



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104165865 A

(43) 申请公布日 2014. 11. 26

(21) 申请号 201410373701. X

(22) 申请日 2014. 07. 31

(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 袁越明 张泰昌 宋军浩 范学军

(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.
G01N 21/45(2006. 01)
G01N 21/64(2006. 01)

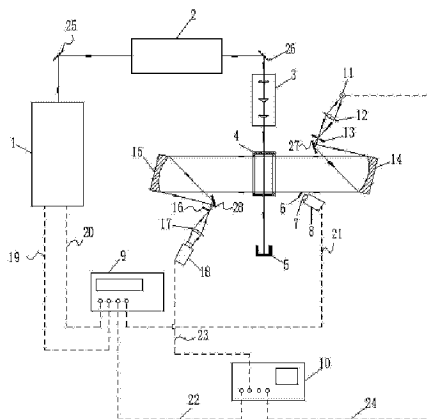
权利要求书1页 说明书3页 附图2页

(54) 发明名称

一种流场和火焰结构同步探测方法

(57) 摘要

本发明公开一种用于碳氢燃料超声速燃烧过程的流场和火焰结构同步探测的方法。该方法采用脉冲纹影探测超声速燃烧场的流场结构,采用CH-PLIF探测超声速燃烧场的火焰结构。将脉冲纹影和CH-PLIF的探测焦平面分别聚焦到超声速燃烧室内部相同探测区域,通过脉冲同步发生器对脉冲纹影和CH-PLIF进行同步控制,实现碳氢燃料超声速燃烧过程的流场和火焰结构同步探测。将扣除燃烧室背景噪声的火焰结构CH-PLIF图像与流场结构的纹影图像相叠加,得到碳氢燃料超声速燃烧过程中同一瞬态的流场和火焰结构的同步叠加图像。该方法所解决的问题是:为研究碳氢燃料超声速燃烧过程中流动与化学反应相互作用机理,提供了同步获取燃烧场同一瞬态流场和火焰结构信息的实验探测方法。



1. 一种用于超声速燃烧室碳氢燃料燃烧过程的流场和火焰结构同步探测方法,该同步探测方法包括脉冲纹影探测和 CH 自由基的平面激光诱导荧光 (CH-PLIF) 探测两部分,所述脉冲纹影探测超声速燃烧室的流场结构,所述 CH-PLIF 探测超声速燃烧室的火焰结构,二者进行同步控制,上述同步探测方法具体包括以下步骤:

(1) 将 CH 自由基荧光的激发光通过柱面镜系统整形为片光,通过石英观察窗引入超声速燃烧室的探测区域,片光垂直于纹影的平行光光路;

(2) 通过调整脉冲纹影光路中高速相机前的透镜和 CH-PLIF 光路中像增强型 CCD 相机 (ICCD) 前的镜头,将脉冲纹影和 CH-PLIF 的探测焦平面分别聚焦到燃烧室内片光上的相同探测区域;

(3) 测量同步测量系统的电子延时和光学延时,根据测量结果设置同步脉冲发生器,使纹影脉冲光源的脉冲与 CH 自由基荧光的片状激发光到达所述探测区域的时间间隔不超过 500ns,所述纹影光源的脉冲与所述片状激发光频率相同;

(4) 将所述 ICCD 设置为双图像模式,第一次快门开启时拍摄燃烧室内燃烧背景图像,第二次快门开启时拍摄燃烧室内火焰结构图像,两次快门宽度相同,由于 CH 自由基荧光信号较弱,快门宽度应大于 10ns 并小于 40ns,两次快门时间间隔小于 500ns;

(5) 设置所述 ICCD 的快门延时和脉冲同步发生器,使第二次快门开启与所述片状激发光同步,所述高速相机的快门与脉冲纹影光源的脉冲同步;

(6) 将所述 ICCD 第二次快门开启时拍摄的火焰结构图像与第一次快门开启时拍摄的燃烧背景图像作差,扣除背景噪声的影响;

(7) 将扣除背景噪声的所述火焰结构图像与所述脉冲纹影拍摄的所述流场结构图像叠加,最终得到同步测量结果。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,利用示波器和光电探测器对所述同步测量系统的电子延时和光学延时进行测量。

一种流场和火焰结构同步探测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种流场和火焰结构同步探测方法,特别涉及一种用于碳氢燃料超声速燃烧过程的流场和火焰结构同步探测方法。

背景技术

[0002] 碳氢燃料的超声速燃烧流场极为复杂,涉及激波 / 膨胀波系、化学反应、剪切层、大尺度分离流和漩涡流动、超声速气流压力传播以及燃烧火焰传播等多种复杂现象,是一个流动与化学反应高度耦合的过程。因此,深入探索碳氢燃料超声速燃烧机理,需对超声速燃烧场的流场和火焰结构以及相互作用过程进行全面研究。

[0003] 针对碳氢燃料的超声速燃烧场,目前主要是将流场结构和火焰结构分离出来单独进行实验研究。

[0004] 流场结构探测方面,纹影是常用的流场结构显示方法。而脉冲纹影技术和激光纹影技术则能够有效抑制燃烧室背景光的影响,从而得到清晰的超声速燃烧场瞬态流场结构图像。

[0005] 火焰结构探测方面,OH-PLIF 常用来标识超声速燃烧场的火焰结构。然而超声速燃烧室中温度较高,OH 自由基不仅存在于化学反应区域,也存在于空气来流当中,因此无法准确标识火焰结构。在碳氢燃料化学反应过程中,CH 自由基只产生于碳氢燃料反应分解消耗的区域,因此采用 CH-PLIF 能够更加准确的标识碳氢燃料燃烧的火焰结构。

[0006] 单独利用纹影或 PLIF 均无法同时获取流场结构和火焰结构两方面的信息,这样获得的结果无法说明碳氢燃料超声速燃烧场中流动与化学反应的耦合过程。

发明内容

[0007] 针对上述现状,本发明提供了一种用于超声速燃烧室碳氢燃料燃烧过程的流场和火焰结构同步探测方法。具体地,该同步探测方法包括脉冲纹影探测和 CH 自由基的平面激光诱导荧光 (CH-PLIF) 探测两部分,所述脉冲纹影探测超声速燃烧场的流场结构,所述 CH-PLIF 探测超声速燃烧场的火焰结构,二者进行同步控制,上述同步探测方法具体包括以下步骤:

[0008] (1) 将 CH 自由基荧光的激发光通过柱面镜系统整形为片光,通过石英观察窗引入超声速燃烧室的探测区域,片光垂直于纹影的平行光光路;

[0009] (2) 通过调整脉冲纹影光路中高速相机前的透镜和 CH-PLIF 光路中像增强型 CCD 相机 (ICCD) 前的镜头,将脉冲纹影和 CH-PLIF 的探测焦平面分别聚焦到燃烧室内片光上的相同探测区域;

[0010] (3) 测量同步测量系统的电子延时和光学延时,根据测量结果设置同步脉冲发生器,使纹影脉冲光源的脉冲与 CH 自由基荧光的片状激发光到达所述探测区域的时间间隔不超过 500ns,所述纹影光源的脉冲与所述片状激发光频率相同;

[0011] (4) 将所述 ICCD 设置为双图像模式,第一次快门开启时拍摄燃烧室内燃烧背景图

像,第二次快门开启时拍摄燃烧室内火焰结构图像,两次快门宽度相同,由于CH自由基荧光信号较弱,快门宽度应大于10ns并小于40ns,两次快门时间间隔小于500ns;

[0012] (5) 设置所述ICCD的快门延时和脉冲同步发生器,使第二次快门开启与所述片状激发光同步,所述高速相机的快门与脉冲纹影光源的脉冲同步;

[0013] (6) 将所述ICCD第二次快门开启时拍摄的火焰结构图像与第一次快门开启时拍摄的燃烧背景图像作差,扣除背景噪声的影响;

[0014] (7) 将扣除背景噪声的所述火焰结构图像与所述脉冲纹影拍摄的所述流场结构图像叠加,最终得到同步测量结果。

[0015] 进一步地,利用示波器和光电探测器对所述同步测量系统的电子延时和光学延时进行测量。

[0016] 该方法所解决的问题是:为研究碳氢燃料超声速燃烧过程中流动与化学反应相互作用机理,提供了同步获取燃烧场同一瞬态流场和火焰结构信息的实验探测方法。

附图说明

[0017] 图1为超声速燃烧场流场结构与火焰结构同步测量光路。

[0018] 图2为脉冲纹影与CH-PLIF同步测量时序。

[0019] 图3为乙烯在超声速燃烧室内燃烧时同一瞬态的流场和火焰结构图像。

具体实施方式

[0020] 下面结合附图对本发明提供的用于超声速燃烧室碳氢燃料燃烧过程的流场和火焰结构同步探测方法的具体实施方式做详细说明。

[0021] 超声速燃烧场流场结构与火焰结构同步测量光路如图1所示。Nd:YAG激光器1-1三倍频后产生的355nm激光经反射镜1-25反射后泵浦染料激光器1-2输出波长为390.3nm的激发光。其中,染料激光器1-2中的染料选取Exalite Mix 389/398配置方案。染料激光器1-2输出的390.3nm激发光束经反射镜1-26反射至柱面镜系统1-3整形为片光,之后通过石英观察窗引入超声速燃烧室1-4。经燃烧室1-4的出射片光被激光吸收装置1-5所吸收。CH-PLIF探测光路采用ICCD相机1-8收集CH自由基的荧光信号。通过调节镜头1-7的对焦环,将探测焦平面聚焦到燃烧室内的片光上。此外,在ICCD相机1-8的前向光路上放置窄带通滤光片1-6滤除探测波段(CH自由基的荧光探测波段为420nm~440nm)以外的干扰信号,如激发光的散射光。在不影响纹影探测的前提下,ICCD相机1-8与纹影平行光路之间的夹角尽可能的小。

[0022] 脉冲纹影探测光路中,脉冲光源1-11经透镜1-12在狭缝1-13的正中央成倒立像,狭缝1-13的作用是截取光源像的中心强度最高、亮度最均匀的部分。同时,狭缝1-13置于球面镜1-14的焦点,故穿过狭缝1-13的光线经反射镜1-27反射至球面镜1-14后准直为平行光,经石英观察窗穿过燃烧室1-4至球面镜1-15。球面镜1-15经反射镜1-28将平行光束汇聚至焦点的刀口1-16。刀口1-16通过切割因流场扰动而偏折的光线,使得燃烧室内1-4的扰动气流通过透镜1-17在高速相机1-18的感光面上呈明暗变化的像,从而探测得到流场结构变化的影像。通过调节透镜1-17的位置,可将燃烧室内片光上的相同探测区域成像至高速相机1-18的感光面上。

[0023] 所有触发控制均由脉冲同步发生器 1-9 和 1-10 来实现。脉冲同步发生器 1-9 通过同轴电缆 1-19、1-20、1-21 分别提供 Nd:YAG 激光器 1-1 的闪光灯触发信号和 Q 开关触发信号、ICCD1-8 的外触发信号,并且通过同轴电缆 1-22 触发脉冲同步发生器 1-10,使得 1-9 和 1-10 同步。此外,脉冲同步发生器 1-10 则通过同轴电缆 1-23 和 1-24 分别为高速相机 1-18 和脉冲纹影光源 1-11 提供外触发信号。

[0024] 将上述所有同步控制信号线与设备连接好后,利用示波器和光电探测器对系统的电子延时和光学延时进行评估。具体做法是分别将两个光电探测器置于燃烧室 1-4 内部片光光路上和高速相机 1-18 之前的纹影光路上,测量片状激发光到达燃烧室 1-4 的时间和纹影脉冲光源 1-11 的脉冲光到达高速相机 1-18 的时间。根据示波器上两个光电探测器输出的脉冲间隔,设置脉冲同步发生器 1-10 输出的脉冲光源触发信号的延时,使得两个脉冲之间的间隔小于 500ns。因为在 500ns 以内,超声速流场在高速相机 1-18 的感光面以及 ICCD 相机 1-8 的感光芯片上所呈像的位移不足一个像素几何尺寸,因此可以认为在两个脉冲间隔内超声速流场是静止的。由于片状激发光的脉冲频率和脉冲次数由 Nd:YAG 激光器 1-1 决定,因此将 Nd:YAG 激光器 1-1 和纹影脉冲光源 1-11 的脉冲频率以及脉冲次数通过脉冲同步发生器 1-9 和 1-10 设置为相同。

[0025] 在超声速燃烧场中,燃烧背景光是 CH-PLIF 探测火焰结构的主要干扰源。因此,本方法将 ICCD 相机 1-8 设置为双图像模式,即 ICCD 受触发后可在很短的时间间隔内连续曝光 2 次。由于 500ns 以内流场可以被认为是静止的,因此通过 ICCD 相机 1-8 的控制软件将两次快门间隔时间设置为 450ns,并且两次快门宽度相同,从而保证燃烧室背景光和 CH 自由基荧光信号是对同一瞬态流场进行采集。利用脉冲同步发生器 1-9 将 ICCD 相机 1-8 第二次快门开启与片状激发光设为同步,同时利用脉冲同步发生器 1-10 将高速相机 1-18 的快门与脉冲光源 1-11 同步。

[0026] 如图 2 所示,高速相机 1-18 快门时间设置为 $30\ \mu\text{s}$,能够同步捕捉到脉冲光源 1-11 的脉冲;ICCD 相机 1-8 设置为双图像采集模式。由于 CH 荧光信号较弱,所以快门时间过长会降低 CH-PLIF 探测信噪比。同时又要保证 CH 自由基充分吸收激发光能量,因此快门时间应大于 10ns 并小于 40ns。两次快门时间均设为 30ns,并且第二次快门开启时可以同步捕捉到片状激发光脉冲;由于 500ns 以内流场可以被认为是静止的,脉冲光源 1-11 的脉冲与片状激发光的脉冲间隔不足 100ns,从而实现脉冲纹影与 CH-PLIF 同步采集。

[0027] ICCD 相机 1-8 的快门第一次开启时拍到的图像为没有激发光时燃烧场的背景信号及暗电流,而快门第二次开启时拍到的图像除了含有背景信号和暗电流外还有 CH 自由基受激产生的荧光信号,两张图像作差即可扣除背景得到 CH 自由基浓度场图像,即超声速燃烧场的火焰结构图像。将高速相机 1-18 拍摄到的流场结构纹影图像与 CH-PLIF 拍摄到的同一瞬态的火焰结构图像,根据其在燃烧室 1-4 内部的空间几何位置关系利用 Photoshop 软件进行叠加,并将火焰结构图像透明化,从而得到同步测量碳氢燃料超声速燃烧过程流场与火焰结构的叠加图像,如图 3 所示。

[0028] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。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。

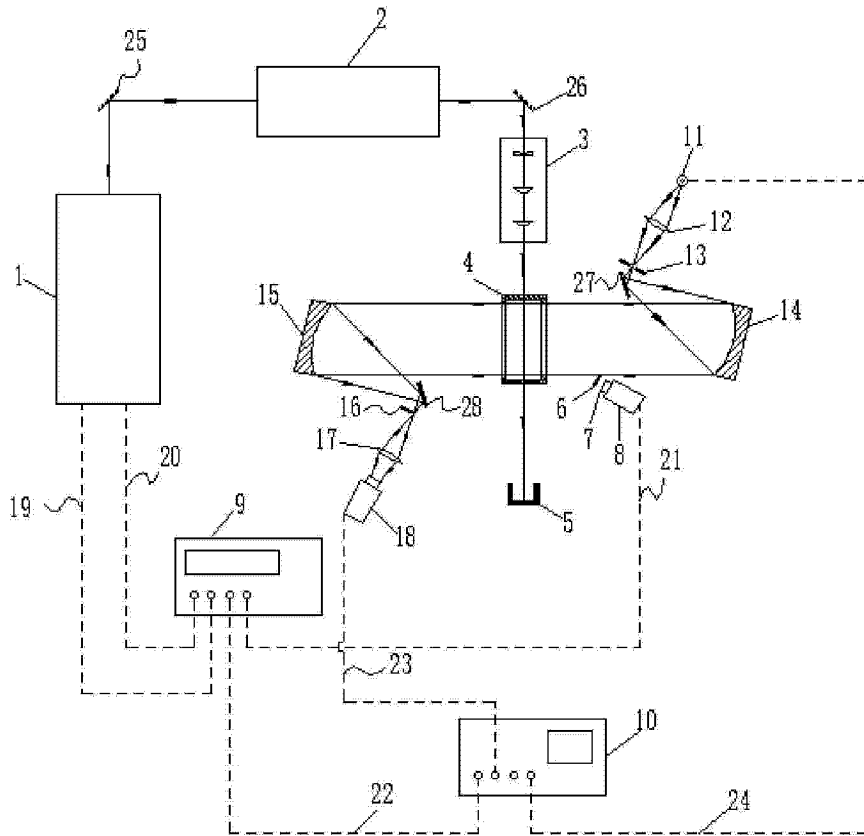


图 1

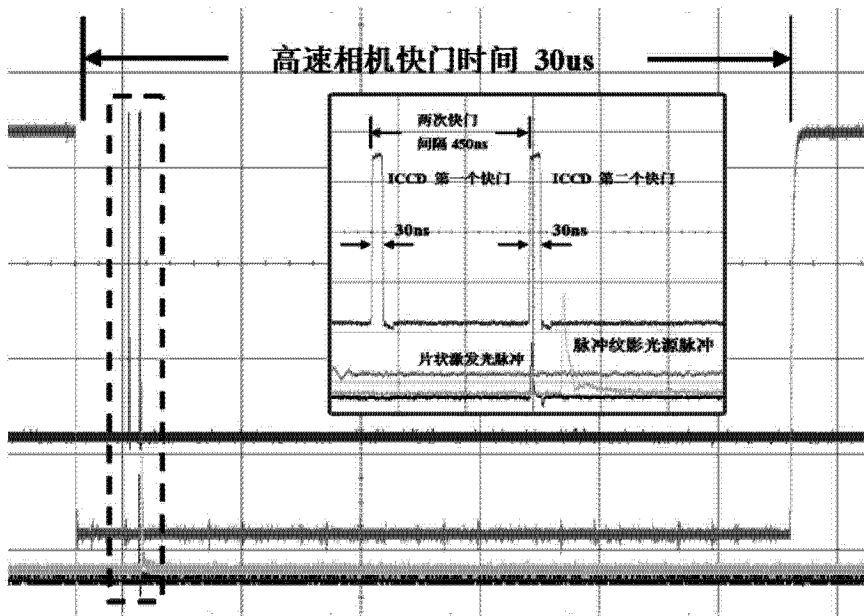


图 2

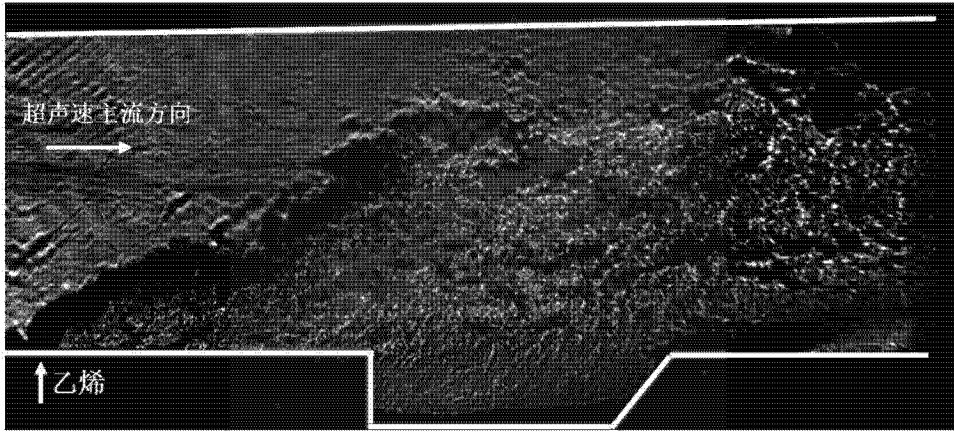


图 3