

# 关节臂式坐标测量机测量力误差分析及补偿

谭 捷

(广西机电技师学院, 广西 柳州 545005)

**摘 要** 在当今制造行业的发展过程中, 坐标测量仪的实际应用需求大幅度增加, 基于正交坐标系的实际传统三坐标测量机在应用过程当中会受到一定程度的限制。而基于非正交坐标系所构建的关节臂式坐标测量机, 其自身重量相对较轻, 体积较小, 操作具有高度的便捷性, 携带较为便捷, 测量范围相对较大, 价格较为适宜。在应用过程中, 与传统的三坐标测量机进行比较, 关节式坐标测量机在实际构建当中相应的测量精度相对较低, 由此也对其实际推广应用产生一定程度的影响。在此次研究过程中, 对关节臂式坐标测量机的实际测量力误差进行综合性的分析, 并且对其主张工作进行探究, 希望能够使我国关节臂式坐标测量机所具有的应用精准度得以大幅度的提升, 确保该种坐标测量机在应用过程中能够拥有更加广泛的应用场景。

**关键词** 关节臂坐标测量机 测量力误差 误差补偿

中图分类号: TH721

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2022)06-0106-03

## 1 前言

关节臂式坐标测量机在应用过程中主要基于旋转关节以及相应的转动臂的三坐标测量机测量的综合系统。实际构建过程中, 会以角度测量基准, 对长度测量基准进行综合性的取代。在应用过程中, 以传统性的三坐标测量机进行比较, 其自身机械结构相对简单, 体积较小并且效率相对较高。在应用过程中, 重量相对较轻, 所具有的测量范围相对较大。在应用过程中具有更高的灵活性, 造价低廉, 能够进一步地开展更加优质的现场测量工作。其可在航空、航天、飞机、汽车、机械加工、船舶等诸多领域进行综合性的应用。目前, 制约关节臂式坐标测量机的实际发展因素, 主要在于其测量所具有的经营度, 最主要的点在于转角的实际误差主要包含光源偏心误差以及实际的零位误差等诸多内容。但实际测头系统所存在的误差也无法将其予以忽视, 测头系统在整体关节臂式坐标测量机的购进过程当中是极为关键的部件。测头所具有的精度在一定程度上会对实际关节臂测量所做的重复性以及精度产生一定程度的影响。在实际测量时, 为了确保测头与实际被测件的表面能够有效接触, 需要以一定的测量力在实际的测件表面予以作用, 由此能够使测头与被测件表面产生一定程度的接触。变形测杆在实际力的作用之下会出现弯曲变形的情况。通常而言, 可以进一步地通过定期对测头开展综合标准的方

式, 确保测头其自身存在一定程度的测量精度。然而, 当前在实际测量过程中, 往往会忽略测量力的实际影响。

相关研究表明, 接触测量机是对实际坐标测量机测量精度产生影响的重要因素, 不可将其忽略, 测头系统在构建过程中是实际高精度测量机极为重要的组成部分。

国内相关的学者在研究过程中, 对正交式坐标测量机的源头开展了更加深入性的分析及研究, 并且对影响正交式测量机测头性能各项因素进行详细的分析, 可将其分为测头所存在的几个形状测头所具有的逼近方向, 测头出发的实际系统以及实际的测量力与采样之后等诸多内容, 我国部分学者在研究过程中, 对测头所具有的误差来源进行综合性的分析, 并且提出了实际测头动态直径以及微平面相结合的应用方法, 对实际的测头直径开展综合性的补偿。

国外的部分研究人员在研究过程中, 通过对测头所具有的结构开展综合性的建模, 并且以传感器对实际测头的动态误差开展综合性的测量, 对实际触发式测头开展综合性的受力分析, 对测投模型予以形成的变化, 进行定量分析, 由此对各类影响因素予以分析。

相应的研究方法在实际的构建过程中, 主要会在正交式坐标测量机的构建中予以应用, 在一定程度上使得正交式坐标测量机所具有的测量精度大幅度地提升。但对于关节臂测头系统的研究而言, 其数量相对较少。

在研究过程中,主要会集中在测头余弦误差以及实际的测头半径补偿误差的分析过程当中,无法对实际接触测量力这一潜在因素的影响进行详细的考量,并且无法补偿在校准及测量时其测量力产生的误差。在此次研究过程中,会针对关节臂接触式测头测量开展更加深入的研究,通过分析探究接触测量力以及长度测量误差之间所存在的现实关联,并且对测头部分所具有的情况进行受力变形建模,由此获得测量力以及关节臂误差之间所存在的映射关联。<sup>[1]</sup>

## 2 对关节臂式坐标测量机测量力进行分析并建模

当前我国在实际发展过程中,已经能够充分地将关节臂式坐标测量机进行综合性的应用,在实际的测量力的分析当中起到了较为优质的作用,传统的模式与关节臂式坐标测量机相比仍然存在一定程度的缺陷,而若想使关节臂式坐标测量机在应用过程当中能够得到有效的普及,需要对其实际的应用效果进行更加细致的分析。

其一,需要对实际关节臂式坐标测量机在实际应用过程当中所具有的工作原理进行分析。

其二,需要对接触测量仪的误差进行综合性的探究,而后在研究过程当中需要进一步地对相应的问题进行详细的思考,并且依照具体的问题情况开展相应的测量补偿工作,以下对实际的测量力进行综合性的分析,通过建模的方式进行有效的探究。

### 2.1 对关节臂式坐标测量机的实际工作原理进行分析

关节臂坐标测量机在构建过程中,与传统的正交式坐标测量机会存在一定程度的差异性特征。在构建过程中,主要在于非正交柔性坐标的实际测量,即在构建过程当中会有一个基座以及三个角度编码器与两个测量臂以及一个测头进行有效的串联而成。在此构建过程中,基于该种串联结构能够使结构参数误差被逐级地放大,由此也会对其实际的精度产生一定程度的影响,并且会限制其自身所具有的关节臂测量,在实际构建过程中所具有的空间坐标由6个关节角度关节长以及相应的测量臂长与实际测头源头数据决定。<sup>[2]</sup>

### 2.2 对接触测量力的误差进行分析

由于接触测量力的实际影响,使测头与实际的被

测件在接触过程当中,其实际局部会出现接触变形问题,不同材质以及几何表面的特性在一定程度上均会产生各类差异性的变形量。此外,在测量过程中,相应的测杆也会出现弯曲变形问题,并且实际的测量力会造成测杆弯曲变形,对实际的关节臂精度产生极为突出的现实影响。为了进一步对关节臂接触测量力所存在的误差主要因素进行详细的分析,需要充分地对其测头局部接触变形以及具体的测杆弯度变形开展有效的理论建模分析。首先,对局部变形模型进行分析。在实际研究过程中,较为常见的接触形式主要为点面接触以及线面接触,同时也包含面面接触模式。关节臂在构建过程中属于相应的线面基础模式,实际的接触点压强变大,由此引起变形,误差度会大幅度的增加。赫兹公式在实际应用过程中,是对局部接触变形进行求解的较为优质的方式,依照赫兹公式能够更加简单地对局部变形量以及测力的关系进行有效的求得,能够构建较为简单的局部变形量的示意图。在实际构建过程当中,假设测定球的半径为 $R_1$ ,被测件的半径为 $R_2$ ,则被测体在实际构建过程中,作为平面以及相应的近似平面时,其自身取力会达到 $1/R=0$ ,由此,在实际半径 $R$ 的构建过程中,则能够以 $1/R=R_1+1/R_2$ 予以表示,由此便可求得 $R=R_1$ 。根据赫兹公式可以表明,局部接触变量以及作用力成正比,与两接触体之间所具有的曲率呈反比关系。<sup>[3]</sup>可以求得测量力所引起的局部变形量相对较少,而对于大小为 $10N$ 的测量力而言,所造成的局部接触变形量将达到 $1$ 微米左右,而在实际的测量过程当中接触测量力就实际而言,往往并不会超过 $10N$ ,由此造成的变形误差相对较小,因此可以对局部变形对于实际关节臂测量所存在的精度影响予以忽略。

对测杆弯曲变形模型进行详细的分析。在实际的测量过程中,如若其测头接触的方向以及被测面的法线方向无法平行,则测杆在实际测量力的作用之下便会出现相应的弯曲变形问题,由此使得测量出的坐标位置与实际的理论坐标位置相偏离,而因此会产生相对较大的坐标测量误差。依照实际的制造商的技术规格以及具体测量力学中所存在的旋力量的受力分析,对实际关节臂测杆弯曲的变形建模进行综合性的分析。<sup>[4]</sup>

在此次研究过程当中可以发现,关节臂在实际的长度测量工作开展过程中,其测量力与实际测量误差

会呈现出函数变化关系。一般而言,对于5N的接触测量力产生长度的误差,基本在30.9微米左右,由此可以分析出,测头与被测之间所具有的测量力,对于实际关节臂的测量精度影响相对较高<sup>[5]</sup>。

### 3 对测量率误差的补偿工作进行分析

在此次研究过程中,为了使整体关节臂所具有的测量精度提高,需要充分地测量力的误差进行综合性的补偿,补偿方式可以充分地应用测站观测理论,对误差补偿工作进行综合性的优化,同时在实际构建过程中,需要进一步应用最小二乘法拟合关节臂长度的实际测量误差,由此得出相应的测量误差,以及实际测量力之间所存在的函数关系,以此完成对测量力所具有的误差补偿工作。

在此次研究过程中,最小二乘法对关节臂长度测量所具有的误差拟合需要进行详细的分析,并且在研究过程当中相应的测板弯曲变形模型对于实际测量误差理论的误差补偿情况也需要进行深入的探究。在实际研究过程中,通过对比测杆弯曲模型理论误差补偿效果,以及最小二乘法补偿的实际效果,进行了深入的研究。

实际研究过程中,理论误差补偿以及实际的最小二乘误差补偿,在一定程度上能够充分地测量力对实际关节臂长度测量所产生的误差进行有效的补偿。在实际研究过程中,前者所具有的最大测量误差会由0.0810毫米降低到0.0371毫米,在实际研究过程当中可以发现降低约54.2%,其平均物测量误差会由0.0379毫米降低至0.0072毫米,在研究过程中,实际的测量精度提高约81%,而后者在研究过程中所具有的最大误差会降低0.0342毫米。就整体而言,降低约57.8%,就实际而言,其平均所具有的误差降低到了0.0069毫米,实际的测量精度提升约82%。而就实际对比而言可以发现,最小二乘误差补偿效果与理论误差补偿相比,其效果更为优质。

### 4 结语

关节臂式坐标测量机在当前的生产当中有着极为重要的应用意义,能够使实际测量更精确,结果得以大幅度的提升,在运营过程当中有着较高的现实应用效果,需要对其实际应用过程当中所存在的误差问题进行综合性的研究。

在此次研究过程中可以发现,对于关节臂接触测量因素开展相应的理论及实验分析,其主要的创新点在于能够设计一个较为简单的测力装置,能够进一步地将关节臂考虑到实际接触测量力的综合情况之下,开展相应的坐标测量。

通过研究可以发现,接触测量力对于实际关节臂坐标的测量及测量精度的影响,体现在测杆的弯曲变形上,尤其横向变形在实际研究过程中是极为关键的因素,根据测量力所造成的误差开展实际的误差补偿,其结果表明,该方法具有高度的可行性,能够在一定程度上使得测量误差有效地降低。在此次研究过程中仍然会存在一定程度的不完善之处,测量中无法对温度、湿度等诸多环境的影响进行更加细致的考虑,但为了追求准确性,需要尽可能地对各类实验过程中存在的环境影响因素进行有效地排除。在此次研究过程中,需要充分地考虑接触测量力对于实际关节臂式坐标测量机测量精度所产生的影响,对降低测量力的实际影响进行深入的理论分析,并且进行有效的实验分析,同时验证测量力误差补偿的实际方法的正确性,为后续提升关节臂式坐标测量机测量精度奠定了较为坚实的现实基础。

### 参考文献:

- [1] 王学影,王华,陆艺,等.关节臂式坐标测量机参数标定方法[J].农业机械学报,2016,47(06):408-412.
- [2] 高贯斌,王文,林铿,等.关节臂式坐标测量机误差仿真系统建模与分析[J].计算机集成制造系统,2009,15(08):1534-1540.
- [3] 王文,林铿,高贯斌,等.关节臂式坐标测量机角度传感器偏心参数辨识[J].光学精密工程,2010,18(01):135-141.
- [4] 王学影,王华,陆艺,等.关节臂式坐标测量机垂直度误差标定方法[J].农业机械学报,2016,47(11):408-413.
- [5] 陆艺,张培培,王华,等.关节臂式坐标测量机空间误差建模[J].计算机测量与控制,2016,24(07):291-293,297.