

非接触式白光测量机在叶片检测中的研究与应用

Research and Application of Non-Contact Measuring Machine With White Light in the Blade Detection

中航工业沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司 吴志新 韩巍 黄伟



吴志新

沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司,高级工程师,从事航空发动机压气机叶片工艺、研制工作。

随着先进航空发动机的不断更新设计,叶片的结构形式变得越来越复杂,加工精度要求也越来越高,我们对于叶片检测技术与检测仪器提出了更高的要求。

得越来越复杂,加工精度要求也越来越高,我们对于叶片检测技术与检测仪器提出了更高的要求。要求检测过程要方便、稳定,适应性强;程序编制简易、智能化,能够进行灵活的路径规划;能够基于数字原型和虚拟现实,提高检测效率及三维特征偏差分析能力等,最重要的是,要具有高效率、高精度的自动运行检测能力。自动化、数字化检测能力与先进的加工方法相结合,才能使叶片的制造模式产生根本性的改变。

叶片检测现状及发展趋势

叶片在制造过程中,围绕着叶身型面的加工,多道工序需进行叶片型面的检测。如:毛坯余量大小的评定,粗、精铣叶身型面后的余量监控,型面抛光、振动光饰等工序对型面几何尺寸的影响等。传统的叶片制造工艺,需求大量的专用量具,其中检测叶片型面的量具占全部量具

的70%以上。大批量生产的叶片,更是依赖传统的型面测具与型面样板的落后检测方式,检测精度只能达到0.03~0.05mm。如图1所示,新设计研制的叶片型面由平直转变为前掠后弯,前后缘由圆弧转变为样条曲线的椭圆形式, R 几何尺寸已经小到0.07mm~0.2mm,型面线轮廓度要求在0.1mm左右,而前后缘的线轮廓度要求通常为0.06mm左右。航空发动机设计部门对于叶片精度特别是进排气边的形状,与叶型盆背面的圆滑转接提出了更高的要求。在叶片加工工艺上,多采用数控无余量铣削的方式(指加工尺寸、形状或位置直接进入设计规定的公差带)才能保证批量叶片生产出合格叶片。手工抛光去除余量的落后加工方式,及型面测具配合型面样板,进排气边形状采用对比标准样件的验收方式已无法满足叶片高精度的技术要求,特别是不能解决叶片进、排气边的检测

坐标测量机矢量检测功能在自由曲面测量中起着重要的作用。航空发动机叶片型面做为一种拥有微小进排气边圆弧的自由曲面,它的检测精度与批量检测效率一直是制约叶片制造能力的瓶颈问题。

与其他航空零部件相比,叶片具有许多鲜明的特点:形状与结构十分复杂、尺寸极化现象十分严重、叶片数量众多。随着先进航空发动机的不断更新设计,叶片的结构形式变



图1 前掠后弯的某机静子叶片

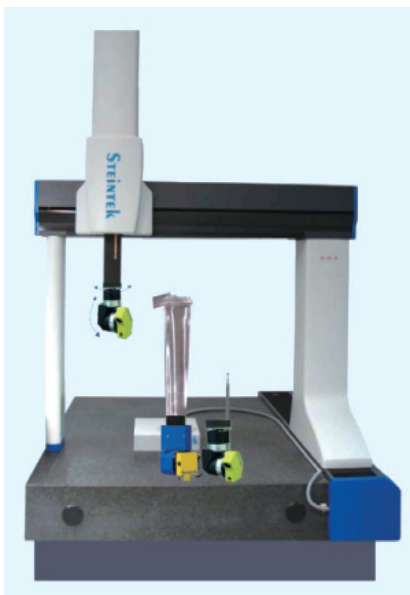


图2 白光测量机

难题。目前,部分叶片采用了三坐标测量机、电感量仪等检测技术,但由于测量效率低、不能自动跟踪测量,难以在现场批量应用,数字化检测技术在批量生产中还没有广泛应用。

随着光学测量技术的发展与应用,接触式三坐标测量机已不是叶片检测的唯一或最佳选择。采用非接触式方法采集实物样件的表面数据时,探头不与实物表面接触,利用某种与实物表面发生相互作用的物理现象来获取被测物体的三维信息,并且非接触测量由于其良好的精确性和实时性已成为测量领域的热点。扫描白光干涉测量技术优点是测量速度快、精度高($\pm 0.5 \mu\text{m}$)、数据点密集,因此非常适合测量小尺寸且具有复杂外部曲线的样件^[1]。

叶片检测新仪器—— 非接触式白光测量机

沈阳航空发动机(集团)责任有限公司引进的德国温泽(WENZEL) Maxos 7-7-7 白光测量机(图2),采用白光测距传感器,360°可连续旋转白光测头,拥有高精度CMM终端定位系统以及高精度旋转工作台,可实现五轴联动综合测量,白光光斑直

径可以小至 $9 \mu\text{m}$,采样速度达到 70 点/s,配合叶片专用测量分析评价软件,可以实现小半径边缘叶片的全自动高速测量。

白光测量机采用的白光光源为连续光谱,包含了整个可见光谱区域的光谱成份(即多色光),光波长范围为 $380\text{nm} \sim 760\text{nm}$ 。而激光是一种单色光源,波长范围窄,易受工件表面质量的干扰,且激光光源体积较大,与白光相比灵活性及稳定性较差。

白光测量机采用三角测量原理,如图3所示,它利用了光源、像点和物点之间的三角关系来求得物点的间隔。光源向物体发射一个光点,光

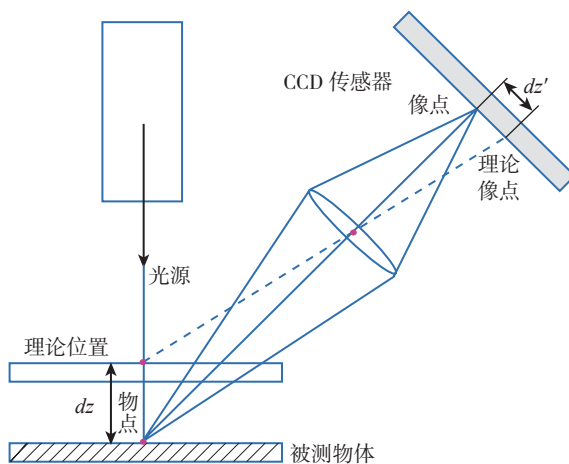


图3 三角测量原理示意图

点到达物体后经过反射在传感器上得到一个像点。光源、物点和像点形成了一定的三角关系,其中光源和传感器上的像点的位置是已知的,由此可以计算得出物点的位置所在^[2]。

白光测量机检测应用

叶片在制造过程中的检测,要求快速、量化地为生产现场提供加工余量数据,为最终叶片的交付检验,提供最准确的成品评价报告。下面我们将介绍白光测量机在叶片检测方面的应用实例。

1 叶片装夹方法及位置的确定

叶片的种类繁多,以往叶片多安装在专用检测夹具上,坐标系转换到专用检具上,测量时直接调用检具坐标系,坐标系建立速度快。但是在夹具上建立坐标系,存在问题:同一叶片在单个夹具上的多次装夹重复定位精度差、多个夹具彼此之间存在一定的精度偏差,即叶片在装夹过程中,精度有损失。随着检测技术的进步,自动化运行程度的提高,目前通常检具作为初始坐标系,精建坐标系多直接建立在叶片基准上。

白光测量机的旋转工作台上配备一个小型虎钳来夹持叶片,如图4所示。叶片在检测编程过程中,应通过CSFIRST、CSA、CSXYZ等参数告诉测量机叶片所在的初始位置,即叶片的理论原点与坐标矢量与测量机原点的相对位置关系。机器根据给定的名义点坐标来测量叶片上的实际坐标,并且按照实测的坐标值来调整构建零件坐标系,将检测坐标系直接建立在叶片本身基准上。

2 叶片型面测量方法

数字化检测是依据理论点构成的路径,引导测量机自动运行的。叶片截面轮廓线可通

过 IGES 格式导入到 WIN3DS 软件 DATA 模块下,如图 5 所示,在轮廓线的不同位置设置不同的扫描密度点,可以保证不同曲率的部位都能够得到精确测量。通常依据叶片的大小及前后缘的 R 大小,设置 2 点的距离。同时,截面轮廓线可以分成 4 个部分(T1~T4),在 T1、T3 前后缘位置,可设置不同于中间型面的轮廓公差带。

叶片测量分析报告如图 6 所示。测量报告一键就会生成,加工结果快速反馈。型面评价参数可通过编程进行增减,通常包括叶片弦长,最大厚度,进排气边 R 半径,位置度,偏移,扭转等。前后缘视图可放大倍数进行单独窗口显示。在整个轮廓线条线上,可任意显示实际轮廓与理论轮廓的差值。叶片截面轮廓上的最大值与最小值及超差部分立即图形显示。

3 坐标系构建方法

测量坐标系的选取对叶片的测量至关重要,叶片测量坐标系的建立与测量目的,叶片形状以及测量精度要求有关。不同结构的叶片,不同加工阶段的叶片需确定不同测量坐标系,通常情况下,要实现设计基准,工艺基准与测量基准的统一。工序中的检测,测量结果为下一道工序提供调整参数,则测量基准与工艺基准重



图4 叶片装夹方法

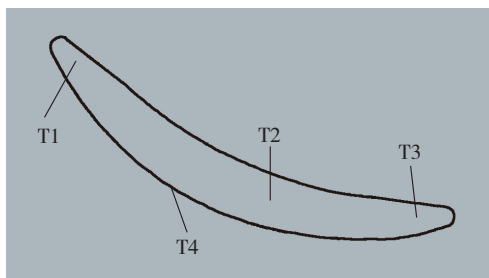
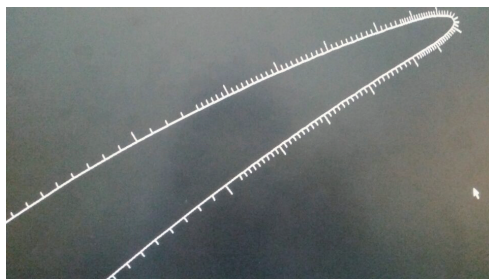


图5 轮廓线的理论矢量点分布

合。若测量结果直接引导工件装配(终检报告),则测量基准与设计基准重合。测量坐标系也通常与设计图纸给定的截面线数据相同。因此,测量时,确定发动机积叠轴是建立叶片坐标系的关键。而积叠轴是个虚拟线,需要采集叶片榫头或安装板上的各元素构建成为测量坐标系。由于叶片榫头或安装板基准面较小,以此确定的叶片测量坐标系的测量平面会带来较大的误差,所以,以叶片两端特征元素构建联合基准,或采用叶

片 CAD 理论点与实测点不断逼近的六点迭代法,减少了叶片类零件测量坐标系构建精准难度大的问题。

根据叶片的不同结构,白光测量机 WIN3DS 测量软件提供如下几种构建坐标系的模板。

(1) PIPS 轴颈基准法。

轴颈式的叶片,采用基准圆柱建立零件坐标系,如图 7 所示。光点在下圆柱上扫描一个圆,在上圆柱上扫描一个圆,上下圆柱构成联合基准,定为 Z 轴矢量。再采集叶片两个角向点,确定一条直线,定为 X 轴方向,采集一个点,定为坐标系的原点。系统进行重复迭代检测,直至偏差小于收敛标准或规定次数,精密坐标系建立完成。

(2) 321SEQ 方形工艺台基准法。

安装板式叶片或有工艺台的叶片适用 321 基准法建立坐标系。采集零件本身或是夹具上的 3 个点确定一个平面,之后测量两个点来确定与之垂直的一根轴,最后测量一个点来确定坐标系原点,如图 8 所示。得到的坐标系可以通达“SH”参数进

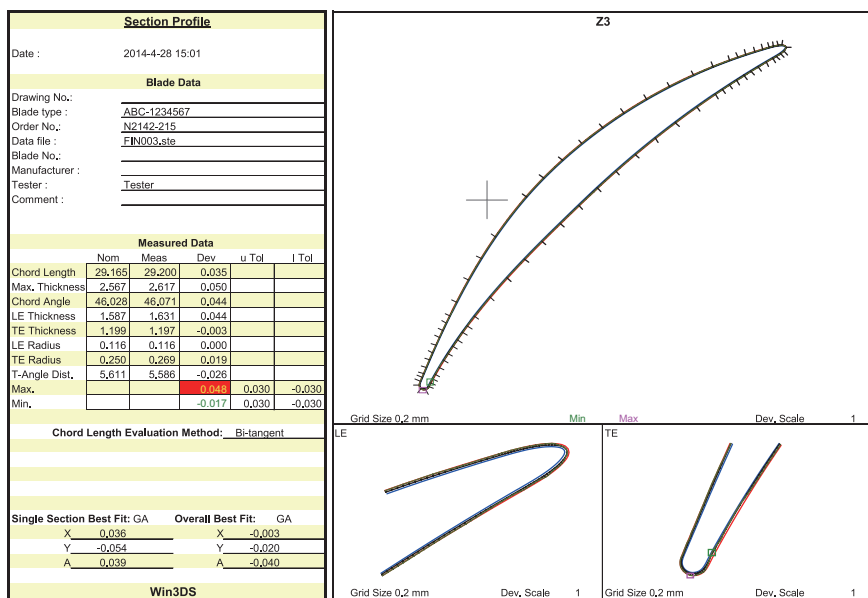


图6 叶片测量分析报告



图7 建立轴颈式 (PIPS) 叶片坐标系

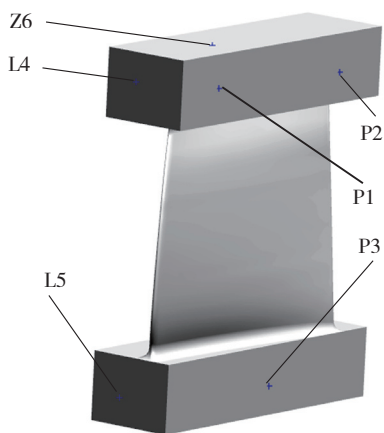


图8 建立321SEQ叶片坐标系

行坐标点位置移动,“TFORMA”参数设定角向旋转。

(3) SLOPES 或 ALIGNFIRTREE 榫头基准法。

带有直齿或圆弧齿榫头的叶片采用 SLOPES 或 ALIGNFIRTREE 榫齿自身构建坐标系法。测量机通过扫描榫头两侧压力面上的特征线,构建出榫头两个面,这两个面构建出一条交线,榫头端面构建成一个面,由这些元素,再构建出一个交点,这个交点与叶片理论 T 线(榫头围绕发动机轴线的旋转半径)的偏置值成为坐标系的原点,如图 9 所示。



图9 利用榫齿特征建立坐标系

利用榫齿自身特征,以压力面建立测量坐标系,正确地评价了榫头与叶身型面的位置度,可真实地反映叶片与装配基准之间的关系。

(4) 6 点迭代基准法。

精铸叶片,全叶型叶片,或是基准小的叶片,建立测量坐标系应使用 6 点迭代法。设计或工艺提供 6 个基准点,软件根据设定的参数,自动控制测量,使实测点不断地与理论点逼近,直到达到要求的误差范围为止,如图 10 所示。

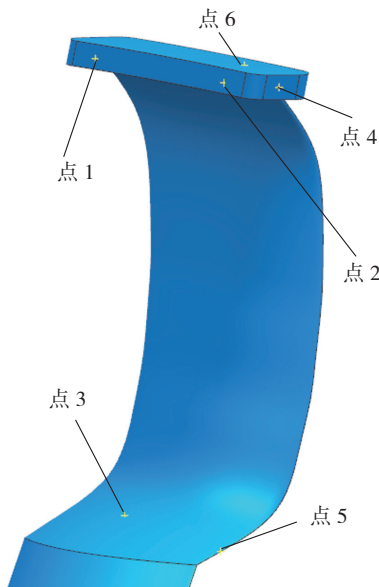


图10 6点迭代法构建坐标系

白光检测方式与三坐标检测方式对比

三坐标检测和白光检测在我公司叶片制造过程中均得到应用。三坐标测量机测量微小进排气边 R 或弯扭大的型面时,测头会由于接触干涉造成测量数据的失真。这种情况,非接触测量方式更具有优势。从检

测效率来看,白光测量机扫描速度与加速度均高于三坐标测量机,采点连续,不需测头归位,且无需测头的转换,可较三坐标测量机提高检测效率 15% 以上。

白光测量机由于检测方式是通过光的投射与接收,获得检测数据。测量环境,光的强弱,光束直径大小和被测零件的表面特性,如表面粗糙度、光亮度,表面的颜色对于测量有很大的影响。特别是室内光线太强或零件表面光亮时,会影响测量结果的准确性。在软件方面,白光测量机编程方法多为模块化,由于在国内应用时间较短,还不能根据客户的不同需求做到灵活应用,基于三维模型引导的检测与评价也有待提高。就这一款机型而言,还不能实现叶片其它结构特征部位的测量与评价。

结束语

随着我国航空工业的发展,数字化检测在叶片生产厂家已较为普及,但各个叶片厂的测量方式和数据处理评价方式互不相同,导致叶片测量方法与测量结果也不尽相同,有必要对航空发动机叶片叶型的检测进行深入研究,并形成统一的检测标准规范。

叶片是批量生产零件,数量成千上万,提高它的自动化测量精度和效率,降低测量软件的应用难度永远是我们研究的一个热点问题。作为国内航空企业的用户,我们对于叶片检测的仪器会提出多种需求,我们希望各种测量方法能相互融合,取长补短,把接触式测量和非接触式光学测量优势结合起来,实现叶片自动化、数字化检测的技术提升。

参考文献

- [1] 王森安,光学测头在飞机发动机叶片检测中的应用,航空制造技术,2010(13):32.
- [2] 任如飞,陆兵,张世亮,等.实物样件非接触测量技术综述,装备制造技术,2012(2):125.

(责编 亿霖)