



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111175049 A

(43)申请公布日 2020.05.19

(21)申请号 202010066980.0

(22)申请日 2020.01.20

(71)申请人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72)发明人 李飞 林鑫 余西龙

(74)专利代理机构 北京和信华成知识产权代理
事务所(普通合伙) 11390

代理人 胡剑辉

(51) Int. Cl.

G01M 15/02(2006.01)

G01M 15/14(2006.01)

G01D 21/02(2006.01)

F02K 9/96(2006.01)

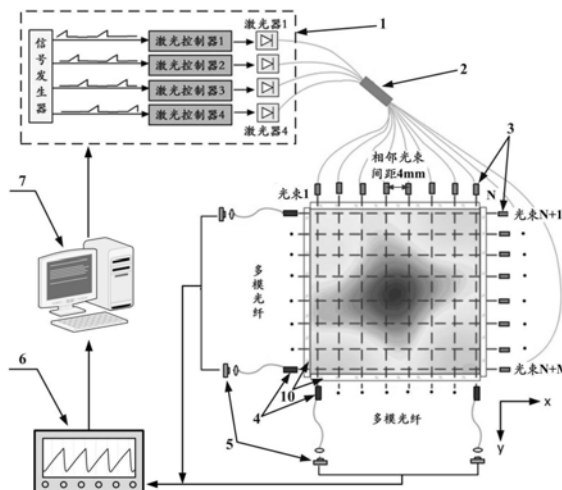
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54)发明名称

一种发动机燃烧室多维温度及浓度场的诊断系统与方法

(57)摘要

本发明实施例涉及一种发动机燃烧室多维温度及浓度场的诊断系统与方法,包括:光源模块,采集模块以及处理模块,其中,所述光源模块与所述采集模块相对设置于发动机燃烧室的周围;所述光源模块用于向所述发动机燃烧室内发射多组激光光束,通过所述激光光束在所述发动机燃烧室形成网格平面,通过所述采集模块将采集到的激光光束转换为电压信号,并将所述电压信号发送至所述处理模块,所述处理模块用于分析所述电压信号确定所述网格平面的二维温度及浓度场。由此,可以实现实现高时、空分辨率的动态二维温度场和浓度场测量的同时,结合位移模块,可获得发动机燃烧室三维温度和浓度场的测量结果。



1. 一种发动机燃烧室多维温度及浓度场的诊断系统,其特征在于,包括:光源模块,采集模块以及处理模块,其中,所述光源模块与所述采集模块相对设置于发动机燃烧室的同一水平面;

所述光源模块用于向所述发动机燃烧室内发射多组激光光束,通过所述激光光束在所述发动机燃烧室形成网格平面,并通过所述采集模块将采集到的激光光束转换为电压信号,将所述电压信号发送至所述处理模块,所述处理模块用于分析所述电压信号确定所述网格平面的二维温度及浓度场。

2. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述光源模块包括:多光谱光源、光纤分束器以及自聚焦准直透镜;

所述多光谱光源通过所述光纤分束器将光路耦合分为多个光束,并将耦合后的光束传输至相同数量的自聚焦准直透镜,所述自聚焦准直透镜等间距设置于所述发动机燃烧室的第一侧面与第二侧面,其中所述第一侧面与所述第二侧面垂直。

3. 根据权利要求2所述的系统,其特征在于,所述采集模块包括:自聚焦耦合透镜以及光电探测器;

所述自聚焦耦合透镜与所述自聚焦准直透镜对应设置,且所述自聚焦耦合透镜与所述光电探测器连接,用于将采集到的激光光束发送至所述光电探测器转换为电压信号。

4. 根据权利要求3所述的系统,其特征在于,所述处理模块包括:高速数据采集仪以及控制及数据处理器;

所述高速数据采集仪用于记录所述电压信号,并将所述电压信号发送至所述控制及数据处理器进行分析,确定发动机燃烧室的二维温度及浓度场;

所述控制及数据处理模块还用于控制所述光源模块。

5. 根据权利要求3所述的系统,其特征在于,所述系统还包括:用于搭载所述自聚焦准直透镜以及所述自聚焦耦合透镜的位移模块,通过所述位移模块控制所述自聚焦准直透镜以及所述自聚焦耦合透镜在竖直方向移动,用于测量发动机燃烧室的三维温度及浓度场。

6. 一种发动机燃烧室多维温度及浓度场的诊断方法,采用权利要求1-6任一所述的一种发动机燃烧室多维温度及浓度场的诊断系统,其特征在于,所述方法包括:

采用光源模块向发动机燃烧室发射激光光束,所述激光光束在所述发动机燃烧室形成网格平面;

基于所述网格平面采用采集模块采集所述激光光束,并将所述激光光束转化为第一电压信号;

采用处理模块对所述第一电压信号进行分析,确定所述网格平面的二维温度及浓度场。

7. 根据权利要求6所述的方法,其特征在于,所述采用处理模块对所述第一电压信号进行分析,确定所述网格平面的二维温度及浓度场,包括:

根据所述电压信号获得多光谱吸收数据;

通过所述多光谱吸收数据确定每束激光光束的吸收率分布;

根据所述吸收率分布建立二维温度以及浓度场的目标优化函数;

对所述目标优化函数进行反演,得到所述发动机燃烧室的二维温度及浓度场。

8. 根据权利要求7所述的方法,其特征在于,所述根据所述吸收率分布建立二维温度以

及浓度场的目标优化函数,包括:

获取预设温度矩阵以及吸收组分浓度矩阵;

根据所述温度矩阵以及所述吸收组分矩阵得到预设吸收率分布;

计算所述吸收率分布与预设吸收率分布的差值,并根据所述差值建立所述目标优化函数。

9. 根据权利要求7所述的方法,其特征在于,所述对所述目标优化函数进行反演,得到所述网格平面的二维温度及浓度场,包括:

获取温度平滑度以及吸收组分分压平滑度;

根据所述温度平滑度以及吸收组分分压平滑度对所述目标优化函数进行反演,当所述所述吸收率分布与预设吸收率分布的差值达到预设条件时,得到所述网格平面的二维温度及浓度场。

10. 根据权利要求6所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:

采用位移模块控制光源模块以及采集模块进行竖直方向移动;

采用所述采集模块采集多个网格平面的激光光束,并将所述多个网格平面的激光光束转化为第二电压信号;

采用处理模块对所述第二电压信号进行分析,确定所述发动机燃烧室的三维温度及浓度场。

一种发动机燃烧室多维温度及浓度场的诊断系统及方法

技术领域

[0001] 本发明实施例涉及发动机燃烧室温度及浓度场测量领域,尤其涉及一种发动机燃烧室多维温度及浓度场的诊断系统及方法。

背景技术

[0002] 精确诊断发动机燃烧室火焰温度及浓度二维动态分布对于发动机燃烧机理、热声振荡、形态转变等研究具有重要意义。由于发动机燃烧室内复杂的流场环境,精确诊断发动机燃烧室火焰二维动态温度及浓度场极为困难,例如对于航空发动机而言,其燃烧室内部存在旋流、回流的流场结构,特别是燃烧状态下旋流火焰为高温湍流燃烧;对于超燃发动机而言,其燃烧室内部存在大的密度及温度梯度,此外还有激波的干扰。目前常规的接触式测量手段例如热电偶、总温探针、热流传感器等诊断方法已不能满足对于上述领域的研究需求,需要发展可靠有效的非接触式测量技术。

[0003] 目前已有主要的非侵入式测量方法有超声层析成像、电学层析成像、平面激光诱导荧光、可调谐二极管激光吸收光谱等。超声层析成像和电学层析成像主要应用于不可压缩一致的固体或者液体温度场测试,超声层析成像通过测量超声波的传播速度,根据其与其温度的相互关系结合层析成像计算温度分布,电学层析成像通过测量目标区域的介电常数分布,通过预先标定介电常数与温度的系数,得到测量目标区域的温度值,而对于发动机燃烧场而言,存在剧烈化学反应,且流场结构持续变化,上述两种测量手段在该领域并无突破进展。平面激光诱导荧光利用特定分子受激发出的荧光探测温度场,主要用于稳态火焰的测量,对于压力、温度剧烈变化的发动机燃烧场,多用于定性分析,获得精确定量结果极为困难,此外其测量区域范围严重受制于激光器能量限制。

[0004] 可调谐二极管激光吸收光谱(Tunable diode laser absorption spectroscopy, TDLAS)具备对燃烧场多参数(温度、组分浓度)实时定量诊断能力和对流场无干扰的优点,是当前国际上燃烧诊断领域的发展热点。TDLAS技术是沿光程的积分测量,即获得的是沿光程的平均值,这不能反应实际的具有较大温度梯度及浓度梯度的流场状态,而气流参数的二维截面分布特征对于研究发动机燃烧组织和放热分布才更有意义。TDLAS结合计算层析(Computed Tomography)是提高TDLAS空间分辨能力,实现二维断面测量的主要技术途径(普遍称之为TDLAT,Tunable Diode Laser Absorption Tomography)。根据层析成像术的具体实现方法,TDLAT又可分为:优化非正交光路+双波长/单波长;旋转扇束/平行束+双波长;正交光路+多光谱光源。优化非正交光路+双波长/单波长需要多个投射角度的测量光路,而对真实发动机测试环境而言,存在光路架设空间不足,壁面窗口奇缺的障碍,多个投影角度大大增加了测量系统的复杂性,目前尚无该方案应用于真实发动机燃烧室温度场及浓度场的测量结果,多用于实验室开放环境。旋转扇束/平行束+双波长,旋转扇束/平行束一般通过旋转实验台或者旋转光源来实现,增加了设备的复杂度,同时时间分辨率与旋转频率有关,难以实现千赫兹以上的高时间分辨要求。正交光路+多光谱光源技术实验系统相对简单,特别是正交式光路布置使得TDLAT仅需相互垂直的两个投射角度,更少的投影角度

意味着更容易应用于实际测量环境和更高的测量速度。非常具有代表性的工作是2013年 Lin Ma发表的“50-kHz-rate 2D imaging of temperature and H₂O concentration at the exhaust plane of a J85 engine using hyperspectral tomography, Optics Express, 21 (1), 1152-1162”,他采用15×15的正交式光路布置实现J85航空发动机出口二维动态温度场及水蒸气浓度场的定量测量,但该方案存在问题有:1)多光谱光源采用傅里叶锁模光纤激光器,虽然能够实现50kHz的频率下扫过约30nm波长范围,但该型激光器价格昂贵且技术不成熟,例如其激光的波长稳定性和线性度较DFB激光器较差;2)由于光源的高频和扫描范围限制,该TDLAT系统可选谱线的低能级能量分布不够宽泛,再耦合探测器响应、采样频率等硬件参数的匹配问题,导致吸收数据的原始信噪比要弱于基于DFB激光器的TDLAT技术;3)受制于早先光学器件的发展水平, Lin Ma的正交式光学结构其相邻激光光束的间隙为38.3mm,而对于较小尺寸的发动机来说,空间分辨能力难以满足需求。

发明内容

[0005] 本发明实施例提供了一种发动机燃烧室多维温度及浓度场的诊断系统及方法,可以实现高时、空分辨率的动态二维温度场和浓度场测量的同时,结合位移模块,可获得发动机燃烧室三维温度和浓度场的测量结果。

[0006] 第一方面,本申请实施例提供了一种发动机燃烧室多维温度及浓度场的诊断系统,包括:光源模块,采集模块以及处理模块,其中,所述光源模块与所述采集模块相对设置于发动机燃烧室的同一水平面;

[0007] 所述光源模块用于向所述发动机燃烧室内发射多组激光光束,通过所述激光光束在所述发动机燃烧室形成网格平面,并通过所述采集模块将采集到的激光光束转换为电压信号,将所述电压信号发送至所述处理模块,所述处理模块用于分析所述电压信号确定所述网格平面的二维温度及浓度场。

[0008] 在一个可能的实施方式中,所述光源模块包括:多光谱光源、光纤分束器以及自聚焦准直透镜;

[0009] 所述多光谱光源通过所述光纤分束器将光路耦合分为多个光束,并将耦合后的光束传输至相同数量的自聚焦准直透镜,所述自聚焦准直透镜等间距设置于所述发动机燃烧室的第一侧面与第二侧面,其中所述第一侧面与所述第二侧面垂直。

[0010] 在一个可能的实施方式中,所述采集模块包括:自聚焦耦合透镜以及光电探测器;

[0011] 所述自聚焦耦合透镜与所述自聚焦准直透镜对应设置,且所述自聚焦耦合透镜与所述光电探测器连接,用于将采集到的激光光束发送至所述光电探测器转换为电压信号。

[0012] 在一个可能的实施方式中,所述处理模块包括:高速数据采集仪以及控制及数据处理器;

[0013] 所述高速数据采集仪用于记录所述电压信号,并将所述电压信号发送至所述控制及数据处理器进行分析,确定发动机燃烧室的二维温度及浓度场;

[0014] 所述控制及数据处理模块还用于控制所述光源模块。

[0015] 在一个可能的实施方式中,所述系统还包括:用于搭载所述自聚焦准直透镜以及所述自聚焦耦合透镜的位移模块,通过所述位移模块控制所述自聚焦准直透镜以及所述自聚焦耦合透镜在竖直方向移动,用于测量发动机燃烧室的三维温度及浓度场。

[0016] 第二方面,本申请实施例提供了一种发动机燃烧室多维温度及浓度场的诊断方法,采用上述的一种发动机燃烧室多维温度及浓度场的诊断系统,其特征在于,所述方法包括:

[0017] 采用光源模块向发动机燃烧室发射激光光束,所述激光光束在所述发动机燃烧室形成网格平面;

[0018] 基于所述网格平面采用采集模块采集所述激光光束,并将所述激光光束转化为第一电压信号;

[0019] 采用处理模块对所述第一电压信号进行分析,确定所述网格平面的二维温度及浓度场。

[0020] 在一个可能的实施方式中,所述采用处理模块对所述第一电压信号进行分析,确定所述网格平面的二维温度及浓度场,包括:

[0021] 根据所述电压信号获得多光谱吸收数据;

[0022] 通过所述多光谱吸收数据确定每束激光光束的吸收率分布;

[0023] 根据所述吸收率分布建立二维温度以及浓度场的目标优化函数;

[0024] 对所述目标优化函数进行反演,得到所述发动机燃烧室的二维温度及浓度场。

[0025] 在一个可能的实施方式中,所述根据所述吸收率分布建立二维温度以及浓度场的目标优化函数,包括:

[0026] 获取预设温度矩阵以及吸收组分浓度矩阵;

[0027] 根据所述温度矩阵以及所述吸收组分矩阵得到预设吸收率分布;

[0028] 计算所述吸收率分布与预设吸收率分布的差值,并根据所述差值建立所述目标优化函数。

[0029] 在一个可能的实施方式中,所述对所述目标优化函数进行反演,得到所述网格平面的二维温度及浓度场,包括:

[0030] 获取温度平滑度以及吸收组分分压平滑度;

[0031] 根据所述温度平滑度以及吸收组分分压平滑度对所述目标优化函数进行反演,当所述所述吸收率分布与预设吸收率分布的差值达到预设条件时,得到所述网格平面的二维温度及浓度场。

[0032] 在一个可能的实施方式中,所述方法还包括:

[0033] 采用位移模块控制光源模块以及采集模块进行竖直方向移动;

[0034] 采用所述采集模块采集多个网格平面的激光光束,并将所述多个网格平面的激光光束转化为第二电压信号;

[0035] 采用处理模块对所述第二电压信号进行分析,确定所述发动机燃烧室的三维温度及浓度场。

[0036] 本发明实施例提供了一种发动机燃烧室多维温度及浓度场的诊断系统及方法,采用多光谱光源层析成像技术方案,单条光路上布置有 n ($n \geq 4$) 条吸收谱线,能够实现正交式这种最少投射角度的光路布置,在真实发动机燃烧室测量现场更易实现,即更具实用性。

[0037] 本发明基于 n ($n \geq 4$) 台DFB激光器分时耦合制备的多光谱光源较傅里叶锁模光纤激光器价格更为低廉;吸收谱线的低能级能量分布足够宽泛并且可根据实际需求灵活调整(低能级能量分布决定了测温灵敏度),更换相应激光器即可;稳定性和线性度更为优异,配

套的探测器、采集和数据处理模块更加成熟,从而提升了原始信噪比;

[0038] 本发明的正交光路发射和接收端分别采用自聚焦准直透镜和自聚焦耦合透镜,这两种透镜均为圆柱形结构,直径不大于2.5mm,从而在保证测量光路准直度、耦合效率的同时,实现了针对发动机燃烧室光学结构的微型化,有效减小了相邻光束间距至4mm,大幅提升空间分辨率(本系统空间分辨率为目前国际燃烧诊断领域正交式激光吸收光谱最高水平)。

[0039] 本发明设计的自聚焦耦合透镜具备端面耦合特性,即透射激光在多模光纤端面汇聚成像,可有效提高激光与多模光纤的耦合效率,透过率在380-2000nm波长范围达到90%以上,有效通光直径为透镜直径的70%,在保证通光效率的同时起到光阑的作用,即具备过滤杂散光以及燃烧火焰发光影响的功能,有效提升测量原始信号信噪比。

附图说明

[0040] 此处的附图被并入说明书中并构成本说明书的一部分,示出了符合本发明的实施例,并与说明书一起用于解释本发明的原理。

[0041] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,对于本领域普通技术人员而言,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0042] 图1为本申请实施例提供的一种发动机燃烧室多维温度及浓度场的诊断系统的示意图;

[0043] 图2为本申请实施例提供的一种发动机燃烧室多维温度及浓度场的诊断系统的立体示意图;

[0044] 图3为本申请实施例提供的21×21正交光路激光组网照片(相邻激光间隔4mm)

[0045] 图4为本申请实施例提供的一种发动机燃烧室多维温度及浓度场的诊断方法的流程图;

[0046] 图5为本申请实施例提供燃烧室8mm,14mm,20mm,26mm,32mm,38mm六个截面温度场的重建结果;

[0047] 图6为本申请实施例提供的燃烧室三维温度场的重建结果;

[0048] 图7为本申请实施例提供的燃烧室三维吸收组分浓度的重建结果。

具体实施方式

[0049] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例只是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动成果前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明的保护范围。

[0050] 需要说明,若本发明实施例中有涉及方向性指示(诸如上、下、左、右、前、后等),则该方向性指示仅用于解释在某一特定姿态下各部件之间的相对位置关系,运动情况等,如果该特定姿态发生改变时,则该方向性指示也相应地随之改变。

[0051] 本申请实施例提供了一种发动机燃烧室多维温度及浓度场的诊断系统,包括:光

源模块,采集模块以及处理模块,其中,光源模块与采集模块相对设置于发动机燃烧室的同一水平面;光源模块用于向发动机燃烧室内发射多组激光光束,通过激光光束在发动机燃烧室形成网格平面(参考图3),并通过采集模块将采集到的激光光束转换为电压信号,将电压信号发送至处理模块,处理模块用于分析电压信号确定网格平面的二维温度及浓度场。

[0052] 如图1所示,本实施例中的光源模块包括:多光谱光源1、光纤分束器2以及自聚焦准直透镜3;多光谱光源1通过光纤分束器2将光路进行耦合并分为多个激光光束,并将耦合后的激光光束传输至相同数量的自聚焦准直透镜3,自聚焦准直透镜3等间距设置于发动机燃烧室的第一侧面与第二侧面,其中第一侧面与第二侧面垂直。

[0053] 具体的,多光谱光源1是使用 n ($n \geq 4$) 台DFB半导体激光器分时耦合组建的,且单台激光器调制频率不低于 $2 \times n$ kHz,从而保证该多光谱光源1分时耦合后频率不低于2kHz。光纤分束器2将 n 路激光耦合分为 $N+M$ 个激光光束并按照正交式分布,分光后的每个激光光束均包括 n 路激光信号。自聚焦准直透镜3安装于每个光束头部实现输出激光的聚焦准直,其为圆柱状,直径不大于2.5mm。

[0054] 如图1所示,本实施例中的采集模块包括:自聚焦耦合透镜4以及光电探测器,自聚焦耦合透镜4与光电探测器5连接,用于将采集到的激光光束发送至光电探测器5转换为电压信号。

[0055] 自聚焦耦合透镜4具有端面耦合特性,实现入射激光在多模光纤端面的汇聚,可有效提高激光与多模光纤的耦合效率,透过率在380-2000nm波长范围达到90%以上,有效通光直径为透镜直径的70%,在保证通光效率的同时起到光阑的作用,即具备过滤杂散光以及燃烧火焰发光影响的功能。本实施例中的自聚焦准直透镜3与自聚焦耦合透镜4的镜头均与设置于发动机燃烧室9的光学窗口10对准。

[0056] 本实施例中,发动机燃烧室为使用氢气或碳氢燃料、通过燃烧释热产生动力的真实发动机部件或整机,发动机10可以是航空发动机、超燃发动机、火箭发动机等,也可为开展燃烧研究的模型燃烧器。

[0057] 本实施例中的自聚焦耦合透镜4为圆柱状,直径不大于2.5mm,与自聚焦准直透镜3配合使用,实现了光学测量结构的紧凑化,有效减小相邻激光光束间隙从而提升空间分辨率(本系统已实现相邻激光光束距离4mm,为目前国际燃烧诊断领域正交式激光吸收光谱最高水平)。

[0058] 本实施例中的光电探测器5采用铟镓砷光电探测器,适用波长范围为800-2600nm,带固定增益或可调增益。

[0059] 如图1所示,本实施例中的处理模块包括:高速数据采集仪6以及控制及数据处理器7;高速数据采集仪6用于记录电压信号,并将电压信号发送至控制及数据处理器7进行分析,确定网格平面的二维温度及浓度场;控制及数据处理器7还用于控制光源模块。

[0060] 高速数据采集仪6通道数大于 $N+M$,所有通道可同时实现最大采样率100MS/s。

[0061] 控制及数据处理模块7为计算机和分析软件的统称,分析软件可基于C、C++、Fortran、LabVIEW或PLC开发环境进行编写,一方面实现对于多光谱光源中DFB激光器的参数调制和实时控制,另一方面用于对于实验数据的分析处理。

[0062] 如图2所示,该系统还包括:用于搭载自聚焦准直透镜以及自聚焦耦合透镜的位移模块8,通过位移模块8控制自聚焦准直透镜以及自聚焦耦合透镜在竖直方向移动,用于测

量发动机燃烧室的三维温度及浓度场。位移模块8能够沿垂直方向升降的电动平台,有良好的运动精度和直线度,电动平台通过电机驱动以预设的移动速度沿垂直轨道运动,其重复定位精度小于10um,扫描速度覆盖0.5-500mm/s,可根据实验需求设定。

[0063] 本申请实施例还提供了一种发动机燃烧室多维温度及浓度场的诊断方法,采用上述的一种发动机燃烧室多维温度及浓度场的诊断系统,如图4所示,该方法包括:

[0064] 步骤S11,采用光源模块向发动机燃烧室发射激光光束,激光光束在发动机燃烧室形成网格平面。

[0065] 步骤S12,基于网格平面采用采集模块采集激光光束,并将激光光束转化为第一电压信号。

[0066] 步骤S13,采用处理模块对第一电压信号进行分析,确定网格平面的二维温度及浓度场。

[0067] 具体的,根据第一电压信号获得多光谱吸收数据,通过多光谱吸收数据确定每束激光光束的吸收率分布,根据吸收率分布建立二维温度以及浓度场的目标优化函数;对目标优化函数进行反演,得到发动机燃烧室的二维温度及浓度场。

[0068] 本实施例中,根据吸收率分布建立二维温度以及浓度场的目标优化函数,包括:获取预设温度矩阵以及吸收组分浓度矩阵,如下式:

$$[0069] \quad T_{MN} = \begin{bmatrix} T_{11} & \cdots & T_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ T_{M1} & \cdots & T_{MN} \end{bmatrix}, P_{species_MN} = \begin{bmatrix} T_{11} & \cdots & T_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ T_{M1} & \cdots & T_{MN} \end{bmatrix}$$

[0070] T_{MN} 为预设温度矩阵, $P_{species_MN}$ 为预设吸收组分浓度矩阵。

[0071] 根据温度矩阵以及吸收组分矩阵得到预设吸收率分布,计算吸收率分布与预设吸收率分布的差值,并根据差值建立目标优化函数。具体计算过程如下:

[0072] 根据吸收光谱原理,波长为 λ_i 的吸收谱线沿着某一吸收光程 l ,在非均匀流场的积分吸收率 A 表达式为:

$$[0073] \quad A = \int_{L_1}^{L_2} S(T(l), \lambda_i) \cdot P_{species}(l) \cdot dl$$

[0074] S 为在沿光程某位置 l 处(某离散网格点),温度为 T 的谱线强度;同理, $P_{species}(l)$ 为某位置 l 处(某离散网格点),温度为 T 的吸收组分分压。将测量获得所有激光光束、所有波长的 A 的集合定义为吸收率分布 $P_m(L_j, \lambda_i)$,预设吸收率分布 $P_c(L_j, \lambda_i)$ 为根据假设温度矩阵 T_{MN} 和吸收组分浓度矩阵 $P_{species_MN}$ 计算得到。将 $P_m(L_j, \lambda_i)$ 与 $P_c(L_j, \lambda_i)$ 的差值作为为理想化的目标优化函数,如下式:

$$[0075] \quad DA(T, P_{H_2O}) = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I (P_m(L_j, \lambda_i) - P_c(L_j, \lambda_i))^2$$

[0076] 本实施例中,对目标优化函数进行反演,得到网格平面的二维温度及浓度场,包括:

[0077] 获取温度平滑度以及吸收组分分压平滑度。

[0078] 具体的。在实际反演计算中,需加入平滑度作为先验条件,用于改善目标优化函数这一病态问题的求解,温度平滑度以及吸收组分分压平滑度如下:

$$[0079] \quad R_T = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \left(\frac{9}{8} T_{m,n} - \frac{1}{8} \sum_{k_1=m-1}^{m+1} \sum_{k_2=n-1}^{n+1} T_{k_1,k_2} \right)^2$$

$$[0080] \quad R_P(P_{species}) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \left(\frac{9}{8} P_{species\ m,n} - \frac{1}{8} \sum_{k_1=m-1}^{m+1} \sum_{k_2=n-1}^{n+1} P_{species\ k_1,k_2} \right)^2$$

[0081] 目标优化函数表达为:

$$[0082] \quad F(T, P_{species}) = DA(T, X) + \gamma_T R_T + \gamma_{PX} R_{P_{species}}(P_{species})$$

[0083] 式中, γ_T 为温度平滑系数, $\gamma_{P_{species}}$ 为分压平滑系数, 两者为经验值, 一般取0-1之间的实数。

[0084] 根据温度平滑度以及吸收组分分压平滑度对目标优化函数进行反演, 当吸收率分布与预设吸收率分布的差值达到预设条件时, 得到网格平面的二维温度及浓度场。

[0085] 然后不停迭代可能的温度 T_{MN} 和浓度分布 $P_{species_MN}$, 当DA该相差最小时, 认为假设温度矩阵 T_{MN} 和吸收组分浓度矩阵 $P_{species_MN}$ 为真实测量值。

[0086] 本实施例中, 方法还包括: 采用位移模块控制光源模块以及采集模块进行垂直方向移动, 采用采集模块采集多个网格平面的激光光束, 并将多个网格平面的激光光束转化为第二电压信号, 采用处理模块对第二电压信号进行分析, 确定发动机燃烧室的三维温度及浓度场。具体分析过程同上。测试结果参考图5-图7。

[0087] 本发明结合位移机构, 不仅可实现发动机燃烧室某单一截面的动态温度场和浓度场测量, 通过位移机构的移动, 实现K个二维网格平面的测量, 被测量区域被划分为 $N \times M \times K$ 个网格点, 结合三维模拟退火算法, 得到高空间分辨率的三维平均温度场和浓度场测量结果。需要说明的是, 得到的三维结果并不是通过两层平均结果的简单差值, 而是基于三维火焰假设结构的 $N \times M \times K$ 个网格点的三维离散计算, 重建算法也是三维算法, 得到三维温度场和浓度场更为真实。同时更能体现出火焰的三维特征。

[0088] 以上对发明的具体实施方式进行了详细说明, 但是作为范例, 本发明并不限制与以上描述的具体实施方式。对于本领域的技术人员而言, 任何对该发明进行的同等修改或替代也都在本发明的范畴之中, 因此, 在不脱离本发明的精神和原则范围下所作的均等变换和修改、改进等, 都应涵盖在本发明的范围内。

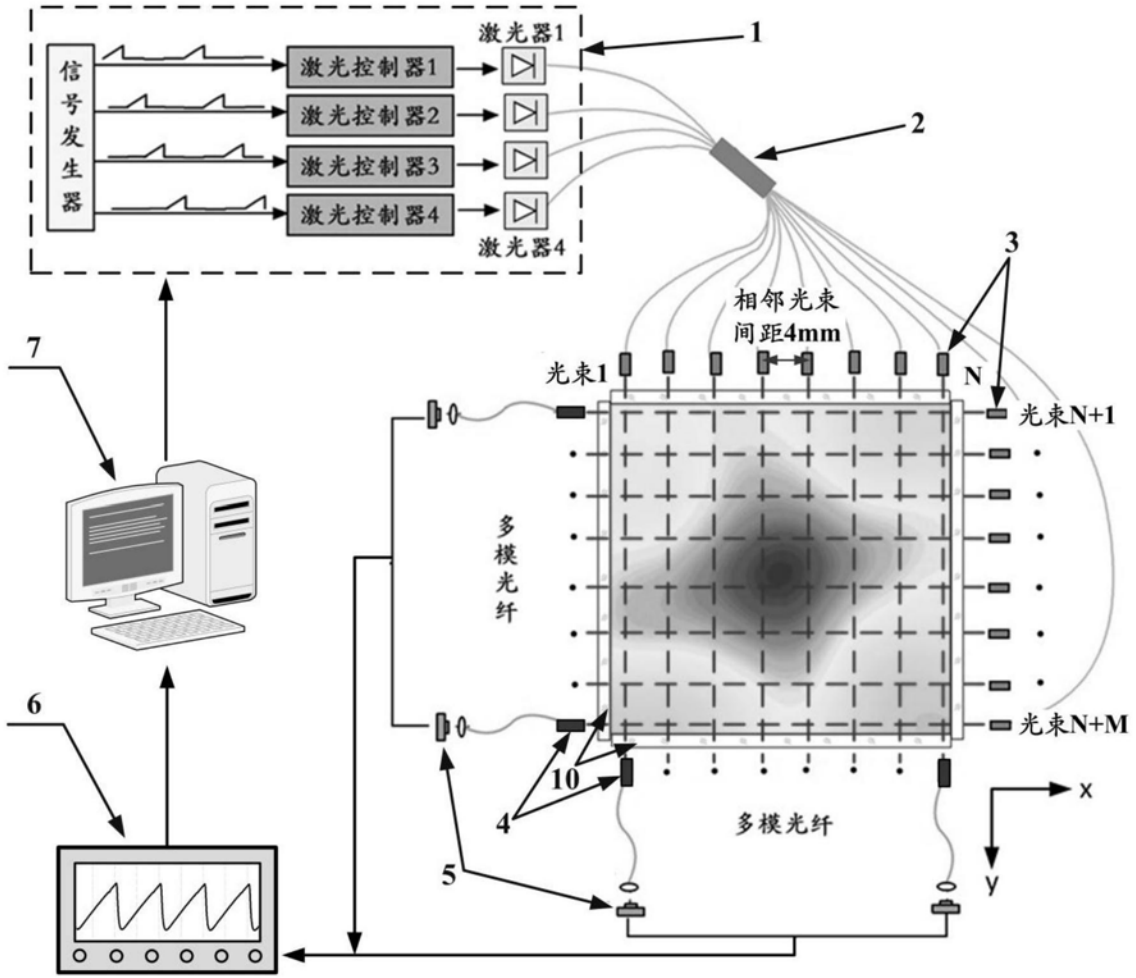


图1

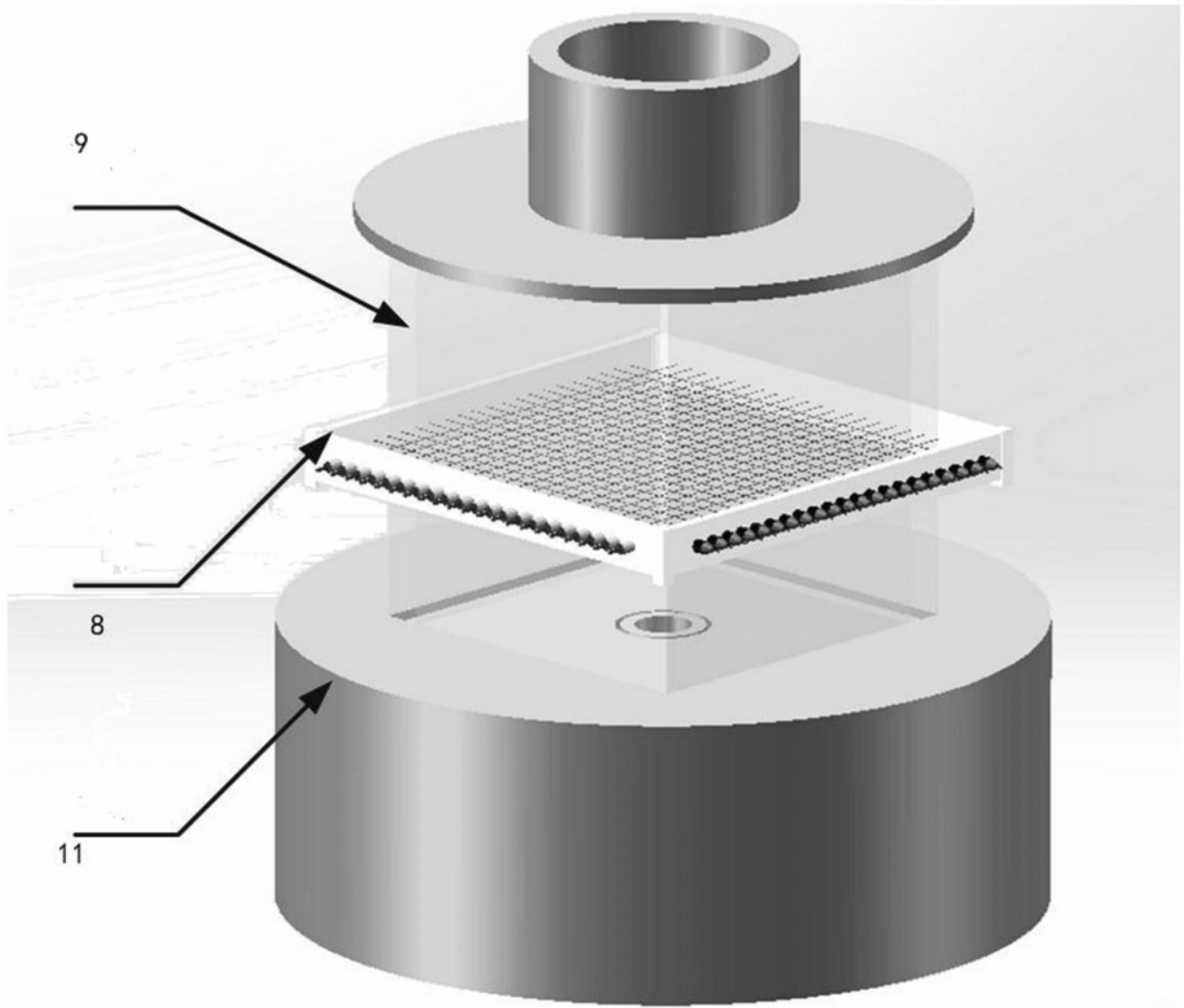


图2

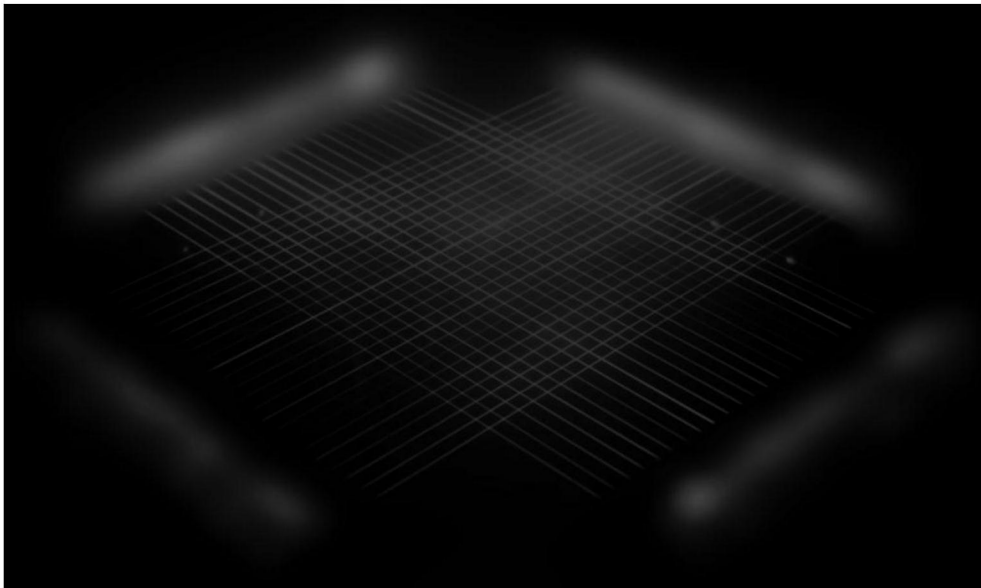


图3

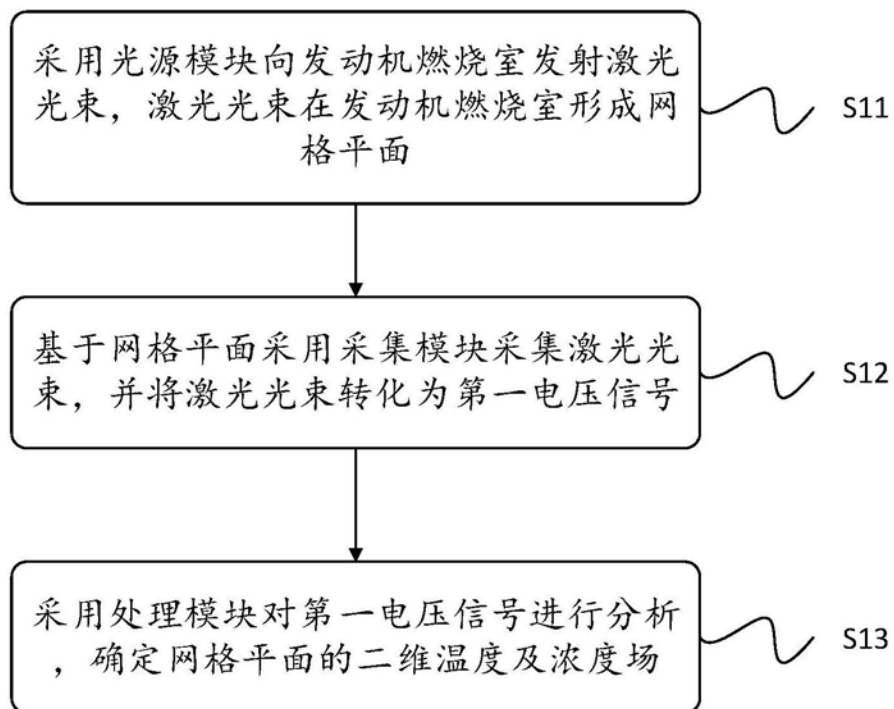


图4

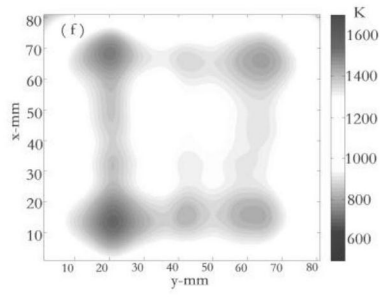


图5

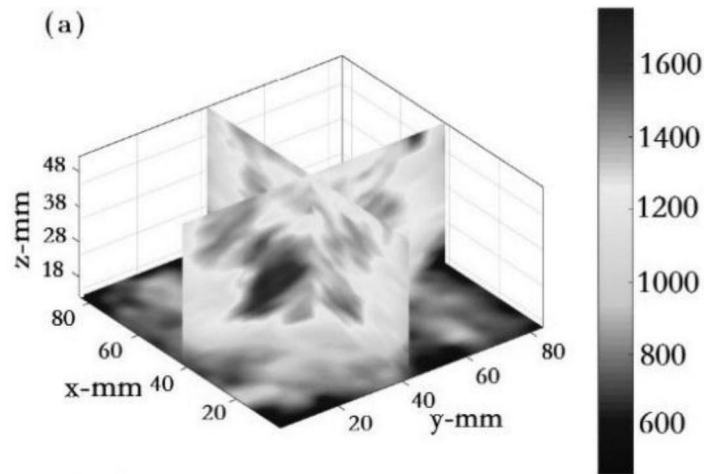


图6

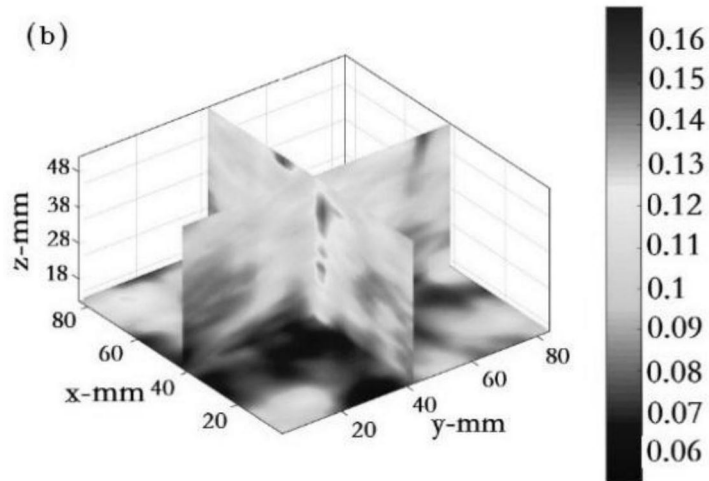


图7