

先进的航空发动机零部件质量 控制技术

Advanced Quality Control Technology of Aeroengine Part

海克斯康测量技术(青岛)有限公司

随着测量技术的发展,测量手段越来越齐备,很多情况下,只有多个技术同时应用才能使质控难题迎刃而解。基于全球化的全面产品线和解决方案有赖于海克斯康集团在全球工业制造领域最前沿的客户服务经验和测量知识的积累与创新,海克斯康能够为中国航空制造行业提供全面、适用且实用的测量解决方案。

作为飞机的心脏,航空发动机的制造需要从品质到性能做到万无一失;而航空发动机零部件本身结构复杂、材料难加工、精度要求严格等原因导致其存在制造难度大、一次性合格率低和加工周期长等制造难点。海克斯康先进的几何测量技术,为航空发动机制造提供了全过程的品质保证技术,并能够协助航空发动机制造企业解决在零部件制

造技术上的诸多难题。海克斯康以质量控制为中心提高工件质量、降低废品率并缩短产品加工周期。

航空发动机主要的零部件包括叶片、叶轮、叶盘、机匣、盘轴、齿轮和工装检具,贯穿其加工之前的毛坯件检查、加工过程中的工序测量、完工部件的精确测量与尺寸形状评价分析,海克斯康可为航空制造业客户提供贯穿制造全流程的测量解决方案。

测量从毛坯件开始

航空发动机零部件高效加工的原则是,首先保证加工质量,在此前提下保证提高材料的去除率,降低刀具成本。要实现这个原则,必须从零件未加工时的原始状态——即毛坯件的测量开始。只要对毛坯件进行轮廓的点云激光扫描测绘测量,并将扫描得到的点云数据与

CAD 数据进行比对分析,给出具有准确余量的曲面轮廓色差图报告,即可立即获知毛坯件是否合格、准确余量是多少,从而避免不合格的毛坯件被错当成合格的毛坯件加工。不合格毛坯件不仅会导致后期大量的人力成本和时间成本的浪费,甚至会因为余量不均导致刀具受力变化大影响刀具寿命,并进而使得机床负荷过大损坏机床,造成更大的物力损失。

ROMER 绝对关节臂式测量系统(图1)。采用绝对编码器,无需初始化,开机即可使用;电池驱动操作与WiFi 数据传输,使得 ROMER 关节臂能够为条件苛刻的车间环境提供灵活应用;外接与内置激光扫描方案,无须对曲面喷涂或预先处理即可实现完美轮廓扫描测绘。可移动的无线工作模式,能够在包括车间现场的任意环境中实现高效率测量测绘。

在机测量系统——完成加工过程中的工序控制

长期以来,叶轮叶片是航空航天业公认的难加工且难监控的复杂零件。由于其本身自由曲面加工过程易变形、装夹定位难的特点,如果没有在加工时做好质量监控,一旦叶轮叶片从机床上拆下才被发现质量问题,即使能够进行二次定位,也难以恢复原来装夹状态下的应力状



图1 内置激光测头的ROMER绝对臂

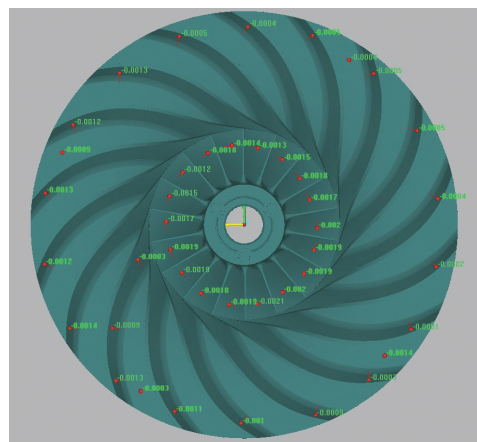
态,根本无法修复。同时,叶轮叶片加工的复杂度导致刀具损耗快、加工参数变数大,需要能够指导刀具及加工参数调整的可视化数据支持。

在机测量技术的出现,成为解决上述叶片叶轮制造难题的有效方案。在机测量的典型应用主要体现在叶片叶轮工装的高效率找正、复杂叶身坐标系的精确找正、叶身叶形的实时质量检测 and 反馈等领域(图2)。

在叶轮叶片传统的加工过程中,无法靠二维手动测量方式控制

叶身自由曲面的三维检测。尤其在叶片的实际加工过程中,有加工完叶身之后再反过来,以叶身为基准加工叶根和榫头的情况,如精铸叶片叶身在滚动光蚀之后需要加工叶根和榫头。此时,需要在整个叶片自由曲面组成的叶身上建立拟合坐标系,虽然定位精度要求不高(只有2~3 mm),但如果没有算法的支持,光靠二维检测工具来获取自由曲面的坐标原点,基本是办不到的。在叶片叶轮的加工工序中插入在机检测环节,应用基于CAD的在机测量软件PC-DMIS NC的m&h在机测量系统。能够使用最佳拟合坐标系找正法,迅速精确地找正叶身坐标系,还能够在叶轮叶片自由曲面的任意部位采点并与CAD模型理论值进行比对,然后输出每个点的矢量偏差报告,根据这些点的矢量偏差,可以判断加工状态,及时分析问题修正加工偏差。图3为m&h触发测头在机检测叶轮过程中。

相对于叶片叶轮复杂形状的叶形质控,机匣的过程控制重点在于其多个装配孔的位置检测和尺寸控制。安插在工序中在机检测环节,能够及时发现装配孔的位置度问题,并且根据检测出的孔位精度,在下一工序中对孔位加工参数进行合理调整。m&h在机检测方案已成为当前航空发动机制造商推崇的质控方案。



MESSPROTOKOLL														
Messdatei:														
Blade.MHI														
X minimum			Y minimum			Z minimum			Anzahl Punkte					
-47,029			-47,980			-9,903			23					
X maximum			Y maximum			Z maximum			CNC Steuerung					
47,029			47,980			43,950			HEIDENHAIN					
MESSBERICHT														
Punkt Nr.	Messpunkt			Toleranz		Wert gemessen			Differenz			Abstand		Abweichung
	X	Y	Z	min	max	X	Y	Z	X	Y	Z	Programmpunkte	Seit	
1	16,009	-20,999	32,857	-0,020	0,020	16,009	-21,010	32,852	-0,021	-0,019	-0,003			
2	19,331	-19,110	28,998	-0,020	0,020	19,369	-19,125	28,931	-0,021	-0,015	-0,037			
3	22,250	-15,280	24,915	-0,020	0,020	22,285	-15,312	24,688	-0,011	-0,022	-0,022			
4	24,878	-12,768	20,097	-0,020	0,020	24,878	-12,768	20,097	-0,001	-0,000	-0,004			
5	27,431	-10,919	15,194	-0,020	0,020	27,436	-10,910	15,160	0,005	0,011	-0,004			
6	30,919	-8,182	10,528	-0,020	0,020	30,949	-8,163	10,531	0,012	0,019	0,006			
7	33,558	-10,390	6,935	-0,020	0,020	33,575	-10,379	6,964	0,008	0,012	0,011			
8	41,100	-10,335	5,043	-0,020	0,020	41,107	-10,339	5,068	0,001	0,014	0,018			
9	46,597	-8,870	4,265	-0,020	0,020	46,598	-8,871	4,271	-0,002	0,008	0,009			
10	27,604	-0,668	2,554	-0,020	0,020	27,602	-0,668	2,560	0,002	0,000	0,004			
11	11,794	-23,802	35,217	-0,020	0,020	11,798	-23,808	35,221	0,004	0,009	0,004			
12	21,823	-16,560	21,988	-0,020	0,020	21,825	-16,561	21,989	0,002	0,011	0,002			

图2 PC-DMIS 3DFI软件输出的叶轮在机检测报告



图3 m&h在机检测叶轮过程中

高精度质量——验证与国际接轨的算法和打破常规的效率

叶片叶轮的质量验证必须严格按照叶形曲线曲面专业评价算法给出叶形参数分析报告。因此,在成品的质量验证阶段,选择相应高精密级别三坐标测量机设备之余,要选择能够跟上国际最新最先进叶片算法标准的测量软件,如果叶轮及叶片批量高效检测,还要看测量过程中是否有满足提升效率和定位精度的夹具工装及上下料等辅助工具。

1 PC-DMIS Blade 实现各种叶片参数的专业评价

在叶片软件测量技术里比较关键的技术包括坐标系的建立方法、典型参数的定义类型、算法种类的齐全性等。PC-DMIS Blade 是当前叶片制造客户选择最多的测量软件之一。该软件提供模块化参数化的操作界面,用户只要选择叶片相应参数,即能自动生成叶片测量程序,应用简捷容易上手。该软件尤其能够及时跟进国际龙头行业先进标准算法,使得客户应对国际飞机制造商对叶片质检的严格需求。例如,拟合坐标系时不同叶形区域采

用变公差权重计算;传统截面法能够产生较大的余弦误差的三维扭曲较大的叶片检测时,利用三维 CAD 模型引导测量机进行补偿计算,大大提升了复杂叶型曲面尤其是小于 0.05mm 前缘 R 的测量计算精度。

2 整体叶轮、叶盘的检测

整体叶轮、叶盘的检测难度非常大,叶片叶形复杂、数量多且密集,旋转测头的角度干涉严重。因此,叶轮叶盘的检测任务要求高效率和高精度的同时,要保证测量过程稳定、重复性和再现性与相关性。采用配置 QUINDOS 7 测量软件和四轴转台的 Leitz 超高精度测量系统,为航空发动机制造企业提供了完美的叶轮检测方案(图 4、图 5、图 6)。

QUINDOS 7 采用全智能编程技术,只需要提供 CAD 模型和测量点 X 、 Y 、 Z 坐标(无需 I 、 J 、 K 矢量),所有测量点的路径、转台角度将自动计算确定;除此之外,QUINDOS 7 提供强大的二次开发平台,用户可以根据自身需要新增功能。QUINDOS 7 为用户提供模块化的应用界面(图 7),用户可以自由选择测量任务和坐标系建立方式。测量任务包括:叶型和厚度、周节、外流道和内流道及前缘。前尾缘检测时,用户可以选择最合适的线条类型,仅用一条线即可进行真正的三维半径补偿。

叶轮模块专用高精度曲面补偿命令支持叶型和前缘 2 种类型的曲面半径补偿,在几秒内就能完成

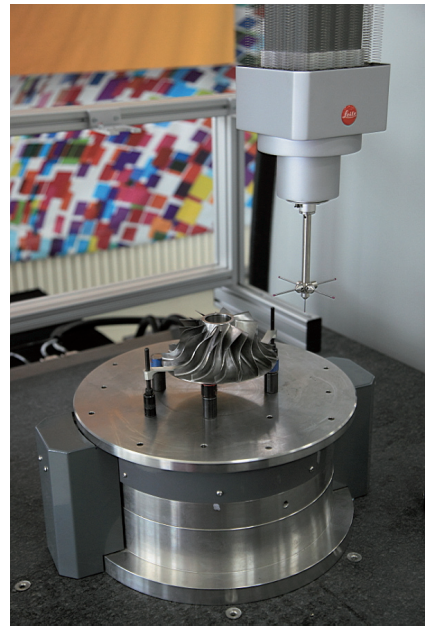


图4 Leitz PMM-C叶轮检测

大量数据点的补偿计算。对于整体叶轮或叶盘的叶型检测,用户可以自由选择叶片编号,测量的时候,可以根据用户的不同要求,选择不同的测量方式:单点、单线四轴扫描和全曲面四轴扫描。自由输入叶型和厚度公差,支持 6 个自由度方向的最佳拟合和最佳拟合旋转量,并且输出检测坐标点为 TXT 文件。而对于流道的检测用户自由选择内、外流道以及流道编号、支持单点和扫描两种测量方式、支持内外流道常规公差以及变公差评价、支持内外流道跳动评价、支

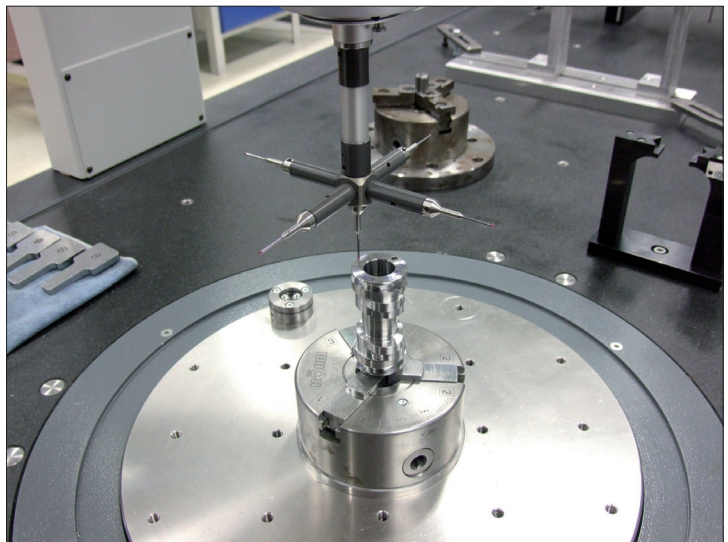


图5 配置四轴转台的Leitz PMM-C



图6 Leitz PMM-C超高精度测量机

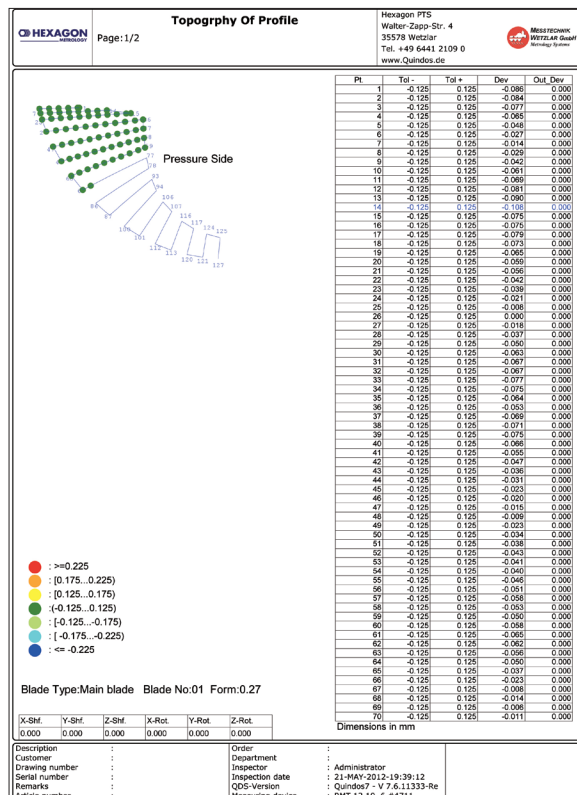


图8 QUINDOS 提供的叶片报告

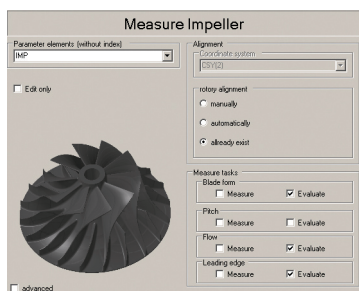


图7 QUINDOS 7简洁的模块化叶片专用界面

持 TM 和 QUINDOS 两种报告格式(图 8)、支持 3 个方向自由度的最佳拟合。

3 通过夹具与上下料系统提升测量效率

为了使得检测节奏应对生产节奏,满足测量精度的同时大大提升检测效率,海克斯康为用户提供了多种自动检测线方案。自动检测线方案采用了传送带方式完成自动上下料功能。工件在检测间外按照要求安装定位在检具托盘上,托盘自动送入检测间物料库中的制定工位

上。测量时,自动上下料系统可根据指令自动地从物料库中制定工位上将检测托盘取出,传送到测量机的制定测量工位上,程序自动运行,测量结束后,工件再次被自动放入物料库,从而转到测量间外。即满足了快速、自动化检测,又对测量间的温度进行了很好的控制。

通过采用机器人的方式,将待测工件由传送带上自动抓取到测量机的检测工位上,通过读卡器自动调用测量程序,测量结束后,再由机器人将工件放回传送带。此方案非常适应于大批量的检测要求。

结束语

随着测量技术的发展,测量手段越来越齐备,很多情况下,只有多个技术同时应用才能使质控难题迎刃而解。本文以发动机典型大难度质控零部件叶片叶轮的先进质控技术为案例,重点应用了加工前 ROMER 绝对关节臂现场便携激光

扫描毛坯铸件,获取毛坯准确切削余量,为高效率高品质加工工艺参数设置提供数据支持;加工中应用 m&h 在机测量系统,迅速快捷找正工装和三维叶身坐标系,同时给出加工工序中叶形的加工数据,为叶形加工问题的及时发现和纠正提供可视化数据;在质量验证检测环节,应用与国际接轨 PC-DMIS Blade 叶片专用模块,或者采用配置 Quindos 的 Leitz PMM 测量系统,全智能的自动化程序编制、高速四轴扫描系统和托盘自动上下料系统,突破性的解决了叶盘叶轮的低效率检测历史。该案例突显了先进测量技术在现代加工制造中的作用和地位。

基于全球化的全面产品线和解决方案有赖于海克斯康集团在全球工业制造领域最前沿的客户服务经验和测量知识的积累与创新,海克斯康能够为中国航空制造行业提供全面的、适用且实用的测量解决方案。

(责编 三丰)