

煤油-空气预混气的催化 点火试验研究

王子川 林国华 王绪立 齐香泉

摘 要

本文介绍以负载型钨为催化剂的煤油-空气预混气的催化点火试验研究。在不同的进气条件、催化床材料、隔热材料下获得了相应的催化点火特性；解决了低燃油流量下的雾化装置设计及其实用性，并获得催化点火的最低来流温度和最小点火延迟时间。试验结果还得到了大密度煤油的一系列催化点火特性。

一、前 言

以煤油为燃料的催化点火试验研究表明，点火温度都在 $400\sim 500^{\circ}\text{C}$ 以上，并且都采用贵金属铂、铑作为催化剂及其载体。为探索国产催化剂钨应用的可能性，而进行了以钨为催化剂的煤油-空气预混气的催化点火试验研究。

试验所采用的低流量燃油气动雾化装置圆满地解决了所需的煤油-空气预混气。通过大量试验证实以蜂窝状耐热合金为载体的负载型钨催化剂，用在以航空煤油-空气为介质的催化点火试验中，成功地进行了高速($15\sim 20\text{m/s}$)、低温($280\sim 300^{\circ}\text{C}$)的点火试验。为使催化床有更好的综合性能，本试验对耐热不锈钢载体、颗粒状碳化物载体进行了研究。这些载体具有导热性好、热容量小、热强度高、成本低、工艺性能好等优点。大密度煤油(密度为 920kg/m^3)的催化点火试验结果表明，不仅燃油雾化装置设计良好，而且也达到催化点火的相应指标。

二、试验设备及测量

煤油-空气预混气的催化点火试验设备系统见图1。

气流是双级活塞式空压机1(吸气量为 $6\text{m}^3/\text{min}$ ，出口压力 $78.4532\times 10^4\text{Pa}$ (表压))连续供气，然后由节流阀<1>，<2>分配放空和进入加温电炉4的空气流量。

电加热炉对试验用空气进行无污染的加温，出口空气温度最高可达 700°C ，总功率为 $3\times 40\text{kW}$ ，热效率大于95%，是北京航空学院研制的产品。由配套的可控硅调压器3实现电炉出口空气温度的手动调节或自动调节，而用高温节流阀<3>对进入催化点火器的空气流量进行调整。进入点火器的空气流量用双重孔板流量计5进行计量。燃油由 $58.8399\times 10^4\text{Pa}$ 的压缩空气从油箱8中挤出，经液体浮子流量计7计量流量后由电磁阀<1>、<2>控制燃油切换放空或进入雾化装置6。

点火延迟时间由与切换电磁阀<1>、<2>并接的电秒表记录。另外还配置两块电子秒

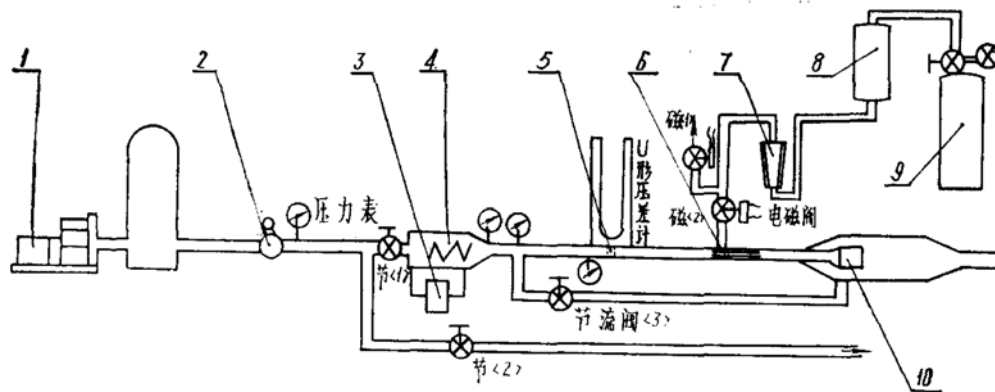


图1 催化点火试验系统原理图

1.空压机 2.调压阀 3.可控硅温控仪 4.电加热炉 5.孔板流量计 6.雾化装置 7.浮子流量计 8.燃油箱 9.高压气瓶 10.催化点火器

表，一块秒表同时测定点火延迟时间。

三、催化点火器及催化床体

催化点火器(图2)由进气锥1、壳体2、催化床3等组成。煤油-空气预混气从进气锥前进入催化床体，着火后火焰从壳体出口喷出

试验用载体有不锈钢波纹板、波纹网及颗粒碳化物等。

催化剂是北京工业大学环化系的科研成果，试验用的催化床由北京工业大学环化系浸镀。

试验催化床置于300℃的烘箱内活化处理3小时。

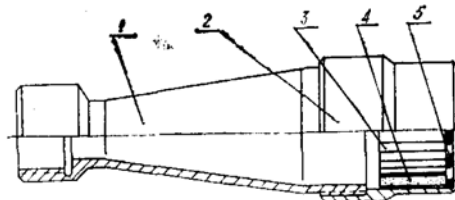


图2 催化点火器

1.进气锥 2.点火器壳体
3.催化床 4.外套 5.挡板

四、试验结果

本试验为常压下的催化点火试验，定点试验温度为300℃。试验结果见图3~图6。

1. 随着催化床进口温度的提高，点火延迟时间缩短。航空煤油和大密度煤油有相同的

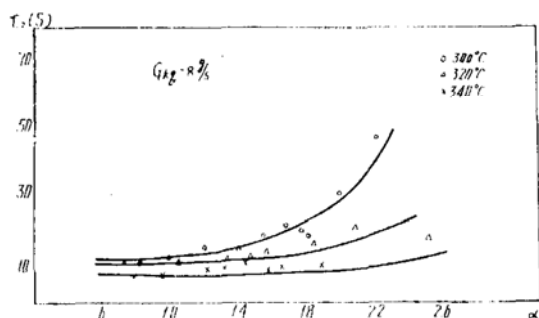


图3-1 点火延迟时间 τ 随余气系数 α 的变化关系

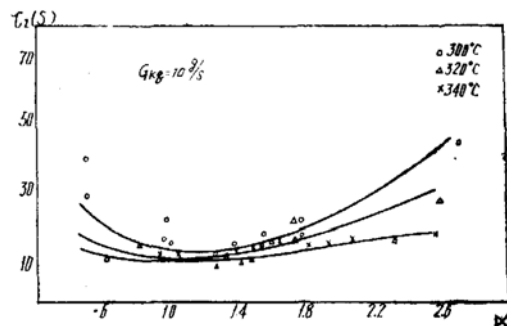


图 3-2

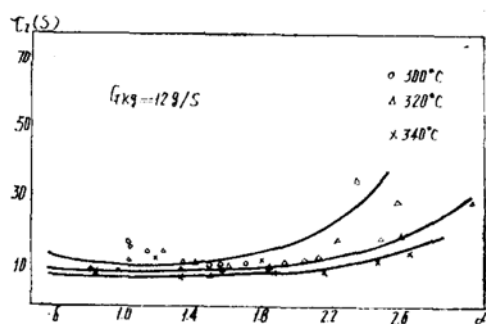


图 3-3

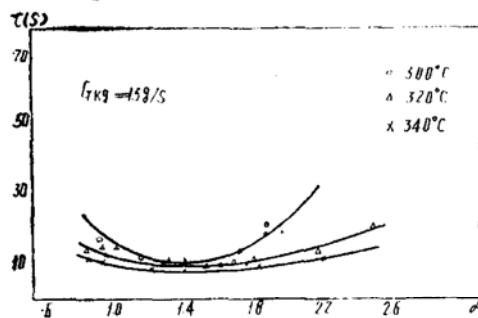


图 3-4

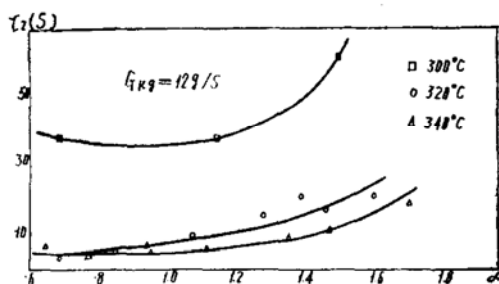


图 4 载体为波纹板的大密度煤油点火特性

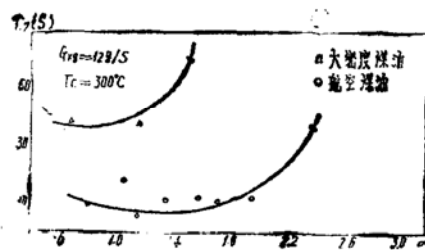


图 5-1

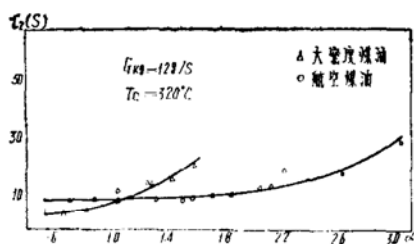


图 5-2

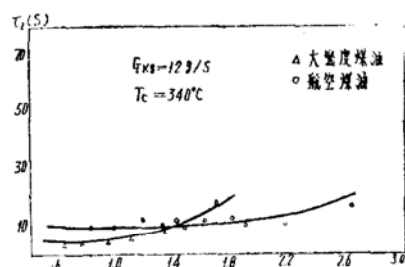


图 5-3

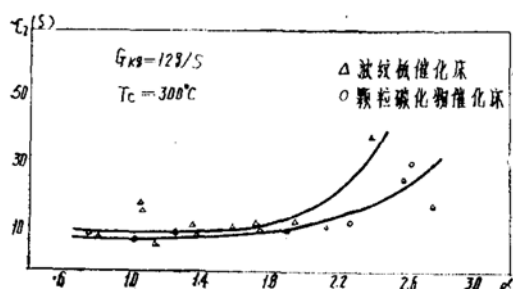


图 6

试验结果。

2. 在一定的余气系数 α 范围内,本催化点火器能可靠着火,并能找出贫富油着火边界。试验用催化剂在用于航空煤油和大密度煤油为燃料的点火试验中具有较宽的点火范围 $\alpha = 0.5 \sim 3.0$ 。

3. 随着催化床进口温度的降低,催化点火的贫富油着火极限范围变窄。

4. 最小着火延迟时间处于 $\alpha = 0.8 \sim 1.2$ 范围内,基本符合均质混气着火规律。航空煤油及大密度煤油的点火试验都体现这一规律。

5. 本试验中进气流速变化对点火延迟时间的影响不明显。(本试验的流速范围为 $15 \sim 20 \text{ m/s}$ 。)

放空或进入雾化装置6。

点火延迟时间由与切换电磁阀<1>、<2>并接的电秒表记录。另外还配置两块电子秒

7. 催化载体的材料和结构对点火性能的影响。

(1) 载体比表面大对点火有利。不锈钢波纹网和颗粒碳化物有较大的比表面, 对点火有利, 所以点火性能较好。

为了增加载体的比表面, 在载体上涂覆一层 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 薄膜。涂覆 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 层之后, 催化剂比表面大为增加。试验表明, 点火延迟时间缩短, 但比表面增大有一个极限, 超过该极限再增加比表面, 不仅不会缩短点火延迟时间, 相反地, 还可能延长点火延迟时间^[8]。

(2) 催化载体材料的影响: 金属的导热性好, 热容量小, 故点火延迟时间短, 但不耐高温。颗粒碳化物兼有耐高温的特点, 用于点火器较理想。

(3) 催化床长度的影响: 载体愈长, 混气与催化床表面接触的时间愈长。但其长度只要满足反应物所需吸附时间即可。经加长一倍的催化床点火试验结果证明, 本试验所用催化床长度已满足点火要求。

五、结果与讨论

催化反应机理的研究结果表明, 氧化催化反应是按多相-均相机理进行的。预混气经过催化剂表面时被催化剂表面吸附, 催化剂表面的原子与被吸附分子发生强烈的作用, 使反应物分子内原子间连系减弱, 并使反应物分子变为原子状态, 于是反应物的活性增加, 被吸附的分子起反应的活化能减小, 化学反应就容易发生。化学反应放出的大量的热, 除去损失部分外, 用于提高催化表面和脱附并扩散到主流区的反应物的温度。当热量聚集达到反应自动加速时即谓着火。在混气初始条件满足着火条件的前提下由开始反应(吸附作用开始)至燃烧出现所需的时间为着火延迟时间^[5](本文记作 τ_E)。试验结果证明, 并不是产生催化反应的催化床和反应物都能使混气着火的。在催化反应中热量聚集未达到足以使混气着火所需的能量时, 混气不着火。该结果与文献^[4]的结果是一致的。

着火过程是: 供燃料后, 催化反应立即产生, 催化床开始升温, 之后, 床体变成樱桃红色, 接着床体迅速升温, 混气着火, 火焰从出口喷出, 并伴有响声。

不着火过程是: 供燃料后, 催化反应立即产生, 催化床开始升温, 床体变成樱桃红色, 以后床体未见明显升温, 混气未着火。

试验结果证实, 催化反应迅速, 一般都具备条件。就燃烧反应, 即所谓着火条件并不是都具备的。着火的内在原因是燃烧反应动力学的特点以及反应动力学因素和流体力学因素相互作用的结果。在某些简单的情况下, 上述催化反应——着火过程可建立一简易模型——有催化反应的炽热平板点燃的模型, 即把催化反应后呈樱桃红色的催化床看成一炽热平板。然后再考察混气流过炽热板时的点燃问题。其结果是, 点火延迟期和进口温度、反应热、反应速率、炽热板温度以及反应物的活化能等有关。所以点燃实质上是上述诸因素综合影响的结果。但是, 催化点火的内在因素是反应物的活化能降低, 而其它因素则是外在因素(包括伴随结果)。

根据上述着火条件而定性地分析几种因素对点火延迟时间的影响:

1. 催化床进口温度的影响: 催化床进口温度也是催化剂表面的起始温度。这个温度愈低则点火愈困难。在进气温度高于最低点火进口温度时热平衡对着火有利; 混气能着火; 当进气温度低于最低点火进口温度时热平衡对着火不利, 虽然存在催化反应, 但不具备着火条件。

2. 混气流速的影响: 流速增大, 单位时间内通过催化剂表面的混气量增大, 加速了传质, 即加快了反应物在催化剂表面的吸附、反应和解吸的整个过程, 因而点火延迟时间缩短。由于流速增大, 热传导率增大, 则延长点火延迟时间。所以混气流速的影响是上述两因素综合作用的结果。本试验所取的流速范围为 $15\sim 20\text{m/s}$, 流速较高, 故不是本系统的控制环节。

3. 余气系数 α 的影响: 依据均质混气的着火规律, 最小延迟时间大都分布在 $\alpha = 0.9\sim 1.1$ 之间。这一结论对全尺寸燃烧室的催化点火试验研究是很有意义的。因为对全尺寸燃烧室来说, 重要参数是局部油气比而不是总油气比。所以, 为了确保最小点火延迟时间, 必须使催化床局部的油气比保持在恰当当量比的条件下。这在工程实用上是能够做到的。在贫油情况下, 由于参加反应的燃油减少, 反应热亦相应减少, 于是热量聚集时间增加, 点火延迟时间亦增加。当燃油减少到某一值时, 反应热聚集达不到足以使混气着火所需能量时, 混气不着火, 此时油气比为贫油着火极限。反之, 在富油情况下, 由于雾化良好, 其吸热作用不大, 故点火延迟时间与恰当比时相比较无明显差别。

4. 催化床的隔热: 为了减小点火延迟时间, 必须尽量减少反应热的损失。为此, 必须将催化床体进行隔热。本试验采用的两种隔热方法证实该措施是有效的。

5. 催化载体的材料性能: 同样地, 为了缩短点火延迟时间, 催化载体的材料性能必须具备热容量小、导热性能好、热强度高以及比表面大等特点。本试验通过对陶瓷、金属薄板、金属丝网以及颗粒碳化物等载体的综合比较, 认为颗粒碳化物用于点火方面较好; 而不锈钢波纹网(或板)用于燃烧方面较好。

六、结 论

1. 解决了以煤油为燃料的催化点火试验中雾化掺混的问题。这就为整个煤油-空气催化点火试验过程提供必要的前提。

2. 采用负载型钯作为催化剂, 其载体具有来源丰富、成本低、性能好等优点, 有较广阔的前途。它同时适用于丙烷、航空煤油和大密度煤油作为催化剂。

3. 以负载型钯作为催化剂, 对其大密度煤油的催化点火试验结果表明, 本燃油雾化装置的设计良好, 有宽广的富油极限范围, 对以冲压发动机为动力装置将具有新的应用前景。

4. 本文的催化点火所达到的水平

着火来流温度 $280\sim 300^\circ\text{C}$;

最小点火延迟时间 $\tau_E = 1.2\text{s}$ (进气温度为 300°C);

寿命: 不锈钢波纹板点火试验一百多次, 其性能无明显变化;

连续工作寿命 $\sim 28\text{s}$ 。

5. 本试验所用负载型催化剂钯在空气喷气发动机的点火和燃烧方面具有实用价值。

参 考 文 献

1. 催化点火. 南京航空学院 77.3.
2. 李琬等: 催化作用. 北京工业大学 80.
3. Investigation of catalytic ignition of JP-5 and air mixtures. Journal of Aircraft, Vol.3, No.2. 1966.

4. Rosfiord, Thomas, J.; Catalytic combustors for gas turbine engines. AIAA Paper № 76—46.
5. 周力行: 燃烧物理及反应流体力学. 清华大学 80.6.
6. Surface combustion of hydrogen, part 1: On platinum coated alumina. A. I. Ch, E. J. Vol. 10, № 5. 1964.
7. 催化点火器试验研究. 科学院力学所、航天部卅一所. 1979.
8. 李琬等: 低温快速点火催化剂的研究. 北京工业大学环保研究室, 1984. 10.

(上接第40页)

参 考 文 献

- 〔1〕《国外导弹技术》。1977年第6期。
- 〔2〕N72—23804
- 〔3〕《航天技术》。1977年第1期。