

# 基于激光雷达、iGPS的飞机水平测量技术研究\*

## Research on Aircraft Level Measurement Technology Based on Laser Radar and iGPS

长春理工大学光电测控研究所 李丽娟 林雪竹 周娜  
中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司 刘琦



李丽娟  
教授, 博士, 主要从事仪器科学与技术方向的教学和研究工作。

飞机水平测量又称飞机的特征点测量,通过测量这些特征点来检测飞机总体装配质量。目前飞机水平测量工作使用的测量工具包括水平仪、光学经纬仪、全站仪、激光跟踪仪等。传统飞机水平测量方法是采用水平仪、光学经纬仪对水平点进行测

飞机数字化水平测量技术具有精度高、效率高、工作量大等优势,尤其适合于大飞机。测量系统的多功能、高扩展性等特点,使其可扩展应用到飞机型面检测、动态对接等技术上,且具有良好的应用前景。

量。该方法采用人工读数、记录和手工计算,需对飞机调整水平状态,测量过程复杂、人为误差大、自动化程度低。近年来,激光跟踪仪、全站仪等先进数字化仪器在飞机水平测量中的广泛应用,一定程度的提高了飞机水平测量的精度、自动化程度,降低了劳动强度。但全站仪作水平测量时需辅助设备单棱镜配合使用,测量精度无法满足特殊机型的高精度测量要求。激光跟踪仪测量精度高,但其测量时易断光、接触式测量、需转站等问题,使其不适合对大型飞机的测量。本文介绍的飞机数字化水平测量技术具有精度高、效率高、工作量大等优势,尤其适合于大飞机。测量系统的多功能、高扩展性等特点,使其可扩展应用到飞机型面检测、动态对接等技术上,且具有良好的应用前景。

### 测量系统硬件组成及其测量原理

测量系统由两部分组成:iGPS测量系统、激光雷达测量系统。

#### 1 iGPS

iGPS采用基于三角定位法的测量技术,iGPS测量系统类似“卫星”网络(“卫星”就是发射器)。接收器通过接收来自发射器的信号进行处理和计算从而进行定位。每个iGPS发射器的测量范围有40m,任意数量的iGPS发射器可以用来组建连续的iGPS测量空间,而iGPS的系统误差在整个测量空间是近似均匀分布的。iGPS定位精度最高可达 $0.2\text{mm}(2\sigma)$ ,测量范围可根据配置情况无限延伸,这使得iGPS在测量大型部件时能一次完成所有的测量任务而无需多次转站。

\* 863项目“复杂形面光学测量技术研究”资助。

如图1所示,在发射器自身坐标系下,极坐标测量模型为 $F=(R, A, E)^T$ ,其中, $R$ 为发射器到被测目标点的距离、 $E$ 为俯仰角、 $A$ 为水平角。被测目标点为圆柱传感器的中心点,接受发射器发出的信号信息,解算出 $A$ 和 $E$ 。水平角和俯仰角的激光范围构成了发射器的测量空间。

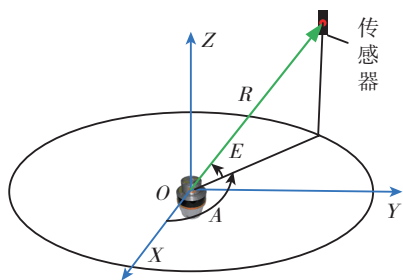


图1 发射器极坐标测量

iGPS 激光发射器发送两个红外扇形激光信号,一个红外 LED 频闪脉冲信号。

俯仰角 $E$ 通过两个激光扇面分别扫触到接收器的时间差计算。

水平角 $A$ 的计算是通过脉冲信号扫触的时间与两个扇面扫触时间的平均值的时差来获得。

## 2 激光雷达

激光雷达光学测量系统是自动化、便携式、高精度、非接触的大型三坐标测量机。其摆脱了现有的非接触系统大部分都需将传感器或扫描头尽可能靠近被测物体的表面,且测量范围较小等局限。激光雷达运用频率雷达测距技术和红外线高

精度瞄准镜,通过得到角度和距离信息计算被测点的正确三维位置。激光雷达可完成大尺寸远距离自动化测量,其距离测量范围为1~24m或1~60m,角度范围测量 $-45^\circ \sim 45^\circ$ ,测量精度为 $10\mu\text{m}+10\mu\text{m}/\text{m}(2\sigma)$ 。

激光雷达测距原理:激光器发出两束激光,一束射到被测工件表面并返回到达激光器内部;另一束射向内部校准光纤。接收器接收返回信号,通过混频器比较出两束激光的频率差得出两束激光的时间差,再通过时间与距离的关系便可以计算出激光测量系统与

被测点之间绝对距离<sup>[1]</sup>。

目标工具球空间球心坐标的计算公式:

$$\begin{cases} X = R\sin\theta_{EL}\sin\theta_{AZ} \\ Y = R\sin\theta_{EL}\cos\theta_{AZ} \\ Z = R\cos\theta_{EL} \end{cases} \quad (1)$$

式中 $R$ 为空间距离, $\theta_{AZ}$ 为 $R$ 与 $XY$ 平面的夹角, $\theta_{EL}$ 为 $R$ 在 $XY$ 平面的投影距离与 $X$ 方向的夹角,最终得到以激光雷达位置为原点的相对坐标系的三维坐标。

## 3 系统总体结构

根据飞机总装后外形尺寸的要求、各系统校准要求,观察点的位置及自动化程度要求,对整个系统进行了集成设计。测量系统总体结构如图2所示。

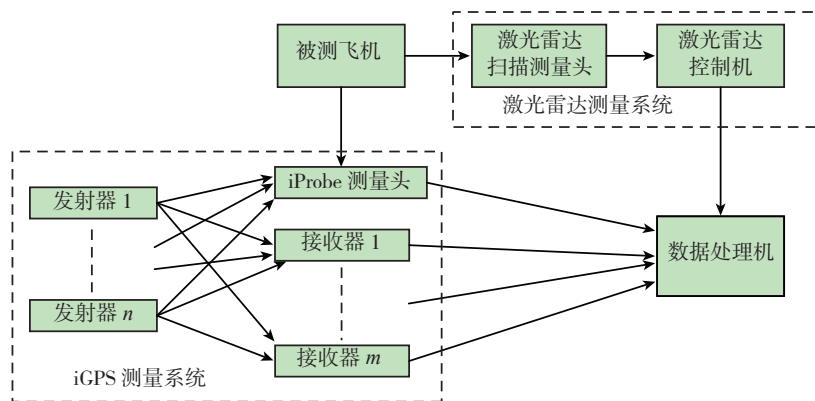


图2 测量系统总体结构

## 测量方案

### 1 确定设备位置布局

(1) iGPS 激光发射器的布局设计。

激光发射器的布局根据单个激光发射器的覆盖范围、飞机的外形尺寸、以及测量点的分布(主要分布在飞机的机翼底部、机身、垂尾、进气道唇口、鸭翼等部位上)进行设计。图3为14发射器的iGPS测量系统布局。

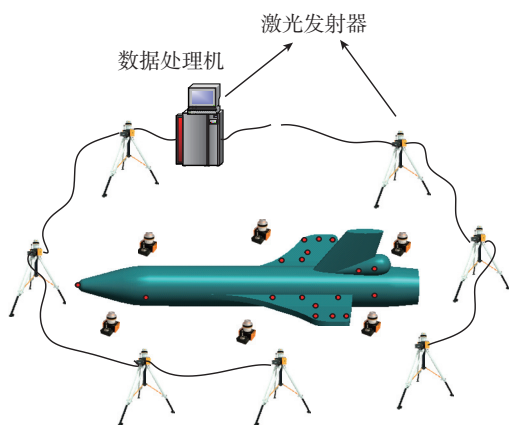


图3 iGPS系统布局图

在实际应用中,可根据被测物的尺寸和位置而随意摆放和调整激光发射器的位置,只要保证所有的测量点被覆盖,且每个点到最近的激光发射器的位置大于等于2m即可,与此同时尽可能保证发射器之间距离在7~15m。

(2) 激光雷达布站。

激光雷达具有较高的灵活性和便携性,因而在测量厂内可根据测量点或物体的位置而随意地摆放位置。图4为4站点布局图。

激光雷达摆放位置由以下因素决定:

a. 激光雷达离被测点在测量范围以内,测量光线与被测面的角度大于 $10^\circ$ 。

b. 转站次数。

### 2 飞机水平测量流程

(1) 区域划分:根据被测量的飞机整机水平点的位置来划分区域,可

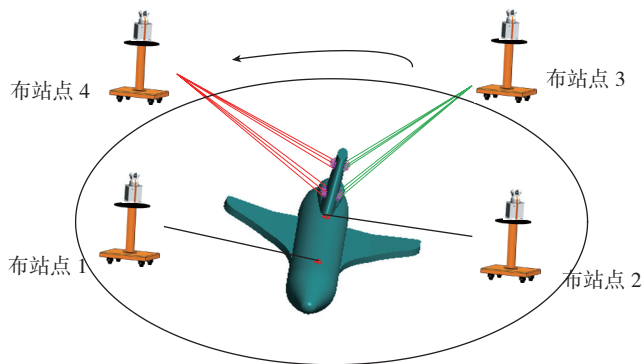


图4 雷达布站示意图

接触的水平点使 iGPS 测量系统来进行测量,不可接触的水平点则使用激光雷达测量系统进行测量。

(2)测量坐标系建立:进行激光雷达布站及 iGPS 布局。

(3)确定 iGPS、激光雷达各自的测量坐标系。将 iGPS 与激光雷达坐标系统一成测量坐标系。

(4)水平点的测量:用 iGPS 测量系统的测量探针——iProbe 测量飞机机头、机身两侧、鸭翼和机翼下方、机腹等部位可方便接触到的水平点。用激光雷达测量飞机的机背、垂尾、进气道等处不易接触到的水平点。

(5)数字调平:即根据调平条件在软件中将当前测量坐标系转换为飞机水平测量坐标系,即建立飞机基准坐标系。

(6)数据处理:根据水平测量检测表的要求对数据进行处理,得到飞机装配质量;或将被测点三维坐标数值与这些点的理论坐标值进行比较,计算飞机整机水平点变形量偏差。

(7)分别根据各自测量系统的特点进行测量,最后统一坐标系,建立飞机基准坐标系并且与飞机理论坐标系进行统一,数据处理后输出报告(图5)。

### 系统软件

“飞机全机水平测量及校准系统”软件,将本着操作简洁、省时、测

量流程易于实施、数据管理专业的原则来设计。软件界面为简体中文界面,运行环境兼容 Windows XP 64 位操作系统,具有登录模块、测量模块、数据处理模块、测量报告生成模块、数据库管理模块等功能模块<sup>[2]</sup>。

软件可以在普通用户和高级用户模式之间切换;具有用户账户管理功能和飞机架次管理功能,能根据定义的用户权限实现对应的功能;测量报告以 word、Excel 或 pdf 等格式输出。其软件界面如图 6 所示,软件设计流程如图 7 所示。

### 实验

对某型飞机分别采用传统式水平测量方法、基于激光雷达和 iGPS 测量系统的水平测量方法进行测量,所用时间、测量精度对比分别见表 1、表 2。

由表 1 的时间可以看出,使用数

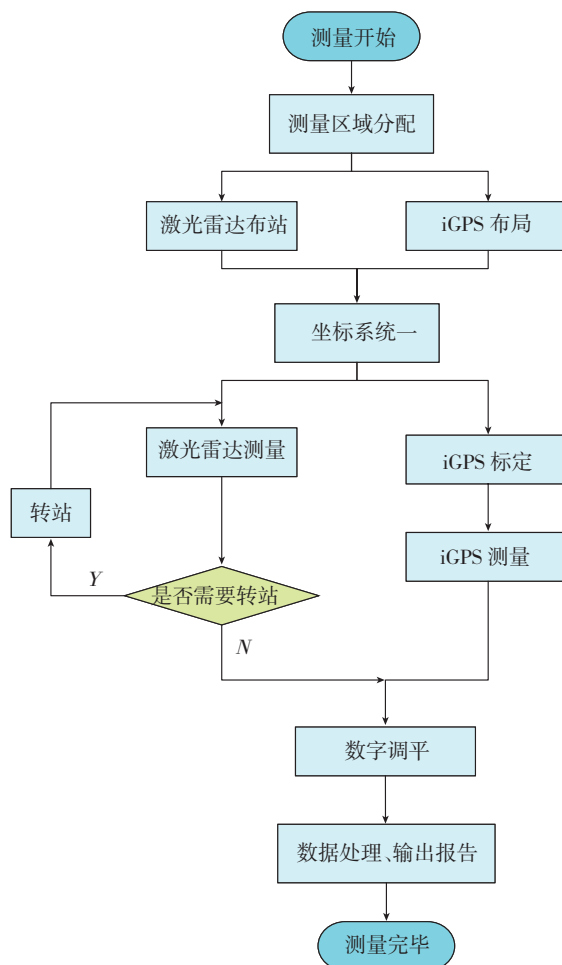


图5 数字化水平测量方案流程

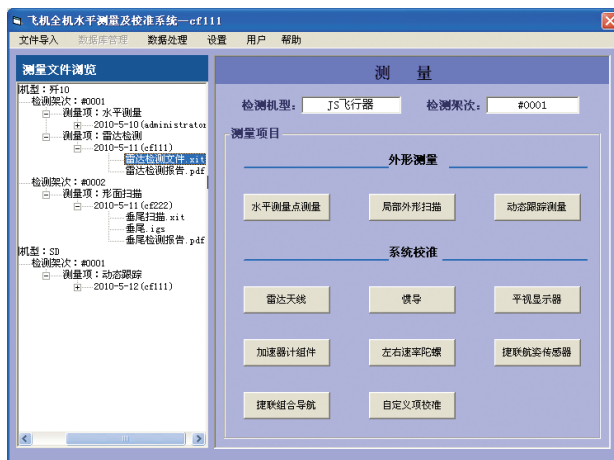


图6 软件界面

字化水平测量技术进行飞机水平测量所用的时间比传统水平测量方式所用的时间小得多,约为传统水平测量所用时间的 1/4。

由表 2 可以看出,数字化水平测

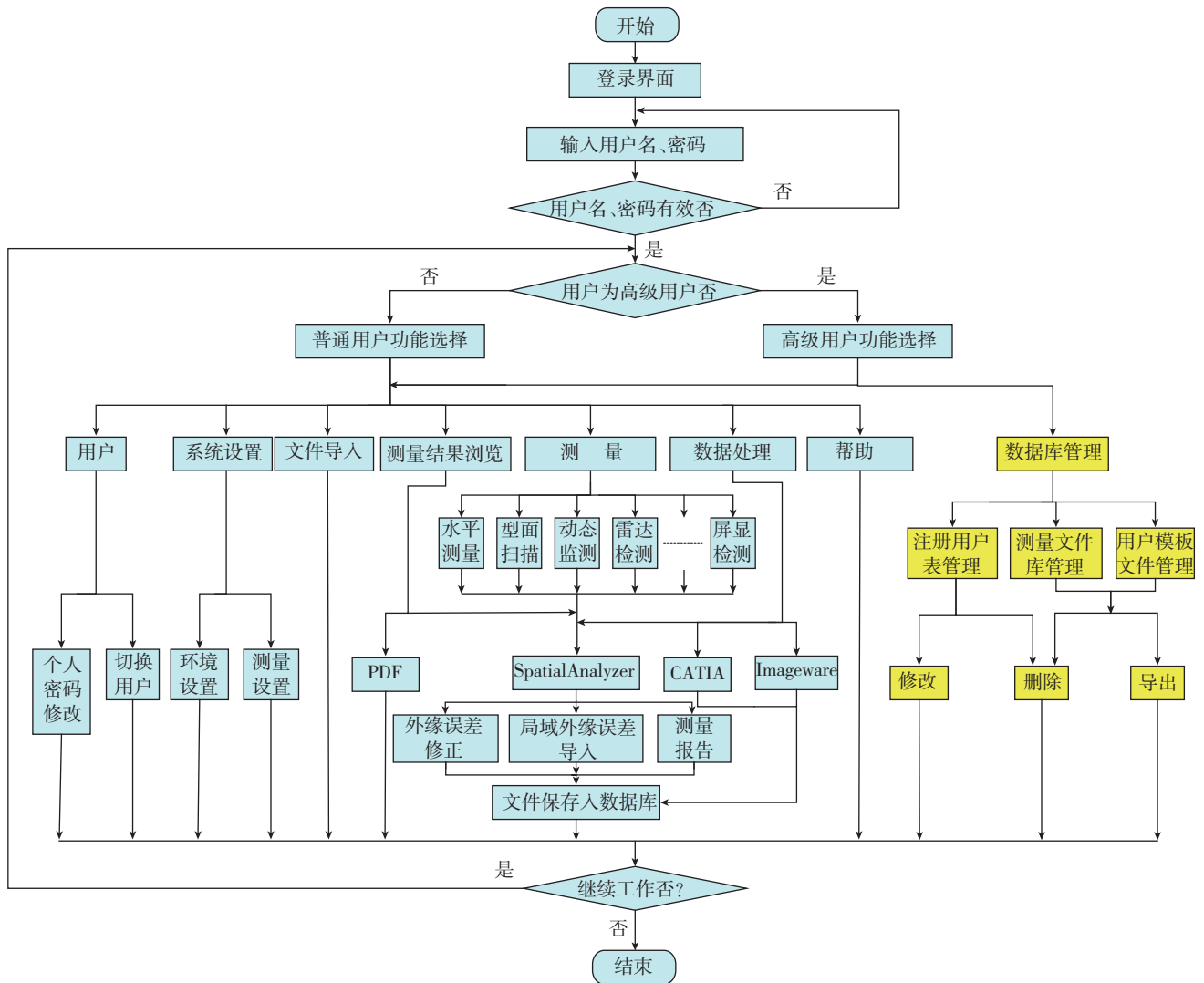


图7 软件总体流程

表1 时间对比表 min

测量方式	测量步骤					
	准备工作	建立坐标系	测量关键点	设备转站	继续测量	数据处理
传统测量	120	0	100	0	0	50
数字化测量	20	10	10	10	10	20

表2 测量误差对比表 mm

误差来源	测量方式	
	数字化测量	传统测量
设备误差	激光雷达误差 ≤ 0.01	水平仪误差 ≤ ± 3
		经纬仪误差 ≤ ± 6"
	iGPS 测量系统 ≤ 0.2mm	钢直尺误差 ≤ ± 1
		钢卷尺误差 ≤ ± 1
环境误差	≤ 0.01	≤ 3
人员误差	≤ 0.01	≤ 2
转站误差	≤ 0.01	0
数据处理误差	0	0

量的精度远高于传统水平测量精度至少两个数量级。

### 结论

本文根据现代飞机制造业的发展要求,针对目前飞机水平测量的不足,详细介绍了大尺寸飞机数字化水平测量系统的组成及方案。本文提到的飞机水平测量技术通过多次实际测量验证,实验结果显示了该技术具有精度高、效率高、工作量大等优势,且具有高应用性。

本文共有参考文献 2 篇,因篇幅所限,未能一一列出,如有需要,请向本刊编辑部索取。(责编 三丰)