

三坐标测量螺纹量规的可行性论证

张欣 李凌梅 孙梅 马艺清 刘佳丽

(天津市计量监督检测科学研究院 天津 300192)

摘要:根据圆柱螺纹量规在工业生产中测量的需求,实验验证了三坐标测量机测量圆柱螺纹量规中径测量系统的可行性。首先对圆柱螺纹量规的中径进行了实际测量,其测量结果与螺纹测量仪和卧式测长机两种方法的测量结果进行比对实验,比对结果证明三坐标测量机测量螺纹量规中径的测量结果达到预定的技术要求,得出结论三坐标测量机的测量系统适用于圆柱螺纹量规的中径测量。

关键词:中径;圆柱螺纹量规;三坐标测量机;对比

中图分类号: TH711 TN06 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 410.55

Feasibility of three coordinate measuring thread gauge

Zhang Xin Li Lingmei Sun Mei Ma Yiqing Liu Jiali

(Tianjin Institute of Metrology Supervision and Testing, Tianjin 300192, China)

Abstract: According to the requirement of measurement of cylindrical thread gauge, the measurement system for measuring the diameter of cylindrical thread gauge with three coordinate measuring machine is verified. Cylindrical thread gauge diameter was measured, the measurement results of measurement results with two other methods to compare the experimental comparison, the results show that the three coordinate measuring machine screw gauge in the diameter measurement results meet the requirements of a predetermined size measurement technology, so the measurement system of three coordinate measuring machine for cylindrical thread gauge in.

Keywords: pitch diameter of thread; cylindrical thread gauge; three coordinate measuring machine; comparison

1 引言

螺纹作为一项重要的机械结构,广泛用于工业生产生活的机械传动、零件连接中,同时能很好的起到紧固、密封作用^[1]。螺纹的准确度是评价螺纹性能的重要参数指标,有效保证了螺纹传动的精密性、连接的可靠性、精密装配上良好的密封性及使用过程中的互换性。其中螺纹测量数据是判定螺纹准确度的重要依据^[2]。

目前,国内仍广泛使用传统的三针、两球、万工显法测量螺纹量规特征参数,这些测量方法易受外界不确定性因素影响,且效率低、无补偿系统,更无法批量快速校准螺纹量规,同时对于大尺寸螺纹量规更是无法校准^[3]。三坐标测量机作为近年来新兴的测量方法,在测量准确性上得到广泛认可,本文利用依据程序算法,自动评价出测量螺纹量规参数,探究用三坐标测量圆柱螺纹量规的特征参数的可行性^[4]。

2 测量螺纹量规的工作原理

三坐标测量机作为新式大型精密测量仪器,其检测精度高、稳定性强、测量方法灵活、自动化水平高,被广泛应用于科学研究及先进测量技术中^[1],实物如图1所示。圆柱螺纹量规的中径、螺距等参数是评定螺纹量规的重要指标^[6]。测量过程中,首先应获得圆柱螺纹量规的母线特征参数,利用三坐标测量系统采集固定于工作平台上的量规螺纹母线上的特征点,建立空间坐标系,获得各点空间坐标值,通过软件程序运算快速获得量规特征参数的数值^[7]。

整个实验测量过程三坐标测量机由软件控制自动运行测量,测量过程智能化、自动化、重复性好,有效地避免了中间过程人为误差的引入,提高了测量精度;同时机械化程序运行有效提高了测量效率,为今后大批量测量螺纹量规提供了技术支持^[8]。测量系统的整体结构如图2所示。

收稿日期:2017-06



图1 三坐标测量机

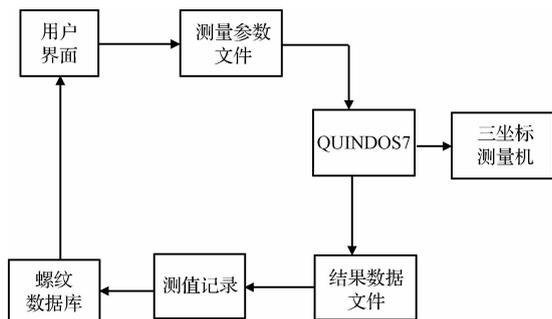


图2 螺纹测量软件的整体结构

3 三坐标校准螺纹量规软件的应用

3.1 三坐标测量螺纹量规

将恒温 24 h 的圆柱螺纹量规垂直放置在坐标机的花岗岩工作台上,保证其在测量过程中与台面无相对移动^[9]。根据圆柱螺纹量规的类型和规格,选择符合最佳球径原则的探针,其测球最佳直径按公式计算并以此作为选用探针的依据^[10]。

$$d_0 = \frac{P}{2} \frac{1}{\cos(\alpha/2)} \quad (1)$$

式中: d_0 为最佳直径,单位为 mm; p 为理论螺距,单位为 mm; α 为理论牙型角,单位为 $^\circ$ 。

调用圆柱螺纹量规(塞规或环规)的自动测量程序。输入量规的型号、规格、编号及量规的旋向、中径、螺距等主要参数的标称值^[11]。校准探针,包含参考探针和星型探针。手动测量量规的平面和塞规外圆(或环规内圆),以量规平面为第一轴,粗建坐标系 CSY(1),确定量规在测量空间内的位置^[12]。

根据三坐标测量机手动粗建坐标系 CSY(1)确定的空间位置,自动运动及探针自动采样螺旋线上各点,从而精建坐标系 CSY(2),确定螺纹量规在测量空间内精确的 x 、 y 、 z 三维坐标轴线的方向和坐标原点^[13]。

利用 QUINDOS7 软件,去除探针受力本身可以感知矢量方向的能力,实现三坐标测量机的自定心功能。应用自定心功能及 DO 循环语句采集 +X, +Y, -X, -Y 方向上 4

条母线的自定心点^[14]。采集的自定心点形成圆柱,以此圆柱的轴线作为 z 轴,建立精确的螺纹量规坐标系 CSY(3),原点 O 是 z 轴与 xy 平面的交点^[15],如图 2 所示。



图3 自动采集自定心点

3.2 数据处理

设定探针与螺纹在最佳接触状态下(即找到对称中心)各节点球心的空间坐标为 $W_{i,j}(X_{i,j}, Y_{i,j}, Z_{i,j})$,其中 i 为探针所测量的第 i 条母线, $i=1,2,3,4$; j 为探针所测量母线由下至上的第 j 牙, $j=1,2,3,\dots,n$ (n 为测量的牙数)^[16]。

当第 4 条母线测量完毕后,计算机采集到相应 4 组坐标值,如表 1 所示。

表1 螺纹量规 4 条母线坐标值

第 1 组	第 3 组
$W_{1,1}(X_{1,1}; Y_{1,1}; Z_{1,1})$	$W_{3,1}(X_{3,1}; Y_{3,1}; Z_{3,1})$
...	...
$W_{1,j}(X_{1,j}; Y_{1,j}; Z_{1,j})$	$W_{3,j}(X_{3,j}; Y_{3,j}; Z_{3,j})$
...	...
$W_{1,n}(X_{1,n}; Y_{1,n}; Z_{1,n})$	$W_{3,n}(X_{3,n}; Y_{3,n}; Z_{3,n})$
第 2 组	第 4 组
$W_{2,1}(X_{2,1}; Y_{2,1}; Z_{2,1})$	$W_{4,1}(X_{4,1}; Y_{4,1}; Z_{4,1})$
...	...
$W_{2,j}(X_{2,j}; Y_{2,j}; Z_{2,j})$	$W_{4,j}(X_{4,j}; Y_{4,j}; Z_{4,j})$
...	...
$W_{2,n}(X_{2,n}; Y_{2,n}; Z_{2,n})$	$W_{4,n}(X_{4,n}; Y_{4,n}; Z_{4,n})$

第 1、3 组和 2、4 组的两条母线测量采集到的坐标值,分别为相对 180° ^[17]。为方便计算,在实际测量采集坐标点中 1 组(0°)、3 组(180°) 在 CSY(3) 坐标系 x 轴方向,则 $X_{2,j}, X_{4,j}$ 坐标值均为 0; 2 组(90°)、4 组(270°) 在 CSY(3)

坐标系 y 轴方向, 则 $Y_{2,j}, Y_{4,j}$ 坐标值均为 0^[18]。

根据计算公式和坐标系 CSY(3) 下采集的各测量点, 评价出螺纹量规中径值。

$$d_2, D_2 = m \mp d_p \frac{1}{\sin(\alpha/2)} \pm \frac{P}{2} \cot(\alpha/2) \quad (2)$$

式中: $m = 1/2(2|X_1| + |X_2| + |X_3|) - (d_a + d_r)$ 。 p 为螺距; α 为牙型角; $(X_1, Y_1, Z_1), (X_2, Y_2, Z_2), (X_3, Y_3, Z_3)$ 为测量点坐标值; d_r 为测球标称直径; d_a 为测球实际直径。

4 验证试验

本文选取规格 G2 管螺纹塞规, 用三坐标测量螺纹量规进行校准后, 从两方面对数据进行对比: 1) 数据的重复性; 2) 校准数据与本院 IAC 螺纹测量仪、卧式测长仪和三针组合出具数据的进行对比^[19]。

4.1 重复性试验

螺纹塞规 G2 用三坐标测量机重复测量 10 次。验证三坐标测量机测量量规的重复性, 如表 2 所示为校准 G2 螺纹塞规量规重复性试验结果。

表 2 10 次测量值

规格	序号	中径实测值/mm
G2 T 端	1	48.091 8
	2	48.091 3
	3	48.091 4
	4	48.090 9
	5	48.092 0
	6	48.091 5
	7	48.091 3
	8	48.090 9
	9	48.091 2
	10	48.090 7

经 10 次测量, 分析测量结果得出, 螺纹量规测量结果重复性较好, 能够满足螺纹量规校准要求^[20]。平均值为 48.091 3 mm。

4.2 校准结果数据对比

用 IAC 螺纹测量仪、卧式测长仪和三针组合对 G2 螺纹量规进行校准, 验证测量结果的准确性。表 3 所示为校准 G2 螺纹塞规数据对比试验结果。

表 3 校准螺纹塞规对比结果

规格	参数	天津市计量院	天津市计量院	天津市计量院
		三坐标测量	螺纹测量仪	卧式测长机
G2 T 端	中径/ mm	48.091 3	48.090 8	48.090 3

三坐标测量结果与螺纹测量仪、卧式测长仪和三针测量结果很接近, 能够满足日常螺纹量规校准要求。

5 结论

本文基于三坐标测量机测量圆柱螺纹量规特征参数。

首先依据量规型号, 选取最佳探针, 选取特征点, 建立精确坐标系, 采集准确母线坐标点, 依据程序算法, 自动评价出螺纹中径值。以三坐标测量机校准圆柱螺纹量规为研究基础, 验证三坐标测量螺纹量规校准可行性。近年大尺寸螺纹测量是螺纹量规测量最薄弱的环节, 传统的测量方法已经不能满足其校准要求。通过本文论证, 从而解决大尺寸螺纹量规的无法检测的困难。

本文实验结果表明, 三坐标测量螺纹结果重复性较好, 能满足量规校准要求, 与螺纹测量仪和卧式测长机实验数据对比结果满足量规校准要求。同时, 量规在确保大尺寸螺纹量值溯源准确性、可靠性、统一性及互换性方面将发挥不可替代的作用。

参考文献

- [1] 王东方, 李全松, 贾鹏, 等. 三坐标测量曲率半径误差评价的新方法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(2): 186-192.
- [2] 原遵东, 王池, 林延东. 确定量值比对参考值的准则[J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(10): 2381-2385.
- [3] 杨洪涛, 刘勇, 费业泰, 等. 三坐标测量机动态误差混合建模方法[J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(8): 1861-1866.
- [4] 张伟昆. 测试性分析与评估体系的研究[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(5): 38-43.
- [5] 严中毅, 李凯. 测量仪器与现代微电子、计算机和软件技术的耦合[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(5): 631-637.
- [6] 孙科, 田怀文. 三坐标测量机测头半径补偿实用算法[J]. 机械, 2009(2): 6-8.
- [7] 夏瑞雪, 陈晓怀, 卢荣胜, 等. 新型纳米三坐标测量机误差检定方法的研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2010, 24(3): 250-256.
- [8] 李源, 孙薇斌, 邵力, 等. 基于 MEMS 微触觉测头和纳米测量机的扫描测量平台[J]. 仪器仪表学报, 2009, 30(3): 580-585.
- [9] 张继宏. 三坐标测量编程[J]. 信息技术与信息化, 2016(5): 65-71.
- [10] 涂文兵, 何海斌, 王筱鑫, 等. 螺纹深度和螺距对螺纹连接强度影响的有限元分析[J]. 华东交通大学学报, 2017, 34(2): 118-123.
- [11] 苏银波. 浅析圆锥管螺纹的测量[J]. 内江科技, 2009(2): 197-198.
- [12] 王文书. 三坐标测量机对大半径短圆弧的测量实践[J]. 上海计量测试, 2010, 28(4): 44-48.
- [13] 王道档, 邹慧, 郭天太. 基于自校正的三坐标机二维平台误差测量技术[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(11): 2451-2457.
- [14] 曹旭, 李明, 韦庆玥, 等. 三坐标测量中测量点数对精度影响的研究[J]. 机械制造, 2013(4): 71-74.
- [15] 王军培, 吴佳伟, 刘澍, 等. NPT 锥螺纹中径的一种测试

方法及其测量不确定度评定[J]. 中国计量, 2009(7): 93-95.

- [16] 朱建荣, 胡学刚. 大螺距螺纹及多头螺纹的检测方法探讨[J]. 工业计量, 2017(2): 25-28.
- [17] 仇谷烽, 余景池, 黄启泰, 等. 接触式三坐标测量自由曲面轮廓的数据处理模型[J]. 光学精密工程, 2013(11): 2813-2820.
- [18] 欧协峰. 螺纹检测技术的发展趋势[J]. 中国计量, 2014(1): 68-70.
- [19] 刘力岩, 郎景梅, 刘琦, 等. 基于轮廓扫描法的螺纹测

量功能的实现[J]. 机械工程, 2009(8): 142-143.

- [20] 潘芳煜, 白跃伟, 聂黎, 等. 三坐标测量机几何误差的建模及测量[J]. 上海第二工业大学学报, 2017(1): 37-42.

作者简介

张欣, 1983年出生, 天津大学工程硕士, 天津市计量监督检测科学研究院工程师, 主要从事几何量计量工作.
E-mail: tjilyzhangxin@126.com

(上接第33页)

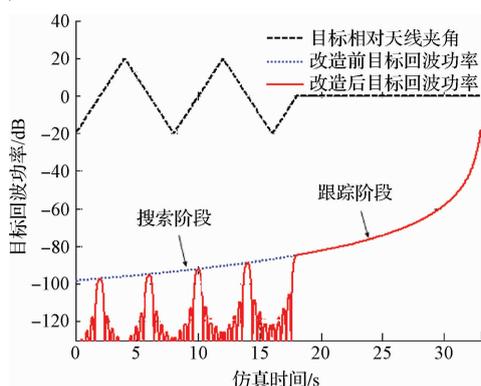


图5 改造前后目标回波功率变化曲线对比

5 结论

随着雷达制导射频仿真试验系统应用的不断深入, 原本粗放式的信号模拟方法已经无法满足贴近实战仿真任务的需求, 对电磁环境的细微特征逼真模拟将是射频仿真系统不断追求的目标。本文从半实物仿真实践中发现的末制导雷达目标增批、副瓣跟踪问题入手, 找到了产生该问题的根本原因, 并采取辛格函数分段拟合的方法, 利用末制导雷达天线方向图对目标回波功率解算进行了调制, 实现了更为真实的目标回波功率变化过程模拟。实践证明, 该方法可有效的解决雷达制导射频半实物仿真过程中的目标增批以及副瓣跟踪问题, 特别是在抗干扰试验过程中, 能够更为真实的体现出干信比的变化过程, 大大地提高了仿真结果的可信度, 并具有较强的通用性。同时, 该方法也可用于通过功率控制消除由于近场效应带来的阵列天线方向图的主瓣展宽、副瓣抬升现象, 用以提升仿真系统对有源干扰模拟的逼真度。

参考文献

- [1] 顾振杰, 刘宇. 射频仿真系统目标模拟关键技术研究[J]. 雷达与对抗, 2010, 30(4): 5-8.
- [2] 任明秋, 革革新, 朱勇, 等. 复杂电磁环境下雷达抗干

扰性能测试方法研究[J]. 仪器仪表学报, 2016, 35(6): 1277-1282.

- [3] 顾振杰. 反舰导弹导引头仿真试验电磁环境模拟方法研究[J]. 雷达与对抗, 2015, 35(3): 8-11.
- [4] 王永青. 基于DRFM的雷达目标回波信号模拟器设计[J]. 电子信息与计算机科学, 2014, (6): 9-11.
- [5] 赵立, 谢军伟, 盛川. 基于数字射频存储的雷达干扰环境仿真[J]. 计算机仿真, 2014, 31(10): 35-39.
- [6] 刘宇, 顾振杰. 阵列式射频仿真系统中目标特性仿真与实现[J]. 火控雷达技术, 2013, 42(3): 52-56.
- [7] 曲长文, 李亚南. 箔条对毫米波末制导雷达波束的切割效应研究[J]. 系统仿真学报, 2013, 25(2): 356-360.
- [8] 李华, 周建江, 龚树凤, 等. 阵列式半实物射频仿真系统误差建模与分析[J]. 现代雷达, 2013, 35(6): 77-81.
- [9] 刘宇, 顾振杰, 孙志朋. 阵列式射频仿真系统中箔条运动模型研究[J]. 系统仿真学报, 2014, 26(3): 513-516.
- [10] 刘宇, 李亭, 顾振杰. 阵列式射频仿真系统中目标全极化回波模拟方法研究[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(1): 33-38.
- [11] 倪虹, 路军杰, 倪汉昌. 射频仿真系统天线阵设计方案评述[J]. 战术导弹技术, 2010, (4): 104-109.
- [12] 丁鹭飞, 耿富录, 陈建春, 等. 雷达原理[M]. 第四版, 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [13] 刘兴明, 沈建锋, 杨大鹏. 单脉冲雷达天线方向图的BP神经网络建模[J]. 计算机仿真, 2007, 24(8): 133-136.
- [14] 郭琳. 射频雷达模拟器天线方向图的实现[J]. 中国科技信息, 2012(3): 97-98.
- [15] 陈志杰, 李永祯, 戴幻尧, 等. 相控阵天线方向图的建模与实时仿真方法[J]. 计算机仿真, 2011, 28(3): 31-35.

作者简介

徐海, 1978年出生, 本科、工程师, 主要研究方向为导弹武器系统仿真。
E-mail: xuhai_td@163.com