

坐标测量技术在航空制造中的应用

Application of Coordinate Measuring Technology in Aviation Manufacturing

中航工业北京航空制造工程研究所检测中心 郭峰



郭峰

中航工业北京航空制造工程研究所检测中心高级工程师,从事几何量精密测量技术工作,主要研究方向为坐标测量、长度计量检定等。

现代几何量测量技术的核心是坐标测量技术,是衡量一个国家精密制造和测量水平的重要标志。随着工业化进程的发展,先进数字化技术已经广泛应用到航空制造业的各个方面,数字化设计、数字化制造、数字化

现代几何量测量技术的核心是坐标测量技术,是衡量一个国家精密制造和测量水平的重要标志。随着工业化进程的发展,先进数字化技术已经广泛应用到航空制造业的各个方面,数字化设计、数字化制造、数字化装配必然要求数字化的测量。计算机技术、CAD技术、计算数学的发展促进了测量方法和手段由传统测量技术向现代测量技术转变,向数字化、自动化、柔性化、通用化方向发展。

装配必然要求数字化的测量。计算机技术、CAD技术、计算数学的发展促进了测量方法和手段由传统测量技术向现代测量技术转变,向数字化、自动化、柔性化、通用化方向发展。

坐标测量技术的基本原理,即从数学角度看任何形状都是由空间点组成的,所有的几何量测量都可归结为空间点的测量,精确测出被测零件表面的点在空间的坐标值,将这些点的坐标值进行计算机数据处理,拟合形成测量元素,经过数学计算得出其形状、位置公差及其他几何量数据。自1956年第一台现代意义上的坐标测量机诞生以来,经过半个多世纪的

发展,直角坐标测量技术已成熟,具有精度高、功能完善等优势,在中小尺寸工业零件的几何量检测中占有绝对统治地位。非直角(便携式)坐标测量系统包括关节臂式坐标测量机、激光跟踪仪、iGPS、三维照相测量系统、全站仪等,在大尺寸测量、现场测量等领域应用广泛^[1-3]。

坐标测量技术在飞机制造领域的应用

1 三坐标测量机

综合来看,坐标测量技术可以分为接触式和非接触式两大类,其中接触式坐标测量的典型代表是三坐标

测量机,用触发测头或扫描测头采集几何元素上一些点的坐标值,再由软件按一定评定准则算出这些几何元素的尺寸、形状、相对位置等。坐标测量机一般由主机、控制系统、软件系统及探测系统所组成,为传统的直角坐标框架式结构,包括移动桥式和固定桥式坐标测量机、龙门式坐标测量机、悬臂式坐标测量机等^[1,4]。

三坐标测量机的突出特点是高精度,可达到 μm 级,非常适合测量具有复杂形状、精度要求很高的零件,在航空制造领域的典型应用就是航空发动机叶片、叶盘的检测(图1)。叶片、叶盘是航空发动机的核心零件,其数量多、外形复杂。叶片的空间尺寸精度要求高(精度达到 $10\mu\text{m}$,甚至 $1\mu\text{m}$),外形和定位复杂。叶盘一般采用高强度难加工材料,叶片薄、扭曲度大、叶展长,叶片间的通道深而窄、开敞性差。如何高效、高精度地检测叶片、叶盘一直是测量技术所面临的难题之一。随着坐标测量技术的发展,三坐标测量机已成为叶片、叶盘检测的最主要、最可靠手段。国外已普遍采用三坐标测量机进行叶片、叶盘检测。高精度三坐标测量机(选配数控精密转台)、专业叶片分析和评价软件是叶片、叶盘检测的必备条件(图2)。

国内航空叶片三坐标测量机检测法的一般流程是:首先建立测量坐标系,航空叶片的坐标系按照行业标准的有关原则确定;按照设计要求在同一直角坐标系中对叶身的不同截面依次测量一系列离散点的坐标值(X, Y, Z);将测量数据导入专业叶片分析软件如Blade Pro,进行各种几何参数的计算分析。由于叶片的外形弯曲、扭转变复杂,定位基准面相对于叶身往往很小,叶身既有形状误差要求,也有位置误差要求,建立基准的微小偏差往往会引入很大的测量误差。因此叶片的测量定位和测量坐标系的建立、叶身前后缘

轮廓的检测和评价是叶片测量技术的难点。国内不少机构在航空叶片检测领域展开研究,取得了不少成果,如西北工业大学现代设计与集成制造重点实验室对叶片叶盘检测方法、测量路径规划等展开的研究^[5-6]。

2 三维数字摄影测量技术^[7-11]

三维数字摄影测量又称数字远景工业摄影测量,是基于计算机视觉方法的非接触式三维测量技术的典型代表。基本原理是通过1台(或者

多台)高分辨率的数字像机对被测物摄影,采用回光反射标志得到物体的二维数字影像,根据不同位置的数字影像可以解算出相机间的位置和姿态关系,经过计算机图像处理后可以得到目标点的空间坐标值(X, Y, Z)。

摄影测量设备方便携带,适用于现场测量,非常适合飞机装配现场零部件的检测。测量时工件测量坐标系往往与飞机设计坐标系并不重合,



图1 遑达900发动机风扇叶片

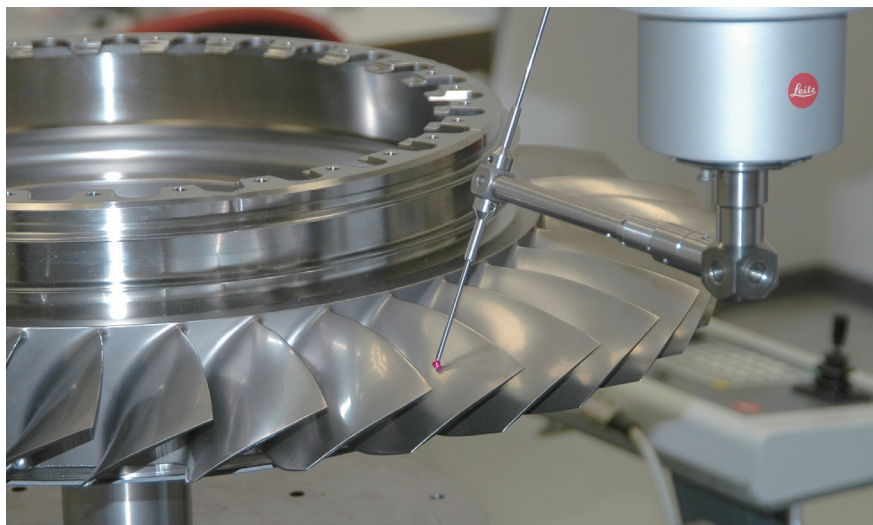


图2 Leitz坐标测量机配精密转台检测叶盘

为便于进行点云数据的后置处理,需要在完成测量点的三维坐标解算后将该工件测量坐标系转换为飞机设计坐标系。因此在拍摄准备时采用特殊反光标记对若干特征点(至少3个)进行标定,这些特征点在飞机设计坐标系中具有准确的三维坐标,且易于观测及拍摄。在拍摄阶段对这些标记了的特征点进行重点拍摄,通过拍摄中采集的坐标系特征点完成向飞机设计坐标系的转换,最终获得飞机部件外形三维点云,以此点云为基础,匹配飞机设计数模,实现部件外形准确度精准检测、空间位姿解算、装配质量评估等目的。

国外有关三维数字摄影测量的研究、应用及商品已很成熟,如美国 GSI 公司的 V-STARS 系统、挪威 Metronor 公司的 Metronor 系统和德国 AICON 3D 公司的 DPA-Pro 系统等。GSI 公司的 V-STARS 系统精度最高,10m 范围内测量精度可以达到 0.05mm (图 3)。

3 激光跟踪仪^[1,12]

激光跟踪仪是典型的球坐标系的坐标测量系统(图 4),利用激光干涉系统(IFM)及反射镜组成测距系统,绕两个轴转动的角度编码器确定两个极角,形成一个完整的球坐标测



图4 Leica激光跟踪仪AT901

量系统。精密的角度编码器、断光再续技术和激光跟踪技术使得激光跟踪仪可以在工业环境下动态跟踪靶标进行空间坐标测量,可以用来测量静止目标,跟踪和测量移动目标或它们的组合。

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,由于激光跟踪仪利用激光测距,测距精

度很高,主要是角度编码器随着距离的加大引入的位置误差,所以跟踪仪本身主要是角度误差。在标准测量条件下,激光跟踪仪是目前大空间测量精度最高的测量设备,在测量范围内(一般 <50m),坐标重复测量精度达到 $5\mu\text{m}/\text{m}$,绝对坐标测量精度达到 $10\mu\text{m}/\text{m}^{[1]}$ (图 5)。



图5 Nikon iGPS 激光发射器



图3 V-STARS摄影测量系统的典型应用

4 室内 GPS^[9-10,13]

20 世纪末,美国 ArcSecond 公司开发了基于全球定位系统(GPS)理念的室内 GPS,成为一种兼具高精度、高可靠性和高效率的三维坐标测量技术,为大尺寸复杂结构的对接和装配提供了一种新的途径。

iGPS 由激光发射器、传感器以及传输系统组成,激光发射器(图 5)发射出两个呈扇形的激光面,这两个激光扇面在工作区域高速旋转。每个发射器有特定的旋转频率,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,利用三角形原理可以计算出测量点的三维坐标。测量一个点最少需要两个发射器,发射器越多,测量越精确。在大空间中使用,误差能够保证在



图6 大尺寸测量系统iGPS的应用

70~100 μm ^[14]。

图6是iGPS的应用,被测目标位于场地的中央,激光发射器固定在便携式三角架顶端,这些发射的位置是随意布置的,只要保证所有的测量点被覆盖。

同激光跟踪仪相比,iGPS系统的优越性在于可进行多目标定位;允许多用户同时使用;可在单一空间坐标系完成测量任务;扩展系统的成本较低。

5 激光雷达

激光雷达是一种球坐标系的测量系统,是雷达技术与激光技术相结合的产物。它将一束聚焦的红外激光投向被测目标,在被测目标上会产生大量的反射光束,根据入射激光返回雷达所经历的时间得出被测目标与激光雷达的距离。被测目标的方位角和仰角分别由反射镜和旋转头获取,将获得的球坐标转换成直角坐标,即可获得被测目标的空间三维坐标^[15]。

激光雷达的主要特点是:测量精度高,20m范围内其三维误差可以达到0.02~0.2mm,测量半径最大可以达到60m;能够实现快速数据采集,扫描速度可达4000pts/s;可快速

安装,实现便携移动式现场测量;具备非接触式激光线扫描和单点测量CMM(坐标测量机)两种模式;多台激光雷达装置可建立统一的测量坐标系。

结束语

坐标测量技术已经是一门应用领域多、跨学科、技术性强的系统工程。随着新的工业和民用需求的出现和发展,基于新型测感原理和技术的传感器和测头系统的需求和应用也会越来越多。一个重要的趋势就是基于激光、电磁、超声、半导体感光等新型物理感应技术越来越多的应用于测量设备中,使得各种基于非接触测量原理的便携式坐标测量系统蓬勃发展起来,并且将在今后的坐标测量技术中起到越来越重要的作用^[1-2]。

软件越来越强大,软件性能已成为反映坐标测量机整体性能的重要因素。基于CAD技术的检测方法、测量路径规划和优化、测量数据的自动分析和评价等功能已成为现代测量软件的必备。结合摄像传感测头的图像识别技术也将会得到大量应

用,包括有CAD模型的比较辨识和没有CAD模型的智能抽取辨识,它们将极大提高测量的速度和智能化水平。另外软件功能的模块化、网络化、多能化,将使测量真正成为企业制造系统闭环的一部分。

参考文献

- [1] 海克斯康测量技术(青岛)有限公司.实用坐标测量技术.北京:化学工业出版社,2007.
- [2] 李明,费丽娜.几何坐标测量技术及应用.北京:中国质检出版社,中国标准出版社,2012.
- [3] 石照耀,张斌,林家春,等.坐标测量技术半世纪—演变与趋势.北京工业大学学报,2011,37(5):14-22.
- [4] 张国雄.三坐标测量机.天津:天津大学出版社,1999.
- [5] 蔺小军,李宜明,李政辉,等.整体叶盘叶片型面CMM测量路径规划技术.航空制造技术,2012(11):50-52.
- [6] 蔺小军.航空发动机叶片CMM测量技术.海克斯康2007年度坐标测量应用技术论文集.2007:1-7.
- [7] 达飞鹏,盖绍彦.光栅投影三维精密测量.北京:科学出版社,2011.
- [8] 雷宝,贺韪,王永红.飞机部件外形三维数字摄影测量技术.航空制造技术,2013(7):42-46.
- [9] 黄桂平,钦桂勤.大尺寸三坐标测量方法与系统.宇航计测技术,2007,27(4):15-19.
- [10] 黄桂平,范升宏.大尺寸三维测量设备及其在飞机制造中的应用.第三届民用飞机先进制造技术及装备论坛论文集汇编,2011.
- [11] 黄桂平,钦桂勤,卢成静.数字近景摄影大尺寸三坐标测量系统V-STARs的测试与应用.宇航计测技术,2009,29(2):7-11.
- [12] 黄宇.激光跟踪仪在飞机数字化制造过程中的应用.航空制造技术,2011(6):24-29.
- [13] 郑联语,朱绪胜,姜丽萍.大尺寸测量技术在航空制造业中的应用及关键技术.航空制造技术,2013(7):38-41.
- [14] 郭洪杰,王碧玲,赵建国.iGPS测量系统实现关键技术及应用.航空制造技术,2012(11):46-49.
- [15] 李泷泉,黄翔,方伟,等.飞机装配中的数字化测量系统.航空制造技术,2010(23):46-48.

(责编 良辰)