

# 基于双力控作动筒的带载活动翼面操纵检查试验加载技术研究及应用



张舵<sup>1,\*</sup>, 张园<sup>2</sup>, 杨兆林<sup>3</sup>, 勾利娜<sup>4</sup>

1. 中国飞机强度研究所 全尺寸飞机结构静力/疲劳重点实验室, 陕西 西安 710065

2. 西安长庆科技工程有限责任公司, 陕西 西安 710021

3. 长庆油田勘探开发研究院, 陕西 西安 710021

4. 西部机场集团有限公司, 陕西 西安 710075

**摘 要:** 本文提出了一种基于双力控作动筒的带载活动翼面操纵检查试验加载方法, 采用力的等效分解、合成原理, 通过两个力控加载作动筒, 实现垂直翼面弦平面载荷的施加, 保证了载荷大小和方向, 并通过模拟试验验证了该方法的可行性、有效性和实用性。将该方法应用于大型灭火/水上救援水陆两栖飞机副翼操纵检查试验, 取得了预期效果。

**关键词:** 操纵检查; 活动翼面; 双力控作动筒

中图分类号: V215.2+1

文献标识码: A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2020.04.008

升降舵、方向舵、副翼、扰流板等活动翼面是保证飞机操纵性能的重要部件, 在操纵运动过程中卡滞或干扰, 将直接影响飞行安全, 因此进行带载活动翼面操纵检查试验至关重要<sup>[1-4]</sup>。

带载活动翼面操纵检查试验中需要在活动翼面及其支持结构上同时施加载荷, 以便更加真实地模拟活动翼面在操纵过程中的受载状态和支持条件。活动翼面操纵检查试验中翼面法向载荷分级施加, 每级均应垂直其弦平面<sup>[5-6]</sup>。常规的单作动筒固定模式无法同时实现变载荷、变方向的加载, 仅能保证在一个位置的载荷、方向满足试验要求, 因此研发活动翼面操纵检查试验的随动加载成为该类型试验亟待解决的问题之一。

基于此, 本文提出了一种简洁的带载活动翼面操纵检查试验技术, 并通过模拟试验验证其有效性和合理性。

## 1 带载活动翼面操纵检查试验技术

### 1.1 总体思路

在带载活动翼面操纵检查试验中, 为了更加真实地模拟活动翼面在操纵过程中的受载状态, 与以往的活动翼面

操纵检查试验不同的是需要在活动翼面及其支持结构上均施加载荷, 并要求活动翼面载荷方向始终垂直于其弦平面。在某工程可靠性试验中, 采用专用随动加载装置解决了活动翼面在运动过程中的变载荷、变方向加载难题, 但是在全机静力试验的活动翼面操纵检查试验中, 采用专用随动加载装置存在加载高度高、试验调试周期长、随动加载装置风险高等缺点。因为活动翼面处于不同的偏转角度, 垂直翼面弦平面的载荷大小和方向均不同, 如何施加一个变方向和变大小的载荷是本类型试验的难点所在。为解决试验中的活动翼面载荷随动加载问题, 提出了一种简洁的带载活动翼面操纵检查试验技术——双作动筒加载方法。

### 1.2 技术方案

双力控作动筒加载方法采用力的等效分解、合成原理, 通过两个力控加载作动筒, 实现垂直弦平面载荷的施加。具体原理如图1所示, 根据活动翼面理论运动轨迹, 活动翼面运动轨迹离散为3~6个位置点, 确定作动筒安装位置和方式, 分解活动翼面法向载荷, 通过两个力控作动筒施加, 保证载荷大小的同时保证载荷方向垂直于弦平面。

具体试验设计步骤为: 根据杠杆末端的初始加载力线

收稿日期: 2019-10-11; 退修日期: 2020-01-14; 录用日期: 2020-02-25

\*通信作者: Tel.: 15129088932 E-mail: zhangtuo-2008@163.com

引用格式: Zhang Tuo, Zhang Yuan, Yang Zhaolin, et al. Research and application of loading test technology for loaded airfoil maneuvering inspection test based on double action control actuator[J]. Aeronautical Science & Technology, 2020, 31(04): 50-53. 张舵, 张园, 杨兆林, 等. 基于双力控作动筒的带载活动翼面操纵检查试验加载技术研究及应用[J]. 航空科学技术, 2020, 31(04): 50-53.

和最终加载力线确定活动翼面操纵试验的力线平面,在该平面内选择位置均固定两个力控作动筒,如图1所示。将一次操纵过程活动翼面的载荷和偏转角度分为6级,逐级确定活动翼面的二力合成点A坐标及垂直弦平面力线方向,两个力控作动筒的载荷值及与力线的夹角分别为 $P_{1i}$ 、 $P_{2i}$ 和 $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ 表示, $i = 0, 1, 2, 3, 4, 5$ ,忽略加载杠杆的重量,为满足垂直弦平面加载必须满足如下关系:

$$P_{1i} \cos(\alpha_i) + P_{2i} \cos(\beta_i) = P_i \quad (1)$$

$$P_{1i} \sin(\alpha_i) - P_{2i} \sin(\beta_i) = 0 \quad (2)$$

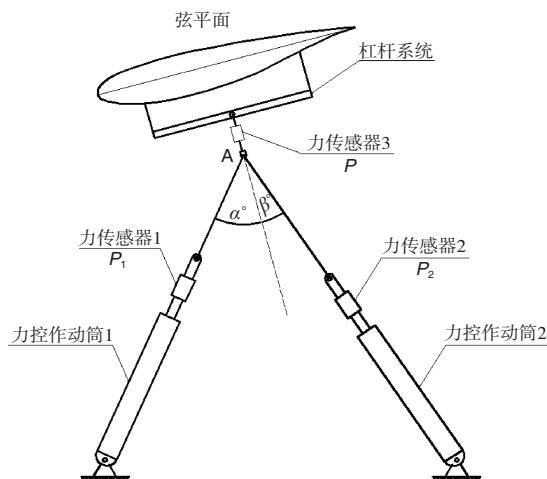


图1 双力控作动筒加载示意图

Fig.1 Double action control actuator loading diagram

对上述方程进行求解可得:

$$P_{1i} = P_i \sin(\beta_i) / \sin(\alpha_i + \beta_i) \quad (3)$$

$$P_{2i} = P_i \sin(\alpha_i) / \sin(\alpha_i + \beta_i) \quad (4)$$

已知二力合成点A点的坐标以垂直弦平面力线的方向,通过三角函数关系即可得到角 $\alpha_i$ 和 $\beta_i$ ,两个力控作动筒的分力值根据式(3)和式(4)可以计算得到。

## 2 试验验证

为了验证双力控加载方法的加载精度是否满足试验加载要求,设计了验证试验。

按照图2所示完成验证试验的安装。验证试验选用5#槽钢杠杆一根、测力传感器三个,倾角传感器两个,作动筒三个(其中两个力控作动筒,一个位控作动筒)及6.5m立柱一根。

验证试验将5#槽钢杠杆一端(记为a端)铰支在6.5m立柱上,通过位控作动筒在杠杆和作动筒平面内模拟活动翼面的角度变化。杠杆另一端(记为b端)加装测力传感器(记

为传感器3),在地面安装加载力控作动筒1、2。作动筒1、2均安装测力传感器1、2。在杠杆上安装倾角传感器1测量杠杆转动角度,在测力传感器3上安装倾角传感器2测量测力传感器3的偏转角度,根据试验加载数据分为6级验证,逐级计算各级施加载荷值和角度值,采用MTS多通道协调加载伺服控制系统进行加载。

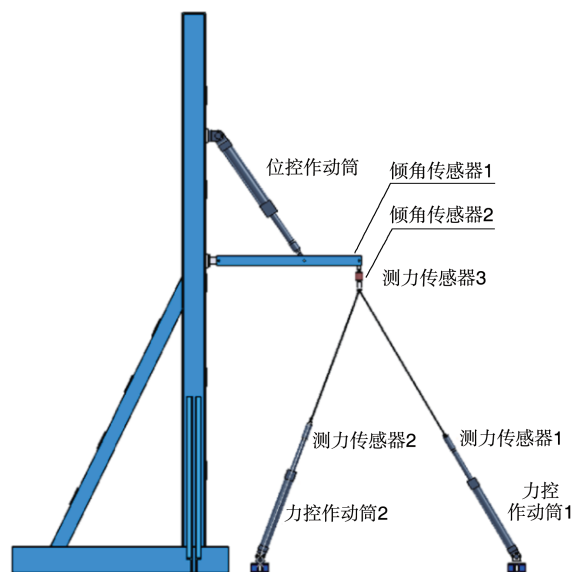


图2 单点双力控作动筒试验安装示意图

Fig.2 Single point double action control actuator test installation diagram

双力控作动筒加载方法中,力控作动筒1与测力传感器3组成闭环控制系统,力控作动筒2与测力传感器2组成闭环控制系统,测力传感器1作为单独的一个力监视点,力控作动筒1逐级施加合力值,力控作动筒2逐级施加其分力值,逐级记录测力传感器3及倾角传感器反馈值和测力传感器的反馈值,计算传感器3与杠杆的夹角,试验结果如图3所示。

验证试验加载稳定,从图3可以看出载荷方向与杠杆偏转角度垂直度误差在2%以内,说明法向载荷的垂直度满足要求,同时由于力控作动筒1直接施加的是活动翼面上的法向载荷,可准确施加载荷值,因此该方法能够满足变方向变载荷加载。

## 3 工程应用

某工程活动翼面(翼面带载)操纵检查试验中采用双力控作动筒加载方法对活动翼面进行操纵检查试验。为使活动翼面保持在各级理论角度,试验前控制驾驶舱内的位控

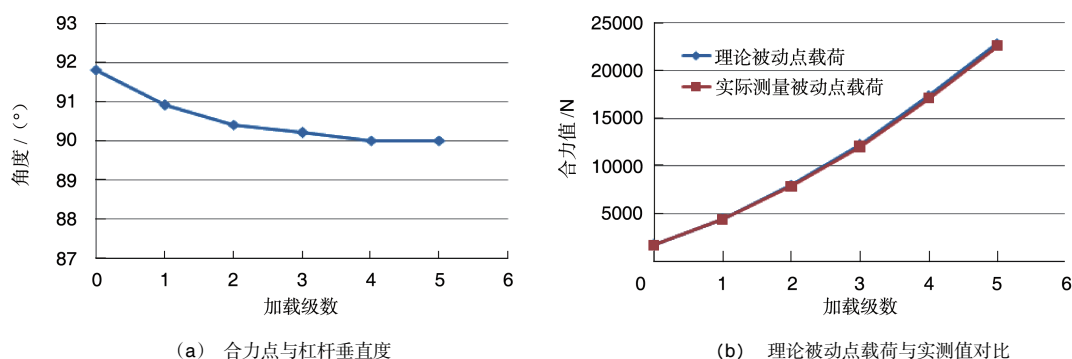


图3 双力控加载验证试验结果

Fig.3 Double action control loading verification test results

作动筒进行标定试验,标定试验是确定位控液压作动筒与活动翼面偏角的对应关系。为保证试验加载精度采取了如下措施:

(1)活动翼面进行操纵检查试验过程中,左平尾安定面和垂尾变形发生变化,为消除此垂尾变形对试验结果的影响,在右活动翼面施加配平载荷保证垂尾变形基本不变,在机身施加配平载荷保证全机平衡。

(2)加载作动筒地面导向安装消除作动筒重量对各作动筒加载方向的影响,如图4所示。

(3)理论计算平尾在67%极限载荷满载时合力点A的理论位置,计算双力控作动筒与各级力线夹角是以此理论加载位置为准。

(4)加载设备的逐级扣重,消除加载设备重量(质量)的影响。

试验过程平稳,载荷协调,杠杆系统稳定,力控作动筒、位控作动筒控制正常,并无出现活动翼面卡滞、声响等异常

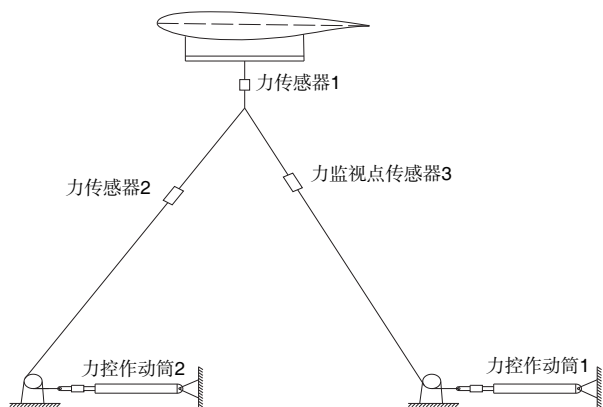


图4 活动翼面单点双力控作动筒加载安装示意图

Fig.4 Schematic diagram of loading and installation of movable airfoil single point double action control actuator

现象。试验结束后,对试验加载数据进行分析,活动翼面操纵检查试验结果如图5所示。

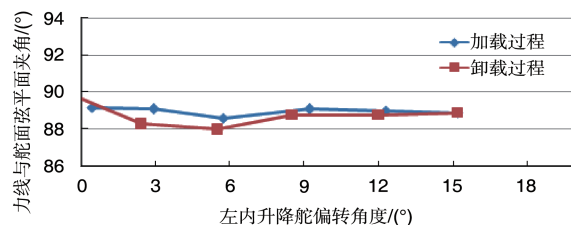


图5 活动翼面操纵检查试验结果分析

Fig.5 Analysis of the results of the movable airfoil manipulation inspection test

## 4 结论

针对带载活动翼面操纵检查试验分级操纵检查和翼面加载法向载荷的特殊性,提出了双作动筒的加载方法,该方法加载垂直度误差小于3%,载荷量值误差小于1%,满足试验要求。保证了试验的顺利进行,取得了预期的结论,达到了试验的目的,为结构设计形式的确定和后续研制的改进奠定了坚实的基础。

AST

## 参考文献

- [1] Chen B, Lu H. Static strength test of the main landing gear attachment structure of a type of civil aircraft[J]. Civil Aircraft Design & Research, 2013, 110(3):29-34.
- [2] Wang Y Q, Coules H E, Truman C E, et al. Effect of elastic follow-up and ageing on the creep of an austenitic stainless steel [J]. International Journal of Solids and Structures, 2018, 135: 219-232.
- [3] Wu D Q, Jing H Y, Xu L Y, et al. Theoretical and numerical

- analysis of creep crack initiation combined with primary and secondary stresses[J]. Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 2018,135: 142-157.
- [4] 张兆斌, 李明强, 李建. 大型运输机全机静力试验总体规划与实施研究[J]. 航空科学技术, 2015, 26(10): 25-27.  
Zhao Zhaobin, Li Mingqiang, Li Jian. Overall planning and implementation study of full machine static test for large transport aircraft[J]. Aeronautical Science & Technology, 2015, 26(10): 25-27. (in Chinese)
- [5] 强宝平. 全尺寸飞机结构试验技术[J]. 航空科学技术, 2012 (6):10-13.  
Qiang Baoping. Full-size aircraft structure test technology[J]. Aeronautical Science & Technology, 2012(6): 10-13. (in Chinese)
- [6] CCAR-25-R4 运输类飞机适航标准[S]. 北京: 中国民用航空局, 2009.  
CCAR-25-R4 Airworthiness standards for transport aircraft [S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2009. (in Chinese) (责任编辑 王为)

### 作者简介

张舵(1985-)男, 硕士, 工程师。主要研究方向: 结构强度设计。

Tel: 15129088932 E-mail: zhangtuo-2008@163.com

## Research and Application of Loading Test Technology for Loaded Airfoil Maneuvering Inspection Test Based on Double Action Control Actuator

Zhang Tuo<sup>1,\*</sup>, Zhang Yuan<sup>2</sup>, Yang Zhaolin<sup>3</sup>, Gou Lina<sup>4</sup>

1. Full Scale Aircraft Structural Static/Fatigue Laboratory, Aircraft Strength Research Institute of China, Xi'an 710065, China

2. Xi'an Changqing Technology Engineering Co. LTD., Xi'an 710021, China

3. Changqing Oilfield Exploration and Development Research Institute, Xi'an 710021, China

4. China West Airport Group, Xi'an 710075, China

**Abstract:** In this paper, a load-bearing active airfoil maneuvering inspection test loading method based on double-acting actuator is proposed. The principle of force equivalent decomposition and synthesis is adopted. The two force-controlled loading actuators realize the vertical airfoil chord plane. The application of the load ensures the magnitude and direction of the load, and the feasibility, effectiveness and practicability of the method are verified by simulation experiments. The method is applied to the large-scale fire/water rescue amphibious aircraft aileron maneuvering inspection test. The expected results are obtained.

**Key Words:** manipulation check; movable airfoil; double action control actuator

Received: 2019-10-11; Revised: 2020-01-14; Accepted: 2020-02-25

\*Corresponding author. Tel.: 15129088932 E-mail: zhangtuo-2008@163.com