

球形定位技术在涡轮叶片生产中的应用研究

聂东冰¹, 张涛¹, 段朋国²

(1. 中国航发沈阳发动机设计研究所, 沈阳 110015;

2. 中国航发西安航空发动机有限公司, 西安 710021)

[摘要] 为解决涡轮叶片研制生产中定位转化繁复、误差累积明显、制孔效率低等问题, 提出了球形定位技术方案。球形定位解决了工装与气膜孔相互干涉、叶片制孔效率低的问题, 通过叶片试制加工和生产验证, 球形定位技术减少了基准转换, 利于工装设计, 制孔效率提升, 可以应用于叶片工程化生产。

关键词: 涡轮叶片; 球形定位; 制孔

Application of Spherical Localization in Turbine Vane's Manufacturing

NIE Dongbing¹, Zhang Tao¹, DUAN Pengguo²

(1. AECC Shenyang Engine Research Institute, Shenyang 110066, China;

2. AECC Xi'an Aero-Engine Co. Ltd., Xi'an 710021, China)

[ABSTRACT] In order to solve problems such as complex localization transform, deviation accumulation, inefficiency drilling in turbine vane manufacture, spherical localization methods are applied in blade design. The contradiction of hole and fixture, the low drilling efficiency is solved. According to a batch of vane manufacture, it is proved that the spherical localization can be successfully applied in the blade production.

Keywords: Turbine vane; Spherical localization; Drilling

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2016.20.085

随着发动机推重比的增加, 涡轮前温度大幅提升, 涡轮叶片冷却问题日渐突出。采用全气膜覆盖冷却叶片是解决此问题的重要手段之一, 它通过在叶片表面设置大量的气膜孔, 把内腔出流的冷气均匀地覆盖在叶片表面, 形成低温保护膜, 实现对叶片基体材料的有效防护。

全气膜覆盖的涡轮冷却叶片叶身布满气膜孔, 虽然有利于冷却, 但对叶片加工却提出了挑战。涡轮叶片使用 6 个独立的点建立叶片基准坐标系, 即六点定位^[1-2]。6 个定位点一般设置在叶身与缘板流道表面, 气膜孔制孔时定位点与孔干涉, 不能直接使用。目前通常采用将全部定位点转换到工装夹具的方式解决制孔干涉问题, 但此时建立的基准并不能在后续加工中使用, 因此缘板前后端面、侧端面、安装孔等加工时需要再次进行基准转换。制孔时定位点的转换存在两个不利之处, 一是需要设计多个工装承载新的定位点, 增加了工艺的复杂性, 另一个是基准转换带来误差累积, 不利于气膜孔位置度控制^[3-10]。

针对全气膜覆盖涡轮冷却叶片生产加工的复杂性, 基于叶片定位原理, 提出了球形定位技术, 实现了球面

基准在叶片定位中的设计应用。首先给出了球定位技术的基本原理, 分析了此种定位方式的特点, 结合某型叶片设计加工进行了球定位技术的应用研究, 最后将该技术与传统的六点定位技术进行了对比分析。结果表明, 球定位技术的应用可以有效减少叶片加工中基准转换次数, 减少工装设计, 提高制孔精度, 提升叶片加工质量。

1 球定位技术

1.1 球定位技术原理

在直角坐标系中, 叶片定位一般指通过限制 X 、 Y 、 Z 轴向移动的 3 个自由度和绕此三轴旋转的 3 个自由度, 使叶片在工装夹具中占据正确的位置。在球坐标 (r, θ, ϕ) 中, 通过限制距离 r 、仰角 θ 和方位角 ϕ 同样可以实现叶片的完全固定。叶片设计中球形定位包括两个半球面和一个单独的点, 如图 1 所示。两个半球面 SR1、SR2 位于缘板的外侧, 用以限定球坐标中的距离 r 和仰角 θ 。在球面约束下, 叶片仅能沿两球心确定的轴线做旋转运动, 即只有方位角 ϕ 自由。在叶身叶背无气膜孔处选取点 A 采用点接触的方式对叶片进行约束,

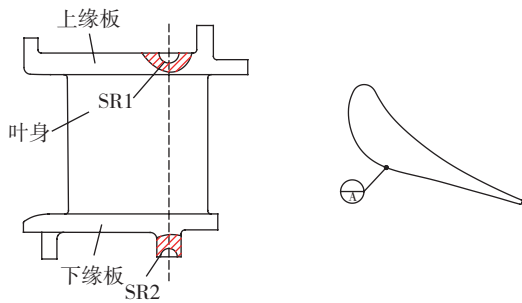


图1 球定位原理

Fig.1 Principle of spherical localization

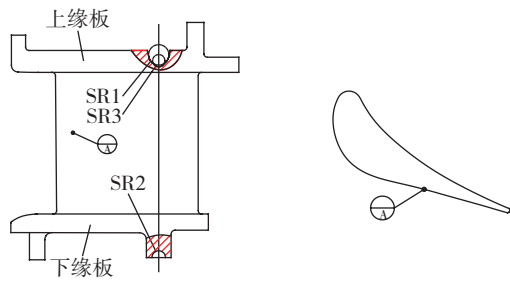


图2 叶片上的球定位结构

Fig.2 Spherical localization structure in vane

限制叶片的旋转,固定方位角 ϕ ,从而完成球坐标系下叶片的全约束定位。由于此种定位系统通过限制球坐标下的叶片自由度建立,因此称为叶片球定位系统。

分析球定位的结构形式,球定位系统有以下特点:

- (1)叶片定位结构相配的定位夹具主要由球面构成,夹具零组件数目少且结构简单,定位约束相对较少;
- (2)球面定位方式接触面积大,单位面积感受的压应力较小,定位稳定;
- (3)定位球面、定位点与叶身的气膜孔互不干涉;
- (4)定位球面位于缘板外侧的铸造区域,相对独立。

1.2 球定位结构设计

基于上述原理,在某型导向叶片设计时应用了球形定位结构。

- (1)在叶身外型线积叠轴延长线与上缘板外端面交点处设置一个直径 $\phi 3\text{mm}$ 的凹半球球面结构 SR1;
- (2)在叶身外型线积叠轴延长线与下缘板外端面交点处设置一个直径 $\phi 2\text{mm}$ 的凹半球球面结构 SR2;
- (3)在叶身中截面叶背侧无气膜孔位置选取一点 A,用来限制叶片的周向旋转。

理论上,两个半球面与不经过球心连线的另外一点完全可以确定叶片的空间位置,实现叶片的全约束定位。但按照上述步骤完成设计的叶片容易出现装夹磨损和定位工装打滑现象,不能满足实际需要。因此,球定位结构增加了保持工装夹持稳定性的结构设计。

(4)在上述结构的基础上,上缘板半球面 SR1 的下端面设计一个直径小于 $\phi 3\text{mm}$ 的小型凹球面 SR3,直径 $\phi 1\text{mm}$,小凹球面的球心同样在叶片外型线积叠轴延长线上,球心位置相对于 SR1 低 1mm ;同时将球面 SR1 的开口放大,设计成 15° 的锥形开口形式,由此上缘板的定位球面形成了一种锥形嵌套大球面,大球面嵌套小球面的结构形式(如图 2)。

此种上缘板大小球面嵌套的结构形式,有利于提高定位精度,有效防止 SR1、SR2 球面约束叶片定位系统中的 r 和仰角 θ 时出现打滑现象, 15° 开口的锥面则可以方便工装的安装,形成定位工装的引导面。

2 加工验证情况

为验证球定位技术在叶片生产中的应用的可行性,选取一批次的全气膜覆盖涡轮导向叶片进行了加工验证。分别从工装设计、定位的稳定性以及制孔工艺性方面检验了该定位系统。

2.1 球定位工装设计

根据设计的球定位系统,完成了球形定位工装的设计,叶片在定位工装的装卡如图 3 所示。球形顶针分别与叶片上、下缘板的定位球面紧密贴合,形成对叶片的支撑固定;按照设计角度将工装竖直调节杆上的定位点调节至理论位置,施加外力将叶片压紧在调节杆理论点,叶片完成被约束。此种工装结构简单实用,生产加工均比较方便。

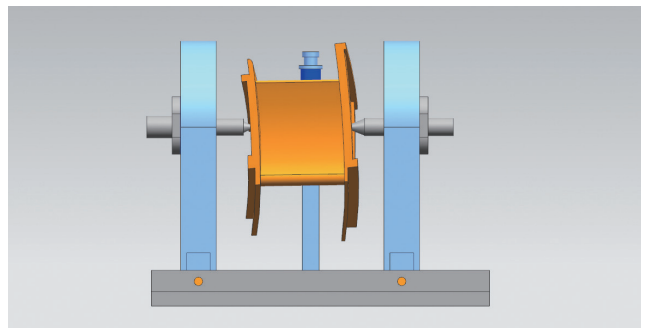


图3 球定位工装约束下的叶片

Fig.3 Vane under the constraint of spherical localization

2.2 定位的稳定性与可靠性

任意选取一件叶片,在球定位方式下,分别装夹两次检测叶片同一型面的重合度,两次装夹获得的叶片型面线重合度如图 4 所示。可以看出,采用球定系统固定的叶片两次装夹同一型面的最大偏差约为 0.01mm ,公差带分布相对均匀。结果表明球定位工装稳定可靠,可重复装夹性强。

2.3 制孔工艺性

采用球定位系统进行了本批次叶片气膜孔加工。在基准不转换的前提下,可以完成叶身全部气膜孔和缘板大部分孔的加工。仅有缘板侧少部分与定位工装干

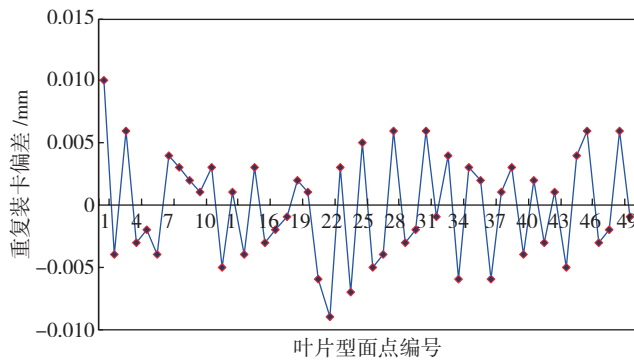


图4 球定位下两次装夹测量的叶片型面偏差

Fig.4 Deviation of the vane profile in different clamping of spherical localization

涉的气膜孔,需要转换基准后加工。由于减少了基准转换,叶片气膜孔的加工精度提高,工艺简化。

3 球定位与六点定位对比分析

目前,涡轮叶片生产中主要应用六点定位,球形定位尚未引入工程化生产,通过上文中的加工验证,可以发现球形定位相对于传统的六点定位方式存在多项优势:(1)叶片定位结构相配的定位夹具主要由3个带球面的圆柱构成,定位约束少于六点定位,工装设计相对简便,稳定性强;(2)叶片加工过程中球定位系统的基准转换相对较少,累积误差少,有利于关键尺寸的控制。

同时,球定位方式也存在一些不足:(1)球面定位技术适用于具有上下承载结构的导向叶片,对于转子叶片的适用性尚待进一步研究;(2)球定位孔通过无余量铸造方式完成,铸造过程中的偏差对叶片加工影响较大,因此定位球面需要较高的铸造精度。另外,工厂六点定位技术应用比较成熟,经验丰富,球形定位技术上尚无大规模的应用经验,应用中需要不断摸索,必要时仍需要借助六点定位系统进行验证。

4 结论

(1)球形定位技术应用于涡轮叶片定位设计,适用于具有上下缘板承载结构的导向叶片;

(2)球形定位工装具有结构简单,定位稳定,可靠性高,独立性强的优点;

(3)相对于六点定位,球形定位避免了制孔时的定位基准转换,减少了工装设计,增强了加工工艺性,提高了气膜孔加工质量和制孔效率;

(4)试加工经验表明,球形定位技术完全适用于全气膜覆盖涡轮导向叶片的工程化生产。

通过试制加工,对球形定位技术存在的问题及改进建议如下:

在球定位技术应用初期,建议采用六点定位系统对球定位系统进行校核,避免定位球面铸造精度不足带来加工误差。

参考文献

- [1] 蒋伟荣. 模糊轮廓定位-六点定位法则概念的延伸[J]. 机械工程师, 2012(11): 36-38.
JIANG Weirong. Vague contour localization extend of six-point localization methods[J]. Mechanical Engineer, 2012(11): 36-38.
- [2] 郭万川. 六点定位原理及其应用[J]. 现代制造技术, 2007, 34(3): 49-52.
GUO Wangchuan. Research on principle and application of six-point localization[J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2007, 34(3): 49-52.
- [3] 陈满意, 李斌, 段正澄. 叶片零件毛坯余量分布优化问题研究[J]. 机械科学与技术, 2006, 25(2): 246-248.
CHEN Manyi, LI Bin, DUAN Zhengcheng. Research on optimization of blank allowance distribution for blade parts[J]. Mechanical Science and Technology, 2006, 25(2): 246-248.
- [4] 门廷武, 周凯. 自由曲面薄壁工件加工的柔性定位方法研究[J]. 制造技术与机床, 2008(10): 113-116.
MEN Yanwu, ZHOU Kai. Research on flexible localization method in free-form surface and thin-wall components[J]. Machining Manufacturing Technology and Machine Tools, 2008(10): 113-116.
- [5] 严思杰, 周云飞, 彭芳瑜, 等. 大型复杂曲面加工工件定位问题研究[J]. 中国机械工程, 2003, 14(9): 737-739.
YAN Sijie, ZHOU Yunfei, Peng Fangyu, et al. Research on localization of the workpieces with large sculptured surface[J]. China Mechanical Engineering, 2003, 14(9): 737-739.
- [6] 严思杰, 周云飞, 赖喜德, 等. 基于曲面重构方法的大型叶片加工定位问题研究[J]. 机床与液压, 2006, 36(3): 17-21.
YAN Sijie, ZHOU Yunfei, LAI Xide, et al. Research on the localization of large blade NC machining based on the surface reconstruction[J]. Hydromechanics Engineering, 2006, 36(3): 17-21.
- [7] 苟剑波, 储云仙. 对称工件定位问题的研究[J]. 机械工程学报, 2000, 36(3): 17-21.
GOU Jianbo, CHU Yunxian. Research on localization of symmetrical workpieces[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2000, 36(3): 17-21.
- [8] 胡宏伟, 李雄兵, 倪培君, 等. 复杂型面工件超声自动检测中的匹配定位方法[J]. 中国机械工程, 2012(2): 25-28.
HU Hongwei, LI Xiongbing, NI Peijun, et al. Matching localization methods application in the ultrasonic-automatic detection of the workpieces with sculptured surface[J]. China Mechanical Engineering, 2012(2): 25-28.
- [9] 李丽红. 定位误差计算的分析研讨[J]. 机械工程与自动化, 2006(5): 141-143.
LI Lihong. Analysis and exploring in calculation of location error machine building and automation[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2006(5): 141-143.
- [10] 李大磊, 王晓洁, 郑艳萍. 定位误差的本质及其计算方法讨论[J]. 机械工程师, 2005(9): 88-89.
LI Dalei, WANG Xiaojie, ZHENG Yanping. Discussion about essence and calculating ways of positioning error[J]. Mechanical Engineer, 2005(9): 88-89.

(责编 海山)