

# 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

测量



机械工业出版社

T98

3

B4416<sup>91</sup>

## 目 次

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 1 角度的正切测量法 .....              | 7  |
| 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 孔内环形槽倾斜角度的测量方法 .....       | 23 |
| 22 测量工件的倒锥 .....              | 24 |
| 23 测量导轨角度的测量方法 .....          | 26 |
| 24 测量导轨槽的测量方法 .....           | 27 |
| 25 测量导轨的测量方法 .....            | 28 |



A856970

|    |                   |    |
|----|-------------------|----|
| 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，其中主要有以下几方面：

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;

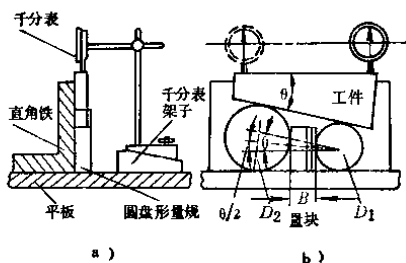


图 1 以正切法测量角度

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 1b)。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:

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

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：

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

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）

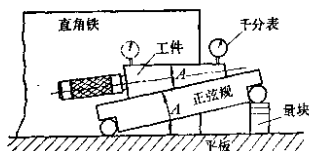


图2 用正弦规检验锥度

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）。

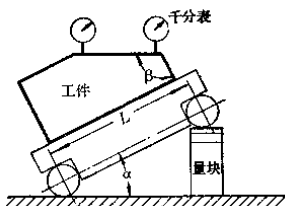


图 3 利用正弦规测量角度



图 4 测量工件的小锥角

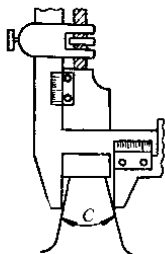


图 5 用齿厚游标卡尺测量工件厚度

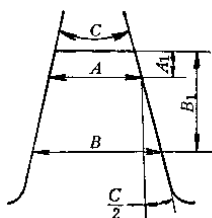


图 6 用齿厚游标卡尺测量工件厚度与高度

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：

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

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：

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

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。

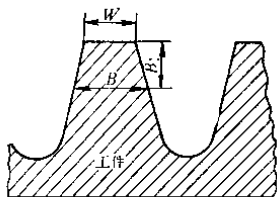


图 7 用齿厚游标卡尺测量  
齿条的顶宽

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

## 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。

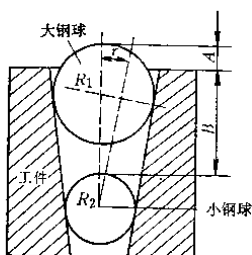


图8 圆锥孔的测量方法

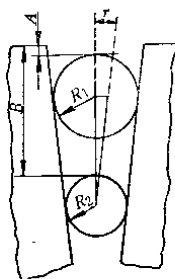


图9 圆锥孔的测量方法

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），

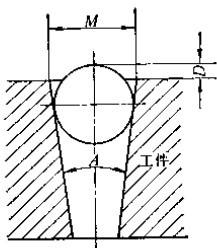


图10 圆锥孔的测量法

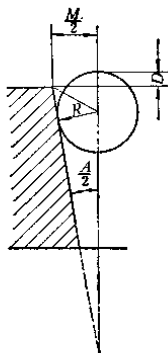


图11 测得钢球顶端至圆锥孔上平面的距离  $D$

- 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。

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

## 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：

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

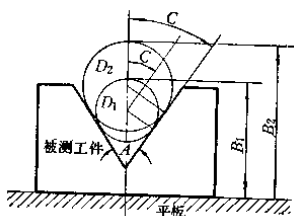


图12 V形槽的测量方法

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：

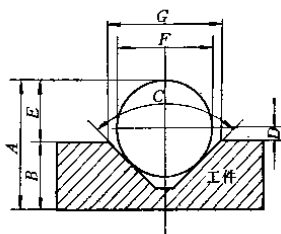


图13 测量 V 形槽的宽度

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

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

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： $G = \left( 30.00 \times \sec \frac{80^\circ}{2} \right) - \left( 2 \times 2.50 \times \tan \frac{80^\circ}{2} \right)$   
 $= (30.00 \times \sec 40^\circ) - (5 \times \tan 40^\circ)$   
 $= (30.00 \times 1.30541) - (5 \times 0.83910)$   
 $= 39.162 - 4.195 = 34.97$  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。

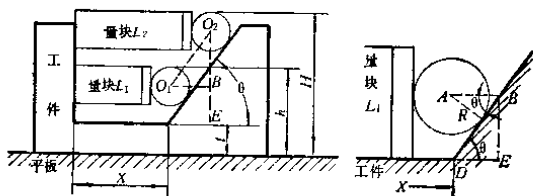


图14 斜面槽的测量 (一)

### 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

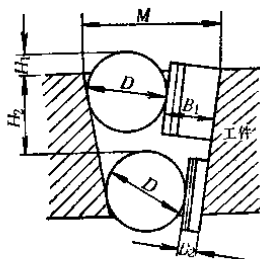


图15 斜面槽的测量方法 (二)

组  $B_1$ ，以使圆柱形量规能位于斜面槽的上部位置；

4) 测量出圆柱形量规在第二次位置时的高度  $H_1$ ；

5) 按照公式 (14) 和 (15) 计算出斜面槽的角度  $A$  和槽口宽度  $M$ 。

$$\text{四、计算公式: } \sin \frac{A}{2} = \frac{B_1 - B_2}{2(H_2 + H_1)} \quad (14)$$

$$M = (D + B_1) \sec \frac{A}{2} + 2 \left( \frac{D}{2} - H_1 \right) \tan \frac{A}{2} \quad (15)$$

## 11 用圆柱量规直接测量斜面槽的方法

一、校验目的：当斜面槽只有一面倾斜而另一面垂直时，也可以用圆柱形量规（或钢球）直接测量它的倾斜角度。

二、测量工具：

- 1) 两个不同直径的圆柱形量规（或钢球），并已知它的直径；
- 2) 千分尺；3) 游标高度尺；
- 4) 千分表或杠杆式百分表。

三、测量方法：

1) 把千分表装在游标高度尺上；

2) 把小直径圆柱形量规放入斜面槽，并测出它的顶端最高点和槽底的距离  $H_1$ （图 16）；

3) 把大直径圆柱形量规放入斜面槽，并测得其顶端最高点和槽底间的距离为  $H_2$ （图 16）；

4) 按照公式 (16) 计算出斜面槽的角度  $A = 2C$ 。

$$\text{四、计算公式: } \tan C = \frac{R_2 - R_1}{(H_2 - R_2) - (H_1 - R_1)} \quad (16)$$

式中  $R_1$ ——小圆柱形量规的半径；

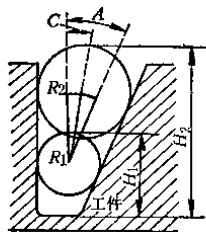


图16 用圆柱形量规测量斜面槽的方法