

doi:10.16576/j.ISSN.1007-4414.2025.02.038

基于函数运算巧妙测量空间尺寸方法应用*

万方前,刘建伟,李寒荣,张多会

(东方汽轮机有限公司,四川 德阳 618000)

摘要:很多大型产品零件上空间斜孔的定位尺寸测量较为困难和复杂,且具有耗时长、成本高、效率低等特点。该文从某零件空间斜孔的结构和测量难点入手,开展了测量方法研究,制定出了方便、高效的测量方案,并通过实例验证了该方法的可行性。该测量方法可以实现空间任意角度孔位置尺寸特征的精确测量,对异型零件检测、逆向工程测绘等具有一定的借鉴意义。

关键词:三角函数;空间尺寸;斜孔;现场测量

中图分类号:TG806

文献标识码:A

文章编号:1007-4414(2025)02-0143-03

Research on the Method of Cleverly Measuring Space Size based on Function Operation

WAN Fang-qian, LIU Jian-wei, LI Han-rong, ZHANG Duo-hui

(Dongfang Steam Turbine Co., Ltd, Deyang 618000, Sichuan, China)

Abstract: The positioning size measurement of the space diagonal holes on many large-scale product parts is difficult and complicated, time-consuming, costly, and inefficient. In this paper, starting from the structure and measurement difficulties of the space diagonal hole of a certain part, the research method is carried out, a convenient and efficient measurement scheme for field use is also developed, and the feasibility of this method is verified through an instance. This measurement method can realize the precise measurement of the positioning characteristics of the space diagonal holes at any angle, which has certain reference significance for the detection of alien parts, reverse engineering surveying and mapping.

Key words: trigonometric function; space size; inclined hole; field measurement

0 引言

机械加工行业很多产品都存在结构特殊性,设计人员会在产品图纸上增加一些空间角度斜孔。为了确保工程图纸的准确性和清晰度,并使工艺人员和操作人员能够准确理解主要信息,以减少加工错误,提高零件的加工质量和加工效率,一般在图纸上会对空间斜孔进行空间定位尺寸的标注。普通竖孔检测过程需要进行测量加转换计算,空间斜孔的定位尺寸检测更需要精确的测量加计算。要实现现场人工手动快速检测尺寸难度较大,方法及操作不当均对测量结果造成很大影响,如何在产品加工现场简便、准确、高效地测量出空间斜孔定位尺寸是质量检测行业目前面临的一个难题。笔者针对空间尺寸不易直接测量问题,以空间斜孔的结构和测量难点入手进行了测量技术研究,得出了一种空间尺寸测量方法,解决了长期以来困扰机械行业空间斜孔无法精准测量的难题。

1 测量背景

针对文中提及的空间斜孔,可采用专业设备测量(如激光测距仪、红外线测量仪、三坐标等)。这些设备需要定期校准和维护,以保证其精度和稳定性。测

量时若人为因素导致操作不当也会对测量结果产生影响,因此需要专业的测量人员进行操作。目前三坐标作为一种高效的精密仪器,被广泛应用于制造业的各个领域中^[1],是质量检测行业中最快捷、精确、普遍的检测工具,三坐标检测能够测量普通检查工具无法测量的复杂形状工件。

针对文章提及的大型结构产品,若采用三坐标设备进行测量,测量过程还需要人工转运;同时,测量时找正是三坐标测量中最为重要的一步,所建立的测量基准的准确性直接影响到测量结果的可靠性^[2]。因此,在测量过程中需要操作人员在测量设备上反复调整零件的加工位置以便建立坐标系,这不仅导致测量速度较慢,同时也对零件本身以及使用环境提出较高的要求。在传统工序上,采用三坐标测量仪进行检测时,为了节省时间,一般都会选择在产品所有工序加工完后进行统一检测,但这种情况若出现加工偏差,就需要重新补充加工或者报废处理。此类方法陈旧且死板、对现场要求高、耗费时间长,对设备利用率、产品加工效率、产品质量系数等方面产生巨大浪费。若直接采用现场装夹或不下机床直接进行检测的方式,则对生产效率及产品的质量研究来说均是一个很

* 收稿日期:2024-12-13

作者简介:万方前(1989-),男,重庆人,特级技师,主要从事电站汽轮机中小类关键零件工艺方法及制造技巧方面的研究工作。

好的提升方向。

通过研究和反复测算,文章设计出一套能够在加工过程中精准测量空间斜孔位置的快速高效方案。

2 零部件结构分析及测量分析

2.1 零部件结构

斜孔测量示意图如图1所示,其端面分布一个直径为 ϕB 的斜孔,斜孔与基面 D 存在一个夹角 C ,需要精确测量图1中的 A 值。 A 值一端为空间点,无法直接检测,需要借助工具转换和计算才能测出。

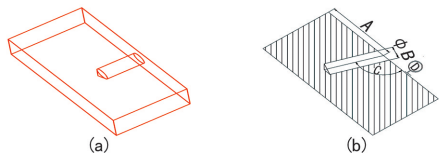


图1 斜孔测量示意图(求 A 值数据)

2.2 测量方法原理

测量空间角度斜孔定位尺寸,文章主要利用的原理是三角函数。三角函数是数学中一种重要的函数,用于描述直角三角形中的角度和边的关系^[3]。常见的三角函数包括正弦、余弦、正切等。通过这些三角函数运算规则,可以将三角函数的值进行计算和转换。三角函数的研究涉及多个领域,包括数学、物理、工程、计算机科学等。在解决实际问题时,三角函数的应用也十分广泛。因此,对三角函数进行学习和研究具有重要的学术和实践价值。

三角函数测量空间尺寸是一种基于几何学的测量方法,它利用三角形的三个边长和角度来计算空间尺寸。这种方法通常需要使用测量工具,如卷尺、激光测距仪等,并通过三角函数公式来计算空间尺寸。

首先,要确定三角形的三个边长,通常需要使用测量工具来获取这些数据,直角三角形和任意三角函数如图2所示。然后需要确定三角形的角度,通常需要使用角度测量仪器来获取这些数据。接下来使用三角函数公式计算空间尺寸。这些公式包括正弦、余弦、正切等,可以根据不同的需求选择不同的公式。但是,这种方法也有一定的局限性(如测量误差和环境因素)。因此,在使用这种方法时,需要谨慎处理数据并进行多次测量以获得更准确的结果,三角函数计算公式如表1所列。

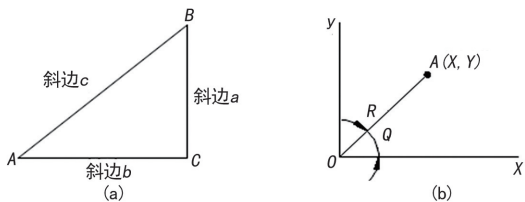


图2 直角三角形和任意三角函数

表1 三角函数计算公式

类别	计算公式(直角)	计算公式(任意角)
正弦 sin	$\sin A = a/c$	$\sin a = y/R$
余弦 cos	$\cos A = b/c$	$\cos a = x/R$
正切 tan	$\tan A = a/b$	$\tan a = y/x$
余切 cot	$\cot A = b/a$	$\cot a = x/y$

3 测量装置介绍

文中采用的技术原理包括球头旋转 360° 空间范围内半径值恒定不变的原理以及三角函数换算关系,并使用文章所述的测量装置进行斜孔位置尺寸测量。

首先,利用球头旋转 360° 空间范围内半径值恒定不变的原理制造了一种通用的测量装置。该装置一端面采用螺纹连接,测量头如图3下端所示,另一端面采用球头 360° 回转原理,如图3上端所示。接着,制作一根与被测量加工孔等径(ϕB)的芯棒,如图4下端所示,将芯棒与测量装置连接并插入已预先加工好的孔内,如图5、6所示。采用常规卡尺测得尺寸 E 值,通过测量 E 的距离,即可准确计算出 A 的尺寸,最终达到快速且精准的测量,其中 A 值检测公差要求 ± 0.01 mm。

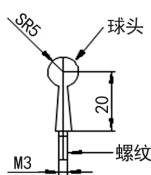


图3 测量头

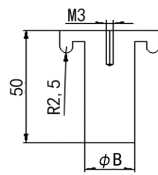


图4 测量芯棒

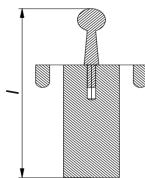


图5 测量装置安装示意图

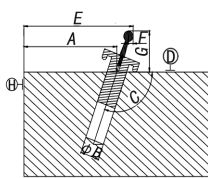


图6 测量方法示意

具体测量时需将芯棒配准外圆后穿入待测量孔,将测量头安装至芯棒螺孔中,使用千分尺测量 E 尺寸、 G 尺寸,利用斜孔角度 C 及三角函数可计算出斜孔中心的位置尺寸:

$$A = E - [G/\tan(180^\circ - C)] - F \quad (1)$$

式中: F 为球头半径尺寸。

4 检测量具

借助检测量具检测图6中的 E 值和 G 值,为了满足测量球头和零件的检测点高低差,选用的测量工具可采用伸缩爪游标卡尺(数显游标卡尺)和深度游标卡尺配合检测。经过市场调研,目前市面上主要的测量工具是伸缩爪数显卡尺,其使用范围及精度如图7和表2所列。结合图6的装配结构,只要 $G \leq 70$ mm,均可采用文中的检测方法。

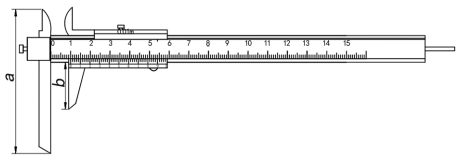


图7 伸缩爪游标卡尺结构图

表2 伸缩爪数显卡尺使用范围

测量范围/mm	分辨率/mm	测量精度	a	b
0~150	0.01	±0.03~0.04	110	40
0~200	0.01	±0.03~0.04	120	50
0~300	0.01	±0.04~0.05	130	60
0~500	0.01	±0.06	210	100

注:表格数据仅代表市场调研的数据

5 误差分析

只要是尺寸检测,测量过程都会存在测量值和真实值之间的差异,主要的测量误差如下。

(1) 技术误差 这是因测量技术的限制引起的,也可能是因测量方案的不完善或不适用而产生的,其可以通过改进测量方法或使用更高精度的技术来改善。为了减少测量误差,文中需要保证配合面精度:

①使图6中基准面H精度加工满足Ra 0.8,图3中测量头球头加工精度满足Ra 0.8;②使测量芯棒 ϕB 与零件 ϕB 孔的配合精度保持在0.01 mm以内;③测量头与测量芯棒的M3螺纹装配后,多次测量E值,使其数值误差保持在0.01 mm以内。

(2) 随机误差 其也称为偶然误差,是由于测量过程中不可预测的随机因素引起的误差^[3]。为了保证实验数据准确,在实际试验过程中,多次反复测量相同尺寸,再选择平均数进行计算。

(3) 人为误差 这是由于操作者操作不当、读数不准确等引起的误差。为了减少测量误差,参与检测的操作者均是在行业内经验超过十五年以上的老师傅参与,同时在检测过程中采用“三检”原则,以防止产生检测质量问题。

(4) 仪器误差 这是由测量仪器自身的精度限制和校准不当引起的误差。为减少该误差,在实际检测过程中需定期对测量工具进行校准,确保其精度符合标准要求;测量尺寸前使用标准件对设备进行校准,并将仪器设备归0位。

计算上述累计误差为:

$$\begin{aligned} \delta &= \sqrt{10^2 + 10^2 + 40^2 + 20^2} = \pm 47 \mu\text{m} \\ &= \pm 0.047 \text{ mm} \end{aligned} \quad (2)$$

(G值检测卡尺采用分辨率0.02 mm的深度卡尺,伸缩爪数显卡尺测量精度按0.04 mm计算。

文章介绍的测量方法适用于图6中A值理论误差 $\geq \pm 0.05$ mm的产品零件。

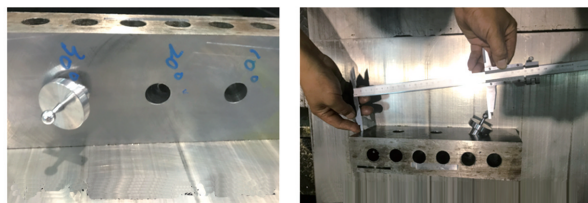
6 方法应用

使用文中所述方法测量如图6某工件空间斜孔

位置尺寸A值。首先测量 ϕB 值并根据该值配做等尺寸芯棒。将芯棒与测量装置连接,并插入已预加工好的孔内,采用常规卡尺即可测得尺寸E值,通过测量E距离,即可准确计算出A的尺寸,最终达到快速且精准的测量。

具体实施步骤:①测量装置制作;②清理干净待测工件;③测量待测孔直径尺寸 ϕB ;④根据 ϕB 值配车芯棒外圆、测量头,粗糙度按Ra 0.8执行,所有尺寸公差均要求保持在0.01 mm以内;⑤将测量头安装至芯棒中;⑥准备伸缩爪数显卡尺、深度尺等常规测量工具;⑦至少三次测量图5中I值,保证测量值误差在0.01 mm以内;⑧将测量装置整体安装至待测孔;⑨使用伸缩爪数显卡尺检测测量头球面至要求位置间的尺寸E值,至少三次测量,保证E值检测误差在0.01 mm以内;⑩测量测量头至工具端面的距离G值;⑪根据文中所述计算公式换算出A值。

通过多次试验验证,证明此方法能完美实现空间任意角度孔位置的精确测量,空间斜孔定位尺寸测量示意图如图8所示。项目中大型产品中的空间孔定位尺寸检测满足上述条件,不需要单独上三坐标等设备测量,且达到一次返修100%合格的效果。



(a)通过3种不同角度的斜孔进行试验验证 (b)通过常规量具(卡尺)就可以进行测量

图8 空间斜孔定位尺寸测量示意图

7 结语

通过反复验证证明,该方法结构简单、通用性强、安全可靠。测量方案时需要制作的专用测头简单、通用,可实现各类规格的快速更换。拆卸、组装过程时,不需要专业的工具,双手就可完成。在突破了空间斜孔位置尺寸必须上机床检测的传统模式的同时,解决了长期以来困扰机械行业空间斜孔无法精准测量的难题。该方案可应用于机械制造行业及公司汽缸、重型燃机、军工等大型项目空间孔位尺寸检测、逆向工程测绘等,具有很好的应用潜力和推广价值。

参考文献:

- [1] 柴楠,范效礼.零件空间尺寸测量方法探析[J].质量与标准,2024(27):137-140.
- [2] 张琼元,杨功显,赵代银,等.大尺寸重型燃机叶片三坐标测量方法[J].东方汽轮机,2016(3):46-49.
- [3] 刘志威,谢佳珂,于玉露.某型叶片三坐标测量技术研究[J].东方汽轮机,2023(4):68-71+75.