

# 三坐标测量机在航空发动机叶片测量中的应用

刘美娜,袁晓庆

(中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司,辽宁 沈阳 110043)

**摘要:**航空发动机是飞机的动力核心,其内部结构极为复杂且对于加工的质量要求极高,是一个国家工业实力的集大成之作。为确保航空发动机的制造质量需要积极做好航空发动机中各项零部件的设计与测量,确保各零部件能够达到所设计的技术标准。三坐标测量机是一种快速测量设备,通过应用三坐标测量机利用二维曲线扫描的方法能够对复杂的发动机叶片型面进行测量。本文在分析三坐标测量机在航空发动机叶片测量中的应用的的基础上对如何在航空发动机叶片叶型计算时探针半径补偿的误差进行分析,确保使用三坐标测量机所测量数据的准确性与可靠性。

**关键词:**三坐标测量机;航空发动机叶片;叶型;二维曲面

[DOI]10.12231/j.issn.1000-8772.2020.34.197

## 1 前言

航空发动机结构复杂,组成的零部件众多,为确保航空发动机的制造质量需要做好航空发动机各组成零部件的制造与精度检测。航空发动机叶片是一种复杂的机械零部件,由于航空发动机叶片具有复杂的型面和几何尺寸因此在航空发动机叶片的检测中可以采用接触式三坐标测量机利用二维扫描的方法来构建航空发动机叶片的型面曲线,完成对于航空发动机叶片几何精度的测量。

## 2 三坐标测量机在航空发动机叶片叶型检测中的应用

三坐标测量机是一种应用于复杂零部件及大型零部件快速测量建模的设备,通过利用三坐标测量机能够对复杂的几何零部件进行精度测量。三坐标测量机在工作的过程中通过利用探针在工件上进行密集的测点或是扫描等接触式测量的方法来进行零部件建模所必要的测量数据的采集,而后通过对所检测到的各种数据利用软件计算拟合成所需要的各种测量元素并完成相关数据的测量与分析。相对于传统的测量方式利用三坐标测量机进行相关数据的测量能够快速、高效、高精度的完成各种复杂零部件精度数据的测量,且测量的方法具有多样化和数据处理快速等特点。

以某型号航空发动机转子叶片为例使用三坐标测量机进行相关数据的测量。测量时所采用的三坐标测量机测量精度能够达到 $(1.5+L/350)\mu\text{m}$ 的测量精度,所需要测量的叶片具有较大的尺寸和扭转,因此对测量的精度要求较高,该叶片沿叶片积叠轴向方向倾斜角最大法线与型面的夹角能够达到 $20^\circ$ ,对三坐标测量机的测量提出了较大的挑战。为做好该叶片的测量首先需要做好测量前的准备工作,做好该叶片的装夹,确保其在测量的过程中三坐标测量机的探针能够对叶片的各个型面元素进行精确的测量,且三坐标测量机的探针不会在测量的过程中超出边界。同时由于叶片的型面复杂所需要测量的元素众多需要对测量中所使用的各种型号的探针进行校准,且测量同一型面不同角度的探针大小必须一致。下文中所使用的探针都采用的是直径为 $1\text{mm}$ 的探针。在做好测量前的准备后,可以开始进行对叶片的测量,首先建立相应的坐标系,打开测量软件建立新的测量程序并导入数学模型,而后根据设计图纸的要求选择相应的几何元素作为基准,通过平移和扭转建立相应的坐标系,使坐标系与图纸中叶片的叶型坐标一致,在完成相关坐标系的建立后后继测量都将在该坐标系下完成。在测量中需要根据航空发动机叶片型面的大小和位置建立安全平面,确保测量中自动测量时不会碰撞工件或是超出测量边界,确保航空发动机叶片测量的安全性。根据航空发动机叶片中每个型面在叶型坐标系下的高度。在数学模型上截取所需要测量的二维曲线,按照曲率定义每个二维曲线的名义点位置和法线,使得前尾缘处的点步距较小,叶盆叶背的点步距较大。对航空发动机叶片测量中的各测量元素和被测叶型曲线的测量程序进行相应的编辑,对各测量元素的具体测量位置、方法、所使用的探针以及探针在测量安全平面的方向、安全距离和回退距离等进行相应的设计和标定。对于航空发动机叶片的叶型曲线使用4段扫描的方法来进行相关数据的测量,在各测量数据中对于航空发动机叶片的分叶盆、叶背、前缘和尾缘等分成4段进行扫描。扫描中航空发动机叶片的叶盆和叶背的扫描速度较快,剩余的部分扫描的速度较慢,在扫描中各段扫描需要采用相同大小的探针,用以确保各段扫描测量时各探针所使用的补偿数据相一致。在完成了对于航空发动机叶片被测叶型曲线

的扫描测量后,将所测得的数据进行导入计算,通过最佳拟合计算得到实测叶型曲线和前尾缘放大图,通过建模计算出航空发动机叶片各项参数并以此来判断航空发动机叶片的叶型曲线是否符合相关设计要求。航空发动机叶片各项测量参数可以汇集统一到一个测量报表中,并以TXT的形式输出供相关人员查阅。在对后续叶面进行测量时可以重复上述步骤进行航空发动机叶片相关数据的测量。

## 3 航空发动机叶片叶型计算时探针半径补偿误差的计算

在使用三坐标测量机对航空发动机叶片型面数据进行测量时,受到航空发动机叶片测量方法或是测量原理的影响将会使得测量结果产生半径补偿误差,从而对航空发动机叶片测量数据的准确性产生较大的影响。三坐标测量机所使用的探针尖端所谓红宝石球或是碳素球,使用三坐标测量机进行测量时所获取的数据为探针测头球头球心的位置,而实际的接触式测量中探针球头与接触点的接触为球头的表面而非球心,为确保测量数据的准确性需要对测量结果进行半径补偿从而得到实际的测量坐标值。半径补偿的方向是名义点的法线方向(在XY平面内的二维方向),而叶片叶型则是自由面。实际上叶片上的点的法线方向是三维方向,从而使得在对测量点进行半径补偿时所测量的结果存在一定的补偿误差。在对三坐标测量机测量结果进行实际测量时因触发测量力的原因导致接触式测量时三坐标测量机测头中心坐标的Z值会与名义Z值产生一定的角度偏差,这一测量偏差值将会随着被测物体表面倾斜角度的增大而增大,以某航空发动机叶片为例其扭矩角度最大能够达到 $20^\circ$ ,以这一数据来对三坐标测量机测量时的补偿误差进行计算,探针半径为 $0.5\text{mm}$ ,代入航空发动机叶片的相关数据后进行计算发现该叶片的最大半径处补偿误差约为 $0.0142\text{mm}$ ,此外,在使用三坐标测量机对发动机叶片进行测量的过程中还会产生一定的不确定度,经过计算所得到的相关数据满足相关测量要求。

在使用三坐标测量机对航空发动机进行几何数据测量的过程中,一般情况下航空发动机叶片叶身的弯曲扭转很小、法线方向的误差也较小,因此所产生的半径补偿误差也较小,对于一些小型的航空发动机叶片在测量时出于所测量航空发动机叶片轮廓的技术要求而无需对补偿误差进行考虑。但是对于一些大型的叶片,由于其扭转较大对叶片进行测量的过程中截面上的测量点的法线方向与XY平面的夹角较大,在XY平面上进行半径补偿时将会产生较大的半径补偿误差,为确保测量结果的准确性需要对这一影响因素进行考虑并通过计算来对其进行控制,确保测量结果的准确性。

## 4 结束语

三坐标测量机在航空发动机加工精度的测量中有着良好的应用前景,本文在分析三坐标测量机测量特点的基础上对三坐标测量机的测量方法、步骤以及测量过程中所产生的半径补偿误差进行了分析介绍,对如何做好航空发动机叶片的精度测量进行了分析说明。

## 参考文献

- [1] 蔺小军,单晨伟,王增强,等.航空发动机叶片型面三坐标测量机测量技术.计算机集成制造系统,2012,18(1):125-131.
- [2] 闫峰.三坐标测量机在航空发动机叶片型面检测中的应用.科技与企业,2015(2):210-211.
- [3] 黄智,李超,李凯,等.航空叶片型面三坐标检测技术现状及发展趋势.航空制造技术,2017,60(21):73-79.