

民用飞机大部件数字化 对接关键技术

Key Technologies of Digital Final Assembly for Civil Aircraft

南京航空航天大学机电学院 黄翔 李泷杲
上海飞机制造有限公司 陈磊 方伟



黄翔

南京航空航天大学教授, 博士生导师。主要从事数字化设计制造、飞机数字化装配等方面的教学和科研工作。主持国家 863、国家自然科学基金等项目 10 余项。获得省、部级科技进步奖 8 项, 发表论文 60 余篇, 专著 2 部。

传统的飞机大部件对接主要靠工装和工艺补偿来保证大部件之间的协调, 在对接部件留余量, 采用吊车与牵引配合进行对接, 最后进行精加工^[1]。这种对接方法精度低、可靠

飞机大部件对接装配的数字化和自动化可以有效降低部件对接误差, 提高飞机大部件对接装配精度和效率, 是飞机大部件装配的发展趋势。今后其发展重点是需要开展面向飞机装配的设计技术的研究, 主要在设计对接形式时要充分考虑自动对接装配的要求, 特别是测量点的布置; 其次是要实现大部件自动对接系统的装备化、标准化、模块化和系列化设计, 以便推广应用。

性差, 极易出现超差问题, 容易造成无法逆转的飞机水平测量参数。

飞机大部件数字化自动对接系统用于实现大部件空中姿态位置的实时控制、调整, 并完成调姿后的驱动与对接^[2-4], 主要由自动定位器、测量系统、控制系统和调姿集成软件系统组成。在自动对接过程中, 首先通过测量系统, 进行大部件位置的准确测量, 进行装配轨迹规划后将数据传递给定位器, 通过伺服电机带动自动定位器进行 X 、 Y 、 Z 3 个方向的自由移动以及绕 X 、 Y 、 Z 3 个方向的旋转, 从而实现飞机大部件的精确定位, 完成对接。

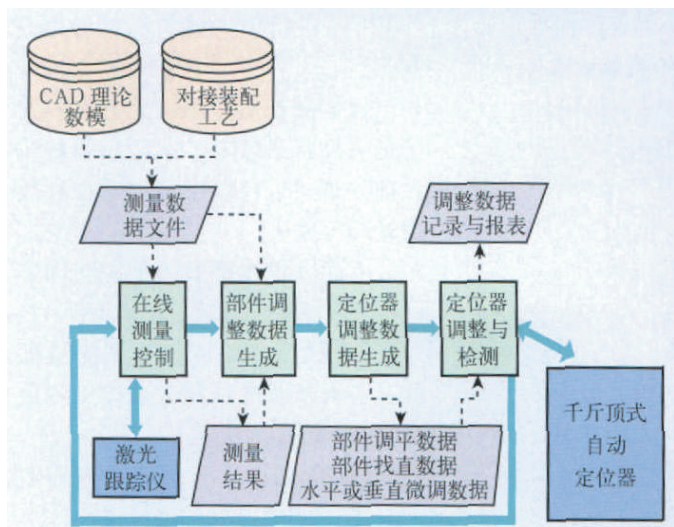
本文结合 ARJ21 介绍飞机大部

件数字化自动对接装配系统。

数字化大尺度测量场构建

要解决大部件间的准确对接, 首先要解决的是获得大部件间准确的相对位置关系, 即部件空间位置的准确测量。与其他测量要求不同, 飞机大部件空间位置测量具有对象尺寸大、测量精度要求高和测量难度大等特点。

目前, 国内飞机部件对接过程中测量定位仍然主要依赖于传统光学测量仪器, 如水准仪、光学经纬仪等。随着数字化技术的发展, 先进的用于大空间范围测量的数字化测量设备相继出现, 如激光跟踪仪、局域 GPS、



飞机大部件自动对接基本构成和实现原理

激光雷达等,较之传统的测量方法,在测量精度和易用性等方面,数字化测量设备可以更好地满足飞机装配过程中的测量要求。

激光跟踪仪的基本测量原理是激光跟踪目标反射器通过自身的测角系统(水平测角、垂直测角),及激光绝对测距系统来确定空间点目标反射器空间位置的坐标,再通过仪器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,从而得到空间点的坐标。

局域 GPS 是一种超越传统测量的大尺寸空间测量技术,使用红外脉冲激光发射器,接收器根据激光发射器投射来的激光时间特征参数,计算接收器所在点的角度和位置,并将模拟信号转换成数字脉冲信号,通过无线网络发送给中央控制室的服务器,最后通过局域 GPS 系统的测量软件处理数据获得高精度的信息,并供远端的多用户共享。它的测量区域并不会受到已安装的激光发射器数量限制,只需增加激光发射器便可扩展测量范围^[5]。

激光雷达是一种球坐标系的测量系统,它产生一束聚焦的红外激光投向被测目标,此时在被测目标上产生大量的发射光束,将入射激光返回雷达所经历的时间与复制的入射激

光通过内置的已知长度光纤所用时间进行对比,得出被测目标与激光雷达的距离^[6]。被测目标的方位角和仰角分别由反射镜和旋转头获取,最后将获得的球坐标转换成直角坐标。

激光跟踪仪、局域 GPS、

激光雷达都可以用于测量场的建立,具体的选用方案会考虑方便性、测量批量、费用和维护等方面。测量场的建立由飞机的尺寸大小、测量点的位置、测量精度要求和是否需要转站等方面决定。

基于激光跟踪测量仪的数字化测量场布站方案。

徕卡激光跟踪仪的测量精度如下:

$$U_{xyz}(\text{IFM}) = 10 \mu\text{m}/\text{m}$$

(干涉仪精度),

$$U_{xyz}(\text{ADM}) = 10 \mu\text{m}/\text{m}$$

(绝对测距精度)。

根据对接装配对三维坐标测量精度的要求和上述公式,可以确定激光跟踪仪与各个测量点的距离,从而确定测量场布站形式:ARJ21 翼身对接的整个过程中 4 台激光跟踪仪的布站形式(也可以采用一激光跟踪仪通过转站方式来实现)。将 4 台激光跟踪仪布置到 A、B、C、D 4 个站位,以 A 站位激光跟踪仪的设备坐标系为测量坐标系,分别将 B、C、D 站位上设备坐标系与测量坐标系拟合,完成坐标系的统一。

定位器设计和工艺接头设计

自动定位器是机身柔性定位系统的末端执行单元,其基本作用支撑

并固定机身部件,使其能够进行平稳空间移动和转动。自动定位系统需要有较高的定位精度和驱动性能的要求。

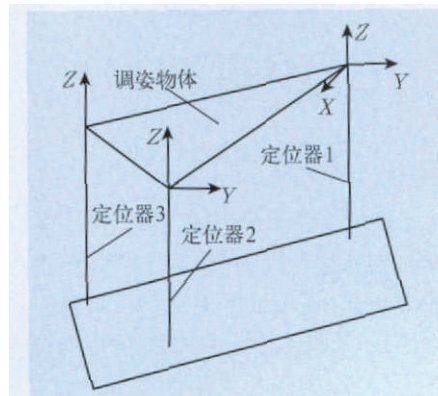
不同的机身对接部件,往往有着不同的结构形式和组合方式要求。自动定位器主要有托举方式支撑部件的千斤顶式自动定位器和侧支方式支撑部件的塔式自动定位器 2 种。能够支撑装配件在水平 XY 方向直线平稳移动,以及垂直 Z 向俯仰及转动。各定位器其实就是一种三轴联动机床,合并在一起为多自由冗余驱动的并联机床系统。此外还有双支撑托板式柔性定位机构和 3 或 4 个定位器组成的托架式柔性定位机构。

工艺接头是定位器和飞机支撑点中间连接零件。同时工艺接头是定位器与飞机部件位姿关系的中间环节,要获得定位器相对机翼的准确位姿就需对工艺接头的位姿进行求解,并将其附加到定位器位姿关系阵中。工艺接头位姿求解方法:在机翼定位器工艺接头上布置 3 个测量点,利用测量点坐标值求解各工艺接头的位姿。

飞机大部件对接装配轨迹规划

对接装配轨迹规划是保证部件空间位姿调整和部件间准确对接的关键要素。根据构件的特点和对接装配工艺,一般有 3 类基本算法。

(1) 3-2-1 调姿算法。

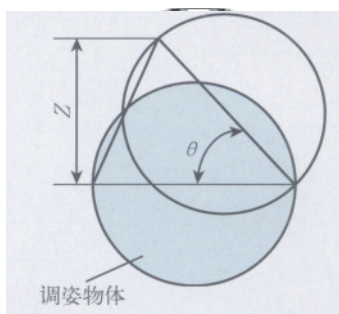


3-2-1调姿算法自由控制示意图

飞机大部件调姿常采用三定位器的基本并联系统,主要是因为部件调姿对接是一个平稳过程,系统加速度相对较小,定位器所需承受的载荷较平稳,使用三定位器能基本满足刚体调姿要求。三定位器自由度常采用3-2-1的安排,定位器1为3个驱动平移自由度、定位器2为2个驱动平移自由度、定位器3为1个驱动平移自由度,系统总自由度为6自由度,从而能确保部件以全自由度无冗余的方式进行空间位姿调整。

三定位器调姿顺序为3-2-1,即:调姿过程中定位器1首先动作,当运动到指定位置时,3自由度锁死,接着定位器2动作,运动至指定位置,2自由度锁死,最后定位器1动作,运动至指定位置后即可实现刚体部件的姿态调整。

3-2-1算法具有算法简单、求解速度快、运动学逆解简单的优点。但该算法为坐标点间直线映射式算法,因此路径规划简单,对配合类调姿或者相对量调姿均存在一定的不足。因此该算法主要用于平板类零件的简单无障碍姿态调整,如飞机机翼调姿。针对相对量调姿和配合类调姿,延伸出3-2-R和3-V-P调姿算法。

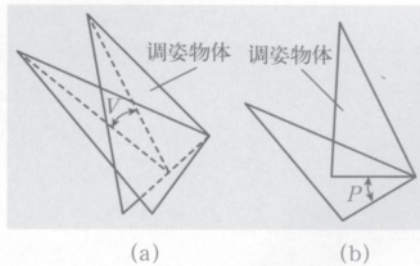


3-2-R调姿算法示意图

(2) 3-2-R 调姿算法。

该算法原理与3-2-1调姿算法基本一致,所不同的是3-2-R调姿算法只需要通过刚体控制点的相对位置计算,调整3点平面空间角度,就可获得符合要求的刚体水平及航

向姿态。因此,整个调姿过程更直观,适合于机身椎体和筒形段等刚体水平类姿态调整。



3-V-P调姿算法基本原理

(3) 3-V-P 调姿算法。

3-V-P调姿算法主要针对各种安装角度至关重要的刚体姿态调整,刚体姿态调整不再是基于3点顺序动作,而是根据刚体与目标姿态的角度(夹角 V 和夹角 P),联动定位器的空间动作,达到姿态调整的目的,因此其空间路径运动方式更加合理和直观,更适用于有装配配合要求的尾翼等刚体姿态调整。

具体调姿算法过程如下:

(a) 具有3平移自由度的定位器首先动作,当运动到指定位置时,定位器3自由度锁死;

(b) 2平移自由度和1平移自由度的定位器联动动作,调整面间法向夹角 V ;

(c) 2平移自由度和1平移自由度的定位器联动动作,调整平面内夹角 P 。满足条件后,锁死所有定位器自由度。

飞机翼身自动对接系统

翼身对接的基本工艺方案为:吊装中央翼,并将其放置在定位器上;测量中央翼的基准点,调姿摆正;吊装机翼,并将其放置在定位器上,并固定好交接点;测量机翼基准点,自动操作定位器,进行姿态调整,使之摆正;作平移操作,沿一个方向平行移动机翼,使之与翼盒对接面的位置误差为零,实现机翼与中央翼盒对接,最后进行坐标锁定,左右机翼操

作相同;进行中央翼与机翼对接面制孔。

根据翼身对接的工艺方案开发了飞机翼身对接集成系统,系统包含前处理、机身调姿、翼身对合和数据处理等模块。

下面以机翼调姿为例说明调姿过程:

(1) 用激光跟踪仪分别测量机翼上各对接基准点和工艺接头测量点的坐标值;

(2) 依据机翼对接基准点的坐标值,进行机翼初始位姿标定;

(3) 依据测量点的坐标值,进行工艺接头初始位姿标定;

(4) 机翼姿态调整;

(5) 机翼位置调整。

结束语

飞机大部件对接装配的数字化和自动化可以有效降低部件对接误差,提高飞机大部件对接装配精度和效率,是飞机大部件装配的发展趋势。今后其发展重点是需要开展面向飞机装配的设计技术的研究,主要在设计对接形式时要充分考虑自动对接装配的要求,特别是测量点的布置;其次是要实现大部件自动对接系统的装备化、标准化、模块化和系列化设计,以便推广应用。

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,2001:33-36.
- [2] Williams G,Chalupa E,Rahhal S.Automated positioning and alignment systems.Society of Automotive Engineers,2000.
- [3] 邹方,张书生.飞机总装自动化校准对接系统.航空制造技术,2008(7):34-36.
- [4] 许国康.大型飞机自动化装配技术.航空学报,2008(3):737-738.
- [5] Arc Second Inc.Indoor GPS technology for Metrology.2002.
- [6] 李清泉,李必军,陈静.激光雷达测量技术及其应用研究.武汉测绘科技大学学报,2000,25(5):387-392.

(责编 依然)