

激光跟踪仪在飞机型架装配中的应用

Application of Laser Tracker in Assembly Jig Manufacturing for Aircraft

空军驻陕飞公司军代表室 王彦喜 闵俊 刘刚

[摘要] 介绍了激光跟踪仪(LTD500)的硬件组成、测量原理和性能参数。详细介绍了激光跟踪仪用于飞机型架的安装和测量步骤,并分析了用激光跟踪仪安装型架的优点及测量误差。

关键词: 激光跟踪仪 OTP点 ERS

[ABSTRACT] The hardware components, measurement principles and performance parameters of the laser tracker (LTD500) are expounded. Then the laser tracker for aircraft jig installation and measurement steps are introduced in detail and advantages and measurement error of installing jig by using laser tracker are analyzed.

Keywords: Laser Tracker OTP point ERS

随着航空制造业的迅速发展,飞机装配工装制造技术也发生了很大变革,由原来的模拟量传递协调工装制造发展到数字量传递协调工装制造,激光跟踪仪的广泛应用充分说明了这一点。将激光跟踪仪用于飞机型架的安装和检测,使型架的设计、制造和检测的技术水平达到了一个新的高度,实现了计算机辅助设计、制造、检验(即CAD/CAM/CAI)一体化。

1 激光跟踪仪简介

1.1 激光跟踪仪组成

激光跟踪仪系统由几个独立单元构成,示例见图1。例如LTD500设备主要包括以下部分:



图1 激光跟踪仪系统
Fig.1 Laser tracker system

(1)跟踪部(Sensor Unit)。跟踪部是整个系统的主体,内部集成角编码器、伺服马达和激光干涉仪等元件。

(2)激光跟踪仪控制机(Laser Tracer Controller)。跟踪仪控制机内部集成角编码器脉冲的计数装置和干涉仪脉冲计数装置,驱动马达的装置也在其中。另外,其内部还装载有1台486型计算机,负责计算即时信息,以保证激光始终指向反射器靶标。跟踪仪控制机还负责经由局域网以500个/s测量值的速率向应用处理机传输测量值。

(3)应用处理机(Application Processor)。应用处理机用来存储数据、执行转换和其他功能。

(4)靶标。靶标是被激光跟踪仪跟踪的光学目标,它能使入射的激光束平行原路返回跟踪仪。

1.2 激光跟踪仪测量原理

激光跟踪仪系统2个角编码器自动测量靶标相对于跟踪仪的水平方位角和垂直方位角;靶标与激光跟踪仪之间的距离由激光干涉仪测量。这些信息经传感器电缆传给激光跟踪仪控制机,跟踪仪控制机整理计算后,一部分信息经马达电缆反馈回激光跟踪仪,控制伺服马达,使激光跟踪仪始终锁定移动中的靶标;另一部分信息经局域网传输给应用处理机,储存在数据库中。

跟踪仪得到的测量数据定义了一个完整的球体坐标系。原点是跟踪部反射镜中心,根据三角函数公式可以将球坐标系下的坐标值转换成笛卡尔坐标系下的坐标值。坐标系原点仍在万向反射镜中心(图2),这个坐标系称作Base坐标系或本机坐标系,它被固化在硬盘中,不能被执行删除、更名等操作。Base坐标系也是开始一个新工作的起始坐标系。

1.3 激光跟踪仪的主要参数

(1)测量精度。

测量固定目标: $\pm 0.01\text{mm/m}$;

测量活动目标: $\pm 0.02 \sim 0.04\text{mm/m}$;

测量范围: 水平 $\pm 235^\circ$, 垂直 $\pm 45^\circ$;

距离: $0 \sim 35\text{m}$ 。

(2)跟踪速度。

沿激光光束方向 $< 6.0\text{m/s}$;

垂直激光光束方向 $< 4.0\text{m/s}$ 。

(3)工作环境。

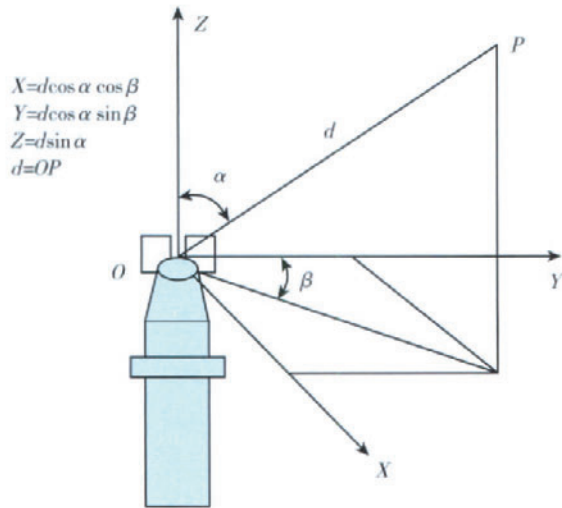


图2 基本坐标系
Fig.2 The basic frame

工作温度为 $5\sim 40^{\circ}\text{C}$;
储藏温度为 $-10\sim 60^{\circ}\text{C}$;
湿度为 $10\%\sim 90\%$ 。

2 激光跟踪仪在工装制造中的实际应用

下面以某型运输机后段总装型架为例,介绍激光跟踪仪在飞机工装制造中的应用。

2.1 术语定义

基准工具球点(Tooling Ball, TB)在工装设计过程中给定,用于建立型架坐标系的控制点。在后段总装型架的框架上,按图纸尺寸安装工具球支座。在型架上的 $\phi 8\text{H}7$ 孔中插入反射器座,座上反射器的球心即为 TB 点。

光学工具球点(Optical Tooling Points, OTP)在工装设计过程中给定,用于确定装配工装定位件空间位置的控制点。在零件上按图纸尺寸加工 $\phi 12\text{H}7$ 孔(3个),在孔中压入 $\phi 12\text{r}6 / \phi 8\text{H}7$ 的衬套,在衬套中插入反射器座,座上反射器的球心即为 OTP 点。

增强坐标系(Enhance Reference System, ERS): 工装在制造安装过程中,从已有坐标系转化的或为计算机辅助测量系统(CAMS)专门产生的,为整个工装寿命建立的永久坐标系。在工装的框架和其支撑结构上,围绕工装各定位件(有 OTP 点的定位件)埋设许多 $\phi 12\text{r}6 / \phi 8\text{H}7$ 的衬套。在衬套孔中插入反射器座,座上反射器的球心即为 ERS 点。

2.2 某型运输机后段装配型架安装测量

该安装具有以下特点:

- (1) 多台激光跟踪仪同时进行测量安装型架;
- (2) 型架尺寸大,结构复杂,定位件多,安装周期

长,且安装好后都要按规定进行定检;

- (3) 型架上需安装的各定位件上都有 OTP 点, OTP 点的标识及坐标值由设计者在工装图纸上列出。

2.3 安装流程

工装型架安装时,流程如图3所示。

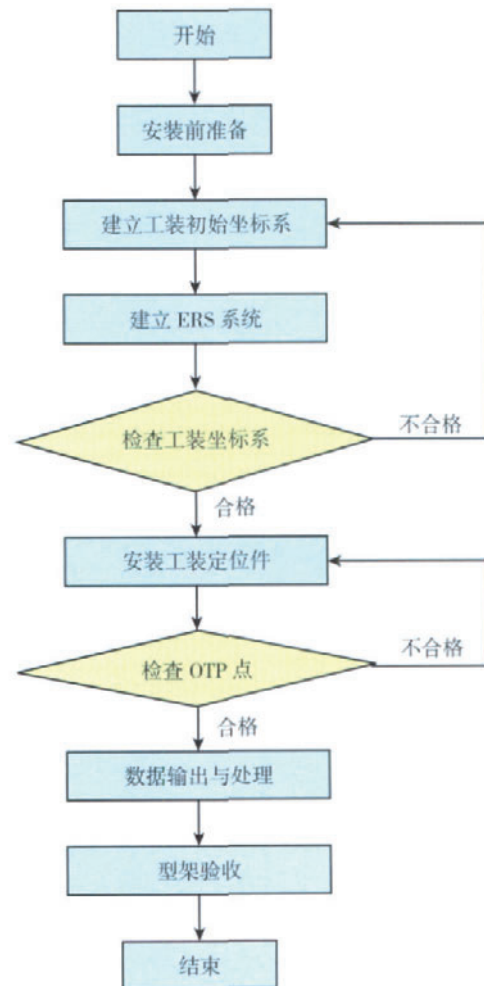


图3 安装流程图
Fig.3 Installation flow chart

2.3.1 安装前准备

测量环境应符合仪器使用要求;激光跟踪仪应严格按照规定进行预热、校准、标尺测量等,保证其满足测量要求。在实际测量时,考虑温、湿度的变化进行补偿;工装框架已完成安装,精度满足要求。

2.3.2 建立工装初始坐标系

按工装图纸的要求通过坐标基准点建立标准温度下的工装坐标系。对于装配型架,理论上需设定在空间上不共线的3个点建立工装坐标系,这3个点位于型架的主体骨架上,且在型架上的安装面应是最大投影面。3个 TB 点应最大限度地包容整个工装的主体结构,并要考虑视线的开敞性、安装位置的稳定性。对于大型型

架,通常在型架上布置4个以上TB点来建立工装坐标系。建立工装坐标系的目的,就是在该坐标系下建立ERS的参考文件。该文件是全部ERS点信息(标识及坐标值)的集合,即 $\Sigma ERS_j(X_j, Y_j, Z_j)$ ($j=1, 2, \dots, n$)。依据此文件,用激光跟踪仪测量目标点时,能做到2个方面。首先,测量基准统一,不管激光跟踪仪放在被测件附近的任何位置,都能使测量工作始终在工装坐标系下进行。其次,测量数据一致,不管任何时候在工装坐标系下,激光跟踪仪测量的目标点数据(坐标值)始终是标准温度下的数值,不受测量环境温度变化的影响,使测量数据始终保持一致。

2.3.3 检查工装坐标系

在工装TB点安装完成后,工装初始坐标系已经建立,同时按要求建立ERS系统,在型架的框架上钻铰若干个 $\phi 12H7$ 孔,并将 $\phi 12r6 / \phi 8H7$ 的衬套粘稀胶压入孔中。衬套的数量(ERS点的数量)分布情况视框架的大小和被安装定位件的多少及布局情况确定。所有OTP点的三维坐标信息已输入至计算机。使用最小二乘转换,保证这些测量点满足使用要求,检查并验证工装坐标系符合工装图样要求。

2.3.4 安装工装定位件

根据提供的OTP点坐标值,安装工装定位元件(平板、卡板、外形板、钻模板等),这类零件的特点是定位面的尺寸较大且上面至少有3个OTP衬套孔,每个孔插入一个后退量相同的目标。一个工装元件通过不共线的3个OTP点控制其在空间中的位置,其中1个OTP点控制3个坐标值,第2个OTP点控制2个坐标值,第3个OTP点控制1个坐标值,达到控制工装定位元件在空间中的6个自由度。测量时,将反射器从起始座取放在反射器座上(注意不要打断激光束),将反射器座插入OTP衬套中,这时在显示屏上将显示出该点的实测值与理论值的差值($\Delta x, \Delta y, \Delta z$),该差值将随着OTP点的移动(实际上是定位件在移动)在显示屏上不断变化着(增大或减小)。操作者可以边看边调试,直到 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ 都符合图纸要求为止,然后按图纸要求将零件固定。通过上述操作过程,可以明显看出激光跟踪仪的测量过程是属于间接测量,它所测量的OTP点并不用来定位产品。零件上用来定位产品的工作型面(外形面,孔,槽口等)与OTP点之间是通过数据传递的。零件在安装测量的过程中,只要保证OTP点的坐标(X, Y, Z)符合图纸要求,那么定位产品的工作型面就一定是准确的。安装时应考虑工装元件的通路、光学视线,从里到外安装。

2.3.5 检查OTP点

在工装所有定位件安装完成后,应对所有按激光测

量点安装的工装定位件上的OTP点进行复查,符合工装图样要求。

2.3.6 数据处理与输出

利用激光跟踪仪获得型架激光测量点的实测值后,应与型架设计理论数据进行比较、分析,确保安装精度。

2.4 测量误差产生原因以及解决方法

2.4.1 系统误差

激光跟踪仪系统误差主要有2方面:激光干涉仪测量误差和角编码器测量误差。激光干涉仪分辨率为 0.00126mm ,角编码器分辨率为 $0.14''$ 。理论上,在不超过 10m 测量范围内,激光跟踪仪系统误差不超过 0.01mm 。但随着测量距离增大,系统误差也将增大。故应综合考虑激光跟踪仪的放置位置,保证在较近的范围内进行测量工作。

2.4.2 靶标及附件的制造误差

靶标及附件的制造误差也是影响系统误差的一个原因。提高附件制造精度,定期检修靶标及附件是控制上述测量误差的有效措施。

2.4.3 环境因素

温度、气压、气流的波动、空气污染将影响光线的传播,导致测量误差的增大;地板的稳固程度、振动、设备用电电流的稳定性不但会造成测量误差的增大,甚至会造成仪器的损坏。针对以上因素,测量时应控制室内温度恒定,不要把仪器摆在厂房门口、空调旁边。保持空气清洁,不要把仪器摆放在地板接缝处或地基不牢处,避免测量区域附近有振源,配置稳压器。

2.4.4 操作人员因素

操作人员手持靶标测量时,靶标的运行速度和加速度对测量精度将产生影响,速度过快会使光束折断。搞好培训,提高和增强操作人员的素质和责任心是减小由操作人员产生测量误差的有效措施。

3 激光跟踪仪安装型架的优点及建议

激光跟踪仪应用于飞机工装的安装或测量主要有如下优点:

- (1) 采用数字量传递节省很多标工(样板、样件等)。
- (2) 测量设备轻巧,移动方便,能进行大尺寸,复杂结构型架的安装测量。
- (3) 测量精度高,省去了许多中间环节,减少了累积误差,提高了型架的安装精度且重复精度高,检修方便。

(4) 在调试安装的过程中,零件上的OTP点的坐标值的差值(实测值与理论值的差值)实时显示,操作者能直观、方便的进行调装且速度快,大幅度缩短工装的试制周期。

(下转第97页)

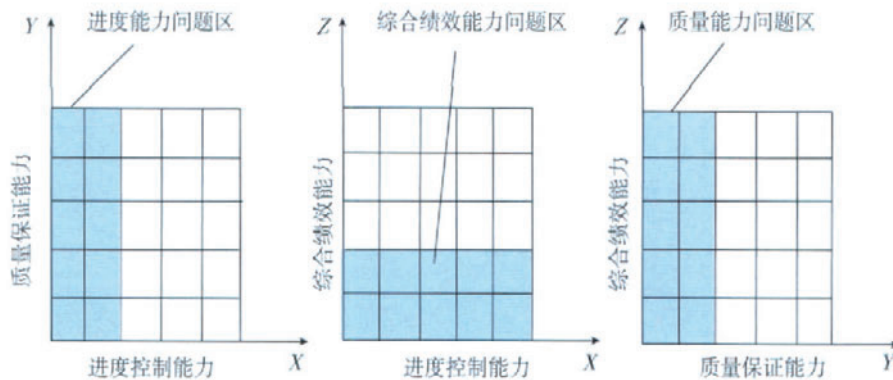


图4 能力问题区分析
Fig 4 Districts of poor capability

7个区域称为“能力良好区”（银色），具有良好能力的空间；（3）接近银色区域的19个区域称为“能力潜力区”（棕色），指能力上尚有潜力可控；（4）接近棕色区域的37个区域称为“能力不足区”（黄色），指能力上明显不足；（5）接近黄色区域的61个区域称为“能力劣质区”（红色），指存在问题较多，能力评价很差。

能力不足和能力劣质存在明显的能力问题，能力问题区又可细分为质量能力问题区、进度能力问题区和综合绩效能力问题区，如图4所示。对于能力评价位于“能力问题区”中的企业，可以通过对相应坐标平面的投影操作进行更为具体的分析，例如向 $X-Y$ 、 $X-Z$ 、 $Y-Z$ 平面投影以清晰表现能力分布状况，具体分析该企业的转包能力在哪些方面上存在问题。具体评价步骤为：

（1）建立各个维度的评价指标体系，对每个维度的能力表现单独进行评分，汇总为该维度的总评分。

（2）将3个总评分作为某个点的三维坐标在空间中标注出来，相应的那个点就表示该企业的转包能力综合评价结果。

（3）如果该点位于“最佳能力区”，表示对该企业的能力评价很高，运营状况很好；如果该点位于“能力良好区”，表示对该企业的能力评价较高，运营状况良好；如果该点位于“能力潜力区”，表示该企业转包能力在某些层面有缺陷，可通过分析找出问题所在，争取进入“最佳能力区”、“能力良好区”；如果该点位于“能力不足区”、“能力劣质区”，表示对该能力的评价很低，转包生产的风险极大。

3 结束语

从提高转包能力的角度出发，提出了我国航空企业转包能力评价的新思路。针对国际航空转包对企业转包能力的要求，基于供应商绩效测量标准体系SPM建立了转包能力模型和转包能力的三维体系结构，该模型

及方法能对企业转包能力进行全面评价，发现企业转包生产能力的优势和薄弱环节，为企业提供了转包能力改进和发展的路线图。

参考文献

- [1] 武振林. 民用飞机供应商质量保证和制造能力评价与控制. 西安: 西北工业大学出版社, 2002: 35-42.
- [2] 江元英, 曹秀玲, 林树茂. 国际航空质量管理体系标准(AS9100)现状及技术发展动态. 质量与可靠性, 2007(2): 49-53.
- [3] 艾银生. 大型航空企业转包生产的问题探讨. 航空科学技术, 2001(6): 14-16.
- [4] 黄婕婷, 唐春发. 浅谈航空转包生产与质量管理体系. 航空标准化与质量, 2009(1): 28-30.
- [5] 陈向东. 模块化在制造企业知识管理战略设计中的应用—我国航空企业国际转包生产的模块化战略分析. 中国工业经济, 2004(1): 36-42.
- [6] 李杰. 发动机行业应对转包生产市场竞争之策. 国际航空, 2008(11): 32-35.
- [7] 唐军, 吴勇华. 集成制造环境下航空转包生产管理. 航空制造技术, 2010(7): 81-84.

(责编 小城)

(上接第94页)

（5）型架的安装方法与国际接轨，便于工厂开展转包生产。

通过激光跟踪仪的实际使用，提出以下建议：

（1）在定位件安装时，都是逐个OTP点进行测量、调整，下一个的调整往往影响上一个的位置的改变，对技术人员水平要求较高。若能做好激光跟踪仪的标准化工作，使3台激光跟踪仪的系统误差、测量可靠性完全一致，则可实现3个OTP点位置的同时显示，大大降低安装难度，提高操作效率。

（2）在测量数据报告输出时，输出项目不全面，应进一步完善软件模块内容，便于后期数据处理工作的开展。

4 结束语

随着数字化制造技术在飞机制造业的广泛应用，激光跟踪仪以其精度高、方便、快捷的特点在新型飞机工装制造中得到日趋广泛的应用。随着我国装备制造业的飞速发展以及激光跟踪仪功能的不断完善与扩展，激光跟踪仪的应用将会迈上新的台阶。

(责编 良辰)