

中华人民共和国机械行业标准

JB/T 5996 - 1992

圆 度 测 量 三测点法及其仪器的精度评定

1992-07-17 发布

1993-07-01 实施

中华人民共和国机械电子工业部 发 布

圆 度 测 量 三测点法及其仪器的精度评定

1 主题内容与适用范围

本标准规定了使用测量传感器三测点采样，经误差分离、计算半径变化来确定圆度误差的方法及仪器的精度评定。

本标准适用于在给定条件下，经轮廓变换，以下列任一圆心来评定零件轮廓对理想圆的偏离：

- a. 最小区域圆圆心；
- b. 最小二乘方圆圆心；
- c. 最小外接圆圆心；
- d. 最大内接圆圆心。

本标准规定的方法除可用于一般精度的圆度测量外，还适用于高精度及长度、直径或重量超过一般仪器使用范围的零件的圆度测量。

注：给定条件包括三个测量传感器的位置角、离散采样点数、三个测量传感器触头的形式及测量截面的位置等条件。

2 引用标准

- GB 1182 形状和位置公差 代号及其注法
- GB 7234 圆度测量 术语、定义及参数
- GB 7235 评定圆度误差的方法 半径变化量测量

3 术语、代号

3.1 测量平面

过测量点的假想平面，该假想平面与零件的被测截面重合。

注：测量圆度误差时，零件的被测截面为垂直于零件轴线的假想平面。

3.2 测量方向

在测量平面上反映半径变动的方向。

3.3 三测点法圆度测量

用三个安置在同一测量平面上，且互成一定角度的测量传感器或其他测量器具，在测量方向上进行的圆度测量。如图 1 所示。

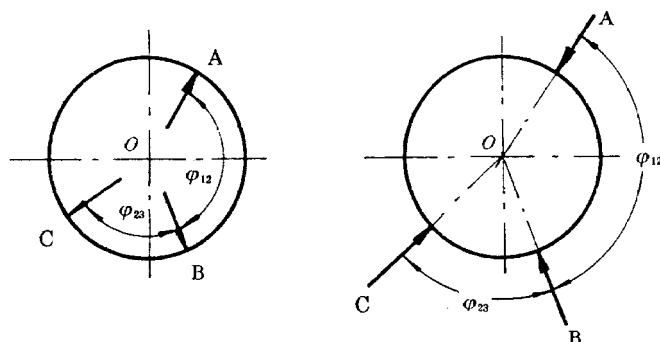


图 1

3.4 基准点

三测点法圆度测量中，被测轮廓无形状失真的测量点。

3.5 最小区域圆

包容显示轮廓，且半径差为最小的两同心圆。

3.6 最小二乘方圆

显示轮廓到该圆距离的平方和为最小的一个圆。

3.7 最小外接圆

外接于轴的显示轮廓的可能最小圆。

3.8 最大内接圆

内接于孔的显示轮廓的可能最大圆。

3.9 评定代号

评定代号由 ΔZ 加上表示相应评定中心的一个角标字母构成。见表。

代 号	评 定 中 心	角标字母
ΔZ_z	最小区域圆圆心	z
ΔZ_q	最小二乘方圆圆心	q
ΔZ_c	最小外接圆圆心	c
ΔZ_i	最小内接圆圆心	i

4 三测点法圆度测量原理及仪器

4.1 测量原理

三测点法圆度测量的原理是以三测点法圆度测量方程所蕴含的理想基准点来比较被测零件轮廓上对应点的径向偏离。三测点法一般以离散采样方式，通过数据处理确定圆度误差。

本测量方法可消除测量仪器（装置）的回转误差对测量的影响，或通过误差分离计算，同时得到试件的圆度误差和测量仪器（装置）本身的回转误差。

4.2 测量仪器

测量仪器一般由基座、回转轴系、测量传感器、电信号处理器及计算机数据处理系统组成。对于在线测量仪器，基座和回转轴系部分可由加工机床本身的相应部分代替。

5 仪器精度的评定

评定仪器精度时，可采用附录 C（参考件）规定的具有一定形状和确定量值的标准试件。

仪器测量误差用绝对误差和相对误差表示，并应分别计算截面和截面任一角位置（即某一采样点所对应的角位置）所对应的绝对误差和相对误差。误差值均应符合规定要求。

附录 A

三测点法测量圆度的测量方程
(参考件)

A1 测量方程

图 A1 为被测截面轮廓, 图中 O 为轮廓中心, O' 为回转中心, A 、 B 、 C 为三个测量传感器, φ_{12} 、 φ_{23} 分别为三个测量传感器的相互位置角。

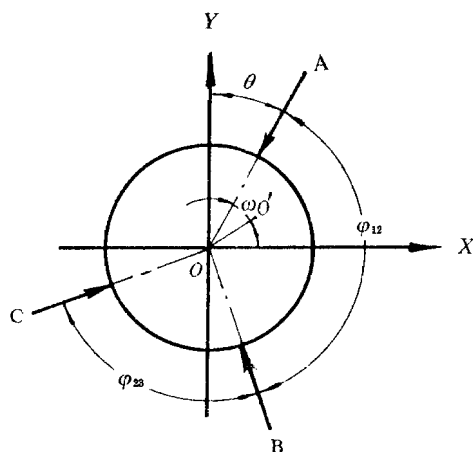


图 A1

设三个测量传感器的输出信号分别为: $A(\theta)$ 、 $B(\theta)$ 、 $C(\theta)$, 则:

$$A(\theta) = r(\theta) + \delta(\theta) \cos \omega$$

$$B(\theta) = r(\theta + \varphi_{12}) + \delta(\theta) \cos(\varphi_{12} - \omega)$$

$$C(\theta) = r(\theta + \varphi_{12} + \varphi_{23}) + \delta(\theta) \cos(\varphi_{12} + \varphi_{23} - \omega)$$

式中: $r(\theta)$ —— 被测截面轮廓;

$\delta(\theta)$ —— 回转中心 O' 随转角 θ 的变化量;

θ —— 起始位置角;

ω —— 回转中心初始位置角。

为消除 $\delta(\theta)$ 的影响, 设定 A 、 B 、 C 三个测量传感器的影响系数分别为 C_1 、 C_2 、 C_3 , 并令其为式 (A1):

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= 1 \\ C_2 &= \frac{-\sin(\varphi_{12} + \varphi_{23})}{\sin \varphi_{23}} \\ C_3 &= \frac{\sin \varphi_{12}}{\sin \varphi_{23}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (A1)$$

由此得到三测点法测量圆度的测量方程为式 (A2):

$$S(\theta) = C_1 r(\theta) + C_2 r(\theta + \varphi_{12}) + C_3 r(\theta + \varphi_{12} + \varphi_{23}) \dots\dots\dots (A2)$$

式中: $S(\theta)$ 为三个测量传感器的组合信号, 可以表示为式 (A3):

$$S(\theta) = C_1 A(\theta) + C_2 B(\theta) + C_3 C(\theta) \dots\dots\dots (A3)$$

方程 (A2) 一般可用离散富里叶变换、矩阵平差及从泛函分析得出的广义逆矩阵等方法求解。

附录 B

测量传感器的位置角

(参考件)

B1 位置角

三个测量传感器应位于同一测量平面, 为避免失真, 采样点数一般应等于基准点数。三个测量传感器的相互位置角 φ_{12} 、 φ_{23} 及基准点数 N_0 一般应满足以下关系:

设: $\Delta\varphi$ 为 φ_{12} 、 φ_{23} 、 2π 三个角度间的最大公因数, 并记作: $\Delta\varphi = (\varphi_{12}, \varphi_{23}, 2\pi)$, 则基准点数 N_0 为:

$$N_0 = \frac{2\pi}{\Delta\varphi} = \frac{2\pi}{(\varphi_{12}, \varphi_{23}, 2\pi)}$$

此外, 选择相互位置角 φ_{12} 、 φ_{23} 时除尽量减小运算误差外, 还应考虑到方程式 (A1) 中影响系数 C_2 、 C_3 的大小及满足仪器结构设计的要求。

附录 C

三测点法仪器精度评定用标准件

(参考件)

C1 标准件

检验三测点法圆度测量仪器的精度时, 为充分反映出仪器 (装置) 可能产生的方法失真, 应采用图 C1、图 C2、图 C3 所示任一形式的标准件, 标准件凸台一般由镀膜方法获得, 其高度一般为仪器分辨率的 50~400 倍。凸台尺寸 $a \times b$, 可按具体要求确定。标准件的直径 (球形标准件为球的直径) 分为 25 mm 和 50 mm 两种, 具体数值可根据需要选择; 圆柱形标准件的长度 L 及材料类型可根据要求确定。

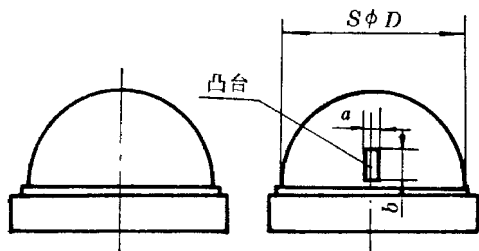


图 C1

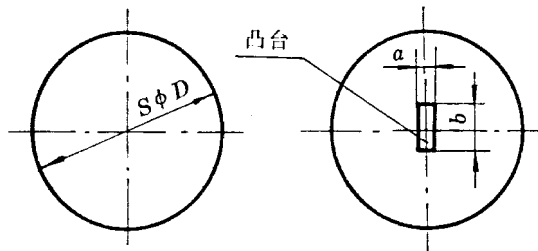


图 C2

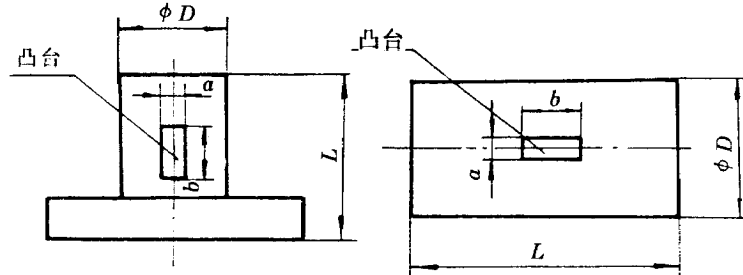


图 C3

附 录 D

计 算 示 例

(参考件)

本示例以测量基准点数 N_0 等于 12 为例来说明三个测量传感器位置的选择, 影响系数 C_2 、 C_3 的计算及半径变化量的计算。

D1 三个测量传感器相互位置角的选择

由附录 B 中公式得:

$$N_0 = \frac{2\pi}{\Delta\varphi} = \frac{2\pi}{(\varphi_{12}, \varphi_{23}, 2\pi)}$$

由 $N_0=12$, 得 $\Delta\varphi=30^\circ$ 。

为满足 φ_{12} 、 φ_{23} 、 2π 的最大公因角为 30° 的选择有:

$\varphi_{12}=90^\circ$; $\varphi_{23}=120^\circ$

D2 计算影响系数 C_2 、 C_3

影响系数由式 (A1) 计算:

$$C_2 = \frac{\sin(\varphi_{12} + \varphi_{23})}{\sin\varphi_{23}} = 0.577$$

$$C_3 = \frac{\sin\varphi_{12}}{\sin\varphi_{23}} = 1.155$$

D3 三个测量传感器测得值的合成

由式 (A3) 得

$$S(\theta) = C_1 A(\theta) + C_2 B(\theta) + C_3 C(\theta)$$

式中: $C_1=1$; $C_2=0.577$; $C_3=1.155$ 。

本例子实测 $S(\theta)$ 的合成结果见表 D1。

表 D1

μm

序号	1	2	3	4	5	6	7
$S(\theta)$	-102	-0.33	0.17	2	1	-115.5	-0.33
序号	8	9	10	11	12		
$S(\theta)$	-0.33	0	-55.63	-0.5	0		

D4 计算半径变化量

计算半径变化量, 即为解测量方程 (A2), 该方程一般可用离散富里叶变换、矩阵平差及从泛函分析得出的广义逆矩阵求解等方法, 以下以广义逆矩阵求解法为例给出计算结果。

计算公式 (D1):

$$\Delta r = A^+ \Delta S \quad \dots\dots\dots (D1)$$

计算结果见表 D2。

表 D2 矩阵 A^+ 的数值及 $\Delta r=A^+ \Delta S$ 的计算

μm

$\begin{matrix} j \\ \Delta S_j \\ a_{ij}^+ \\ \Delta r_i \end{matrix}$		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
i		-102	0.33	0.17	2	1	-115.5	-0.33	-0.33	0	-55.63	-0.5	0
1	-83.261	$\frac{5}{24}$ 0.20833	0	$-\frac{1}{6}$ -0.16667	$\frac{\sqrt{3}}{24}$ 0.07217	$-\frac{1}{6}$ -0.16667	$\frac{\sqrt{3}}{4}$ 0.43301	$-\frac{1}{24}$ -0.04167	0	$-\frac{1}{6}$ -0.16667	$\frac{\sqrt{3}}{8}$ 0.21651	$\frac{1}{6}$ -0.16667	$\frac{\sqrt{3}}{12}$ 0.14434
2	13.232	0.14434	0.20833	0	-0.16667	0.07217	-0.16667	0.43301	-0.04167	0	-0.16667	0.21651	-0.16667
3	8.481	-0.16667	0.14434	0.20833	0	-0.16667	0.07217	-0.16667	0.43301	-0.04167	0	-0.16667	0.21651
4	0.012	0.21651	-0.16667	0.14434	0.20833	0	-0.16667	0.07217	-0.16667	0.43301	-0.04167	0	-0.16667
5	-6.639	-0.16667	0.21651	-0.16667	0.14434	0.20833	0	-0.16667	0.07217	-0.16667	0.43301	-0.04167	0
6	-15.050	0	-0.16667	0.21651	-0.16667	0.14434	0.20833	0	-0.16667	0.07217	-0.16667	0.43301	-0.04167
7	-16.183	-0.04167	0	-0.16667	0.21651	-0.16667	0.14434	0.20833	0	-0.16667	0.07217	-0.16667	0.43301
8	-15.901	0.43301	-0.04167	0	-0.16667	0.21651	-0.16667	0.14434	0.20833	0	-0.16667	0.07217	-0.16667
9	-8.232	-0.16667	0.43301	-0.04167	0	-0.16667	0.21651	-0.16667	0.14434	0.20833	0	-0.16667	0.07217
10	0.328	0.07217	-0.16667	0.43301	-0.04167	0	-0.16667	0.21651	-0.16667	0.14434	0.20833	0	-0.16667
11	9.622	-0.16667	0.07217	-0.16667	0.43301	-0.04167	0	-0.16667	0.21651	-0.16667	0.14434	0.20833	0
12	14.234	0	-0.16667	0.07217	-0.16667	0.43301	-0.04167	0	-0.16667	0.21651	-0.16667	0.14434	0.20833

注：表中 a_{ij}^+ 为广义逆矩阵 A^+ 中的元素。

A^+ 的计算繁复耗时，一般应由计算机编程计算。

D5 计算圆度误差

按 GB 7235 规定的方法，由 Δr_i 可计算出圆度误差。本例子，当评定基准圆为最小二乘方圆时，其圆度误差为：

$$\Delta Z_q = 97.5 \quad \mu\text{m}$$

附加说明：

本标准由机械电子工业部机械标准化研究所提出并归口。

本标准由机械电子工业部机械标准化研究所、吉林工业大学、中国科学院长春光学精密机械研究所起草。

本标准主要起草人：陈月祥、肖怀、甘永立、白书芳、金光善。

中 华 人 民 共 和 国
机 械 行 业 标 准
圆 度 测 量
三测点法及其仪器的精度评定
JB/T 5996 - 1992

*

机械科学研究院出版发行
机械科学研究院印刷
(北京首体南路2号 邮编 100044)

*

开本 880×1230 1/16 印张 3/4 字数 14,000
1992年10月第一版 1992年10月第一次印刷
印数 1 - 500 定价 2.40 元
编号 0929

机械工业标准服务网：<http://www.JB.ac.cn>