

复杂薄壁叶片测量方法研究

Measurement Method of Complex Thin-Walled Blade

西安航空动力股份有限公司 高晓斐
海克斯康测量技术(青岛)有限公司 郑小晖



高晓斐

西安航空动力股份有限公司检验部工程师,从事航空发动机叶片检测技术研究。

复杂薄壁叶片多为风扇叶片,是发动机核心部件——风扇转子的关键零件之一,对发动机的性能起着关键作用,技术含量高,涉及领域广。该类叶片外形尺寸大,叶身厚度薄,根部曲率变化剧烈,加之采用了单燕尾槽的榫头结构,为测量准确性带来了很大的误差。本研究通过多种测量方法的测试与比对,寻找到了一个新的测量方法,成功地解决了复杂薄壁叶片高精度、高效率的测量问题。

技术特点分析

复杂薄壁榫头为燕尾型叶片,榫

复杂薄壁叶片多为风扇叶片,是发动机核心部件——风扇转子的关键零件之一,对发动机的性能起着关键作用,技术含量高,涉及领域广。该类叶片外形尺寸大,叶身厚度薄,根部曲率变化剧烈,加之采用了单燕尾槽的榫头结构,为测量准确性带来了很大的误差。本研究通过多种测量方法的测试与比对,寻找到了一个新的测量方法,成功地解决了复杂薄壁叶片高精度、高效率的测量问题。

头度面为叶片的定位基准,公差一般不大于0.1mm,叶身型面带有阻尼台,阻尼台空间角度错综复杂,需要的尺寸多,且公差要求严;叶片空间尺寸大且叶型空间扭曲大,叶身薄,叶片型线轮廓度公差小且为变公差。

叶片尺寸测量

1 测量坐标系的建立

对复杂薄壁燕尾型榫头叶片,设计及测量的基准一般为燕尾型榫头的度面,测量时可以将测量坐标系直接建立在榫头度面上,也可以采用测具测量,将测量坐标系转移到测具上。

(1) 无测具测量。

没有测具时,以榫头度面及端面为基准,将测量坐标系建立在榫头

上,在叶片榫头两度面上,分别测量4个点,构造2个平面,计算两个度面的中分面作为测量坐标系的Y轴方向及Y轴方向的零点,计算两个度面的交线,测量坐标系的X轴方向,交线与榫头端面的交点为X轴方向的零点,榫头度面中分面分别向两度面平移H值,与两度面相交两条平行线,两平行线构造一平面作为测量坐标系Z轴的零点。叶片榫头度面结构如图1所示。

(2) 测具测量。

复杂薄壁燕尾型榫头叶片测具设计原理是:旋动拧紧螺钉,测具底面定位块带动叶片榫头底面向上运动,当叶片榫头度面与测具度面定位块贴紧时,叶片榫头基准线到达一定高度,叶片固定在测具中。以测具的

定位面为基准建立测量坐标系,测具结构如图2所示。

2 型面测量分析

该叶片叶根部位型面曲率变化大,而叶尖型面曲率变化比较小。一般型面测量时,程序编制是一个循环测量的过程,每个截面都是从叶片进气边开始扫描到排气边结束,再将多余部分进行裁剪,形成一个封闭的曲线如图3所示。

初次加工为了防错,用2种方法对叶片进行测量分析。第一种方法是将叶片的所有部位进行采点测量,为了避免测球半径补偿时带来的测量数据误差,在采点时关闭测量补偿,将测量数据导入UG与数模进行对比,比对时将测具数据整体偏置一个测针半径值。第二种方法是在PC-DMIS测量软件下用Blade分析软件进行分析。2种测量方法测量数据对比如表1所示。

由表1可以看出,在叶尖部位,由于叶型曲率变化比较平缓,测量结论只差0.004mm,而叶根部位截面由于叶型变化比较大,所以相差0.053mm,所以不能直接对叶根型面进行扫描评价。

在测量叶型轮廓度时用两种方法,叶尖截面(全封闭截面)采用全封闭扫描,利用叶片专用分析软件BLADE进行分析评价;叶根截面采用采点的方式进行测量,实测点与CAD模型进行对比输出。

3 阻尼台测量

该叶片阻尼台上下表面由三维空间曲面组成,阻尼台毗邻面以及长边、短边空间角度错综复杂。在测量阻尼台上下表面轮廓度时,采用扫描曲面的方式进行测量,将实测值与数模进行对比,并将结论显示在数模中,便于叶片的返修,阻尼台表面偏差分析见图4。

阻尼台长边、短边是圆弧形,在首次测量时直接在数模中找出最高点作为理论值对叶片阻尼台长、短边

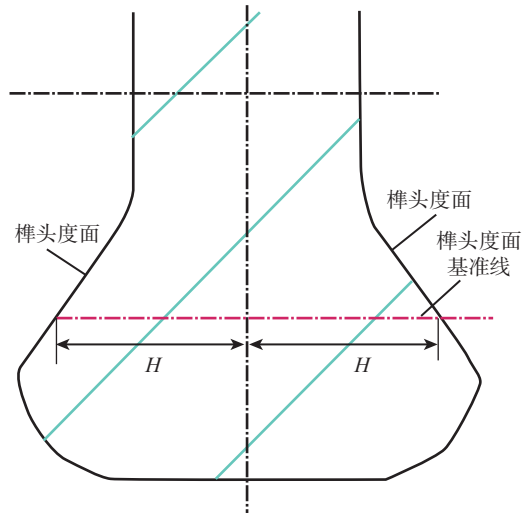


图1 叶片榫头度面示意图

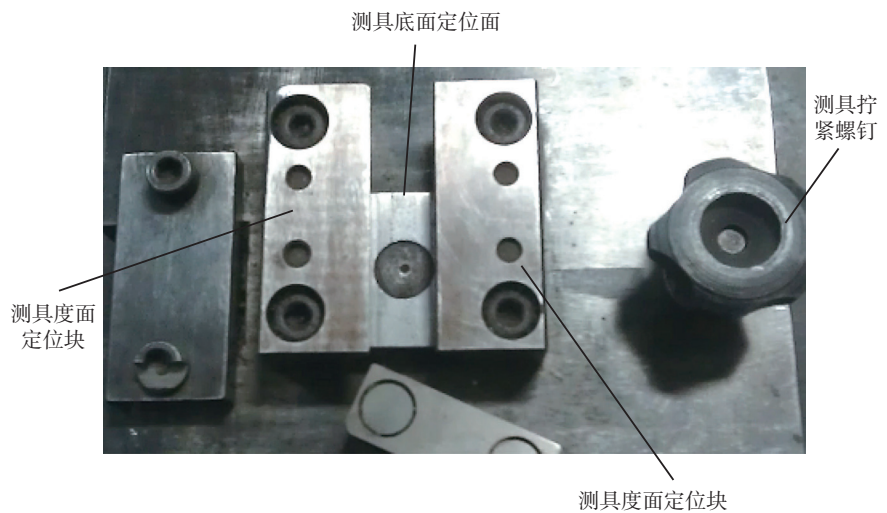


图2 测具结构示意图

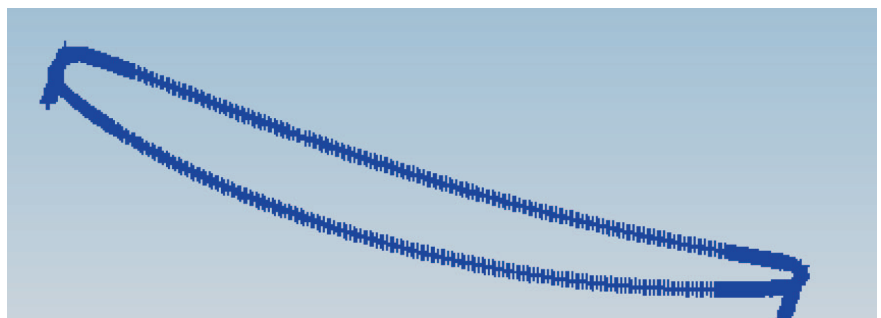


图3 封闭曲线扫描曲线示意图

表1 2种测量结果对比

	UG 软件分析结果	BLADE 软件分析结果
叶根某截面轮廓度	0.043	0.096
叶尖某截面轮廓度	0.072	0.068

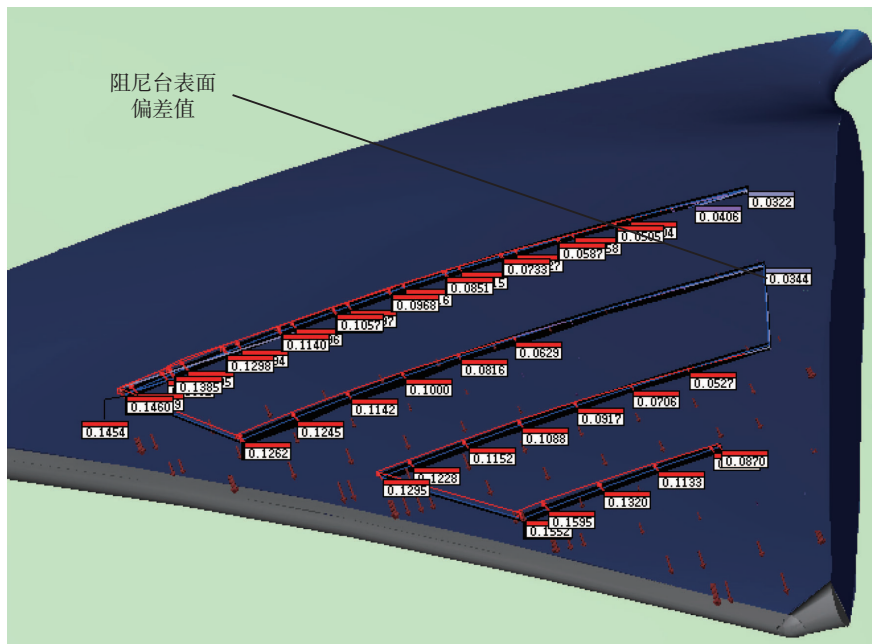


图4 阻尼台表面偏差分析示意图

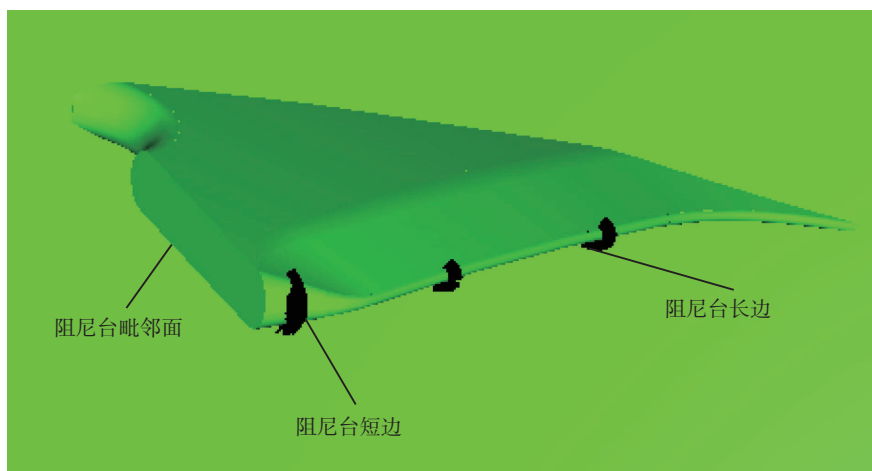


图5 阻尼台扫描找高点示意图

进行测量并与数模进行比对分析,但是在后期测量过程中发现,由于叶片的加工误差,如果只采1点并不能保证每次都能采到阻尼台长、短边的最高点,该部位为圆弧型,测量点稍微差一点,测量结论就会相差很多。最后经过反复实践发现,如果将坐标系旋转到与阻尼台长、短边平行的方向并进行扫描,在扫描点中找出最大值,用这种方法测量能准确的反映叶片的正式加工质量。

对阻尼台扫描找高点如图5所示。叶片阻尼台毗邻面是一个由三

次角度旋转形成的空间三维平面,阻尼台在叶片装配时起到环形支撑作用,当叶片组装在一起时,每个叶片阻尼台相互连接,相互支撑,发动机

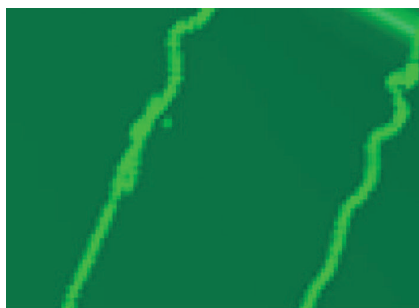


图8 测针振动状态下测量的曲线示意图

工作时,叶片高速运转,阻尼台减少叶片振动,作为装配尺寸,阻尼台毗邻面的尺寸要求非常严,在测量时,必须将该面旋转到设计图要求测量的方向,并要准确计算测量点的矢量,否则在测量时,探针的半径补偿会不准确,导致测量错误,为了准确测量阻尼台毗邻面的尺寸,先将坐标系沿Z轴方向旋转,再沿Y轴方向旋转,当坐标系X轴旋转到与阻尼台毗邻面法线方向一致时,可以沿坐标系X方向采点。如果有数模,只需要将叶片测量坐标系与数模坐标系保持一致,通过数模查找点的矢量,直接测量数模直接比对,避免三维旋转坐标系,测量精度和测量效率都很高。

4 叶片振动问题解决

由于该叶片很长,但是厚度很薄,装夹的时候只是在榫头进行固定,叶身向上是自由状态的,所以随着扫描高度的增加,叶片刚性减弱,叶片与测针之间发生共振现象,影响扫描的正常进行。测针振动状态下测量的曲线如图6所示。

研究振动产生的原因发现,振动是一种特殊形式的运动,在这种运动过程中,机械系统将围绕其平衡位置往复运动,从运动学的观点看,机械振动是指机械系统的位移、速度、加速度在某值附近随时间的变化规律,机械系统之所以会产生振动是因为它本身具有质量和弹性,阻尼则使振动受到抑制,所以减少振动一方面要减少测针对叶片的接触力,另一方面要增加阻尼,消耗能量。

在尝试了许多方法后,决定用加橡皮泥的方法增加阻尼,消耗能量,减少振动,测量叶盆时在叶背贴橡皮泥,在测量叶背时在叶盆贴橡皮泥,这种方法彻底解决了叶片的共振现象。叶片第一次贴橡皮泥部位如图7所示。

当工人将叶身轮廓厚的叶片进行返修时,若重新测量叶片的测量结论与之前不一致,返修的零件会更

厚,由于将柱形测针更改为球形测针,进排气边缘形状很不真实,经分析发现,在交替装、卸橡皮泥时,叶片的测量状态已经发生了更改。

将测量程序进行优化,在测量叶片不同截面时采用不同的测量角度,尽可能减少测针与叶片间接触的力量,并尝试不同的测量参数(测量速度、测量密度)。用优化的测量程序测量叶片时,只有叶尖截面产生振

动,只需要在叶尖加上橡皮泥就可以彻底解决叶片与测针间的共振现象,进排气边缘形状也变得更真实了,并且易于操作与测量,叶尖加橡皮泥如图8所示。

5 测量重复性问题

在大叶片的测量中,除了叶片共振对叶片测量精度影响外,还有一个很重要的问题:测具重复性差。在测量叶片批邻面时,同一个叶片,装

经验以及燕尾性榫头特点,自设计并制造了一个测量夹具,该夹具的度面尺寸与叶片榫头一致,底面尺寸比叶片榫头尺寸大了1mm左右,用螺钉将叶片拧紧,再将夹具放在虎钳中测量,这个测具夹具仅仅起到夹紧叶片的作用,叶片榫头除了一部分夹紧在夹具中,其余大部分暴露在夹具外部,测针能够测量到。测量夹具如图9所示。



图7 叶片第一次贴橡皮泥部位示意图

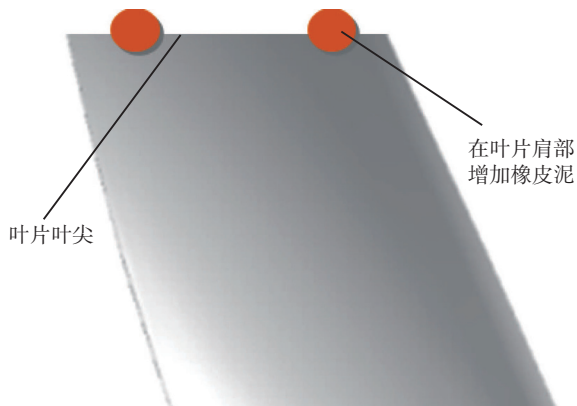


图8 叶片加橡皮泥示意图

表2 叶片阻尼台5次测量数据

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次
毗邻面到叠合点位置	88.321	88.423	88.352	88.425	88.381
毗邻面总宽	142.522	142.633	142.511	142.684	142.581

表3 叶片阻尼台毗邻面5次测量数据

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次
毗邻面到叠合点位置	88.371	88.379	88.372	88.375	88.376
毗邻面总宽	142.461	142.463	142.462	142.464	142.461

用暴露在外的叶片榫头建立测量坐标系,在叶片榫头底面采3点,在叶片榫头度面采2点,在叶片端面采1点利用迭代法建立第一坐标系。在叶片榫头两度面各采6行,每行3个点,进行最佳拟合坐标系,作为测量坐标系。在该测具及坐标系下对1个叶片毗邻面重新测量5次,测量结论如表3所示。

从表3可以看出,用现在的测量方法测量的叶片批邻面最大相差只有约0.008mm,所以测量是稳定可靠的。

结束语

通过对复杂薄壁燕尾型榫头叶片测量方法的研究有效解决了在测量大、薄叶片型面时,叶身与测针间的共振问题,并对复杂大型叶片提供了一种测量方法,对燕尾型榫头叶片的夹具设计及建立坐标系方法提供了新思路。(责编 良辰)



图9 测量夹具

夹5次,测量数据如表2所示。

从表2可以看出:叶片重复装夹5次,测量数据最多相差约0.16mm,对于公差只有0.06mm的尺寸要求,这种测量精度根本不能满足。

根据多年的测量