

激光跟踪仪在某型飞机制造中的应用研究

Application Research of Laser Tracker in Aircraft Manufacturing

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司 张辉 周丽 高须俊 郭洪杰
空军驻沈阳地区军事代表局 王巍

[摘要] 阐述了激光跟踪仪组成、测量原理及误差补偿方法。利用激光跟踪仪分别在某型飞机后机身总装、大部件对接和质量检测工位构建了空间测量系统。实现了部件装配平台运动闭环控制,完成了飞机大部件预总装动态调姿引导,对飞机部件装配质量进行了定量监控,大幅度提高了飞机装配效率和质量。

关键词: 激光跟踪仪 飞机部件 装配与对接 质量控制

[ABSTRACT] The components, measurement principles and error compensation method are presented. The space measurement system is built in aircraft fuselage assembly, large aircraft component butt and testing stations by laser tracker. The motion closed loop control of part assembly platform is accomplished. The dynamic adjustment and guidance of large aircraft component pre-assembly is also completed. The quality of aircraft parts assembly is monitored quantitatively. The quality and efficiency of aircraft assembly are enhanced greatly.

Keywords: Laser tracker Aircraft part Assembly and butt Quality control

现代飞机正在向着结构整体化、大型化、制造精密化的方向发展,这在加大零件制造难度的同时,对飞机装配精度也提出了更高要求^[1]。欧美先进飞机制造公司装配技术迅猛发展,飞机装配中大量运用数字化测量设备,如激光跟踪仪、局域 GPS 和激光雷达等,对飞机装配工装安装定位、部件装配定位、对接装配及装配质量等各个装配环节进行控制,实现了基于先进数字化测量技术的精准装配,大幅度提升了飞机装配制造精度^[2-3]。目前,国内飞机制造过程中,数字化测量技术仍多是处于研究和初级应用状态,激光跟踪仪是目前国内使用最为广泛的大空间高精度测量设备,主要用于飞机工装制造与检返修任务,存在使用效率低、测量数据可读性和共享性差、无法对装配进行合理评估等问题,对装配精度提升没有贡献出应有价值^[4]。因此,本课题对激光跟踪仪在某型飞机装配中应用进行研究,以期为提高飞机装配精度,保证装配质量提供技术支持。

1 激光跟踪仪测量原理及误差补偿方法

1.1 激光跟踪仪组成与测量原理

激光跟踪仪是以激光为测距手段并配以反射标靶的仪器,它同时具备绕两个轴转动的测角机构,而形成一个完整球坐标测量系统,可用来测量静态目标,跟踪和测量移动目标或它们的组合。激光跟踪仪主要由激光跟踪头、控制器、反射器(靶镜)、用户计算机和测量软件组成,其中激光跟踪头是整个系统的主体,内部集成角编码器、伺服马达和激光干涉仪等元件激光跟踪仪是目前国内使用最为广泛的大空间高精度测量设备,其基本原理是利用激光来跟踪目标反射器,通过自身的测角系统和激光绝对测距系统来确定空间点的坐标。

1.2 误差补偿方法

1.2.1 设备自身误差补偿

激光跟踪仪结构和测量原理决定了设备测量误差影响因素较多,主要包括测量方式产生的误差、机械系统产生的误差和靶镜制造的误差。设备误差补偿主要是通过测量软件对设备检校来实现,针对不同形式的误差,采用不同校准方式进行补偿,具体参数及补偿方式如表 1 所示。

表1 设备误差参数表

误差类型	具体参数	校准方法
IFM 测量误差	$\leq 0.5 \mu\text{m}$	ADM 绝对距离校准
ADM 测量误差	$\leq 25 \mu\text{m}$	IFM 基距校准
角度重复性误差	0.14"	双面精度检验
静态测量误差	$\leq 10 \mu\text{m}/\text{m}$	双面精度检验
靶镜制造误差	RRR, $\leq 2.5 \mu\text{m}$ CER, $\leq 10 \mu\text{m}$	棱镜中心检查

1.2.2 测量环境误差补偿

针对测量环境误差,激光跟踪仪气象工作站传感器能测量大气压强、温度和空气湿度参数,根据 EmScon 中建立的数学模型对光在大气中的折射率进行补偿,从而减小跟踪仪的测量误差。但是地基震动给测量造成的干扰没有相应的补偿方式。在稳定的测量环境中,测量环境误差不大于 $15 \mu\text{m}$,测量环境不稳定时,不宜进行测量

工作。

1.2.3 转站误差补偿

针对具体测量要求、现场工装和产品布局特点,利用在双基站组网测量,在弥补了单台激光跟踪仪自身的测量误差的同时,还弥补了测量公共点引入的结算误差。相对于单基站测量方式,双基站测量会使整体测量偏差较小且误差分布相对均匀。

2 某型飞机装配中激光跟踪仪的应用

2.1 后机身部件总装中的应用

在某型飞机研制过程中,其后机身部件总装是在柔性装配平台下完成的。利用激光跟踪仪构建了空间精确测量系统,在空间激光测量系统的引导下,实现了装配平台运动控制系统的闭环控制及装配平台自动调整。首先测量定位器实际位置姿态,同理论位置姿态进行比对,计算实际位置和理论位置的偏差,反馈给装配平台控制系统,其控制系统根据测量系统反馈位姿偏差驱动装配平台运动,经过反复进行测量、驱动装配平台运动过程,直至定位器到达最佳位置后进行自动锁紧。数据传递流程如图 1 所示,在空间精确测量系统与装配平台控制系统之间,数据传递主要是通过特定格式(.xls)文件进行。通过测量系统将测量数据导入数字化柔性装配信息集成控制系统,然后通过信息集成控制系统进行调型规划,再将调型数据传递至柔性工装控制系统,控制系统利用调型数据驱动伺服电机驱动定位立柱的走位。通过在测量系统与装配平台控制系统集成,实现了机身部件装配关键定位特征的实时在线测量,对提升机身部件装配效率和质量具有重要意义。

2.2 大部件对接预总装中的应用

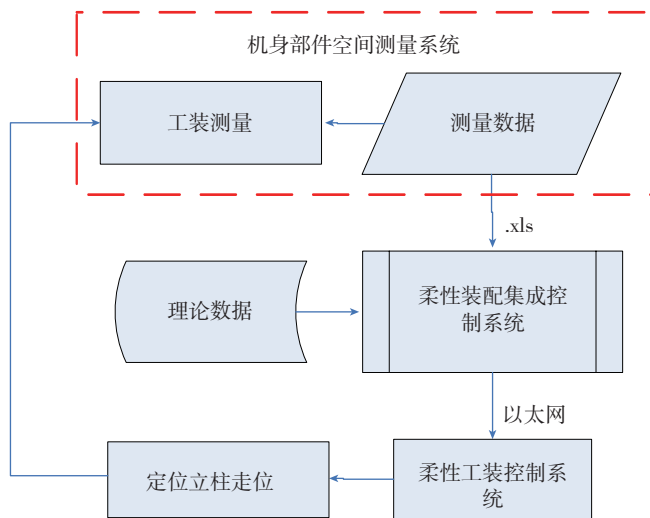


图1 测控系统数据传递流程示意图

Fig.1 Data transfer flow of control system

某型飞机研制的预总装过程是通过采用近年来新的测量辅助装配工艺方法完成的,这种工艺方法依靠先进测量设备来辅助完成部件的定位,以装配对象的数字模型为基础,同时在装配过程中对装配对象进行实时测量,由获得的数字量位置信息来指导定位和调整,保证对接工艺要求。此型飞机的预总装工位,利用 11 个数控定位装置支撑调整前机身、后机身和中机身,在装配过程中,11 个数控定位装置分别与飞机部件刚性地连接在一起,按预定路线支撑和移动部件,测量系统对参与装配的部件进行测量并将测量数据输入到系统的控制软件中,依据这些数据,系统计算出各部件需要移动的距离,以保证相邻部件的准确对接装配。此自动对接平台的测量系统是利用激光跟踪仪为基础构建的测量网,通过测量飞机零部件表面已知关键点坐标,实时解算飞机部件位置和空间姿态,并结合工装控制系统实现部件装配的闭环动态引导,如图 2 所示。通过利用以激光跟踪仪构建的测量系统为引导自动对接平台完成的大部件对合,缩短了飞机对接装配周期 50% 以上,对接精度偏差仅为传统工艺的 20%。

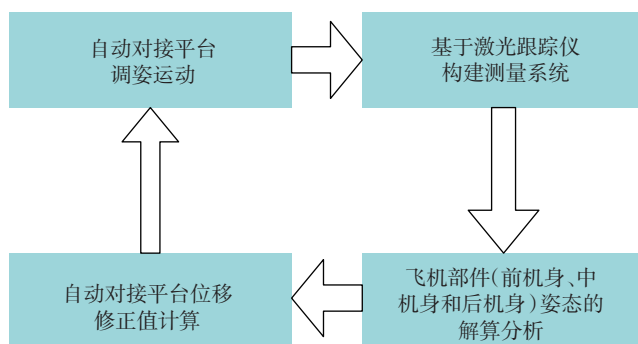


图2 基于激光跟踪仪飞机部件对接引导流程图

Fig.2 Butt and guidance flow of aircraft parts based on laser tracker

2.3 飞机部件质量控制中的应用

根据某型号飞机后机身结构特点,对大尺寸精确测量技术迫切需求,优化了大尺寸精确装配测量场空间基准和测量站位布局,利用 DELMIA 三维仿真技术对测量缓解和测量路径进行了合理规划,在后机身装配过程中构建了大尺寸精确测量场,并完成了框、框缘、梁、平垂尾焦点等主要骨架装配测量。其不同测量场激光跟踪仪的布置位置如图 3 所示。在对加强框和弱框装配测量时 2 台跟踪仪位置如图 3 (a) 所示。2 台激光跟踪仪在工装后侧中轴线两侧对称放置,相距 1.7m,距下导轨后端面 2m,激光光源高度 3.2m。装配测量时,激光跟踪仪转站至工装左右两侧,具体位置如图 3 (b) 所示。2 台激光跟踪仪分别位于前 2 根立柱的中间,距离立柱外端面 2m,光源高度为 3.8m。其中测量梁站位与测量框站位之

间有3个TB基准点和4个ERS点为公共基准参考点,符合转站公共点要求。装配测量框缘外形和平垂尾交点时2台跟踪仪分别放在工装前侧和后侧,如图3(c)所示。置于工装前侧激光跟踪仪与后侧跟踪仪相对,在工装中轴线上,距工装下导轨前端面1.5m,光源高度3.4m,测量时前后2台激光跟踪仪共用了8个公共基准点符合要求。通过运用激光跟踪仪构建的大尺寸高精度测量场技术,实现了某型号飞机后机身的精准装配。

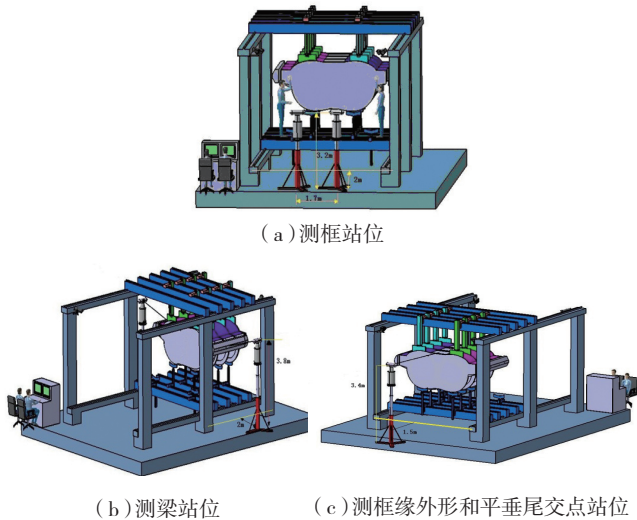


图3 质量控制测量场激光跟踪仪站位布置

Fig.3 Arrangement of laser tracker in quality control measurement field

3 结束语

在某型飞机研制过程中,利用激光跟踪仪分别在后机身部件总装工位、大部件预总装工位和部件质量检测工位构建了空间测量系统。利用上述测量系统,实现了部件装配平台运动闭环控制,完成了飞机大部件预总装动态调姿引导,并可对飞机部件装配质量进行定量监控,在新一代飞机研制过程中取得了显著效益,受到各界的一致好评。有理由相信,方便、快捷、精度高的激光跟踪仪随着我国飞机装备制造业的飞速发展,其应用也将更加广泛。

参考文献

[1] 许国康. 大型飞机自动化装配技术. 航空学报, 2008(3): 737-738.
 [2] 范平, 范玉青. 突破技术趋同波音再现竞争优势—对大型飞机研制技术的战略性分析. 航空学报, 2008, 29(3): 707-712.
 [3] 邹冀华, 许国康. 大型飞机装配中的数字化测量系统分析和研究. 航空制造技术, 2010(3): 49-53.
 [4] 王彦喜, 闵俊, 刘刚. 激光跟踪仪在飞机机型架装配中的应用. 航空制造技术, 2010(19): 92-94.

(责编 小城)

(上接第 81 页)

6 结论

采用基于仿真技术的模块化装配生产单元,能提高装配技术水平,降低总装生产的复杂性,缩短装配生产周期,是航空机电制造企业提升快速响应能力,打造核心竞争力的重要途径。

参考文献

[1] 杨军伟. 模块化装配生产在汽车总装生产工艺中的运用. 硅谷, 2013(17):11-13.
 [2] 郑德权, 赵福全, 回金楷, 等. 总装工艺模块化装配设计. 汽车工艺与材料, 2010(10):40-43.
 [3] 刘会芬. 模块化生产方式的形成演化及其实现. 商业时代, 2009(20):43-45.
 [4] 范玉青, 梅中义, 陶剑. 大型飞机数字化制造工程(第1版). 北京: 航空工业出版社, 2011:545-557.
 [5] 于贰珍. 汽车装配工艺模块化设计研究. 科技视界, 2014(2):82-84.

(责编 深蓝)

(上接第 95 页)

理;

(4) 对应于各子系统群组进行分布式的网络化系统参数设置。包括: 测试电压、电流标准值、阈值、误差范围、延时等;

(5) 支持被测线缆分组表可将一个产品中的多套线缆分组编辑成一个测试文件, 一次完成所有单元测试, 便于分类查找、判断、分析、提高测试效率;

(6) 根据网络化信息的采集, 显示每一导线的起点、终点、测试参数、导线阻值及网络关系;

(7) 支持系统的分布式网络化模拟运行。

多线程信息服务的软件设计与嵌入式系统的应用相结合, 以及对现场设备技术状况的正确采集和处理, 形成了分布式线缆自动检测系统的主体。分布式网络化系统最终是否能够有效和稳定地发挥作用, 很大程度上都决定于这一工作能否正确地完成。

总之, 分布式线缆自动检测系统不仅涉及到众多不同的信息接口和信传协议等软问题, 而且还涉及到各种链路方式与不同信传媒介混合配置等硬问题。因而在信息集成系统的底层, 需借助嵌入式系统的多方介入, 以建立类似通用性网络系统的信息化平台。并根据检测过程的要求, 对之进行信息融合与网络化管控。使整个系统在具备实时响应的运行基础上, 实现分布式的宏观集成。

(责编 亿霖)