为纵坐标,在第六步选用的不同频率条件下,绘制纵横坐标轴为对数坐标系形式的二维线型图表,获得多条粒径-条纹间距-频率变化数据线,同一频率下的粒径和条纹间距满足一次曲线关系,即:

$$[0042] \quad \ln D_{es} = \frac{1}{2} \ln d_p + \frac{1}{6} \ln \frac{\left( \frac{\rho_p}{\rho_a} - 1 \right)^2 \left( \frac{\rho_p}{\rho_a} - \frac{\beta_p}{\beta_a} \right)^{-1}}{4k^3}$$

[0043] 第八步:将第六步经实验测试计算获得的多组频率、粒径、条纹间距数据组合,绘入第七步的二维图表中,进而去掉实验数据组合中明显不在二维图表中粒径-条纹间距-频率变化数据线上的数据组合,依据该筛选方法,获得正确的多组数据组合。

[0044] 进一步,以粒径数值近似但频率和条纹间距不同为判断标准,筛选出粒径数值近似的数据组合,并把数值近似的不同粒径的平均值作为宽筛分颗粒的主要粒径;使得针对围绕该主要粒径的某粒径数值范围区间,该主要粒径所对应的颗粒数量占比为区间内粒径所对应颗粒数量占比的极大值,即该主要粒径所对应的颗粒相比于区间内其他粒径数量占比相对较多。

[0045] 第九步:宽筛分颗粒1的主要粒径尺寸包括第八步获得的多个主要粒径。

[0046] 另外,所述宽筛分颗粒1的来源是气液两相流或气固两相流或气液固三相流中的燃烧源悬浮颗粒,或者是磨煤机研磨出的煤粉,或者是除尘器收集的粉尘,或者是燃烧产生烟气中的颗粒物,或者是大气环境中的空气悬浮颗粒。

[0047] 图1为本发明中非均匀声场操控颗粒形成颗粒团条纹的方法示意图。大量的宽筛分颗粒1在特定频率和声压强度的非均匀声场2的作用下形成第一颗粒团111、第二颗粒团112和第三颗粒团113,不同颗粒团共同组成颗粒团条纹,条纹间距为 $D_{es}$ 。

[0048] 图2为本发明中粒径-条纹间距-频率变化曲线二维线型图表示意图。其中,实验宽筛分颗粒源为稻壳燃烧产生的焦炭颗粒, $\beta_p=1.99 \times 10^{-5} \text{Pa}^{-1}$ , $\beta_a=7.15 \times 10^{-6} \text{Pa}^{-1}$ , $\rho_p=164 \text{kg/m}^3$ , $\rho_a=1.21 \text{kg/m}^3$ , $c=340 \text{m/s}$ , $f=0.191 \text{kHz}$ ,非均匀声场的频率包括0.12kHz、0.191kHz、0.2kHz、0.8kHz、1.3kHz、0.82kHz、0.83kHz、1.9kHz,实验获得的条纹间距包括:频率为0.12kHz时的8mm、16.7mm、21.5mm;频率为0.191kHz时的6.4mm、16.7mm、21.5mm、38mm;频率为0.8kHz时的3.25mm、6.4mm、8mm;频率为1.3kHz时的2.5mm、6.4mm、8mm;频率为0.82kHz时的3.25mm。

[0049] 结合上述二维图表方法,可知宽筛分颗粒的主要粒径尺寸包括 $22 \mu\text{m}$ (对应实验条纹间距2.5mm(1.3kHz)、3.25mm(0.82kHz)、6.4mm(0.191kHz)、8mm(0.12kHz)),0.1mm(对应实验条纹间距6.4mm(0.8kHz)、16.7mm(0.12kHz)),0.15mm(对应粒径间距6.4mm(1.3kHz)、8mm(0.8kHz)、16.7mm(0.191kHz)、21.5mm(0.12kHz)),0.25mm(对应实验条纹间距8mm(1.3kHz)、21.5mm(0.191kHz)),0.84mm(对应实验条纹间距38mm(0.191kHz))。

[0050] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出:对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

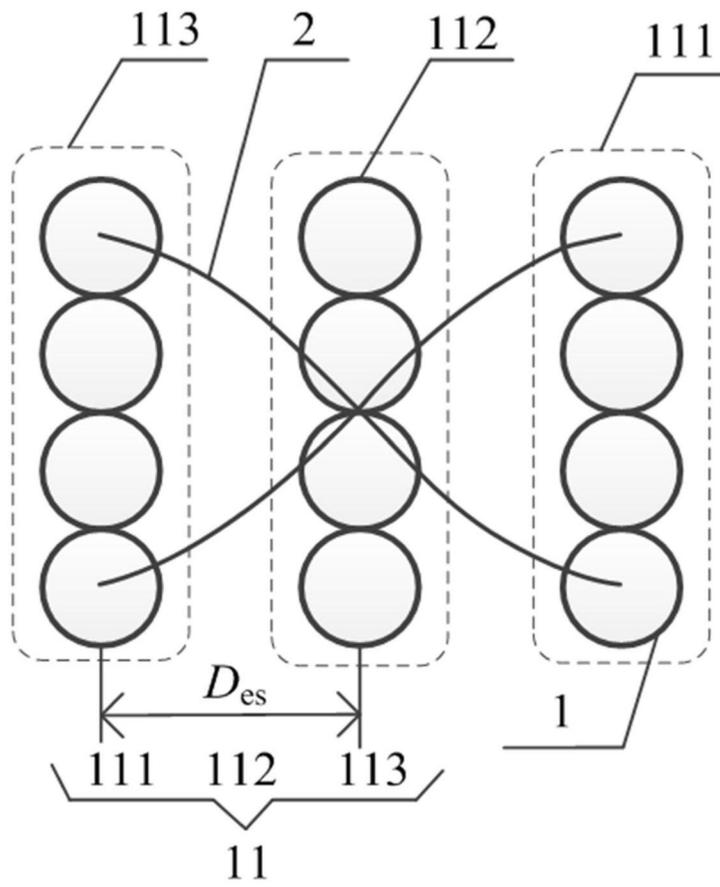


图1

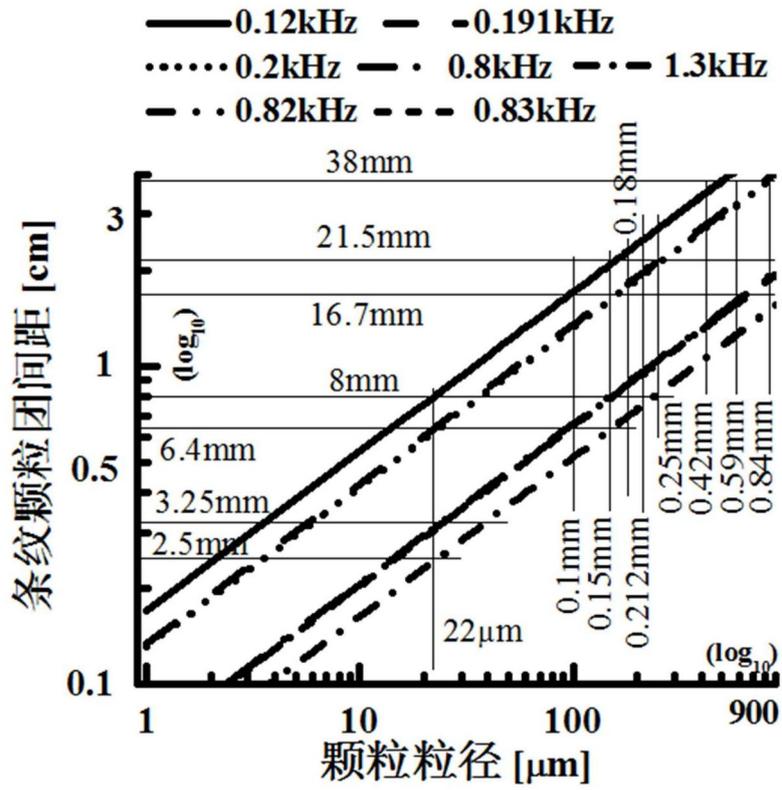


图2