

航空发动机台架反推力测量技术研究

赵 晨, 林 山, 张 巍, 刘俊琪, 康 健

(中国航发沈阳发动机研究所, 辽宁 沈阳 110015)

摘要:介绍了反推力测量系统和反推力测量存在的问题, 针对双向推力传感器测量反推力测量方式存在的车台建设成本高、试车准备效率低等问题, 设计并实现了工作推力传感器施加预紧力和标准推力传感器施加预紧力两种反推力测量方式, 介绍了两种测量方式的结构特点, 进行了试验对比分析, 结果表明标准推力传感器施加预紧力反推力测量方式, 预紧力的稳定性好, 系统的自动化程度高, 提高了试验准备效率, 保障了试车安全, 具有良好的应用前景。

关键词:反推力测量; 预紧力; 发动机试车

中图分类号: V216.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8829(2017)05-0136-03

Study on Reverse Thrust Measurement Technology of Aero-Engine Bench

ZHAO Chen, LIN Shan, ZHANG Wei, LIU Jun-qi, KANG Jian

(AECC Shenyang Engine Research Institute, Shenyang 110015, China)

Abstract: The problems of reverse thrust measurement system and the reverse thrust measurement are introduced. In order to solve the problems of high cost and low preparation efficiency of the counter thrust measurement method, two reverse thrust measurement methods to apply preload on the thrust force sensor and the standard thrust force sensor are designed and implemented, and their structural characteristics are introduced, the contrastive analysis is carried out. The results show that the preload measurement method of standard thrust sensor has high stability and high degree of automation. The efficiency of experiment preparation is improved and the safety of test is ensured. It has a good application prospect.

Key words: reverse thrust measurement; preload; engine test

反推力技术的发展是伴随着航空发动机技术的发展而发展的, 减小大型飞机着陆滑跑距离以及处理其起飞和降落时遇到的各种紧急情况都需要飞机具有高效、可靠的减速系统^[1-2]。目前, 从飞机安全性角度考虑, 除轮刹系统外, 用得最多的减速装置是反推力装置。

为了准确评估反推力装置的性能, 有必要开展发动机反推力精确测量工作, 满足大涵道比涡扇发动机研制的需要。航空发动机地面试车测量反推力, 国内普遍应用的技术为双向推力传感器测量方式, 这种方式因需要额外增加两个推力测量传感器, 投入成本较高, 在进行反向推力校准时, 需要进行拉压装置的更换操作, 工作量大, 自动化程度较低^[1]。

为了降低航空发动机试车台建设成本, 提高反推

力测量的自动化程度和工作效率, 本文结合实际使用需求设计了两种预紧力形式的反推力测量方案, 并通过试验对比, 给出一种最佳的测量方案。

1 反推力测量系统概述

1.1 反推力系统测量原理

试车台架推力测量系统主要包括正反向工作推力传感器、标准推力传感器和标准液压力源等^[3]。推力系统测量原理图如图 1 所示。上位机通过伺服控制软件控制伺服油缸的伸出和缩回, 给标准推力传感器施加标准力, 模拟发动机产生的正向推力和反向推力, 在施加标准力过程中弹簧片发生形变, 将力传递给工作推力传感器。标准推力传感器上有 A 和 B 两个信号输出通道, A 通道将信号经放大模块放大后传输给伺服控制器, 用作闭环控制, 实现标准力值的稳定加载, B 通道将当前标准力值传输给数字测力仪, 用作当前标准力值的实时显示。上位机中的标定程序, 通过 RS232 串口从数字测力仪读取当前标准力值, 通过

收稿日期: 2016-10-09

作者简介: 赵晨 (1983—), 男, 山东临沂人, 硕士, 工程师, 主要研究领域为航空发动机试车台测控系统设计; 林山 (1973—), 男, 辽宁沈阳人, 研究员, 主要从事航空发动机整机试验工作。

1394 通信从 VXI 通用数据采集设备读取正向和反向推力传感器的当前电压值,并根据最小二乘法获得标准力值-正反向工作推力传感器电压值的输入特性。

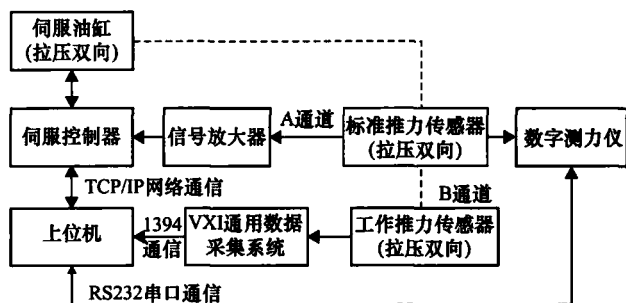


图1 发动机推力系统测量原理图

1.2 反推力测量存在的问题

航空发动机正推力和反推力试车状态如图2所示,发动机试车时反推力装置阻流门打开,外涵气流的流动方向发生大于 90° 的折转,在与正常推力相反的方向上产生推力分量,台架推力测试系统测得的推力方向与正常推力相反。目前,反推力测量普遍采用的方式为双向推力传感器测量方式。

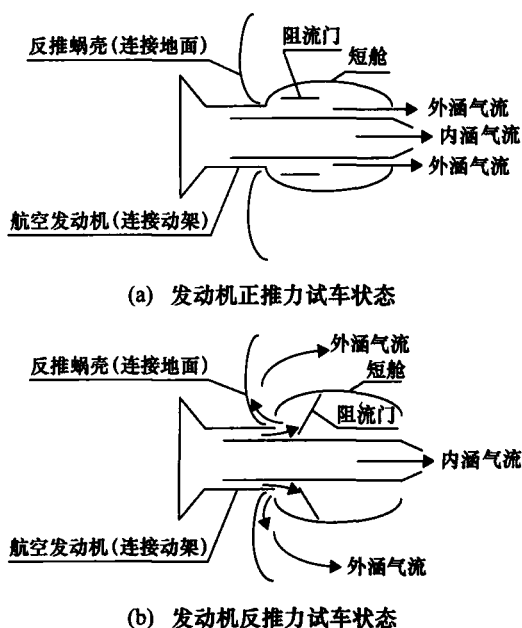


图2 发动机正推力和反推力试车状态图

双向推力传感器测量正反向推力的原理为:根据发动机推力方向的不同,在试车台动架上分别布置两个正向和反向推力传感器,当发动机产生正向推力时,正向推力传感器与静架接触输出正向推力值,反向推力传感器与静架脱开;当发动机产生反向推力时,正向推力传感器与静架脱开,反向推力传感器与静架接触输出反向推力值,其系统原理图如图3所示。

使用这种方式进行反推力测量,在发动机试车前要分别对正向和反向推力传感器进行校准,更换液压加

载装置与标准推力传感器的连接方式,效率较低。为了提高工作效率和降低试车台建设成本,对反推力测量方式进行了改进,提出了工作推力传感器施加预紧力和标准推力传感器施加预紧力的反推力测量方式。

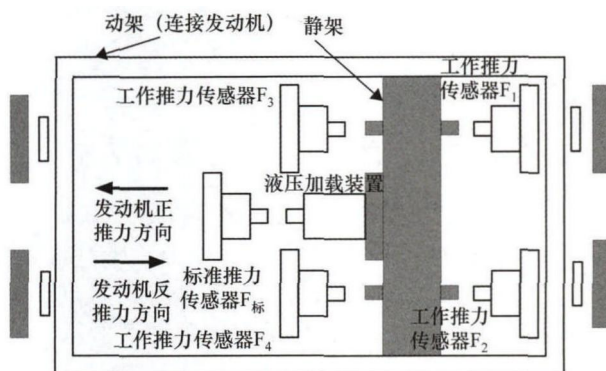


图3 双向测量方式原理图

2 工作推力传感器施加预紧力方式

工作推力传感器施加预紧力测量反推力,指的是在试车前通过调节并固定工作推力传感器与静架之间的预紧力值,在试车中测量反向推力的方法,其系统原理图如图4所示。

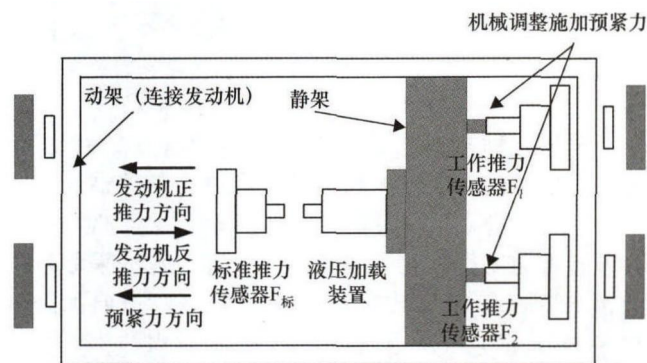


图4 工作推力传感器施加预紧力方式原理图

进行反推力试验前,要根据发动机的反推力值施加预紧力值,预紧力值应大于反推力值,防止在试车过程中发动机的反推力大于预紧力,工作推力传感器与静架脱开,无法测得反推力值。两个工作推力传感器的预紧力应相等,否则会导致试车台架偏移,测量推力值小于发动机的真实推力。

在发动机试车过程中,反推短舱处于关闭状态时,发动机产生正向推力,推力传感器测得的力值为预紧力和发动机真实推力的和;反推短舱打开后,发动机产生反向推力,推力传感器测得的力值为预紧力和发动机反向推力的差。

台架推力进行校准,按照 HB 6882-93 的要求执行。校准前,需要将台架恢复到初始状态,卸载预紧力值;校准完毕后,再根据需要施加预紧力值。

这种测量方式与双向推力传感器测量方式相比,只需要安装两个推力传感器就可以完成正向和反向推力测量,降低了车台建设成本。但其不足之处在于:试验前需要对工作推力传感器与静架之间的预紧力进行调整,试车过程中预紧力值不能实时读取,振动及长时间试车会导致预紧力值发生变化,给发动机试车带来一定的风险。

3 标准推力传感器施加预紧力方式

标准推力传感器施加预紧力测量反推力,指的是在试车前通过液压加载装置给标准推力传感器施加标准力,从而实现给工作推力传感器施加预紧力,在试车中测量反推力的方法,其系统原理图如图 5 所示。

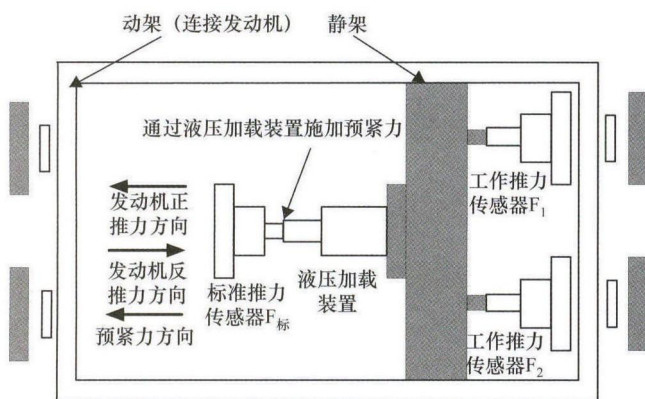


图 5 标准推力传感器施加预紧力方式原理图

采用这种方法进行发动机反推力测量时,在试验前要通过上位机伺服控制软件给标准推力传感器施加预紧力。预紧力在试车过程中要一直持续恒定加载,否则会导致推力测量数据不准确。上位机中数据采集软件通过 RS232 串口从数字测力仪实时读取当前加载的预紧力值,通过 VXI 采集设备实时读取当前推力传感器输出力值,这样就可以实时计算出当前的反推力值。

进行台架推力校准时,依据 HB 6882-93 的要求进行。校准完成后,通过伺服控制软件重新加载预紧力,就可以进行发动机反推力试验。进程和回程校准系数分别输入数据采集软件,正向推力测量采用进程校准系数,反向推力测量采用回程校准系数,根据反推开关信号,做系数通道的切换。

这种测量方式与双向推力传感器测量方式相比,在试验前只需通过调节伺服控制软件给标准推力传感器施加预紧力,就可以完成发动机反推力试验,降低了车台建设成本,提高了工作效率。加载的预紧力值可以实时读取,与工作推力传感器施加预紧力测量方式相比,提高了试验的安全性。

4 反推力测量方式的可行性验证

目前,发动机反推力试验应用的测量方式为双向

推力传感器测量方式。进行反推力测量方式的可行性验证,采用的方法是:用同一台发动机和试车程序,分别采用 3 种反推力测量方式进行数据验证,并对结果进行分析,3 次试车数据如图 6 所示。

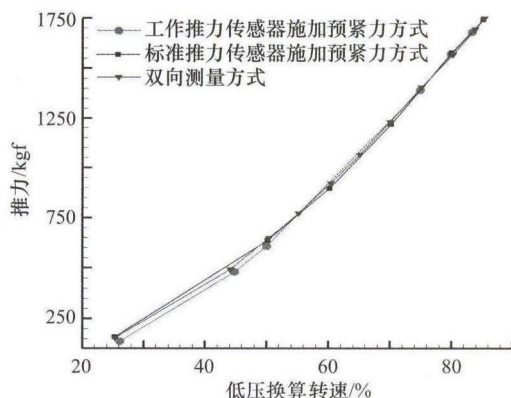


图 6 三次反推力测量的试车数据

由试车数据可以看出:在发动机慢车状态,工作推力传感器施加预紧力测量方式与双向推力传感器测量方式相比,反推力数据最大相差 0.5%,在发动机慢车以上状态,两种测量方式获得的反推力数据基本吻合,数据相差最大 0.4%。标准推力传感器施加预紧力的测量方式与双向推力测量方式在发动机试车过程中基本吻合,数据相差最大 0.3%。

由以上分析可以看出,两种预紧力测量方式均具有较高的测量精度,可用于后续科研试车。但标准推力传感器施加预紧力测量方式,与其他测量方式相比,自动化程度较高,操作简单方便,保障了试车安全。

5 反推力测量影响因素

反推蜗壳是航空发动机反推力试验专用的地面设备,其作用是防止高速反推气流对台架测量设备的破坏,以及反推气流被航空发动机再吸入,造成发动机的进口流场畸变,导致发动机进入失速或喘振的不稳定工况^[4-6]。反推蜗壳在正常情况下与发动机短舱不接触,但是为了防止泄漏的反推气流对发动机性能和台架设备造成影响,在反推蜗壳与发动机表面间隙处安装了密封胶条,若是反推蜗壳上的胶条与发动机配合不好,就会导致反推蜗壳在试车过程中承担一部分推力,导致推力测量数据不准确。

标准推力传感器的 A 通道将推力传感器输出的毫伏级电压信号经放大模块放大后传输给伺服控制器做闭环控制,实现预紧力的稳定加载。如果放大器的工作环境温度发生变化,放大器的零点和量程值就会受到影响,反推力测量数值就会产生误差。为此,需要将放大器安装在恒温的仪表柜内,且发动机试验前需要进行充分的预热^[7]。

(下转第 143 页)

程度进行评估并对损伤的发展趋势进行预测。图 7 是国内某研究所 PHM 实验室搭建的裂纹监测传感器的验证环境,借助多种无损检测手段对试验件内部的裂纹损伤形式与大小进行检测,与裂纹监测传感器的监测结果进行对比,验证其最小裂纹检测长度、裂纹萌生速率预测的能力水平。

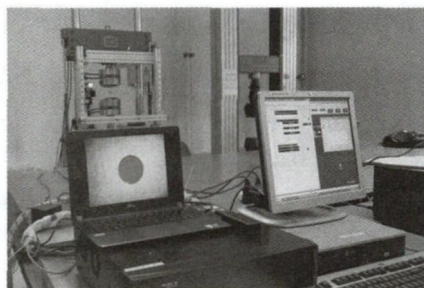


图 7 结构裂纹监测传感器的验证环境

4 结束语

虽然近年来国内 PHM 技术发展迅速,但由于缺乏 PHM 验证与确认技术的研究,制约了 PHM 技术成果的工程转化。本文在对国内外 PHM 验证技术调研的基础上,提出适合国内航空装备 PHM 发展的验证和确认流程,针对目前典型的 PHM 系统,阐述了 PHM 系统的验证和确认方法。为了支撑验证与确认活动的实施,需加紧 PHM 系统指标体系的建立并研究标准化的评价方法;注重验证数据的收集与积累;搭建规范统一的试验验证环境;设计开发标准化的验证评价工具,从而大力推进 PHM 技术的发展与熟化。

参考文献:

- [1] Hess A, Fila L. The joint strike fighter (JSF) PHM concept;

potential impact on aging aircraft problems [C]//Proceedings of IEEE Aerospace Conference. 2002, 6: 3021 - 3026.

- [2] Poll S, Patterson-Hine A, Camisa J, et al. Advanced diagnostics and prognostics testbed [C]//18th International Workshop on Principles of Diagnosis. 2007: 178 - 185.
- [3] Balaban E, Saxena A, Narasimhan S, et al. Experimental validation of a prognostic health management system for electromechanical actuators [C]//AIAA Infotech@ Aerospace. 2011: 329 - 344.
- [4] Roemer M J, Dzakowic J, Orsagh R F, et al. Validation and verification of prognostic and health management technologies [C]//2005 IEEE Aerospace Conference. 2005.
- [5] Azzam H, Cook J, Driver S. FUMSTM technologies for verifiable affordable prognostics health management (PHM) [C]//Proceedings of IEEE Aerospace Conference. 2004: 3764 - 3781.
- [6] Leão B P, Yoneyama T, Rocha G C, et al. Prognostics performance metrics and their relation to requirements, design, verification and cost-benefit [C]//2008 International Conference on Prognostics and Health Management. 2008: 1 - 8.
- [7] Saxena A, Celaya J, Saha B, et al. Evaluating algorithm performance metrics tailored for prognostics [C]//2009 IEEE Aerospace Conference. 2009: 1 - 13.
- [8] 张慧敏, 宋东, 郭勇, 等. 故障预测模型的评价方法研究 [J]. 测控技术, 2013, 32(5): 121 - 124.
- [9] 李璠, 蒋觉义. PHM 系统验证指标研究 [J]. 航空标准化与质量, 2013(2): 36 - 40.
- [10] 杨洲, 景博, 张劼, 等. 机载系统故障预测与健康管理验证与评估方法 [J]. 测控技术, 2012, 31(03): 101 - 104.
- [11] 代京, 刘浩, 于劲松. 飞行器健康管理系统验证与评估技术研究 [J]. 电子测量技术, 2012, 35(8): 1 - 10.

□

(上接第 138 页)

6 结论与展望

通过发动机试车验证了两种反推力测量方式的可行性,认为两种测量方案均可用于发动机试验,但标准推力传感器施加预紧力的测量方式,预紧力的稳定性好,自动化程度高,对台架设备变动少,提高了试验准备效率,较其他测量方式更加具有优势,是未来反推力测量方式的发展方向。

发动机打开反推短舱后,试车间气流等影响反推力测量的因素并未考虑到台架反推力测量中,因此在反推蜗壳处增加压力测点,并进行相应的 CFD 分析是即将开展的课题。

参考文献:

- [1] 邵万仁,叶留增,沈锡钢,等. 反推力装置关键技术及技术途径初步探讨 [C]//大型飞机关键技术高层论坛暨中国

航空学会 2007 年学术年会论文集: 动力专题 24. 2007.

- [2] 杜刚,金捷. 大型运输机发动机反推力装置 [C]//大型飞机关键技术高层论坛暨中国航空学会 2007 年学术年会论文集: 动力专题 21. 2007: 1 - 11.
- [3] HB 6882 - 93, 涡喷涡扇发动机试车台架推力测量系统校准 [S]. 1994.
- [4] Trapp L G, Oliveira G L. Aircraft thrust reverser cascade configuration evaluation through CFD [R]. AIAA-2003-723, 2003.
- [5] 刘大响,叶培梁,胡俊,等. 航空燃气涡轮发动机稳定性设计与评定技术 [M]. 北京: 航空工业出版社, 2004.
- [6] 唐伟,刘启国,汪东. 军用反推力装置通用规范技术要素的确定 [J]. 航空标准化与质量, 2013, 10(5): 7 - 10, 18.
- [7] 赵晨,张巍,曹阳. 航空发动机台架推力校准软件系统设计 [C]//2016 航空试验测试技术学术交流会议论文集. 2016: 480 - 483.

□