



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104865227 A

(43) 申请公布日 2015. 08. 26

(21) 申请号 201510144067. 7

(22) 申请日 2015. 03. 30

(71) 申请人 天津大学

地址 300072 天津市南开区卫津路 92 号

(72) 发明人 尧命发 唐青龙 刘海峰 郑尊清

(74) 专利代理机构 天津市北洋有限责任专利代理事务所 12201

代理人 温国林

(51) Int. Cl.

G01N 21/63(2006. 01)

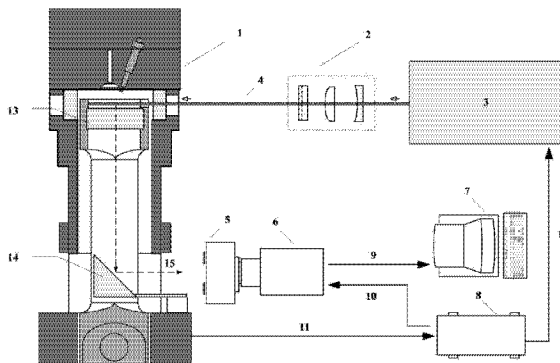
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种光学发动机缸内燃烧过程碳烟体积分数定量测量装置

(57) 摘要

本发明公开了一种光学发动机缸内燃烧过程碳烟体积分数定量测量装置;利用辐射强度已知的标准光源对装有双成像装置的 ICCD 相机进行辐射强度校准,获得 ICCD 相机对发光体辐射强度的敏感系数 ;Nd:YAG 激光器产生高能激光,经透镜组整形之后形成片状激光,片状激光进入光学发动机的燃烧室,碳烟被片状激光加热形成炽光信号;炽光信号穿过活塞顶石英窗口,经反光镜反射后被 ICCD 相机采集,图像采集系统得到炽光信号在两个波长上的图像数据,经过图像处理得到片状激光穿过碳烟切面的碳烟体积分数二维定量结果。该测量系统采用双成像装置实现碳烟体积分数的多点在线标定和定量测量,装置结构简单,去除了传统单点标定系统的传感器和数据采集装置,降低了成本。



1. 一种光学发动机缸内燃烧过程碳烟体积分数定量测量装置, 由 Nd:YAG 激光器、透镜组、光学发动机、双成像装置、标准光源、ICCD 相机、图像采集系统和数字脉冲延时器组成; 其特征在于, 利用所述双成像装置实现发动机缸内碳烟体积分数多点在线标定和定量测量;

利用辐射强度已知的所述标准光源对装有所述双成像装置的所述 ICCD 相机进行辐射强度校准, 获得所述 ICCD 相机对发光体辐射强度的敏感系数;

所述 Nd:YAG 激光器产生高能激光, 经所述透镜组整形之后形成片状激光, 所述片状激光进入所述光学发动机的燃烧室, 碳烟被所述片状激光加热形成炽光信号;

所述炽光信号穿过活塞顶石英窗口, 经反光镜反射后被所述 ICCD 相机采集, 所述图像采集系统得到炽光信号在两个波长上的图像数据, 经过图像处理得到所述片状激光穿过碳烟切面的碳烟体积分数二维定量结果。

2. 根据权利要求 1 所述的一种光学发动机缸内燃烧过程碳烟体积分数定量测量装置, 其特征在于,

所述数字脉冲延时器记录光学发动机的发动机喷油信号, 并触发所述 ICCD 相机和所述 Nd:YAG 激光器;

所述 ICCD 相机拍摄时刻、所述 Nd:YAG 激光器触发时刻和所述光学发动机着火时刻达到同步。

3. 根据权利要求 1 所述的一种光学发动机缸内燃烧过程碳烟体积分数定量测量装置, 其特征在于, 所述双成像装置包括: 450nm 带通滤镜、650nm 带通滤镜和反光镜组,

发光体的自发光分别穿过所述 450nm 带通滤镜和所述 650nm 带通滤镜经所述反光镜组反射, 所述 ICCD 相机获得辐射光在两个不同波长上的图像;

所述图像采集系统通过计算所述 ICCD 相机获取的信号强度和标准灯辐射强度的比值得到所述 ICCD 相机对发光体辐射强度的敏感系数。

## 一种光学发动机缸内燃烧过程碳烟体积分数定量测量装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及定量测量装置领域,尤其涉及一种光学发动机缸内燃烧过程碳烟体积分数定量测量装置。

### 背景技术

[0002] 碳烟是内燃机燃烧过程中主要有害产物之一,也是城市大气雾霾污染的重要来源之一。为了减少内燃机的碳烟排放,必须对碳烟的生成氧化机理进行深入研究,行之有效的碳烟定量方法是深入研究的基础,因此实现内燃机燃烧过程中碳烟的定量测量有重要的理论和实际意义。

[0003] 激光诱导炽光法由于具有无干扰、分辨率高、二维测量而受到重视,其基本原理是利用高能脉冲激光在极短时间内(纳秒级)将火焰中的碳烟颗粒从火焰温度(约 2000K)加热到碳烟颗粒气化温度(约 4000K),高温的碳烟颗粒辐射出炽光,根据黑体辐射定律,在合适的检测波长范围内,相比于加热后的碳烟颗粒,原始的火焰辐射可以被忽略,炽光信号强度可以反映碳烟浓度。

[0004] 利用激光诱导炽光法定量测量内燃机燃烧过程的碳烟体积分数需要对炽光信号进行标定,双色法标定激光诱导炽光法是近年来提出的新的标定方法,以往该标定方法采用单点标定,利用两个光电倍增管测量炽光区域中空间一点的碳烟体积分数,同时利用一台 ICCD(Intensified Charge Coupled Device,增强电荷耦合器件)相机记录整个炽光区的信号,然后将这一点的定量结果映射到整个二维炽光区域中,从而实现碳烟的二维定量测量,由于单点标定的测点是固定的,因此比较适合稳态层流火焰中碳烟的测量,但内燃机缸内的燃烧过程受到进气涡流和缸内湍流的影响,属于非稳态湍流火焰,这种静态测点的单点标定方法难以实现有效的碳烟炽光标定过程。

### 发明内容

[0005] 本发明提供了一种光学发动机缸内燃烧过程碳烟体积分数定量测量装置,本发明采用双成像装置实现碳烟炽光信号多点在线标定,进而利用测量装置进行缸内燃烧过程碳烟的高分辨率定量测量,详见下文描述:

[0006] 一种光学发动机缸内燃烧过程碳烟体积分数定量测量装置,由 Nd:YAG 激光器、透镜组、光学发动机、双成像装置、标准光源、ICCD 相机、图像采集系统和数字脉冲延时器组成;所述光学发动机内设置有活塞顶石英窗口和反光镜;

[0007] 利用辐射强度已知的所述标准光源对装有所述双成像装置的所述 ICCD 相机进行辐射强度校准,获得所述 ICCD 相机对发光体辐射强度的敏感系数;

[0008] 所述 Nd:YAG 激光器产生高能激光,经所述透镜组整形之后形成片状激光,所述片状激光进入所述光学发动机的燃烧室,碳烟被所述片状激光加热形成炽光信号;

[0009] 所述炽光信号穿过活塞顶石英窗口,经反光镜反射后被所述 ICCD 相机采集,所述图像采集系统得到炽光信号在两个波长上的图像数据,经过图像处理得到所述片状激光穿

过碳烟切面的碳烟体积分数二维定量结果。

[0010] 所述数字脉冲延时器记录光学发动机的发动机喷油信号,并触发所述 ICCD 相机和所述 Nd:YAG 激光器;

[0011] 所述 ICCD 相机拍摄时刻、所述 Nd:YAG 激光器触发时刻和所述光学发动机着火时刻达到同步。

[0012] 所述双成像装置包括:450nm 带通滤镜、650nm 带通滤镜和反光镜组,

[0013] 发光体的自发光分别穿过所述 450nm 带通滤镜和所述 650nm 带通滤镜经所述反光镜组反射,所述 ICCD 相机获得辐射光在两个不同波长上的图像;

[0014] 所述图像采集系统通过计算所述 ICCD 相机获取的信号强度和标准灯辐射强度的比值得到所述 ICCD 相机对发光体辐射强度的敏感系数。

[0015] 本发明提供的技术方案的有益效果是:

[0016] (1) 可以实现多点标定,避免了传统单点标定过程中单点测量位置固定的不足,适合于非稳态湍流火焰碳烟测量,提高了标定过程中标定点实际位置与图像的对应精度,降低了标定误差。

[0017] (2) 可以实现在线标定,标定过程与测量过程合二为一,避免了传统标定过程与测量过程分离的不足,从而减小了边界条件变动对标定系数的影响。

[0018] (3) 相比于传统标定装置,该测量装置结构简单,去除了传统标定系统的传感器和数据采集装置,降低了成本。

[0019] (4) 该发明的测试装置操作简单,对光学发动机的结构改造要求降低。

## 附图说明

[0020] 图 1 是光学发动机碳烟定量测量装置示意图;

[0021] 图 2 是 ICCD 相机对发光体辐射强度敏感系数的校准示意图;

[0022] 图 3 是双成像装置的结构和成像原理图。

[0023] 附图中,各标号所代表的部件列表如下:

- |        |                |                |
|--------|----------------|----------------|
| [0024] | 1- 光学发动机;      | 2- 透镜组;        |
| [0025] | 3-Nd:YAG 激光器;  | 4- 片状激光;       |
| [0026] | 5- 双成像装置;      | 6-ICCD 相机;     |
| [0027] | 7- 图像采集系统;     | 8- 数字脉冲延时器;    |
| [0028] | 9- 图像数据;       | 10- 相机触发信号;    |
| [0029] | 11- 发动机喷油信号;   | 12- 激光器触发信号;   |
| [0030] | 13- 活塞顶石英窗口;   | 14- 反光镜;       |
| [0031] | 15- 光信号传播方向;   | 16- 标准光源;      |
| [0032] | 17-450nm 带通滤镜; | 18-650nm 带通滤镜; |
| [0033] | 19- 反光镜组。      |                |

## 具体实施方式

[0034] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面对本发明实施方式作进一步地详细描述。

[0035] 一种光学发动机缸内燃烧过程碳烟体积分数定量测量装置,参见图1、图2和图3,由Nd:YAG激光器3、透镜组2、光学发动机1、双成像装置5、标准光源16、ICCD相机6、图像采集系统7和数字脉冲延时器8组成。光学发动机1内设置有活塞顶石英窗口13和反光镜14。

[0036] 利用辐射强度已知的标准光源16对装有双成像装置5的ICCD相机6进行辐射强度校准,获得ICCD相机6对发光体辐射强度的敏感系数 $\eta$ 。Nd:YAG激光器3产生高能激光,经透镜组2整形之后形成片状激光4,片状激光4进入光学发动机1的燃烧室并穿过燃料燃烧过程中的碳烟生产区域,碳烟被片状激光4加热形成炽光信号,炽光信号穿过活塞顶石英窗口13(沿图1中的光信号传播方向15进行传播),经反光镜14反射后被装有双成像装置5的ICCD相机6采集,图像采集系统7得到炽光信号在两个波长上的图像数据9,经过图像处理得到片状激光4所穿过碳烟切面的碳烟体积分数二维定量结果。

[0037] 其中,数字脉冲延时器8记录光学发动机1的发动机喷油信号11,并触发ICCD相机6和Nd:YAG激光器3(即通过相机触发信号10、激光器触发信号12分别触发ICCD相机6和Nd:YAG激光器3),使ICCD相机6拍摄时刻、Nd:YAG激光器3触发时刻和光学发动机1着火时刻达到同步。

[0038] 其中,在进行实际的碳烟定量之前需要对ICCD相机6进行校准,得到ICCD相机6对发光体辐射强度在两个波长上的敏感系数 $\eta(\lambda)$ ,具体过程如下:

[0039] 利用辐射强度已知的标准光源16产生辐射光,辐射光经过活塞顶石英窗口13、经反光镜14反射后按光信号传播方向15传播,被装有双成像装置5的ICCD相机6采集,双成像装置5的成像原理如图3所示,该双成像装置5包括:450nm带通滤镜17、650nm带通滤镜18和反光镜组19。发光体的自发光分别穿过450nm带通滤镜17和650nm带通滤镜18经反光镜组19反射,最后在ICCD相机6内形成两幅图像,从而实现了ICCD相机6单次拍摄同时获得辐射光在两个不同波长上图像的目的,图像采集系统7获取图像数据9。通过计算ICCD相机6获取的信号强度和标准灯辐射强度的比值可以得到ICCD相机6对发光体辐射强度的敏感系数 $\eta(\lambda)$ 。

[0040] 实际应用时,光学发动机1由测功机倒拖处于1200转/分钟的转速,产生10Hz的发动机喷油信号11,触发数字脉冲延时器8,数字脉冲延时器8在发动机喷油信号11的基础上进行延时以确定对应发动机曲轴转角进行激光诱导炽光法的定量测量,数字脉冲延时器8产生激光器触发信号12触发Nd:YAG激光器3,Nd:YAG激光器3产生波长为532nm、单脉冲能量为60mJ的脉冲激光,激光通过透镜组2进行整形,形成宽度为40mm、厚度为1mm的片状激光4,片状激光4进入到光学发动机1燃烧室中的碳烟生产区域中形成炽光信号,炽光信号经反光镜14反射,按光信号传播方向15传播,此时,数字脉冲延时器8产生相机触发信号10触发装有双成像装置5的ICCD相机6完成图像采集过程,图像数据9由图像采集系统7获取。

[0041] 利用已获取的两幅炽光图像,经过图像裁剪、背景消除、像素对应得到两个炽光信号矩阵,根据公式(1)、(2)利用矩阵计算分别得到对应点碳烟的温度T和碳烟体积分数 $f_v$ ,这里假设碳烟粒子为球形,且激光区域内碳烟粒子被均匀加热。

$$T = \frac{hc}{k} \left( \frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right) / \ln \left( \frac{I_{LI}(\lambda_1) \eta(\lambda_2) \lambda_1^6 E(m)_2}{I_{LI}(\lambda_2) \eta(\lambda_1) \lambda_2^6 E(m)_1} \right) \quad (1)$$

$$[0043] \quad f_v = \frac{I_{LII}(\lambda_1)}{\eta(\lambda_1)\omega_b \frac{12\pi e^2 h}{\lambda_1^6} E(m) [\exp(\frac{hc}{k\lambda_1 T}) - 1]^{-1}} \quad (2)$$

[0044] 其中, h 为普朗克常数 ;c 为光速 ;k 为玻尔兹曼常数 ; $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  为检测波长,其中  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  分别为 450nm 和 650nm ; $I_{LII}(\lambda_1)$  和  $I_{LII}(\lambda_2)$  分别为炽光信号在波长  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  上的信号值 ; $\eta(\lambda_1)$  和  $\eta(\lambda_2)$  分别为 ICCD 在波长  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  上的校准系数 ; $\omega_b$  为片状激光 4 的厚度 ;E(m) 为碳烟吸收函数,这里取  $E(m)_1 = E(m)_2 = 0.26$ 。

[0045] 本发明实施例对各器件的型号除做特殊说明的以外,其他器件的型号不做限制,只要能完成上述功能的器件均可。

[0046] 本领域技术人员可以理解附图只是一个优选实施例的示意图,上述本发明实施例序号仅仅为了描述,不代表实施例的优劣。

[0047] 以上所述仅为本发明的较佳实施例,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

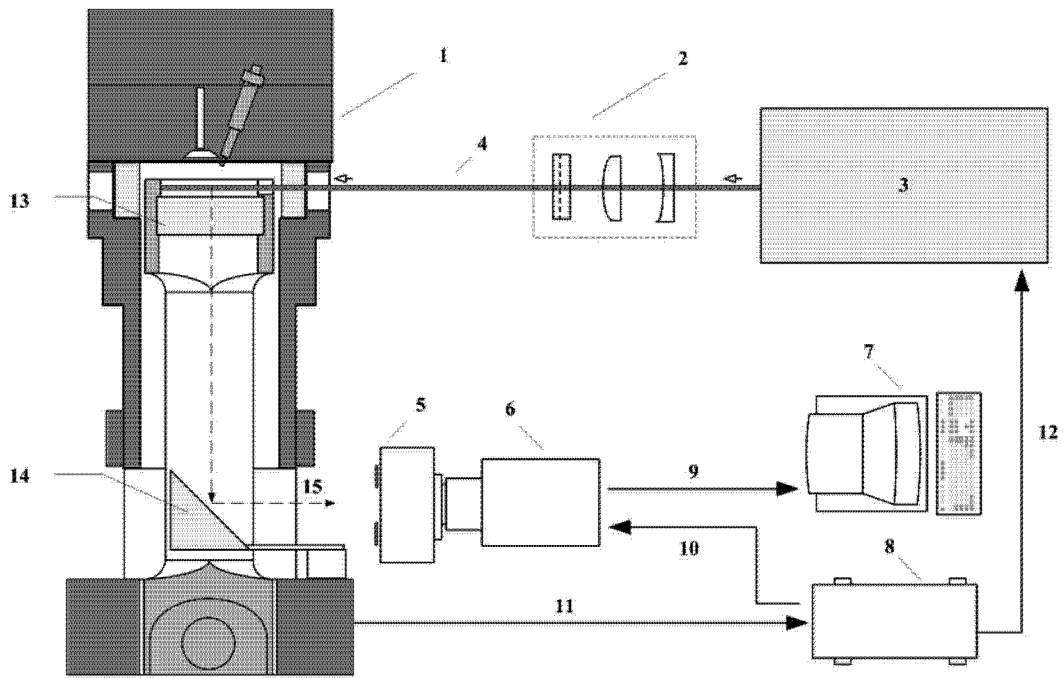


图 1

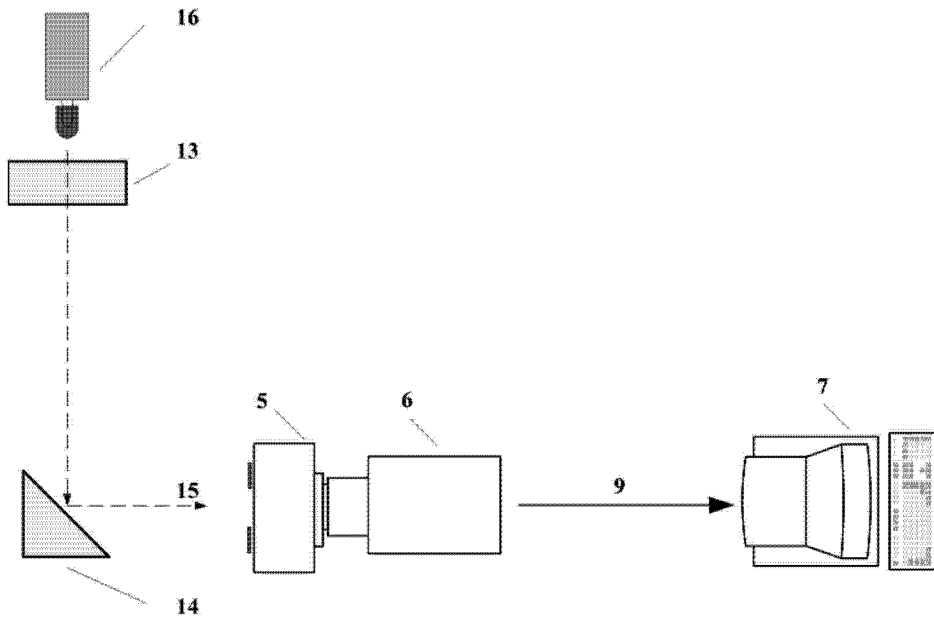


图 2

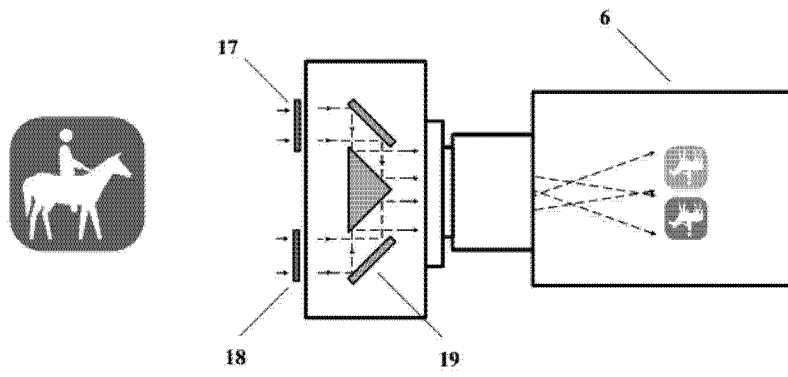


图 3