

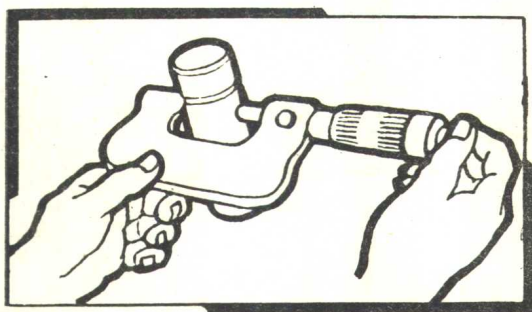
# 机械工人学习材料

JIXIE GONGREN XUEXI CAILIAO

## 精密测量和计算

(修订第三版)

宋学谦 编著



术 测 量

机械工业出版社

**内容提要** 在机械加工过程中, 测量零件的尺寸一般都用万能量具和专用的极限量规。但是, 在某些情况下用这些量具是难以测量的, 必须用辅助量具和采用间接的测量方法来测量。本书介绍在精密测量中如何利用各种常用的万能量具和简单辅助量具来解决一些用普通方法难于测量的问题。书中还列举了各种典型零件的精密测量方法和计算实例。

本书是根据1965年第二版进行修订的, 可供三级以上的机械工人和检验工阅读。

## 精密测量和计算

(修订第三版)

宋学濂 编著

\*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本  $787 \times 1092 \frac{1}{32}$  · 印张  $2^3/4$  · 字数 66 千字

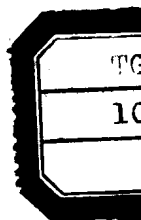
1981年6月北京第一版·1981年7月北京第一次印刷

印数 00,001—20,500 · 定价 0.21 元

\*

科技新书目: 5-116

统一书号: 15033·5189



# 目 次

|    |                            |    |
|----|----------------------------|----|
| 1  | 角度的正切测量法 .....             | 1  |
| 2  | 利用正弦规检验锥度 .....            | 3  |
| 3  | 利用正弦规检验工件的角度 .....         | 5  |
| 4  | 小锥角的测量法 .....              | 5  |
| 5  | 圆锥孔的测量方法(一) .....          | 7  |
| 6  | 圆锥孔的测量方法(二) .....          | 8  |
| 7  | 测量 V 形槽的角度 .....           | 10 |
| 8  | 测量 V 形槽的宽度 .....           | 11 |
| 9  | 测量斜面槽的角度和有关尺寸(一) .....     | 12 |
| 10 | 测量斜面槽的角度和有关尺寸(二) .....     | 13 |
| 11 | 用圆柱量规直接测量斜面槽的方法 .....      | 14 |
| 12 | 倾斜面的测量方法 .....             | 15 |
| 13 | 测量斜面的交点位置 .....            | 16 |
| 14 | 测量斜槽尖顶的位置(一) .....         | 17 |
| 15 | 测量斜槽尖顶的位置(二) .....         | 18 |
| 16 | 测定斜槽(或圆锥孔)斜面的交点位置(一) ..... | 19 |
| 17 | 测定斜槽(或圆锥孔)斜面的交点位置(二) ..... | 19 |
| 18 | 测定倾斜角的位置 .....             | 20 |
| 19 | 测量与角度有关的尺寸 .....           | 22 |
| 20 | 测量样板的角度和斜面的对称性 .....       | 22 |
| 21 | 孔内环槽倾斜角度的测量方法 .....        | 23 |
| 22 | 测量工件的倒锥 .....              | 24 |
| 23 | 燕尾形导轨角度的测量方法 .....         | 26 |
| 24 | 燕尾形导槽的测量方法 .....           | 27 |
| 25 | 燕尾形导轨的测量方法 .....           | 28 |

|    |                   |    |
|----|-------------------|----|
| 26 | 锥度量规的测量方法 (一)     | 29 |
| 27 | 锥度量规的测量方法 (二)     | 30 |
| 28 | 锥度量规的测量方法 (三)     | 33 |
| 29 | 对称斜锥体大端尺寸的测量方法    | 34 |
| 30 | 不对称斜锥体端部尺寸的测量方法   | 35 |
| 31 | 圆柱形工件上两倾斜孔角度的测量方法 | 36 |
| 32 | 测量斜孔的位置           | 37 |
| 33 | 测量空间尺寸 (一)        | 38 |
| 34 | 测量空间尺寸 (二)        | 39 |
| 35 | 利用钢球测量内径          | 41 |
| 36 | 测量内凹孔的直径          | 42 |
| 37 | 弧形三角槽半径的测量方法      | 43 |
| 38 | 凹球面的球半径测量方法       | 44 |
| 39 | 凹圆弧半径的测量方法 (一)    | 46 |
| 40 | 凹圆弧半径的测量方法 (二)    | 46 |
| 41 | 凸圆弧半径的测量方法        | 48 |
| 42 | 转轴键槽深度的测量方法       | 49 |
| 43 | 轴套键槽深度的测量方法       | 49 |
| 44 | 键的齿厚测量            | 50 |
| 45 | 利用座标法测量圆周上的等分孔    | 51 |
| 46 | 等分圆周的测量方法         | 55 |
| 47 | 利用三线测量螺纹的中径       | 55 |
| 48 | 利用双线测量螺纹的中径       | 62 |
| 49 | 利用单线测量螺纹的中径       | 63 |
| 50 | 利用三线测量锯齿形螺纹的中径    | 65 |
| 51 | 三角齿花键中径的测量        | 68 |
| 52 | 利用圆棒或钢球测量齿轮的侧隙或齿厚 | 71 |
| 53 | 利用圆棒或钢球测量齿条的齿厚    | 83 |
| 54 | 几种正多边形的计算方法       | 85 |
| 55 | 圆弧的计算法            | 86 |

在机器制造过程中,为了使零件能够达到规定的尺寸精度和几何形状,需要进行精密的测量。这些测量工作,一般都采用万能量具、专用的极限量规或适当的测量仪器来进行。但是,在某些情况下,由于条件的限制,使用通常的测量方法和量具量仪难以达到预期的要求,就需要用适当的辅助量具,采用一些间接的测量方法来测量。所谓“间接测量法”,就是被测量的量值不能直接由量具或量仪上的指示读数来决定,而需要测出与被测量值有一定函数关系的其他量值(辅助量值),然后再根据这种辅助量值计算出所求的被测量值,并以此作为最后的测定结果。本书主要介绍利用万能量具和简单的辅助量具,以“间接测量法”来解决用普通方法难于测量的例子。

任何测量方法,都不可避免地带着一定程度的测量误差,这些误差是由一系列因素影响而造成的,其中主要有下列几方面:

1) 量具和量仪本身的不精确度; 2) 量具、量仪和被测工件的安装误差; 3) 量具和量仪调整不当; 4) 量具和量仪测力的影响; 5) 温度的影响; 6) 清洁工作不完善; 7) 其他外界的影响(例如振动、照明等); 8) 被测工件本身的加工质量(例如几何形状和表面光洁度等); 9) 人为误差。

因此,在测量时应根据所需要的测量精度、所具备的测量条件、工件的加工精度等来选择不同的测量方法。

## **1 角度的正切测量法**

### **一、测量目的:**

- 1) 检查或测量工件的角度或斜度;
- 2) 检查工件的斜面是否平直。

### **二、测量工具:**

- 1) 千分尺; 2) C形轧头; 3) 平板; 4) 量块;
- 5) 0.01毫米的千分表或杠杆式百分表; 6) 千分表的表架;

7) 直角铁; 8) 圆盘形量规。

### 三、测量方法:

1) 选择两个适当直径的圆盘形量规, 并已知它的直径是  $D_1$  和  $D_2$ ;

2) 把千分表装在千分表架上 (图 1 a);

3) 查明这个工件的规定角度为  $\theta^\circ$ ;

4) 按公式 (1) 计算出所需要的量块的尺寸为  $B$  毫米;

5) 把工件、

量块、圆盘形量规、角铁和平板如图 1 所示装好, 同时要注意使圆盘形量规和量块相互接触, 然后利用 C 形轧头把圆盘形量规固定在直角铁上, 使移动或松开;

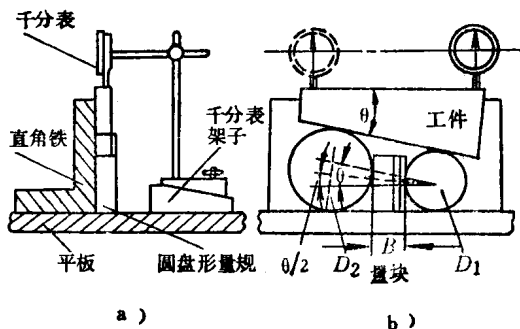


图 1 以正切法测量角度

6) 将千分表架沿着平台左右移动, 使千分表与工件的上缘被测表面接触 (图 16)。如果工件的斜度或角度符合于规定, 并且斜边平直, 那么千分表上的指针就不会偏移。如果角度不对或斜边不平直, 那么千分表的指针, 就会左右偏移, 它的偏差值 (千分表上指示出来的最大读数和最小读数之差) 就是工件上斜度或斜边不平直的误差值。

### 四、计算公式:

$$B = \frac{\frac{D_2 - D_1}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\theta}{2}} - \frac{D_2 + D_1}{2} \quad (1)$$

式中  $D_1$ ——小直径圆盘形量规；

$D_2$ ——大直径圆盘形量规；

$\theta$ ——工件的锥角；

$B$ ——在两个圆盘形量规间所需要放置的量块组尺寸。

五、实例：已知  $D_1 = 15.00$  毫米； $D_2 = 17.80$  毫米； $\theta = 4^\circ$ 。

把已知数值代入公式得：

$$B = \frac{17.80 - 15.00}{2 \cdot \frac{\frac{4^\circ}{2}}{\operatorname{tg} \frac{4^\circ}{2}}} - \frac{17.80 + 15.00}{2} = \frac{1.40}{\operatorname{tg} 2^\circ} - \frac{32.80}{2}$$
$$= \frac{1.40}{0.03492} - 16.40 = 40.09 - 16.40 = 23.69 \text{ 毫米}$$

六、如果事先不知道工件的角度，而需要测量出它的角度或斜度时，应逐步选择适当尺寸的量块，直至使工件的斜边用千分表检查时指针没有任何偏移，然后再根据公式（1）计算出它的角度。

## 2 利用正弦规检验

### 锥度

一、测量目的：

1) 测定或检查锥形工件的角度；

2) 检查锥形工件的斜面是否平直。

二、测量工具：

1) 正弦规；2) 平板；3) 千分表或杠杆式百分表；4) 量块；5) 直角铁；6) 游标高度尺或千分表架。

三、测量方法（图2）

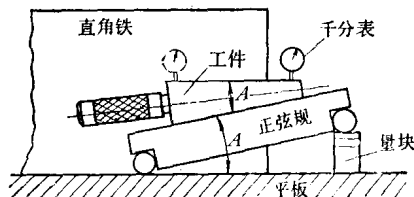


图2 用正弦规检验锥度

1) 检验锥度量规的角度  $A$ ;

2) 把正弦规靠着直角铁放在平板上, 工件 (锥度量规) 放在正弦规上面, 然后在正弦规一端的圆柱下 (相当于被测工件的小端) 垫放适当高度的量块, 量块的高度适能使工件的上边和平板表面相平行, 也就是用千分表沿着工件上边左右移动的时候, 指针没有任何偏差 (如果工件表面不平直时, 指针即会摇摆不定);

3) 计算出所垫量块的总高度;

4) 按照公式 (2) 求出工件的角度。

四、计算公式:

$$\sin A = \frac{G}{L} \quad (2)$$

式中  $A$ ——工件的角度;

$G$ ——量块的高度;

$L$ ——正弦规两圆柱间的中心距离。

五、实例: 已知  $L = 200.00$  毫米;

$G = 50.00$  毫米。

因为  $\sin A = \frac{50.00}{200.00} = 0.25000 = \sin 14^\circ 28'$

所以  $A \text{ 角} = 14^\circ 28'$

某些工件或样板的角度, 也可以利用前述的方法来直接测量它的角度偏差。

首先根据被测工件的公称角度按公式 (2) 计算出正弦规下应垫的量块尺寸  $G$ 。当千分表沿着工件的上表面左右移动时, 根据千分表指针所指示出的偏差  $\Delta h$ , 就可以按公式 (3) 计算, 求出其角度偏差  $\Delta A$ ;

因为  $\Delta h = L_1 \times \sin \Delta A$



所以

$$\sin \Delta A = \frac{\Delta h}{L_1} \quad (3)$$

式中  $L_1$ ——工件上表面的被测量长度；

$\Delta A$ ——角度偏差应不大于  $1^\circ$ 。

### 3 利用正弦规检验工件的角度

一、测量目的：如图 3 所示的工件，已知两侧边垂直于底边，需要测定  $\beta$  角。

二、测量工具：同上节

2。

三、测量方法：首先根据前述的方法测出被测工件底边与斜边间的夹角  $\alpha$ 。所求的  $\beta$  角可按下式求出：

$$\beta \text{ 角} = 90^\circ + \alpha$$

### 4 小锥角的测量法

一、测量目的：小型工件上的锥角或大型工件上的小锥角，如果用其他方法难以测定时，可以用这个方法来测量（如图 4 和图 5）。

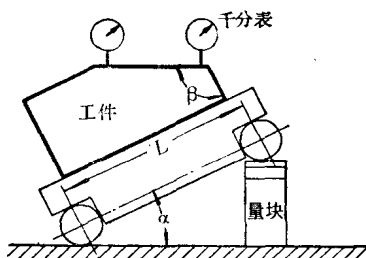


图 3 利用正弦规测量角度



图 4 测量工件的小锥角

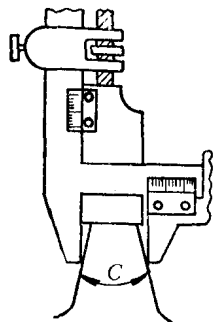


图 5 用齿厚游标卡尺测量工件厚度

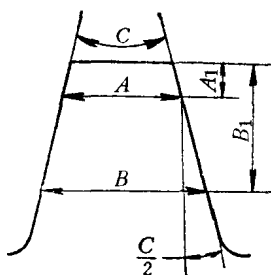


图 6 用齿厚游标卡尺测量工件厚度与高度

二、测量工具：齿轮测量用齿厚游标卡尺(或称齿轮卡尺)。

三、测量方法：

- 1) 测量厚度  $A$  和高度  $A_1$  (如图 6)；
- 2) 测量  $B$  处的厚度尺寸  $B$  和高度  $B_1$  (如图 6)；
- 3) 按照公式 (4) 求得锥角。

四、计算公式：

$$\operatorname{tg} \frac{C}{2} = \frac{B - A}{B_1 - A_1} \quad (4)$$

五、实例：设由齿厚游标卡尺测得尺寸为：

$A = 3.44$  毫米；  $B = 5.90$  毫米；

$A_1 = 1.00$  毫米；  $B_1 = 7.00$  毫米。

代入上列公式 (4) 得：

$$\operatorname{tg} \frac{C}{2} = \frac{5.90 - 3.44}{7.00 - 1.00} = \frac{1.23}{6} = 0.20500 = \operatorname{tg} 11^\circ 36'$$

所以  $C$  角  $= 11^\circ 36' \times 2 = 23^\circ 12'$ 。

六、如果需要测量它的顶宽  $W$  (如图 7)，可以先用上面的方法求出它的角度  $C$ ，然后用下式 (5) 求出它的顶宽  $W$ 。

计算公式：

$$W = B - \left( 2 \times \operatorname{tg} \frac{C}{2} \times B_1 \right) \quad (5)$$

例 设已知  $C$  角  $= 23^\circ 12'$ ；  $B = 5.90$  毫米；  $B_1 = 7.00$  毫米。

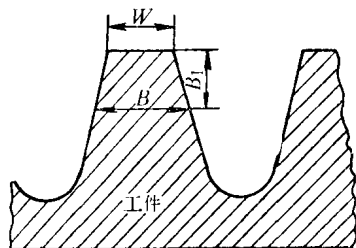


图 7 用齿厚游标卡尺测量  
齿条的顶宽

$$\begin{aligned}
 \text{代入公式 (5) 得: } W &= 5.90 - \left( 2 \operatorname{tg} \frac{23^{\circ} 12'}{2} \times 7.00 \right) \\
 &= 5.90 - (2 \operatorname{tg} 11^{\circ} 36' \times 7.00) \\
 &= 5.90 - (0.205270 \times 14) \\
 &= 5.90 - 2.87379 = 3.03 \text{ 毫米}
 \end{aligned}$$

## 5 圆锥孔的测量方法 (一)

一、测量目的: 测量或检查圆锥孔的圆锥角度 (如图 8)。

二、测量工具:

1) 适当的不同直径钢球两个, 大的钢球半径为  $R_1$ , 小钢球半径为  $R_2$ ;

2) 游标高度尺;

3) 千分尺;

4) 测深千分尺;

5) 杠杆式百分表;

6) 平板。

三、测量方法:

1) 把小钢球放入圆锥孔内, 使它落在底的下部位置, 然后用测深千分尺测出它的深度为  $B$ ;

2) 取去小钢球后, 把大钢球放入圆锥孔内, 利用游标高度尺和杠杆式百分表测出钢球顶点离圆锥孔上缘的高度  $A$ ;

3) 按照公式 (6) 计算出的角度等于所求圆锥孔角度之半。

$$\text{四、计算公式: } \sin \gamma = \frac{R_1 - R_2}{B + A + R_2 - R_1} \quad (6)$$

式中  $\gamma$  角 =  $\frac{\text{圆锥孔的角度}}{2}$ ;

$B$  —— 小钢球顶端离圆锥孔上缘的距离;

$A$  —— 大钢球顶端离圆锥孔上缘的距离。

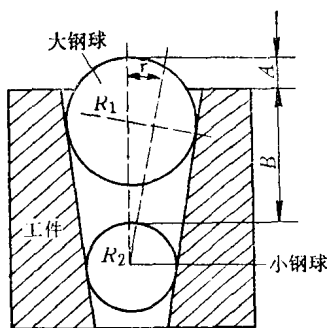


图8 圆锥孔的测量方法

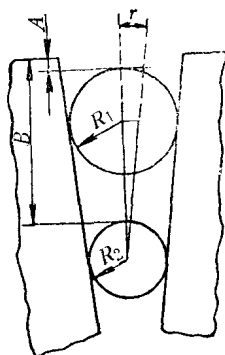


图9 圆锥孔的测量方法

如果大直径钢球也落入圆锥孔而且圆顶低于圆锥孔上缘平面时 (图9), 它的计算公式如下:

$$\sin \gamma = \frac{R_1 - R_2}{B + R_2 - (A + R_1)} \quad (7)$$

圆锥孔之角度 =  $2 \times \gamma$ 。

五、实例: 已知  $R_1 = 9.38$  毫米;  $R_2 = 6.25$  毫米;  
 $A = 1.87$  毫米;  $B = 37.18$  毫米。

$$\begin{aligned} \text{代入公式得: } \sin \gamma &= \frac{9.38 - 6.25}{37.18 + 1.87 + 6.25 - 9.38} \\ &= \frac{3.13}{35.92} = 0.087138 \sin 5^\circ \end{aligned}$$

所求圆锥孔的角度 =  $5^\circ \times 2 = 10^\circ$ 。

## 6 圆锥孔的测量方法 (二)

一、测量目的: 已知圆锥孔的角度, 需要测量它的大端孔径。

二、测量工具:

- 1) 适当直径的钢球一个;
- 2) 测深千分尺 (或游标高度尺)。

### 三、测量方法:

- 1) 先测定圆锥孔的角度或锥度;
- 2) 把钢球放入圆锥孔内 (图10);
- 3) 测得钢球顶端 (即最高点) 到圆锥孔上平面的距离  $D$  (图

11),

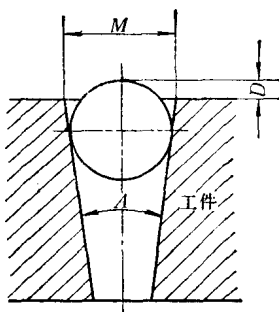


图10 圆锥孔的测量法

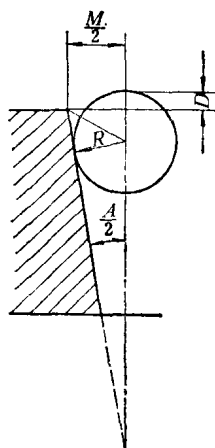


图11 测得钢球顶端至圆锥孔上平面的距离  $D$

- 4) 按照公式 (8) 计算, 求出圆锥孔大端的孔口直径  $M$ 。

### 四、计算公式:

$$M = 2 \times \operatorname{tg} \frac{A}{2} \times \left[ \left( R \times \operatorname{csc} \frac{A}{2} \right) + R - D \right] \quad (8)$$

式中  $R$ ——钢球的半径;

$M$ ——圆锥孔大端的孔径;

$A$ ——圆锥孔的角度;

$D$ ——钢球顶端至圆锥孔上平面的距离。

五、实例：已知  $A$  角  $= 20^\circ$ ； $R = 4.00$  毫米； $D = 2.00$  毫米。

$$\begin{aligned} \text{代入公式 (8) 得: } M &= 2 \times \operatorname{tg} \frac{20^\circ}{2} \left[ \left( 4 \operatorname{csc} \frac{20^\circ}{2} \right) + 4 - 2 \right] \\ &= 2 \times \operatorname{tg} 10^\circ [4 \times \operatorname{csc} 10^\circ + 2] \\ &= 2 \times 0.17633 [4 \times 5.75877 + 2] \\ &= 0.35266 \times 25.0351 = 8.83 \text{ 毫米} \end{aligned}$$

## 7 测量 V 形槽的角度

一、测量目的：测量或检查 V 形槽的角度  $A$  (图 12)。

二、测量工具：

- 1) 两个不同直径的圆柱形量规，它的大直径是  $D_2$ ，小直径是  $D_1$ ；
- 2) 游标高度尺；
- 3) 杠杆式百分表；
- 4) 平板。

三、测量方法：

1) 把杠杆式百分表装在游标高度尺上；

2) 把 V 形工件安放在平板上 (如图 12)；

3) 把小直径圆柱形量规放在 V 形槽内，测出它的顶端至平板的高度为  $B_1$ ；

4) 移去小直径圆柱形量规，而把大直径圆柱形量规放入 V 形槽内并测出它的顶端至平板的高度  $B_2$ ；

5) 按公式 (9) 计算求出的角度  $C$  等于 V 形槽角度的一半。

四、计算公式：

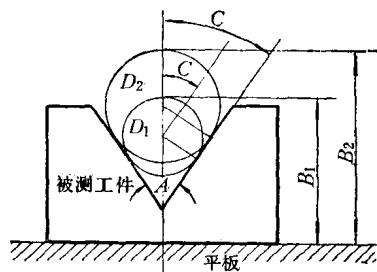


图 12 V 形槽的测量方法

$$\sin C = \frac{\frac{D_2 - D_1}{2}}{B_2 - B_1 - \left( \frac{D_2 - D_1}{2} \right)} \quad (9)$$

五、实例：已知  $D_1 = 7.00$  毫米； $D_2 = 13.75$  毫米； $B_1 = 25.96$  毫米； $B_2 = 34.30$  毫米。

代入公式得：

$$\begin{aligned}\sin C &= \frac{\frac{13.75 - 7.00}{2}}{34.30 - 25.96 - \left(\frac{13.75 - 7.00}{2}\right)} \\ &= \frac{3.375}{4.965} = 0.67975 = \sin 42^\circ 49'\end{aligned}$$

所以 V 形槽的角度  $A = 2C$  角  $= 42^\circ 49' \times 2 = 85^\circ 38'$

## 8 测量 V 形槽的宽度

一、测量目的：测量 V 形槽槽口的宽度  $G$ （如图 13）。

二、测量工具：

1) 钢球（或圆柱形量规）；2) 游标高度尺；3) 杠杆式百分表；4) 平板。

三、测量方法：

1) 把工件放在平板上，根据公式（9）测出 V 形槽的角度  $C$ ；

2) 用游标高度尺、杠杆式百分表和量块测出工件的高度  $B$ ；

3) 在 V 形槽内放入直径为  $F$  的钢球；

4) 测出钢球最高点（顶点）到平板（就是工件的底面）间的高度  $A$ （如图 13）；

5) 按公式（10）和（11）求出  $D$  的尺寸和  $G$  的宽度。

四、计算公式：

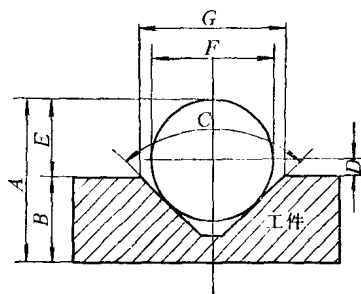


图13 测量 V 形槽的宽度

$$D = A - B - \frac{F}{2} \quad (10)$$

$$G = \left( F \times \sec \frac{C}{2} \right) - \left( 2 \times D \times \operatorname{tg} \frac{C}{2} \right) \quad (11)$$

五、实例：已知  $F = 30.00$  毫米； $A = 37.50$  毫米； $B = 20.00$  毫米； $C$  角  $= 80^\circ$ 。

代入公式 (10) 得： $D = 37.50 - 20.00 - \frac{30.00}{2} = 2.50$  毫米

再按公式 (11) 得： $G = \left( 30.00 \times \sec \frac{80^\circ}{2} \right) - \left( 2 \times 2.50 \times \operatorname{tg} \frac{80^\circ}{2} \right)$   
 $= (30.00 \times \sec 40^\circ) - (5 \times \operatorname{tg} 40^\circ)$   
 $= (30.00 \times 1.30541) - (5 \times 0.83910)$   
 $= 39.162 - 4.195 = 34.97$  毫米

## 9 测量斜面槽的角度和有关尺寸 (一)

一、测量目的：当斜面槽（或类似工件）的一个内侧面与槽底面相互垂直，测量另一内侧面的倾斜角度  $\theta$  以及槽底的宽度  $X$ （图 14）。

二、测量工具：

1) 圆柱量规（直径为  $D$ ）；2) 量块；3) 游标高度尺和杠杆式百分表；4) 平板。

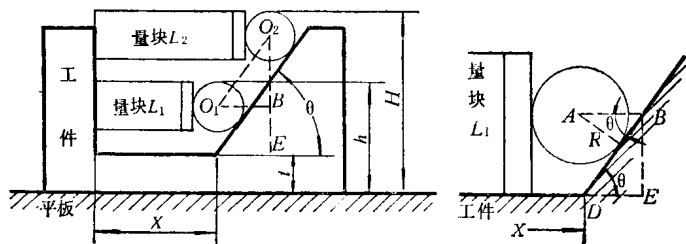


图 14 斜面槽的测量 (一)



### 三、测量方法:

1) 将圆柱量规和适当尺寸的量块组  $L_1$  放入槽的下部位置, 并测出圆柱量规的位置  $h$ ;

2) 将圆柱量规和适当尺寸的量块组  $L_2$  放入槽的上部位置, 测出圆柱量规的位置  $H$ ;

3) 按照公式 (12) 和 (13) 计算求出斜面槽的角度  $\theta$  和槽底的宽度尺寸  $X$ 。

### 四、计算公式:

$$R = \frac{D}{2}$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{H - h}{L_2 - L_1} \quad (12)$$

$$X = L_1 + R(1 + \csc \theta) - [h - (R + t)] \operatorname{ctg} \theta \quad (13)$$

## 10 测量斜面槽的角度和有关尺寸 (二)

一、测量目的: 测量斜面槽的角度  $A$  或测量大端槽口的宽度  $M$  (图15)。

### 二、测量工具:

1) 直径为  $D$  的圆柱形量规; 2) 测深千分尺; 3) 量块。

### 三、测量方法:

1) 把圆柱形量规  $D$  和适当尺寸的量块组  $B_2$  放入槽内的下部位置;

2) 以测深千分尺测量圆柱形量规的深度  $H_2$ ;

3) 将圆柱形量规和量块组  $B_2$  取出, 换以较大尺寸的量块

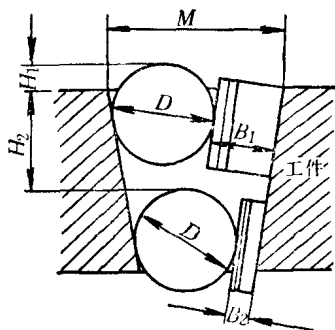


图15 斜面槽的测量方法 (二)