



数字时代的跟踪仪 最新测量技术与应用

Latest Metrology Technology and Application of the Laser Tracker in the Digital Age

海克斯康测量技术(青岛)有限公司 刘 霜



刘 霜

2004年毕业于南京航空航天大学机电工程学院,同年加入海克斯康测量技术(青岛)有限公司从事三坐标培训及应用工作。目前主要方向为便携设备、大尺寸测量的应用及方案支持。

作为便携式测量工具的典型代表,激光跟踪仪在航空航天、汽车等大尺寸产品生产领域一直备受青睐。激光跟踪仪系统的应用包括现场检测、测量辅助找正和装配、原型制造、

由于技术需求的不断扩大,激光跟踪仪技术将由大空间应用扩展到更小的工厂空间,激光跟踪仪测量应用的视野也正在从大尺寸测量领域逐渐扩大。在数字时代来临之际,激光跟踪仪测量系统的高精度自动化测量、引领现实操作的虚拟装配处理等新型应用,将为企业激发新的生产力。

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.07.032

航空工装检修、汽车白车身检测、逆向工程、大尺寸工件接合和装配等。激光跟踪仪的优势在于它在大范围测量应用中兼具精度、可靠性和耐用度,而首要优势还是便携性,因为,部分零件由于其巨大的重量、尺寸或长度,导致传统的三坐标测量机无法完成对零件的测量。

激光跟踪仪曾被规模较小的企业和组织视为成本过高。他们往往采用临时的方案执行找正和验证任务,尚能获得不同程度的成功。时至今日,产品的公差要求更高,精度高

达十几个 μm ,制造商不得不重新审视激光跟踪仪方案。而数字时代的来临,使质控过程的文档管理和数据信息的可视化处理成为不可忽视的另一个趋势,这也驱使企业重新评价他们的测量过程,采用数字化的装备完成测量与分析过程。

激光跟踪仪诞生于20世纪90年代,随着市场和技术的成熟,当激光跟踪仪的技术越来越先进,应用范围和功能有了很大的扩展和进步时,其价格反而在逐渐下降,比之前更经济。

激光跟踪仪进入 6D 测量技术时代

传统的激光跟踪仪测量以 3D 测量为主,即反射球(靶标)测量方式,测量的数值为球心坐标值 X, Y, Z (也可以其他坐标系方式显示),主要应用于航空航天型架、大部件以及汽车行业工装等部件的测量、安装和调整。随着工业领域应用需求的增多,除了单一的通过反射球进行测量和跟踪,使用者更希望将跟踪仪的便携、大尺寸应用到加工工件的测量中,这类工件形状复杂、测量特征分布广泛,单纯依靠跟踪仪转站和隐藏点辅助测量工具已经很难满足精度和效率的测量要求。

在这种情况下,手持式激光跟踪仪测量方案 (Leica 六自由度测量产品——T 系列解决方案) 应运而生。通过在跟踪仪上集成相机 (Leica T-Cam),可以跟踪反射器和其他目标测量设备。

如图 1 所示的 Leica T-Probe 手持式测量机,拓展了跟踪仪的应用范围,可完成隐藏点和内部特征的测量工作。

反射球集成在目标设备中,加上植入目标设备表面上的一组 10 个红

外发光二极管,该目标设备就构成了目标测量系统,通过 6 个参数描述目标设备与激光跟踪仪,从而在测量和跟踪过程中,不仅可以监控跟踪目标的 X, Y, Z (中心值),同时还可以提取目标的 I, J, K (沿 3 个方向的扭转) 用于体现目标的旋转姿态。通过六自由度测量,为跟踪仪提供了更广泛范畴的生产力和创新观念,并大大拓展跟踪仪的应用领域。

海克斯康历经 25 年的技术创新,研发了 Leica 激光跟踪仪家族,从绝对测距仪、六自由度跟踪仪、绝对干涉仪以及 PowerLock 自动目标锁定,使得 Leica 成为高品质的象征,如图 2 所示。2014 年年底,Leica 推出最新一代 Leica AT960 系列绝对激光跟踪仪 (见图 3),更是凭借诸多技术优势为用户带来的便携、高速、高精度而确立了新的行业标准。(1) 第三代 PowerLock 自动目标锁定技术能够智能自动锁定反射球或手持式探测工具,主动定位中端的激光束,不再需要操作者的干预,且在最大工作范围内有效;(2) Leica 绝对干涉仪 (AIFM) 允许 AT960 以最大的测量不确定度 $10\mu\text{m}$ 的在激光束中断完成后继续测量,数据采集速率保持在 1000 点/s;(3) AT960 支持电



图2 Leica激光跟踪仪家族



图3 Leica AT 960



图1 Leica T-Probe手持式测量有效解决隐藏点和内部特征检测难题

池和 Wi-Fi 的无线操作模式,支持彩色触摸屏,在现场就能完成基本调整和简单的校准维护工作,大大提升了便利性;(4) 内置水平仪的 AT960 只有不到 14kg 的重量,其便携性再次受到业界的认可;(5) IP54 认证,可以全面胜任各种工业加工条件。

激光跟踪仪驱动机器人高精度自动化

随着机器人、CNC 等自动化加工设备的发展,要求设备之间的兼容性和通信技术也越来越成熟。在此基础上,激光跟踪仪也将应用领域再次扩展,通过和自动化系统的控制柜



图4 Leica绝对激光跟踪仪引导机器人完成自动化装配

交互通信,驱动机器人系统实现高精度自动化运行。

首先,激光跟踪仪技术能够促进机器人自动化,使得精度不高的低成本机器人也能够适应高精度的应用。在角反射器的协助下,激光跟踪仪可以用于校验工业机器人,标定链路长度、扭转角、接头零点、链接的偏移量和刚度参数。另一个自动化操作机器人的方法是利用六自由度引导机器人至其所需的位置。如图4所示为Leica绝对激光跟踪仪,协助完成长达18m的桁条精确粘接工作的工作现场。该技术允许机器人制造商在校验周期内校准末端执行器,用很少的动作即可实时获得工具中心点(TCP)精确位置。激光跟踪仪驱动工业机器人自动化的最后一个方法是超大尺寸工件的在机测量。将机器人当做一个完全重复的操作者,这样理解起来最简单。尽管工件检测是由机器人移动手持式设备来完成,测量结果还是由激光跟踪仪而非机器来记录,这确保测量结果的精度是基于激光跟踪仪的精度,而非数控机床的精度。

激光跟踪仪的6D自动化测量的工作模式主要具备三大特点。(1)生产线上工件质量自动化监测。包

括:快速扫描工件外形或触发测量;以激光跟踪仪精度进行测量,不依赖于生产线机器人或CNC机床的精度。(2)充分利用已有的机器人系统和生产线进行系统升级。包括:兼容导轨系统扩展测量量程(如图5所示是Leica绝对激光跟踪仪利用导轨,完成大尺寸零部件检测任务);兼容通用机器人控制通信标准协议,将生产系统升级扩展为在线检测系统。(3)“便携”测量设备。包括:激光跟踪仪位置相对于机器人系统独立,可实现完全的跟踪仪便携测量

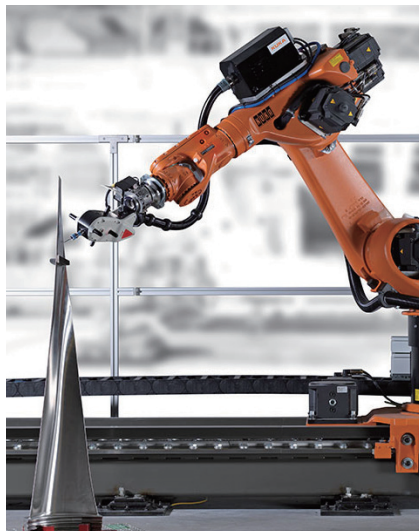


图5 利用导轨,激光跟踪仪自动化系统扩展测量行程

功能,根据需要变换位置。

按照测量方式分类,有2种自动化的检测方式:触发测量(通过触发测头进行单点触测生成特征)和激光测量(通过激光测头进行扫描点云构建曲面对比和特征)。可以根据实际的应用方式选择加载测头的类型。客户在操作过程中,通过在电脑中编制并运行程序实现工件的自动测量,能够完成特征测量、坐标系对齐、GD&T形位公差评价、SPC统计分析、报告等任务。

虽然在测量过程中应用了机器人和CNC机床,但是这些硬件仅仅是作为T系列产品的移动载体,其精度的好坏并不影响整个系统的精度,最终的测量精度仍然取决于激光跟踪仪本身的测量精度。如图6所示,Leica T-Scan激光扫描仪能够在1s内采集超过210000点,无需喷粉,完成闪亮金属或黑暗表面的快速测量与比对。Leica激光跟踪仪使用T-Scan进行自动化扫描的精度如表1所示。



图6 Leica T-Scan激光扫描仪

激光跟踪仪技术助力大飞机虚拟装配技术

当我们讨论“虚拟装配”这个概念时,立即想到的往往是基于CAD的计算机装配模型和仿真技术来实现产品的装配,该项技术在很大程度上降低了飞机的制造成本,并缩短了制造周期。然而该过程是基于设计模型的,实际产品由于各种因素的影响,往往与理论设计有较大的差距。因此,利用激光跟踪仪的测量技术及其应用软件技术,在实际产品的装配

表1 Leica激光跟踪仪使用T-Scan进行自动化扫描精度

测量类型	不确定度
空间长度测量	$U_L = 60 \mu\text{m} (<8.5\text{m})$; $U_L = 26 \mu\text{m} + 4 \mu\text{m}/\text{m} (>8.5\text{m})$
综合测量	$U_R = 50 \mu\text{m} (<8.5\text{m})$ $U_R = 16 \mu\text{m} + 4 \mu\text{m}/\text{m} (>8.5\text{m})$
平面测量	$U_p = 80 \mu\text{m} + 3 \mu\text{m}/\text{m}$

过程中引入虚拟装配技术,成为预警并加速根源分析的一个新型手段,该手段的另一个优势是使用激光跟踪仪验证部件与设计一致性的同时,降低了飞机制造对夹具和检具的依赖,减少了复杂工装夹具的数量及其高昂的维护成本。

波音 747 装配成为激光跟踪仪应用软件虚拟装配技术的一个典型的案例。2008 年,波音 787 第 1 次引入配备 SA 软件的激光跟踪仪系统作为过程控制测量及装配工具。首先,对所有的主要部件进行测量,并基于该测量结果在总装实施之前进行了模拟装配,在总装前了解了飞

机最终装配后的总体状况;然后,在所有部件运抵总装工厂前进行了各个部件的修理,最终达成了 3 天即完成装配的目标,实现了第 1 架飞机不再是原形机,而是可以直接交付客户的飞机。

基于激光跟踪仪测量的 SA 测量过程如下:首先将测量点与数模上的名义点对齐。对齐的方法有测量已知点、曲面对齐和测量工装夹具点 3 种。任何测量结果都产生坐标转移,使其后设备的测量结果转移到零件坐标系报告。在对分段分别进行测量后,利用 SA 特有的 USMN(统一空间计量网络系统)功能对设备

测量现场的测量不确定度进行分析,然后根据实际测量的各部位关键点位置,在 SA 中进行实际装配前的虚拟装配分析。通过虚拟装配能够在总装前发现问题,在部件运抵总装工厂前在各分段制造地区对问题进行分析解决。降低成本、提高效率,使生产过程始终得到控制。图 7 为 SA 软件界面中对飞机进行模拟装配,分析干涉。如图 8 所示,在空客 A340 的装配过程中,采用 39 台 Leica AT901 绝对激光跟踪仪组成的测量网络,利用 SA 软件的 USMN 功能,将测量不确定度降到最小。

SA 是海克斯康旗下的一款连接便携式测量系统的大空间测量软件。该软件基于测量设备,具有追溯功能。用户可以很方便地进行数据分析、模型建立、工件测量、自动化测量过程及生成报告和逆向零件。SA 可以同时连接不限数量的便携式测量设备,同时可以执行复杂的测量任务。可以对不同测量的数据进行集成,帮助用户找到最佳方案,提高精度、节省时间,最终提高生成效率。

结束语

随着激光跟踪仪设备越来越经济,激光跟踪仪本身变得更小、更轻、更高效,激光跟踪仪技术越来越先进,应用更加人性化。手持式测头和机器人控制系统提升了激光跟踪仪的柔性,类似电池操作、IP54 防水防尘等级等选项使得今天的跟踪仪可以到达人们曾经认为不可能的任意地点,这使得激光跟踪仪的应用数量呈指数级增长。由于技术需求的不断扩大,激光跟踪仪技术将由大空间应用扩展到更小的工厂空间,激光跟踪仪测量应用的视野也正在从大尺寸测量领域逐渐扩大。在数字时代来临之际,激光跟踪仪测量系统的高精度自动化测量、引领现实操作的虚拟装配处理等新型应用,将为企业激发新的生产力。(责编 亿霖)

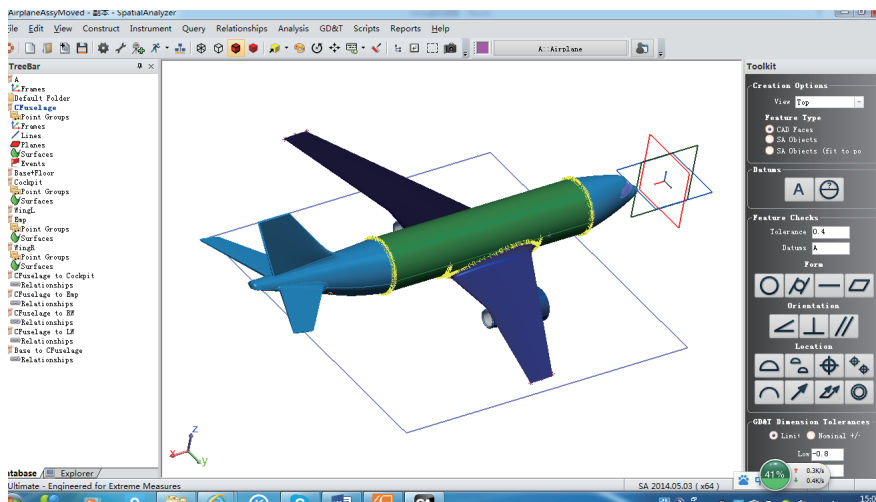


图7 在SA软件中模拟飞行装配并分析部件之间的干涉

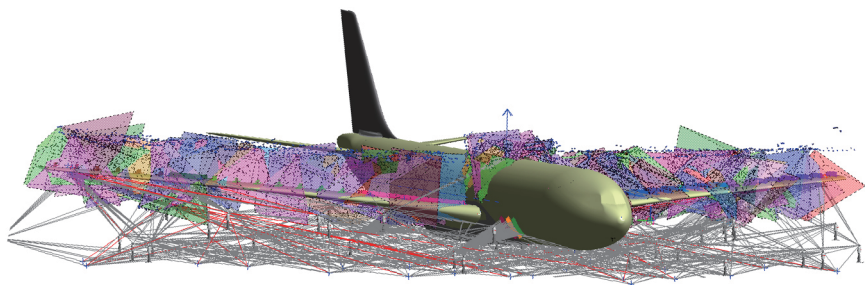


图8 39台激光跟踪仪及其SA软件组成空客A340总装测量网络