

飞机活动面转角测量的方法探讨

Discussion on the Method of Aircraft Moving Surface Rotation Angle Measurement

戴 滨 / Dai Bin

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

摘 要:

真实飞机各部件的运动状态总是和理论状态存在差异,所以在飞机型号研制和试验试飞过程中,掌握飞机的实际运动状态是开展后续工作的基础,而由各种仪器测量结果来分析真实运动状态存在着许多困难。以某型号飞机的襟翼转角分析为例,从激光跟踪仪所测得的结果,分别通过圆模拟法和二面角法来分析襟翼在各卡位下的转角。并对两种方法进行详细的介绍和分析,以寻求合理的方法来消除测量误差、制造误差及结构变形对测量结果的影响,供后续工作的开展实施。

关键词:襟翼;激光跟踪仪;圆模拟法;二面角法

中图分类号:V227

文献标识码:A

[Abstract] There always exists difference in moving conditions between the real parts and the theoretical parts. So in the process of aircraft design and flight tests, it's necessary to know the real moving condition of the aircraft parts. But there exists many problems in the analysis of the real moving condition by a variety of instruments. In this article, we will take the flap rotation angle measurement for example, to analyze the rotation angle using circle simulation method and dihedral angle method with the data collected by laser tracker. We will introduce and analyze these two methods in detail, in order to search reasonable method to eliminate the influence of measure error, manufacture error and structure deformation to the final results, which will be used in the following working.

[Key words] flap; laser tracker; circle simulation method; dihedral angle method

0 引言

随着数字化测量技术的迅猛发展,测量的质量和效率都得到了大幅度的提升。波音、空客、中航工业等飞机制造公司已经普遍采用基于数字化测量设备^[1]的产品三维检测与质量控制。在飞机的型号研究过程中,设计人员越来越多地希望借助于三维测量设备来查找问题的根源。特别是在试制、试验试飞阶段,通过逆向工程全面掌握关键零部件的三维几何信息、运动信息是很多后续分析工作的重要依据。

从测量的数据中去获得物体真实的几何信息以及运动状态,是逆向工程的重要组成部分。那么如何分析已经获得的数据,以使得结果尽可能地反映飞机部件的真实状态是一件比较困难的事情。

本文从某型号飞机襟翼在各卡位下的转角测量为入口,分析逆向工程中可能会遇到的一些问题,并总结出一种飞机活动面转角测量的方法供后续开展工作参考。

1 问题起源

在飞机的试验试飞过程中,通常需要对飞机活动面的几何外形、安装准确性以及运动状态进行测量。以活动面转角测量为例,早期设计人员通常采用测角仪来确定飞机活动面的偏转角度,而测角仪的使用受到许多条件的限制,比如首先需要确定活动面的中立位置^[2]、测角仪只能安装在活动面的两端、只能测量端面的转角、测量精度不高等。这使得这种方式不能适用于现代大型客机工程对测量效率和测量精度的要求。

本文使用激光跟踪仪对飞机襟翼表面的数据进行采集,经过处理加工后得到襟翼的转角信息。

2 数据采集

为了保证数据采集点测量的准确性、完整性和便捷性,选取襟翼下表面沿展向分布的排水孔作为测量点。图1所示(俯视)为襟翼0卡位时测量点的分布情况,以及襟翼在打开状态下的3个卡位。

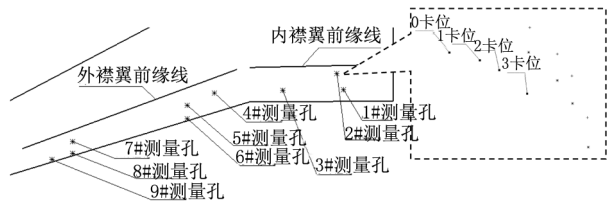


图1 襟翼测量点分布示意图

3 问题分析

对于沿机翼展向分布的9个测量点,要求通过这9个点在不同卡位下的测量坐标来确定襟翼在各卡位下的转角。

理论上内外襟翼设计为定轴转动,因而选取任意一个点,通过这个点在三个位置的坐标就可以确定圆心,进而确定这个点在空间的运动轨迹以及各卡位的转角。但是由于测量误差、制造误差、安装误差以及结构变形等因素,使得转角的确定变得较为复杂。

4 转角求解方法

为了尽可能准确地反映沿展向不同位置处襟翼的转角,下面采用圆模拟法和二面角法来分析襟翼的偏转角度,并对比分析两种方法的差异。

4.1 圆模拟法

通过将襟翼上的一个测量点所对应的各卡位状态下的坐标点进行拟合得到圆心的位置,理论上卡位数越多,拟合得到的圆心越准确,误差越小。这里测量的某型号飞机襟翼卡位一共有4个状态,即0、1、2、3卡位,用这4个点去拟合圆心,如图2所示。

4.2 二面角法

把襟翼分成内、中、外三段,每一段都有3个点确定一个平面,如图3所示。

如果平面与转轴平行,则旋转后的平面与初始

平面的夹角等于旋转角度。但是通常情况下初始平面与转轴会有一个夹角,所以旋转后的平面与初始平面的夹角不能简单地等同于旋转角度,需做相应的修正。

假设平面与转轴角度为 α ,旋转角度为 β ,则旋转后的平面与初始平面之间的平面角为 γ ,经推导这三个角度之间关系: $\cos\gamma = \sin^2\alpha + \cos^2\alpha \cdot \cos\beta$ 。

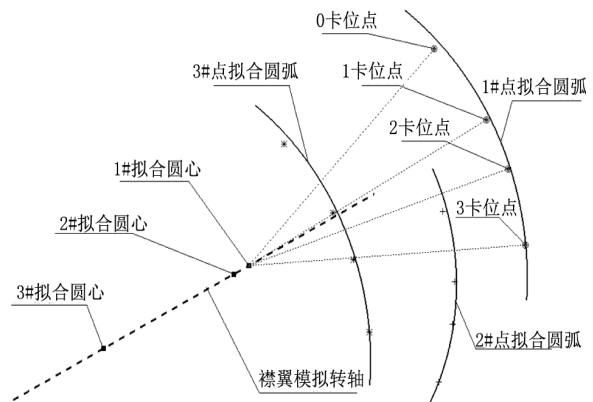


图2 圆模拟法示意图

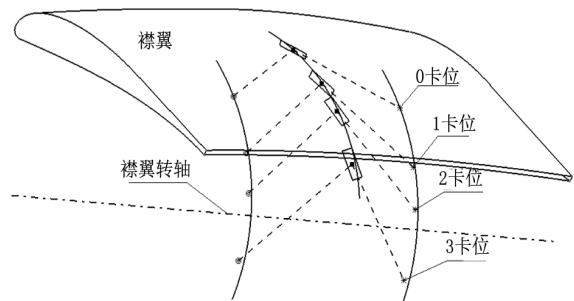


图3 二面角法示意图

5 测量数据处理

图4是左襟翼沿展向不同站位下各卡位转角与理论转角的偏差,图5是右襟翼沿展向不同站位下各卡位转角与理论转角的偏差。

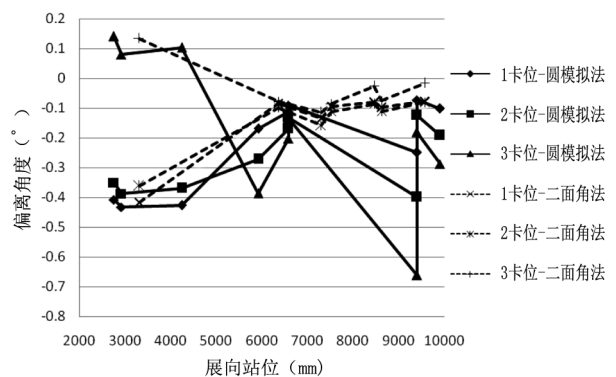


图4 左襟翼沿展向各卡位转角与理论值偏差

6 结果分析

6.1 模拟结果与理论值差异

从圆模拟法和二面角法所测得的角度和理论转角相比,在靠近机身处的转角差值较大,达到了 0.5° ,尤其是在1、2卡位时。沿展向越靠近翼尖,转角偏离越小,尤其在翼尖,转角的偏离值在 0.1° 以内。说明两种测量方法得到的结果基本趋势是一致的。对于外襟翼而言,转角的偏差有可能是机翼沿展向的结构变形所导致的;而对于内襟翼,偏差有可能是内襟翼的驱动机构本身存在转动偏差引起的。

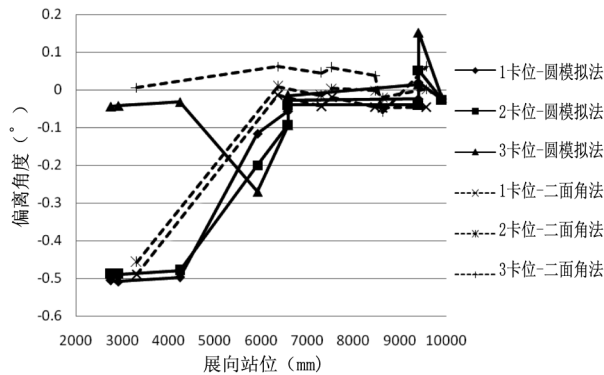


图5 右襟翼沿展向各卡位转角与理论值偏差

6.2 方法稳定性差异

从图中还可以发现,在整个沿展向的转角测量中,二面角法测得的结果波动幅度更小,与理论值的差值比圆模拟法更小。从图4中靠近翼尖处襟翼转角可以明显看出,在同一块襟翼上不同展向站位的转角,用二面角法得到的各站位转角之间的差异较小,而圆模拟法得到的转角明显有较大的起伏。下面采用有偏差的n方法^[3]计算圆模拟法和二面角法模拟结果的标准差。计算方法如公式(1)所示:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2} \quad (1)$$

其中 $\mu = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N x_i$, N 是样本数。

计算结果如表1所示。

从表1可以发现,二面角法计算结果的标准差都比圆模拟法要小,所以二面角法结果的离散程度更小,模拟的结果更加稳定,更能准确地表达襟翼整体的运动转角。而圆模拟法反映的是某一个剖面上襟翼的转角,没有考虑襟翼沿展向的结构变形

给转角值带来的影响。

表1 模拟结果标准差

模拟结果		标准差	
		圆模拟法	二面角法
左襟翼	1卡位	0.065 886	0.021 351
	2卡位	0.104 804	0.027 833
	3卡位	0.194 617	0.037 178
右襟翼	1卡位	0.045 248	0.015 042
	2卡位	0.083 775	0.011 396
	3卡位	0.138 977	0.046 74

7 结论

随着逆向工程在型号研制中的推广,面临的几何反问题会越来越多,特别是真实飞机部件的几何外形和运动状态的测量,传统的模拟量检测法已经不能适应大型产品的测量工作,因而现代数字测量方法越来越受到科研工程人员的欢迎。但是如何分析和应用数字测量方法得到的数据以得出产品真实的几何外形和运动参数还需要进行不断地摸索。

本文希望在这方面引起广泛的讨论,一方面促进测量及数据分析能力的提高,另一方面也为正向设计提供解决思路。从本文襟翼各卡位角度的三维模拟来看,二面角法比圆模拟法要稳定可靠,同时二面角法也不局限于定轴转动,对于混合平动和转动的襟翼运动同样适用,可尝试基于二面角法在活动面上设置水平测量点,用于全机水平测量工作中活动面运动卡位的检测等工作。

参考文献:

- [1]何胜强. 大型飞机数字化装配技术与装备[M]. 北京:航空工业出版社,2013.
- [2]金仲秋,马真安. 工程测量[M]. 北京:人民交通出版社,2013.
- [3]贾俊平,何晓群,金通进. 统计学[M]. 北京:中国人民大学出版社,2014.