

## 实验 形位误差的测量

### 实验1 直线度误差的测量

#### 一、实验目的

- 1、通过测量加深理解直线度误差的定义；
- 2、熟练掌握直线度误差的测量及数据处理。

#### 二、实验内容

用合像水平仪测量直线度误差。

#### 三、计量器具及测量原理

为了控制机床、仪器导轨或其他窄而长平面的直线度误差，常在给定平面(垂直平面、水平平面)内进行检测。常用的计量器具有框式水平仪、合像水平仪、电子水平仪和自准直仪等。使用这类器具的共同特点是测定微小角度的变化。由于被测表面存在直线度误差，当计量器具置于不同的被测部位时，其倾斜角度就要发生相应的变化。如果节距(相邻两测点的距离)一经确定，这个变化的微小角度与被测相邻两点的高低差就有确切的对应关系。通过对逐个节距的测量，得出变化的角度，用作图或计算，即可求出被测表面的直线度误差值。由于合像水平仪的测量准确度高、测量范围大( $\pm 10\text{mm/m}$ )、测量效率高、价格便宜、携带方便等优点，因此在检测工作中得到了广泛的应用。

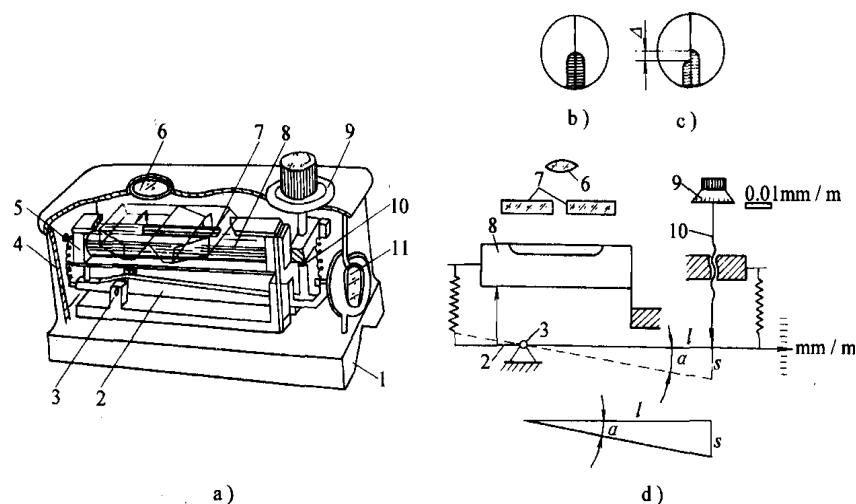


图7 用合像水平仪测量直线度误差

合像水平仪的结构如图7a、d所示，它由底板1和壳体4组成外壳基体，其内部由杠杆2、水准器8、两个棱镜7、测量系统9、10、11以及放大镜6所组成。测量时将合像水平仪放于桥板(图12)上相对不动，再将桥板置于被测表

---

面上。若被测表面无直线度误差，并与自然水平面基准平行，此时水准器的气泡则位于两棱镜的中间位置，气泡边缘通过合像棱镜 7 所产生的影像，在放大镜 6 中观察将出现如图 7b 所示的情况。但在实际测量中，由于被测表面安放位置不理想和被测表面本身不直，致使气泡移动，其视场情况将如图 7c 所示。此时可转动测微螺杆 10，使水准器转动一角度，从而使气泡返回棱镜组 7 的中间位置，则图 7c 中两影像的错移量  $\Delta$  将消失而恢复成一个光滑的半圆头(图 7b)。测微螺杆移动量  $s$  导致水准器的转角  $\alpha$ (图 7d)与被测表面相邻两点的高低差  $h(m)$  有确切的对应关系，

即 
$$h = 0.01 L \alpha$$

式中 0.01——合像水平仪的分度值(mm / m)；

$L$ ——桥板节距(mm；

$\alpha$ ——角度读数值(用格数来计数)。

如此逐点测量，就可得到相应的  $\alpha$  值，后面将用实例来阐述直线度误差的评定方法。

#### 四、实验步骤

1、首先量出被测表面总长，继而确定相邻两点之间的距离(节距)，按节距  $L$  调整桥板(如图 8 所示)的两圆柱中心距。

2、置合像水平仪于桥板之上，然后将桥板依次放在各节距的位置。每放一个节距后，要旋转微分筒 9 合像，使放大镜中出现如图 7b 所示的情况，此时即可进行读数。先在放大镜 11 处读数，它反映的是螺杆 10 的旋转圈数；微分筒 9(标有十、一旋转方向)的读数则是螺杆 10 旋转一圈(100 格)的细分读数；如此顺测(从首点到终点)、回测(由终点到首点)各一次。回测时注意桥板不能调头，各测点两次读数的平均值作为该点的测量数据，将所测数据记入表中。必须注意，假如某一测点两次读数相差较大，说明测量情况不正常，应仔细查找原因并加以消除后重测。

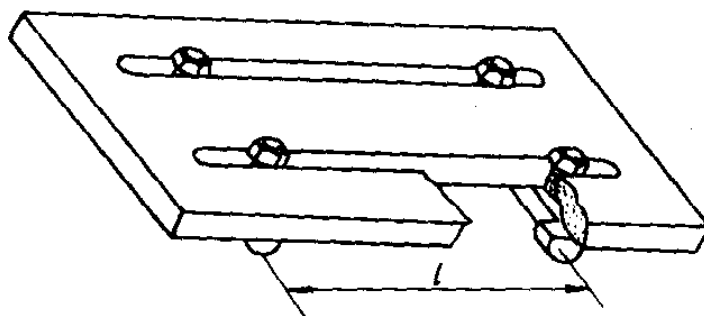


图 8 调整中心距

## 五、数据处理

用合像水平仪测量一窄长平面的直线度误差，仪器的分度值为  $0.01\text{mm} / \text{m}$ ，选用的桥板节距  $L=200\text{mm}$ ，测量直线度记录数值见表 1。若被测平面直线度的公差等级为 5 级，试判断该平面的直线度误差是否合格？

### 1、作图法求误差值

1)为了作图方便，将各测点的读数平均值同减一个数而得出相对差(见表 1)(均指实验表，后同)。

表 1 测量数据表

| 测点序号 i                           |    | 0 | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   |
|----------------------------------|----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 仪器读数<br>t(格)                     | 顺测 | - | 298 | 300 | 290 | 301 | 302 | 306 | 299 | 296 |
|                                  | 回测 | - | 296 | 298 | 288 | 299 | 300 | 306 | 297 | 296 |
|                                  | 平均 | - | 297 | 299 | 289 | 300 | 301 | 306 | 298 | 296 |
| 相对差(格)<br>$\Delta a_i = a_i - a$ |    | 0 | 0   | +2  | -8  | +3  | +4  | +9  | +1  | -1  |

注：1. 表列读数中，百分数是从图 7 的 11 处读得，十位、个位数是从图 7 的 9 处读得。

2. a 值可取任意数，但要有利于相对差数字的简化，本例取  $a=297$  格。

2)根据各测点的相对差，在坐标纸上取点。(注意作图时不要漏掉首点，同时后一测点的坐标位置是以前一点为基准，根据相邻差数取点的)将各点连接起来，得出误差折线。

3)用两条平行直线包容误差折线，其中一条直线与实际误差折线的两个最

高点  $M_1$ 、 $M_2$  相接触，另一平行线与实际误差折线的最低点  $M_3$  相接触，且该最低点  $M_3$  在第一条平行线上的投影，应位于  $M_1$  和  $M_2$  两点之间(如图 9 所示)

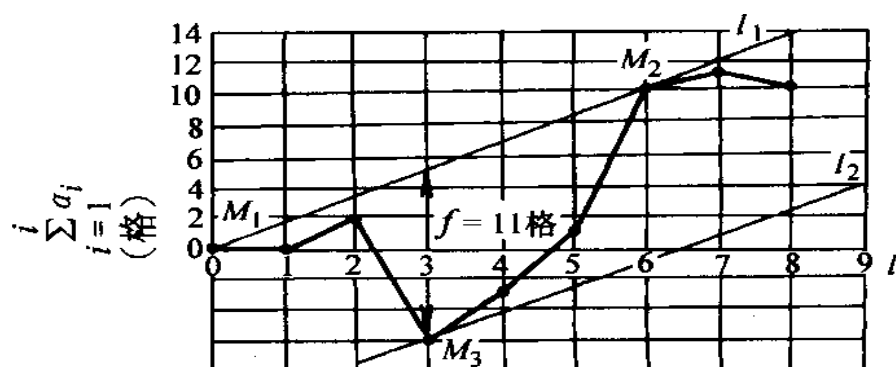


图 9 作图法求直线度误差

从平行于纵坐标方向画出这两条平行直线间的距离，此距离就是被测表面的直线度误差值  $f=11$ (格)，按公式  $f(\mu\text{m}) = 0.01 L f(\text{格})$ ，将  $f$ (格)换算为  $f(\mu\text{m})$

$$f = 0.01 \times 200 \times 11 \mu\text{m} = 22 \mu\text{m}$$

## 2、计算法求直线度误差值

如图 9 中  $M_1(0, 0)$ 、 $M_2(6, 10)$ 、 $M_3(3, -6)$  设包容线的理想方程为  $Ax + By + C = 0$ ，因包容理想直线  $l_1$  通过  $M_1$ 、 $M_2$  因此通过两点法求得  $l_1$  的方程为  $11x - 7y = 0$ 。

又因  $M_3$  所在直线  $l_2$  平行于  $l_1$ ，其方程为

$$11x - 7y + C_2 = 0$$

将  $M_3$  代入上式，求得  $C_2 = -66$ ，故  $l_2$  的方程为

$$11x - 7y - 66 = 0$$

令式  $11x - 7y = 0$  中  $x=0$ ，则  $y=0$ ；令式  $11x - 7y - 66 = 0$  中  $x=0$ ，则  $y=-11$ ；所以， $l_1$ 、 $l_2$  在  $y$  轴上的截距之差为 11 格，即  $l_1$ 、 $l_2$  在平行于纵轴方向上的距离为 11 格，由公式  $f=0.01Lf(\text{格})$ ，求得  $f = 0.01 \times 200 \times 11 \mu\text{m} = 22 \mu\text{m}$ 。

按国家标准 GB / T 1184—1996 直线度 5 级公差值为  $25 \mu\text{m}$ ，误差值小于公差值，所以被测工件直线度误差合格。

## 实验2 平行度与垂直度误差的测量

### 一、实验目的

- 1、了解平行度与垂直度误差的测量原理及方法；
- 2、熟悉通用量具的使用；
- 3、加深对位置公差的理解。

### 二、实验内容

1、工件——角座(见图 10)。图样上提出四个位置公差要求：

- 1)顶面对底面的平行度公差 0.15；
- 2)两孔的轴线对底面的平行度公差 0.05；
- 3)两孔轴线之间的平行度公差 0.35；
- 4)侧面对底面的垂直度公差 0.20。

2、量具——测量平板、心轴、精密直角尺、塞尺、百分表、表架、外径游标卡尺等。

### 三、实验步骤

1、按检测原则 1(与理想要素比较原则)测量顶面对底面的平行度误差(见图 11)。

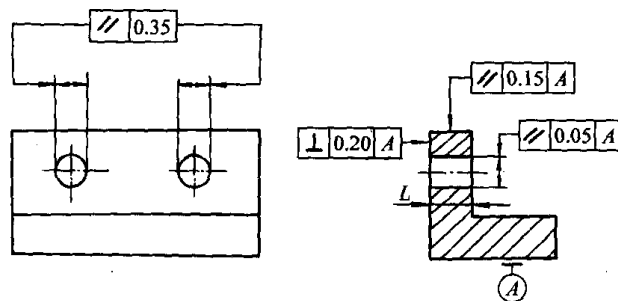


图 10 角座零件图

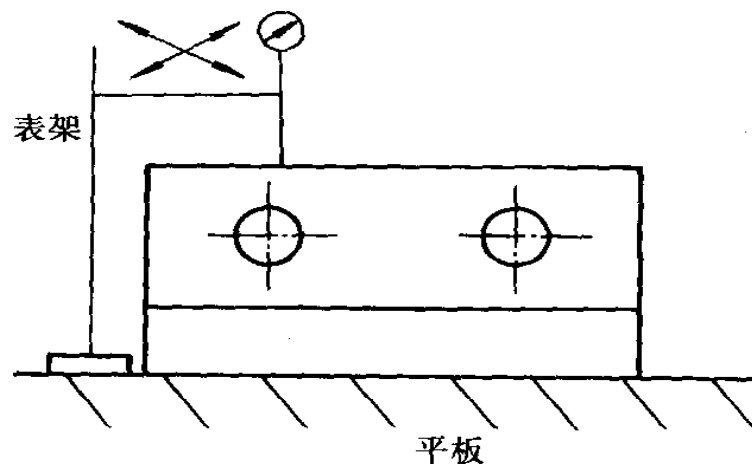


图 11 测量顶面对底

将被测件放在测量平板上，以平板面作模拟基准；调整百分表在支架上的高度，将百分表测量头与被测面接触，使百分表指针倒转 1-2 圈，固定百分表，然后在整个被测表面上沿规定的各测量线上移动百分表支架，取百分表的最大与最小读数之差作为被测表面的平行度误差。

2、按检测原则，测量两孔轴线对底面的平行度误差。用心轴模拟被测孔的轴线(见图 12)，以平板模拟基准，按心轴上的素线调整百分表的高度，并固定之(调整方法同步骤 1)，在距离为  $L$  的两个位置上测得两个读数  $M_1$  和  $M_2$ ，被测轴线的平行度误差应为

$$f = \frac{L}{L_1} |M_1 - M_2|$$

式中

$L$ ——被测轴线的长度。

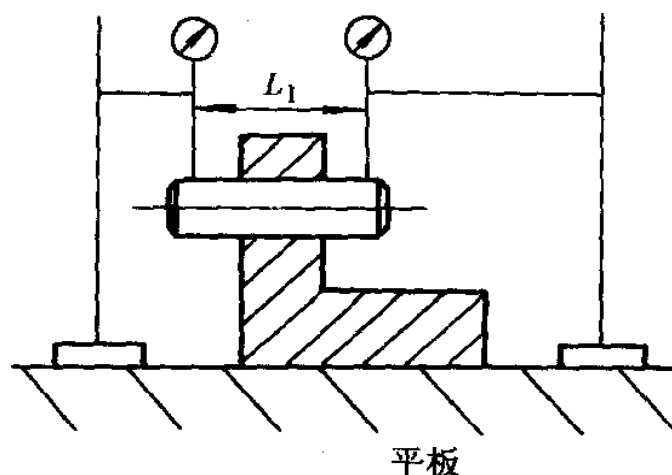


图 12 测量两孔轴线对底面的平行度误差

3、按检测原则 1 测量两孔轴线之间的平行度误差(见图 13)。用心轴模拟两孔轴线，用游标卡尺在靠近孔口端面处测量尺寸  $n_1$  及  $n_2$ ，差值( $n_1 - n_2$ )即为所求平行度误差。

4、按检测原则 3(测量特征参数原则)测量侧面对底面的垂直度误差(见图 14)。用平板模拟基准，将精密直角尺的短边置于平板上，长边靠在被测侧面上，此时长边即为理想要素。用塞尺测量直角尺长边与被测侧面之间的最大间隙，测得值即为该位置的垂直度误差。移动直角尺，在不同位置重复上述测量，取最大误差值为该被测面的垂直度误差。

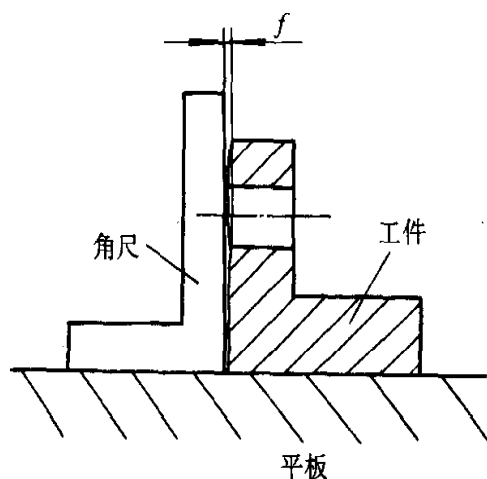
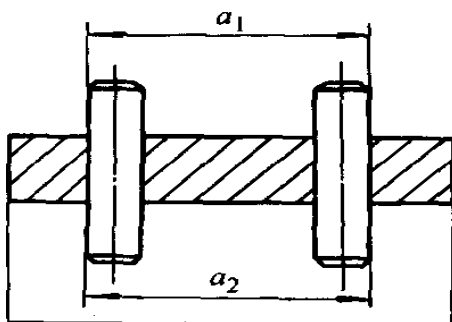
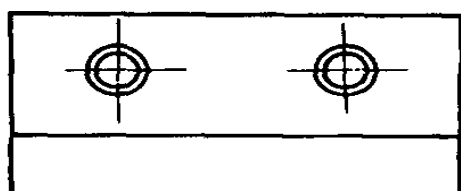


图 13 测量两孔轴线之间的平行度误差

图 14 测量

侧面对底面的垂直度误差

### 思考题

1. 目前部分工厂用作图法求解直线度误差时，仍沿用以往的两端点连线法，即把误差折线的首点和终点连成一直线作为评定标准，然后再作平行于评定标准的两条包容直线，从平行于纵坐标来计量两条包容直线之间的距离作为直线度误差值。

---

(1)以例题作图为例，试比较按两端点连线和最小条件评定的误差值，何者准确?为什么?

(2)假若误差折线只偏向两端点连线的一侧(单凹、单凸)，上述两种评定误差值的方法情况又如何?

(3)同样是最小条件评定误差值，那么直接读取法与算法比较那个更准确?

2. 用作图法求解直线度误差值时，如前所述，总是按平行于纵坐标计量，而不是垂直于两条平行包容直线之间的距离，原因何在?