



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112179818 A

(43) 申请公布日 2021.01.05

(21) 申请号 202011280337.4

(22) 申请日 2020.11.16

(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 许万军

(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)

G01N 1/20 (2006.01)

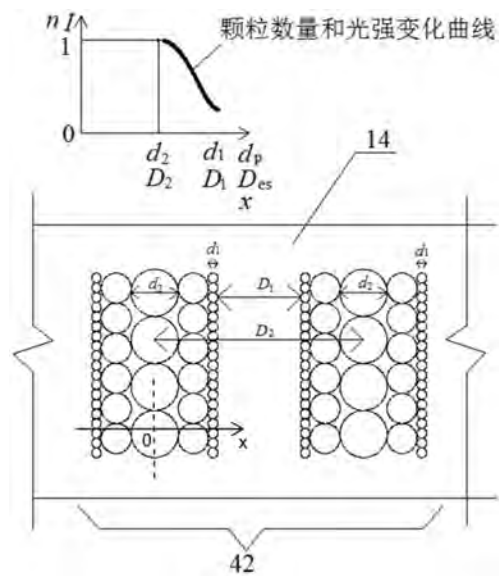
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

一种煤粉燃料颗粒特性测试装置

(57) 摘要

本发明公开了一种煤粉燃料颗粒特性测试装置,其特征在于:包括声波发生系统、煤粉颗粒输送系统、水浴温控系统、颗粒条纹成像采集系统和数据后处理系统;通过提取颗粒条纹图片的光强信息,获得无量纲化的与颗粒条纹上位置变量对应的不同位置颗粒数量相对大小的无量纲数据信息;实验出颗粒条纹图片上相邻两个条纹之间的间距,经颗粒条纹间距公式计算,得出颗粒直径;多次改变频率和声压强度,获得多种频率工况下的煤粉不同粒径颗粒数量占比,经求和平均值运算后,得出更为准确的煤粉燃料颗粒特性。本发明提出了一种无接触间接测试煤粉燃烧颗粒比度的新方法(包括粒径分布和对应数量占比),便于在线同步测试输送煤粉的粒径分布。



1. 一种煤粉燃料颗粒特性测试装置,其特征在于:包括声波发生系统、煤粉颗粒输送系统、水浴温控系统、颗粒条纹成像采集系统和数据后处理系统;

所述声波发生系统包括信号发生器(11)、功率放大器(12)、声波导管(14)、安装在声波导管(14)两端的两个相同的Helmholtz声源(13);

所述Helmholtz声源(13)包括由扬声器(131)、空腔(132)、通孔(133)和平板(134)组成的仅由通孔(133)与外界相连接的半封闭结构,扬声器(131)和平板(134)分别位于空腔(132)两端;所述空腔(132)的内径大于通孔(133)的内径;所述通孔(133)设置在平板(134)的中心上;

所述声波导管(14)为透明的圆管,声波导管(14)的内径大于通孔(133)的内径;将两个相同的Helmholtz声源(13)通过平板(134)密封地安装在声波导管(14)的两端,用于保证通孔(133)与声波导管(14)相连通;

用导线依次将信号发生器(11)、功率放大器(12)和扬声器(131)连接成电学回路,用于保证通过调节信号发生器(11)的输出频率和功率放大器(12)的输出电压振幅,调节扬声器(131)的输入频率和输入电压振幅,调节扬声器(131)辐射的声波经空腔(132)和通孔(133)作用后,从声波导管(14)的两端向内辐射两束相向传播的大振幅声波,两束声波在声波导管(14)内干涉形成拥有多个声压波腹和声压波节的一维的驻波声场(15),煤粉在驻波声场(15)的声压波节位置形成颗粒条纹(42);

煤粉颗粒输送系统连接声波发生系统,用于将煤粉输送到声波导管(14)中;

水浴温控系统连接声波发生系统,用于加热声波导管(14)中的煤粉;

颗粒条纹成像采集系统用于拍摄声波导管(14)中颗粒条纹(42)的颗粒条纹图片;

数据后处理系统连接颗粒条纹成像采集系统,用于对颗粒条纹图片进行分析处理。

2. 根据权利要求1所述的一种煤粉燃料颗粒特性测试装置,其特征在于:所述煤粉颗粒输送系统包括煤粉输送管道(21)、煤粉风机(22)、煤粉风阀(23)、声波导管(14)和煤粉输送主管道(24),用煤粉输送管道(21)将煤粉风机(22)、煤粉风阀(23)、声波导管(14)和煤粉输送主管道(24)连接成密封的煤粉输送回路;

利用煤粉风机(22)将煤粉从煤粉主管道(24)通过煤粉输送管道(21)输送到声波导管(14)中,经声波导管(14)内驻波声场(15)的作用后,再由煤粉输送管道(21),将煤粉输送回煤粉输送主管道(24);

所述煤粉输送管道(21)外部作保温处理,用于保证煤粉在煤粉输送管道(21)内输送过程中不降温;

所述煤粉输送管道(21)上增设外部热源,用于当外界环境温度过低且煤粉输送管道(21)温度太低时对煤粉加热保温。

3. 根据权利要求1所述的一种煤粉燃料颗粒特性测试装置,其特征在于:所述水浴温控系统包括密封的安装在声波导管(14)外部的透明的玻璃套管(31)、热水输送管道(32)、热水循环泵(33)、安装在声波导管(14)内煤粉风中的温度传感器(34)、温控开关(35)、电源(36)、水槽(37)、安装在水槽(37)中的电加热(38);

用热水输送管道(32)将热水循环泵(33)、水槽(37)、玻璃套管(31)连接成水循环回路,用于保证在玻璃套管(31)内流过的热水均匀加热声波导管(14)内的煤粉;

用导线将电加热(38)、温控开关(35)和电源(36)连接成加热电学回路,温度传感器

(34) 连接到温控开关 (35)；

用温度传感器 (34) 控制温控开关 (35) 的开关和闭合；当温度传感器 (34) 测得声波导管 (14) 内煤粉温度低于煤粉输送管道 (21) 中煤粉温度时，闭合温控开关 (35)，电加热 (38) 开始工作，加热水槽 (37) 中的循环水，直到温度传感器 (34) 测得的煤粉温度等于煤粉输送管道 (21) 中的煤粉温度，之后断开温控开关 (35)，保证声波导管 (14) 内的煤粉温度与煤粉输送管道 (21) 中的煤粉温度相等。

4. 根据权利要求1所述的一种煤粉燃料颗粒特性测试装置，其特征在于：所述颗粒条纹成像采集系统包括光源 (41)、在驻波声场 (15) 作用下在声波导管 (14) 内的声压波节位置形成的颗粒条纹 (42)、透镜 (43)、具有微距显微功能的相机 (44)、电脑 (45)；

光源 (41) 发射光线照射颗粒条纹 (42)，颗粒条纹 (42) 散射光线经透镜 (43) 后射入相机 (44) 拍摄成颗粒条纹图片，由与相机 (44) 连接的电脑 (45) 记录相机 (44) 拍摄的颗粒条纹图片；

沿声波导管 (14) 的轴向平移光源 (41)、透镜 (43)、相机 (44) 到不同声压波节位置，用于拍摄并记录一个以上声压波节对应的颗粒条纹图片。

5. 根据权利要求1所述的一种煤粉燃料颗粒特性测试装置，其特征在于：所述数据后处理系统执行包括以下数据后处理步骤：

1) 提取颗粒条纹图片的光强信息，进一步做无量纲化处理，获得无量纲化的与颗粒条纹上位置变量 x 一一对应的光强信息 I ，并将其作为不同位置颗粒数量相对大小的无量纲数据信息 n ；

2) 测算出颗粒条纹图片上相邻两个条纹之间的间距 D_{es} ，包括两个条纹中心之间的距离 D_2 和两个条纹相邻边缘之间的距离 D_1 ，其中 D_{es} 与 x 、 I 和 n 也一一对应，形成四维集合 $x-I-n-D_{es}$ ；

3) 分别令 D_{es} 等于 D_1 和 D_2 ，并带入颗粒条纹间距公式，计算出颗粒直径 d_p 的上限值 d_2 和下限值 d_1 ；其中，颗粒条纹间距公式为：

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

式中 D_{es} 表示所测得的相邻两个条纹之间的间距； d_p 表示组成条纹的颗粒直径； ρ_a 和 ρ_p 分别表示非均匀声场中主流气体介质和颗粒的密度； β_a 和 β_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；其中，除 D_{es} 和 d_p 以外的变量均可以通过常规实验或查表得出；

d_p 与 D_{es} 、 x 、 n 和 I 也一一对应，形成五维集合 $x-I-n-D_{es}-d_p$ ，即可得 n 和 d_p 一一对应关系；

4) 针对每个声压节点的颗粒条纹图片，重复步骤1)–步骤3)，获得与各颗粒条纹图片数量相等的多个 $n-d_p$ 一一对应关系，然后将粒径 d_p 相等的各颗粒条纹图片的无量纲数据信息 n 对应相加并求平均值，即作为一个频率工况下获得煤粉不同粒径颗粒数量占比，也就是某频率条件下的煤粉燃料颗粒特性；

5) 改变驻波声场的频率和声压强度，重复上述步骤1)–步骤4)，获得不同频率工况下的煤粉不同粒径颗粒数量占比，进一步，将不同频率工况下的粒径 d_p 相等的颗粒数量占比进行求和平均值处理，进而得出最后的煤粉燃料颗粒特性。

一种煤粉燃料颗粒特性测试装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种煤粉燃料颗粒特性测试装置,属于不同粒径微颗粒浓度测试领域。

背景技术

[0002] 煤粉燃料颗粒特性,也称为煤粉燃料颗粒的粒比度,具体是指任意样本煤粉中不同粒径尺寸颗粒的数量占比。工程中通常使用的多层多目筛子的称重法,测试粒径范围区间尺寸较大,如果使用更为窄的划分粒径范围区间,筛子层数会显著增加,大大提高测试技术的工作量和施工难度,在火力发电厂锅炉气力输煤管道中,准确在线测试出煤粉燃料颗粒特性对于指导电厂锅炉高效运行意义重大。

发明内容

[0003] 发明目的:为了克服现有技术中存在的问题,本发明提供一种煤粉燃料颗粒特性测试装置,本发明通过变量操控煤粉颗粒条纹间距,计算燃煤颗粒粒径尺寸分布,借助条纹图片光强与数量浓度的一一对应关系,获得煤粉燃料颗粒粒比度,测量精度非常高。

[0004] 技术方案:为实现上述目的,本发明采用的技术方案为:

[0005] 一种煤粉燃料颗粒特性测试装置,其特征在于:包括声波发生系统、煤粉颗粒输送系统、水浴温控系统、颗粒条纹成像采集系统和数据后处理系统;

[0006] 所述声波发生系统包括信号发生器、功率放大器、声波导管、安装在声波导管两端的两个相同的Helmholtz声源;

[0007] 所述Helmholtz声源包括由扬声器、空腔、通孔和平板组成的仅由通孔与外界相连接的半封闭结构,扬声器和平板分别位于空腔两端;所述空腔的内径大于通孔的内径;所述通孔设置在平板的中心上;

[0008] 所述声波导管为透明的圆管,声波导管的内径大于通孔的内径;将两个相同的Helmholtz声源通过平板密封地安装在声波导管的两端,用于保证通孔与声波导管相连通;

[0009] 用导线依次将信号发生器、功率放大器和扬声器连接成电学回路,用于保证通过调节信号发生器的输出频率和功率放大器的输出电压振幅,调节扬声器的输入频率和输入电压振幅,调节扬声器辐射的声波经空腔和通孔作用后,从声波导管的两端向内辐射两束相向传播的大振幅声波,两束声波在声波导管内干涉形成拥有多个声压波腹和声压波节的一维的驻波声场,煤粉在驻波声场的声压波节位置形成颗粒条纹;

[0010] 煤粉颗粒输送系统连接声波发生系统,用于将煤粉输送到声波导管中;

[0011] 水浴温控系统连接声波发生系统,用于加热声波导管中的煤粉;

[0012] 颗粒条纹成像采集系统用于拍摄声波导管中颗粒条纹的颗粒条纹图片;

[0013] 数据后处理系统连接颗粒条纹成像采集系统,用于对颗粒条纹图片进行分析处理。

[0014] 优选地:所述煤粉颗粒输送系统包括煤粉输送管道、煤粉风机、煤粉风阀、声波导

管和煤粉输送主管道,用煤粉输送管道将煤粉风机、煤粉风阀、声波导管和煤粉输送主管道连接成密封的煤粉输送回路;

[0015] 利用煤粉风机将煤粉从煤粉主管道通过煤粉输送管道输送到声波导管中,经声波导管内驻波声场的作用后,再由煤粉输送管道,将煤粉输送回煤粉输送主管道;

[0016] 所述煤粉输送管道外部作保温处理,用于保证煤粉在煤粉输送管道内输送过程中不降温;

[0017] 所述煤粉输送管道上增设外部热源,用于当外界环境温度过低且煤粉输送管道温度太低时对煤粉加热保温。

[0018] 优选地:所述水浴温控系统包括密封的安装在声波导管外部的透明的玻璃套管、热水输送管道、热水循环泵、安装在声波导管内煤粉风中的温度传感器、温控开关、电源、水槽、安装在水槽中的电加热;

[0019] 用热水输送管道将热水循环泵、水槽、玻璃套管连接成水循环回路,用于保证在玻璃套管内流过的热水均匀加热声波导管内的煤粉;

[0020] 用导线将电加热、温控开关和电源连接成加热电学回路,温度传感器连接到温控开关;

[0021] 用温度传感器控制温控开关的开关和闭合;当温度传感器测得声波导管内煤粉温度低于煤粉输送管道中煤粉温度时,闭合温控开关,电加热开始工作,加热水槽中的循环水,直到温度传感器测得的煤粉温度等于煤粉输送管道中的煤粉温度,之后断开温控开关,保证声波导管内的煤粉温度与煤粉输送管道中的煤粉温度相等。

[0022] 优选地:所述颗粒条纹成像采集系统包括光源、在驻波声场作用下在声波导管内的声压波节位置形成的颗粒条纹、透镜、具有微距显微功能的相机、电脑;

[0023] 光源发射光线照射颗粒条纹,颗粒条纹散射光线经透镜后射入相机拍摄成颗粒条纹图片,由与相机连接的电脑记录相机拍摄的颗粒条纹图片;

[0024] 沿声波导管的轴向平移光源、透镜、相机到不同声压波节位置,用于拍摄并记录一个以上声压波节对应的颗粒条纹图片。

[0025] 优选地:所述数据后处理系统执行包括以下数据后处理步骤:

[0026] 1) 提取颗粒条纹图片的光强信息,进一步做无量纲化处理,获得无量纲化的与颗粒条纹上位置变量 x 一一对应的光强信息 I ,并将其作为不同位置颗粒数量相对大小的无量纲数据信息 n ;

[0027] 2) 测算出颗粒条纹图片上相邻两个条纹之间的间距 D_{es} ,包括两个条纹中心之间的距离 D_2 和两个条纹相邻边缘之间的距离 D_1 ,其中 D_{es} 与 x 、 I 和 n 也一一对应,形成四维集合 $x-I-n-D_{es}$;

[0028] 3) 分别令 D_{es} 等于 D_1 和 D_2 ,并带入颗粒条纹间距公式,计算出颗粒直径 d_p 的上限数值 d_2 和下限数值 d_1 ;其中,颗粒条纹间距公式为:

$$[0029] \quad d_p = \left(D_{es}^6 4k^3 \left(\frac{\rho_p}{\rho_a} - 1 \right)^{-2} \left(\frac{\rho_p}{\rho_a} - \frac{\beta_p}{\beta_a} \right) \right)^{-3}$$

[0030] 式中 D_{es} 表示所测得的相邻两个条纹之间的间距; d_p 表示组成条纹的颗粒直径; ρ_a 和 ρ_p 分别表示非均匀声场中主流气体介质和颗粒的密度; β_a 和 β_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;其中,除 D_{es} 和 d_p 以外的变量均可以通过常规实验或查表得出;

[0031] d_p 与 D_{es} 、 x 、 n 和 I 也一一对应,形成五维集合 $x-I-n-D_{es}-d_p$,即可得 n 和 d_p 一一对应关系;

[0032] 4) 针对每个声压节点的颗粒条纹图片,重复步骤1)-步骤3),获得与各颗粒条纹图片数量相等的多个 $n-d_p$ 一一对应关系,然后将粒径 d_p 相等的各颗粒条纹图片的无量纲数据信息 n 对应相加并求平均值,即作为一个频率工况下获得煤粉不同粒径颗粒数量占比,也就是某频率条件下的煤粉燃料颗粒特性;

[0033] 5) 改变驻波声场的频率和声压强度,重复上述步骤1)-步骤4),获得不同频率工况下的煤粉不同粒径颗粒数量占比,进一步,将不同频率工况下的粒径 d_p 相等的颗粒数量占比进行求和平均值处理,进而得出最后的煤粉燃料颗粒特性。

[0034] 有益效果:本发明具有显著的有益效果:

[0035] 本发明提供了一种煤粉燃料颗粒特性测试装置,通过变量操控煤粉颗粒在一维驻波声场中的聚集成条纹的颗粒特性,借助条纹颗粒间距与颗粒粒径之间的非线性关系表达式,在实验测出条纹间距的条件下,计算出颗粒粒径;并结合颗粒条纹的光强大小反应对应尺寸颗粒本身的数量占比,经多次实验,得出准确度很高的煤粉燃料颗粒粒比度。本发明提出一种无接触间接测试煤粉燃烧颗粒粒比度的新方法(包括粒径分布和对应数量占比),便于在线同步测试输送煤粉的粒径分布。

附图说明

[0036] 图1为本发明一种煤粉燃料颗粒特性测试装置示意图;

[0037] 图2为本发明水浴温控系统示意图;

[0038] 图3为本发明声波发生系统和颗粒条纹示意图;

[0039] 图4为本发明颗粒条纹成像采集系统示意图;

[0040] 图5为本发明煤粉颗粒输送系统示意图;

[0041] 图6为本发明Helmholtz声源示意图;

[0042] 图7为本发明数据后处理环节示意图;

[0043] 图中:11-信号发生器;12-功率放大器;13-Helmholtz声源;131-扬声器;132-空腔;133-通孔;134-平板;14-声波导管;15-驻波声场;21-煤粉输送管道;22-煤粉风机;23-煤粉风阀;24-煤粉输送主管道;31-玻璃套管;32-热水输送管道;33-热水循环泵;34-温度传感器;35-温控开关;36-电源;37-水槽;38-电加热;41-光源;42-颗粒条纹;43-透镜;44-相机;45-电脑。

具体实施方式

[0044] 下面结合附图1~7对本发明作更进一步的说明。

[0045] 一种煤粉燃料颗粒特性测试装置,其特征在于:包括声波发生系统、煤粉颗粒输送系统、水浴温控系统、颗粒条纹成像采集系统和数据后处理系统;

[0046] 其中,声波发生系统包括信号发生器11、功率放大器12、声波导管14和安装在声波导管14两端的两个相同的Helmholtz声源13。

[0047] Helmholtz声源13包括由扬声器131、空腔132、通孔133和平板134组成的仅由通孔133与外界相连接的半封闭结构,其中,扬声器131和平板134分别位于空腔132两端;所述空腔132的内径大于通孔133的内径;所述通孔133设置在平板134的中心上。

[0048] 所述声波导管14为透明的圆管,声波导管14的内径大于通孔133的内径;将两个相同的Helmholtz声源13通过平板134密封地安装在声波导管14的两端,保证通孔133与声波导管14相连通。

[0049] 用导线依次将信号发生器11、功率放大器12和扬声器131连接成电学回路,保证通过调节信号发生器11的输出频率和功率放大器12的输出电压振幅,能够进一步调节扬声器131的输入频率和输入电压振幅;扬声器131辐射的声波经空腔132和通孔133作用后,从声波导管14的两端向内辐射两束相向传播的大振幅声波,两束声波在声波导管14内干涉形成拥有多个声压波腹和声压波节的一维的驻波声场15,煤粉在驻波声场15的声压波节位置形成颗粒条纹42。

[0050] 其中,煤粉颗粒输送系统连接声波发生系统,用于将煤粉输送到声波导管14中,包括煤粉输送管道21、煤粉风机22、煤粉风阀23、声波导管14和煤粉输送主管道24,用煤粉输送管道21将煤粉风机22、煤粉风阀23、声波导管14和煤粉输送主管道24连接成密封的煤粉输送回路。

[0051] 利用煤粉风机22将煤粉从煤粉主管道24通过煤粉输送管道21输送到声波导管14中,经声波导管14内驻波声场15的作用后,再由煤粉输送管道21将煤粉输送回煤粉输送主管道24。

[0052] 煤粉输送管道21外部作保温处理,保证煤粉在煤粉输送管道21内输送过程中不降温,为此,当外界环境温度过低且煤粉输送管道21温度太低时,可在煤粉输送管道21上增设外部热源来对煤粉加热保温。

[0053] 其中,水浴温控系统连接声波发生系统,用于加热声波导管14中的煤粉,包括密封的安装在声波导管14外部的透明的玻璃套管31、热水输送管道32、热水循环泵33、安装在声波导管14内煤粉风中的温度传感器34、温控开关35、电源36、水槽37和安装在水槽37中的电加热38。

[0054] 用热水输送管道32将热水循环泵33、水槽37和玻璃套管31连接成水循环回路,保证在玻璃套管31内流过的热水均匀加热声波导管14内的煤粉。

[0055] 用导线将电加热38、温控开关35和电源36连接成加热电学回路,温度传感器34连接到温控开关35。

[0056] 用温度传感器34控制温控开关35的开关和闭合;当温度传感器34测得声波导管14内煤粉温度低于煤粉输送管道21中的煤粉温度时,闭合温控开关35,电加热38开始工作,加热水槽37中的循环水,直到温度传感器34测得声波导管14内煤粉温度等于煤粉输送管道21中的煤粉温度,之后断开温控开关35,保证声波导管14内的煤粉温度与煤粉输送管道21中的煤粉温度相等。

[0057] 其中,颗粒条纹成像采集系统用于拍摄声波导管14中颗粒条纹42的颗粒条纹图片,包括光源41、在驻波声场15作用下在声波导管14内的声压波节位置形成的颗粒条纹42、透镜43、具有微距显微功能的相机44和电脑45。

[0058] 光源41发射光线照射颗粒条纹42,颗粒条纹42散射光线经透镜43后射入相机44拍

摄成颗粒条纹图片,由与相机44连接的电脑45记录相机44拍摄的颗粒条纹图片。

[0059] 沿声波导管14的轴向平移光源41、透镜43、相机44到不同声压波节位置,拍摄并记录多个声压波节对应的颗粒条纹图片。

[0060] 其中,数据后处理系统连接颗粒条纹成像采集系统,用于对颗粒条纹图片进行分析处理,依次执行包括以下数据后处理步骤:

[0061] 1) 提取颗粒条纹图片的光强信息,进一步做无量纲化处理,获得无量纲化的与颗粒条纹上位置变量 x 一一对应的光强信息 I ,并将其作为不同位置颗粒数量相对大小的无量纲数据信息 n 。

[0062] 在本发明的一种实施例中,以颗粒条纹的中心为原点,沿声波导管轴线方向建立坐标轴,由此可以得到颗粒条纹上的位置变量 x ;在本发明的其他实施例中,上述坐标轴还可以通过平移放在其他位置,只要能够实现得到颗粒条纹上的位置变量 x 即可。

[0063] 在本发明的一种实施例中,采用其他实验方法测出一些特殊光强对应的颗粒数量,在通过实验拟合的方法做出光强信息 I 和颗粒数量 n 的关系曲线,近似于高斯函数分布;在本发明的其他实施例中,还可以采用其他方法,只要能够实现得到光强信息 I 和颗粒数量 n 的关系即可。

[0064] 2) 测算出颗粒条纹图片上相邻两个条纹之间的间距 D_{es} ,包括两个条纹中心之间的距离 D_2 和两个条纹相邻边缘之间的距离 D_1 ,还包括通过 D_2 和 D_1 可以得到条纹上每个位置 x 处的对应间距,其中 D_{es} 与 x 、 I 和 n 也一一对应,形成四维集合 $x-I-n-D_{es}$ 。

[0065] 在本发明的一种实施例中,条纹上每个位置 x 处的对应间距可以用关于 x 、 D_2 和 D_1 的函数来表示;在本发明的其他实施例中,还可以采用其他方法,只要能够条纹上每个位置 x 处的对应间距即可。

[0066] 3) 分别令 D_{es} 等于 D_1 和 D_2 带入颗粒条纹间距公式,计算出颗粒直径 d_p 的上限数值 d_2 和下限数值 d_1 ;其中,颗粒条纹间距公式为:

$$[0067] \quad d_p = \left(D_{es}^6 4k^3 \left(\frac{\rho_p}{\rho_a} - 1 \right)^{-2} \left(\frac{\rho_p}{\rho_a} - \frac{\beta_p}{\beta_a} \right) \right)^{-3}$$

[0068] 式中, D_{es} 表示所测得的相邻两个条纹之间的间距; d_p 表示组成条纹的颗粒直径; ρ_a 和 ρ_p 分别表示非均匀声场中主流气体介质和颗粒的密度; β_a 和 β_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;其中,除 D_{es} 和 d_p 以外的其它变量,可以通过常规实验或查表得出。

[0069] 同理,将条纹上每个位置 x 处的对应间距代入颗粒条纹间距公式,计算出条纹上每个位置 x 处的颗粒直径。

[0070] 进一步, d_p 与 D_{es} 、 x 、 n 和 I 也一一对应,形成五维集合 $x-I-n-D_{es}-d_p$;进一步,可得 n 和 d_p 的一一对应关系。

[0071] 4) 针对每个声压节点的颗粒条纹图片,重复步骤1)至步骤3),获得与颗粒条纹图片数量相等的多个 $n-d_p$ 一一对应关系,进一步将粒径 d_p 相等的各颗粒条纹图片的无量纲数据信息 n 对应相加并求平均值,即作为一个频率工况下的煤粉不同粒径颗粒数量占比,也就是某频率条件下的煤粉燃料颗粒特性。

[0072] 5) 多次改变驻波声场的频率和声压强度,多次重复上述步骤1)至步骤4),获得多种频率工况下的煤粉不同粒径颗粒数量占比,进一步,将不同频率工况下的粒径 d_p 相等的颗粒数量占比进行求和平均值处理,进而得出更为准确的煤粉燃料颗粒特性。

[0073] 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。

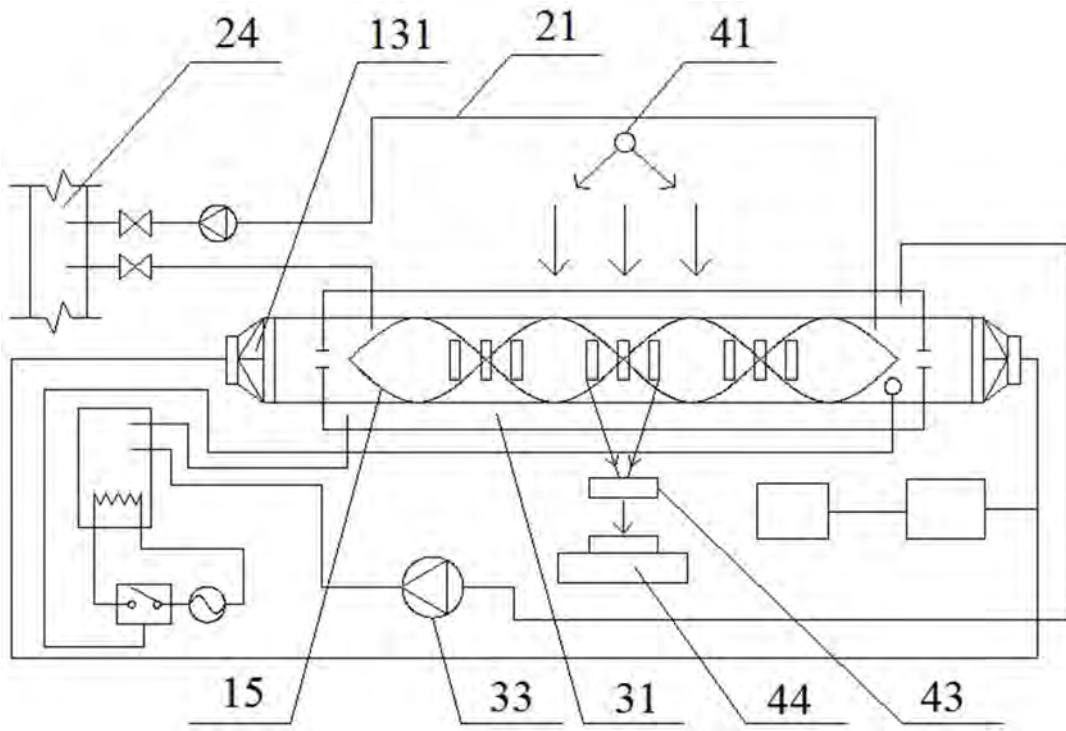


图1

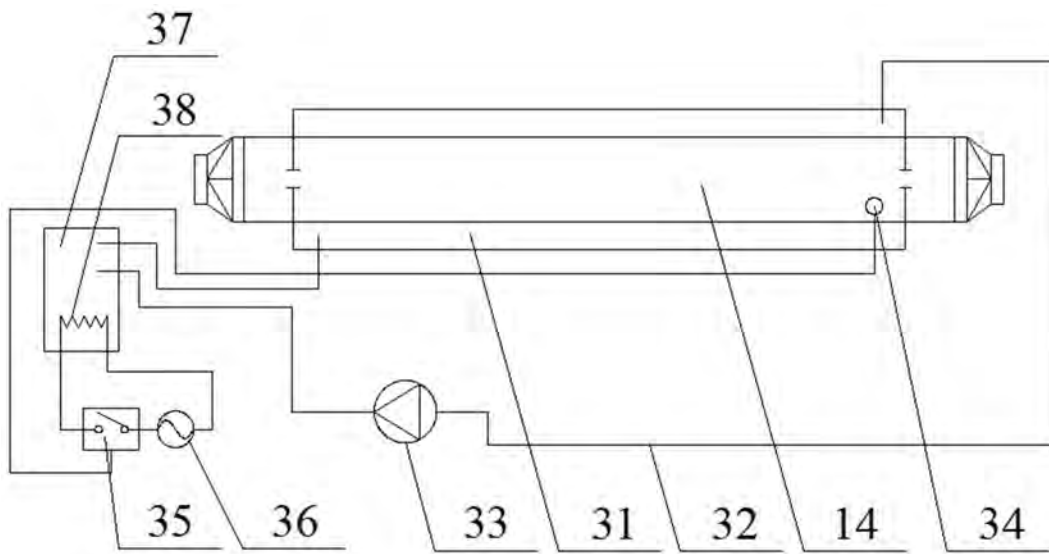


图2

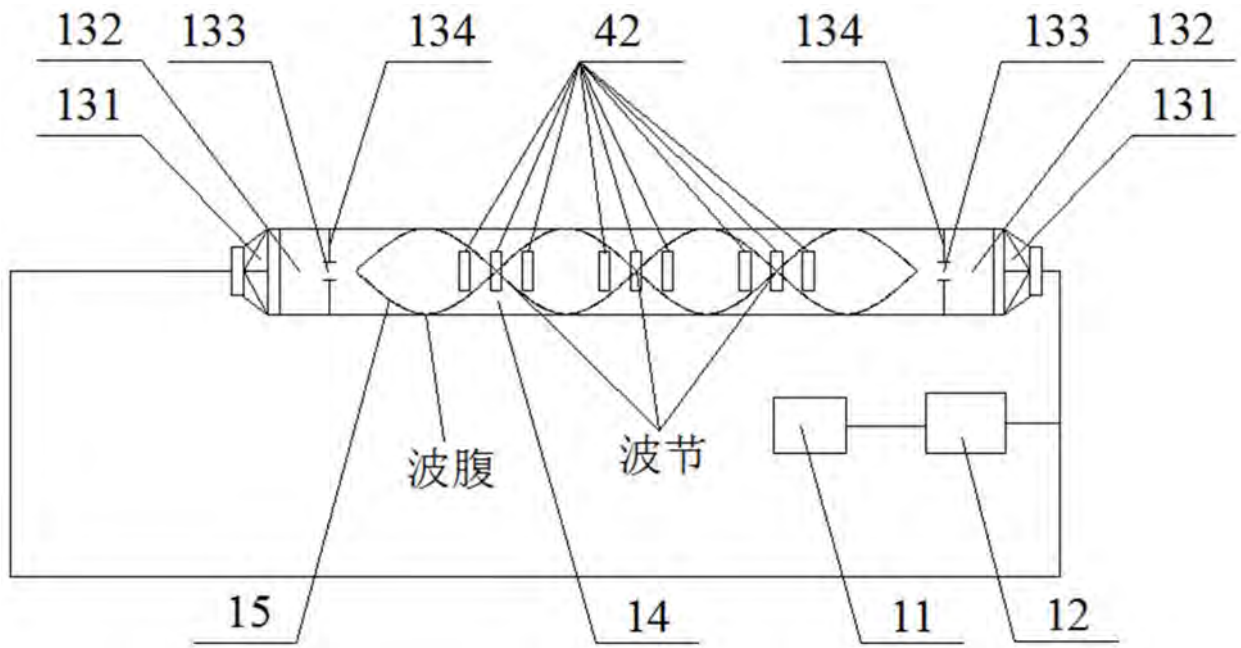


图3

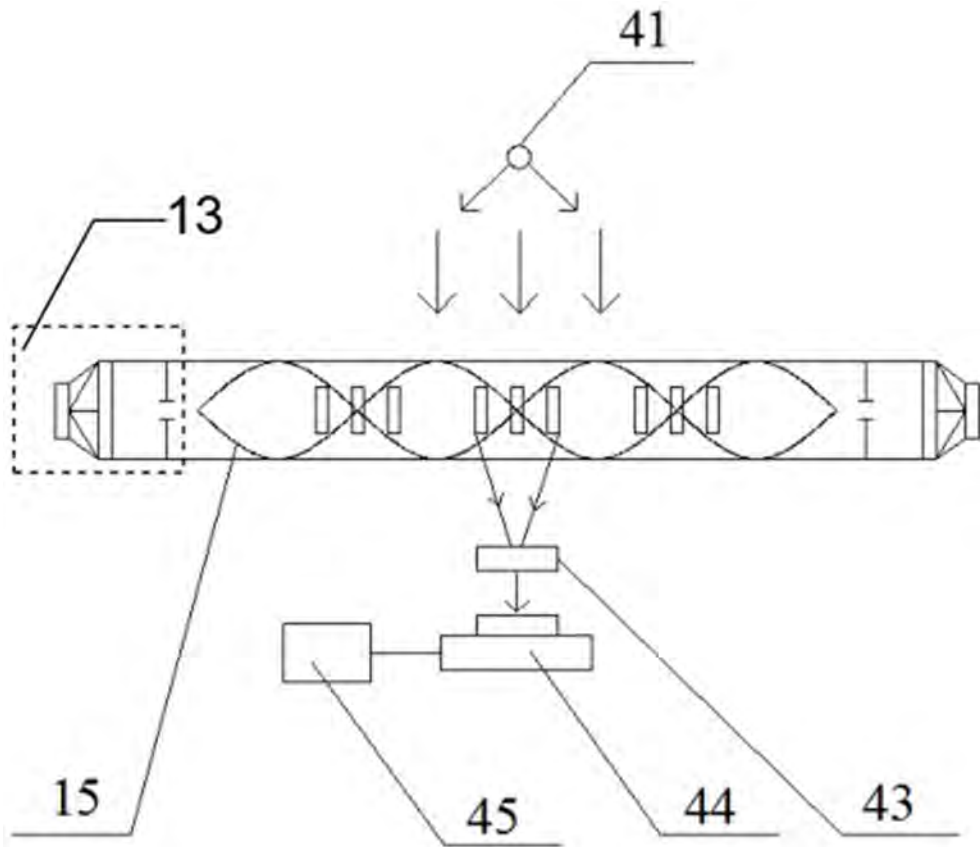


图4

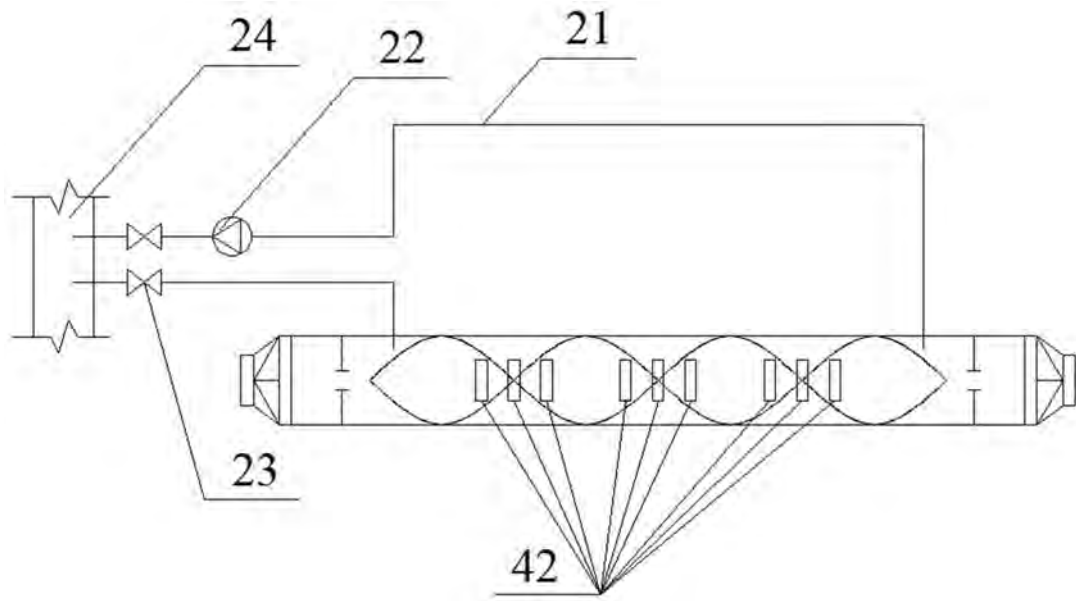


图5

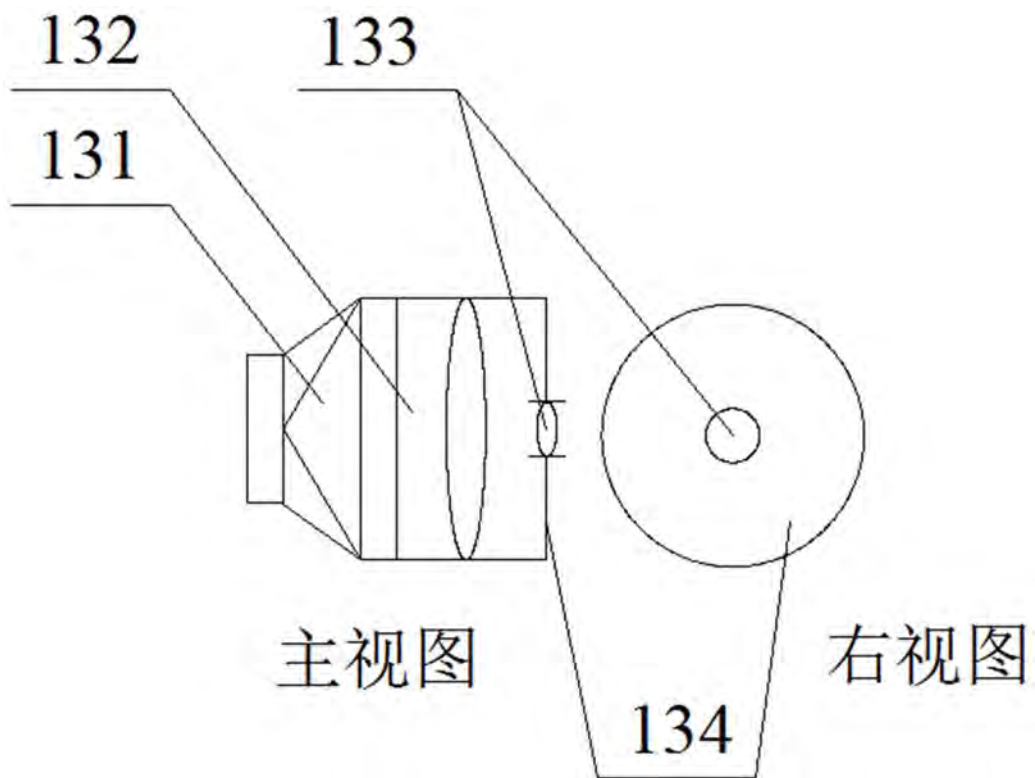


图6

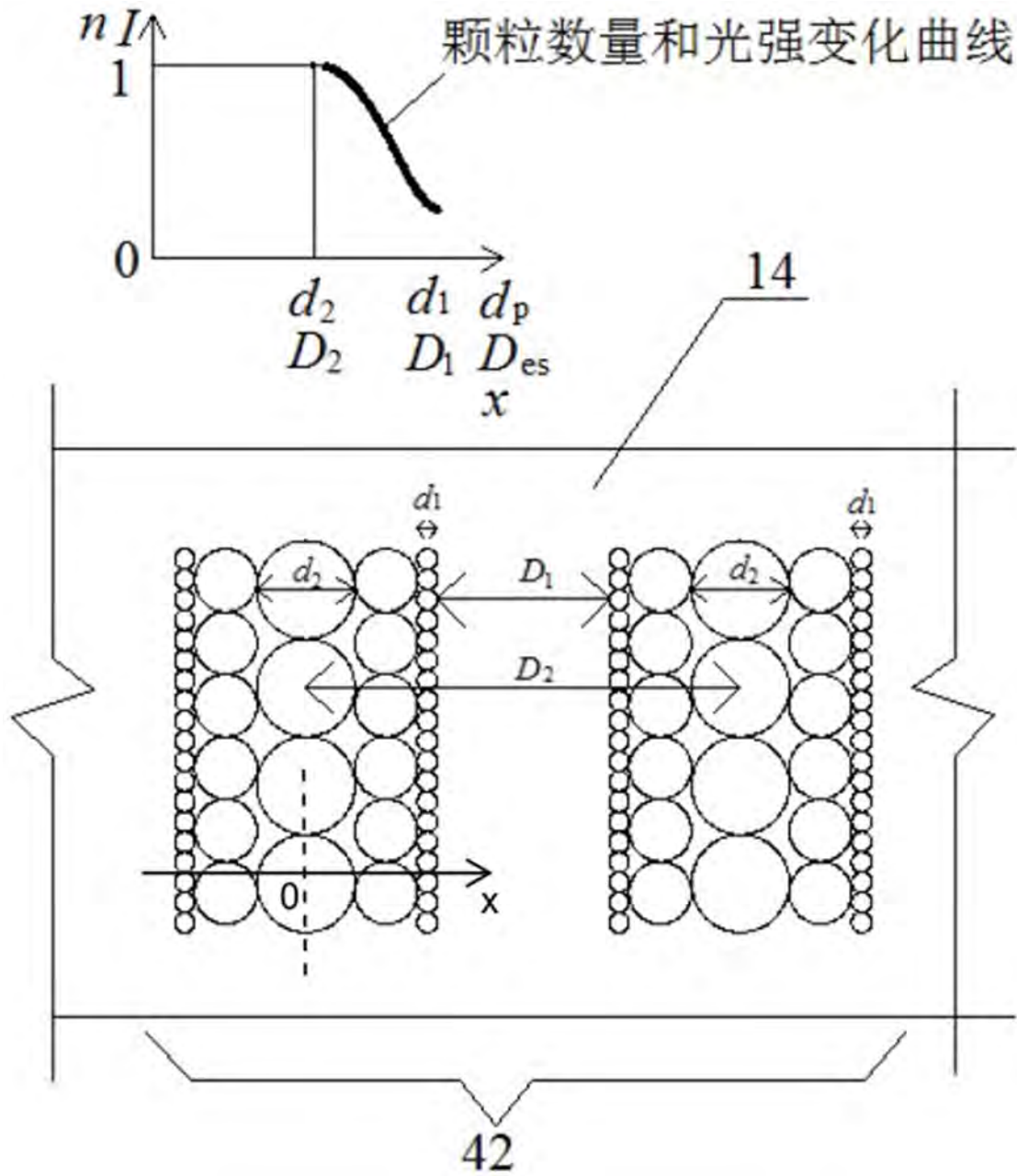


图7