

障碍物扰动对预混气点火的影响

尤 寒 余立新 孙文超 盛宏至

(中国科学院力学研究所, 北京 100080)

摘要 在一根半开口管道中, 以乙炔为燃料, 改变当量比和进气速度, 实验研究了障碍物扰动对预混气点火的影响。实验表明, 在小当量比情况下, 在没有障碍物的光管中, 随着进气速度的增加, 点火所需要的当量比逐渐减小, 回火区域逐渐增大。而添加障碍物后, 回火区域的位置和点火所需要的当量比相对来说比较稳定, 基本不随进气速度的增加而大幅度变化。并且由于障碍物引起的扰动使得点火所需要的当量比比无障碍物时大得多。

关键词 点火; 障碍物扰动; 回火

中图分类号: TK16 **文献标识码**: A **文章编号**: 0253-231X(2005)05-0897-03

INFLUENCE OF OBSTACLE-PRODUCED TURBULENCE ON
IGNITION OF PREMIXED COMBUSTIBLE GAS

YOU Han YU Li-Xin SUN Wen-Chao SHENG Hong-Zhi

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract An investigation of influence of obstacle-produced turbulence on ignition of premixed combustible gas has been studied with the fuel acetylene (C_2H_2). The experiments were been carried out in a semi-open tube by changing air-fuel ratio and intake speed. It was shown that in the smooth tubes without any obstacle, with the increasing intake speed, the area of backfire widened and the air-fuel ratio needed decreased; there are no significant changes in location of backfire region and of the air-fuel ratio with the increasing intake speed in the obstructed tube; the air-fuel ratio needed for ignition in the obstructed tube is higher than that in the smooth tube.

Key words ignition; obstacle-produced turbulence; backfire

1 前 言

电火花点火过程本身就比较复杂, 是化学动力学因素和流体力学因素相互作用的结果。无化学反应的湍流已经非常复杂, 如果研究添加了强扰动源, 增加气流的湍流度下的点火过程, 更会加大研究的难度, 在湍流影响下的化学反应是工程科学中最复杂领域之一。在对点火过程的研究中, 比较多的是内燃机的点火过程的研究, 管道中点火过程的研究非常少。有不少人研究了内燃机气缸内不同的紊流尺度的火焰速度和点火过程中火焰核心形成时期的关系^[1~3]。但是, 内燃机气缸内往往是大尺度的紊流运动, 从 Eichenberger 和 Roberts^[4]的实验来看, 大的涡流对火焰核心的完全形成影响范围比较小。而管道内在点火点前添加障碍物后形成的湍流的尺度要小得多, 这时候湍流扰动对点火的影响将更为

复杂。目前大量的研究集中在点火能量对初始火焰的影响上^[5], 但在实际的点火过程中, 点火能量往往是不变的, 所以混合气性质和流动状况对点火的影响的研究也同样很重要。

在本文的实验中, 改变进气流量和当量比, 并在点火点前放置障碍物, 研究了在半开口管道中各个因素对点火以及点火条件附近区域的影响。

2 实验方案

可燃气和空气按要求比例在预混系统经过充分混合后充满整个管道, 由电火花点燃混合气体形成初始火焰, 进入火焰传播管。火焰传播管为一端接近封闭、一端敞开的钢管, 内径为 $D = 80 \text{ mm}$, 长度为 $L = 2.5 \text{ m}$ 。有两个点火点, 分别位于管道的 5 cm 和 125 cm 处。管内均匀布置障碍物, 阻塞比 BR 为 0.438, 见图 1。实验所使用的可燃气体为乙炔。

收稿日期: 2005-01-24; 修订日期: 2005-06-20

基金项目: 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (No. G1999022305)

作者简介: 尤 寒 (1979-), 男, 浙江宁波人, 硕士研究生, 主要从事气体的燃烧技术的基础研究工作。

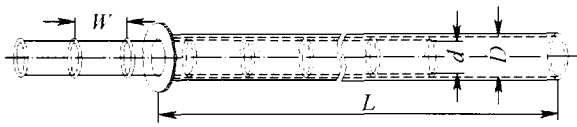


图1 火焰传播管与障碍物排列示意图

在实验中,改变进气流量,根据进气流量求出管道内预混气的平均流速。在某一个确定的流速下,在贫燃极限附近,逐渐提升当量比的大小。随着当量比的提升,从无法点火到可以点火,从回火现象到无回火现象,记录下该流速下各种情况的当量比范围。

3 实验结果和分析

在本文中,当量比定义为 $\phi = \text{实际燃料空气比} / \text{化学当量比}$ 。

对于管道燃烧来说,在预混气的当量比达到一定条件,实现点火过程后,继续增大当量比,有时候会经历一个“回火”过程。在正常情况下,燃烧波迅速发展,在极短暂的时间内结束不稳定的燃烧过程,但是在一定的流速和当量比的情况下,管道内将持续存在稳定的火焰,在工业应用上一般称之为“回火现象”。点火后,火焰向管道两边迅速传播。当传播至进气端时,由于回火防止装置的作用,火焰滞留在该处,形成稳定燃烧。在进入稳定燃烧的情况后,如果火焰传播速度小于可燃混合气的流动速度,火焰前沿就可能被可燃混合气吹走,也就是火焰被吹熄。实际上,这种吹熄现象在管道燃烧中很少出现,在这种当量比条件下,受到管道或障碍物扰动的作用而导致熄火更为常见,很少能传播到进气端。而当火焰传播速度大于等于可燃混合气的流动速度的时候,火焰就会一直滞留在回火防止装置附近,使得管道中存在长时间的稳定的燃烧。但是,当预混气的当量比继续上升,燃烧波的发展和传播也变得更为剧烈,由于同时伴随的巨大的压力波以及快速燃烧导致短时间内燃烧产物成分大于可燃气等情况的影响,向进气端传播的火焰无法在回火防止装置的位置形成稳定的燃烧,迅速熄灭,这样就避免了“回火现象”的发生。

3.1 在无障碍物情况下进气速度对点火的影响

图2是在小当量比的情况下,管道中不存在障碍物时,改变进气速度和当量比,测出不可点火区域,回火区域和无点火现象区域。

实验结果表明,在临界点火当量比附近,随着进气速度的增加,回火区域也慢慢增大。当进气为 0.8 m/s 左右的时候,重复实验得到的结果为有时能成功点火,但观察不到回火现象,有时则不能点火。虽

然这时候不能观察到明显的回火现象,但是由于点火的不稳定性,我们也把这种情况列入回火区域。当进气速度增加到 1.1 m/s 左右的时候,有明显的回火现象的发生,基本上很少出现如进气速度为 0.8 m/s 时的那种或能点火或不能点火的现象。

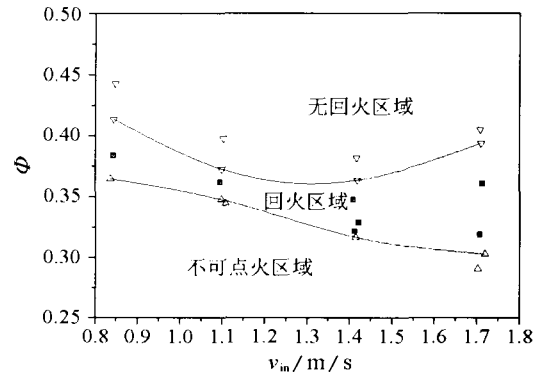


图2 在无障碍物情况下进气速度对点火的影响

随着进气速度的进一步增加,回火现象变成更为明显,回火区域的 ϕ 的范围也逐渐增大。回火区域的增大,表明随着进气速度的增加,在一定的 ϕ 的条件下,压力波逐渐变小。这点从实验现象中就能发现,当进气速度比较小的时候,点燃后压力波在管道中传播发出的声响比较尖锐,随着进气速度的上升,点燃后压力波在管道中传播发出的声响也逐渐变得沉闷。

3.2 在有障碍物情况下进气速度对点火的影响

图3是在小当量比情况下,点火点前存在障碍物时,改变进气速度和当量比,测出不可点火区域,回火区域和无点火现象区域,以及熄灭区域。

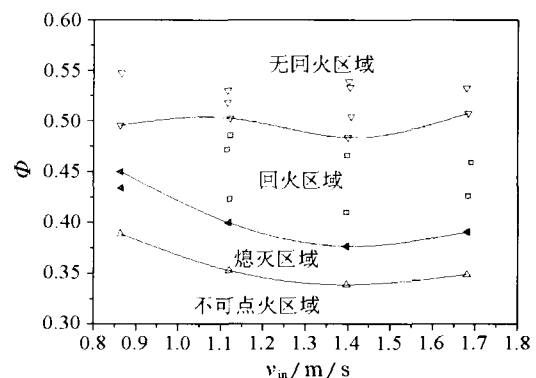


图3 在有障碍物情况下进气速度对点火的影响

实验结果表明,当有障碍物扰动的情况下,明显能看到“熄灭态”的存在,在贫燃极限附近,火焰速度非常低,当火焰穿过障碍物时,由于障碍物引起的扰动和压力损失,火焰不能向前传播,最终熄灭,此即为“熄灭态”。而在图2中,没有明显的“熄灭

态”的一条曲线。虽然壁面的边界层的作用同样可能会使得速度很低的火焰不能向前传播最终熄灭,但是效果远远没有障碍物来得明显。但是有障碍物存在时,与回火区域相比,“熄灭态”的范围依然相当小,存在于 ϕ 为0.4附近。在“熄灭态”出现的时候,在点火点附近的测量点能测量到火焰速度,但是在远离点火点的测量点,有时候根本没有火焰到达的信号,也就是说火焰在传播过程中已经熄灭,即使偶尔能测量到火焰速度,也远远低于正常火焰传播速度。从实验现象来看,在回火区域和不点燃区域之间,能听到火焰点燃时火焰传播的声响,但是随后没有回火现象的产生。

在有障碍物存在的情况下,依然如同无障碍物存在时,当进气速度为0.86 m/s的时候,几乎观察不到回火现象。但是一旦产生回火现象,回火区域相对稳定,主要集中在 $\phi = 0.4 \sim 0.5$ 之间。与无障碍物时比较,没有明显的随着流速的增大,回火区域也随之变大的现象。

3.3 障碍物和流速对点火的影响

从图4中可以发现,在有障碍物存在时,可以点火的 ϕ 要大于无障碍物时的 ϕ 。这是因为当在点火点前存在障碍物时,障碍物对经过的气流有扰动作用,增加了预混气的湍流度。由于湍流的作用会带走部分能量,所以湍流度越大,带走的能量也就越多,同样点火也就越困难。湍流度的增加,使得点火变得困难,所以不得不增大 ϕ 来增强反应放热的作用。

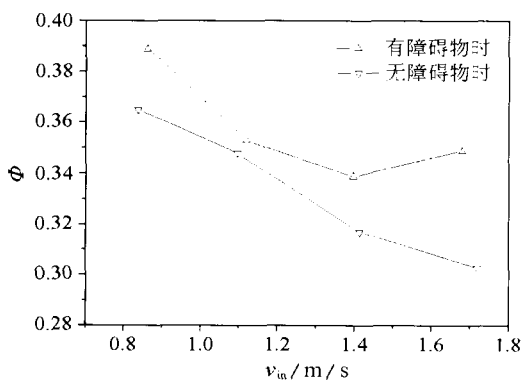


图4 有无障碍物时点火区域的下限

在有障碍物存在时,当出现回火现象以后,点火区域(包括“熄灭态”)的下限变得基本稳定,并没有单调递降现象。所以障碍物的扰动作用,点火

点处气体的湍流度对点火的影响变成了主要因素。预混气体的流速越大,气体穿过障碍物后的湍流度也就越大,流速对点火起促进作用,而湍流度对点火则起抑止作用,所以在流速和湍流度的双重作用下, ϕ 的下限变得相对稳定。

4 结 论

在本文中,研究了在有障碍物情况下,临界点火当量比附近,随着当量比的增加,对点火的影响。有以下结论:

(1) 在没有障碍物的光管中,随着进气速度的增加,回火区域逐渐增加。由于进气速度增加后点火所需要的 ϕ 的下限逐渐变小,所以进气速度对点火最终起促进作用。

(2) 当点火点前有障碍物存在时,进气在受到障碍物扰动的情况下,点火所需要的最小当量比比不存在障碍物时要大,也就是障碍物的存在增加了点火的难度。

(3) 当进气速度足够小时,无论是否存在障碍物,都观察不到明显的回火现象。

(4) 在有障碍物存在时,进气速度对点火的影响除了和光管时相同的部分外,因为障碍物的存在,可燃气体在点火点处形成湍流,使得在点火变得困难,而且进气速度越大,湍流度也就越大,最后导致回火区域和最小当量比相对来说比较稳定,随着进气速度的增加无太大变化。

(5) 当有障碍物存在的时候,能明显观察到熄火态,而在无障碍物存在时几乎观察不到。

参 考 文 献

- [1] 史绍熙. 内燃机燃烧研究的现状和动向. 西安交通大学学报, 1994, 28(5): 31-40
- [2] Daneshyar H, Hill P G. The Structure of Small-scale Turbulence and its Effect on Combustion in Spark Ignition Engines. Progress in energy and combustion science, 1987, 13: 47-73
- [3] 王达三, 赵惠富等. 旋转活塞发动机内部工作过程的研究(下). 力学学报, 1978, (1): 53-63
- [4] D A Eichenberger, W L Roberts. Effect of Unsteady Stretch on Spark-Ignited Flame Kernel Survival. Combustion and Flame, 1999, 118: 469-478
- [5] John R Overley, Knowles A Overholser. Calculation of Minimum Ignition Energy and Time Dependent Laminar Flame Profiles. Combust and Flame, 1978, 31: 69-83