

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2017.10.056

载荷校准试验安全监控关键环节研究

贾天娇*, 李志蕊

中国飞行试验研究院, 陕西 西安 710089

摘要: 根据飞行载荷测量地面校准试验的安全保障需求, 构建了试验专用监控系统, 研究了试验中安全监控关键环节, 包括加载监控、约束监控、试验场所全面监控三部分, 总结了危害试验安全的异常情况应急处置措施, 列举了飞机机翼和起落架载荷校准试验安全监控应用实例, 对后续相关试验的安全保障具有重要的指导意义。

关键词: 飞行载荷; 校准试验; 安全监控; 飞机; 自动加载系统

中图分类号: V217+. 32 文献标识码: A 文章编号: 1007-5453 (2017) 10-0056-04

飞机飞行载荷实测是飞机设计载荷验证的最真实、最直接的方法, 对飞行包线扩展、载荷验证、结构优化、载荷谱实测等有非常重要的意义, 更是跨代飞机和民用飞机必须进行的试飞项目。目前, 国内外飞行载荷实测普遍采用应变法^[1-4], 而载荷校准试验^[5-10] 又是应变法必不可少的关键试验环节。载荷校准试验作为一个大型复杂的地面试验, 其安全受到很多因素的影响, 包括可预见和不可预见的因素, 为避免飞机结构破坏、人员伤害及其造成的财产损失等后果, 必须采取风险管理的方法, 积极主动监控已知的安全风险并探测新出现的安全问题, 将试验的风险降至并保持在可接受的范围之内, 以保证试验安全。

1 试验安全监控系统原理

试验监控技术贯穿于飞行载荷测量地面校准试验的试验准备、试验实施、试验终结在内的全过程, 目前采用基于计算机技术、多媒体技术、数字压缩技术, 以及计算机网络技术的试验监控系统, 其结构原理如图 1 所示。通过摄像机采集现场影像, 通过光端机将视频数据传送至试验信号叠加器; 同时, 从加载控制计算机采集试验数据, 将采集的试验数据叠加至原始视频。然后, 视频分配器将叠加有试验数据的视频信号和载荷曲线计算机输出的试验载荷曲线信号分发到音视频矩阵和存储设备, 最后在监视器显示。

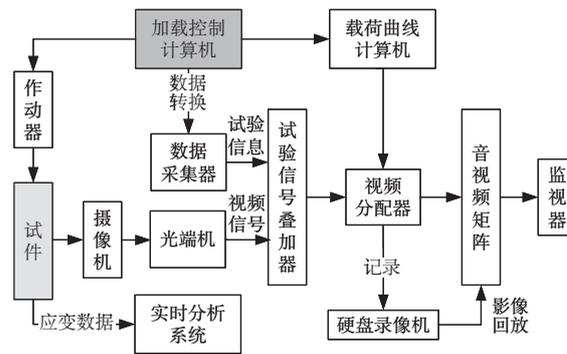


图 1 载荷校准试验安全监控系统
Fig.1 Security monitoring system of load calibration test

2 试验安全监控关键环节

载荷校准试验可以直接在试验样机上对测载部件进行加载校准试验, 也可以先从飞机上将试验部件拆下来, 再安装固定在地面试验平台上进行加载校准试验。试验涉及机翼、平尾、垂尾、机身、起落架等测载部件, 其主要环节包括试验设备安装、试验调试、正式试验、试验设备换装、试验设备卸装等。根据载荷校准试验特点, 对试验过程中需要重点实时监控的环节进行分析。

2.1 加载监控

载荷校准试验飞机为全状态在飞飞机, 对试验安全有极高的要求, 校准试验中不允许有任何的载荷超限或意外损

收稿日期: 2017-08-16; 退修日期: 2017-08-28; 录用日期: 2017-09-15

* 通信作者. Tel.: 029-86837951 E-mail: jiatianjiaonihao@126.com

引用格式: JIA Tianjiao, LI Zhirui. Research on key points of security monitoring for load calibration test [J]. Aeronautical Science & Technology, 2017, 28 (10): 56-59. 贾天娇, 李志蕊. 载荷校准试验安全监控关键环节研究 [J]. 航空科学技术, 2017, 28 (10): 56-59.

伤^[11]。试验采用液压自动加载系统进行协调加载,对加载过程进行实时监控,主要包括加载跟随性监控、应变数据监控、关键部位监控三种:

(1) 加载跟随性监控。对加载命令和反馈全程实时监控,并通过设置误差值、最大保护极限值来保证主动加载通道的准确性,保证各载荷工况载荷施加的协调性,进而确保飞机载荷校准试验的安全。试验中最大误差(error)通常取值在 $\pm 5\%$ 范围内,一旦超过error便立即触发应急动作。

(2) 应变数据监控。通过实时分析系统对试件的应变响应数据进行分析处理,保证试验中应变最大值不超过限制值。

(3) 关键部位监控。监控加载作动器的加载垫板与被试件的接触点;监控鸭翼、T形尾翼布局飞机平尾等结构采用的加载卡板与被试件结构的接触点;监控起落架缓冲器支柱压缩行程的变化量。

2.2 约束监控

载荷校准试验时,必须对飞机进行一定的约束,保持飞机平衡,使飞机在试验时保持不动,以保证加载的精度^[12],同时确保人机安全。对约束进行实时监控,包括飞机姿态、配置、起落架约束、作动器约束以及约束载荷。

(1) 飞机姿态监控。在飞机机头(一般在飞机空速管位置)、机尾、左/右机翼翼尖等位置加装吊锤或位移传感器,通过位移变化判断飞机在施加外载荷时的平衡状态,一旦超出预定范围,即表明飞机姿态已发生变化。

(2) 配重监控。采用配重方式对飞机姿态进行调整,对机身上部配重区域进行局部重点监控,检查配重框和配重物是否出现移动。

(3) 起落架约束监控。监控前起落架和左、右主起落架的垂向、航向、侧向支持以及约束装置在加载过程中是否发生位移。起落架脱机校准试验时,还应对机轮“假件”接头与约束装置的连接固定情况进行密切监控,若起落架固定约束不紧,可能会影响加载过程中试验件安全。

(4) 作动器约束监控。监控作动器、增高底座等加载装置与地面的连接状态。

(5) 约束载荷监控。对于加载量级要求较大的复杂部件载荷校准试验,飞机起落架约束部位的承载压力必然也更大,其风险也较大,在实施过程中,对飞机起落架约束载荷也应进行实时监控^[13],并与计算结果进行对比分析,保证试验中约束载荷不超过使用限制。

2.3 试验场所监控

对试验区域内飞机结构整体、设备运行状态、人员活动

等各类事件进行全方位的实时监控和记录。在试验设备安装、换装、卸装的过程中,对吊具可能发生故障、绑扎松动、起吊件不平衡摆动、飞机失去平衡、物品坠落、工作人员受伤等情况进行监控。在试验进行过程中,主要对液压系统及设备的运行状态监控,包括液压泵站的油温,系统紧急停止控制盒开关操作,输油管路与保护模块、分油器、作动器等连接处是否发生漏油,加载区域内的控制线缆是否与输油管等设备发生干涉,试验辅助设备如专用试验台架等工作情况。

2.4 试验异常情况应急处置

常见危害试验安全的异常情况及应对措施见表1。试验应急处理方案主要有两种:一是正常卸载,二是自动触发应急停。正常卸载,即触发非自锁应急动作,如HOLD(试验保持)、STOP(试验停止),现场排故确认后继续试验。自动触发应急停,即触发自锁应急动作,待载荷反馈信号减少到零,作动器与加载点脱离后再进行排故,故障排除后需经过预加载检验才能重新执行自动加载程序。

表1 试验异常情况应急处置
Table 1 Emergency measures in test

监控目标	异常情况	控制措施
约束监控	飞机姿态变化超限	正常卸载
	配重偏移	正常卸载
	作动器约束松动	正常卸载
	起落架约束装置移位	正常卸载
	约束载荷超限	正常卸载
加载监控	数据传输故障	正常卸载
	数据显示故障	正常卸载
	命令和反馈误差超限	正常卸载
	应变数据超限	正常卸载
	作动器抖动	正常卸载
试验场所监控	泵源液面示数异常	正常卸载
	泵源压力示数异常	正常卸载
	子站压力示数异常	正常卸载
	液压管路漏油	正常卸载
	泵源油温示数超限	自动触发应急停
	控制电缆脱落或切断	自动触发应急停
	应急供电盒断电	自动触发应急停

3 应用

实例1:某型机机翼载荷校准试验中,在后梁的加载点上实施加载时,通过加载跟随性监测发现振动,如图2所示。振动幅值迅速增大,振动持续2.5s,并有继续扩大趋势。与此同时,关键部位机翼后梁根部的应变计响应实时分析结果中并未发现振动,如图3所示。此异常情况为作动器抖动。

但由于触发时间参数设置不合理,导致振动发生后,尽管反馈与命令的误差已经远远超过设定值 5%,却仍无法自动触发应急动作。以手动 STOP 方式正常卸载,立即停止试验。

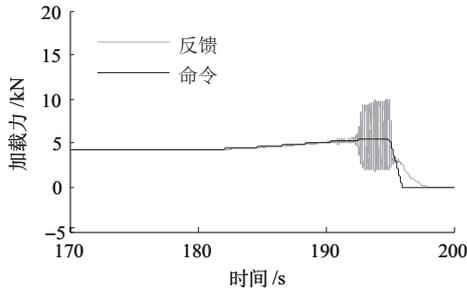


图 2 机翼校准试验加载曲线

Fig.2 Load curve in calibration test of airplane wing

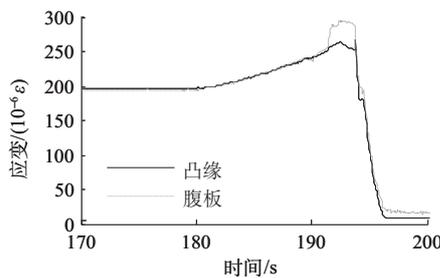


图 3 机翼后梁应变分析

Fig.3 Strain analysis of rear beam of the wing

实例 2: 某机起落架载荷校准试验采用脱机校准试验方法,即将试验起落架从飞机上拆下,固定在专用试验台架上进行加载试验,如图 4 所示。起落架缓冲支柱行程 50mm,进行起落架支柱垂向、侧向两向组合加载工况(见表 2)时,通过加载跟随性监测发现,垂向反馈曲线台阶拐角处出现“小尖刺”,如图 5 所示。此类“小尖刺”主要由结构间隙引起,一般都在误差允许范围内,并不影响试验进程。但应注意,当“小尖刺”超过试验安全最大误差 5% 时,自动触发 STOP 正常卸载。

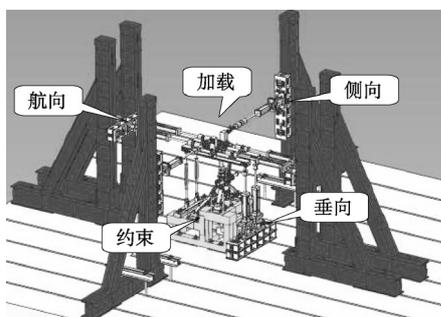


图 4 起落架载荷校准试验

Fig.4 Load calibration test of landing gears

表 2 起落架校准试验载荷工况

Table 2 Load conditions in calibration test of landing gears

	垂向	航向	左侧	右侧
载荷 /kN	-52.5	0	+20.0	-20.0

注: - 表示作动器施加拉向力, + 表示作动器施加压向力

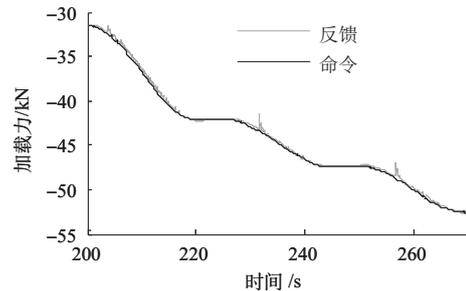


图 5 起落架校准试验加载曲线

Fig.5 Load curve in calibration test of landing gears

4 结论

本文重点研究了载荷校准试验中安全监控实施过程的关键环节及应急处置措施,已成功应用到多种型号飞机载荷校准试验中,有效保障了试验安全。

AST

参考文献

- [1] 杨全伟,舒成辉,赵华.大型飞机翼面载荷测量技术浅析[J].航空制造技术,2009(8):48-50.
YANG Quanwei, SHU Chenghui, ZHAO Hua. Brief analysis of load measurement of wings on large commercial jet [J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2009 (8): 48-50. (in Chinese)
- [2] Skopinski T H, Aiken W S, Huston W B. Calibration of strain-gage installations in aircraft structures for the measurement of flight loads[R]. NASA report 1178, 1954.
- [3] Hovell P B, Webber D A, Roberts T A. The interpretation of strain measurements for flight load determination[R]. C.P.No.839. London: Her Majesty's Stationary Office, 1966.
- [4] 赵燕,高尚,张多源.一种可用于飞行载荷测量的改进遗传算法[J].机械科学与技术,2012,31(8):1265-1266.
ZHAO Yan, GAO Shang, ZHANG Duoyuan. An improved genetic algorithm for flight load measurements[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2012, 31 (8): 1265-1266. (in Chinese)
- [5] William A L, Cadida D O, Tony C. Strain-gage loads calibration testing of the active aeroelastic wing F/A-18 airplane 2926[Z].

- NASA Dryden Flight Research Center, 2002.
- [6] 赵燕, 范华飞, 李志蕊. 一种用于飞行载荷实测的改进动态模型建立方法[J]. 机械强度, 2015, 37 (2): 243-247.
ZHAO Yan, FAN Huafei, LI Zhirui. An improved building-dynamic-load-model method for flight load measurements[J]. Mechanical Strength, 2015, 37 (2): 243-247. (in Chinese)
- [7] 范华飞, 何发东, 赵燕. 自适应飞行载荷实测模型[J]. 机械科学与技术, 2015, 34 (5): 817-820.
FAN Huafei, HE Fadong, ZHAO Yan. An adaptive measurement model of flight loads[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2015, 34 (5): 817-820. (in Chinese)
- [8] 何发东, 范华飞. 全动平尾带偏度载荷校准试验技术研究[J]. 机械强度, 2014, 36 (3): 374-377.
HE Fadong, FAN Huafei. Stabilator with skewness load calibration test technology research[J]. Mechanical Strength, 2014, 36 (3): 374-377. (in Chinese)
- [9] 尚琳, 何发东, 杨华保, 等. 基于神经网络的垂尾飞行载荷模型研究[J]. 强度与环境, 2011, 38 (5): 49-53.
SHANG Lin, HE Fadong, YANG Huabao, et al. Research on flight loads model of vertical tail based on neural networks[J]. Structure & Environment Engineering, 2011, 38 (5): 49-53. (in Chinese)
- [10] 杨全伟, 何发东, 汪文君. 飞机起落架载荷测量中的线性变换与鲁棒性[J]. 应用力学学报, 2013, 30 (4): 608-612.
YANG Quanwei, HE Fadong, WANG Wenjun. The linear transformation and robustness in loads measurement of aircraft landing gear[J]. Chinese Journal of Applied Mechanics, 2013, 30 (4): 608-612. (in Chinese)
- [11] 曹景涛, 高尚. 液压多点协调加载技术在机翼载荷校准试验中的应用[J]. 航空科学技术, 2015, 26 (05): 71-75.
CAO Jingtao, GAO Shang. Application of hydraulic multipoint coordinate loading technology in load calibration test of airfoil[J]. Aeronautical Science & Technology, 2015, 26 (05): 71-75. (in Chinese)
- [12] 何发东. 基于多点协调加载试验的机翼飞行载荷模型研究[J]. 机械科学与技术, 2015, 34 (11): 1800-1804.
HE Fadong. Aircraft wing flight load model based on multiple-point coordinated loading calibration test[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2015, 34 (11): 1800-1804. (in Chinese)
- [13] 曹景涛. 六自由度静定支持与约束技术在飞机载荷校准试验中的应用[J]. 应用力学学报, 2014, 31 (3): 317-321.
CAO Jingtao. The application of six degree of freedom statically determinate support and restraint technology in aircraft load calibration test[J]. Chinese Journal of Applied Mechanics, 2014, 31 (3): 317-321. (in Chinese) (责任编辑 杨晓彤)

作者简介

贾天娇(1985—)女, 硕士, 工程师。主要研究方向: 飞机载荷强度。

Tel: 029-86837951

E-mail: jiatianjiaonihao@126.com

Research on Key Points of Security Monitoring for Load Calibration Test

JIA Tianjiao*, LI Zhirui

Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China

Abstract: According to the security requirements of flight load calibration test, a special monitoring system for calibration test was constructed. After focusing on the key points of security monitoring in test, such as loads, restraints, and test sites, emergency measures were put forward. Then applications on security monitoring in load calibration test of airplane wing and landing gears were given. It will provide important guidance for the follow-up test on aircraft.

Key Words: flight load; calibration test; security monitoring; aircraft; auto-loading system

Received: 2017-08-16;

Revised: 2017-08-28;

Accepted: 2017-09-15

*Corresponding author. Tel.: 029-86837951 E-mail: jiatianjiaonihao@126.com