

# 基于激光跟踪仪、iGPS 的飞机水平测量技术研究<sup>\*</sup>

## Study of Aircraft Level-Testing Measurement Technology Based on Laser Tracker and iGPS

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司 喻世臣 康晓峰 翟南  
中国人民解放军驻沈阳飞机工业(集团)有限公司军事代表室 李锋

**[摘要]** 针对传统飞机水平测量方法的不足,提出一种基于激光跟踪仪、iGPS 数字化测量系统联合应用的水平测量新方法。介绍激光跟踪仪、iGPS 两种测量系统的组成及工作原理。制定了包括 iGPS 测量场布局、iGPS 系统标定、激光跟踪仪布站、统一坐标系、激光跟踪仪转站及水平测量点测量等环节的飞机水平测量方案。应用表明,该方案测量精度高、劳动强度低,完全满足新一代飞机的装配需求。

**关键词:** 飞机水平测量 数字化测量 iGPS 激光跟踪仪

**[ABSTRACT]** Aiming at the shortage of traditional aircraft level-testing methods, a new method of level measurement based on laser tracker, iGPS digital measurement system combined, is proposed in this paper. Introduces the composition and working principle of the two measurement system, including laser tracker and iGPS. Establishes to aircraft level-testing scheme, including iGPS measurement field layout, the iGPS system calibration, laser tracker cloth station, unified coordinate system, laser tracker turn station and the aircraft level-testint point measurement, etc. The application shows that this method is of high accuracy, low labor intensity, and can meet the requirements of the new generation aircraft.

**Keywords:** Aircraft level-testing Digital measurement iGPS Laser tracker

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.21.119

飞机水平测量是指为了保证飞机主要部件相对位置的安装几何参数和对称性具有足够的精度,对规定的飞机水平测量点进行测量工作。作为飞机总装最后一道总检验工序,飞机水平测量工作对飞机状态、测量环境、水平测量点及测量仪器都有严格的要求<sup>[1]</sup>。目前,国内飞机水平测量是以利用光学经纬仪、水平仪、钢直尺、钢卷尺等传统的测量工具为主,典型的工艺过程是:将经纬仪调水平,确定经纬仪本身的坐标系;用经纬仪测量并

校准用于飞机摆水平的水平测量点,使飞机在坐标系内处于水平位置;按水平测量图的要求,应用水平测量尺等工具测量相关数据并计算,与理论要求公差对比。

传统飞机水平测量方法由于存在精度差、效率低、自动化程度低等缺点,难以满足现代飞机制造快速、高效、高精度检测等要求。随着信息技术的飞速发展,数字化测量技术在飞机数字化制造过程中扮演着越来越重要的角色,大大提升了飞机制造效率和质量,是实现现代飞机制造全数字量传递的重要技术保障。iGPS 具有多用户测量、测量范围广、抗干扰性好、无需转站及一次标定多次使用等优点,激光跟踪仪具有高精度、自动跟踪、实时测量及携带方便等优点,两种典型数字化测量系统的融合完全达到高精度、高质量的测量要求,实现了大尺寸飞机的数字化水平测量。

## 1 测量系统组成及测量原理

测量系统由 iGPS 测量系统、激光跟踪仪测量系统组成。iGPS 虽能实现大尺寸多用户测量,但精度不高;激光跟踪仪具有高精度等优点,但易断光,且对工人技能要求高。本文采用两种数字化测量系统相结合的方式,解决使用单一测量系统的局限性,实现功能化、系统化的数字化测量系统。

### 1.1 iGPS 测量系统

iGPS 测量系统是利用 GPS 原理开发出来的高可靠性、高效用性的大尺寸测量系统,可以实现大尺寸部件或整机的三维测量和定位。

#### 1.1.1 iGPS 测量系统组成

iGPS 测量系统主要由以下几部分组成(图 1):(1)发射器:包括转台、基座两部分;(2)接收器:主要由基体、感光单元及信号接口,常见的接收器有圆柱形接收器、球形接收器和矢量棒接收器;(3)测量控制网:利用有线及无线网络实现数据的有效传输及存储,在大尺度空间内实现了高效测量并动态更新测量网络;(4)系统软件:每套 iGPS 测量系统都配有客户软件、计量软件及数据管理系统。

#### 1.1.2 iGPS 测量系统原理

发射器匀速旋转并向外发射两束带有一定空间角

<sup>\*</sup> 基金项目:国家科技重大专项项目(2014ZX04001081)。

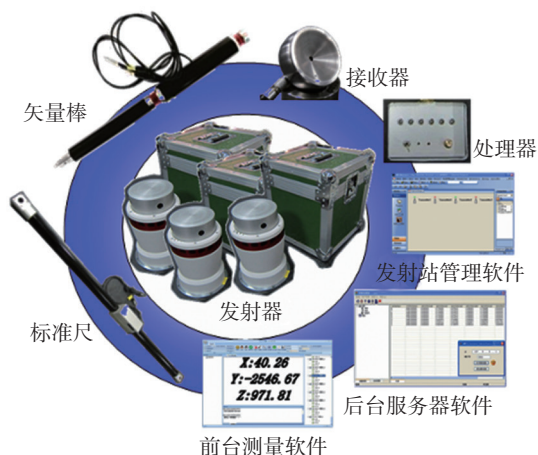


图1 iGPS测量系统组成

Fig.1 Composition of iGPS measurement system

度的红外平面激光(扫描光),同时每当转至一个预定初始位置时会触发基座上的红外脉冲激光器发出全向光脉冲,作为旋转平台单周旋转起点的时间同步标记光信号(同步光)。接收器根据发射器光信号到来的周期以及光信号脉冲宽度等基本特征,判别发出光信号的发射器编号以及光信号类型。接收器感光单元的内置光电二极管将发射器发出的光信号转化为电信号,预处理电路将原始光电流信号进行放大并通过阈值判断将其二值化为逻辑脉冲。由光信号转化成的逻辑脉冲被输入时间数据处理电路中进行计时,并通过同一发射器基站两个扫描光信号与一个同步光到达时间间隔解算出方位角和俯仰角。最后经过三角测量原理解算空间点的三维坐标值<sup>[2]</sup>。

## 1.2 激光跟踪仪测量系统

激光跟踪仪测量系统是一种基于角度传感和测长技术的高精度、便携式球坐标测量系统,广泛应用于航空、航天、造船、机械制造等领域零件定位安装、尺寸检测及逆向工程。

### 1.2.1 激光跟踪仪测量系统组成

激光跟踪仪测量系统主要由以下几部分组成(图2):(1)激光跟踪头:激光干涉仪(IFM)、绝对测距仪(ADM)、角度编码器、步进马达及运动部件;(2)控制机:干涉系统、角度编码器计数装置、驱动马达、跟踪处理器及网卡;(3)反射球:将入射的平行激光束按原路返回激光跟踪头;(4)气象传感器:仅与周围空气接触,根据环境变化进行补偿;(5)用户计算机:一般安装 Spatial Analyzer 等测量分析软件,并对数据处理和存储<sup>[3]</sup>。

### 1.2.2 激光跟踪仪测量系统原理

激光跟踪仪测量系统的基本原理如图3所示:利用测量在球坐标系下1个长度值和2个角度值测出空间点的三维坐标<sup>[4]</sup>。其中 $l$ 可由激光干涉仪或绝对测距仪

测得,而水平角 $\alpha$ 和垂直角 $\beta$ 由角度编码器测得,同时激光跟踪仪也会通过自身的校准参数和气象补偿参数对测量过程中产生的误差进行补偿。



图2 激光跟踪仪测量系统组成

Fig.2 Composition of laser tracker measurement system

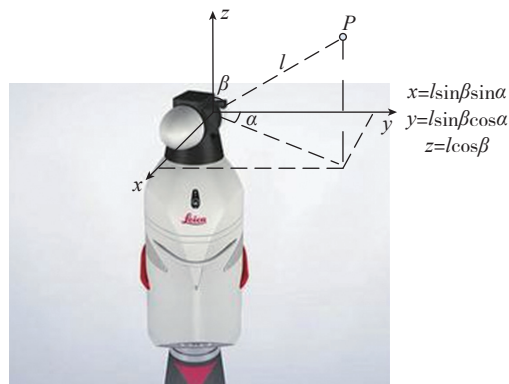


图3 激光跟踪仪测量系统原理

Fig.3 Principle of laser tracker measurement system

## 2 水平测量方案

水平测量项目包括:机身、机翼、尾翼的安装几何参数和对称性的测量,部件间大尺寸对称性的测量,起落架的轮距、对称性、平行性的测量等。根据两种测量系统各自的特点进行测量,统一测量坐标系,最终完成水平测量并采集数据结果。

### 2.1 iGPS 测量场布局

由于飞机水平测量点的位置分布、测量精度均存在较大差异,对iGPS发射器的数量和相对位置提出了较高要求,发射器的布置应保证每个水平测量点能够至少接收到两个发射器的信号,并根据接收到发射器信号的数量调整发射器与测量点之间的距离。研究表明,在局部有效测量场中每个水平测量点接收4个发射器的信号能够满足测量精度的要求,并以此合理分布系统资源,实现整体测量场的精确布局。

## 2.2 iGPS 系统标定

iGPS 测量系统标定是指测量前将每个发射器自身的坐标系经过未知参数解算统一到同一个测量坐标系下,这是 iGPS 测量系统进行测量和定位的重要前提。具体步骤如下:在基准尺两端固定 2 个球形接收器,分别在 6 个不同位置分竖直、横向、斜向 3 种不同姿态摆放基准尺并完成空间坐标值的采集,最终由配套控制软件 WorkSpace 完成 iGPS 测量系统的标定,在测量系统稳定的条件下,可以实现一次标定多次使用。

## 2.3 激光跟踪仪布站

由激光跟踪仪的原理可知,测量时空间点的坐标都在其内置坐标系下,激光跟踪仪可在固定位置测出所有可测范围内待测空间点的三维坐标。激光跟踪仪具有自动跟踪、携带方便等特点,因而布站方式较为灵活,但必须考虑后续通过转站测量实现多组坐标系完成大尺寸飞机全部待测点空间坐标的测量。激光跟踪仪布站应遵循几个原则:覆盖测量面积尽量大,激光跟踪仪发出的激光束与水平测量点间无遮挡,地面条件好。

## 2.4 统一坐标系

统一坐标系是将激光跟踪仪、iGPS 坐标系统一成测量坐标系,是实现两种数字化测量系统联合应用的重要步骤。在合适的位置布置 6 个公共测量点,使所有测量点均在激光跟踪仪和完成标定的 iGPS 测量范围内,分别使用两套测量系统在各自坐标系中依次测量公共测量点,应用 Spatial Analyzer 软件的最佳拟合功能验证最大偏差和不确定度是否满足大尺寸飞机水平测量的精度要求。

## 2.5 激光跟踪仪转站

在全机水平测量时,激光跟踪仪一次测量难以获取全部测量数据,为了提高测量效率而不影响测量精度,通常采用转站测量的方法。转站测量是指激光跟踪仪在不同的站位测量相同至少 7 个公共测量点,应用测量分析软件最佳拟合计算后将不同站位各自坐标系统一到测量坐标系,建立不同站位之间的联系。为降低转站测量中带来的误差影响,应尽量保持公共测量点位置等环境条件的稳定性,并降低多次测量的人为操作误差。

## 2.6 水平测量点测量

机身、机翼、尾翼等水平测量点的测量,直接用 iGPS 矢量棒接收器的探针侧头全角度多方位与水平测量点标识轻碰,经最小二乘法即可得出测量点的平均坐标值。对于距地面较高的水平测量点,则可以借助加长杆与矢量棒接收器配合完成测量。起落架轮距等有高精度要求的测量可用激光跟踪仪测量球面或圆形,通过 Spatial Analyzer 软件最佳拟合可以得到球心点或圆心点

的坐标值。为了保证测量精度,同样可用采用多次测量求出加权值。

## 2.7 数据管理系统

为了提高水平测量数据处理的效率和可靠性,利用 Visual Basic 6.0 开发了用于飞机水平测量的数据管理系统。系统主要由 Visual Basic 窗体及 Access 数据库两部分组成,采用模块化管理,主要包括系统用户管理模块、数据管理模块、报表输出模块、系统帮助模块。系统主要可以实现:用户身份确认、用户模式间切换;测量数据的导入、查看、删除、修改、误差分析等;用户需求各种报表的输出。本系统具有实用性强、可靠性高、灵活性好、操作简单等特点,非常容易掌握操作方法和技巧。

## 3 应用验证

针对某型飞机分别应用传统方式、激光跟踪仪(Laser Tracker)及激光跟踪仪与 iGPS 联合应用 3 种方法进行全机水平测量,测量主要参数对比如表 1。本文研究成果已经获得成功应用。激光跟踪仪结合 iGPS 建立了飞机水平测量的全局测量场,在优化布局下实现动态为  $200\mu\text{m}+10\mu\text{m}/\text{m}$ 、静态为  $10\mu\text{m}+5\mu\text{m}/\text{m}$  的测量精度,并保证 5 点/秒的动态测量速度,缩短全机水平测量时间 50% 以上,且测量精度远远超过传统方式。

表1 不同测量方式参数对比

测量方式	水平测量时间/min	系统测量误差	不确定度 $2\sigma/\text{mm}$
传统方式	270	-2~2	$\leq 0.5$
激光跟踪仪	200	0~0.1	$\leq 0.1$
激光跟踪仪+iGPS	100	0.1~0.2	$\leq 0.12$

## 4 结论

基于激光跟踪仪、iGPS 数字化测量系统联合应用的水平测量新方法分别保留了原独立两种测量系统的优点,经过合理优化水平测量工艺方案,应用验证得知:在保证高精度、自动化的情况下,缩短全机水平测量时间 50% 以上,具有较高的应用前景。

## 参考文献

- [1] 范玉青. 现代飞机制造技术. 北京:北京航空航天大学出版社, 2001.
- [2] 陈登海. 基于室内 GPS 的飞机数字化水平测量技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学, 2010.
- [3] 陈智勇, 吴建军, 赵玉静, 等. 激光跟踪测量系统在飞机型面测量中的应用. 机械设计与制造, 2009, (12):68-70.
- [4] 邹爱丽, 王亮, 李东升, 等. 数字化测量技术及系统在飞机装配中的应用. 飞机数字化检测技术, 2011, (21):72-75.

(责编 叶枫)