

# 迭代法坐标系在叶片检测中的应用

## Application of Iterative Method in Coordinate System of Blade Detection

北京航空材料研究院先进高温结构材料国防科技重点实验室 张强 王祯



张强  
高级工程师, 硕士。从事高温合金精密铸造专业研究。

迭代法坐标系广泛地应用在叶片制造的各个环节中, 可以识别矢量点、曲面点、高点、中点、圆柱及球等多种基准几何特征。通过数字化的量值传递方式, 自动循环逼近, 快速、准确地建立叶片复杂曲面坐标系, 保证叶片曲面坐标系准确地传递到叶片制造过程中。

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.12.059

维模型上将测定的数据“最佳拟合”到理论点(或可用的曲面)。采用迭代法建立坐标系至少需要测量3个特征, 所用特征的类型及至少需要的特征数量如表1所示。

采用迭代法建立坐标系的操作

过程如下:

(1) 建立初始坐标系。

初始坐标系为夹具坐标系、3-2-1坐标系或手动建立初始迭代坐标系。图1为手动建立初始迭代坐标系的基本界面, 各部分参数设

### 迭代法坐标系基本原理

迭代法坐标系的测量及计算精度高、重复性好, 可适用于复杂曲面坐标系的建立及理论坐标系远离实际工件等不适宜“3-2-1”法的特殊坐标系的建立。迭代法建立的坐标系为“体”坐标系, 因而用户可在三

表1 迭代法建坐标系所用的特征类型及至少需要的特殊数量

所用特征的类型	至少需要的特征数	
圆	3个圆	此方法将3个DCC圆用于建坐标系
线	建议不要使用此特征类型	
点	6个点	此点用作3-2-1建坐标系
槽	建议不要将此特征类型用作原点特征组的一部分	
球体	3个球体	此方法将3个球体用于建坐标系

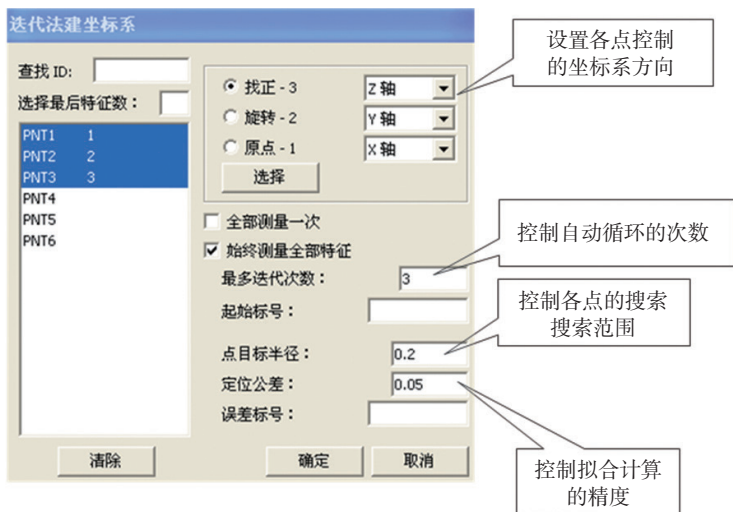


图1 迭代法建坐标系基本界面

置意义如下：“找正 -3”至少使用 3 个特征，特征将使平面拟合特征的质心，以建立当前工作平面法线轴的方位；“旋转 -2”至少使用 2 个特征，特征围绕工作平面的轴向进行旋转，通过特征拟合直线。如果没有选择任何特征，可使用找正的特征建立坐标系，用于找正部分的两个特征是倒数第 2 和第 3 个特征；“原点 -1”用于将零件原点平移到指定位置，如果未标记任何特征，坐标系将使用“找正”部分中的最后一个特征；“最多迭代次数”用于控制自动循环的次数；“点目标半径”用于控制各点的搜索范围，即软件允许你围绕每一个点指定一个虚拟的公差区域(或目标半径)，在指定的公差区域里测量任意点，如果测量的点不在这个区域里面，软件将以自动模式重新测量点；“定位公差”用于控制拟合计算的精度，当键入一个拟合公差值时，软件将根据该值对组成迭代法坐标系的元素与其理论值进行比较。

(2) 自动迭代坐标系。

调用已有的初始坐标系，软件全自动运行，在点目标范围内对所有点进行再次修正测量。每个理论点都有一个半径为“定位公差”的球形公差带，当所有实测点都落在相对应的

理论点的球形公差带内时，迭代法坐标系完成，如图 2 所示。

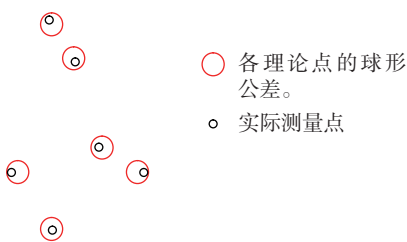


图2 迭代法坐标系完成示意图

### 迭代法坐标系在叶片检测中的应用

#### 1 6点迭代

传统 6 点迭代，侧面 3 点找正、前缘 2 个矢量点确定第 2 方向、缘板 1 点定原点，如图 3 所示。先直接调用夹具坐标系建立初始坐标系，快速



图3 叶片6点迭代基准点示意图

确定工件准确位置；再精建坐标系(自动循环修正、精度高)。设计提供 6 个以上的基准点，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。

#### 2 前缘高点迭代

如图 4 所示，由于铸造的误差，所以每个叶片前缘真实的高点会与理论位置存在一定的差异，为了准确建立前缘基准特性，不能直接在前缘位置按照理论坐标测量 2 个单一的矢量点，而是要在前缘圆弧上进行一个局部的扫描段，按照设计指定的方向，软件自动取出指定方向上最高点，用实际取得的 2 个前缘最高点参加坐标系建立。保证了测量基准与加工基准定位方式统一。

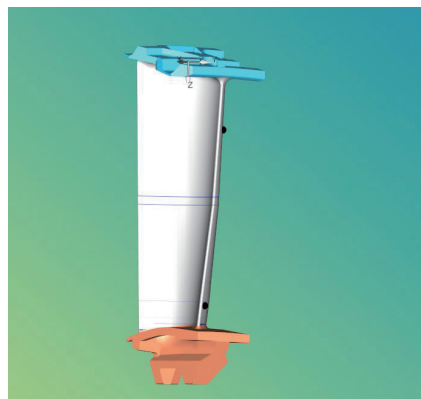


图4 叶片前缘高点迭代示意图

#### 3 构造特征“中点”迭代

迭代法计算中，虽然最终参与计算的是 6 个点，但在建立过程中，为了提升坐标系的定位性能，可以进行多点测量。如图 5 所示的双缘板叶片，发动机轴线穿过上下缘板的时候，分别得到 2 个通道点，通过构造中点计算可得到 2 个通道点的中点，最终使用中点参加坐标系 Z 向原点位置的确定。通过中点建立坐标系，可以有效地将上下缘板的误差进行均分，使得测量结果更加优化、合理。

#### 4 几何特征“圆柱轴柄”迭代

几何特征“圆柱轴柄”迭代示意图见图 6，对于轴柄类叶片，迭代法

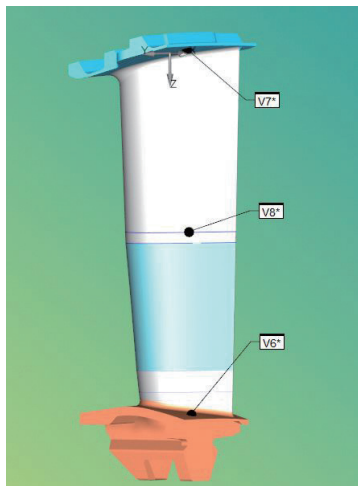
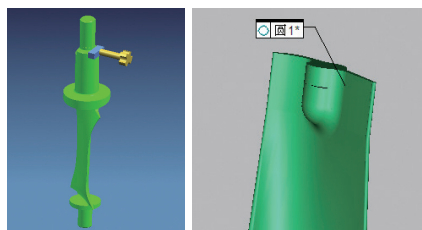


图5 构造特征“中点”迭代示意图



(a) 传统工装圆柱定位 (b) 迭代法中直接计算圆柱轴线

图6 几何特征“圆柱轴柄”迭代示意图

允许用户测量叶片两端的轴柄圆柱,并通过2个实测圆柱的质心建立Z轴方向及X、Y轴的坐标原点。制造过程中,始终保持测量基准与加工基准的吻合,提供准确稳定的坐标系特性。

### 迭代法坐标系精度影响因素

叶片坐标系建立的准确性将会直接影响后续所有参数的测量及计算分析的准确性,所以建立迭代法坐标系时一定要控制最终坐标系的精度。

#### (1) 合理分布基准点位。

迭代的基准点位置需要严格按照设计图纸的要求进行,准确输入每个点的X、Y、Z坐标值及I、J、K矢量方向参数,因为每个实测点将来会沿着理论I、J、K的矢量方向与对应的理论坐标点进行3D偏差比对。

基准点基本分成3个分量组,每

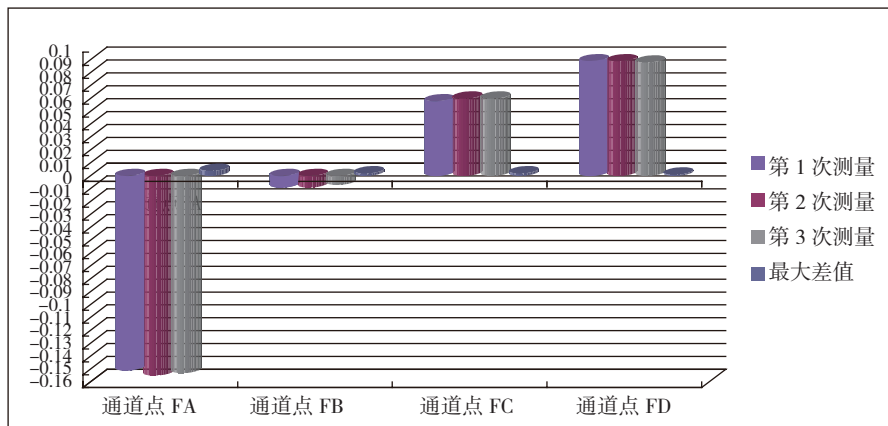


图7 迭代法测量叶片通道点的重复性比较

个组相互的矢量方向接近垂直,而每个组里面的每个点的矢量方向近似平行。

#### (2) 设置合理的迭代循环次数。

迭代过程是一个循环逼近的过程,但是循环的次数并不是越多越好。当循环次数超过最佳状态时,迭代的精度会出现损失。所以,既要考虑到迭代的精度,也要考虑到迭代的效率,具体应用过程中,推荐的迭代次数为3~5次。

#### (3) 设置正确的点目标半径。

每次迭代,测量机都会在理论值周围进行循环逼近测量。如果仅仅测量6个点,由于6点是最小约束条件,点目标半径会直接影响坐标系的精度,所以点目标半径建议比定位公差值大0.002mm。而超过6点的迭代时,坐标系精度则完全是由定位公差来确定,点目标半径只要不超过工件的壁厚即可。例如,测量排气边比较薄的位置,点目标半径不要超过其厚度即可,否则软件可能会在同一坐标值下,找到一个完全反向的矢量点。

#### (4) 严格约定定位公差“坐标系精度”。

定位公差是约束坐标系精度的关键指标,当循环测量比对后,所有实测点都落在指定的定位公差范围内,则认为坐标系完成。对于同一个叶片,各测量单位都必须使用完全相同的定位公差值作为坐标系精度判断条件,否则就会建立出完全不同状

态的坐标系。

参与迭代坐标系的基准点,是叶片基准在各个工序间进行加工、检测的统一基准,所以参与计算的各个基准点必须保证满足坐标系精度要求。即建立迭代法坐标系后,首先要评价参与坐标系建立的各个点的偏差值是否都小于定位公差值,如果通过多次循环测量,各基准点中的某些点仍然超出定位公差要求,可直接定义该叶片不合格,不需要进入到后续的其他尺寸检测。

### 迭代法建立叶片坐标系测量重复性考核

使用迭代法对叶片的通道点进行重复测量,测试结果见图7。

从实测数据可以看出,使用迭代法进行叶片通道点测量,数据重复性非常好,而使用测具进行相关尺寸检测时,重复性偏差一般在0.03mm左右。

### 结 论

迭代法坐标系广泛地应用在叶片制造的各个环节中,可以识别矢量点、曲面点、高点、中点、圆柱及球等多种基准几何特征。通过数字化的量值传递方式,自动循环逼近,快速、准确地建立叶片复杂曲面坐标系,保证叶片曲面坐标系准确地传递到叶片制造过程中。

(责编 亿霖)