

低发热量煤气燃烧实验研究

株洲南华动力机械研究所 肖同福* * 陈东旺

【摘要】 本文介绍了燃气涡轮发动机燃烧室燃用 2500kJ/NM³ 以上的低发热量煤气的试验结果。对燃烧室不同结构和不同煤气热值下的燃烧性能进行了探索。试验表明, 该航机改型燃烧室具有燃烧稳定、燃烧效率高、点火可靠、出口温度分布均匀及 CO 排放量低等特点。

关键词: 燃气涡轮发动机 燃烧室 煤气 试验研究

1 前 言

基于我国低发热量煤气蕴藏丰富又急需开发利用, 为此采用航机改型燃烧室进行了低发热量煤气燃烧试验研究。燃料为发生炉煤气, 用 N₂ 稀释获得低于 5861kJ/NM³ 的煤气。其可燃成份为 CO 和 H₂, 少量的 CH₄, 其 CO/H₂ 约为 1.34 左右, 不可燃成份主要是 N₂ 和少量的 CO₂。本文在燃机的典型工况下, 改变燃烧室的有关结构, 研究不同热值煤气的燃烧性能, 其 η 一般在 0.99 以上, 启动点火可靠, 燃烧稳定, 不易熄火, 出口温度场和排气污染均满足要求。

2 燃烧室结构对低发热量煤气燃烧的影响

2. 1 煤气旋流器 (喷嘴) 的影响

参照美国 GE 公司的经验将煤气喷嘴设计成煤气旋流器, 并置于安装角为 30 的空气旋流器的里边, 煤气旋流器安装角为 40°; 试验表明当煤气喷射压比一定时, 煤气热值越低, 煤气旋流器面积越大。煤气热值一定时, 喷射压比取 1.30 左右较为合适, 因为压比太高经济性太差, 太低燃烧稳定性差, 而且可能回火。

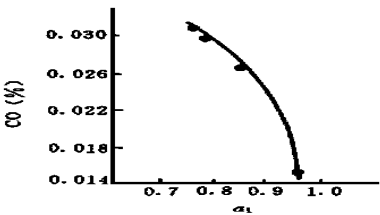


图 1 CO 排放量与头部余气系数的关系

2. 2 空气旋流器结构对燃烧性能的影响

本试验中, 空气旋流器的安装角和外环直径可以改变。结果见表 1 和图 1。由表 1 可知旋流器外环直径增大, 头部进气量增加, 头部余气系数

表 1 空气旋流器进气量对燃烧性能的影响

外环直径 (mm)	Φ81			Φ84			Φ90		
α	6.34	7.28	8.02	6.26	7.45	8.24	6.51	7.57	8.22
η	0.9902	0.9911	0.9915	0.9929	0.9912	0.9911	0.9937	0.9911	0.9910
δ	0.1231	0.1179	0.1246	0.1702	0.1250	0.1802	0.1312	0.1237	0.1207

α 增加, 燃烧效率和温度场都比较好, 说明该组旋流器结构合理。但图 1 表明旋流器进气面积减少, CO 的排放量有所增加。研究表明, $\alpha = 0.731 \sim 0.925$ 较为合适, 此时可获得较好的温度场, 高的燃烧效率, 低的 CO 排放量。

试验中, 空气旋流器安装角选用了 60° 、 30° ; 其目的是研究煤气与空气的混合程度与燃烧稳定性。研究表明, 安装角加大后涡强数由 0.51 增加到 1.54, 燃烧性能改善不多。要使煤气与空气混合均匀, 除涡强数要足够大以外, 还必须使煤气旋流器安装角大于空气旋流器安装角。因此煤气旋流器安装角选为 40° ; 空气旋流器安装角选为 30° ; 结果比较满意。

2. 3 主燃孔进气量对燃烧性能的影响

主燃孔参数: 开孔方案 1 孔型为 $2 \sim 8 \times \Phi 8$, 面积为 804.24。开孔方案 2 孔型为 $2 \sim 8 \times \Phi 12$, 面积为 1809.5。试验结果见图 2~3。由图可知, 主燃孔孔径增大, 燃烧效率下降, CO

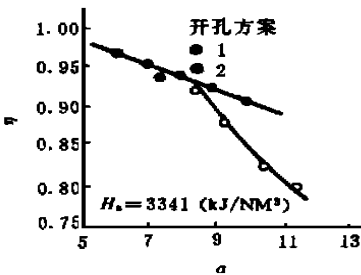


图 2 主燃孔进气量对燃烧效率的影响

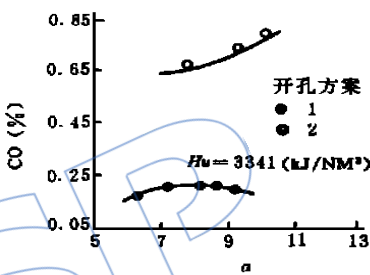


图 3 主燃孔进气量对 CO 排放量的影响

排放量增加。原因是主燃孔径加大, 进气量增加, 主燃区余气系数增加, 主燃孔射流穿透深度亦

增加, 这些不利因素均使主燃区温度降低, 导致燃烧效率下降, CO 排放量增加。所以在组织低发热量煤气燃烧时主燃孔的开孔规律尤其重要。即要求高的燃烧效率, 必须努力提高主燃区的温度, 以便提高 CO 的燃烧完全度。

2. 4 燃烧室长度对燃烧性能的影响

低发热量煤气中的 CO 燃烧反应速度是比较低的, 所以该燃料气要燃烧完全, 降低参考速度和适当的燃烧室长度也是重要因素, 使煤气有足够停留时间。试验时参考速度约为 20m/s , 燃烧室长径比为 2.32 和 2.92。由表 2 可知, 两种燃烧室的 η 均在 0.99 以上, 短的 CO 排放量比长的略高一点。可见燃料停留时间已足够长, 故选用 L/D 为 2.32。

3 煤气热值、发动机工况对燃烧性能的影响

图 4 说明煤气热值越低, 其 η 下降, CO 排放量增加。这是由于热值越低, 其理论燃烧温度越低。燃烧速度变小, 而煤气着火下限越高, 见表 3。以上因素使得燃烧稳定性差, 燃烧不完全。因此热值越低, 进入主燃区的空气相应减少, 以提高主燃区的温度。

图 5 表明发动机在低工况下工作效率较低, 若煤气热值在 3344kJ/NM^3 以下效率降低更

表 2 不同燃烧室长度的燃烧性能

L/D	α	η	δ_i	CO (%)	停留时间 (ms)
2.32	5.62	0.9961	0.1211	0.0244	29
	8.01	0.9947	0.1039	0.0244	
	9.25	0.9939	0.0999	0.0238	
2.92	5.55	0.9968	0.1324	0.0184	36.5
	8.01	0.9957	0.1155	0.0196	
	9.30	0.9954	0.1145	0.0201	

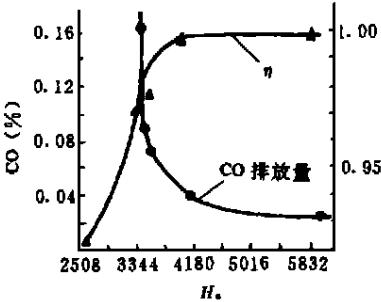


图 4 低发热量煤气热值对燃烧性能的影响

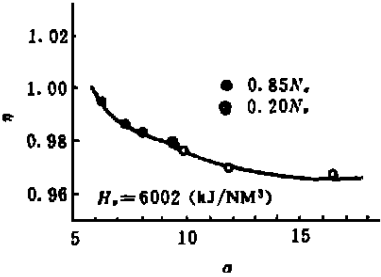


图 5 发动机燃烧室不同工况的燃烧效率

明显,有时可能低于 0.90。但由于本燃烧室采用扩散式燃烧方案^[2]使燃烧稳定性加宽,使 η 随工况降低的程度不那么严重,图 5 表明 0.20 N_e 工况的 η 在 0.95 以上,结果很理想。

4 低发热量煤气的点火熄火试验

点火试验进行了两次结果见表 3。煤气热值为 5574kJ/NM³ 时其着火上限为 77%, 下限为 15.7%, 其理论着火上限为 77%, 下限为 13.8%, 试验值正好在理论值中间。而热值为 3219kJ/NM³ 时, 其试验值亦在理论值中间。由表 3 知, 煤气热值越低, 着火下限越高, 点火越困难, 这是值得注意的。

表 3 不同煤气热值的着火

煤气热值 (kJ/NM ³)	着火下限 (%)		着火上限 (%)	
	理论值	实验值	理论值	实验值
5574	13.8	15.7	77.0	77.0
3219	21.8	28.4	85.7	46.6

试验表明, 当热值为 5965kJ/NM³ 时, 其贫气熄火 $\alpha\leq 42$, 而热值为 2830kJ/NM³ 时贫气熄火 $\alpha\leq 28$, 后者比前者熄火范围缩小了 33%, 可见煤气热值越低其熄火范围越窄。

5 火焰筒壁温测定结果分析

试验表明火焰筒头部和掺混段的壁温 $\leq 550^{\circ}\text{C}$, 传焰孔周围壁温 $\leq 700^{\circ}\text{C}$, 其余壁温 $\leq 600^{\circ}\text{C}$ 。符合火焰筒壁温应控制在 650~750 $^{\circ}\text{C}$ 的要求, 说明本燃烧室设计是成功的。

6 结 论

(1) 改型燃烧室能燃用热值为 3344kJ/NM³ 以上的煤气, 燃烧性能良好; 而 2500~3344kJ/NM³ 煤气亦能稳定燃烧。(2) 火焰筒头部 α 取 0.731~0.925, 煤气和空气旋流器安装角分别以 40 $^{\circ}$ 30 $^{\circ}$; 燃烧室性能良好。(3) 燃用低发热量煤气时, 大工况的 η 可达 0.98~1.00, 而低工况的 η 为 0.97~0.985, 但随着煤气热值的降低其 η 略有下降。(4) 该型燃烧室的点火熄火性能较好, 并有足够的点火熄火范围, 但煤气热值越低, 其着火下限越高, 着火困难, 其着火上下限的试验值与理论值较为吻合。(5) 燃烧室火焰筒壁温较低且分布较均匀, 有较较长的工作寿命。

参 考 文 献

1 焦树建. 燃气轮机燃烧室. 北京: 机械工业出版社, 1981
2 李长林. 航空发动机主燃烧室设计. 航空部航空专业教材编审组, 1983

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 atmospheric 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.