

现代大飞机数字化测量技术

Digital Measurement Technology of Large Aircraft

海克斯康测量技术（青岛）有限公司

兴起于20世纪80年代的飞机数字化制造技术发展到现在已经历经30余年,其中,数字化测量技术在飞机的数字化制造过程中扮演着非常重要的角色,大大提升了飞机的制造效率和质量。从零部件的加工到飞机的装配,现代化的测量技术遍及飞机制造的每一个环节,为飞机高质量高效率生产制造保驾护航。本文对当前航空航天行业的精密测量技术及其应用进行了综合阐述。

兴起于20世纪80年代的飞机数字化制造技术发展到现在已经历经30余年,其中,数字化测量技术在飞机的数字化制造过程中扮演着非常重要的角色,大大提升了飞机的制造效率和质量。从零部件的加工到飞机的装配,现代化的测量技术遍及飞机制造的每一个环节,为飞机高质量高效率生产制造保驾护航。本文对当前航空航天行业所有的精密测量技术及其应用进行了综合阐述。

嵌入加工工序的在机测量技术

在机测量技术指的是将机床测头安装于机床主轴上,在工件的加工工序中插入自动化精密找正、自动化检测的环节,实时提供加工结果。自动化精密找正解放了加工人员依赖手工找正的技能,同时提高了加工的定位精度;工件的自动化检测则为及时修正不良加工趋势提供可视化

的数据支持,在提升加工质量的同时节省了修正时间和因不合格带来的成本损失。在飞机零部件的加工过程中,复杂易变形的叶片叶轮类零部件是最为典型的例子,在叶片加工中,通过在机测量系统的自动找正功能,克服了以往依赖工装定位而工装本身稳定性不高的难题;而整体叶轮的机加工难度要远远大于单叶片的加工。以往,叶轮从机床上拆下后,

如果出现局部超差情况,对其二次定位进行再修复的报废率很高。同时,在没有过程检测数据之前,叶轮加工参数的调整很难找到合适的参考。在叶轮加工中插入在机测量之后,通过在机测量确认叶轮精加工余量并及时调整加工参数,大大提升了叶轮的加工质量,同时保证叶轮从机床上下来就是合格产品。

图1所示为叶轮与机匣的在机

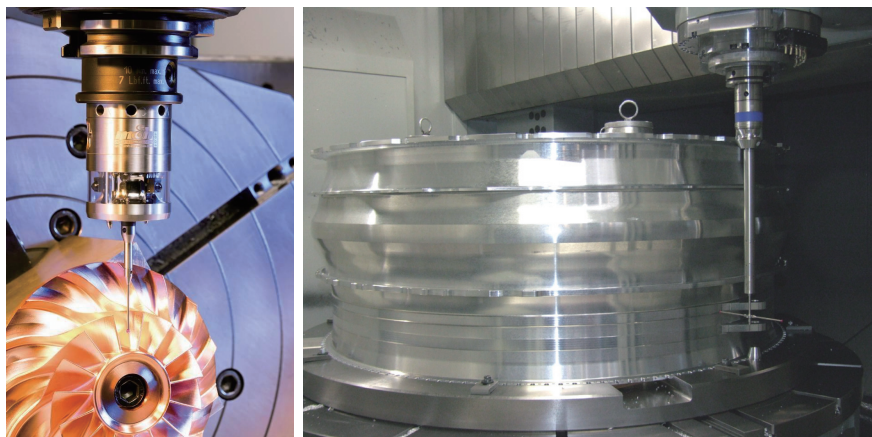


图1 叶轮与机匣的在机检测,显著提升加工质量

检测,显著提升加工质量。

高精度测量技术是航空航天行业零部件质量的保障

固定式三坐标测量机是传统意义上的精密测量技术,从20世纪60年代开始至今发展了近50年,中国航空航天业是中国工业行业中第一个引进三坐标测量机的行业,可见固定式三坐标测量机在中国航空航天业的地位。飞机上所有的零部件在出厂前必须通过固定式三坐标测量机或者便携式测量系统的质量验证。图2所示为通常用于飞机发动机零部件检测的典型固定式三坐标测量机。



(a) Leitz 高精度三坐标测量机



(b) GLOBAL Silver 三坐标测量机

图2 通常用于飞机发动机零部件检测的典型固定式三坐标测量机

今天,大飞机制造过程中应用的固定式三坐标测量机主要有桥式测量机和龙门式三坐标测量机,两者的区别在于,桥式机测量行程小,主要用于中小型零部件测量;龙门机测量行程大,主要用于大型零部件的检测,图3所示为龙门式三坐标测量机用于西飞大型零部件质量验证。目前全球最大的龙门式测量机Y向行程40m,这台测量机就出自海克斯康计量集团。

随着制造技术的发展,测量技术的需求趋向于车间现场化和便携化

应用,因此,在应用现场可看到便携式关节臂测量机、拍照式测量系统、激光跟踪仪。便携式测量技术的特点是设备能够适应车间恶劣的环境,包括温度、湿度、灰尘粉尘等,更重要的特点是可随身携带,应用更灵活更柔性。关节臂、拍照式测量系统和激光跟踪仪测量技术的区别在于激光跟踪仪的检测范围更大,高精度测量范围达30m,最大的测量范围则高达320m。

出于对效率和自动化的追求,机器人被整合到便携式测量系统上,形成自动化的柔性测量系统,弥补了便携式测量系统在自动化程度上的缺

陷。拍照式测量系统和激光跟踪仪都已经拥有机器人式自动化测量系统。以Leica激光跟踪仪为例,Leica激光跟踪仪六自由度(6D)自动测量系统可以整合机械手或龙门框架自动系统,通过将Leica六自由度靶标T-MAC或T-SCAN加装在上面,利用机械手或龙门框架自动系统的程序自动定位功能将其送到指定测量位置执行测量程序,系统可以实现单站30m的测量范围。

大飞机的数字量化测量技术

大飞机数字量化测量技术指的是使用激光跟踪仪结合成熟软件或者特制的开发软件辅助装配飞机型架、机身对接。以机翼与机身的自动对合为例,利用激光跟踪仪的数字量化装配步骤为:(1)初始化测量程序;(2)读取理论值;(3)测量参考点;(4)捆绑站位;(5)拟和坐标系至机身;(6)测量实际机翼位置计算实际测量点与理论偏差;(7)发送偏差到装配程序驱动工装和终端执行机构调整机翼位置趋近于最终位置;(8)判断是否满足规定的装配公差,如果未在偏差值未达公差要求,驱动终端执行机构则会将机翼逐渐调整到理论位置;(9)如果偏差在装配公差内,则结束程序,驱动执行机构完成机翼对接。整个过程依靠数据量化



图3 龙门式三坐标测量机用于西飞大型零部件质量验证

的激光跟踪仪达到高效的精密装配效果。图4所示为空客A380采用4台Leica激光跟踪仪完成数字化装配。

上述自动测量程序执行过程中采用的激光跟踪仪为三自由度激光跟踪仪,激光跟踪仪测量参考点时工装及终端执行机构需要停止工作,也就是说不能够实现测量与调整同时进行,这是由三自由度激光跟踪仪本身的测量特性决定的,程序执行过程相对较长,当定单数量较大时需要生产效率工装,使生产成本升高。自动测量程序如果采用Leica激光跟踪仪六自由度(6D)测量系统可以避免上述问题,通过统计至少可以节省1/3时间,关键是在最大程度上减少了效率工装的使用。Leica激光跟踪仪六自由度(6D)测量系统采用驻机定位技术实现空间物体的六自由度(X、Y、Z、i、j、k)动态测量,激光跟踪仪测量六自由度靶标——T-MAC上广角靶镜的X、Y、Z坐标值,高精度数字相机测量六自由度靶标——T-MAC上10个发光二极管的姿态i、j、k,其2Sigma角向精度达到0.01°。

Leica六自由度测量系统因为其动态测量特性,以机翼与机身对合程序为例,可以快速将机翼调整到距离其最终装配位置5mm以内,之后三

自由度自动测量程序开始执行,测量固定的参考目标位置,直到机翼调整到最终装配位置。数字化飞机对合过程中可以使用三套Leica六自由度测量系统同时执行左、右机翼与机身对合,水平尾翼与机身对合程序,耗时15min即可完成测量过程。

企业级数字化测量解决方案 协助航空工业提升数字化制造技术

现代化工厂数字化、信息化的核心要素是数据平台的建设和数据的深度挖掘,作为产品质量数据的唯一来源——数字化检测成为大飞机制造信息化过程中必不可少的数据支撑。而“如何整合各种测量设备,如何优化所有的测量系统,如何提升更高效的质量管理……”越来越被追求数字化信息化的企业所关注。测量设备所用的软件系统是否统一,数据是否能够互通共享,成为测量业界及制造企业第一个必须解决的难题;其次,虽然市场上已经拥有各类MES、PDM、PLM等生产制造及数据

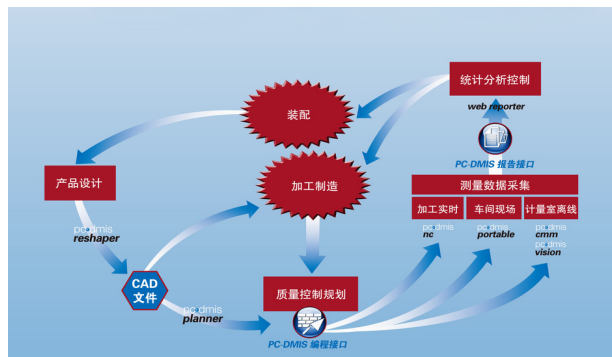


图5 EMS企业级数字化测量解决方案

管理系统,但是基本都未将精密测量设备及采集的数据纳入其中,即质量数据及精密测量设备的高效管理一直是业界的一个空白。要实现真正的数字化和信息化工厂,需要解决以上两个问题。

基于宽广的产品线和全球化精密计量技术协同开发,海克斯康计量旗下的PC-DMIS EMS企业级数字化测量解决方案贯穿产品设计、加工、质量保证、数据处理与分析等整个产品生命周期,能够通过基于PC-DMIS核心技术的一系列软件包,建立高效的测量系统。该系统能够兼容所有固定式三坐标、便携式关节臂、激光跟踪仪等精密计量系统,同时能够整合这些系统搜集的数据信息,通过专业的统计分析将海量数据处理成为直观的统计报告,且可以通过网络技术实时传输到公司内外各相关部门(图5)。该系统不但关注底层检测操作层面的效率和简易性,关注数据的收集、共享和保密处理,还关注管理层对检测设备即时状态的管理和监控,以期促进更及时更适用的决策体系,除此之外,该系统还充分考虑到与工厂内部已经存在的其他生产管理系统的兼容问题。

先进的数字化测量技术作为飞机数字化制造技术中重要组成部分,在保证效率和质量过程中起到至关重要的作用。随着产业升级转型,数字化测量技术的地位必将越来越高。

(责编 良辰)



图4 空客A380采用4台Leica激光跟踪仪完成数字化装配