



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108917943 A

(43)申请公布日 2018. 11. 30

(21)申请号 201810923749.1

(22)申请日 2018.08.14

(71)申请人 岭南师范学院

地址 524048 广东省湛江市赤坎区寸金路
29号

(72)发明人 李栋宇 黄贞 张正贺 黄恒烽
陈汝婷 薛晓惠 严春晖 刘嘉惠

(74)专利代理机构 广州粤高专利商标代理有限公司 44102

代理人 刘瑶云 陈伟斌

(51)Int.Cl.

G01J 5/50(2006.01)

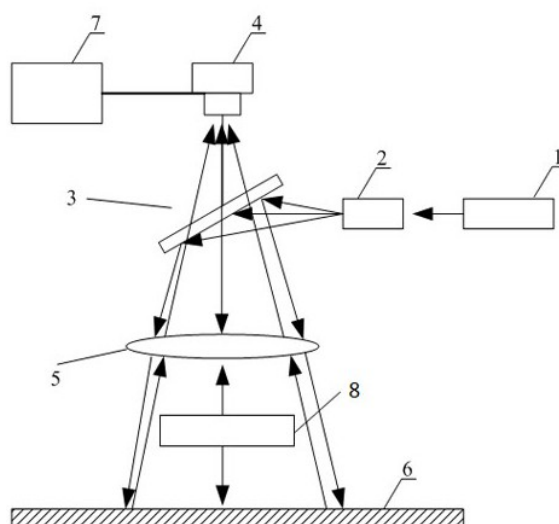
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种基于投影式背景纹影技术的火焰温度场测量装置及方法

(57)摘要

本发明涉及火焰温度测量技术领域,更具体地,提供了一种基于投影式背景纹影技术的火焰温度场测量装置及方法,采用投影式背景纹影技术,基于空气折射率梯度测量的原理,以半导体激光器作为光源,激光经扩束镜整形为锥形光束,再经分束镜分为两束光,其中反射光束照射到凸透镜后进入测试区域,光线由于流场的折射率变化受到扰动,纹影图像在投影光屏上可直接呈现,实现背景纹影的投影式可视化。然后采用高速CCD快速成像,在PC端结合S-EYE和PIV技术获取图像上粒子的偏移量以量化偏折角,再通过反投影重建原理对不均匀温度场进行三维重构,获取整个火焰区域的温度变化趋势,实现瞬态火焰温度场的可视化测量,取代传统的单点温度测量。



1. 一种基于投影式背景纹影技术的火焰温度场测量装置,应用于测量火焰的温度场,其特征在于:包括激光器(1)、扩束镜(2)、半反半透镜(3)、凸透镜(5)、光屏(6)、摄像装置(4)和图像处理装置(7),所述光屏(6)、凸透镜(5)、半反半透镜(3)、摄像装置(4)依次顺序放置,所述激光器(1)、扩束镜(2)、半反半透镜(3)呈另一方向顺序放置,所述火焰区域(8)设于光屏(6)与凸透镜(5)之间;激光器(1)发射激光,激光通过扩束镜(2)照射至半反半透镜(3),光束经半反半透镜(3)反射至凸透镜(5)并进入火焰区域(8),呈现图像至光屏(6)上,摄像装置(4)采集光屏(6)上的图像并与图像处理装置(7)进行数据传输,图像处理装置(7)实现瞬态火焰温度场的可视化测量。

2. 根据权利要求1所述的一种基于投影式背景纹影技术的火焰温度场测量装置,其特征在于:所述半反半透镜(3)设有角度调节支架、所述扩束镜(2)设有位置微调支架。

3. 根据权利要求1所述的一种基于投影式背景纹影技术的火焰温度场测量装置,其特征在于:所述图像处理装置(7)为设有纹影技术图像处理系统的PC端,所述纹影技术图像处理系统包括纹影视频采集、视频的分帧操作与图像选取、图像滤波、粒子偏移量求取、折射率梯度计算、各区域对应的温度计算、温度场三维重构。

4. 根据权利要求1所述的一种基于投影式背景纹影技术的火焰温度场测量装置,其特征在于:所述摄像装置(4)与图像处理装置(7)的连接方式为电连接或通讯连接。

5. 根据权利要求1所述的一种基于投影式背景纹影技术的火焰温度场测量装置,其特征在于:所述摄像装置(4)为高速CCD摄像头。

6. 根据权利要求1所述的一种基于投影式背景纹影技术的火焰温度场测量装置,其特征在于:所述激光器(1)为半导体激光器(1)。

7. 一种基于投影式背景纹影技术的火焰温度场测量方法,结合权利要求1-6任一项所述的火焰温度场测量装置,其特征在于:包括但不限于以下步骤:

S1开启激光器(1),激光进入扩束镜(2);

S2调节扩束镜(2)的位置,将激光扩散为锥形光束,进入半反半透镜(3);

S3调节半反半透镜(3)的角度,将光束反射至凸透镜(5),进入火焰区域(8),并投影在光屏(6)上;

S4摄像装置(4)对光屏(6)上的纹影图像进行拍摄采集,将采集到的火焰纹影图像信号传输至图像处理装置(7);

S5图像处理装置(7)对火焰纹影图像信号进行处理,主要包括:纹影视频采集、视频的分帧操作与图像选取、图像滤波、粒子偏移量求取、折射率梯度计算、各区域对应的温度计算、温度场三维重构等,最终实现瞬态火焰温度场的可视化测量。

一种基于投影式背景纹影技术的火焰温度场测量装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及火焰温度测量技术领域,更具体地,涉及一种基于投影式背景纹影技术的火焰温度场测量装置及方法,应用于瞬态燃烧过程监测。

背景技术

[0002] 火焰温度场测量是燃烧领域一个极其重要的问题,对于燃烧状态的判断、预测和诊断有着十分重要的意义。通过非接触式手段实现准确、实时、快速测量火焰温度场,在工业、军事、航天航空等领域应用广泛。火焰温度场测量方法的研究一直是国内外燃烧领域的热点问题。非接触式测温方法分为两大类:一类是通过测量燃烧介质的热力学性质参数求解温度,如声学法;另一类是利用高温火焰的辐射特性通过光学法来测量温度场,如谱线反转法、光谱测温技术、红外辐射测温、全息干涉测量法等。近年来,利用计算机图像处理技术、光谱层析技术等手段来研究火焰温度场分布亦取得了一定进展。

[0003] 纹影法是一种进行流场显示和测量的常见方法,能够实现气流的可视化,可作为一种非接触式方法测量火焰温度。纹影技术在现代快速发展的数字图像技术的帮助下,在火焰温度场测量中常作为定量分析手段。随着生活水平不断提高,在我们的日常生活中,仅是测量物体的单点温度往往不能满足人们的需求,因为有时人们需要及时获得整个区域的温度变化趋势并希望快速、直观地观测其现象,因此,设计一种性价比高且操作简单、移动便携的非接触式纹影仪测量火焰温度的实验装置更具意义。

发明内容

[0004] 本发明为克服上述现有技术所述的至少一种缺陷,提供一种基于投影式背景纹影技术的火焰温度场测量装置及方法,通过监测和测量,获取整个火焰区域的温度变化趋势,实现温度场的可视化测量。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明采用的技术方案是:

[0006] 一种基于投影式背景纹影技术的火焰温度场测量装置,应用于测量火焰的温度场,包括激光器、扩束镜、半反半透镜、凸透镜、光屏、摄像装置和图像处理装置,所述光屏、凸透镜、半反半透镜、摄像装置依次顺序放置,所述激光器、扩束镜、半反半透镜呈另一方向顺序放置,所述火焰区域设于光屏与凸透镜之间;激光器发射激光,激光通过扩束镜照射至半反半透镜,光束经半反半透镜反射至凸透镜并进入火焰区域,呈现图像至光屏上,摄像装置采集光屏上的图像并与图像处理装置进行数据传输,图像处理装置实现瞬态火焰温度场的可视化测量。其中,凸透镜和光屏之间为火焰区域,即温度场测试区域。激光器、摄像装置和图像处理装置均含电源模块以提供电力供应。激光器、扩束镜、半反半透镜的摆放方向靠近凸透镜一侧,与光屏、凸透镜、半反半透镜、摄像装置所在直线夹角不大于90度。

[0007] 进一步地,所述半反半透镜设有角度调节支架、所述扩束镜设有位置微调支架。角度调节支架用于调整半反半透镜的反射角度,将光束反射进入凸透镜。位置微调支架则用于小范围调整扩束镜的位置,使扩束镜顺利将激光扩散成锥形光束,

[0008] 进一步地,所述图像处理装置为设有纹影技术图像处理系统的PC端,所述纹影技术图像处理系统包括纹影视频采集、视频的分帧操作与图像选取、图像滤波、粒子偏移量求取、折射率梯度计算、各区域对应的温度计算、温度场三维重构。图像处理装置根据摄像装置快速成像采集到的图像信号,结合S-EYE和PIV技术获取图像上粒子的偏移量以量化偏折角,再通过反投影重建原理对不均匀温度场进行三维重构,实现瞬态火焰温度场的可视化测量。

[0009] 进一步地,所述摄像装置与图像处理装置的连接方式为电连接或通讯连接。

[0010] 进一步地,所述摄像装置为高速CCD摄像头,实现快速成像。

[0011] 进一步地,所述激光器为半导体激光器。

[0012] 一种基于投影式背景纹影技术的火焰温度场测量方法,结合火焰温度场测量装置,包括但不限于以下步骤:

[0013] S1开启激光器,激光进入扩束镜;另外,在测量开始前需将该火焰温度场测量装置安装完成并启动,然后放置火焰产生装置以提供火焰区域。或者,将火焰温度场测量装置安装在火焰区域相关位置。

[0014] S2调节扩束镜的角度,将激光扩散为锥形光束,进入半反半透镜;

[0015] S3调节半反半透镜的角度,将光束反射至凸透镜,进入火焰区域,并投影在光屏上;

[0016] S4摄像装置对光屏上的纹影图像进行拍摄采集,并录制视频,将采集到的火焰纹影图像信号传输至图像处理装置;

[0017] S5图像处理装置对火焰纹影图像信号进行处理,主要包括:纹影视频采集、视频的分帧操作与图像选取、图像滤波、粒子偏移量求取、折射率梯度计算、各区域对应的温度计算、温度场三维重构等,最终实现瞬态火焰温度场的可视化测量。

[0018] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:本发明提供了一种基于投影式背景纹影技术的火焰温度场测量装置及方法,采用投影式背景纹影技术,基于空气折射率梯度测量的原理,以半导体激光器作为光源,激光经扩束镜整形为锥形光束,再经分束镜分为两束光,其中反射光束照射到凸透镜后进入测试区域,光线由于流场的折射率变化受到扰动,纹影图像在投影光屏上可直接呈现,实现背景纹影的投影式可视化。然后采用高速CCD快速成像,在PC端结合S-EYE和PIV技术获取图像上粒子的偏移量以量化偏折角,再通过反投影重建原理对不均匀温度场进行三维重构,获取整个火焰区域的温度变化趋势,实现瞬态火焰温度场的可视化测量。

[0019] 本发明可以测量毫秒量级时间尺度上瞬态燃烧过程,克服了仅能得到火焰表象特征而无法探知瞬态火焰内部温度这一关键参数的传统测量技术的缺陷。同时,该基于投影式背景纹影技术的火焰温度场测量装置装置搭建简易,可靠性高,测量信息丰富、速度快、准确度高,非常适用于学术研究和工业应用。

附图说明

[0020] 图1是本发明的整体结构示意图。

[0021] 图2是光线经测试流场发生的偏移量示图。

[0022] 图3是折射率分布函数和投影(偏折角)图。

[0023] 图4是纹影技术图像处理系统的计算流程图。

[0024] 图5是各流程结果图像。

[0025] 图6是相关性分析运算过程。

[0026] 其中,1激光器,2扩束镜,3半反半透镜,4摄像装置,5凸透镜,6光屏,7图像处理装置,8火焰区域。

具体实施方式

[0027] 附图仅用于示例性说明,不能理解为对本专利的限制;为了更好说明本实施例,附图某些部件会有省略、放大或缩小,并不代表实际产品的尺寸;对于本领域技术人员来说,附图中某些公知结构及其说明可能省略是可以理解的。附图中描述位置关系仅用于示例性说明,不能理解为对本专利的限制。

[0028] 实施例1

[0029] 如图1所示,本实施例提供了一种基于投影式背景纹影技术的火焰温度场测量装置,包括激光器1、扩束镜2、半反半透镜3、凸透镜5、光屏6、摄像装置4和图像处理装置7,光屏6、凸透镜5、半反半透镜3、摄像装置4依次顺序放置,摄像装置4为高速CCD摄像头,且与图像处理装置7电连接;激光器1、扩束镜2、半反半透镜3呈另一方向顺序放置,半反半透镜3、扩束镜2设有用于调节角度的调节支架。火焰区域8设于光屏6与凸透镜5之间。本实施例的激光器1为半导体激光器,具体为波长为635nm,功率为1mw的激光笔。

[0030] 具体地,图像处理装置7为设有纹影技术图像处理系统的PC端,纹影技术图像处理系统包括纹影视频采集、视频的分帧操作与图像选取、图像滤波、粒子偏移量求取、折射率梯度计算、各区域对应的温度计算、温度场三维重构。图像处理装置7根据摄像装置4快速成像采集到的图像信号,结合S-EYE和PIV技术获取图像上粒子的偏移量以量化偏折角,再通过反投影重建原理对不均匀温度场进行三维重构,实现瞬态火焰温度场的可视化测量。

[0031] 本实施例还提供了一种基于投影式背景纹影技术的火焰温度场测量方法,采用蜡烛火焰为火焰区域8,结合火焰温度场测量装置,包括但不限于以下步骤:在测量开始前,需将该火焰温度场测量装置安装在火焰区域8的相关位置,以进行测量。

[0032] S1开启激光器1,激光进入扩束镜2;

[0033] S2调节扩束镜2的角度,将激光扩散为锥形光束,进入半反半透镜3;

[0034] S3调节半反半透镜3的角度,将光束反射至凸透镜5,进入火焰区域8,并投影在光屏6上;

[0035] S4摄像装置4对光屏6上的纹影图像进行拍摄采集,并录制视频,将采集到的火焰纹影图像信号传输至图像处理装置7;

[0036] S5图像处理装置7对火焰纹影图像信号进行处理,主要包括:纹影视频采集、视频的分帧操作与图像选取、图像滤波、粒子偏移量求取、折射率梯度计算、各区域对应的温度计算、温度场三维重构等,最终实现瞬态火焰温度场的可视化测量。

[0037] 本方法以半导体激光器1作为光源,发射的激光经扩束镜2作用后扩散为锥形光束,再经半反半透镜3后分为两束光,其中反射光束照射到凸透镜5后进入火焰测试区域,光线由于流场的折射率变化受到扰动,纹影图像在光屏6上可直接呈现,实现背景纹影的投影式可视化。然后,再利用投影在光屏6上的光返回测试场后,经分束镜作用后的透射光进入

到CCD摄像头进行画面捕捉,分析流场的信息,从而实现火焰温度场的测量。

[0038] 由于背景纹影技术是通过光线的偏折量来反映测试流场的密度变化情况,因此通过PIV技术求取背景斑点偏移量来量化偏折角。如图2所示,由于密度不均匀流场的干扰,光线发生偏折(偏折角为 θ)。通过PIV技术对光线经过测试场和未经测试场的两幅图像求取粒子的偏移量, ΔH 和 $\Delta H'$ 分别表示某背景斑点经测试流场后在CCD上的像素偏移量和实际背景斑点的偏移量,通过背景斑点的偏移量对偏折角进行量化。

[0039] z 轴为光线的传播方向,偏折角极小时沿 x 轴方向上的偏折角为

$$[0040] \quad \theta_x = \frac{\Delta H'_x}{L}$$

[0041] 其中: L 是测试流场到背景板的距离。

[0042] 同理,可得沿 y 轴方向上的偏折角。那么,光线在 (x,y) 平面上发生偏折,则

$$[0043] \quad \frac{\partial^2 x}{\partial z^2} = \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial x}$$

$$[0044] \quad \frac{\partial^2 y}{\partial z^2} = \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial y}$$

[0045] 对上式积分,可得到光线在 x 轴和 y 轴分量上的偏折角为

$$[0046] \quad \theta_x = \int \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial x} dz$$

$$[0047] \quad \theta_y = \int \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial y} dz$$

[0048] 上两式表明,某一方向的偏折角是折射率在这一方向的梯度沿光程的积分,光线总是朝着折射率较大的区域弯曲,这也意味着,光线朝着较大密度的方向偏转。

[0049] 假设在给定的 (x,y) 位置上的 $\frac{\partial n}{\partial x}$ 和 $\frac{\partial n}{\partial y}$ 在 z 方向的 L 长度上为恒定值,公式可转化为

$$[0050] \quad \theta_x = \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial x} L$$

$$[0051] \quad \theta_y = \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial y} L$$

[0052] 如图3所示,根据滤波反投影重建算法(Radon反变换算法),折射率分布函数和投影,结合折射定律可知光线偏折角 ε 为

$$[0053] \quad \varepsilon(s, \theta) = \int \frac{\delta n}{\delta s} dl$$

[0054] 设定用 $f(x,y)$ 来表示 $\frac{\delta n}{\delta s}$,且当偏折角极小的时候,近似地认为沿光程就是沿 t 方向,在测量流场为气体的时候(气体的折射率总是接近于1),Radon变换式为:

$$[0055] \quad \varepsilon(s, \theta) = \int f(x, y) dt$$

$$[0056] \quad \begin{bmatrix} s \\ t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

[0057] 为了简化计算,设定

$$[0058] \quad u = x \cos \theta + y \sin \theta$$

[0059] 结合 $\theta_x = \frac{\Delta H_x}{L}$ 求取光线的偏折角后,通过逆变换,可得折射率沿s方向的分布情况,

$$[0060] \quad f(x, y) = \frac{1}{2\pi^2} \int_0^\pi \int_{-\infty}^\infty \frac{1}{u-s} \frac{\partial \varepsilon(s, \theta)}{\partial s} ds d\theta$$

[0061] 将求取的f(x,y)沿s方向积分即可得折射率的分布,并通过折射率梯度,得到折射率变化。

[0062] 对于空气或其他气体,由格拉斯通-戴尔(Gladstone-Dale)公式:

$$[0063] \quad n-1 = \kappa_{GD} \rho$$

[0064] 可得该区域气体折射率对应的气体密度,式中常数 κ_{GD} 是气体的一种属性,称为比折射度。

[0065] 空气折射率对温度的非线性曲线拟合方程可写成

$$[0066] \quad n(t) = \frac{1 + (n_0 - 1)}{1 + aT}$$

[0067] 其中: n_0 是 $T_0 = 0^\circ\text{C}$ 时的折射率,拟合因子 $a = 0.00368^\circ\text{C}^{-1}$,a的精度达到 $10^{-5}^\circ\text{C}^{-1}$ 。由上式可得火焰温度场的各区域的温度T(单位为 $^\circ\text{C}$),进而通过图像处理实现火焰温度场变化的可视化。

[0068] 整体图像处理程序算法流程如图4所示,结合附图对本发明较佳实例进行详细的测试分析,具体包括以下步骤:

[0069] 步骤1:通过采取粒子追踪法求取偏移量,粒子在空气流场中偏离的速度飞快,故装置采取的是高速CCD拍摄,捕捉粒子的去向。

[0070] 步骤2:同时本装置采用S-EYE视频采集软件通过拍摄视频的方法来追踪粒子的去向,再通过视频的分帧操作选取相邻两张图片,获得瞬态温度场纹影信息。

[0071] 步骤3:为了提高计算速度,节约时间,通过截图选取适当大小的迭代窗口尺寸进行处理分析。

[0072] 步骤4:为了提高纹影图质量,减少噪音的干扰和增强图像中目标与相邻区域的对比度,本实施例采取Hamming滤波器对图像进行平滑处理,提高粒子定位的精度。

[0073] 步骤5:PIV技术中所获得的粒子图像信号是二维的,从粒子图像中获取速度信息研究的是两个图像信号的相似程度,因此通过对图像的相关性分析,求取偏移量,从而得到瞬态流场空气的流动情况。

[0074] 详细说明如下:

[0075] 图像的相关性分析过程如下,如图6所示,在大小为 $M \times N$ 的主图像 $I_1(x, y)$ 中, $I_1(x, y)$ 为坐标 (x, y) 对应的图像灰度值,通过逐点地移动的方式建立大小为 $J \times K$ 的迭代窗口 $\omega(x, y)$,使迭代窗口 $\omega(x, y)$ 依次在目标图像2的 $I_2(x, y)$ 中寻找相关程度最大的大小相同的迭代窗口, $I_2(x, y)$ 为坐标 (x, y) 对应的图像2灰度值。通常情况下PIV技术中两次曝光的粒子图像的亮度不均匀,同时在计算机程序设计中考虑计算时间问题,所以做匹配尺度使用如下被规格化了的相互关系

$$[0076] \quad r(x, y) = \frac{\sum_{s=0}^K \sum_{t=0}^J \omega(s, t) I_2(x+s, y+t)}{\sqrt{\sum_{s=0}^K \sum_{t=0}^J \omega^2(x, t) \sum_{s=0}^K \sum_{t=0}^J I_2^2(x+s, y+t)}}$$

[0077] 当迭代窗口 $\omega(x, y)$ 与在图像2中寻找到的迭代窗口最相似时, $r(x, y)$ 为最小值, 此时的粒子的偏移最小。图A与图B是扰动后不同时间点获取的两张图片, 以x轴为例, 由互相关算法可求取背景斑点在x轴上的偏移量。从图片可以看出, 经过相关性分析后, 可以看出两个不同的时间点下流场空气的流动情况, 如图5所示。

[0078] 步骤6: 而测试流场斑点实际偏移量 $\Delta H_x'$ 为相机分辨率与图像斑点偏移量 ΔH_x 之积, 根据所用高速CCD的分辨率, 得到测试流场中斑点实际的偏移量 ΔH_x , 再通过粒子偏移量来量化光线偏折角, 接着采用逆Radon变化求取折射率梯度, 从而可求出各区域对应的温度。

[0079] 步骤7: 为了更直观地显示温度变化场, 在火焰温度场的二维变化图的基础上, 采用反投影重建技术对不均匀流场进行温度场的三维重构, 直观地反映出火焰温度场的三维重构图。同样, 测试区的折射率、密度等物理量的大小也可以通过建立三维重构图来直观反映, 如图5所示。

[0080] 显然, 本发明的上述实施例仅仅是为清楚地说明本发明所作的举例, 而并非是对本发明的实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说, 在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式的变化或变动。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等, 均应包含在本发明权利要求的保护范围之内。

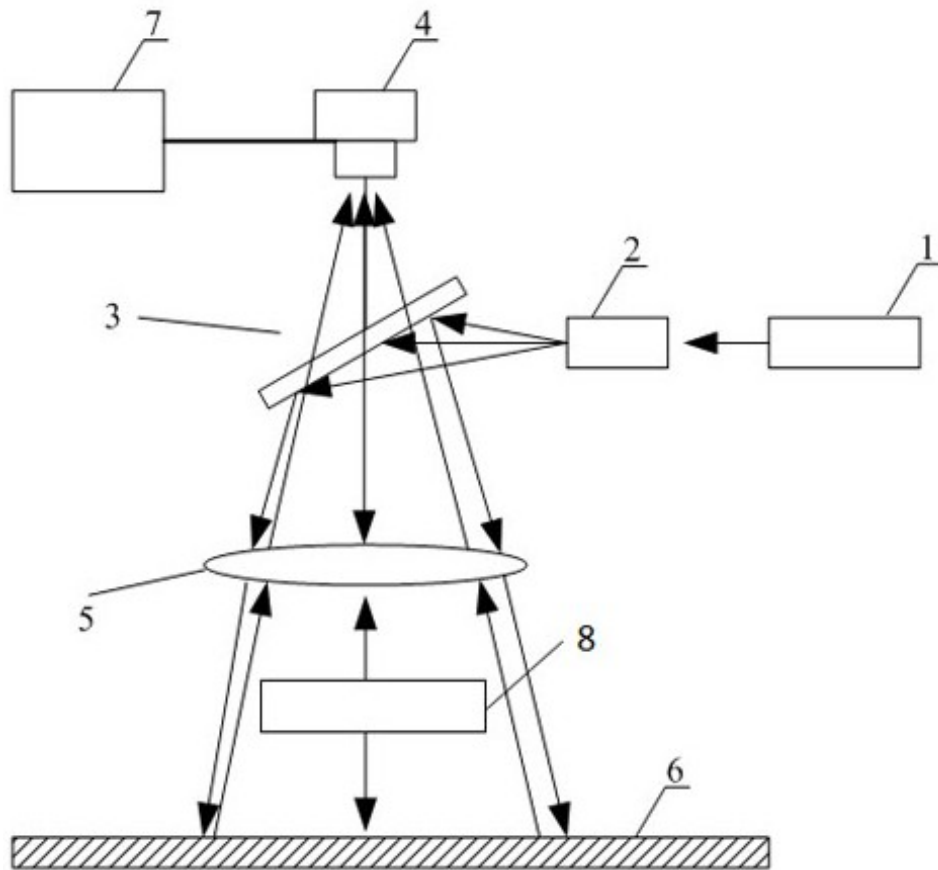


图1

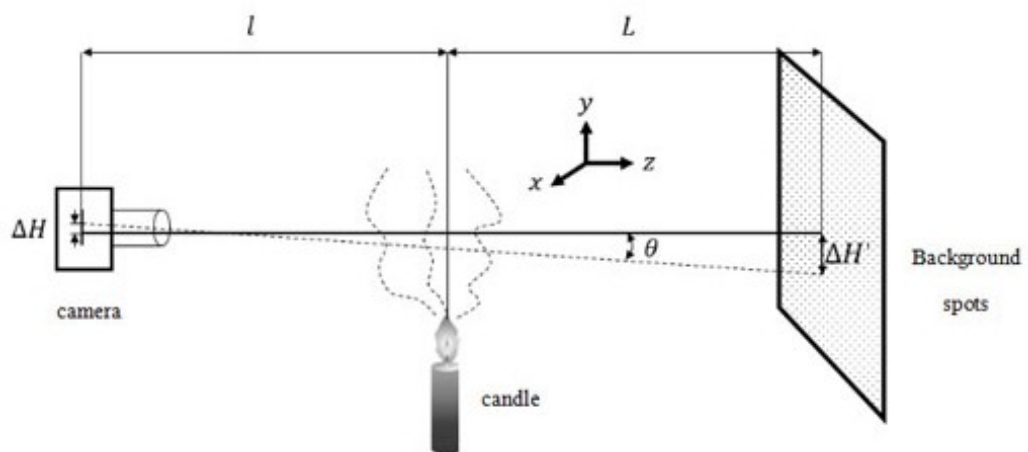


图2

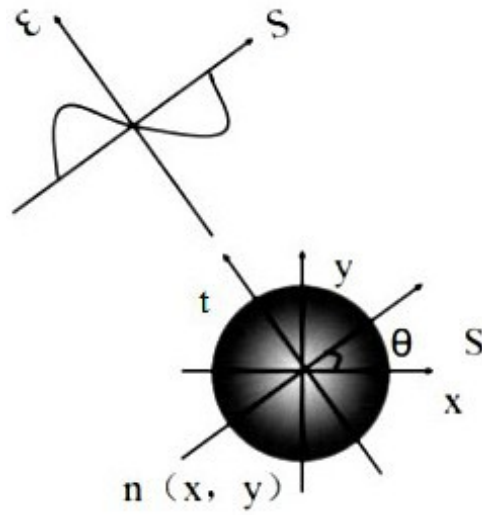


图3

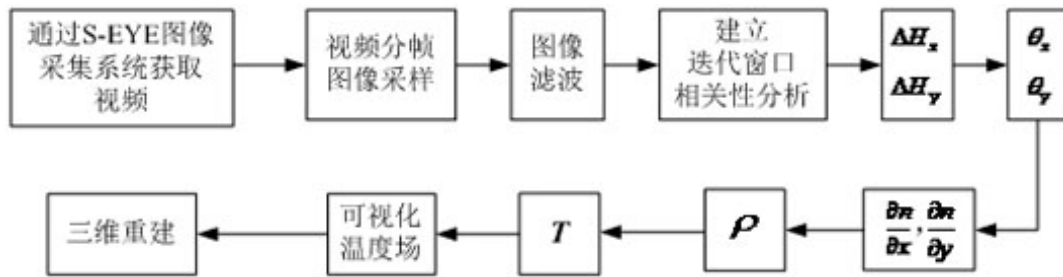


图4

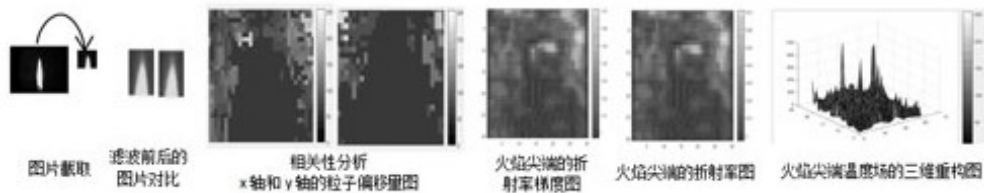


图5

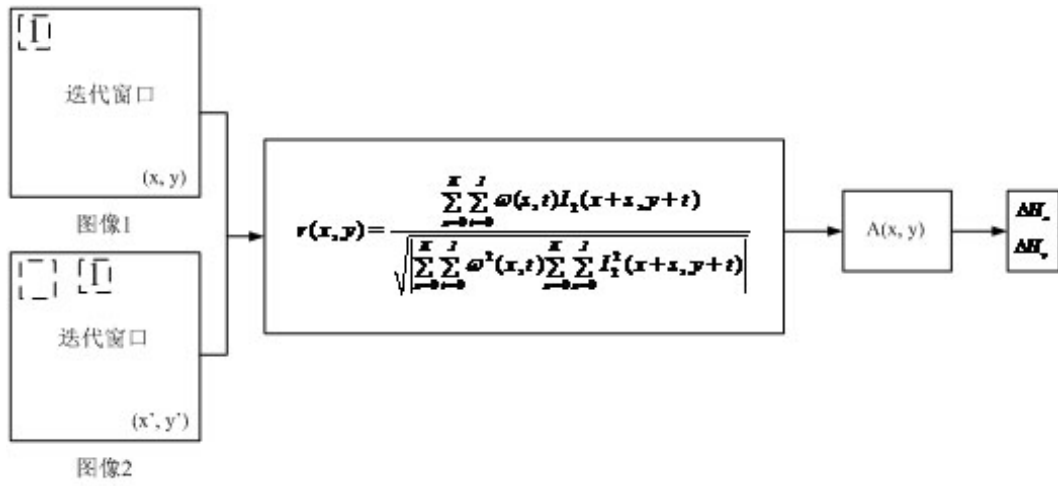


图6