

数字化测量技术在飞机装配中的应用

Application of Digital Measurement Technology in Aircraft Assembly

长春理工大学 安志勇 曹 秒 段 洁



安志勇

教授、博士生导师,获国务院政府特殊津贴,中央直接掌管联系专家,吉林省第一届高级专家,国务院学位委员会第五届光学工程、仪器科学与技术学科评议组成员,主攻方向是光电测控技术与仪器研究领域。

飞机制造业是国家的高技术战略产业,主要体现在高性能战斗机和大型飞机的发展上,它对科技进步具有广泛、持久的牵引作用。数字化技术的迅速发展和广泛应用使传统飞机产品的研制过程发生了根本性的变革,大幅度地提高了飞机设计与制造的技术水平,加快了现代飞机研制的进程。

随着飞机数字化设计与制造技术的发展,整机产品和零部件的大尺

寸测量对测量技术、测量设备提出了更高的要求。因此,传统的测量技术已难以满足飞机零部件快速、高效、高精度检测要求。当前基于激光、CCD原理等非接触测量的数字化检测技术的应用,已经在飞机复杂零件与大尺寸零部件数字化设计、制造、装配与检测一体化流程中处于非常重要的地位。

寸测量对测量技术、测量设备提出了更高的要求。因此,传统的测量技术已难以满足飞机零部件快速、高效、高精度检测要求。当前基于激光、CCD原理等非接触测量的数字化检测技术的应用,已经在飞机复杂零件与大尺寸零部件数字化设计、制造、装配与检测一体化流程中处于非常重要的地位。

本文针对飞机复杂外形和大尺寸零部件数字化制造的现状和测量需求,以及现代数字化测量技术的研究现状,对以激光非接触测量为主和图形化的激光跟踪测量技术、CCD机器视觉测量技术、激光雷达扫描测量技术、iGPS精确定位测量技术等进行了总结与研究,对飞机制造业的发展具有一定的参考价值。

飞机数字化制造业的发展现状

1 概述

飞机制造业不同于一般的机械

加工工业,由于其产品复杂度高、技术难度大,已是体现一个国家具有战略性的高技术产业,是现代科技高度集成的产物,亦是衡量一个国家科技、工业水平和综合国力的重要标志之一。尤其大型客机产品极其复杂,不仅气动外形要求严格、设计更改频繁、产品构型众多、零件材料和形状各异,而且具有内部结构复杂、空间紧凑、各类系统布置密集,以及零组件数量巨大等特点。如美国的波音747大型客机,每架零件数量多达600万件,其中连接件为300万个,电缆总长274km。另外,其研制周期较长,配套商家多。一架大型飞机研制需要零部件供应商达数千家,如A380客机的供应商达1万多家,造成研制过程数据管理困难。更重要的是保证飞机安全飞行所需的各种设备,如通信、导航、显示和飞行控制等软硬件设备都需采用高新技术^[1]。

此外,还有严格的环境保护要

求,如污染排放要少、噪声要低以及燃油利用率要高。所以从飞机的整个研制过程来看,从顾客提出对飞机的用户要求开始,直至飞机设计、制造、交付出厂,以及投入航线后的服务工作,飞机的研制过程是一个庞大的系统工程。因此,必须发展数字化设计、制造与检测技术,以适应这种庞大的系统工程。目前,此工程已充分体现出数字化技术是企业的核心竞争力,形成了产品创新发展的最有力工具。因此,数字化技术的应用,无论在深度和广度上都有了巨大的发展。

2 飞机制造业零部件的数字化测量技术

随着科学技术与飞机数字化制造业的飞速发展,与其相适应的飞机数字化测量技术,以其高精度、高效率、高自动化等优势在飞机制造领域应用越来越广。一些光学三维大尺寸形貌检测技术日益成熟,其相关的仪器设备,如激光跟踪仪、机器视觉测量系统、iGPS、激光雷达扫描测量系统等已应用在国内外飞机制造工业的许多领域^[1-6]。对于一些尺寸大、精度要求高的飞机或特殊机型飞行器,我国传统的测量手段已无法满足其要求,数字化测量技术是首选。尤其是采用多数字化测量系统组合的方式,不仅可以克服测量范围大与测量精度低的矛盾,还可获得更准确的测量结果,而且能够满足多功能的要求,成为飞机数字化制造中的关键支撑技术之一,大大提高了系统的可扩展性及应用范围,在提高飞机制造、装配质量和效率方面发挥了重要作用^[9]。

最近几年,国外基于模型定义技术在波音 787 机型上的成功应用使得设计制造一体化技术得到大的发展。波音、空客及福特等公司已经普遍采用基于数字化测量设备的产品进行三维测量与质量控制,建立了较完整的数字化测量技术体系,开发了

相应的计算机辅助三维检测规划与测量数据分析系统,制定了相应的三维检测技术规范,显著提高了检测效率与质量。同时,国外航空制造部门越来越多地以快捷、高效的制造现场数字化检测技术为支撑,发展新的、高效率的制造流程和工艺,如通过现场检测定位减少或简化装配工装等,并用于飞机产品质量控制、加工现场的制造数据反馈与自适应补偿、柔性自动化装配定位等,直接推动了相关技术和工艺水平的大幅提升,极大地提高了大飞机制造质量和生产效率。

3 数字化测量技术在装配中的应用

飞机的装配过程也是一项复杂的系统工程,涉及飞机设计、工艺计划、零件生产、部件装配和全机对接总装的全部过程。

现代先进飞机装配技术已经完全不同传统的飞机装配技术,即不再使用传统的复杂型架来定位和夹紧零部件进行装配工作。而是充分吸收和利用了现代高新科技,如计算机、软件、激光跟踪定位、自动化控制等技术,发展成飞机无型架定位数字化装配技术,它们在飞机装配线中主要用来测量和定位各种工艺装备,或直接用来定位飞机的被装配构件,是飞机数字化装配系统的重要组成部分。

无论是现代大型民用运输机还是军用战斗机,从大型零件到大部件装配和机身的对接装配过程,大量采用数字化自动钻铆系统。装配工装和钻铆设备从结构和功能上是一体化的,而且自动化程度越来越高,形成大规模的飞机部件数字化自动钻铆装配线。飞机的数字化装配大幅减少了飞机装配所需的标准工装和生产工装,如波音 737 新一代飞机,标准工艺装备减少 80%,法国达索公司最新研制的小型公务机 Falcon (2005 年上大),其传统的工装减到零。这对降低新机研制成本,缩短研制周期起到了难以估量的作用。

基于激光雷达原理的非接触数字化测量技术

从 20 世纪 70 年代美国宇宙航天激光测距,到 1990 年德国 Ackerm 教授领衔研制的世界上第一个激光断面测量系统,近年来,激光雷达在此基础上得到了迅猛的发展。目前投入商业运行的激光雷达系统主要有: Metris Laser Radar、TopScan、OPtech 以及 Topsy 等。

随着激光雷达技术的日益成熟,激光雷达的应用范围逐渐拓展。美国、日本、加拿大、澳大利亚、英国等国的几十家高科技技术公司已经开展了大量的激光雷达三维扫描技术的研究,已经形成了具有一定规模的高科技产业。在 1994 年和 1997 年,美国国家航天局(NASA)曾两次将航天激光测高仪安装在航天飞机上,用以建立基于 SLA 的全球控制点数据库;随后又提出了地学激光测高系统(GLAs)计划,并于 2002 年 12 月 19 日发射了载有激光测距系统、GPS 接收机和恒星跟踪姿态测定系统的卫星,系统精度可达到米级。NASA 的下一步计划是要在 2015 年之前使星载激光雷达系统的测高精度达到分米和厘米级^[2]。

在国内,激光雷达的硬件研究仍处于起步阶段,现有的技术还无法满足测量范围及精度要求,由于没有高精度的 INS 系统以及性能(激光强度、激光功率、脉宽、测距精度)可靠的激光测距装置,至今国内还没有成熟的激光雷达系统出现。国内的很多单位和公司都采用直接购买国外现有的激光雷达测量设备,满足生产和测量的需求。

目前,国内从事三维成像激光雷达研究的单位主要有:哈尔滨工业大学、华中科技大学、浙江大学、天津大学、长春理工大学等,其中,哈尔滨工业大学提出了一些针对成像激光雷达数据处理的算法,但这些算

法都是针对二维图、灰度图像所作的处理。在三维成像激光雷达的研究方面,天津大学叶声华教授所在的精密测试技术及仪器国家重点实验室对激光雷达做了深入研究,并取得了显著成果。长春理工大学已将激光雷达测量系统成功地应用于多种型号飞机的水平测量、发动机推力线测量、整机三维形貌测量,并与 iGPS 组合应用,成功地进行了某型号飞机的辅助装配定位与测量。激光雷达系统参数及精度如表 1 所示,激光雷达测量系统组成如图 1 所示。

表1 激光雷达系统参数及精度

测量范围	MV224:1~24m
	MV260:1~60m
绝对测量不确定度	角度:6.8 μm/m
	范围:(10+2.5) μm/m
3D 精度	1m 处 16 μm
	10m 处 100 μm
	24m 处 240 μm

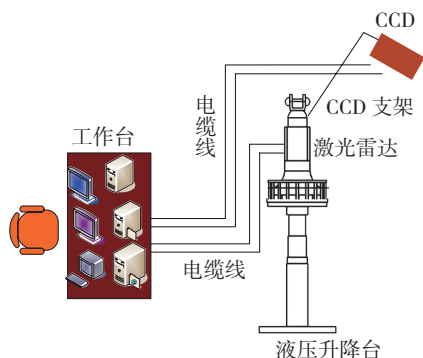


图1 激光雷达测量系统组成

对飞机水平测量及三维形貌测量需多次转站或利用反射镜协助测量,其激光雷达转站示意图见图 2。

利用激光雷达扫描测量系统,可获得大量测量数据,通过功能强大的软件进行数据处理,可获得相当直观的彩色误差图,便于分析与修正。

基于 iGPS 的辅助装配定位测量技术

在 20 世纪 90 年代, GPS 向世界

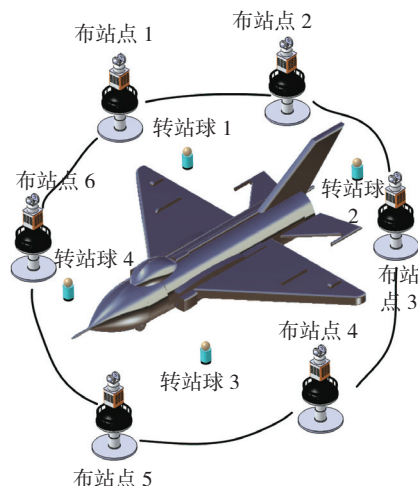


图2 激光雷达转站示意图

展示了定位设备的强大力量,并为三维形貌测量建立了新的标准。如今, GPS 全球定位系统应用广泛,已经被界内视为全世界通用的定位系统。GPS 的优势不仅在于它的先进技术,更在于它的系统理念^[3]。

根据 GPS 测量原理,在 21 世纪初,人们提出了基于区域 GPS 技术的三维测量理念,进而开发出了一种具有高精度、高可靠性和高效率的室内 GPS (iGPS),主要用于解决大尺寸空间测量与定位问题。iGPS 工作原理是:发射器产生 2 个激光平面并在工作区域旋转,每个发射器有特定的旋转频率,转速约为 3000r/min。根据接收器所能接收到的激光,它能够对水平角及垂直角进行测量。通过几个不同发射器的组合,可以计算测量点的 XYZ 坐标点。测量 1 个点所需要的最少发射器数量是 2 个。发射器越多,测量越精确。为了提高测量精度,建议 1 个测量点至少能接收到 4 个发射器的信号。iGPS 系统能够建立一个大的空间坐标系,所有的测量任务如坐标测量、跟踪测量、准直定位、监视装配等都能完成。

美国波音飞机制造公

司从 1998 年开始研究 iGPS 测量技术,该系统已应用于从 747 到 F/A18 飞机整机的装配线中,以解决对大尺寸构件的测量问题,特别适合于在大尺寸零部件的装配、检查和准直方面的应用。在这种测量系统中,4 个发射器安装在光学座上,或者固定在测量区域的各个角上。发射器的有效范围为 49m,接收器是用光电检测器构成直径 38mm 的球体。用户可用一个 PDA 或笔记本电脑来采集数据。iGPS 的出现真正为大尺寸的精密测量提供了一种新的测量方法。图 3 为 iGPS 系统布局图。

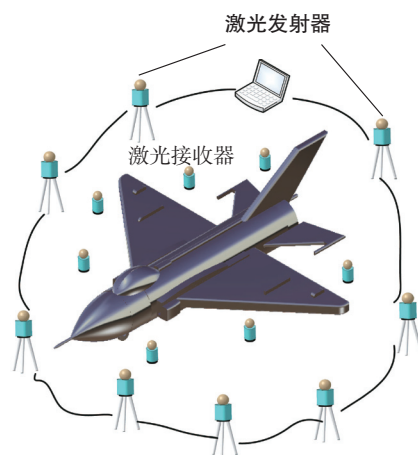


图3 iGPS系统布局图

多数字化系统组合式辅助装配定位测量技术

根据飞机高精度装配的需求,采

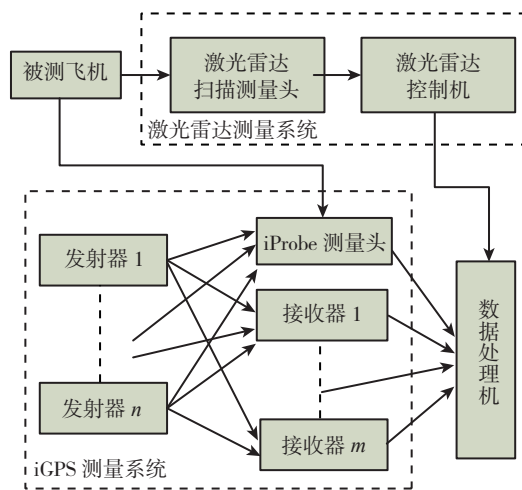


图4 激光雷达测量系统与iGPS测量系统组合总体框图

用多数字化系统组合式辅助装配定位检测技术可解决各种不同型号飞机的高精度定位与装配。其中以激光雷达与 iGPS 组合是最常见的辅助

方向离飞机 2m 远, 布设高度可选 1.5~2m 高低错落放置, 具体如图 5 所示。

2 激光雷达布站

应用, 已使其成为一个国家科技与工业发展水平高低的重要标志。因此, 数字化测量技术已是推动飞机制造业向前发展的必要趋势。



图5 iGPS布站示意图

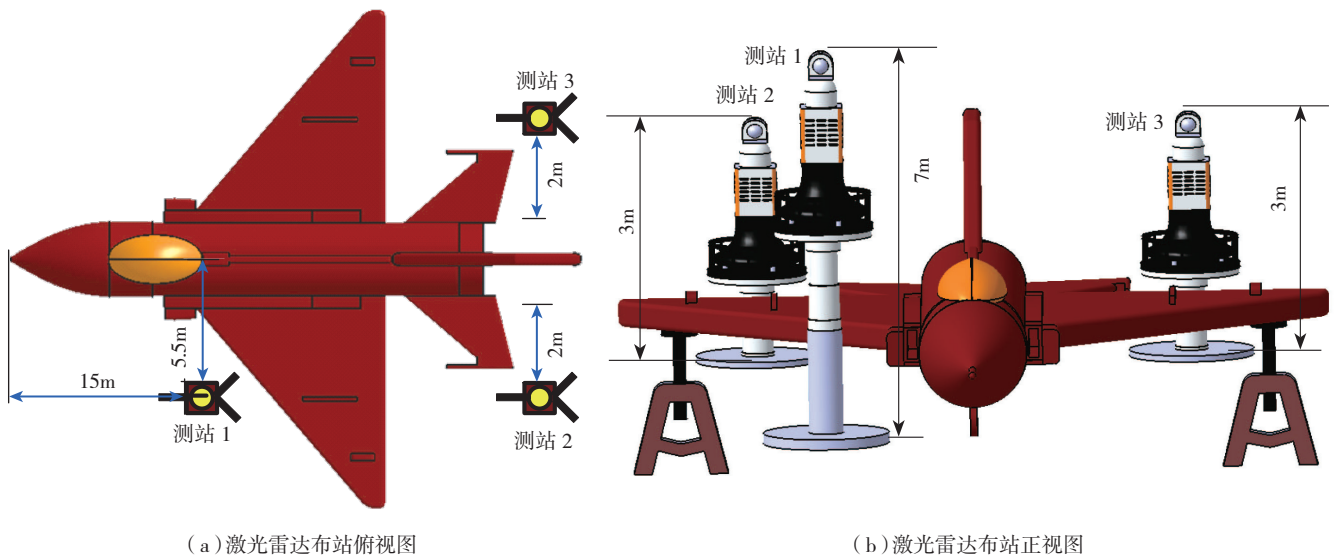


图6 激光雷达布站示意图

装配形式。

根据测量区域的分配原则及飞机测量目标位置状态, 其测量系统总体框图如图 4 所示。

以 35m × 20m × 4m 的飞机装配为例介绍布站设计方案。

1 iGPS 布站

发射器环绕飞机放置, 水平

激光雷达采用 3 个测站布站方案, 具体布站方案如图 6 所示。

结束语

飞机制造业不仅关系到国防航空航天事业的发展, 也是关系到国民经济建设的重要产业。同时, 由于数字化测量技术在飞机制造业的广泛

参考文献

- [1] 邹冀华, 刘志存, 范玉青. 大型飞机部件数字化对接装配技术研究. 计算机集成制造系统, 2007, 13(7): 1367-1373.
- [2] 于勇, 陶剑, 范玉青. 大型飞机数字化设计制造技术应用综述. 航空制造技术, 2009(11): 56-60.
- [3] 何胜强. 飞机数字化装配体系. 航空制造技术, 2010(23): 32-37. (责编 良辰)