

内、外函分流的某涡轮风扇 燃气发生器性能试验

叶子德 顾仲明 胡光秋
(哈尔滨船舶锅炉涡轮机研究所)

〔摘要〕 阐述了带外函道的双转子发动机内、外函分流,各自通流阻力可以改变的燃气发生器试验装置和试验结果。本燃气发生器试验结果将为涡轮风扇发动机在陆上应用提供有价值的试验数据和发动机改装途径。

关键词 试验装置 试验结果 涡扇发动机 发动机内、外函道

1 前言

单转子发动机或不带外函道的双转子发动机的变喷口试验已屡见不鲜。而对带外函道的双转子,内、外函分流,各自通流阻力可以改变的发生器试验,国内属于首创。同时,在国外文献上也未见报道和介绍。

变喷口,内、外函分流的燃气发生器的试验结果将为退役的涡扇发动机在陆上应用提供很有价值的试验数据和一条有效的改装途径。

2 试验装置概述

试车台是由封闭式试车厂房改造而成,见图1。空气由进气塔进入试车厂房,燃气由发动机尾喷管排出。

为了减少地面效应对发动机进口流场的影响和防止地面上的外来物被吸入运行中的

发动机,发动机安装中心地面标高为2.5米,并在发动机整流罩外围装有外包式钢骨架金属丝进气网罩。发动机燃气由尾喷管直接排放在厂房内,为避免高温燃气回流到发动机入口,影响进口流场和温度场的均匀性,在发动机尾喷管后部安装了排气引射装置,利用排出燃气高速流动的能量,将厂房内的大量空气一起由排气引射装置排入厂房外的空间。

2.1 发动机支承系统

发动机支承系统由前支架、后支架两部分组成。前支架为发动机主承力点,通过与发动机侧安装点连接以支撑发动机前部,承受了约50 000 N的推力作用;后支架为发动机辅助支点,通过与发动机后安装凸耳连接以支吊发动机后部,并允许发动机启动后向后自由膨胀。

2.2 发动机外函引气装置

发动机外函引气装置包括外函引气涡壳、可调节阀和引气涡壳支架三部分,其作用

收稿日期 1992-07-27 修改定稿 1992-09-01

本文联系人 叶子德 男 54 高工 214151 无锡市 117 信箱

是将发动机外函道的压力空气由引气涡壳收集经可调节阀排出。这样,外函道空气不再与内函道燃气掺混。因气流撞击,引起引气涡壳的振动,为防止该振动传递至发动机本体,外函引气涡壳有自己独立的支架,并与发动机之间增设了非接触式的封严装置。

2.3 空气起动系统

采用地面压缩空气源向发动机空气起动机提供 0.21 MPa 的稳压空气,供发动机启动使用。该系统开启、关闭过程由手动总阀和微机控制实施。

2.4 燃油系统

燃料油由油泵房向发动机燃料系统提供初压为 0.15 MPa 的 10" 轻柴油,发动机原燃料油为航空煤油,此次试验改用 10" 轻柴油后,启动点火、联焰均正常,燃烧完全,没发现

积碳现象。

2.5 滑油系统

采用发动机自身的闭式滑油循环系统,工作状态良好。

2.6 操纵系统和测控系统

操纵系统为机械连杆式,该系统和测控系统在试验过程中工作状态良好。

3 涡扇发动机变喷口试验目的

3.1 用当量于动力涡轮通流面积的喷口试验测定各性能参数,预测与动力涡轮匹配的工作特性和 RJ12 整机性能。

3.2 各确定的喷口面积下,测定外函引气阻力的变化、各性能参数,预测该涡扇发动机的最佳工作状态。

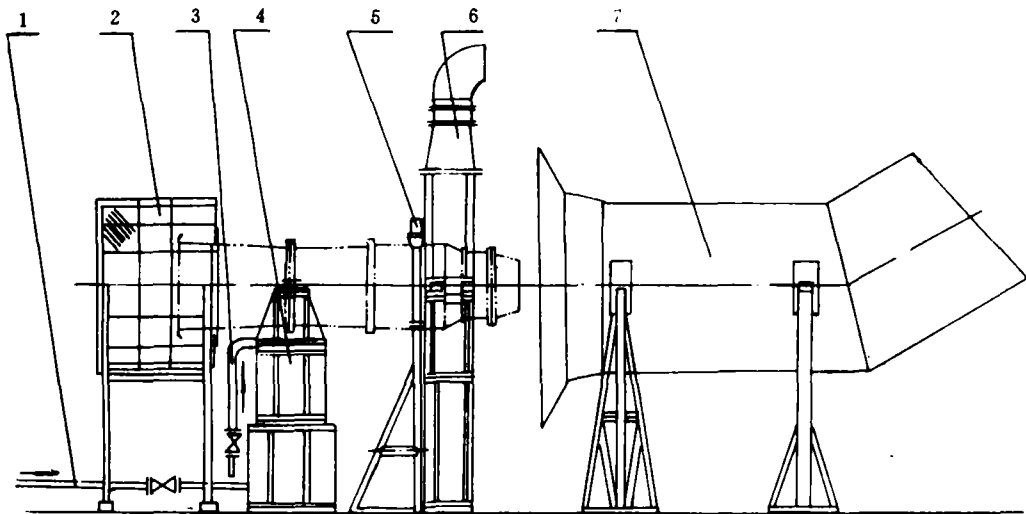


图1 试车台布置图

1 空气起动系统 2 进气网罩 3 燃油系统 4 前支架 5 后支架 6 外函引气装置 7 排气引射装置

4 涡扇发动机性能试验

该涡扇发动机性能试验分为两个阶段。第一阶段为发动机的性能预试验和试验

装置验证试验。1992年4月25、27、28日进行了预试验;4月28日分别进行了带平衡电阻和不带平衡电阻的发动机性能试验。

这次试验使用的是尚未到使用期的某涡扇发动机(编号4592)。发动机预试验和验证

试验结果表明,无论是发动机在试验台架上的振动值或是各运行参数和发动机性能参数均符合该发动机试车工艺规程中的规定值。这样,验证了哈尔滨船舶锅炉涡轮机研究所无锡分部的简易发动机试验装置台架结构、启动程序、燃油和空气系统、操纵系统、监控和测量系统基本上能满足该型发动机的试车要求——第一阶段的试验主要目的是用一台合格的发动机来标称初建的试验装置,同时也验证了该发动机(编号 4592)各性能指标是符合其规定值的。这些都为下一阶段试验作好准备。为了得到该发动机真实的排气温度,卸掉排气温度测量装置中的平衡电阻,进行了一系列对比试验。第二阶段,进行了内、外函分流的发动机性能试验。为此更换了该发动机混合段筒体,截改外函道的壳体,增装了外函引气装置,外函道压力空气由外函引气装置排入大气。内函道的空气经压气机、燃烧室和涡轮,最终由试验喷口排出。分别在 1992 年 6 月 16、18、19 日进行了五种面积的喷口试验。

通过发动机的变喷口面积试验,证明该发动机内、外函分流的改装方案是可行的,也为今后发动机装置性能的改型设计、外函道压力空气的利用和蒸—燃的联合循环装置的设计提供了有价值的试验数据,涡扇发动机的潜力得到充分发挥,提高整个发动机装置的经济性。

整个试验过程中,发动机振动值正常,滑油回油温度正常,起动和试验中排气温度没有超越规定值,也没出现热悬挂和喘振,发动机的监测和运行参数均符合该涡扇发动机试验大纲和试车工艺规程中规定的数值,发动机运行平稳、可靠。

5 发动机性能试验项

发动机试验喷口组合和编号见表 1。

表 1 发动机试验喷口组合和编号

试验喷口组合	编号	备注
发动机+F ₁ 喷口	51201	带平衡电阻
发动机+F ₁ 喷口	51202	不带平衡电阻
分流后的发动机+F ₁ 喷口	51211	不带平衡电阻
分流后的发动机+F ₂ 喷口	51212	不带平衡电阻
分流后的发动机+F ₃ 喷口	51213	不带平衡电阻
分流后的发动机+F ₄ 喷口	51214	
分流后的发动机+F ₅ 喷口	51215	

在表 1 中,F₁为发动机原喷口,F₂、F₃为内、外函分流后相当于原内函通流的喷口面积。由于系数选取的差异,因而得到 F₂及 F₃两个喷口面积。

若此时外函引气装置中的可调节阀开度当量于原外函掺混到内函通道中去的阻力状态,也就是说,内、外函分流后的阻力状态与发动机原喷口面积相当。其中 F₃喷口则当量于该涡扇发动机改装方案 1 动力涡轮通流阻力,而 F₄喷口则略大于 F₃喷口面积。

在各种喷口与发动机组合下进行性能试验。对如下性能进行测量:

转速测量:

低压轴转子转速、高压轴转子转速

流量测量:

进口空气流量(流量管的总压、静压、温度和面积)、出口燃气流量(排气直段处燃气总压、静压、温度和面积)、燃料供油流量(燃油比重、燃油温度和流量计频率)

低压压气机出口参数:

出口总压、出口总温度

高压压气机出口参数:

出口总压、出口温度

低压涡轮出口参数:

出口总温、出口总压、出口静压

该涡扇发动机喷口面积共分为五组。为了保持试验参数的统一性,在一定外函引气

开度下发动机的每次试验转速按下式计算, 转速最大值为 $T_0 = 288 \text{ K}$ (即 $t_0 = 15^\circ\text{C}$) 时, $N_{20} = 12\,250 \text{ r/min}$ 。

试验转速 N_2 按下式分档:

$$N_2 = N_{20} \sqrt{273 + t_1 / \sqrt{288}}$$

其中 N_2 是发动机进口温度为 t_1 时的发动机高压轴转速。 N_{20} 取了 13 个值, 其范围为 $7\,000 \sim 12\,250 \text{ r/min}$ 。

6 发动机性能试验结果

发动机性能试验结果见表 2、3、4。

表 2 额定工况时的主要运行参数

编号	发动机振动值(mm)		排气温度 T_e (K)		滑油回油温度 (°C)
	前	后	启动工况	额定工况	
51201		$2.29 \times 10^{-2} \sim 2.45 \times 10^{-2}$	783	819	71.9
51202		$2.54 \times 10^{-2} \sim 2.79 \times 10^{-2}$	正常	909	72.9
51212	$2.29 \times 10^{-2} \sim 3.30 \times 10^{-2}$	$2.54 \times 10^{-2} \sim 3.81 \times 10^{-2}$	正常	902	71.4
51215	2.54×10^{-2}	2.03×10^{-2}	正常	915	72.9

表 3 额定工况时性能参数 ($t_0 = 15^\circ\text{C}$, $P_0 = 0.1013 \text{ MPa}$)

单 位 编 号	低压轴转速	高压轴转速	空气总流量	燃油供量	低压出口压力	排气温度
	n_1 r/min	n_2 r/min	G_B kg/s	G_f kg/h	P_2 MPa	T_e K
51212	7851	12 039	85.25	3 168	0.247 6	874
51215	7078	11 606	73.16	2 681.1	0.216 7	878

表 4 额定工况时性能计算值 ($t_0 = 15^\circ\text{C}$, $P_0 = 0.1013 \text{ MPa}$)

单 位 编 号	燃烧室出口温度 T_4	发动机总压比 K	发动机功率 N_e
	K		kW
51212	1 322	16.69	8 412
51215	1 290	14.37	6 690

1 F_5 面积喷口的发动机性能试验结果表明 RJ12 动力涡轮能与分流后的该涡轮发动机匹配, 在保证寿命的前提下, 整机功率约为 $6\,690 \text{ kW}$ 。

2 通过试验得到了与发动机相匹配的最佳 F_2 面积喷口的性能数据, 为设计新的动力涡轮提供了设计数据。在保证寿命的前提下, 功率约为 $8\,412 \text{ kW}$ 。

3 外函道在一定通流面积下, 低压压气

机的流量、出口压力仅与低压轴转速有关。

4 发动机性能计算和分析与性能试验结果相符。

参 考 文 献

- 1 钟芳源. 燃气轮机设计基础. 机械工业出版社. 1987
- 2 汪帼华, 叶子德. 航空燃气涡轮机船用化的研究发展. 船舶工程. 1989. 5

(渠源沂 编辑)

**JOURNAL OF ENGINEERING FOR THERMAL
ENERGY AND POWER**
1993 Vol. 8 No. 3

CONTENTS

(113)МАШИПРОЕКТ-the Cradle of Marine Gas Turbines of the Former Soviet Union.....

Wen Xueyou (*Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute*)

(117)Design Features of ГТД 8000 and ГТД 15000 Marine Gas Turbine Engines.....

Victor I. Romanov (*NPO Mashproject, Nikolayev, Ukraine*)

This paper describes the design features and performance data of new generation ГТД 8000 and ГТД15000 engines. The efficiency of these engines is (34-35)% (simple cycle, ISO conditions). This paper presents the basic trends of design and technology improvements resulting in high performance engines. Some examples of new gas turbine applications are given. **Key words:** *gas turbines*

(123)An Experimental Study on the Adjustment of Steam Injection Tube Insertion Length for a PG 5361 STIG Gas Turbine.....Zhou Jizhong, et al. (*Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute*)

The authors discussed the effect of tube insertion depth at mixing-dilution holes on the performance of a gas turbine combustor. Briefly described are also the relevant test facilities and experimental test methods. **Key words:** *gas turbine, combustor, steam injection, experimental study*

(130)Performance Test of the Gas Generator of a Double-Flow Fan Engine With Variable Duct Resistance.....Ye Zide, et al. (*Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute*)

This paper deals with the test plant and test results of a gas generator of a by-pass dual-rotor engine with variable duct flow path resistance. The said test results will provide valuable data for the potential on-land applications of turbofan engines and create an effective avenue for relevant engine modifications. **Key words:** *test plant, test results, turbofan engine, engine inner and outer duct*

(134)The Design and Study of Naval Steam Turbine Last Stage Blades.....Sun Xianliang, et al. (*Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute*)

With regard to a high-capacity naval steam turbine last stage blades a study has been conducted of the following items: thermal parameter, geometric dimensions, the calculation of geometric characteristic data of various blade section profiles, blade configuration, the selection of blade root profile, blade strength calculation, blade mounting and blade vibration calculation, etc. **Key words:** *steam turbine, last stage blade, blade profile, blade root, strength and vibration*