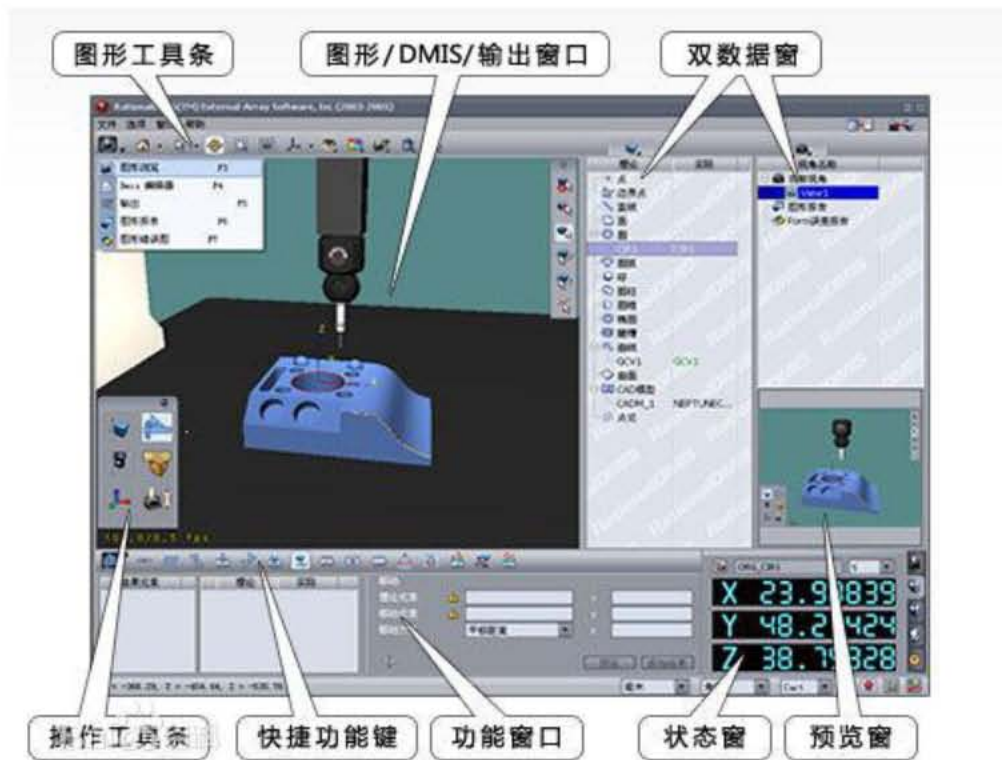




三坐标测量仪



三坐标测量仪实操画面



三坐标测量仪软件操作界面

浅谈三坐标测量机对零件形位误差的测量

李贤义<sup>1,2</sup>,傅建中<sup>2</sup>,陈俊龙<sup>1</sup>,盛刚<sup>1</sup>

(1.浙江大学宁波理工学院机电与能源工程分院,浙江 宁波 315100;2.浙江大学机械工程系,浙江 杭州 310027)

【摘 要】 介绍了坐标测量技术的测量原理及测量机的组成,并描述了三坐标测量机对形位误差的测量过程和测量过程中的注意事项。

【关键词】 三坐标测量机;测头;特征元素

【中图分类号】 TH721 【文献标识码】 A

【文章编号】 1003-2673(2010)05-43-02

1 引言

随着工业现代化进程的发展,伴随着众多制造业如汽车、电子、航空航天、机床及模具工业的蓬勃兴起和大规模生产的需要,要求零部件具有高度的互换性,并对尺寸、形状和位置提出严格的误差要求,在加工设备提高工效、自动化更强的基础上,要求计量检测手段应当高速、柔性化、通用化,而固定的、专用的或手动的工量具大大限制了大批量制造和复杂零件加工业的发展;平板加高度尺加卡尺的检验模式已完全不适用,所有这些促成了坐标测量行业的形成。目前,CMM已广泛用于机械制造业、汽车工业、电子工业、航空航天工业和国防工业等各部门,成为现代工业检测和质量控制不可缺少的万能测量设备。

2 坐标测量的原理

任何形状都是由空间点组成,所有的几何量测量都可以归结为空间点的测量,因此精确进行空间点坐标的采集,是评定任何几何形状的基础。

坐标测量机的基本原理是将被测零件放入它已允许的测量空间,精密地测出被测零件表面的点在空间三个坐标位置的数值,将这些点的坐标数值经过计算机数据处理,拟合形成测量元素,如圆、球、圆柱、圆锥、曲面等,经过数学计算的方法得出其形状、位置误差及其它几何量数据。

3 现代坐标测量技术与传统测量技术的比较

坐标测量机的特点是高精度(达到 $\mu m$ 级)、万能性(可代替多种长度计量仪器)、数字化(把实体的模型转化成数字化的三维坐标)。因而多用于产品测绘,复杂型面检测,工夹具测量,研制过程中间测量,CNC机床或柔性生产线在线测量等方面;只要测量机的测头能够瞄准(或感受)到的地方(接触法与非接触法均可),就可测出它们的几何尺寸和相互位置关系,并借助于计算机完成数据处理。这种三维测量方法具有极大的万能性。同时可方便地进行数据处理与过程控制,因而不仅在精密检测 and 产品质量控制上扮演着重要角色,同时在设计、生产过程控制和模具制造方面发挥着越来越重要的作用,并在汽车工业、航空航天、机床工具、国防军工、电子和模具等领域得到广

泛应用。

从表1可以看出,相对于传统测量技术所需要的人工操作,现代坐标测量技术提供了更多的测量和后续工作的便利性。

表1 传统测量技术与坐标测量技术比较

| 传统测量技术                      | 坐标测量技术                      |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 对工件要进行人工的精确及时的调整            | 不需对工件要进行特殊调整                |
| 专用测量仪和多工位测量很难适应测量任务的改变      | 简单的调用所对应的软件就能完成测量任务         |
| 与实体标准或运动标准进行测量比较            | 与数学的或数字模型进行测量比较             |
| 尺寸、形状和位置测量在不同的仪器上进行不相干的测量数据 | 尺寸、形状和位置的评定在一次安装中即可完成       |
| 手工记录测量数据                    | 产生完整的数字信息,完成报告输出、统计分析和CAD设计 |

4 测量机的基本组成

坐标测量机由测量机主机、控制系统、测头测座系统、计算机(测量软件)几部分组成,如图1所示



图1 三坐标测量机组成

5 三坐标测量机测量的主要步骤

5.1 测头选择

测头部分是测量机的重要部件,测头根据其功能有:触发式、扫描式、非接触式(激光、光学)等。触发式测头是使用最多的一种测头。

一般的测头头部都是由一个杆和测球组成。最常见的测球的材料是红宝石,因为红宝石是目前已知的最坚硬的材料之一,只有极少情况不适宜采用红宝石球。高强度下对铝材料制成的工件进行扫描时,选择氮化硅较好;对铸铁材料工件进行高强度扫描,推荐使用氧化锆球。

为保证一定的测量精度,在对测头的使用上,需要注意:

(1)测头长度尽可能短;探针弯曲或偏斜越大,精度将越低。因此在测量时,尽可能采用短探针。

【作者简介】李贤义(1980-),男,山东聊城人,助理工程师,浙江大学硕士研究生,主要从事坐标测量技术和数控技术的应用与研究。

(2)连接点最少:每次将探针与加长杆连接在一起时,就额外引入了新的潜在弯曲和变形点。因此在应用过程中,尽可能减少连接的数目。

(3)使测球尽可能大:测球直径较大可削弱被测表面未抛光对精度造成的影响。

5.2 测头的校正

不同的测头配置和不同的测头角度,测量的坐标数值是不一样的。为使不同配置和不同测头位置测量的结果都能够统一进行计算,测量软件要求进行测量前必须进行测头校正,以获得测头配置和测头角度的相关信息。以便在测量时对每个测点进行测针半径补偿,并把不同测头角度测点的坐标都转换到基准测头位置。

5.3 建立零件坐标系

使用CMM进行测量时,由于零件本身的复杂性、CMM测量范围和测量角度的限制,一次装夹往往不能获得所需的全部数据,此时需要调整零件和测量系统的相对位置。可以采用建立零件坐标系的方法来保证多次测量数据坐标系的统一。所以,在测量零件前要先进行坐标找正。一般很难直接在零件上找到相互垂直的元素来建立坐标系,但坐标系三个轴互相不垂直又不符合直角坐标系的原则,针对此问题CMM可用3—2—1的方法建立零件坐标系。

3-2-1法建立零件坐标系一般有三步:

(1)找正(用任何元素的方向矢量):找正元素控制了工作平面的方向。

(2)旋转坐标轴(用所测量元素的方向矢量):旋转元素需垂直于已找正的元素,这控制着轴线相对于工作平面的旋转定位。

(3)原点:任意测量元素或将其设为零点的定义了X、Y、Z值的元素。

5.4 测量特征元素

机械加工的零件常常是一些标准几何特征的组合,例如平面、圆、直线、圆柱、圆锥和球。这些特征的几何性质可以把许多测量点用拟合的办法得到。为了测量的目的,每种特征在数学上均定义了最少测点数(表2),例如两点定义一条直线、三点定义一个圆,但三点测圆不会提供形状的信息,为了实用的目的用坐标测量机测量时通常测点多于最少点数,这样可以看出表面的几何误差,这些测点并不需要在表面上等距分布但要求均匀分布,这样保持输入到软件的数据能真正代表被测特征的特性。

用户应当知道测点不要过于规律分布,因为这样可能和机械加工工序中存在的系统或周期误差相一致。

表2 测量特征推荐测量点数

| 几何元素 | 数学所要求的最少点数 | 推荐测点数                                               |
|------|------------|-----------------------------------------------------|
| 直线   | 2          | 5                                                   |
| 平面   | 3          | 9(三条线每线三点)                                          |
| 圆    | 3          | 7(去探知叶形)                                            |
| 球    | 4          | 9(三个平行平面的三个圆)                                       |
| 圆锥   | 6          | 12(四个平行平面的圆,为了得到直线度信息)<br>15(五个点在三个平行平面的圆,为了得到圆度信息) |
| 椭圆   | 4          | 12                                                  |
| 圆柱   | 5          | 12(四个平行平面的圆,为了得到直线度信息)<br>15(五个点在三个平行平面的圆,为了得到圆度信息) |
| 立方体  | 6          | 18(每个面至少三点)                                         |

在零件上所测的数据组输入到坐标测量机的软件去计算得到位置、大小及对理论形状的偏差,为了得到可靠的结果,所测的数据应当反映被测特征的特性,数据太少或不恰当分布可能提供了不可靠的根据而得到错误的结果。用户必须记住恰当分布的测点数越多结论越可靠,但测点越多花的时间越长,用户必须在所要求的精度和速度等方面作经济性的评价。

测量好特征就可以评价所需要的尺寸和形位误差,最后输出打印所要的数据,就完成了测量任务。

6 结束语

三坐标测量机不仅用于零件形位误差的测量,还广泛应用于自由曲面的数字化。随着测量软件的进步,坐标测量技术与软件技术的日益紧密结合,使得测量机的用途日益强大,从单纯的测量设备转化为设计、工艺、制造和检测环节中不可缺少的重要设备。尤其是伴随着数字技术和CAD技术的广泛发展和应用,测量软件成为测量机与其他外设、加工设备和CAD系统沟通的桥梁。测量机不再是消极的是或不是的判断角色,而能够广泛用作逆向设计、生产监督、信息统计、反馈信息等多种用途。

参考文献

[1]海克斯康测量技术(青岛)有限公司.实用坐标测量技术.北京:化学工业出版社,2007.  
[2]海克斯康测量技术(青岛)有限公司.PC-DMIS初级培训手册[P].  
[3]张国雄.三坐标测量机[M].天津:天津大学出版社,1999.  
[4]大卫.弗兰克 诸锡荆.测量的良好实践指南-测量机检测策略,2005.

# 三坐标测量机测量形位公差问题分析

## *Application Problem Analysis for Measure Geometrical Tolerancing With Three Axis Coordinate Measure Machine*

邱玉刚

(哈尔滨飞机工业集团, 黑龙江 哈尔滨 150066)

**摘要:** 本文介绍了利用三坐标测量机测量形位公差时容易出现的问题及其解决办法。

**关键词:** 三坐标测量机; 形位公差; 公差带; 基准; 被测要素。

三坐标测量机因其方便、效率高、精度高已被广泛用于机械零件的检测中。我单位许多机型的关键件都要在三坐标测量机上检测。但在检测过程中也容易出现一些问题, 影响了检测结果, 尤其是在检测形位公差的过程中。

形位公差包括直线度、平面度、圆度、圆柱度、轮廓度、平行度、垂直度、倾斜度、同轴度(同心度)、对称度、位置度、跳动等。由于形位公差本身的特性, 在实际检测中最容易出现问题。

根据被测要素的特征和结构尺寸, 公差带有下列几种主要形式:

- (1) 圆内的区域。
- (2) 两同心圆之间的区域。
- (3) 两同轴圆柱面之间的区域。
- (4) 两等距曲线之间的区域。
- (5) 两平行直线之间的区域。
- (6) 圆柱面内的区域。
- (7) 两等距曲线之间的区域。
- (8) 两平行平面之间的区域。
- (9) 四棱柱内的区域。
- (10) 球内的区域。

测量直线度或平面度时, 一般不建议在三坐标测量机上测量, 因三坐标测量机采点方式和采点数量的限制, 误差较大。可以光隙法利用平尺(圆柱母线的直线度)、刀口尺(平面度)测量。方法简单, 不确定度较小。

在三坐标测量机上检测圆度和圆柱度时, 由于一般采点是在水平与竖直方向上采集4点模拟圆, 通过两个圆模拟圆柱。问题在于采集点时随机性比较大, 可能会漏掉影响测量值的点。出现误差导致测量结果小于实际值。因此在实际检测工作中要根据公差带大小的要求和零件本身几何元素的情况来确定检测方法。一般在加工情况比较好的情况下, 公差在0.03mm以上的圆度或圆柱度值在三坐标测量机上测量, 但必须大量密集采点, 以确保测量结果的准确性。公差在0.03mm以下时应在圆

度仪上进行测量。

在三坐标测量机上检测平行度时, 注意基准和实际作用平面的影响。如图1a、b所示, 基准较短被测元素较大时, 测量确定基准有误差, 被测结果就会成倍增加。(图1a)所以测量基准时一定注意采点位置的选择。基准与被测表面形状也会直接影响测量结果(图1b)。

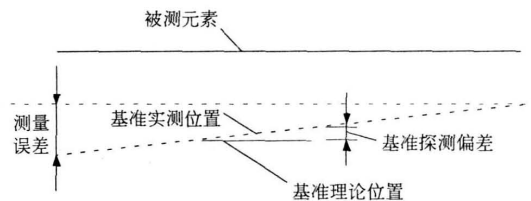


图 1a

采点位置随机在波峰与波谷之间选择, 随机性较大。此时最好利用高精度平台与平行平晶配合测量。此方法能直接拟合出被测工件的实际工作状态。

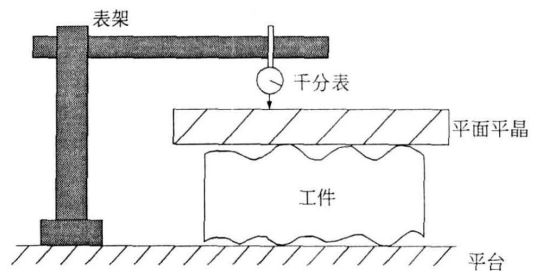


图 1b

测量垂直度时应注意所测基准的长短。如果所测基准过短, 测量误差引入的不确定度会对测量结果影响非常大, 所以测量基准时应尽可能大范围测量。如果基准所在位置不利于采点测量, 可以考虑和被测要素互换测量, 但要求基准与被测要素长度相当。

同轴度在三坐标测量机上进行测量时, 应注意当被测要素在零件内部较深处时, 普通方法很难测量同轴度,

(下转第21页)

于10mm,  $f'(x_0)$  小于 0.8 时, 对焦误差可以忽略,  $f'(x_0)$  大于 0.8 时, 应该按式 (11) 作误差补偿。由于电感传感器外形尺寸的限制, 不适合曲率半径小于 5mm 的凹曲面对焦, 具体分析见表 1。

表 1 300 $\mu$ m~500 $\mu$ m 景深光学测量系统曲面对焦误差分析

| 凸函数 | 曲率        | 无限制                              |                                   |                  |
|-----|-----------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------|
|     | $f'(x_0)$ | 小于 0.8 时, 对焦误差可忽略; 大于 0.8 时, 需补偿 |                                   |                  |
| 凹函数 | 曲率        | $K \geq 10\text{mm}$             | $5\text{mm} \leq K < 10\text{mm}$ | $K < 5\text{mm}$ |
|     | $f'(x_0)$ | 小于 0.8 时, 对焦误差可忽略; 大于 0.8 时, 需补偿 | 小于 0.7 时, 对焦误差可忽略; 大于 0.7 时, 需补偿  | 不适合该对焦方法         |

4 结束语

该系统适合对微小尺寸的准确对焦, 通过误差补偿, 能有效的抑制由于电感测头几何尺寸的影响。文章主要对 300 $\mu$ m~500 $\mu$ m 景深光学测量系统在电感测头半径为 1.5mm 的误差做了详细分析, 在不同的测头半径和不同

的光学系统以及对二维任意曲面的误差分析根据具体情况进行分析, 但思路一样。

参考文献

[1] 张广军. 光电测试技术. 北京: 中国计量出版社. 2002.  
[2] 冈萨雷斯. 数字图像处理(第二版). 北京: 电子工业出版社. 2003.  
[3] 雷玉唐, 罗辉, 马娟. CCD 摄像机的误差及校验. 光学与光电技术. 2004 4(2): 48~49.  
[4] 郑玉珍, 吴勇等. 实时自动对焦的研究. 光电工程. 2004. 4 No. 4 vol (31).  
[5] 李奇. 数字自动对焦技术的理论及实现方法研究. 浙江大学. 2004: 20~25.  
[6] 杨维川. 曲面孔位非接触测量及图像处理技术应用研究. 四川大学硕士论文. 2004.

作者简介: 潘南红, 女, 高级工程师。工作单位: 贵州省凯里学院理学院。  
通讯地址: 556011 贵州省凯里市经济开发区开元大道 3 号。  
张文军, 中航工业北京长城计量测试技术研究所(北京 100095)。  
收稿时间: 2010-05-05

(上接第 17 页)

5 结论

- (1) 由上述公式计算与实验验证结论如下:
- (2) 柯氏干涉仪在量块检定过程中, 其箱体内空气温度波动不应大于 0.06℃。
- (3) 柯氏干涉仪在量块检定过程中, 量块本身温度差不得大于 0.02℃。

量块与平晶研合时, 应在灯光下反复观察其研合面, 应反映出量块工作面的原貌, 可排除由于气隙的存在而使得测量结果不真实。

(上接第 18 页)

只有用三坐标测量机进行测量, 而普通的三坐标测量机探针根本无法探测到大于 200mm 的距离, 只能用加长杆手动探针测量, 选择加长杆时, 应尽量选取短加长杆, 满足测量要求即可。加长杆过长, 一方面校准探针时标准偏差大, 直接影响测量结果。另一方面, 加长杆过长, 三坐标测量机测头所受扭矩过大, 也影响测量结果。

在测外圆同轴度时, 一般将零件固定在 V 型铁上, 此时探针探测圆时, 下面一点无法探测到, 只能探测三点, 此时就容易使圆心的位置与实际情况相比要向上偏移, 产生较大的误差, 测量时应尽可能防止此种情况的发生。

位置度的测量在三坐标测量机上进行最为方便, 在测量时情况也最为复杂。

- (1) 如图 2: 测 4 个小孔对中心孔的位置度。测量时千万不要把圆心 A 和中心孔作为基准, 此种情况产生误差最大。应把四个小孔模拟圆的圆心和其中的一小孔圆心连线作为基准。如果把圆心 A 和中心孔连线作为中心基准, 假设中心孔位置有偏差, 就会造成其它四个孔整体偏移。
- (2) 在测量中, 容易出现一个孔的位置度很好, 而其

参考文献

[1] JJG 146-2003《国家量块检定规程》。  
[2] 程育才编著. 量块. 中国出版社。  
[3] 王承钢, 边长才编著. 量块计量技术。  
[4] 李小亭等编. 几何量计量。  
[5] JJF 1059-1998《测量不确定度评定与表示》。  
[6] JJG 371-2005《量块光波干涉仪》。

作者简介: 何晓延, 男, 高级工程师。工作单位: 陕西省计量科学研究院。  
通讯地址: 710065 陕西省西安东仪路 3 号。  
冯斐, 陕西省计量科学研究院(西安 710065)。  
收稿时间: 2010-05-26

他的三个孔的角度向同一个方向偏, 如上图。此种情况可在数据处理中把四个孔同时向相反方向转一角度, 因为位置度的小孔无定向要求, 偏转一小角度后不会影响装配使用, 故可用。

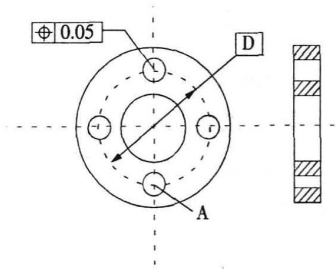


图 2

参考文献

[1] GB/T 1182-1996《形状和位置公差》。  
[2] GB/T 1958-2004《产品几何量形状和位置公差检测规定》。  
[3] HB 7779-2006《形状和位置公差检测方法的一般要求》。

作者简介: 邱玉刚, 男, 工程师。工作单位: 哈尔滨飞机工业集团计量检测中心。通讯地址: 150066 哈尔滨市平房区友协大街 15 号。  
收稿时间: 2010-04-27