

WZ-5 燃烧半水煤气并注水蒸汽的试验

北京航空航天大学
航空航天部 614 研究所

刘高恩* * 王华芳
钱研生

【摘要】 提供了常压下, 在 WZ-5 燃烧试验台上, 采用中热值半水煤气为燃料的, 向燃烧室喷水蒸汽的各种方案的试验研究。研究了烧中热值燃料的燃烧性能以及在燃烧室中注入水蒸汽增加工质及增大燃气比热, 在燃烧室高温区中注入水蒸汽, 降低温度抑制 NO_x 的生成。

关键词: 半水煤气 注入水蒸汽 试验

1 常压 WZ-5 燃烧台上的注水实验

试验系统见图 1。水蒸汽注入系统包括有水汽分离器, 高温电磁阀, 气动薄膜调压阀, 流量测量装置, 前后排蒸汽控制阀及蒸汽导管等。水蒸汽注入燃烧室方式分前后二排, 后排是指在燃烧室掺混孔的位置注入, 其优点是对上游主燃区的工作状态影响极小, 因此对点火, 稳定工作范围及燃烧效率等均不会有大的影响, 缺点是掺混时间短, 可能会影响出口温度分布均匀性。从前排注入水蒸汽是指在主燃区之前, 它会影响主燃区的工作, 水蒸汽在主燃区的

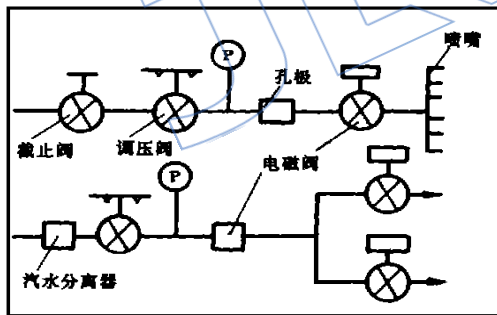


图 1 水蒸汽注入系统

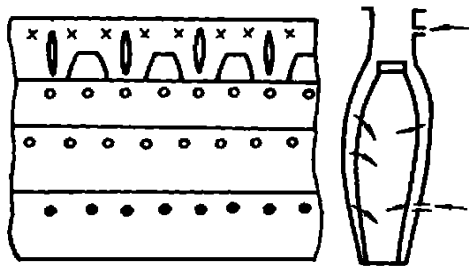


图 2 水蒸汽注入示意图

加入, 理论上会使燃烧效率变差, 也会使燃烧不稳定变剧, 但对污染物质 NO_x 的生成起抑制作用。同时水蒸汽在燃烧室内与热燃气的掺混时间较长, 出口温度分布相对会好些。这些理论分析须经实验验证。为了得到较好的出口温度分布, 水蒸汽的注入在周向、径向应尽可能均匀。WZ-5 是环形燃烧室, 具体注入方式由图 2 说明 (符号 $\times$ 为前排蒸汽注入位置, 16 根, $\Phi 19$; $\otimes$ 为后排蒸汽注入位置, 22 根, $\Phi 19$)。水蒸汽由焊在燃烧室外壳上的导管注入, 前排

共 16 根导管, 后排为 22 根导管, 后排的入口恰好对着火焰筒的掺混孔。此设计可避免不利的周向流动。导管内径均为 19mm, 喷入水蒸汽的流速约为 50 ~ 100kg/s。前排 16 根导管位置是在燃烧室 8 个支板之间。通过燃烧室的内环进入火焰筒。后排是通过外环将水蒸汽注入到火焰筒, 水蒸汽压力为 599kPa ~ 784kPa。

2 试验结果

试验的喷嘴形式有两组, 一组为“圆头六孔”孔径为 6.8mm^[1]。另一组为“圆头六孔加大”; 即在原来的圆头六孔喷嘴的基础上将下部的二个喷孔扩大成椭圆形, 目的是为了改善出口温度

分布, 实验取得结果如下: (1) 点火范围宽广, 气流量在 1.1 ~ 1.2kg/s 时 (正常要求为 0.6 ~ 1.0kg/s), 按燃烧室温升为 400 ~ 600 的燃料量, 开启点火器都能可靠点燃。(2) 燃烧效率影响不大。水蒸汽的注入对燃烧效率略有影响, 下降很小影响不大。效率均超过 98%, 见图 3 (实心符号为“圆头六孔加大”, 空心符号为“圆头六孔”)。(3) 出口温度分布 $P \cdot F_{max}$ 及 $R \cdot P \cdot F_{max}$ 。

$P \cdot F_{max}$ 表示全场中最高温度对全场平均温度之差与燃烧室温升之比值。是影响涡轮静叶强度的参数。 $R \cdot P \cdot F_{max}$ 是指某个半径上沿周向平均温度对全场平均温度之差与燃烧室温升 ΔT 之比值。这是影响涡轮转子叶片的参数。由表 1 可见, $R \cdot P \cdot F_{max}$ 基本上都能满足要求 (< 0.06)。表中注脚 f 代表燃料气, a 代表空气, s 为水蒸汽。

$P \cdot F_{max}$ 的数值见表 1, 在图 4 (V_f 为燃料汽喷嘴出口速度, 数据点上注的值为水蒸汽与空气量之比) 上可见其变化趋势与规律, 横座标没有采用燃烧室温升而用燃料气的流量, 是考虑喷嘴出口处的燃料气喷射速度对出口的 $P \cdot F_{max}$ 有较大的影响, 且同样 ΔT 时, 注入水蒸汽的燃料喷射速度比不注水蒸汽的要大。由图 4 可见随着燃料量的增加, $P \cdot F_{max}$ 也增加。蒸汽注入量的加大也会使 $P \cdot F_{max}$ 增大, 而注入方式无论是前排; 后排或前后排同时注入对 $P \cdot F_{max}$ 基本上无影响。WZ-5 发动机对燃烧室出口温度分布要求 $P \cdot F_{max} \leq 0.25$ (其时 $\Delta T = 450$, 相应于模拟条件时 $G_f \leq 0.072\text{kg/s}$), 可见所试验的燃烧室及蒸汽注入系统所得到的 $P \cdot F_{max}$ 在 $G_s/G_a < 5\%$ 时是能满足要求的。应当说明的是模拟实验是按 $q(\lambda)$ 及 ΔT 相同的原则。这时模拟的燃料喷射速度是发动机实际工况燃料喷射速度的 1.3 倍。所以试验的结果更为有利。

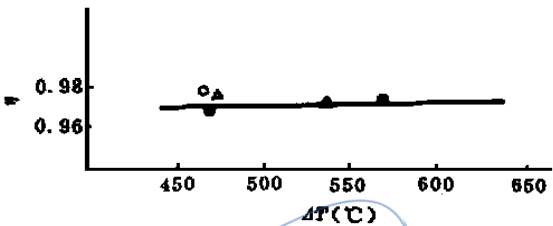


图 3 燃烧效率与注水的关系

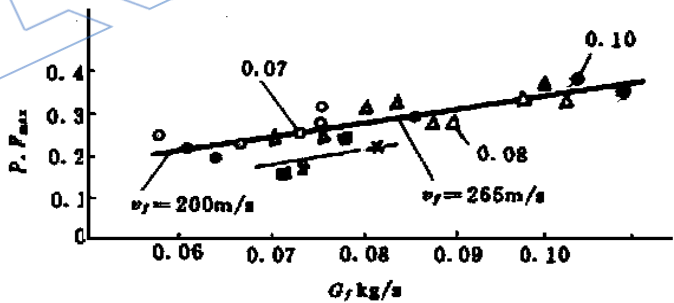


图 4 $P \cdot F_{max}$ 随注入水蒸汽的变化

- 不喷水蒸汽, 加大型喷嘴 ● 前后排均喷水蒸汽, 加大型喷嘴
- 后排喷水蒸汽, 加大型喷嘴 ▲ 前排喷水蒸汽, 加大型喷嘴
- 前排喷水蒸汽, 原型 6 孔喷嘴 × 后排喷水蒸汽, 原型 6 孔喷嘴

表 1 出口温度分布*

型式	序号	G_s (kg/s)	G_a (kg/s)	G_f (kg/s)	ΔT ()	$P \cdot F_{max}$	$R \cdot P \cdot F_{max}$
圆 头 六 孔 加 大	1	0.141	2.76	0.076	442	0.26	0.052
	2	0.141	2.80	0.082	488	0.33	0.055
	3	0.194	2.80	0.079	473	0.31	0.053
	4	0.194	2.80	0.080	467	0.27	0.054
	5	0.234	2.81	0.103	547	0.33	0.057
	6	0.238	2.81	0.097	484	0.32	0.054
	7	0.24	2.82	0.070	461	0.26	0.052
	8	0.19	2.81	0.073	486	0.28	0.064
	9	0.287	2.77	0.111	555	0.37	0.059
	10	0.289	2.72	0.103	536	0.37	0.052
	11	0.237	2.72	0.086	521	0.27	0.042
	12	0.262	2.74	0.100	539	0.36	0.072
圆 头 六 孔	1	0.204	2.76	0.081	480	0.23	0.050
	2	0.204	2.76	0.074	457	0.19	0.024
	3	0.204	2.72	0.072	473	0.24	0.050
	4	0.204	2.72	0.072	461	0.18	0.048

* 注：圆头六孔加大 1~7 为后排注入水蒸汽，8~10 为前后排注入，11~12 为前排注入。
圆头六孔 1~2 为后排注入，3~4 为前排注入。

3 结 论

(1) WZ-5 发动机燃烧室燃烧热值为 8000kJ/m^3 的半水煤气(容积成份为 H_2 为 68%， CH_4 为 3%， N_2 为 29%，热值为 8402kJ/m^3)，在不改变涡流器的情况下，其燃烧性能是可以接受的。

(2) 燃烧空中注入水蒸汽，只要合理地设计安排，对燃烧效率影响不大。

(3) 注入水蒸汽对出口温度分布有一定影响，随着蒸汽量加大，温度分布会变差，主要原因并非蒸汽掺混造成的，而是因为要维持同样的燃烧室中温升，注入水蒸汽后需要给更多的燃料气导致过高的燃料气喷射速度所造成的。

(4) 注入的蒸汽量少于燃烧室空气量的 5% 时，出口温度分布可接受(圆头六孔喷嘴较好)，当注入量再进一步增加时，该燃烧室出口温度分布的指标就不能被接受了。如要进一步改善出口温度分布就须加大喷嘴及修改扰流器。

(5) 采用“圆头六孔加大”喷嘴，试验所得出的温度分布没有“圆头六孔”的好，原因是喷口几何不均匀所造成的。

(6) 前排，后排或前后排同时喷射水蒸汽对燃烧性能的影响差别不大。

参 考 文 献

1 刘高恩，王华芳. WZ-5 发动机改用中热值气体燃料. 航空动力学报, 1988, 3 (2): 127

power is enhanced. Therefore, the engine meets the requirements for long-time operation when it serves as a power plant in varied ground industrial complex. The practice of its usage has shown that the modified WZ- 5 is of considerable economic and social benefits.

PRELIMINARY RESEARCH OF STEAM INJECTION FOR WZ-5 AEROENGINE COMBUSTOR

Liu Gaoen and Wang Huafang

(*Beijing University of Aeronautics and Astronautics*)

Qian Yanshen (*Wuxi Gas Turbine Research Institute*)

ABSTRACT

The experimental investigation has been carried out at atomospheric testing rig to determine the effect of steam injection on combustion performance. The combustor used in the experiment was a modified WZ-5 annular combustor in which two steam injection sets were installed in the front and rear parts respectively. The tested fuel was gaseous fuel with medium heating value. The results show that steam injection had no impact on combustion efficiency and exit temperature pattern when the mass injection ratio (steam mass flow rate/ air flow rate) is less than 5%. The exit temperature pattern factor increases and exceeds the acceptable value 0.25 to 0.30, as the steam mass injection ratio increases to about 10%. In addition, the test results also show that the process of the front part injection must be conducted smoothly, otherwise extinction of burning would occur.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF LOW BTU COAL GAS COMBUSTION

Xiao Tongfu and Chen Dongwang

(*Nanhua Powerplant Research Institute*)

ABSTRACT

Experimental investigation of an gas turbine combustor adapted to coal gas with heat value over $2500\text{kJ}/\text{Nm}^3$ has been completed at all operation conditions. Test results show that the configuration of the chamber head with double swirlers provides high combustion efficiency and wide stable operation range when excess air coefficient of head (α) is in the range of 0.731 to 0.925. Carbon monoxide emission is confined within the required limits.

PREDICTION OF LNG DENSITIES WITH PRINCIPLE OF CORRESPONDING STATE OF SHAPE FACTOR

You Lixin (*Nanjing Aeronautical Institute*)

Gu Anzhong (*Shanghai Jiaotong University*)

ABSTRACT

The principle of corresponding state of shape factor is applied to predicting the densities of LNG. For instance, methane is chosen as a reference fluid, high-precision equation of state and suitable binary interaction parameters are adopted. The comparison between calculations and experiments shows that the numerical results are in good agreement with the experimental data, so the method presented meets the requirements of the high-precision calculation for LNG densities, and it is also a success in prediction of thermal properties of cryogenic liquid mixtures with the principle of corresponding state of shape factor.