某型反推力装置室内试车台试验方法

姜新瑞,林　山,李诗军,王宝坤
(中国航发沈阳发动机研究所,沈阳 110015)

摘要:反推力装置是大涵道比涡扇发动机的重要组成部件。对反推装置研制过程中的室内试车试验方法进行了总结,介绍了所用反推力装置结构、试车台反推力装置控制系统,阐述了反推涡壳装置的设计与安装使用方法,探讨了反推力测量系统,总结了反推装置静态与全状态的调试方法。试验结果表明:采用的试验方法可有效指导室内反推力装置试验,获得了发动机在不同反推力状态下的性能数据,对反推装置的室内试车试验方法的建立具有一定的参考价值。

关键词: 反推力装置;大涵道比;涡扇发动机;反推涡壳;试验方法
中图分类号: V228.7+4　　**文献标识码:**A　　**doi:**10.13477/j.cnki.aeroengine.2019.06.015

Test Methods of Indoor Test Bench of a Certain Type Thrust Reverser

JIANG Xin-rui, LIN Shan, LI Shi-jun, WANG Bao-kun
(AECC Shenyang Engine Research Institute, Shenyang 110015, China)

Abstract: Thrust reverser is an important component of high bypass ratio turbofan engine. The indoor test methods in the development of thrust reverser were summarized. The structure of the thrust reverser and the control system of the thrust reverser of the test bench were introduced. The design, installation and application method of the thrust reverser volute case device were described. The reverse thrust measurement system was discussed, and the debugging methods of static and full state of the thrust reverser were summarized. The test results show that the test methods can effectively guide the indoor test of the thrust reverser, and the engine performance data in different reverse thrust states is obtained, and the establishment of the indoor test method of the thrust reverser has a certain reference value.

Key words: thrust reverser; high bypass ratio; turbofan engine; thrust reverser volute case; test method

0　引言

反推力装置是指通过某种方式改变发动机喷气气流方向,使作用在发动机上的力沿着与正常前进推力相反的方向产生推力分量,为飞机提供减速的气动阻力。反推力装置不仅能有效缩短飞机的着陆滑跑距离,使制动效果不受跑道潮湿或结冰影响,而且还能减少刹车磨损[1-6]。

国外一些飞机制造商和发动机制造商,通过多机型取证,积攒了丰富的反推力系统设计和验证经验[7]。例如,通用公司某发动机在冰污染跑道上着陆时使用了反推力系统, 使飞机的着陆滑跑距离降低了约66%[8]。而我国自主研发的民用运输类飞机较少,有关反推力系统审定方面的研究和取证经验也较少,所能查阅到的资料中,仅毛文懿等[3]对反推力装置的符合性验证思路进行了分析;靳宝林等[1]、杜刚等[2]、邵万仁等[4]和沙江等[5]分别对反推力系统的发展、原理、设计关键技术等进行了研究。反推装置试验若采用与飞机联合调试,其试验成本高,试验次数有限,不能充分暴露反推装置研制过程中的问题。本文基于某型航空发动机反推力装置试验,研究总结了室内试车台反推力装置试验的方法并进行试验验证。

1　反推装置简介

试验使用的反推力装置由左右 2 个独立的 C 形单元体构成,并独立安装。每个 C 形单元体由主承力框架、移动外罩、液压系统、电气控制系统等构成,结构如图 1 所示。

收稿日期:2018-09-01　　**基金项目:**航空动力基础研究项目资助
作者简介:姜新瑞(1990),男,硕士,工程师,从事航空发动机地面整机试验工作;E-mail:nobody3477@163.com。

引用格式:姜新瑞,林山,李诗军,等.某型反推力装置室内试车台试验方法[J].航空发动机,2019,45(6):81-84.JIANG Xinrui, LIN Shan, LI Shijun, et al. Test methods of indoor test bench of a certain type thrust reverser [J].Aeroenging, 2019, 45(6):81-84.

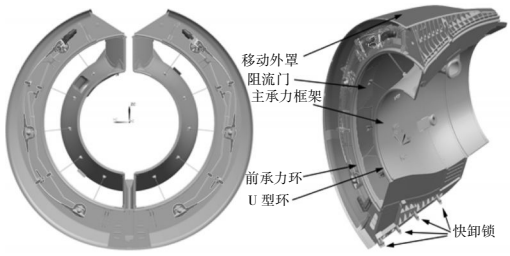

图 1 反推装置结构

2 反推装置控制系统

反推装置控制系统由油门杆组件、反推控制器、反推控制活门、执行机构、传感器等部件组成，系统结构及工作原理如图 2 所示。

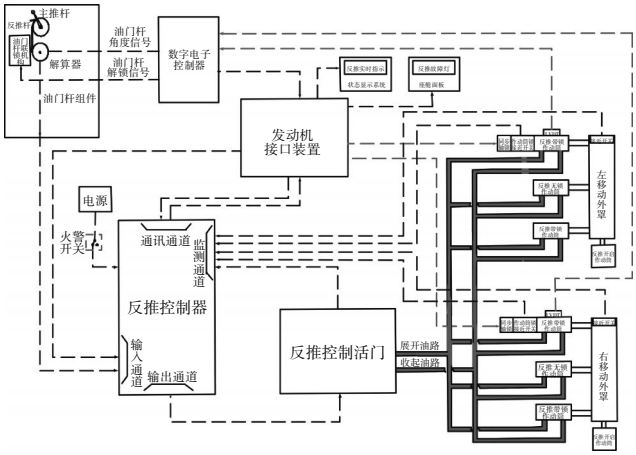

图 2 反推控制系统工作原理

反推力装置控制系统的操作指令由油门杆组件给出，油门杆组件包括主推力杆与反推力杆，当主推力杆位于慢车止动位置时，才允许提起或放下通过机械结构实现的反推力杆，当向反推控制器发出“展开”或“收起”指令时，反推控制器在接收到指令后，通过内部逻辑判断是否将指令信号输出至反推控制活门，反推控制活门将接收到的电指令信号转换为液压信号供给执行机构，驱动移动外罩运动。

反推力装置的展开和收回通过液压作动筒的伸出和收回来实现，作动筒的驱动有 2 种方式：

(1)液压泵从发动机提取功率后提供给反推力装置使用；

(2)地面台架液压站提供驱动力。

通过与反推控制活门连接不同的液压管路实现 2 种方式的切换。方式一可以完全模拟发动机在装机状态下反推装置的使用情况，缺点是发动机必须运转，无法实现反推力装置的静态开合检查；方式二可以提供稳定的液压压力与流量，且不需要发动机运转即可实现反推力装置的开合，缺点是与真实使用状态存在略微差异。

3 反推涡壳

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，导致发动机进入旋转失速或喘振的不稳定工况，从而对飞行安全造成严重威胁[9-15]。为了避免并解决反推装置打开时反推气流对发动机进口流场的影响，针对室内试车台设计反推涡壳装置，如图 3 所示。反推涡壳安装在反推试验车上，反推试验车主要由左侧涡壳、右侧涡壳、支架、水平导轨、轴向导轨、固定座组成，如图 4 所示。在试车台架安装发动机及反推力装置后，左、右涡壳由两侧闭合，如图 5 所示。在试验时，反推排气沿涡壳流道排出，避免被发动机吸入。

图 3 反推涡壳装置

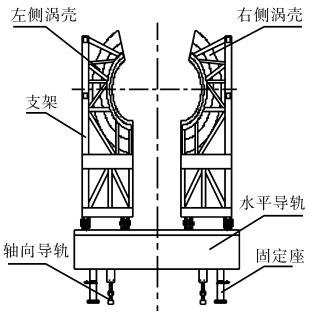

图 4 反推试验车

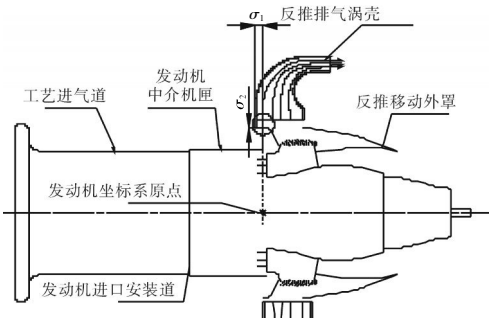

图 5 试车台架涡壳与反推力装置相对位置

4 反推力测量系统

国内发动机反推力测量普遍采用双向推力测量方式，其投入成本高，工作量大，自动化程度较低。本试验采用标准推力传感器施加预紧力方式测量反推力，测量系统原理如图 6 所示。试验前通过液压加载装置对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，在试车时进行反推力测量[16-17]。在测量过程中，为保证推力数据测量的准确性，预紧

力需持续加载。采用这种方式进行反推力测量,不仅降低了试车台建设成本,提高了工作效率,而且加载的预紧力值可实时读取,提高了试验数据的准确性。

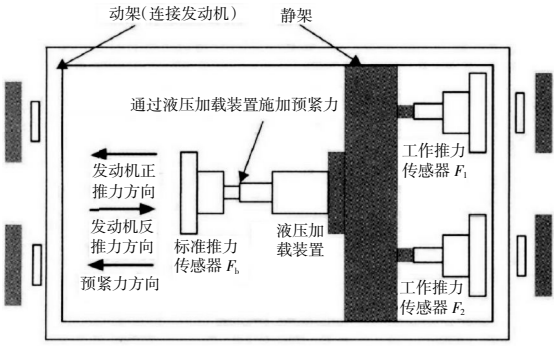

图 6　反推力测量系统原理

5　反推装置试验

5.1　反推装置静态调试

完成反推力装置与发动机配装、扣合后,需在发动机不运转的条件下进行反推力装置静态调试,执行打开和关闭动作,以检查反推力装置各系统工作是否正常。为了确保反推力装置展开、收回安全,检查步骤如下:

(1)利用手动方式分别进行反推力装置展开、收回;

(2)利用反推液压及控制系统进行反推力装置展开、收回。

在静态调试检查过程中,应注意以下事项:

(1)反推力装置静态开闭前应首先检查反推力装置的安装工装是否拆除,以免反推力装置进行动作时损坏反推短舱。

(2)打开反推力装置移动外罩后,观察液压系统是否有漏油、渗油点,以免在试车过程中漏油引起火灾。

(3)进行反推力装置展开、收回检查时液压系统供压一定要遵循先低压压力后高压压力的检查原则,以免出现卡滞损坏反推力装置的情况。

5.2　反推力装置全状态调试

在静态调试检查结束后,进行发动机正反推力性能录取,联调时通常遵循以下步骤:

(1)对试车台架推力系统进行标定,确定试车台架正反推力系统处于正常工作状态;

(2)在正推力的情况下进行发动机试车,此时反推力装置作为发动机外涵喷口使用,录取发动机各状态包括稳态、过渡态的性能,及评定该反推力装置性能;

(3)完成发动机稳态、过渡态性能录取后,进行发动机与反推力装置联合调试。

5.3　试验结果

试验录取了发动机从着陆慢车状态至最大反推状态下的性能参数,试验结果趋势如图 7 所示。

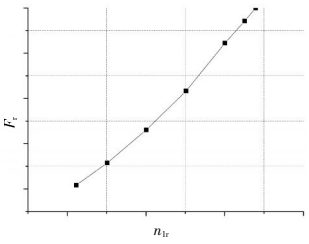

图 7　低压换算转速与反推力曲线

6　结束语

试验完成了反推力装置的整机配台、调试和随发动机的初步验证,获得了反推力状态下性能数据。试验结果表明,反推装置正推力与反推力状态与发动机匹配性良好,反推力装置状态良好,开合同步性满足要求,为后续反推力装置适航性持久试验打下了坚实基础,对建立室内试车台反推装置试验方法具有一定的参考意义。

参考文献:

[1] 靳宝林, 邢伟红, 刘殿春. 飞机 / 发动机推进系统反推力装置[J].航空发动机, 2004(4):48-52.
JIN Baolin, XING Weihong, LIU Dianchun. Thrust reversers of aircraft/engine propulsion system [J]. Aeroengine,2004 (4): 48-52. (in Chinese)

[2] 杜刚. 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. 深圳:中国航空学会、中国工程院机械与运载工程学部, 2007:999-1009.
DU Gang. Large transport aircraft engine thrust reverser[C]//Proceedings of the Key Technology High-Level Forum of Large Aircraft and the 2007 Annual Conference of the Chinese Aviation Society. Shenzhen: Chinese Society of Aeronautics and Astronautics, Mechinary and Deliverary Engineering Department of Chinese Academy of Engineering, 2007:999-1009. (in Chinese)

[3] 毛文懿,杨铁链,李涛,等.反推力装置适航符合性验证思路研究[J]. 航空科学技术,2014,25(7):34-37.
MAO Wenyi, YANG Tielian, LI Tao,et al. Research of airworthiness compliance verification considerations for thrust reversers[J]. Aeronautical Science & Technology,2014,25(7):34-37. (in Chinese)

[4] 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. 深圳:中国航空学会、中国工程院机械与运载工程学部, 2007:1041-1047.
SHAO Wanren,YE Liuzeng,SHEN Xigang,et al. A primary discussion on thrust reversers critical technologies and implement approaches of

large airplanes [C]// Proceedings of the Key Technology High-Level Forum of Large Aircraft and the 2007 Annual Conference of the Chinese Aviation Society. Shenzhen: Chinese Society of Aeronautics and Astronautics, Mechinary and Deliverary Engineering Department of Chinese Academy of Engineering, 2007:1041-1047. (in Chinese)

[5] 沙江,徐惊雷.发动机反推力装置及其研究进展[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.深圳:中国航空学会、中国工程院机械与运载工程学部, 2007:1022-1027.
SHA Jiang,XU Jinglei. Engine thrust reverser and its research progress [C]//Proceedings of the Key Technology HighLevel Forum of Large Aircraft and the 2007 Annual Conference of the Chinese Aviation Society. Shenzhen: Chinese Society of Aeronautics and Astronautics, Mechinary and Deliverary Engineering Department of Chinese Academy of Engineering, 2007:1022-1027. (in Chinese)

[6] 王玉新.飞机发动机反推力装置的创新设计[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. 深圳:中国航空学会、中国工程院机械与运载工程学部, 2007:1028-1034.
WANG Yuxin. Innovative design of aircraft engine thrust reverser[C]// Proceedings of the Key Technology High-Level Forum of Large Aircraft and the 2007 Annual Conference of the Chinese Aviation Society. Shenzhen: Chinese Society of Aeronautics and Astronautics, Mechinary and Deliverary Engineering Department of Chinese Academy of Engineering, 2007:1028-1034. (in Chinese)

[7] 邱朝群,孙世东. 反推力系统适航设计与符合性验证分析[J]. 航空工程进展,2018,9(1):126-130.
QIU Chaoqun,SUN Shidong. Airworthiness design and analysis of compliance demonstration for reversing system [J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering,2018,9(1):126-130. (in Chinese)

[8] Federal Aviation Administration. AC91-79A Mitigating the risks of a run way over run upon landing[S]. Washington: Federal Aviation Administration, 2016.

[9] Trapp L G,Oliveira G L . Aircraft thrust reverser cascade configuration evaluation through CFD[R]. AIAA-2003-723.

[10] 胡骏,赵运生,丁宁,等.进气畸变对大涵道比涡扇发动机稳定性的影响[J]. 航空发动机,2013,39(6):6-12.
HU Jun, ZHAO Yunsheng, DING Ning,et al. Investigation of influence of inlet distortion on high bypass ratio turbofan engine stability [J]. Aeroengine,2013,39(6):6-12. (in Chinese)

[11] Yeh H. An actuator disc analysis of inlet distortion and rotating stall in axial flow turbomachines [J]. Journal of the Aerospace Sciences, 1959, 26(11): 739-753.

[12] Greitzer E M,Griswol H R. Compressor-diffuser interaction with circumferential flow distortion [J]. Journal of Mechanical Engineering Science, 1976, 18(1): 25-38.

[13] Greitzer E M,Mazzawy R S,Fulkerson D A. Flow field coupling between compression system components in asymmetric flow [J]. Journal of Engineering for Power, 1978, 100(1):66-72.

[14] 李达新,赵克良,王奇志,等. 民机涡扇发动机重吸入特性风洞试验[J]. 实验流体力学,2012,26(5):31-35.
LI Daxin,ZHAO Keliang,WANG Qizhi,et al. Wind tunnel test for turbofan engine reingestion characteristic of civil aircraft[J]. Journal of Experiments in Fluid Mechanics, 2012,26(5):31-35. (in Chinese)

[15] 左志成, 钱瑞战. 民机反推力装置对发动机进气口流场畸变影响的数值模拟研究[J].飞机设计,2007,27(5):60-64.
ZUO Zhicheng,QIAN Ruizhan. Numerical simulation investigation of effect of thrust reverser operating on engine inlet flow distortion for civil transport[J]. Aircraft Design ,2007,27(5):60-64.(in Chinese)

[16] 赵晨. 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论文集. 北京: 中国航空学会, 2016:480-483.
ZHAO Chen. Software system design of aero-engine thrust bench calibration [C]//Proceedings of 2016 Aviation Test and Testing Technology Academic Exchange Conference. Beijing: Chinese Society of Aeronautics and Astronautics,2016:480-483. (in Chinese)

[17] 赵晨,林山,张巍,等. 航空发动机台架反推力测量技术研究[J]. 测控技术,2017,36(5):136-138,143.
ZHAO Chen,LIN Shan,ZHANG Wei,et al. Study on reverse thrust measurement technology of aero-engine bench [J]. Measurement & Control Technology,2017,36(5):136-138,143. (in Chinese)

(编辑:贺红井)