

激光跟踪测量系统在飞机型面测量中的应用

陈智勇 吴建军 赵玉静 符文贞

(西北工业大学 现代设计与集成制造技术教育部重点实验室 西安 710072)

The application of laser tracker system in feature measurement for airplane

CHEN Zhi-yong ,WU Jian-jun ZHAO Yu-jing ,FU Wen-zhen

(The Key Laboratory of Contemporary Design & Integrated Manufacturing Technology Ministry of Education China ,
Northwestern Polytechnical University Xi'an 710072 ,China)

【摘 要】最新一代激光跟踪仪 AT901-LR 具有测量精度高、实时快速、动态测量、可快速扫描等特点。通过对激光跟踪仪测量系统功用及原理的分析 结合飞机装配工装的结构特点 重点对装配工装数字化安装工艺技术进行研究 摸索和总结了测量安装工艺方法的规律和特点 设计了型面测量的方案 为进一步深入研究和推广应用飞机数字化安装工艺技术打下良好的基础。

关键词 激光跟踪仪测量系统 数字化安装 装配工装 型面测量

【Abstract】 The streamlined AT901-LR laser tracker has the advantages of high precision real-time , dynamic and easy to scan feature. It analyzed the principle and function of the computer aided laser tracker measure system. Combined the characteristics of the structure of the airplane assembly jig ,stressed researched digitize assembles technique of assembly jig. Fumble and summarize regulation and characteristics of the technological process that measure and assemble designs a measurement scheme for feature measurement to lay the good foundation for further researching technological process and the generalize application that the digitize assemble of the airplane assembly jig.

Key words Computer aided laser tracker measure system Digitize assemble Assembly jig ; Feature measurement

中图分类号 :TH166 文献标识码 :A

1 引言

目前瑞士 Leica 公司推出它的第五代激光跟踪仪 AT901 系列 ,AT901 共有 Basic、Mid Range、Long Range 三个型号 ,其中型号 Long Range 主要应用于航空、航天和其他传统精密制造业。第五代激光跟踪仪测量速度更快、更为方便 ,Mid Range、Long Range 跟踪仪有六自由度便携式测量系统作为选择 ,可以使跟踪仪像测量机一样进行接触测量、像激光扫描仪一样扫描。跟踪仪附带的测量软件 Metrolog XG® for Leica 较以往跟踪仪测量软件 Axyz 功能更多 ,特别是对复杂型面的测量、建模及对比分析功能很成熟。针对 AT901-Long Range 激光跟踪仪测量系统组成原理、功能、测量精度及在飞机型面测量中的应用作些分析和讨论。

2 AT901-LR 激光跟踪测量系统介绍

2.1 系统组成及特点

激光跟踪系统由以下几个便于携带的独立单元组成 ,如图 1 所示。(1)激光跟踪头(传感器头) :读取角度和距离测量值。(2)控制器 :包含电源、编码器和干涉仪用计数器、电动机放大器、跟踪处理器和网卡。(3)用户计算机 :用来存储数据、执行转换和其它功能。(4)反射球(靶标) :反射球是被跟踪仪跟踪的光学目标 ,它能使入射的激光束平行原路返回跟踪仪^[4]。(5)气象台 :激光跟踪仪主机内有气象传感器 ,可对主机内及主机附近的大气湿度、空

气压力和温度变化进行补偿。(6)测量附件 :包括三角支架、手推服务小车等。(7)六坐标便携式测量系统 :包括 T-Probe(一种手持式可移动的无线通讯接触式传感器)和 T-Scan(一种非接触式的告诉激光扫描仪) ,如图 2 和图 3 所示。

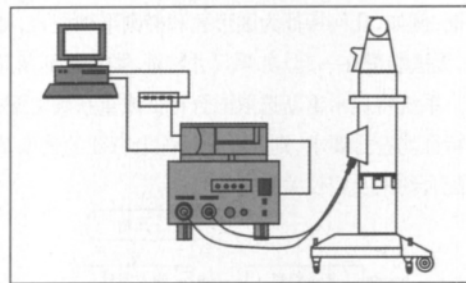


图 1 激光跟踪仪测量系统

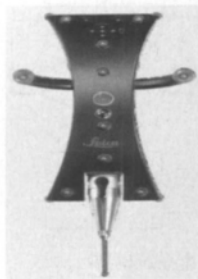


图 2 T-Probe

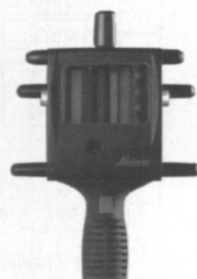


图 3 T-Scan

(8)XG 袖珍袋 :通过它来实现远程控制 ,它是一个安装 Win-

dows 操作系统的袖珍计算机,通过无线局域网来实现远范围的高速数据传递,可以监控程序运作情况,显示测量结果和当前准确的位置,还可以显示操作指导说明书。AT901-LR 跟踪仪有优异的热稳定性能,跟踪仪传感器测头无热量散发,每年只需对跟踪仪做一次校准,具有快速断光续接功能,预热时间降低,冷启动 8 分钟,热启动仅需 5 分钟,T-Probe 和 T-Scan 测量范围达 30m,测量大尺寸物体无需对跟踪仪转站,在测量扫描时不需要对表面进行处理,而且外界的光照条件对测量没有任何影响^[5]。

2.2 测量原理

激光跟踪测量系统的工作基本原理是在目标上安置一个反射器,跟踪头调整光束方向对准目标。同时,返回光束为检测系统所接收,用来测算目标的空间位置。简单的说,激光跟踪仪测量系统所要解决的问题是静态或动态地跟踪一个在空间运动的点,同时确定目标点的空间坐标^[6]。激光跟踪仪的坐标测量是基于极坐标测量原理的,测量点的坐标由跟踪头输出的两个角度,及水平角 β 和垂直角 α ,以及反射器到跟踪头的距离 d 计算出来的,如图 4 所示。

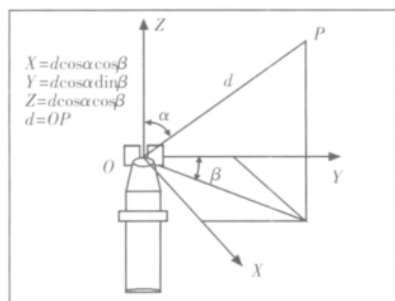


图 4 激光跟踪仪坐标测量原理图

AT901 绝对跟踪仪通过三种方式测得物体的三维坐标:通过跟踪一个带镜面的小球,也就是所熟知的反射球;通过激光跟踪 Leica T-Probe 产品,一种手持式可移动的无线通讯接触式传感器;通过跟踪仪 Leica T-Scan 产品,一种非接触式的高速激光扫描仪。

2.3 系统软件功能

Metrolog XG[®] for Leica 是一款专门为 Leica 跟踪仪开发的测量软件,易于使用,具有强大的图形化显示功能,简洁易懂的操作界面,具有包括中、英文在内的 14 种语言版本。软件具有 CAD 数据输入、系统校准、装配、表面检测、尺寸和形状位置公差检测、几何元素构建、检测报告等功能,报告能以 PDF、EXCEL 等格式输出。软件界面如图 5 所示。

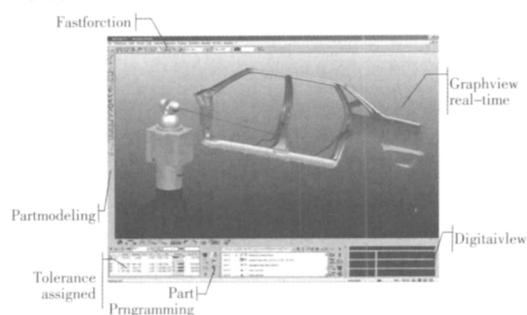


图 5 测量软件界面

(1)CAD 数模接口:拥有强大的 CAD 图形数据处理功能,能导入各种复杂的图形,可以兼容几乎所有的 CAD 文件格式,如 IGES、VAD、SET、STEP、UNISURF、CATIA、ProE、UG 等。

(2)几何元素测量、评估功能:可实现几何元素的测量,如计算距离和角度等;可实现名义值定义、构造、关系计算、形位公差的评估输出。如果有理论数据或 CAD 数模,可实现自动测量评估和误差比较。每一个特征都能赋予公差,如图 6 所示,每一个特征都能从 CAD 模型中提取出来并进行单独分析。

	Actual	Nominal	Iso	Tol-	Tol+	Dev	Tendency	Out of Tol.
✓ DIAM	30.031	30.000	H7	0.000	0.021	0.031		0.010
✓ RAD	15.015	15.000	H7	0.000	0.011	0.015		0.005
✓ X	35.001	35.000		-0.050	0.050	0.001		
✓ Y	44.983	45.000		-0.050	0.050	-0.017		
✓ Z	-0.000	0.000		-0.050	0.050	0.000		
✓ F.F.	0.007					0.007		

图 6 形位公差的评估输出图

(3)曲线、曲面测量、比较功能:通过导入 CAD 数模,可以自动读取 CAD 数模上的曲线、曲面数据,实际测量值形成点云,可拟合生成曲面,也可自动实现测量结果与 CAD 理论数据比较,按照偏差数据生成色彩表示测量结果,如图 7 所示。

(4)装配功能:可以进行预装配,检查各部件之间的干涉情况。

(5)高级编程功能:图形编程接口实现了可视化的“点击编程”,有连机编程和离线脱机编程两种模式,可完成零件测量程序的编制、修改、调试、运行控制,包括测量路径、测量点数、接近距离、撤退距离的定制、修改,从而可对零件数控加工过程和装配过程进行虚拟仿真。创建的测量程序既可以用 Metrolog XG 独有的格式表示,同时也支持 DMIS 测量标准语言。

(6)检测报告输出:可以创建视图检测报告、报表形式的文字报告以及图文结合的检测报告,还可以按照偏差数据生成色彩表示测量结果。报告可以个性化定制报告形式,包括插入预定义的零件 CAD 图、尺寸、表头等,也可插入图象文件(如 LOGO),报告能以 PDF、EXCEL 等格式输出。

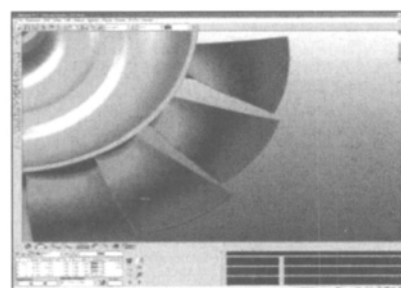


图 7 测量结果与 CAD 理论数据比较

2.4 激光跟踪仪测量系统的主要技术参数

AT901-LR 激光跟踪仪的测量精度较以往的激光跟踪仪的测量精度有很大的提高,测量范围也得到很大扩展,主要技术参数如表 1 所示。

表 1 激光跟踪仪测量系统的主要技术参数

类别	激光跟踪仪自身	
	测量精度	距离精度 激光干涉仪 $\pm 0.5 \mu\text{m}/\text{m}$ 绝对测距仪(量程) $\pm 10 \mu\text{m}$ $\pm 15 \mu\text{m} + 6 \mu\text{m}/\text{m}$
测量范围	直径	160m
	水平方向	360°
	垂直方向	$\pm 45^\circ$
跟踪速度	横向	$> 4 \text{m}/\text{s}$
	径向	$> 6 \text{m}/\text{s}$
	工作温度	$0 \sim 40^\circ\text{C}$
工作环境	存储温度	$-10 \sim 60^\circ\text{C}$
	相对湿度	$10 \sim 90\%$ 非冷凝

3 激光跟踪仪在飞机型面测量中的应用

飞机在部装和总装过程中需要检测的几何参数主要包括轴线偏斜度、定位装置的角度偏差、距离、平行度、垂直度以及部件外形等^[7]。这些几何参数的计算是通过对一些几何元素(如点、线、型面等)的测量得到的。这些几何元素的测量可直接由 AT901-LR 激光跟踪仪完成,通过把 CAD 模型或理论数值和实际测量值作对比来实现。激光跟踪仪测量系统测量型面操作步骤分为三部分。第一步是测前准备工作,第二部分是建立工装坐标系,第三步是在工装坐标系下测量型面^[8]。这三部分内容既有联系又各自独立,三部分工作可以连续进行,也可以分段进行。下面对每一个操作步骤及操作中要注意的事项作详细的介绍。

3.1 测前准备工作

(1)考察测量现场 (2)跟踪仪设置 (3)作出测量计划。

3.2 建立工装坐标系

确定测量坐标系可采用两种方式。

一种方式采用迭代法建立坐标系,可在被测表面拾取多个基准点,然后计算生成坐标系坐标原点。所选 6 个基准点建立了该表面的测量坐标系^[9],如图 8 所示。

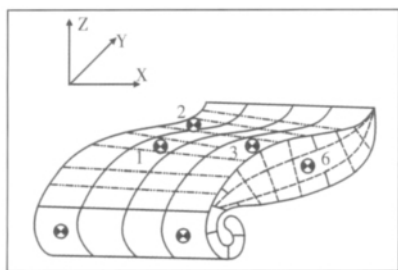


图 8 6 个基准点分布

另一种方式是采用外加基准板或采用飞机制造基准面方式确定测量坐标系,在基准板或飞机制造基准面上选取三个以上基准点进行测量坐标系建立。如果是对整个机身测绘,要进行内外表面全部的多角度多方位测量,则采用第一种坐标系建立方式;若要测量的型面仅是飞机的部件,则采用第二种坐标系建立方式。

3.3 测量型面

3.3.1 导入 CAD 模型数据

把 CAD 模型数据导入到测量软件图形显示界面,定义各部位的几何公差和尺寸公差。

3.3.2 测量过程

(1)简单、规则曲面的测量

空间曲面是通过空间连续的点反映的,简单、规则曲面的测量可以使用反射球在被测量物体表面接触均匀划过,通过它的空间运动轨迹来反映空间曲面。如果测量点越密说明曲面的形位越接近实际曲面,而测量点的疏密是可以通过测量软件来设定的,例如,设定的参数是 2mm,则在与前一个点的空间距离为 2mm 处采集第二个点,通过这样的方法就得到了空间曲面的坐标。根据现场测量经验,在对曲率变化较大的面进行测量时,应使跟踪头水平、垂直角度变化范围最小。这是因为根据仪器自身特点,影响测量准确度最大的因素就在于它的测角,其测量误差要大于测距误差,这是在测量曲率变化较大的面时应把握的一个原则。

(2)复杂曲面的测量

若要测量的曲面部分激光无法照射过来,或者被测量的部分深深的隐藏或凹陷在钣金件的下面,反射球无法完成检测时,可选用 T-Probe 解决这些问题,T-Probe 测量隐藏的洞或腔可获得极高的精度。

若要检测的型面比较复杂,不便于接触测量,或者需要扫描部件各个部位用来逆向制造,可选用 T-Scan,它可以快速扫描各种材质或者复杂的表面。操作人员手持靶标测量时,靶标的移动速度和加速度对测量精度将产生影响,速度过快会使光束折断,虽然跟踪仪有断光续接功能,但是它是牺牲一定的精度为代价的。同时应尽量避免测量点的振动以及气流的扰动。

3.3.3 结果处理

实际测量值形成点云,拟合成曲面,把实现测量结果与 CAD 理论数据比较,按照偏差数据生成色彩表示测量结果。

计算测得的几何元素间的相对位置关系(距离、角度等),查看关键部位的特征符合情况(尺寸公差和几何公差等)。

3.4 数字化检测验收

利用激光跟踪仪对工装连续重复测量 3 次,对其工装基准进行测量,可验证工装的稳定性、仪器的测量精度等,保证其测量数据精度。同时,使用数字技术验证关键定位器,利用量规对工装进行实际检查等。最后选择适合自己的报告格式,打印测量报告作为验收依据。

4 结束语

在飞机的装配测量中,激光跟踪仪测量系统以其高效率、高精度、便携性等优势正逐渐取代传统测量方法,它代表了目前和未来飞机制造装配技术发展的方向。深入研究和运用激光跟踪仪测量系统及其关键技术,根据不同的测量任务和用户需求,通过制定专用测量方案,并把数字化标准工装^[10]应用到飞机的装配测量中,将能突破我国飞机制造/装配技术中的薄弱环节,彻底改变我国几十年来沿袭的飞机装配协调方法,使我国飞机设计制造体系实现行业的跨越式发展。

参考文献

- 李广云. 工业测量系统进展[M]. 北京: 解放军出版社, 2000
- 于成浩, 柯明, 赵振堂. 提高激光跟踪仪测量精度的措施[J]. 测绘科学, 2007, 32(2): 54-56
- 李广云. LTD500 激光跟踪测量系统原理及应用[J]. 测绘工程, 2001, 10(4): 3-8
- 赵敏, 邱宗明, 郭彦珍等. 跟踪式偏振光三角法测头[J]. 光电工程, 2007, 34(12): 49-53
- MCGAHEY J, SCHAUTJA, CHALUPAJE et al. An investigation into the use of small flexible machine tools to support the lean manufacturing environment[R]. Warrendale Pa, USA: Society of Automotive Engineers, 2001
- 王巍, 黄宇, 庄建平. 激光跟踪仪在飞机装配工装制造中的应用[J]. 航空制造技术, 2004(12): 81-84
- 范玉青. 现代飞机制造技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001
- 于明安. 激光跟踪仪在飞机工装制造中的应用[J]. 西飞科技, 2001(4): 24-27
- 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[J]. 计算机集成制造系统, 2007, 13(7): 1367-1373
- 刘志存, 孟帆, 范玉青. 飞机制造中数字化标准工装的定义和应用[J]. 计算机集成制造系统, 2007, 13(9): 1852-1858