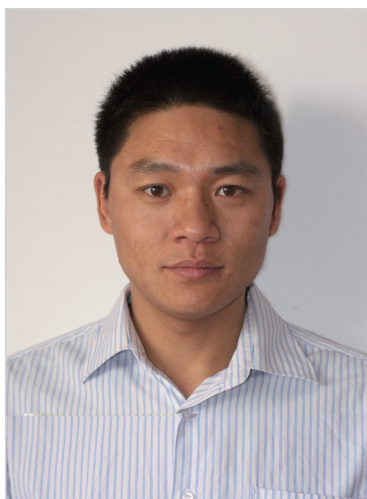


激光跟踪仪在飞机数字化 制造过程中的应用

Laser Tracker Application During Digital Manufacturing of Aircraft

海克斯康测量技术(青岛)有限公司 黄宇



黄宇

就职于海克斯康测量技术(青岛)有限公司, Leica 工业测量系统产品工程师, 从事 Leica 工业测量系统全系列产品售前演示、应用培训及维修工作。

飞机数字化制造技术兴起于 20 世纪 80 年代初美国飞机制造业, 波音 777 是全球第一架完全意义上数字化设计和制造的飞机。对比之前的飞机模拟量传递

Leica 激光跟踪仪目前在飞机制造行业的应用已由最初的辅助装配飞机型架拓展到除了飞机设计之外的其他所有制造流程。

制造技术, 飞机数字量传递制造技术在经济成本、制造周期方面具有巨大的优势, 该技术在欧美等航空工业发达国家迅速发展并逐步完善, 现今已经成为欧美等航空制造企业的核心技术。

数字化测量技术是飞机数字化制造技术中非常重要的一环, 与数字化设计、制造流程相配合形成一个闭环。采用数字化定义和数字化预装配, 显著减少设计更改的幅度, 通过数字量实现全过程整合, 可灵活地根据变化进行调整, 从而提高整体制造效率和装配质量。

Hexagon 计量产业集团麾下 Leica 工业测量系统公司计量分

部凭借其覆盖面广的工业测量产品而著称, 包括激光跟踪仪与全能测量系统、高精度工业级经纬仪和全站仪, 能够与通用的 CAD 文件、建造与检测工具以及逆向工程软件相融合。采用先进的激光测量技术, Leica 工业计量产品能够更方便准确地完成质量控制、部件匹配、装配以及大小尺寸部件的制造等任务, 在飞机数字化制造过程中扮演了重要角色, 使飞机制造效率、质量得到充分保证。

绝对激光跟踪仪是 Leica 工业测量系统最新推出的系列便携式测量系统, 如高性能 Leica AT-901 绝对激光跟踪仪, 它利用激光进行精确的测量和检测, 其测量范围可以包容直径达 160 m 的球形测量空间。可通过

多种方式测得物体的三维坐标:如反射球、Leica T-Probe(手持式可移动的无线通讯接触式传感器)、Leica T-Scan 产品(非接触高速激光扫描仪)、Leica T-Mac(机械跟踪控制探测器),从而为便携大尺寸测量应用提供多种解决方案。Leica AT401 绝对激光跟踪仪以其优异的性能成为超大空间尺寸内(包容直径达 320 m)的精密测量设备,凭借内部电池供电以及对恶劣环境的适应能力,它可以在各种工作条件下保持最高精度的测量。图 1 所示为 Leica 第五代绝对激光跟踪仪全系列产品。

Leica 绝对激光跟踪仪最新配备 PowerLock 技术,采用主动式视觉技术,能够在其视场内自动锁定任何移动的目标,从而帮助操作人员把主要精力集中在被测物体上,而不用担心激光跟踪仪和断光。

Leica 激光跟踪仪目前在飞机制造行业的应用已由最初的辅助装配飞机型架拓展到除了飞机设计之外的其他所有制造流程,图 2 为 Leica 激光跟踪仪在飞机制造过程中的应用领域。

国内激光跟踪仪在飞机数字化测量技术方面现状

国内航空制造业在 20 世纪 90 年代初接触数字量传递工作法,经过近 20 年的摸索和研究,目前已经由模拟量协调工作法过渡到数字量协调工作法。在飞机数字化设计和制造方面取得了很大的进步,逐步缩小了与欧美



图3 Leica LTD500 型跟踪仪辅助测量装配型架

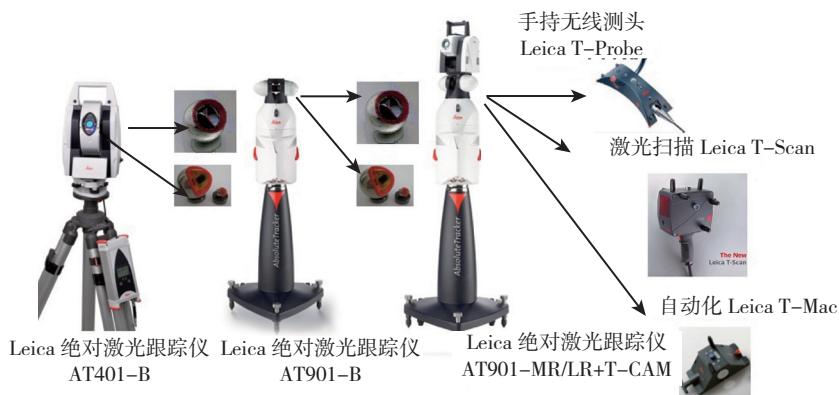


图1 Leica第五代绝对激光跟踪仪全系列产品

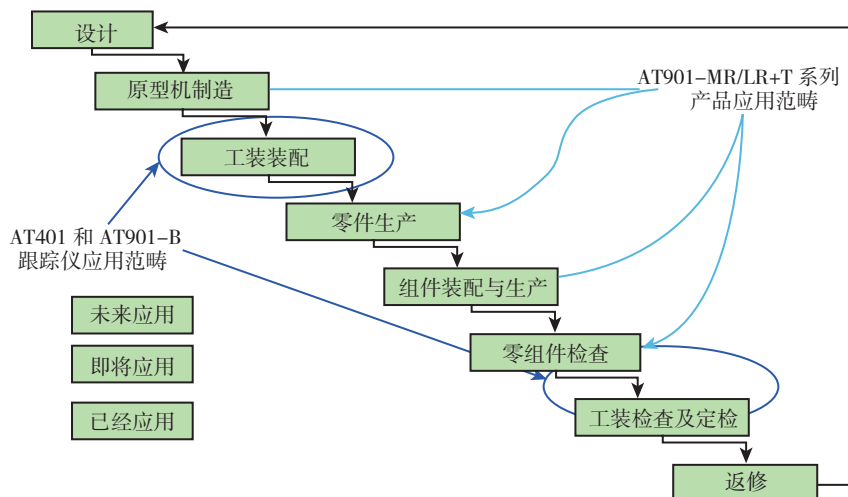


图2 Leica 激光跟踪仪在飞机制造过程中的应用领域

航空制造业的差距,但是在数字化测量技术方面仍停留在使用激光跟踪仪结合成熟软件辅助装配飞机型架和检测飞机零部件方面。图 3 为使用 Leica LTD500 型激光跟踪仪辅助测量装配型架。图 4 为使用 Leica 激光跟踪仪结合手持无线测头、手持激光扫描系统检测飞机产品和型架。

从图 2 可以看出,激光跟踪仪在

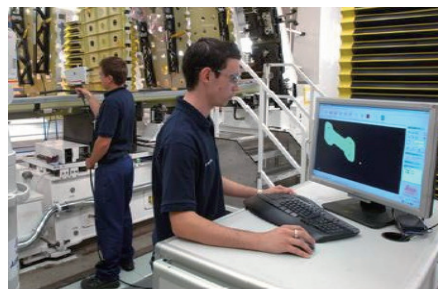
飞机制造过程中的应用相当广泛,目前国内已经有很多航空制造企业在做这方面的探索,但是对于国内来讲这仍然是一个全新的领域。

国外飞机数字化测量技术核心概念介绍

欧美航空制造业在数字化测量技术上的先进性体现在对 Leica 激



(a) T-Probe



(b) T-Scan

图4 使用Leica激光跟踪仪结合手持无线测头、手持激光扫描系统检测飞机产品和型架

光跟踪仪应用的开发上,没有局限于只是使用功能单一的通用成熟软件,主要针对具体应用开发专门软件和辅助硬件——飞机零部件支撑及调整机构。Leica 激光跟踪仪专用应用软件的开发主要有以下 2 种概念。

1 基于成熟计量应用软件的内部高级脚本程序语言

这是一种相对简单的软件开发方法,计量软件做为专门软件的主管理器,负责管理激光跟踪仪、数据库、定位系统等。图 5 为基于计量应用软件的内部高级脚本程序语言开发软件框图。

利用这种方法编制应用软件的先决条件是计量软件具备控制激光跟踪仪硬件的能力,而且在本身内部要集成可定制的内部宏语言。PC-DMIS 就是可以编制此类软件的计量软件,图 6 为使用 PC-DMIS 编制的辊子平行度校正程序界面。

2 基于外部脚本程序(Windows 编程语言)

以这种概念编制的应用软件程序将实际测量软件包括在独立的测量程序管理器之中,测量程序管理器负责测量软件、外部定位系统、数据库等的通信,测量软件只介入到对 Leica 激光跟踪仪的操作中。测量程序管理器处于应用软件的底层,控制所有与实际测量有关的程序,应用软件的顶层有独立的应用程序管理器或者友好的人机界面控制。图 7 为基于外部脚本程序编制 Leica 激光跟踪仪应用程序框图。

在具体的项目上体现为由一个超级简单的 Visual Basic 应用程序控制多台 Leica 激光跟踪仪,并将其捆绑在一起,定向于一个站位。使用基于外部脚本程序(其应用软件界面如图 8 所示)编制的应用软件可以实现同时控制 2 台 Leica 激光跟踪仪自动测量,并实现坐标系转换、自动检查测量点位置、与测量点理论位置对比、输出测量结果报告。

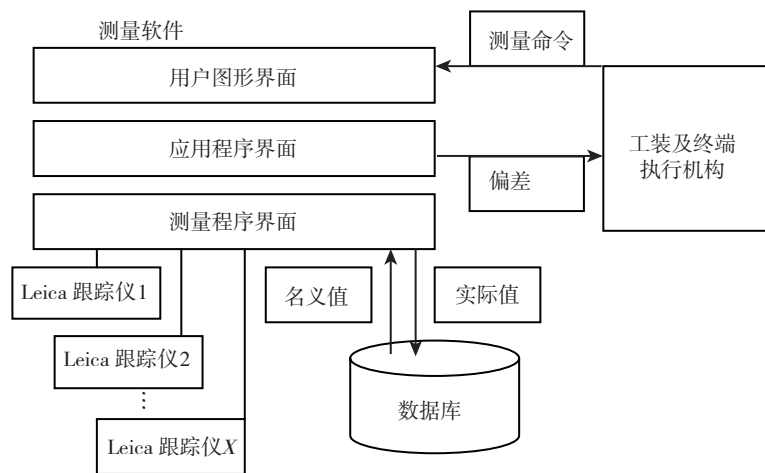


图5 基于计量应用软件的内部高级脚本程序语言开发软件框图

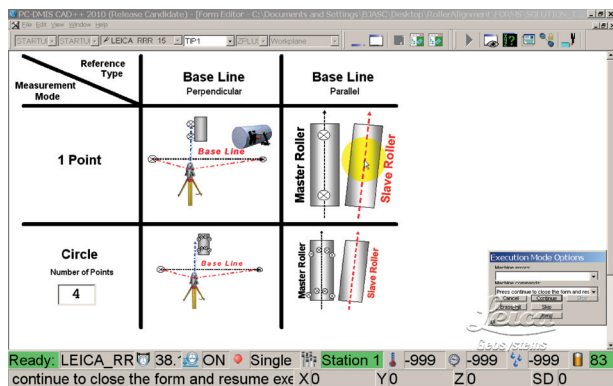


图6 以PC-DMIS为平台编制的辊子平行度校正程序主界面

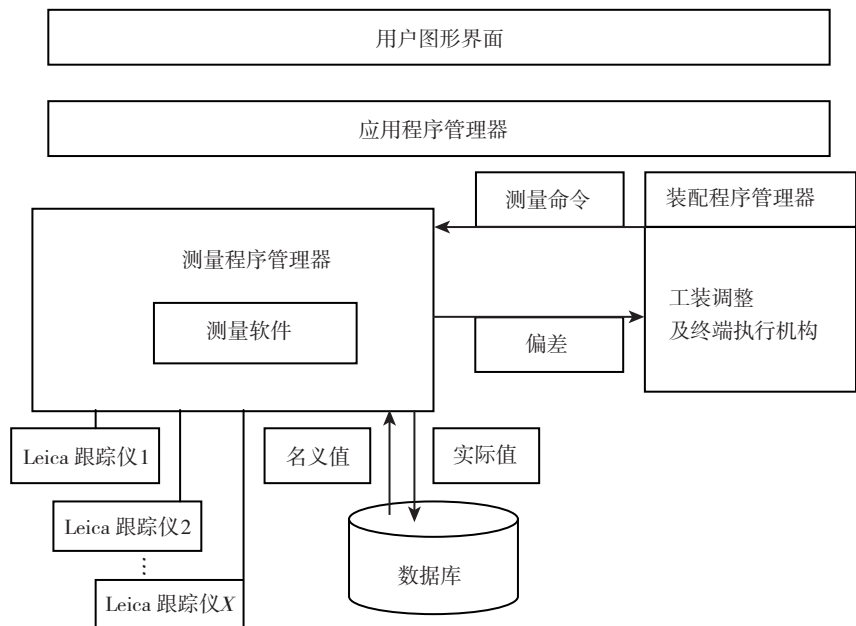


图7 基于外部脚本程序编制Leica激光跟踪仪应用程序框图

在飞机数字化制造过程中,基于这种概念的一个典型应用是机翼与机身自动对接过程,图9为机翼与机身对合流程图。

前3个步骤分别是程序的初始化、理论数值的读取和参考点的测量;第四个步骤是利用参考点将多台 Leica 激光跟踪仪捆绑成一个站位,并将坐标系拟和至飞机坐标系,然后按次序测量机翼上测量点,测量程序管理器将测量得到的实际值与测量值对比偏差发送给工装调整及终端执行机构,驱动终端执行机构将机翼逐渐调整到理论位置。编制应用程序的过程不需要编程人员深入

了解计量知识,通过 Leica 提供的功能强大的免费软件开发工具包就可以实现这一目的。

3 基于外部脚本程序编制应用程序实际应用案例

欧洲空中客车公司早在1997年以来就使用基于外部脚本程序编制的 Leica 激光跟踪仪自动测量辅助装配应用程序,并且将这种应用扩展到所有机型。空中客车法国公司 Nante 工厂使用2台 Leica 激光跟踪仪自动测量辅助装配系统装配 A340-500 机身尾部油箱,该飞机组件重 3300kg,航向方向长 5m,机身对称方向 5.2m,高 2.6m。同时使用

2台 Leica LTD500 型激光跟踪仪结合自动测量程序自动将油箱上部组件装配到油箱下部壁板上,精度最高可以达到 0.05mm。

2台跟踪仪初始化后,读取油箱上参考点和测量点理论值,然后分别测量分布于油箱下壁板下部和上部的6个公共点,借此形成统一站位,再测量下壁板上 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 这4个参考点,建成飞机坐标系,最后测量 A 、 B 、 C 系列测量点,程序自动形成 A 、 B 、 C 系列测量点与理论点差值,工装及终端执行机构依据这个偏差自动调整油箱上部组件到达一个新的位置,这个过程需要重复执行几次,直到满足装配公差需要为止,即完成自动装配过程。

美国波音公司1996年开始利用同样的方法开发了波音737型飞机机翼与机身 Leica 激光跟踪仪自动测量辅助装配应用程序。机翼与机身对合中需要确定的关键参考点的确定对机翼、机身对合非常重要,不但影响对合精度,对跟踪仪摆放位置影响也很大,关键参考点的定义需要对飞机结构了解非常透彻。

完成这个对合程序需要2台 Leica 激光跟踪仪,分别放在机身左右两侧下部靠近机翼处,程序初始化后,从程序数据库读关键参考点理论数值,2台 Leica 激光跟踪仪分别测量机身上控制点,将坐标系拟合至飞机坐标系,之后测量机翼上关键参考点,程序自动形成机翼关键参考点测量值与理论点差值,工装及终端执行机构依据这个偏差自动调整机翼组件到达一个新的位置,这个过程需要重复执行几次,直到满足装配公差需要为止,即完成自动装配过程。图10为 Leica 激光跟踪仪在对和工装中的位置。

Station	PointID	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]	RMS [mm]	Time	Tcpst	Comment
Station 1	ID1	280.202	180.879	30.011	0.003	01.06.2007 14:45:17.070	CCR:0.5m	
Station 2	ID2	280.319	180.197	30.026	0.007	01.06.2007 14:45:18.896	CCR:1.5m	
Station 2	ID3	280.327	180.203	30.025	0.008	01.06.2007 14:45:20.209	CCR:1.5m	
Station 2	ID4	280.328	180.204	30.023	0.008	01.06.2007 14:45:21.550	CCR:1.5m	
Station 2	ID5	280.322	180.188	30.028	0.014	01.06.2007 14:45:22.954	CCR:1.5m	
Station 2	ID6	280.294	180.189	30.025	0.010	01.06.2007 14:45:24.452	CCR:1.5m	
Station 2	ID7	280.323	180.187	30.028	0.009	01.06.2007 14:45:25.840	CCR:1.5m	
Station 2	ID8	280.325	180.187	30.028	0.006	01.06.2007 14:45:27.263	CCR:1.5m	
Station 2	ID9	280.325	180.185	30.025	0.009	01.06.2007 14:45:28.710	CCR:1.5m	
Station 1	ID10	280.192	180.063	30.013	0.004	01.06.2007 14:45:30.36	CCR:0.5m	
Station 1	ID11	280.200	180.095	30.025	0.009	01.06.2007 14:45:31.502	CCR:0.5m	

图8 基于外部脚本程序编制的应用软件界面

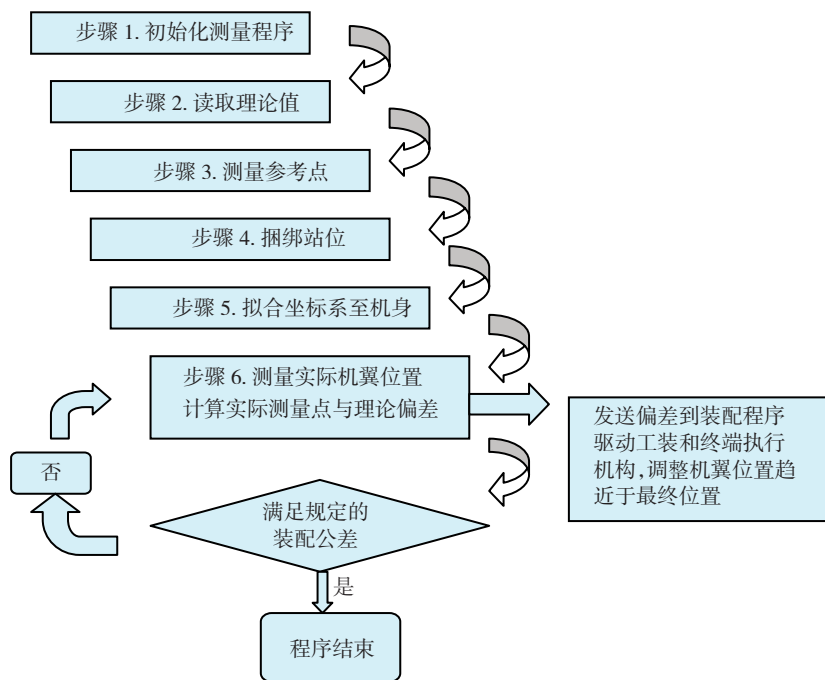


图9 机翼与机身对合程序流程图

基于 Leica 激光跟踪仪六自由度 (6D) 自动测量系统

上述自动测量程序执行过程中



图10 Leica激光跟踪仪在机翼机身对合工装中的位置

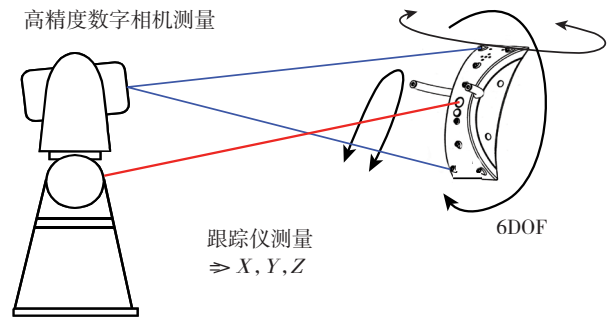


图11 Leica激光跟踪仪六自由度(6D)测量系统原理图

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——Leica 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度,见图11 Leica激光跟踪仪六自由度(6D)测量系统原理图。

Leica六自由度测量系统因为其动态测量特性,以机翼与机身对接程序为例,可以快速地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3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

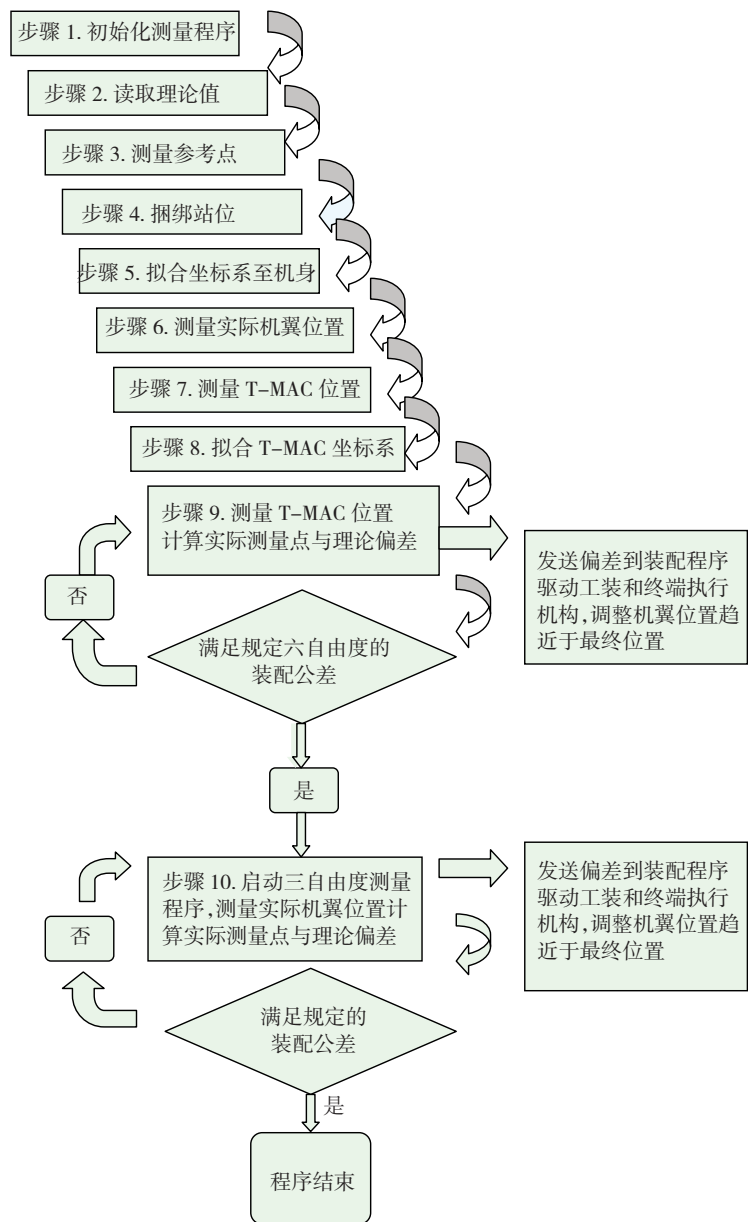


图12 Leica六自由度测量系统机翼与机身对合流程图

序,耗时 15min 即可完成测量过程。图 12 为 Leica 六自由度测量系统机翼与机身对合流程图。

Leica 激光跟踪仪六自由度 (6D) 其他测量辅助自动系统

Leica 激光跟踪仪六自由度 (6D) 自动测量系统的另一个重要应用是大尺寸非接触激光扫描检查和大尺寸接触检测系统。这个系统需要加入机械手或龙门框架自动系统的应用,目的是为了将 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,这个系统可以实现单站 30m 的测量范围。

1 Leica 六自由度 (6D) 大尺寸非接触激光扫描自动检测系统

Leica T-SCAN 通常为手持操作,为了进一步提高效率、降低劳动强度,Leica 公司经过研发将其加装在机械手或龙门框架自动系统的执行终端,机械手或龙门框架自动系统的定位精度并不重要,它们只作为自动定位的执行端,Leica T-SCAN 定位精度由 Leica 激光跟踪仪确定。但是在程序运行之前,需要编制机械手的运动轨迹程序规定 Leica T-SCAN 的扫描区域。程序运行完毕获得点云后,由专门分析程序(如:POLYWOKRS)完成测

量结果分析。可应用于飞机钣金模具、钣金零件、复合材料工装及零件的快速检测。同样的形式可以应用到 Leica T-PROBE、Leica T-MAC 上。图 13 为 Leica 六自由度 (6D) 大尺寸非接触激光扫描系统程序框图。

2 Leica 六自由度 (6D) 大尺寸接触式测量辅助自动检测系统

Leica 六自由度 (6D) 激光跟踪仪测量系统为核心,可以实现多种测量辅助自动检测系统的构建。

(1) 基于的 Leica T-MAC 自动钻孔系统。

Leica 六自由度靶标——Leica T-MAC 可以加装到机床末端实现精确定位,定位精度可达 0.05mm,配合终端执行机构(如自动钻孔机械)实现大尺寸精确加工或测量,单站测量范围可达 30m,测量精度达到 0.01mm,真正实现车间现场超大尺寸自动测量。

(2) 基于 Leica T-MAC 非接触激光自动测量系统。

非接触式激光测头系统已经应用在传统的坐标机上,非接触式激光测量测头利用三角法原理的测量传感器,当激光束聚焦到被测工件表面时传感器会发出测量脉冲,这个脉冲同时可以用于测量数据的采集。这套系统适合应用于检测不得接触测量的工件,图 14 为基于 Leica

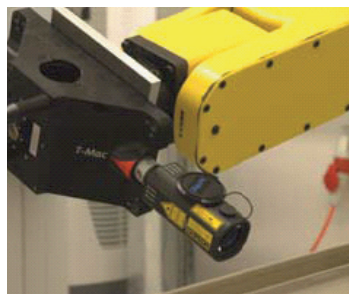


图14 基于Leica T-MAC非接触激光自动测量系统

T-MAC 非接触激光自动测量系统。

(3) 基于 Leica T-MAC 接触式自动测量系统。

Leica T-MAC 接触式自动测量系统使用 TESA 系列接触式测头,采集数据脉冲由测头触测工件表面产生,其最大的特点是低成本获得超大范围的测量区域。

(4) 基于 Leica 六自由度的多面 T-MAC 自动测量系统。

与普通 T-MAC 只有一个工作面不同,多面 T-MAC 由 4 个面组成,每个面有 7 个发光二极管,它们之间是可以互换的,这样可以保证多个面之间无缝连接,避免了普通 T-MAC 在测量范围上的局限性。

结束语

作为飞机数字化制造技术中重要组成部分,飞机数字化测量技术在保证效率和质量过程中起到至关重要的作用。瑞士 Leica 提供了飞机数字化制造中完整的数字化测量解决方案,对于国内飞机数字化制造起到很好的启示作用,对提高国内飞行器制造水平大有裨益。

(责编 泰山)

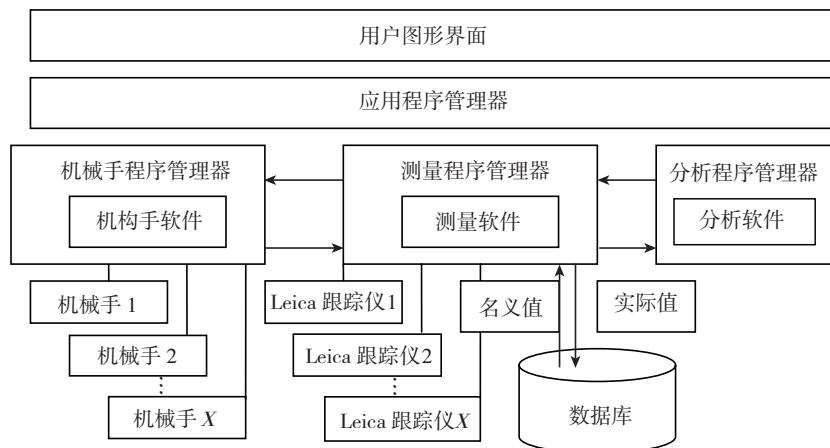


图13 Leica 六自由度 (6D) 大尺寸非接触激光扫描系统程序框图