

空气舵刻线测量工艺方法研究

唐 松 缪建国 何光武

(南京晨光集团有限责任公司, 南京 210006)



摘要: 空气舵相对于舱体的零位偏差和晃动量, 是影响飞行器装配质量的重要参数, 国内总装厂一般采用经纬仪进行测试, 测量准确度差, 测量效率极低。本文基于图像处理技术, 研制了一套影像法刻线测量装置, 该装置操作简单, 刻线测量不确定度小于 0.04mm, 测量效率相对于经纬仪法提高 10 倍以上, 大大简化了空气舵刻线测量工艺。

关键词: 空气舵; 零位偏差; 晃动量; 影像法

Research on Measurement of the Aerodynamic Rudder's Engraved Lines

Tang Song Miao Jianguo He Guangwu

(Nanjing Chengguang Group Co. Ltd, Nanjing 210006)

Abstract: Zero deviation and shaking amount of aerodynamic rudder, is an important parameter which directly affects the quality of the missile. Currently, most factories use theodolite testing and it's low accuracy and low efficiency. Based on image processing technology, developed a set of measuring device. It is simple to operate, and the measurement uncertainty is less than 0.04mm. Relative to the theodolite, the measuring efficiency is improved by more than 10 times. It greatly simplifies the process of measuring.

Key words: aerodynamic rudder; zero deviation; shaking amount; imaging method

1 引言

空气舵是飞行器飞行路线的控制、执行机构, 通过在飞行过程中改变空气舵角度, 可实现飞行器的升降、俯仰或偏航飞行。空气舵的气动外形直接影响飞行器控制精度, 是飞行器的重要部件。为确保飞行器控制精度, 在其装配过程中必须对空气舵的装配质量进行检测。

以飞行器舱体上刻线为基准, 分别沿顺时针方向和逆时针方向推动空气舵; 将空气舵上刻线偏移的范围定义为晃动量, 将偏移范围的中间值相对于舱体刻线的偏移量定义为零位偏差。晃动量和零位偏差是衡量空气舵装配质量的关键参数, 飞行器总装时必须进行测量, 将其控制在一定范围以内。由于空气舵刻线和舱体刻线较短且不共面, 难以采用常规方法直接测量, 国内总装厂目前一般采用经纬仪测量。由于舱体

较高、架设经纬仪安全性差, 且需要频繁转换舱体状态, 测量一个产品需 5h 以上, 严重影响总装进度且测量误差较大, 难以满足总装测试要求。

20 世纪 70 年代以来, 图像处理技术逐渐发展成为一门独立而完善的学科体系, 并广泛应用于国防、医学、工业等领域。本文基于图像处理技术, 研制了一套“空气舵刻线测量装置”(以下简称测量装置)。该装置携带方便, 操作简单, 测量结果直观; 具有手动瞄准和自动瞄准两种测量模式, 实现了空气舵晃动量和零位偏差的智能化精密高效测量。

2 测量原理

空气舵的晃动量和零位偏差测量原理如图 1 所示。左侧为飞行器舱体, 右侧为空气舵; 舱体和空气舵在制造过程中已加工有刻线, 作为测量空气舵晃动

作者简介: 唐松(1986-), 工程师, 测控技术与仪器专业; 研究方向: 几何量精密测试与质量特性参数测试。

收稿日期: 2014-02-28

量和零位偏差的参考线。

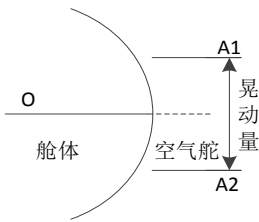


图 1 测量原理示意图

测量时以舱体刻线为基准线，逆时针方向为负，顺时针方向为正，建立测量坐标轴。以产品某被测象限为例，将空气舵沿逆时针方向推动，设空气舵上刻线偏移到 A1 位置，测量出 A1 坐标值；再将空气舵沿顺时针方向推动，同理测量出 A2 坐标值；A1、A2 测量次序可互换。则该象限的空气舵晃动量 δ ，零位偏差 ε 的计算公式为：

$$\delta=\text{abs}(A1-A2)$$

(1)

$$\varepsilon=(A1+A2)/2$$

(2)

3 测量装置的主要功能及指标



图 2 刻线测量装置

测量装置，如图 2 所示。该装置基于图像处理技术，适用于产品装配时，测量空气舵上刻线相对于舱体刻线的晃动量和零位偏差两个参数。该装置具有数据存储、历史查询、离线测量等功能，操作简单直观；设有亮度调节旋钮，可获得清晰度和对比度较好的刻线图像；提供了刻线手动瞄准和自动瞄准两种测量模式，可适应复杂的测量情况。测量装置的技术指标见表 1。

表 1 测量装置技术指标

参数	技术指标
测量范围	±5mm
测量不确定度	手动瞄准方式：0.04mm 自动瞄准方式：0.02mm

4 测量装置的组成

测量装置由测量工装、图像采集系统、标定装置和测量软件（笔记本电脑）等组成，结构框图如图 3 所示。

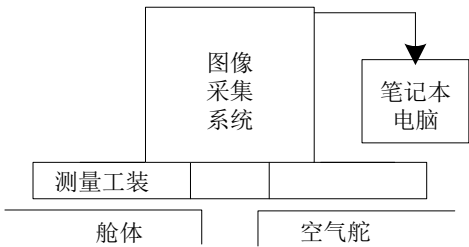


图 3 装置结构图

测量时，首先将测量工装安装在舱体上，将图像采集系统安装在测量工装之上；连接笔记本电脑，得到被测刻线图像；利用测量软件进行刻线瞄准，得到晃动量和零位偏差的测量值。

a. 测量工装。测量工装用于连接图像采集系统和舱体，保证图像上被测刻线与瞄准刻线平行。

b. 图像采集系统。由数码摄像头、光学成像镜头、照明三部分组成，通过 USB 口与笔记本电脑连接。数码摄像头采用 MVC1000MF 型镜头，100 万像素黑白镜头，单个像素尺寸为 5.2μm×5.2μm，采用 USB 接口供电；光学成像镜头采用 AVENIR CCTV LENS 16mm 手动定焦镜头，在测量装置研制过程中调好焦距并固化；选用白光 LED 照明，由 USB 接口供电，测量装置背部留有微调螺钉，可调节 LED 亮度。

c. 标定装置。标定装置上嵌入标准刻线尺，对测量装置的像素格值（摄像头传感器上每个像素代表的实际距离）进行标定，使测量结果准确度得以保证。

d. 测量软件。软件开发的关键技术是图像处理技术，即利用计算机对图像施加各种运算处理（包括图像数字化、图像增强、图像分割、图像特征提取分析等），以提取某些特定信息，完成测量。图像锐化是主要的图像增强技术，有罗伯特算子、拉普拉斯算子、索伯尔算子等多种算法，需依据采集到的图像质量进行选择，以得到清晰且对比度较好的图像。边缘检测、图像阈值法、图像二值化是主要的图像分割技术，通过图像分割可得到反映测量特征的二值化图像；提取特征信息并进行分析运算后得到测量结果。

测量软件采用 C++ 语言编写，操作系统为 Windows XP，软件运行框图如图 4 所示。软件提供了自动瞄准和手动瞄准两种测量模式，并提供了用于测量装置标定的标定程序。

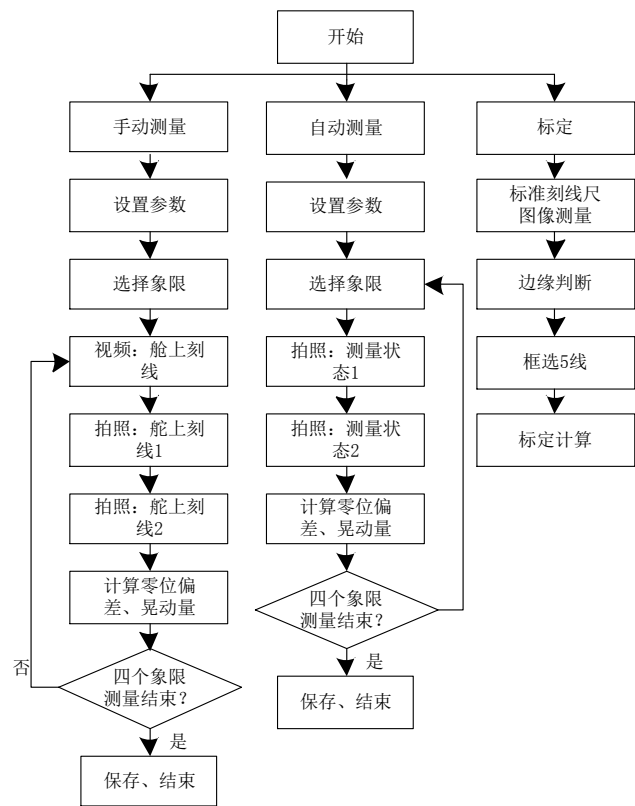


图 4 软件框图示意图

a. 自动瞄准模式。在顺时针方向和逆时针方向推动空气舵时，分别对测量状态拍照。测量软件自动判别刻线边缘，计算出刻线的偏移量，进而计算出空气舵的晃动量和零位偏差值。

b. 手动瞄准模式。在顺时针方向和逆时针方向推动空气舵时，分别对测量状态拍照。利用鼠标或键盘“↑”、“↓”移动瞄准刻线，使其分别对准舱体刻线，顺时针空气舵刻线和逆时针空气舵刻线。对准完成后，测量软件计算出空气舵的晃动量和零位偏差值。瞄准刻线采用“双线瞄准”方式，两线间距分 0mm、0.20mm、0.30mm、0.40mm、0.50mm 五种，供操作者选择。

自动瞄准模式相对于手动瞄准模式，测量准确度更高，对刻线图像质量要求也更高。实际测量时，测量人员可依据图像质量进行灵活选择。

c. 标定程序。将图像采集系统安装在标定装置上，对标准刻线尺图像拍照。选中相邻 5 条刻线后，标定程序进行图像处理，自动计算出像素格值的标定结果。

5 测量试验

某产品要求测量四个象限的空气舵晃动量和零位偏差值，其中零位偏差要求不大于 0.4mm，晃动量要求不大于 0.5mm。使用经纬仪测量时，由于产品较高，经纬仪需架设在高处，测量人员站在架梯上进行瞄准测量；测量不同象限时，需重新吊装被测产品以转换测量状态。使用测量装置，只需将测量工装、图像采集系统安装在产品舱体上，利用数据线连接图像采集系统与笔记本电脑即可，测量现场如图 5 所示。



图 5 产品测量现场

利用测量装置和经纬仪进行产品测量的测量数据如表 2 所示。

表 2 测量数据 mm

象限		手动瞄准模式	自动瞄准模式	经纬仪
I	零位偏差	-0.07	-0.06	-0.12
	晃动量	0.34	0.35	0.41
II	零位偏差	-0.09	-0.08	-0.13
	晃动量	0.36	0.35	0.37
III	零位偏差	-0.04	-0.04	-0.08
	晃动量	0.34	0.34	0.41
IV	零位偏差	-0.11	-0.12	-0.16
	晃动量	0.32	0.31	0.37

由表 2 可见，测量装置两种测量模式下测量结果相差较小。经纬仪测量空气舵刻线的测量不确定度为 0.2mm，经纬仪与测量装置的测量结果均满足工艺要求。经纬仪测试需人眼远距离瞄准刻线，测量难度较大，需耗时 5h 以上；使用测量装置，测量过程大大简化，仅耗时 25min 即完成全部四个象限的测量，极大地提高了测量效率。

（下转第 59 页）