



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112362353 B

(45) 授权公告日 2021.08.31

(21) 申请号 202011245952.1

G01N 31/10 (2006.01)

(22) 申请日 2020.11.10

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112362353 A

CN 107907502 A, 2018.04.13

CN 103912314 A, 2014.07.09

CN 110207899 A, 2019.09.06

(43) 申请公布日 2021.02.12

KR 102024097 B1, 2019.09.23

NL 1007970 C2, 1999.07.08

(73) 专利权人 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

夏晖晖. 基于TDLAS技术的燃烧火焰场分布二维重建研究.《中国博士学位论文全文数据库工程科技I辑》.2017,

(72) 发明人 林鑫 王泽众 李飞 余西龙
魏祥庚

Wei Zhang等.Study on trace detection method of ammonia escape based on TDLAS.《2017 IEEE 2nd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC)》.2018,

(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 焦海峰

审查员 冯玮

(51) Int. Cl.

G01M 15/14 (2006.01)

G01N 21/39 (2006.01)

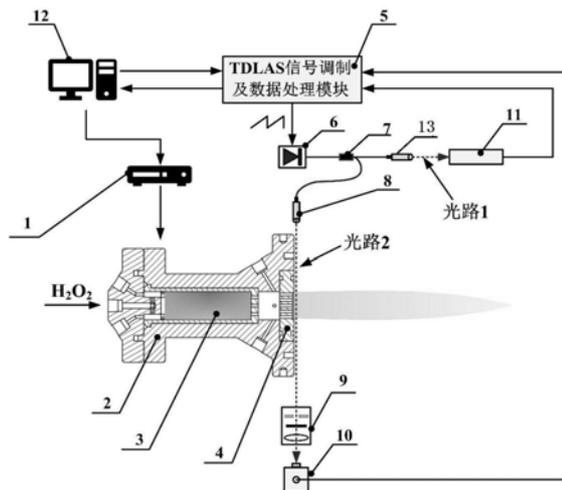
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

H₂O₂催化床点火器性能精确预示方法

(57) 摘要

本发明属于固液混合火箭发动机点火技术领域,本发明涉及一种H₂O₂催化床点火器性能精确预示方法,该方法包括以下步骤:基于激光吸收光谱技术获取点火器出口气流的H₂O分子吸收光谱信息,并根据所述光谱信息计算得到点火器出口气流温度和H₂O分子浓度,通过分析气流信息例如温升曲线、H₂O分子浓度变化等,定量分析H₂O₂经该催化床的分解效率,进而实现H₂O₂催化床点火性能的定量评价。本发明通过对于H₂O₂催化分解反应程度的精确评估进而对其点火性能进行预示,区别于现有的热电偶、压力传感器等接触式测量方法,具有高灵敏度、高时间响应、非接触测量等优势,此外本发明更为简单、成本低廉、对环境依赖程度小,可作为H₂O₂催化床点火器性能评价的常规手段。



1. 一种 H_2O_2 催化床点火器性能精确预示方法,其特征在于,具体包括如下步骤:

(a) 固液发动机点火:点火器测控系统(1)控制 H_2O_2 进入催化床点火器(2), H_2O_2 经银网(3)催化分解后生成 H_2O 、 O_2 高温混合气体,高温混合气体经喷注器(4)喷出实现固液发动机点火;

(b) 获取光谱信息:TDLAS信号调制及数据处理模块(5)通过电流调制和温度调制让激光器(6)输出给定的扫描频率和波长激光信号;输出的激光信号经一分二光纤(7)分为光路1和光路2两路;

(c) 分析气流信息:光路2的电压信号结合光路1的标定信号通过数据处理终端(12)综合分析处理,得到喷注器(4)出口沿程的气流静温、 H_2O 分子浓度的实时变化气流信息,通过分析气流信息,实现 H_2O_2 经催化床点火器(2)的分解效率的定量评估;

所述的激光器(6)设置为DFB激光器,谱线线宽小于10MHz,且在一个扫描周期同时覆盖水分子 $4029.5cm^{-1}$ 、 $4030.6cm^{-1}$ 和 $4030.7cm^{-1}$ 三条吸收谱线;

将吸收系数和吸收长度的乘积 $k_v L$ 称之为光谱吸收率 α_v :

$$\alpha_v = -\ln\left(\frac{I_0 - I_t}{I_0}\right) = k_v L = P_{H_2O} S(T) \phi(v) L \quad (1)$$

式中: I_t 为出射光强, I_0 为入射光强; $k_v (cm^{-1})$ 为吸收系数, $L (cm)$ 为吸收长度,其中吸收系数 k_v 是吸收组分浓度 P_{H_2O} ,吸收谱线线强度 $S(T) (cm^{-2} atm^{-1})$,线型函数 $\phi(v) (cm)$ 的函数;任意温度下的线强度 $S(T)$ 由已知温度 T_0 的线强度计算得到:

$$S(T) = S(T_0) \frac{Q(T_0)}{Q(T)} \left(\frac{T_0}{T}\right) \exp\left[-\frac{hcE''}{k} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right] \frac{\left[1 - \exp\left(-\frac{hcv_0}{kT}\right)\right]}{\left[1 - \exp\left(-\frac{hcv_0}{kT_0}\right)\right]} \quad (2)$$

式中: $E'' (cm^{-1})$ 为吸收跃迁的低能级能量, $h (J \cdot s)$ 为普朗克常数, $c (cm/s)$ 为光速, $k (J/K)$ 是波尔兹曼常数, $Q(T)$ 是配分函数,它反映了在所处温度 $T (K)$ 下,在对应吸收低能级上的粒子数占总粒子数的比值;

由式(1)和式(2)可知,采用直接吸收-波长扫描法同时获得三条吸收谱线线型,通过其比值即可得到温度 T ,进而根据式(1)得到吸收组分浓度 P_{H_2O} ,

$$P_{H_2O} = \frac{\int \alpha_v dv}{S(T)L} \quad (3)$$

2. 根据权利要求1所述一种 H_2O_2 催化床点火器性能精确预示方法,其特征在于,所述的步骤(b)中获取光谱信息的具体步骤如下:

b1、光路1的标定信号测量:光路1通过准直透镜a(13)进行准直,光路1通过法布里-珀罗干涉仪(11)标定出所产生激光信号的时间尺度-频率尺度关系并输出至TDLAS信号调制及数据处理模块(5);

b2、光路2的电压信号测量:光路2通过准直透镜b(8)进行准直,光路2紧贴喷注器(4)出口,垂直穿过高温气流后经激光接收端(9)滤波、聚焦后传输至光电探测器(10),透射激光信号经光电探测器(10)进行光电转换后,转换为电压信号传输至TDLAS信号调制及数据处

理模块(5)。

3. 根据权利要求1所述一种 H_2O_2 催化床点火器性能精确预示方法,采用一种 H_2O_2 催化床点火器性能精确预示系统,其特征在于,具体包括:点火器测控系统(1)、催化床点火器(2)、光路探测系统a、光路测量系统b、TDLAS信号调制及数据处理模块(5)和数据处理终端(12),

所述点火器测控系统(1)通过 H_2O_2 输送管路和催化床点火器(2)连接,催化床点火器(2)的内部布置有多层银网(3),其尾部安装有喷注器(4),所述TDLAS信号调制及数据处理模块(5)和激光器(6)连接,激光器(6)和一分二光纤(7)连接,一分二光纤(7)分别通过光路探测系统a、光路测量系统b和TDLAS信号调制及数据处理模块(5)连接,数据处理终端(12)分别和点火器测控系统(1)、TDLAS信号调制及数据处理模块(5)连接。

4. 根据权利要求3所述一种 H_2O_2 催化床点火器性能精确预示方法,其特征在于,所述的光路探测系统a和光路测量系统b的具体结构设计如下:

光路探测系统a设置有光纤a,一分二光纤(7)通过准直透镜a(13)和光纤a连接,光纤a通过法布里-珀罗干涉仪(11)和TDLAS信号调制及数据处理模块(5)连接;

所述光路测量系统b设置有光纤b,光纤b紧贴喷注器出口设置,一分二光纤(7)通过准直透镜b(8)和光纤b连接,光纤b垂直穿过喷注器(4)高温气流后连接激光接收端(9),激光接收端(9)通过电探测器(10)和TDLAS信号调制及数据处理模块(5)连接。

5. 根据权利要求1-4任意一项所述一种 H_2O_2 催化床点火器性能精确预示方法,其特征在于,所述的点火器测控系统(1)包括流量计、压力传感器、 H_2O_2 输送管路,通过点火器测控系统(1)控制 H_2O_2 供给及流量测量、点火器内部压力测量。

6. 根据权利要求1-4任意一项所述一种 H_2O_2 催化床点火器性能精确预示方法,其特征在于,所述的催化床点火器(2)设置为针对实验室级小型固液混合发动机点火器,其采用不锈钢材质制备而成,其内部设置的银网(3)是由多层银网挤压制成,其内部的喷注器(4)设置为直流单孔、直流多孔或旋流多孔结构中的任意一种,喷注器(4)的出口尺寸根据具体所装备的固液混合火箭发动机结构尺寸确定。

7. 根据权利要求1-4任意一项所述一种 H_2O_2 催化床点火器性能精确预示方法,其特征在于,所述的TDLAS信号调制及数据处理模块(5)一方面通过电流、温度调制激光器(6)输出所需的激光中心波长、调谐波长范围和调制频率激光信号,另一方面对光电探测器(10)和法布里-珀罗干涉仪(11)的输入信号实时处理。

8. 根据权利要求1-4任意一项所述一种 H_2O_2 催化床点火器性能精确预示方法,其特征在于,所述的准直透镜b(8)和准直透镜a(13)设置为圆柱状外形结构,圆柱直径不大于2.5mm,具有端面耦合特性。

9. 根据权利要求1-4任意一项所述一种 H_2O_2 催化床点火器性能精确预示方法,其特征在于,所述的激光接收端(9)设置为由小孔光阑、窄带滤波片、聚焦透镜组合而成的结构;所述的光电探测器(10)设置为铟镓砷光电探测器,适用波长范围为800-2600nm。

10. 根据权利要求1-4任意一项所述一种 H_2O_2 催化床点火器性能精确预示方法,其特征在于,所述的法布里-珀罗干涉仪(11)通过把以时间s为基准轴的单周期激光信号转换为以波数 cm^{-1} 为基准轴的激光信号,实现后续的光谱信息提取及激光波长的标定。

H₂O₂催化床点火器性能精确预示方法

技术领域

[0001] 本发明属于固液混合火箭发动机点火技术领域,具体涉及一种H₂O₂催化床点火器性能精确预示方法及实施方案。

背景技术

[0002] 发展航天,动力先行,火箭发动机是火箭的心脏,是人类航天事业发展的核心支撑。固液混合火箭发动机作为当前火箭推进技术的一个重要发展方向,基于其独特的结构特点,具备广阔的应用前景。固液混合火箭发动机结合了固体发动机和液体发动机的结构特点,将不同相态的燃料和氧化剂分开贮存,其中以固体燃料和气/液体氧化剂为组合的固液混合火箭发动机研究最为广泛。这种特殊的结构使其与常规的固体发动机和液体发动机相比,具有安全性高、成本低、绿色环保、推力可调节、能够实现重复启动等优点。

[0003] 近年来,将H₂O₂作为氧化剂成为固液发动机的研究热点。主要原因在于:H₂O₂密度比液氧高、无毒,而且可以常温贮存,H₂O₂与碳氢燃料燃烧的产物很干净,对环境没有污染。发动机工作时,H₂O₂被催化分解能产生高温的氧气和水蒸气,可以直接点燃固体燃料。H₂O₂的上述特点使固液火箭发动机可以实现自启动,即无需采用特制的点火器,仅依赖其催化分解放热特性即可实现发动机点火,从而实现发动机系统简化。但在实际应用中还有诸多技术问题有待攻克:例如在发动机启动时,如果催化床催化效率不够高,即温升速率过慢,可能会导致燃烧室内H₂O₂积液,当达到燃料燃点时,由于H₂O₂积液的存在极可能导致发动机燃烧室爆炸。

[0004] 在上述背景之下,通过有效手段对于催化床点火器性能的精确预示就显得极为重要。目前对于H₂O₂催化床点火器性能评价主要依赖于热电偶、压力传感器等传统手段。然而热电偶通常为单点测量,缺乏空间分辨,另外其时间响应较低,对于化学反应程度的辨析不够,此外这种接触式测量手段会干扰流场,综上所述原因决定了传统手段难以实现H₂O₂催化床点火器性能的精确评价。因此,如何研发一种H₂O₂催化床点火器性能精确预示方法,实现H₂O₂催化床点火性能的精确预示,具有重要的现实意义。

发明内容

[0005] 针对现有技术中存在的接触式测量手段例如热电偶、压力传感器等应用于H₂O₂催化床点火器性能的短板和不足,本发明的目的在于提出一种直观、灵敏、非接触、易于实现的基于激光吸收光谱技术的H₂O₂催化床点火器性能精确预示方法,该方法基于点火器出口高温气流参数(温度、水蒸气浓度等)的精确测量,实现H₂O₂经该催化床的分解效率的定量评价,进而实现H₂O₂催化床点火性能的精确预示。

[0006] 光谱学手段作为一种非接触的测量方法,利用流场原子或分子组分的辐射跃迁来获得流场的信号,具有非常高的应用前景。以激光吸收光谱技术为代表的非接触式光谱测量方法具备对流场多参数实时诊断的能力和对流场无干扰的优点,是高温流场诊断的理想手段之一。

[0007] 本发明采取的技术方案为：

[0008] 一种 H_2O_2 催化床点火器性能精确预示方法，具体包括如下步骤：

[0009] (a) 固液发动机点火：点火器测控系统控制 H_2O_2 进入催化床点火器， H_2O_2 经银网催化分解后生成 H_2O 、 O_2 高温混合气体，高温混合气体经喷注器喷出实现固液发动机点火；

[0010] (b) 获取光谱信息：TDLAS信号调制及数据处理模块通过电流调制和温度调制让激光器输出给定的扫描频率和波长激光信号；输出的激光信号经一分二光纤分为光路1和光路2两路；

[0011] (c) 分析气流信息：光路2的电压信号结合光路1的标定信号通过数据处理终端综合分析处理，得到喷注器出口沿程的气流静温、 H_2O 分子浓度的实时变化气流信息，通过分析气流信息，实现 H_2O_2 经催化床点火器的分解效率的定量评估。

[0012] 进一步的，所述的步骤(b)中获取光谱信息的具体步骤如下：

[0013] b1、光路1的标定信号测量：光路1通过准直透镜a进行准直，光路1通过法布里-珀罗干涉仪标定出所产生激光信号的时间尺度-频率尺度关系并输出至TDLAS信号调制及数据处理模块；

[0014] b2、光路2的电压信号测量：光路2通过准直透镜b进行准直，光路2紧贴喷注器出口，垂直穿过高温气流后经激光接收端滤波、聚焦后传输至光电探测器，透射激光信号经光电探测器进行光电转换后，转换为电压信号传输至TDLAS信号调制及数据处理模块；

[0015] 一种 H_2O_2 催化床点火器性能精确预示系统，具体包括：点火器测控系统、催化床点火器、光路探测系统a、光路测量系统b、TDLAS信号调制及数据处理模块和数据处理终端，

[0016] 所述点火器测控系统通过 H_2O_2 输送管路和催化床点火器连接，催化床点火器的内部布置有多层银网，其尾部安装有喷注器，所述TDLAS信号调制及数据处理模块和激光器连接，激光器和一分二光纤连接，一分二光纤分别通过光路探测系统a、光路测量系统b和TDLAS信号调制及数据处理模块连接，数据处理终端分别和点火器测控系统、TDLAS信号调制及数据处理模块连接。

[0017] 进一步的，所述的光路探测系统a和光路测量系统b的具体结构设计如下：

[0018] 光路探测系统a设置有光纤a，一分二光纤通过准直透镜a和光纤a连接，光纤a通过法布里-珀罗干涉仪和TDLAS信号调制及数据处理模块连接；

[0019] 所述光路测量系统b设置有光纤b，光纤b紧贴喷注器出口设置，一分二光纤通过准直透镜b和光纤b连接，光纤b垂直穿过喷注器高温气流后连接激光接收端，激光接收端通过电探测器和TDLAS信号调制及数据处理模块连接。

[0020] 进一步的，所述的点火器测控系统包括流量计、压力传感器、 H_2O_2 输送管路，通过点火器测控系统控制 H_2O_2 供给及流量测量、点火器内部压力测量。

[0021] 进一步的，所述的催化床点火器设置为针对实验室级小型固液混合发动机点火器，其采用不锈钢材质制备而成，其内部设置有多层银网，尾部安装有喷注器， H_2O_2 经银网后催化分解放热，生成高温的 H_2O 和 O_2 ，可用于点燃发动机固体燃料，从而实现发动机点火。

[0022] 进一步的，所述的银网是由多层银网挤压制成，银网的筛网孔径设置为30-40目，银网的丝径设置为0.2mm，用于实现 H_2O_2 的催化分解反应，并保证催化分解后的高温混合气体温度能够达到燃料燃点。

[0023] 进一步的，所述的喷注器设置为直流单孔、直流多孔或旋流多孔结构中的任意一

种,喷注器的出口尺寸根据具体所装备的固液混合火箭发动机结构尺寸确定。

[0024] 进一步的,所述的TDLAS信号调制及数据处理模块一方面通过电流、温度调制激光器输出所需的激光中心波长、调谐波长范围和调制频率激光信号,另一方面对光电探测器和法布里-珀罗干涉仪的输入信号实时处理。

[0025] 进一步的,所述的激光器设置为DFB激光器,谱线线宽小于10MHz,且在一个扫描周期同时覆盖水分子 4029.5cm^{-1} 、 4030.6cm^{-1} 和 4030.7cm^{-1} 三条吸收谱线。

[0026] 进一步的,所述的一分二光纤用于实现对激光光束的分束,从而简化实验系统。

[0027] 进一步的,所述的准直透镜b和准直透镜a设置为圆柱状外形结构,圆柱直径不大于2.5mm,具有端面耦合特性。实现入射激光在光纤端面的汇聚,可有效提高激光与光纤的耦合效率,有效通光直径为透镜直径的70%以上,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辐射发光影响的功能;可实现光学测量结构的紧凑化。

[0028] 进一步的,所述的激光接收端设置为由小孔光阑、窄带滤波片、聚焦透镜组合而成的结构,小孔光阑口径在5mm内可调;窄带滤波片中心波长设置为 $2.48\mu\text{m}$,带宽设置为50nm;聚焦透镜设置为直径10mm、焦距5mm的氟化钙或者蓝宝石透镜。

[0029] 进一步的,所述的光电探测器设置为铟镓砷光电探测器,适用波长范围为800-2600nm,带固定增益或可调增益。

[0030] 进一步的,所述的法布里-珀罗干涉仪通过把以时间s为基准轴的单周期激光信号转换为以波数 cm^{-1} 为基准轴的激光信号,用于后续的光谱信息提取及激光波长的标定,其有效工作范围为1800-2600nm,自由光谱区FSR为1.5GHz。

[0031] 进一步的,所述的数据处理终端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,一方面实现对于点火器测控系统和TDLAS信号调制及数据处理模块的参数调制和实时控制,另一方面用于对于获得所有实验数据的分析处理。

[0032] 本发明的有益效果为:

[0033] (1) 本发明利用激光吸收光谱技术测量 H_2O_2 催化床点火器出口气流温度和水蒸气浓度(H_2O_2 催化分解反应: $2\text{H}_2\text{O}_2 \xrightarrow{\text{催化床}} 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + \text{热量}$),通过分析气流信息例如温升曲线、 H_2O 分子浓度变化等,定量分析 H_2O_2 经该催化床的分解效率,进而实现 H_2O_2 催化床点火性能的定量评价。比现有的基于热电偶等接触式测量手段不干扰流场,能够直观反映 H_2O_2 催化分解的化学反应过程,更加直观、准确,灵敏度更高。

[0034] (2) 本发明通过测量催化分解后的高温气流,不受到点火器内部结构等影响,具有极强的环境适应性,可用于基于催化防热的 H_2O_2 催化床点火器。

[0035] (3) 本发明采用的基于激光吸收光谱的测量方案易于建设,测量位置位于点火器出口,无需在点火器开孔(相对于安装热电偶等),具有极强的适应性和发展潜力。

[0036] (4) 本发明选用的水分子 4029.5cm^{-1} 、 4030.6cm^{-1} 和 4030.7cm^{-1} 三条吸收谱线使用一台DFB激光器即可完全覆盖,从成本上来说更加低廉,从光学结构方面更容易实现。

[0037] (5) 本发明基于的激光吸收光谱技术其吸收信号强度与光程成正比,对于尺寸较大的 H_2O_2 催化床点火器更容易实现测量,可作为 H_2O_2 催化床点火器性能评估的常规手段。

附图说明

[0038] 图1为本发明的实验系统布局示意图；

[0039] 图2为本发明实施例中实验获得TDLAS-光束2的原始数据图；

[0040] 其中,1、点火器测控系统；2、催化床点火器；3、银网；4、喷注器；5、TDLAS信号调制及数据处理模块；6、激光器；7、分二光纤；8、准直透镜b；9、激光接收端；10、光电探测器；11、法布里-珀罗干涉仪；12、数据处理终端；13、准直透镜a。

具体实施方式

[0041] 下面结合附图对本发明做进一步的详细说明,以令本领域技术人员参照说明书文字能够据以实施。可以理解的是,此处所描述的具体实施例仅用于解释本发明,而非对本发明的限定。另外还需要说明的是,为了便于描述,附图中仅示出了与本发明相关的部分而非全部结构。

[0042] 实施例1

[0043] 以本实验室的 H_2O_2 催化床点火器为例,如图1所示,一种 H_2O_2 催化床点火器性能精确预示系统,包括:点火器测控系统1、催化床点火器2、银网3、喷注器4、TDLAS信号调制及数据处理模块5、激光器6、一分二光纤7、准直透镜b8、激光接收端9、光电探测器10、法布里-珀罗干涉仪11、数据处理终端12、准直透镜a13。

[0044] 所述点火器测控系统1通过 H_2O_2 输送管路和催化床点火器2连接,催化床点火器2的内部布置有多层银网3,其尾部安装有喷注器4,所述TDLAS信号调制及数据处理模块5和激光器6连接,激光器6和一分二光纤7连接,一分二光纤7分别通过光路探测系统a、光路测量系统b和TDLAS信号调制及数据处理模块5连接,数据处理终端12分别和点火器测控系统1、TDLAS信号调制及数据处理模块5连接；

[0045] 所述光路探测系统a设置有光纤a,一分二光纤7通过准直透镜a13和光纤a连接,光纤a通过法布里-珀罗干涉仪11和TDLAS信号调制及数据处理模块5连接；

[0046] 所述光路测量系统b设置有光纤b,光纤b紧贴喷注器出口设置,一分二光纤7通过准直透镜b8和光纤b连接,光纤b垂直穿过喷注器4高温气流后连接激光接收端9,激光接收端9通过光电探测器10和TDLAS信号调制及数据处理模块5连接。

[0047] 具体运行步骤如下：

[0048] (a) 点火器测控系统1控制一定流量 H_2O_2 进入催化床点火器2, H_2O_2 经银网3催化分解后生成 H_2O 、 O_2 并放出大量热量,高温混合气体经喷注器4喷出可用于固液发动机点火；

[0049] (b) 如图1所示,TDLAS信号调制及数据处理模块5通过电流及温度调制激光器6输出所需的扫描频率和输出波长,扫描频率为2-10kHz,单周期内包含 4029.5cm^{-1} 、 4030.6cm^{-1} 和 4030.7cm^{-1} 三条吸收谱线；

[0050] (c) 光路1通过法布里-珀罗干涉仪11标定出所产生激光信号的时间尺度-频率尺度关系并输出至TDLAS信号调制及数据处理模块5；光路2通过准直透镜8进行准直,光路2紧贴喷注器4出口,垂直穿过高温气流后经激光接收端9滤波、聚焦后传输至光电探测器10,透射激光信号经光电探测器10进行光电转换后,转换为电压信号传输至TDLAS信号调制及数据处理模块5,结合光路1的标定信号,数据处理终端12综合分析处理得到喷注器出口沿程的气流静温、 H_2O 分子浓度的实时变化；

[0051] (d)通过分析气流信息例如温升曲线、最大温度等,以及 H_2O 分子浓度,能够实现 H_2O_2 经催化床的分解效率的定量评估(分解效率越高,温升越快, H_2O 分子浓度变化越剧烈),进而实现 H_2O_2 催化床点火性能的精确预示。

[0052] 实施例2

[0053] 在实施例1的基础上,不同于实施例1,一种 H_2O_2 催化床点火器性能精确预示方法,具体包括如下步骤:

[0054] (a) 固液发动机点火:点火器测控系统1控制 H_2O_2 进入催化床点火器2, H_2O_2 经银网3催化分解后生成 H_2O 、 O_2 高温混合气体,高温混合气体经喷注器4喷出实现固液发动机点火;

[0055] (b) 获取光谱信息:TDLAS信号调制及数据处理模块5通过电流调制和温度调制让激光器6输出给定的扫描频率和波长激光信号;输出的激光信号经一分二光纤7分为光路1和光路2两路;

[0056] b1、光路1的标定信号测量:光路1通过准直透镜a13进行准直,光路1通过法布里-珀罗干涉仪11标定出所产生激光信号的时间尺度-频率尺度关系并输出至TDLAS信号调制及数据处理模块5;

[0057] b2、光路2的电压信号测量:光路2通过准直透镜b8进行准直,光路2紧贴喷注器4出口,垂直穿过高温气流后经激光接收端9滤波、聚焦后传输至光电探测器10,透射激光信号经光电探测器10进行光电转换后,转换为电压信号传输至TDLAS信号调制及数据处理模块5;

[0058] (c) 分析气流信息:光路2的电压信号结合光路1的标定信号通过数据处理终端12综合分析处理,得到喷注器4出口沿程的气流静温、 H_2O 分子浓度的实时变化气流信息,通过分析气流信息,实现 H_2O_2 经催化床点火器2的分解效率的定量评估。

[0059] 具体实现流程如下:

[0060] 基于激光吸收光谱原理,当一束频率为 ν 的激光通过流场,其出射光强 I_t 和入射光强 I_0 满足Beer-Lambert关系式:

$$[0061] \quad (I_t/I_0)_\nu = \exp(-k_\nu \cdot L) \quad (1)$$

[0062] 式中: k_ν (cm^{-1}) 为吸收系数, L (cm) 为吸收长度。其中吸收系数 k_ν 是吸收组分浓度 P_{H_2O} (这里以 H_2O 作为研究组分,atm),吸收谱线线强度 $S(T)$ ($cm^{-2}atm^{-1}$),线型函数 $\phi(\nu)$ (cm) 的函数:

$$[0063] \quad k_\nu = P_{H_2O} \cdot S(T) \cdot \phi(\nu) \quad (2)$$

[0064] 式中:线型函数满足归一化条件,即 $\int \phi(\nu) d\nu = 1$ 。

[0065] 式(2)中的吸收组分分压是气流参数,而吸收线强度为吸收线的固有属性,它是温度的函数。将吸收系数和吸收长度的乘积 $k_\nu L$ 称之为光谱吸收率 α_ν :

$$[0066] \quad \alpha_\nu = -\ln\left(\frac{I_0 - I_t}{I_0}\right) = k_\nu L = P_{H_2O} S(T) \phi(\nu) L \quad (3)$$

[0067] 任意温度下的线强度 $S(T)$ 由已知温度 T_0 的线强度计算得到:

$$[0068] \quad S(T) = S(T_0) \frac{Q(T_0)}{Q(T)} \left(\frac{T_0}{T} \right) \exp \left[-\frac{hcE''}{k} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right] \frac{\left[1 - \exp \left(-\frac{hcv_0}{kT} \right) \right]}{\left[1 - \exp \left(-\frac{hcv_0}{kT_0} \right) \right]} \quad (4)$$

[0069] 式中： E'' (cm^{-1}) 为吸收跃迁的低能级能量， h ($\text{J} \cdot \text{s}$) 为普朗克常数， c (cm/s) 为光速， k (J/K) 是波尔兹曼常数， $Q(T)$ 是配分函数，它反映了在所处温度 T (K) 下，在对应吸收低能级上的粒子数占总粒子数的比值。

[0070] 由式 (3) 和式 (4) 可知，采用直接吸收-波长扫描法同时获得两条及以上的吸收谱线线型，通过其比值即可得到温度 T ，进而根据式 (3) 得到吸收组分浓度 $P_{\text{H}_2\text{O}}$ ，

$$[0071] \quad P_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\int \alpha_v dv}{S(T)L} \quad (5)$$

[0072] 图2给出某实验获得TDLAS-光束1的原始数据，如图2所示，在一个扫描周期可同时获得 4029.5cm^{-1} 、 4030.6cm^{-1} 和 4030.7cm^{-1} 三条吸收谱线，基于其积分吸收率可同时实现点火器出口温度 T 和吸收组分浓度 $P_{\text{H}_2\text{O}}$ 的测量。

[0073] 根据激光吸收光谱技术获得的气流信息例如温升曲线、最大温度等，以及 H_2O 分子浓度，能够实现 H_2O_2 经催化床的分解效率的定量评估（分解效率越高，温升越快，到达最大温度时刻越短，生成 H_2O 分子浓度越高），进而实现 H_2O_2 催化床点火性能的精确预示。

[0074] 尽管本发明的实施方案已公开如上，但其并不仅仅限于说明书和实施方式中所列运用，它完全可以被适用于各种适合本发明的领域，对于熟悉本领域的人员而言，可容易地实现另外的修改，因此在不背离权利要求及等同范围所限定的一般概念下，本发明并不限于特定的细节和这里示出与描述的图例。

