

文章编号: 1000-8055(2006)01-0041-04

某燃气发生器地面台架试车性能分析

苗 淼, 王文杰

(海军驻西安地区航空军事代表室, 陕西 西安 710021)

摘要: 针对某燃气发生器特点采用工艺喷口模拟动力涡轮流通能力, 测取各截面参数, 统计分析试验数据结果证明该型机性能达到设计要求。在地面台架试车阶段, 对比调整压气机径向间隙、喷口面积变化对燃气发生器各性能参数的影响。为改进部件性能和燃气发生器与动力涡轮配套的整机试车提供试验数据。

关键词: 航空、航天推进系统; 燃气发生器; 间隙; 流通能力; 喷口面积

中图分类号: V 263.4

文献标识码: A

Performance Analysis for a Gas Generator Test-Run

M IAO M IAO, WANG Wen-jie

(Navy Representative in Xi'an District, Xi'an 710021, China)

Abstract: Parameters at different sections of some home made gas generator were measured with a technical nozzle to simulate the flow capacity of a power turbine. The data indicates that the performance of the gas generator can reach the design goal. During the ground test under different working conditions of the gas generator, the influences of the radial clearance and exhaust nozzle area were studied. This provides a technical support for improving performance of the gas generator and the matching of the power turbine with the whole engine.

Key words: aerospace propulsion system; gas generator; clearance; flow capacity; exhaust nozzle area

我国仿制的某燃气轮机具有功率大、体积小、重量轻、机动性好、可靠性高、使用寿命长等优点。该型机的燃气发生器在地面台架试车时采用工艺喷口模拟动力涡轮流通能力, 测取的性能达到设计要求。本文主要研究该燃气发生器经过二次装配后, 在地面台架进行阶段试车, 当燃气发生器某些部件几何尺寸变化时, 对试车中测取的不同工况下各截面参数进行数理统计, 得到燃气等熵功率与有关参数的回归分析式^[1]。它为燃气发生器与动力涡轮配套的整机试车提供试验数据, 为该型机的性能控制提供可靠的依据。

1 通流部分测点布置

该燃气发生器主要由带机匣处理的前机匣、9级低压压气机(其中前3级静叶可调)、9级高压压气机、16个火焰筒构成的环管形燃烧室、1级高压涡轮、1级低压涡轮和带工艺喷口的尾喷管组成。

燃气发生器通流部分的测点布置如图1所示, 在图1中:

- I a- I a 流量管静压6点均布
- I - I 低压压气机入口静压1点
- II - II 低压压气机出口静压1点

收稿日期: 2005- 01- 06; 修订日期: 2005- 06- 06

作者简介: 苗淼(1976-), 女, 陕西横山人, 海军驻西安地区航空军事代表室工程师, 学士, 主要从事燃气轮机试验研究

- 低压压气机出口总压 2 支 5 点梳状耙
- 低压压气机出口总温 1 支 5 点梳状耙
- III-III 高压压气机出口总压 2 支 5 点梳状耙
- 高压压气机出口总温 1 支 5 点梳状耙
- IV-IV 高压压气机出口静压 1 点
- VI-VI 低压涡轮出口总压 2 支 5 点梳状耙
- 低压涡轮出口静压 4 点均布

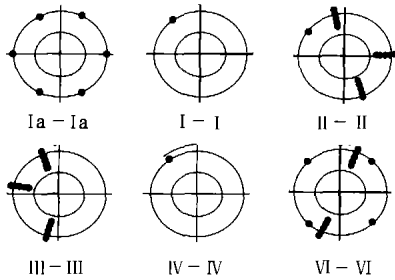


图 1 通流部分测点布置图

Fig 1 The measurement collocation

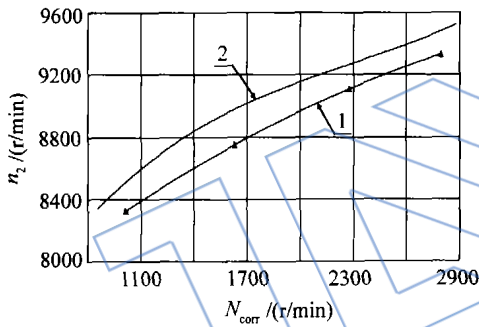


图 2 $n_2 \sim N_{corr}$

Fig 2 $n_2 \sim N_{corr}$

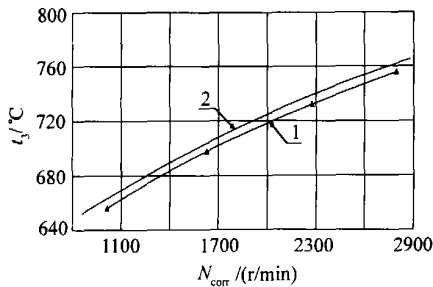


图 3 $t_3 \sim N_{corr}$

Fig 3 $t_3 \sim N_{corr}$

2 试车结果及性能分析

燃气发生器在不同工况下试验的性能参数用最小二乘法^[1]进行数据拟合处理, 得出燃气等熵功率与低压转速 n_1 、高压转速 n_2 、空气进口流量

M_1 、燃油流量 F 、低压压气机出口温度 t_2 、高压压气机出口温度 t_3 、低压涡轮后温度 t_6 、低压压气机出口压力 p_2 、高压压气机出口压力 p_3 、低压涡轮后压力 p_6 的关系曲线。各参数全部换算到 ISA 条件, 由于测试误差, 按工程精度要求, 本文仅给出燃气等熵功率与各参数变化大于 0.5% 的关系曲线(见图 2~ 图 11)。图中曲线 1 表示第一阶段装 $\Phi 491$ mm 喷口的试车数据, 曲线 2 表示第二阶段装 $\Phi 491$ mm 喷口的试车数据, 曲线 3 表示第二

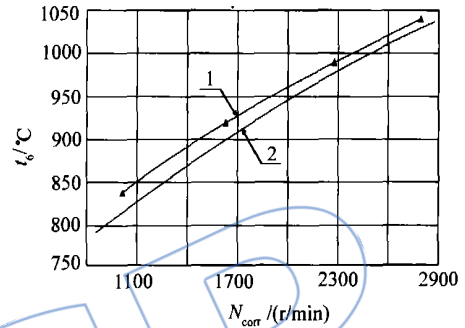


图 4 $t_6 \sim N_{corr}$

Fig 4 $t_6 \sim N_{corr}$

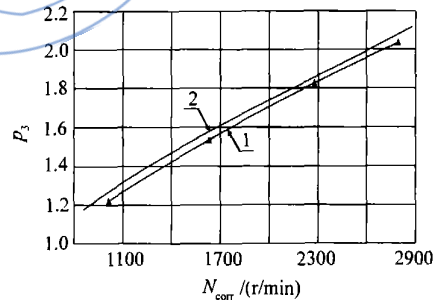


图 5 $p_3 \sim N_{corr}$

Fig 5 $p_3 \sim N_{corr}$

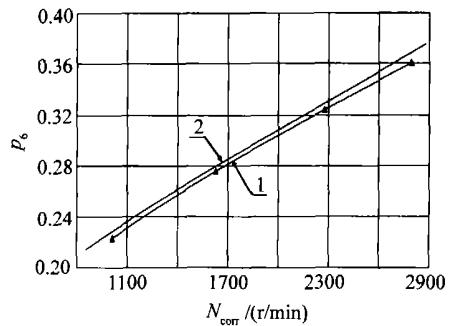


图 6 $p_6 \sim N_{corr}$

Fig 6 $p_6 \sim N_{corr}$

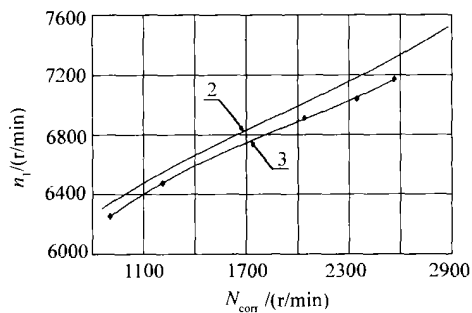


图 7 $n_1 \sim N_{\text{corr}}$
Fig 7 $n_1 \sim N_{\text{corr}}$

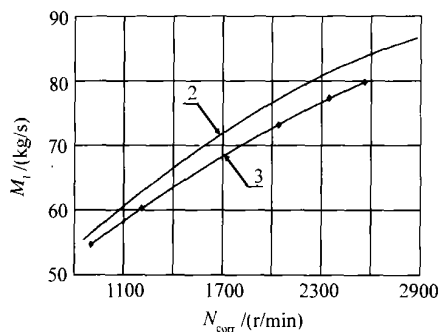


图 8 $M_1 \sim N_{\text{corr}}$
Fig 8 $M_1 \sim N_{\text{corr}}$

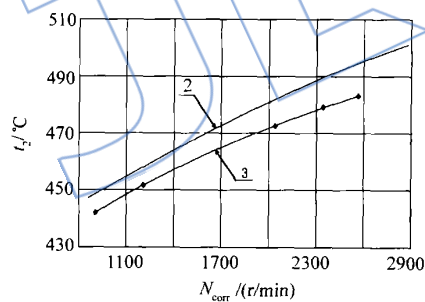


图 9 $t_2 \sim N_{\text{corr}}$
Fig 9 $t_2 \sim N_{\text{corr}}$

阶段试车时装 $\Phi 478.8\text{ mm}$ 喷口的试车数据。

2 1 高、低压压气机径向间隙的变化对
各性能参数影响

由于燃气发生器高压压气机机匣、叶片材料与外方材料膨胀系数不一致,造成热态机匣与叶片的相对间隙变小。燃气发生器在第一阶段试车结束后,分解发现高压压气机机匣与叶片之间不同程度的磨损,因此第二次装配前将高压压气机 1~9 级叶片叶尖分别磨削 0.12~0.18 mm

(半径),将高压压气机机匣封严气封陶瓷 1~9 级车削加工 0.3 mm (直径)。为了安全,对低压压气机 3~8 级叶片叶尖手工打磨 0.05~0.1 mm (半径)。

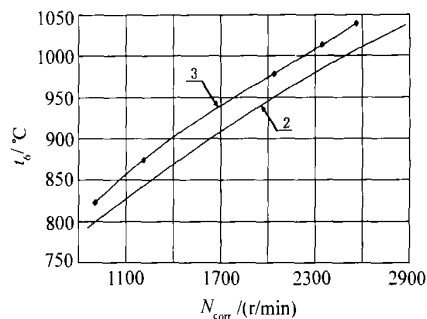


图 10 $t_6 \sim N_{\text{corr}}$
Fig 10 $t_6 \sim N_{\text{corr}}$

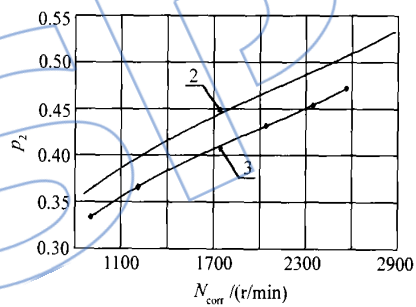


图 11 $p_2 \sim N_{\text{corr}}$
Fig 11 $p_2 \sim N_{\text{corr}}$

燃气发生器第二次装配后用相同工艺喷口试车测取各参数,数据表明由于高压压气机径向间隙增大使高压压气机效率降低,在相同燃气等熵功率(N_{corr})下,高压转速 n_2 增大(见图 2);高压压气机出口温度 t_3 增大(见图 3),压力 p_3 增大(见图 5);低压涡轮后温度 t_6 减小(见图 4),压力 p_6 增大(见图 6)。由于低压压气机径向间隙变化很小,所以对转速 n_1 、温度 t_2 、压力 p_2 、空气流量 M_1 的影响较小。由于高、低压压气机径向间隙的变化使高、低压涡轮功重新分配,所以高、低压转差增大($n_2 - n_1$)。

2 2 喷口面积的变化对性能参数的影响

安装不同尺寸的工艺喷口测取各参数,数据表明喷口面积变小,低压涡轮落压比减小,低压涡轮功减小。在相同燃气等熵功率(N_{corr})下,低压转速 n_1 减小(见图 7);低压压气机出口温度 t_2 减小(见图 9),压力 p_2 减小(见图 11);空气进口流量 M_1 减小(见图 8)。

当涡轮总功不变时, 低压涡轮功减少, 则高压涡轮功增加^[2]。由于高压涡轮落压比不变, 必须通过提高涡轮前燃气温度 t_4 , 即低压涡轮后温度 t_6 增大(见图 10)。

2.3 喷口面积对工作线的影响

燃气发生器采用固定工艺喷口模拟动力涡轮流通能力, 当喷口面积按 1.0 工况计算时, 在低工况工作时喷口面积偏大, 影响工作线的走向。

对于高压转子, 在低压涡轮导向器临界或超临界的状态下, 喷口面积的变化不影响高压涡轮落压比。所以对高压工作线没有影响。

对于低压转子, 喷口面积减少, 则低压涡轮落压比减少, 低压涡轮功减少, 使低压转速 n_1 减小, 低压压气机增压比减少, 空气进口流量 M_1 变化较小, 低压工作线远离喘振边界, 低压喘振裕度增加^[3]。

检查低压工作线走向采用 $n_1 = \text{常数}$, 低压喘振裕度 $\Delta(S, M)$ 按下式计算:

$$\Delta(S, M) = \left(\frac{R M_w}{M_s R_w} - 1 \right) \times 100\%$$

式中: R_s 喘振点的增压比;

R_w 工作点的增压比;

M_s 喘振点的空气流量 kg/s ;

M_w 工作点的空气流量 kg/s 。

在换算低压转速 $n_1 = 5\,000 \text{ r/min}$ 时, $R_s =$

2.54, $M_s = 40.9 \text{ kg/s}$ 。安装 $\Phi 491 \text{ mm}$ 喷口后, $R_w = 2.39$, $M_w = 41.8 \text{ kg/s}$, 将数值代入上式计算喘振裕度为 8.6%; 安装 $\Phi 478.8 \text{ mm}$ 喷口后, $R_w = 2.34$, $M_w = 42.2 \text{ kg/s}$, 将数值代入上式计算喘振裕度为 12%。喷口直径由 491 mm 减小到 478.8 mm, 喘振裕度增加 3.4%。见图 12。

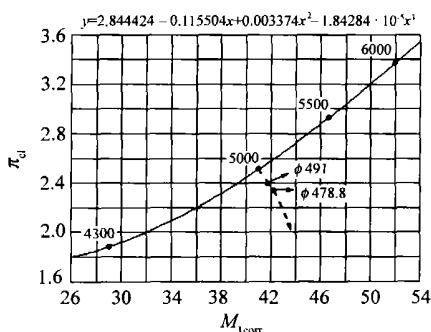


图 12 喷口面积变化对喘振裕度的影响

Fig 12 The influences of the variations of spout area

3 结 论

燃气发生器地面台架试车用工艺喷口模拟动力涡轮流通能力, 测取的各截面参数不仅能分析燃气发生器的性能, 而且便于分析各部件的性能及部件间性能变化的相互关系。为改进部件性能和燃气发生器与动力涡轮配套的整机试车提供试验数据。

参考文献

- [1] 张继龙, 甄蜀春, 曹鹏, 等. 实验数据的曲线拟合方法及其应用[J]. 测试技术学报, 2003, 17(3): 255~257.
Zhang Jilong, ZHEN Shuchun, CAO Peng, YAO Guangfeng. Research and Application of a New Method of Curve Fitting[J]. Journal of Test and Measurement Technology, 2003, 17(3): 255~257.
- [2] 廉小纯, 吴虎编著. 航空燃气轮机原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2001.
- [3] 华自强, 张忠进编. 工程热力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.