



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111398513 B

(45) 授权公告日 2021. 11. 05

(21) 申请号 202010255274.0

(22) 申请日 2020.04.02

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111398513 A

(43) 申请公布日 2020.07.10

(73) 专利权人 中国矿业大学
地址 221000 江苏省徐州市南郊翟山
专利权人 苏州市协力化工设备有限公司

(72) 发明人 闫伟杰 李框宇 钱建丰 于凌波
黄显良 陈玉民

(74) 专利代理机构 南京正联知识产权代理有限公司 32243
代理人 胡定华

(51) Int. Cl.
G01N 31/12 (2006.01) (续)

CN 109506810 A, 2019.03.22

CN 104297252 A, 2015.01.21

CN 2187863 Y, 1995.01.18

CN 207502480 U, 2018.06.15

CN 109718948 A, 2019.05.07

CN 107783270 A, 2018.03.09

CN 102175174 A, 2011.09.07

CN 110133045 A, 2019.08.16

SU 445014 A1, 1974.12.15

CN 110702565 A, 2020.01.17

张文娇. 弹道跟踪镜技术研究. 《中国优秀硕士学位论文全文数据库 工程科技 II 辑》. 中国学术期刊(光盘版)电子杂志社, 2011, (第4期), 第 C032-5页. (续)

审查员 颜欣

(56) 对比文件

CN 110333317 A, 2019.10.15

CN 105243931 A, 2016.01.13

CN 108037026 A, 2018.05.15

CN 109855738 A, 2019.06.07

权利要求书2页 说明书5页 附图1页

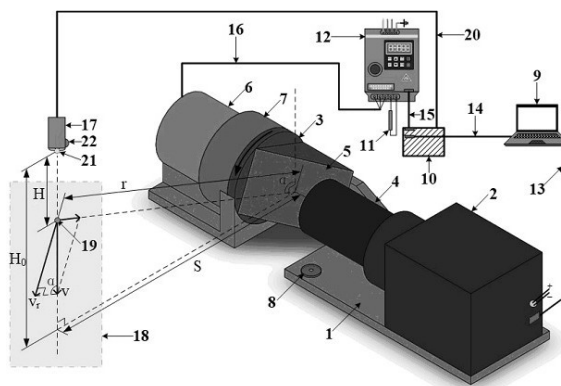
(54) 发明名称

一种高图像分辨率的检测单颗粒燃烧过程的装置及方法

(57) 摘要

本发明提供一种高图像分辨率的检测单颗粒燃烧过程的装置及方法, 包括固定基座, 固定基座上设置有高速相机, 高速相机上设置有放大镜头, 高速相机上的放大镜头前设置有转镜底座, 转镜底座上安装有高清反射镜片, 转镜底座的后端设置有变频电机, 转镜底座与变频电机之间设置有电机减速器, 高速相机和变频电机通过控制模块进行控制, 固定基座上设置有水平仪, 获取单颗粒完整燃烧过程的高分辨率图像, 拍摄过程中高速相机无需移动。无需额外的速度预测系统, 利用高速相机固定视角拍摄固体燃料颗粒下落的整个过程, 根据每帧图像中固体燃料颗粒

距离下落起点像素数的变化计算固体燃料颗粒下落的位置函数与速度函数, 转换为电机变频控制的频率控制函数。



CN 111398513 B

[接上页]

(51) Int.Cl.

G01N 21/84 (2006.01)

G01N 15/00 (2006.01)

(56) 对比文件

闫伟杰.基于光谱分析和图像处理的火焰温度及辐射特性检测.《中国博士学位论文全文数据库 工程科技II辑》.中国学术期刊(光盘版)电子杂志社,2015,(第7期),第C039-11页.

杨立云等.新型数字激光动态焦散线实验系统及其应用.《中国矿业大学学报》.2013,第42卷(第2期),第188-194页.

吴迪.用于光片荧光显微的快速扫描成像系统研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库 基础科学辑》.中国学术期刊(光盘版)电子杂志社,2016,(第6期),第A006-1页.

Yan Weijie et al..Online Measurement

of the Flame Temperature and Emissivity during Biomass Volatile Combustion Using Spectral Thermometry and Image Thermometry.《ENERGY & FUELS》.2020,第34卷(第1期),第907-919页.

Norio OHIWA et al..Magnifying and Tracking Observation of Micro PET Particles Passing through a Plane Premixed Flame Front.《Journal of Thermal Science and Technology》.2007,第2卷(第2期),第212-223页.

Xiaodan Lin et al..Evolution of volatile cloud in pulverized coal combustion with high-speed digital inline holographic visualization.《Fuel》.2019,第241卷第199-206页.

1. 一种高图像分辨率的检测单颗粒燃烧过程的装置,其特征在于:包括固定基座(1),所述固定基座(1)上设置有高速相机(2),所述高速相机(2)上设置有放大镜头(4),所述高速相机(2)上的放大镜头(4)前设置有转镜底座(3),所述转镜底座(3)上安装有高清反射镜片(5),所述转镜底座(3)的后端设置有变频电机(6),所述转镜底座(3)与变频电机(6)之间设置有电机减速器(7),所述高速相机(2)和变频电机(6)通过控制模块进行控制,所述固定基座(1)上设置有水平仪(8),所述控制模块包括计算机(9)、PLC控制器(10)、制动电阻(11)和变频器(12),所述计算机(9)通过以太网线(13)连接高速相机(2),计算机(9)和PLC控制器(10)通过USB转串口线(14)连接,所述PLC控制器(10)与变频器(12)通过串口线(15)连接,制动电阻(11)连接在变频器(12)上,变频器(12)通过三相电线(16)连接变频电机(6),所述转镜底座(3)与变频电机(6)之间设置有静电吸附器(17),所述静电吸附器(17)下方为石英管包围的垂直加热区(18),石英管包围的垂直加热区(18)内具有能够引燃垂直下落燃料颗粒(19)的均匀高温,PLC控制器(10)通过电缆(20)与静电吸附器(17)进行通讯,静电吸附器(17)充电完成后吸附起初始位置燃料颗粒(21),放电后初始位置燃料颗粒(21)开始下落,所述变频器(12)的频率控制函数 $f(t)$ 通过联立转镜的转速、瞬时夹角和瞬时转速后得

到
$$f(t) = \frac{P \cdot i \cdot v(t) \cdot \sin^2 \arctan\left(\frac{S}{H_0 - H(t)}\right)}{7200\pi S}$$
 , 其中 $f(t)$ 为变频器(12)的瞬时频率, P 为变频电机

(6)的极对数, i 为电机减速器(7)的传动比, $v(t)$ 为垂直下落燃料颗粒(19)的瞬时速度, H_0 为高清反射镜片(5)反射中心所在水平面与垂直下落燃料颗粒(19)轨迹的交点与初始位置燃料颗粒(21)之间的距离, $H(t)$ 为垂直下落燃料颗粒(19)据初始位置燃料颗粒(21)的距离, S 为垂直下落燃料颗粒(19)轨迹与高清反射镜片(5)反射中心的距离。

2. 如权利要求1所述的一种高图像分辨率的检测单颗粒燃烧过程的装置,其特征在于:所述静电吸附器(17)上设置有指示灯(22),通过指示灯(22)对静电吸附器(17)的充电放电状态进行指示。

3. 如权利要求1所述的一种高图像分辨率的检测单颗粒燃烧过程的装置,其特征在于:所述高清反射镜片(5)呈 45° 夹角固定于转镜底座(3)上,两者合称转镜。

4. 一种如权利要求1-3任意一项所述的高图像分辨率的检测单颗粒燃烧过程的方法,其特征在于:所述方法包括以下步骤:

步骤一:利用固定基座(1)上的水平仪(8)调平装置,使装置与石英管包围的垂直加热区(18)保持适当距离;

步骤二:变频器(12)通过三相电线(16)驱动变频电机(6),变频电机(6)经过电机减速器(7)传动控制转镜底座(3)的旋转;

步骤三:启动高速相机(2)后,手动旋转固定基座(1)与驱动变频电机(6)旋转转镜底座(3)使初始位置燃料颗粒(21)处于高速相机(2)的画幅中心;

步骤四:调整高速相机(2)的放大镜头(4),使初始位置燃料颗粒(21)在高速相机(2)画幅中足够清晰且占有足够多的像素;

步骤五:计算机(9)载入变频器(12)的频率控制函数 $f(t)$ 用于驱动变频电机(6)控制转镜;

步骤六:启动高速相机(2)记录功能后,计算机(9)通过PLC控制器(10)向静电吸附器

(17)和变频器(12)同时下达指令,初始位置燃料颗粒(21)开始下落的同时转镜启动自动追踪,垂直下落燃料颗粒(19)的完整燃烧过程通过高清反射镜片(5)反射后被高速相机(2)采集,完成在线检测,所述步骤五中垂直下落燃料颗粒(19)的位置函数 $H(t)$ 与速度函数 $v(t)$ 向变频器(12)频率控制函数 $f(t)$ 转换的过程中转镜的转速表示为

$$\omega(t) = \frac{2\pi n(t)}{i} = \frac{v_r(t)}{r(H(t))} = \frac{v(t) \cdot \sin^2 \alpha(H(t))}{S},$$

其中 $n(t)$ 为变频电机(6)的瞬时转速(转/s), i 为电机减速器(7)的传动比, $v_r(t)$ 为垂直下落燃料颗粒(19)瞬时速度的瞬时切向分速度, $r(H(t))$ 为垂直下落燃料颗粒(19)距高清反射镜片(5)反射中心的瞬时距离, $v(t)$ 为垂直下落燃料颗粒(19)的瞬时速度, $\alpha(H(t))$ 为垂直下落燃料颗粒(19)与高清反射镜片(5)反射中心连线与地面垂线的瞬时夹角 $\alpha \in (0, \pi)$,又称追踪角, S 为垂直下落燃料颗粒(19)轨迹与高清反射镜片(5)反射中心的距离,所述步骤五中变频电机(6)的瞬时转速 $n(t)$ 表示为

$$n(t) = \frac{3600f(t)}{P},$$

5.如权利要求4所述的一种高图像分辨率的检测单颗粒燃烧过程的方法,其特征在于:所述步骤五中垂直下落燃料颗粒(19)与高清反射镜片(5)反射中心连线与地面垂线的瞬时

夹角 $\alpha(H(t))$ 表示为 $\alpha(H(t)) = \arctan\left(\frac{S}{H_0 - H(t)}\right)$,其中 H_0 为高清反射镜片(5)反射中心所在

水平面与垂直下落燃料颗粒(19)轨迹的交点与初始位置燃料颗粒(21)之间的距离。

一种高图像分辨率的检测单颗粒燃烧过程的装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及单颗粒燃烧检测技术领域,尤其涉及一种高图像分辨率的检测单颗粒燃烧过程的装置及方法。

背景技术

[0002] 固体燃料燃烧特性的研究是实现固体燃料洁净燃烧的基础,国内外常用于固体燃料燃烧特性研究的热分析方法主要包括热重分析法(TG)、差热分析法(DTA)和差式扫描量法(DSC)等。利用热分析方法能够得到物性参数和工况参数对燃料的燃烧过程、燃烧特性参数和动力学参数的影响,但是热分析方法属于宏观检测方法,无法实现对单一颗粒整个燃烧过程的在线检测。

[0003] 固体燃料单颗粒燃烧过程的在线检测经常利用高速摄影手段实现,可以获取固体燃料单颗粒在不同燃烧参数下的着火特性和表面温度等信息。由于电站锅炉中煤粉颗粒的直径通常很小(小于100 μm),以往获取此粒径单颗粒燃烧过程的图像一般采用两种方案。方案一:固体燃料单颗粒由器材承托置于热氛围中加热,高速相机在适当距离内固定位置拍摄;方案二:固体燃料单颗粒从加热区上方坠入,高速相机在固体燃料单颗粒下落轨迹的一侧固定位置拍摄。方案一中高速相机镜头与固体燃料单颗粒相对静止,可以通过调节位置与镜头获取高分辨率的图像,但是固体燃料颗粒需要器材承托,其燃烧特性会受到承托器材的干扰,这与煤粉颗粒在炉膛内的悬浮燃烧不符;方案二中固体燃料颗粒虽然不需要器材承托,但由于高速相机的画幅需覆盖固体燃料单颗粒下落的整个过程,图像的高分辨率难以保证。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种高图像分辨率的检测单颗粒燃烧过程的装置及方法,利用受控转动镜片将单颗粒整个燃烧过程的图像实时反射给高速相机,通过对测量距离和高速相机镜头焦距的调节,可以获取单颗粒完整燃烧过程的高分辨率图像,拍摄过程中高速相机无需移动。本方法无需额外的速度预测系统,利用高速相机固定视角拍摄固体燃料颗粒下落的整个过程,根据每帧图像中固体燃料颗粒距离下落起点像素数的变化计算固体燃料颗粒下落的位置函数与速度函数,并转换为电机变频控制的频率控制函数。将频率控制函数载入计算机,即可实现本装置中转镜的自动控制。此外,由于本装置中对受控转动镜片的特殊设计,追踪角可以达到180°的全覆盖。

[0005] 本发明提供一种高图像分辨率的检测单颗粒燃烧过程的装置,包括固定基座,所述固定基座上设置有高速相机,所述高速相机上设置有放大镜头,所述高速相机上的放大镜头前设置有转镜底座,所述转镜底座上安装有高清反射镜片,所述转镜底座的后端设置有变频电机,所述转镜底座与变频电机之间设置有电机减速器,所述高速相机和变频电机通过控制模块进行控制,所述固定基座上设置有水平仪。

[0006] 进一步改进在于:所述控制模块包括计算机、PLC控制器、制动电阻和变频器,所述

计算机通过以太网线连接高速相机,计算机和PLC控制器通过USB转串口线连接,所述PLC控制器与变频器通过串口线连接,制动电阻连接在变频器上,变频器通过三相电线连接变频电机。

[0007] 进一步改进在于:所述转镜底座与变频电机之间设置有静电吸附器,所述静电吸附器下方为石英管包围的垂直加热区,石英管包围的垂直加热区内具有能够引燃垂直下落燃料颗粒的均匀高温,PLC控制器通过电缆与静电吸附器进行通讯,静电吸附器充电完成后吸附起初始位置燃料颗粒,放电后初始位置燃料颗粒开始下落。

[0008] 进一步改进在于:所述静电吸附器上设置有指示灯,通过指示灯对静电吸附器的充电放电状态进行指示。

[0009] 进一步改进在于:所述高清反射镜片呈45°夹角固定于转镜底座上,两者合称转镜。

[0010] 本发明还提供一种高图像分辨率的检测单颗粒燃烧过程的方法,所述方法包括以下步骤:

[0011] 步骤一:利用固定基座上的水平仪调平装置,使装置与石英管包围的垂直加热区保持适当距离;

[0012] 步骤二:变频器通过三相电线驱动变频电机,变频电机经过电机减速器传动控制转镜底座的旋转;

[0013] 步骤三:启动高速相机后,手动旋转固定基座与驱动变频电机旋转转镜底座使初始位置燃料颗粒处于高速相机的画幅中心;

[0014] 步骤四:调整高速相机的放大镜头,使初始位置燃料颗粒在高速相机画幅中足够清晰且占有足够多的像素;

[0015] 步骤五:计算机载入变频器的频率控制函数 $f(t)$ 用于驱动变频电机控制转镜;

[0016] 步骤六:启动高速相机记录功能后,计算机通过PLC控制器向静电吸附器和变频器同时下达指令,初始位置燃料颗粒开始下落的同时转镜启动自动追踪,垂直下落燃料颗粒的完整燃烧过程通过高清反射镜片反射后被高速相机采集,完成在线检测。

[0017] 进一步改进在于:所述步骤五中垂直下落燃料颗粒的位置函数 $H(t)$ 与速度函数 $v(t)$ 向变频器频率控制函数 $f(t)$ 转换的过程中转镜的转速表示为

$$\omega(t) = \frac{2\pi n(t)}{i} = \frac{v_r(t)}{r(H(t))} = \frac{v(t) \cdot \sin^2 \alpha(H(t))}{S},$$

其中 $n(t)$ 为变频电机的瞬时转速转/s, i 为电机减速器的传动比,

$v_r(t)$ 为垂直下落燃料颗粒瞬时速度的瞬时切向分速度, $r(H(t))$ 为垂直下落燃料颗粒距高清反射镜片反射中心的瞬时距离, $v(t)$ 为垂直下落燃料颗粒的瞬时速度, $\alpha(H(t))$ 为垂直下落燃料颗粒与高清反射镜片反射中心连线与地面垂线的瞬时夹角($\alpha \in (0, \pi)$),又称追踪角, S 为垂直下落燃料颗粒轨迹与高清反射镜片反射中心的距离。

[0018] 进一步改进在于:所述步骤五中垂直下落燃料颗粒与高清反射镜片反射中心连线与地面垂线的瞬时夹角 $\alpha(H(t))$ 表示为 $\alpha(H(t)) = \arctan\left(\frac{S}{H_0 - H(t)}\right)$,其中 H 为高清反射镜片

反射中心所在水平面与垂直下落燃料颗粒轨迹的交点。

[0019] 进一步改进在于:所述步骤五中变频电机的瞬时转速 $n(t)$ 表示为 $n(t) = \frac{3600f(t)}{P}$,

其中 $f(t)$ 为变频器的瞬时频率, P 为变频电机的极对数。进一步改进在于:所述变频器的频率控制函数 $f(t)$ 通过联立转镜的转速、瞬时夹角和瞬时转速后得到

$$f(t) = \frac{P \cdot i \cdot v(t) \cdot \sin^2 \arctan\left(\frac{S}{H_0 - H(t)}\right)}{7200\pi S},$$

数, i 为电机减速器的传动比, $v(t)$ 为垂直下落燃料颗粒的瞬时速度, H_0 为高清反射镜片反射中心所在水平面与垂直下落燃料颗粒轨迹的交点与初始位置燃料颗粒之间的距离, $H(t)$ 为垂直下落燃料颗粒据初始位置燃料颗粒的距离, S 为垂直下落燃料颗粒轨迹与高清反射镜片反射中心的距离。石英管包围的垂直加热区内具有能够引燃垂直下落燃料颗粒的均匀高温;PLC控制器通过电缆与静电吸附器进行通讯,静电吸附器充电完成后可吸附起初始位置燃料颗粒,同时指示灯亮起,放电后指示灯熄灭,同时初始位置燃料颗粒开始下落;另将高速相机单独安装于三脚架上,固定视场水平拍摄垂直下落燃料颗粒的完整下落过程,垂直下落燃料颗粒据初始位置燃料颗粒的距离记为 $H(t)$,以指示灯熄灭作为初始时间($t = s$),根据每帧图像中垂直下落燃料颗粒距离初始位置的像素数的变化计算其位置函数 $H(t)$ 与速度函数 $v(t)$ 并转换为变频器的频率控制函数 $f(t)$ 后将高速相机装回固定基座装置的固定基座可安装在三脚架等摄影辅助器材上;正式采集过程首先利用固定基座上的水平仪调平装置,使装置与石英管包围的加热区保持适当距离;计算机与PLC控制器通过USB转串口线通讯,PLC控制器通过串口线向变频器通讯,变频器上装有制动电阻;变频器通过三相电线驱动变频电机,变频电机经过减速器传动控制转镜底座的旋转;高清反射镜片呈 45° 夹角固定于转镜底座上,两者合称转镜;高速相机与计算机通过以太网线进行通讯,高速相机上的放大镜头正对转镜底座,在转镜旋转过程中放大镜头的中心轴线与高清反射镜片的镜面的夹角始终为 45° ;启动高速相机后,手动旋转固定基座与驱动电机旋转转镜基座使初始位置燃料颗粒处于高速相机的画幅中心;调整高速相机的放大镜头,使初始位置燃料颗粒在相机画幅中足够清晰且占有足够多的像素;计算机载入变频器的频率控制函数 $f(t)$ 用于驱动电机控制转镜;启动高速相机记录功能后,计算机通过PLC控制器向静电吸附器和变频器同时下达指令,初始位置燃料颗粒开始下落的同时转镜启动自动追踪,垂直下落燃料颗粒的完整燃烧过程通过高清反射镜片反射后被高速相机采集,从而实现固体燃料单颗粒燃烧过程的高分辨率在线检测。

[0020] 本发明的有益效果:利用受控转动镜片将单颗粒整个燃烧过程的图像实时反射给高速相机,通过对测量距离和高速相机镜头焦距的调节,可以获取单颗粒完整燃烧过程的高分辨率图像,拍摄过程中高速相机无需移动。无需额外的速度预测系统,利用高速相机固定视角拍摄固体燃料颗粒下落的整个过程,根据每帧图像中固体燃料颗粒距离下落起点像素数的变化计算固体燃料颗粒下落的位置函数与速度函数,并转换为电机变频控制的频率控制函数。将频率控制函数载入计算机,即可实现转镜的自动控制。此外,由于本装置中对受控转动镜片的特殊设计,追踪角可以达到 180° 的全覆盖。

附图说明

[0021] 图1是本发明的结构示意图。

[0022] 其中:1-固定基座,2-高速相机,3-转镜底座,4-放大镜头,5-高清反射镜片,6-变频电机,7-电机减速器,8-水平仪,9-计算机,10-PLC控制器,11-制动电阻,12-变频器,13-以太网线,14-USB转串口线,15-串口线,16-三相电线,17-静电吸附器,18-垂直加热区,19-垂直下落燃料颗粒,20-电缆,21-起初始位置燃料颗粒,22-指示灯。

具体实施方式

[0023] 为了加深对本发明的理解,下面将结合实施例对本发明作进一步详述,该实施例仅用于解释本发明,并不构成对本发明保护范围的限定。如图1所示,本实施例提供一种高图像分辨率的检测单颗粒燃烧过程的装置,包括固定基座1,所述固定基座1上设置有高速相机2,所述高速相机2上设置有放大镜头4,所述高速相机2上的放大镜头4前设置有转镜底座3,所述转镜底座3上安装有高清反射镜片5,所述转镜底座3的后端设置有变频电机6,所述转镜底座3与变频电机6之间设置有电机减速器7,所述高速相机2和变频电机6通过控制模块进行控制,所述固定基座1上设置有水平仪8。所述控制模块包括计算机9、PLC控制器10、制动电阻11和变频器12,所述计算机9通过以太网线13连接高速相机2,计算机9和PLC控制器10通过USB转串口线14连接,所述PLC控制器10与变频器12通过串口线15连接,制动电阻11连接在变频器12上,变频器12通过三相电线16连接变频电机6。所述转镜底座3与变频电机6之间设置有静电吸附器17,所述静电吸附器17下方为石英管包围的垂直加热区18,石英管包围的垂直加热区18内具有能够引燃垂直下落燃料颗粒19的均匀高温,PLC控制器10通过电缆20与静电吸附器17进行通讯,静电吸附器17充电完成后吸附起初始位置燃料颗粒21,放电后初始位置燃料颗粒21开始下落。所述静电吸附器17上设置有指示灯22,通过指示灯22对静电吸附器17的充电放电状态进行指示。所述高清反射镜片5呈45°夹角固定于转镜底座3上,两者合称转镜。

[0024] 本实施例还提供一种高图像分辨率的检测单颗粒燃烧过程的方法,所述方法包括以下步骤:

[0025] 步骤一:利用固定基座1上的水平仪8调平装置,使装置与石英管包围的垂直加热区18保持适当距离;

[0026] 步骤二:变频器12通过三相电线16驱动变频电机6,变频电机6经过电机减速器7传动控制转镜底座3的旋转;

[0027] 步骤三:启动高速相机2后,手动旋转固定基座1与驱动变频电机6旋转转镜底座3使初始位置燃料颗粒21处于高速相机2的画幅中心;

[0028] 步骤四:调整高速相机2的放大镜头4,使初始位置燃料颗粒21在高速相机2画幅中足够清晰且占有足够多的像素;

[0029] 步骤五:计算机9载入变频器12的频率控制函数 $f(t)$ 用于驱动变频电机6控制转镜;

[0030] 步骤六:启动高速相机2记录功能后,计算机9通过PLC控制器10向静电吸附器17和变频器12同时下达指令,初始位置燃料颗粒21开始下落的同时转镜启动自动追踪,垂直下落燃料颗粒19的完整燃烧过程通过高清反射镜片5反射后被高速相机2采集,完成在线检

测。

[0031] 所述步骤五中垂直下落燃料颗粒19的位置函数 $H(t)$ 与速度函数 $v(t)$ 向变频器12频率控制函数 $f(t)$ 转换的过程中转镜的转速表示为

$$\omega(t) = \frac{2\pi n(t)}{i} = \frac{v_r(t)}{r(H(t))} = \frac{v(t) \cdot \sin^2 \alpha(H(t))}{S},$$

其中 $n(t)$ 为变频电机6的瞬时转速转/s, i 为电机减速器7的传动比, $v_r(t)$ 为垂直下落燃料颗粒19瞬时速度的瞬时切向分速度, $r(H(t))$ 为垂直下落燃料颗粒19距高清反射镜片5反射中心的瞬时距离, $v(t)$ 为垂直下落燃料颗粒19的瞬时速度, $\alpha(H(t))$ 为垂直下落燃料颗粒19与高清反射镜片5反射中心连线与地面垂线的瞬时夹角($\alpha \in (0, \pi)$), 又称追踪角, S 为垂直下落燃料颗粒19轨迹与高清反射镜片5反射中心的距离。

[0032] 所述步骤五中垂直下落燃料颗粒19与高清反射镜片5反射中心连线与地面垂线的瞬时夹角 $\alpha(H(t))$ 表示为 $\alpha(H(t)) = \arctan\left(\frac{S}{H_0 - H(t)}\right)$, 其中 H_0 为高清反射镜片5反射中心所在水平面与垂直下落燃料颗粒19轨迹的交点。

[0033] 所述步骤五中变频电机6的瞬时转速 $n(t)$ 表示为 $n(t) = \frac{3600f(t)}{P}$, 其中 $f(t)$ 为变频器12的瞬时频率, P 为变频电机6的极对数。

[0034] 所述变频器12的频率控制函数 $f(t)$ 通过联立转镜的转速、瞬时夹角和瞬时转速后

得到
$$f(t) = \frac{P \cdot i \cdot v(t) \cdot \sin^2 \arctan\left(\frac{S}{H_0 - H(t)}\right)}{7200\pi S},$$

其中 $f(t)$ 为变频器12的瞬时频率, P 为变频电机6的极对数, i 为电机减速器7的传动比, $v(t)$ 为垂直下落燃料颗粒19的瞬时速度, H_0 为高清反射镜片5反射中心所在水平面与垂直下落燃料颗粒19轨迹的交点与初始位置燃料颗粒21之间的距离, $H(t)$ 为垂直下落燃料颗粒19据初始位置燃料颗粒21的距离, S 为垂直下落燃料颗粒19轨迹与高清反射镜片5反射中心的距离。

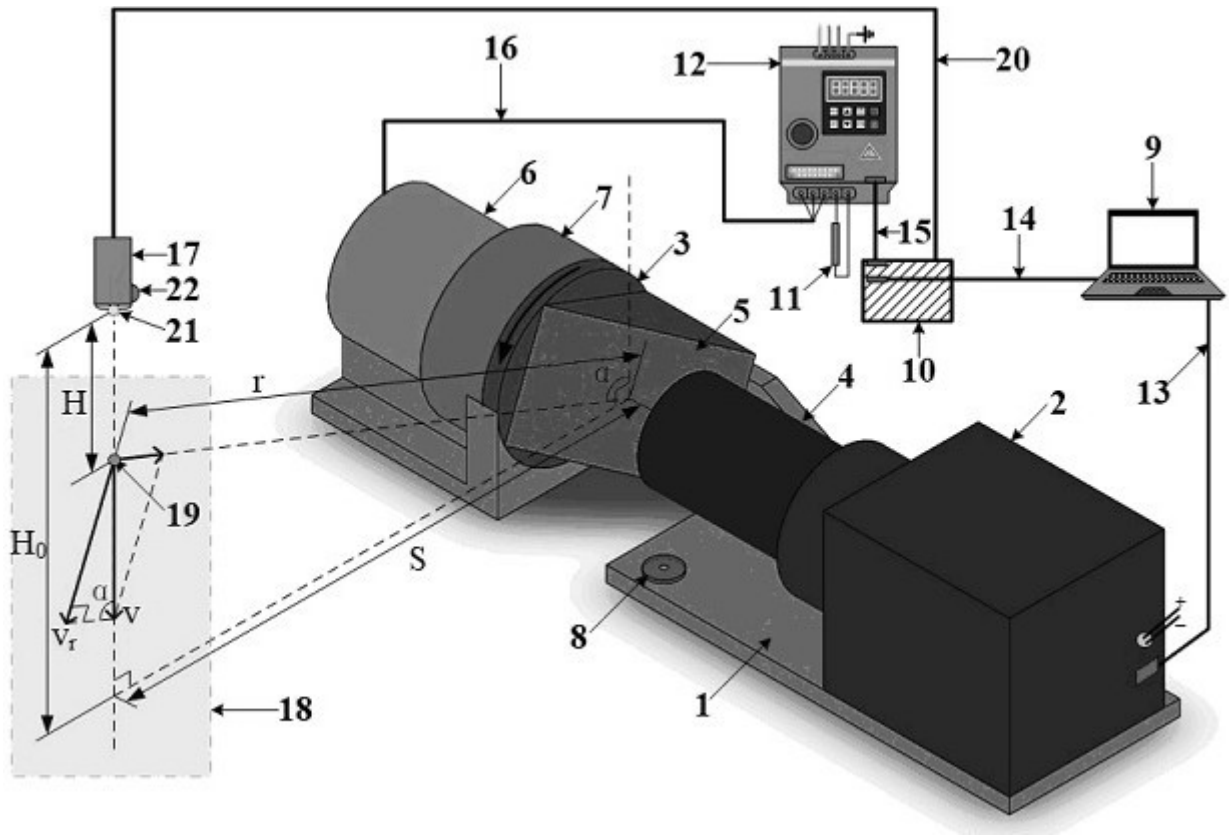


图1