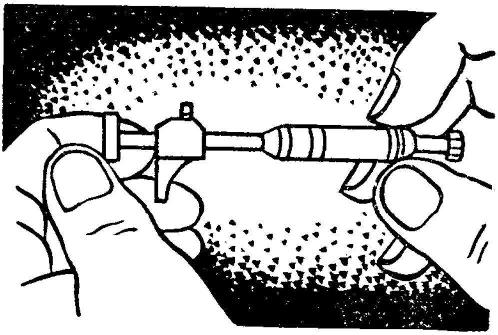
正弦规的应用

谭德培　胡德贵　编著

技术测量



机械工业出版社

目　次

正弦规是间接测量法中常用的量具之一。它以直角三角形的正弦函数为基础，测量或加工工件的角度。因正弦规的精度较高，所以只用来测量或加工比较精密的零件、工具或量具。

本书，主要介绍如何用正弦规和辅助量具测量精密的角度和某些特殊尺寸，以及与此有关的计算方法；也介绍了正弦规的构造、主要技术要求、检定方法及维护保养。

一、构　　造

利用正弦函数原理进行测量（或加工）的量具（或工具）都可称为正弦规。因此，正弦规可有多种型式。最简单、通用性最广的，是按第一机械工业部工具专业标准 GL33-62 制造的正弦规。它是一种万能量具，由量具厂成批生产。

这种正弦规有窄型（图 1 ）和宽型（图 2 ）两种型式。窄型的主

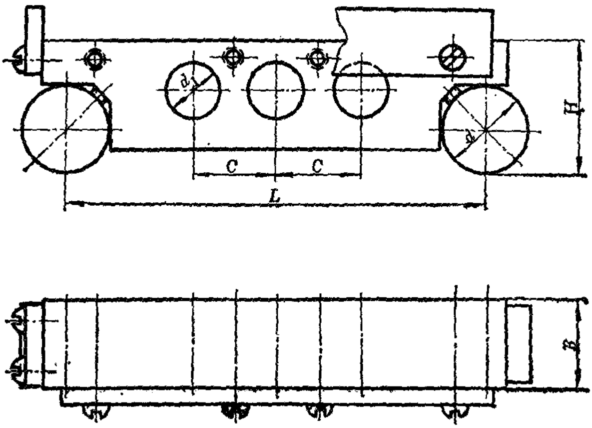


图 1　窄型正弦规

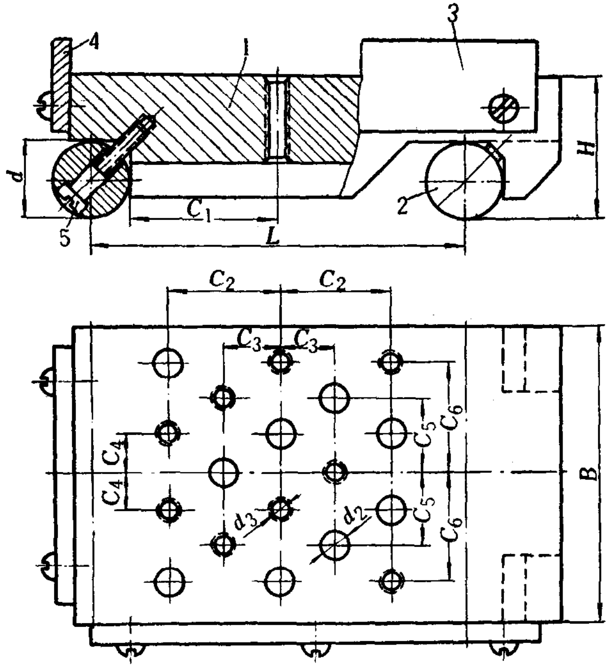


图 2　宽型正弦规

1—主体；2—圆柱；3—侧挡板；4—前挡板；
5—固定圆柱用螺钉

要用于测量或钳工工作；宽型的可以同时夹持几个零件，在工作面上可安放角铁、V 型架、虎钳等夹具，便于在机床上加工零件。

正弦规的基本尺寸见表 1、表 2。

表 1　窄型正弦规的基本尺寸（毫米）

L	B	d	H	C	d_1
100 200	25 40	20 30	30 55	20 40	12 20

表 2　宽型正弦规的基本尺寸（毫米）

L	B	d	H	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	d_2	d_3
100	80	20	40	40	30	15	10	20	30	7dc7	M6
200	150	30	65	85	60	30	15	30	45		

从图 1 、 2 可见，正弦规有一主体，两个直径相同的圆柱（用螺钉固定在主体上）。为了便于零件在正弦规上定位及定向，主体的一个端面及一个侧面上分别用螺钉固定了一块挡板，端面上的叫前挡板，侧面上的叫侧挡板，零件安装时应靠在适当的挡板上。有时，正弦规附加一块带有圆棱工作边的前挡板（图 3），圆棱工作边平行于正弦规的工作面且通过圆柱的中心平面。安装大的零件时，可拆去挡板。

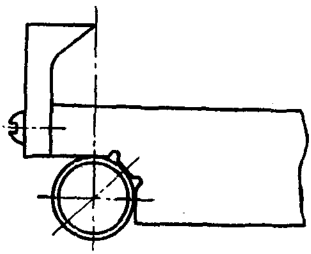


图 3　带圆棱工作边的前挡板

为了便于夹持零件或安装夹具，宽型正弦规的工作面上有 $\phi 7$ 的光孔及 $M6$ 的螺孔。窄型正弦规不便夹持零件，必要时也可利用直径为 d_1（图 1 ）的孔。

生产量具的工厂，有时供应宽型正弦规用的支承板，用以在机床上固定正弦规。支承板的作用见图 4 ，正弦规左边的圆柱靠紧支承板的定位面，杠杆 2 伸入正弦规底部的凹槽内，利用螺杆 5 可将圆柱压紧，块规组就垫在右边的圆柱下面。

支承板的基本尺寸见表 3 。

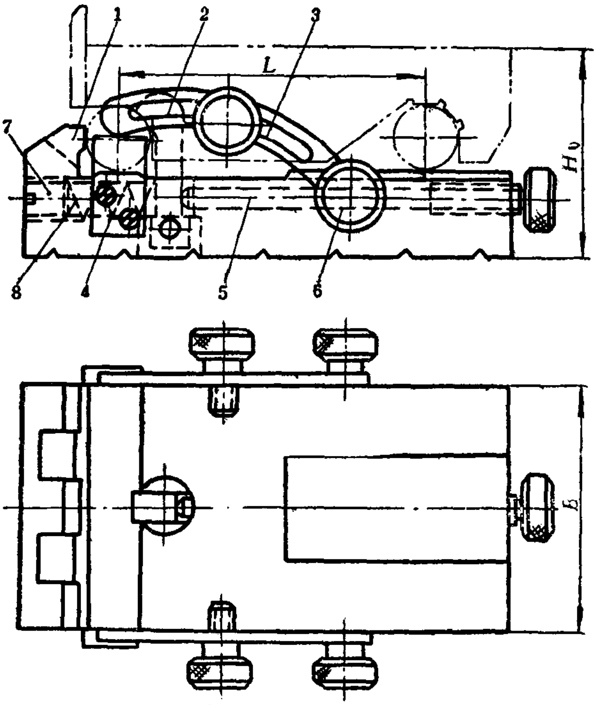


图 4　支承板

1—底板；2—固定圆柱用杠杆；3—连环；4—圆柱挡板；5—固定圆柱用螺杆；6—固定主体用螺钉；7—止推螺钉；8—弹簧

表 3　支承板的基本尺寸（毫米）

正弦规圆柱中心距	H_0	B
100	70	80
200	90	150

二、主要技术要求

正弦规应符合下列要求。

1）正弦规能装置成0°至80°范围内的任何角度。

2）结构的刚性和零件的强度要适应磨削工作条件。

3）正弦规的零件要便于修理和更换。

4）正弦规各工作面的表面光洁度（按 GB1031-68)：

主体工作面	不低于10级
圆柱面	不低于12级
支承板上工作面	不低于12级
支承板下工作面	不低于 7 级
前挡板圆棱工作面	不低于10级
前挡板和侧挡板工作平面	不低于 7 级

5）除螺纹孔和光孔外，所有其他表面均有防锈层。

6）正弦规各工作面的硬度：

主体工作面	不低于 HRC58
圆柱工作面	不低于 HRC60
前挡板圆棱工作面	不低于 HRC58
前挡板和侧挡板工作平面	不低于 HRC48
支承板的上、下工作面	不低于 HRC58

7）正弦规各工作部分的偏差不超过表 4 所规定的范围。

表 4　正弦规各工作部分的允许偏差

偏差名称	当长度 L 为 100（毫米）	当长度 L 为 200（毫米）	偏差名称	当长度 L 为 100（毫米）	当长度 L 为 200（毫米）
	μ			μ	
两圆柱中心距的偏差：			正弦规工作面与切于圆柱下部母线的平面的不平行度偏差	2	3
宽　型	±3	±5	正弦规工作面和支承板上工作面的不平度偏差	2	3
窄　型	±2	±3	在支承板全长内，侧挡板工作面与圆柱中心线不垂直度偏差	50	80
两圆柱中心线在圆柱长度内的不平行度偏差：			在支承板全长内前挡板工作面与圆柱中心线不平行度偏差：		
宽　型	3	5	窄　型	10	20
窄　型	1	2	宽　型	40	60
支承板上、下工作面的不平行度偏差	3	5			
宽型正弦规的工作面上各孔中心距的偏差	±200	±200			
成对圆柱的直径偏差	3	3			
圆柱几何形状偏差	2	2			

三、工 作 原 理

图 5 是正弦规的工作原理图。测量链由正弦规、平板、块规组和装在支架上的测微计（或杠杆千分表）组成。从图中可看出，由于正弦规二圆柱直径相等，二圆柱中心连线又与工作平面平行，因此二圆柱与块规组所构成的直角三角形的锐角 2α 等于正弦规工作平面和平板之间的夹角。2α 角的对边是块规组的高度 h，斜边是正弦规两圆柱中心距离 L。如果 L 不变，利用直角三角形的关系，根据高度 h，可求出角度 2α。在图 5 中，测微计（或杠杆千分表）用来检查外锥体的上母线是否与平板平行。当测微计（或杠杆千分表）的测量头沿锥体的上母线移动而读数没有变化

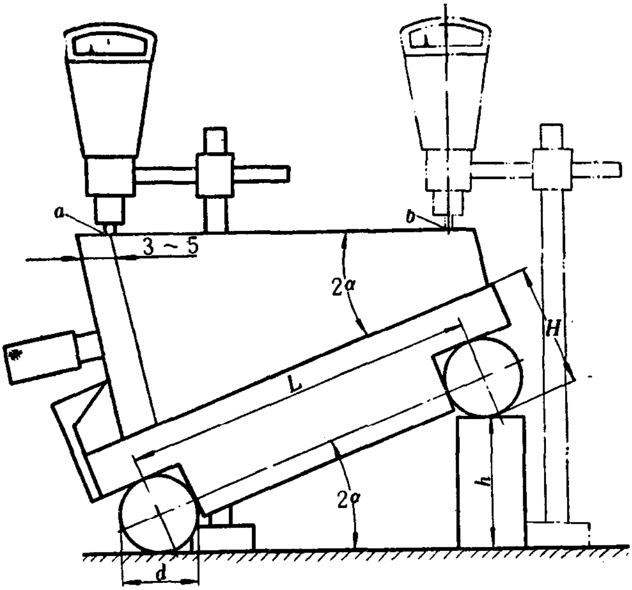


图 5　正弦规的工作原理

时，即表示锥体的圆锥角等于正弦规组成的角度。如果读数有变化，即表示圆锥角不等于正弦规组成的角度。由图 5 可知，正弦规本身的高度H不起什么作用。

为了得到正弦规与平板之间的角度 2α，可用三角函数计算出块规组高度 h。

〔例〕　已知两圆柱中心距L为 100 毫米，正弦规和平板的夹角 2α 为 30°，试计算块规组的高度 h。

解：

$$\because \quad \sin 2\alpha = \frac{h}{L} \tag{1}$$

$$L = 100, \quad 2\alpha = 30^\circ$$

$$\therefore \quad h = L\sin 2\alpha = 100 \times \sin 30^\circ \tag{2}$$

查三角函数表 $\sin 30^\circ = 0.5$

则 $h = 100 \times 0.5 = 50$毫米。

四、测 量 锥 度

测量外锥体的锥度时，锥体的大端靠紧前挡板的圆棱工作边（如图5），小的外锥体也可以用小端靠紧。这样，锥体的中心线便垂直于正弦规圆柱的中心线。

如果已知 2α 的名义值，则用 $h = L\sin 2\alpha$ 可计算出块规组的高度 h。

此时，锥体下母线与正弦规工作平面贴合，上母线应与平板表面平行。如果圆锥角 2α 有偏差，则上母线与平板表面出现一个很小的倾斜角 $\Delta 2\alpha$。将测微计（或杠杆千分表）的测量头沿锥体的上母线移动，观察读数的变化，记下上母线 a 和 b 处的读数值（a、b 各距端面3～5毫米）。这时角度偏差 $\Delta 2\alpha$ 可用下式计算。

$$\Delta 2\alpha = \frac{M_1 - M_2}{l}\text{(弧度)}$$

式中 M_1——a 点的读数(毫米)；

M_2——b 点的读数(毫米)；

l——a 点至 b 点的距离(毫米)。

但是上式并不实用。实际上 M_1 及 M_2 以微米计，l 以毫米计，$\Delta 2\alpha$ 以分或秒计更为方便。经过单位换算，可改用下式：

$$\Delta 2\alpha = \frac{M_1 - M_2}{l} \times 3.4\text{(分)} \tag{3}$$

或

$$\Delta 2\alpha = \frac{M_1 - M_2}{l} \times 200\text{(秒)} \tag{4}$$

这里必须注意，若$M_1 > M_2$时，$\Delta 2\alpha$为正值。若$M_1 < M_2$时，$\Delta 2\alpha$为负值。

圆锥角实际值：$2\alpha_1 = 2\alpha \pm \Delta 2\alpha$

如果事先不知道圆锥角的名义值，可用其他角度量具先将其粗略值量出，作为名义值，然后，按上述方法测出$\Delta 2\alpha$，再计算其实际值$2\alpha_1$。

操作时要注意，当移动万能支架，用测微计(或杠杆千分表)在某点进行读数时，必须使万能支架在垂直于母线方向作微量移动，直至读数出现最大值才能记取。

下面是检查4#莫氏锥体塞规的实例。

采用二圆柱中心距为100毫米的正弦规。从表5查得塞规的圆锥角$2\alpha = 2°58'30''$，查三角函数表得$\sin 2\alpha = 0.051905$，则块规组高度$h = 100 \times 0.051905 = 5.1905$。用测微计测得$M_1 = 0$，$M_2 = -10$微米，两测量点之距离为100毫米，于是运用公式(4)：

$$\Delta 2\alpha = \frac{0-(-10)}{100} \times 200 = 20\text{秒}$$

$$2\alpha_1 = 2°58'30'' + 20'' = 2°58'50''$$

表5、表6列出了测量莫氏锥度和标准锥度时块规组的尺寸。

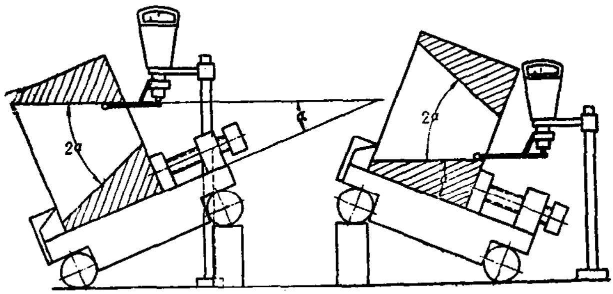
表5　测量莫氏锥度的块规组尺寸

号数	锥　度　K	圆锥角2α	块规组尺寸h(毫米)	
			L = 100	L = 200
0#	1:19.212 = 0.05205	2°58′54″	5.2015	10.4030
1#	1:20.047 = 0.04988	2°51′26″	4.9849	9.9698
2#	1:20.020 = 0.04995	2°51′40″	4.9919	9.9838
3#	1:19.922 = 0.05020	2°52′32″	5.0168	10.0337
4#	1:19.254 = 0.05194	2°58′30″	5.1905	10.3810
5#	1:19.002 = 0.05263	3°0′52″	5.2594	10.5187
6#	1:19.180 = 0.05214	2°59′12″	5.2105	10.4209

表 6　测量标准锥度的块规组尺寸

锥　度　K	圆 锥 角 2α	块规组尺寸 h（毫米）	
		$L=100$	$L=200$
1:200	0°17′11″	0.5000	1.0000
1:100	0°34′23″	1.0000	2.0000
1:50	1°8′45″	1.9998	3.9996
1:30	1°54′35″	3.3324	6.6648
1:20	2°51′51″	4.9969	9.9938
1:15	3°49′6″	6.6593	13.3185
1:12	4°46′19″	8.3189	16.6378
1:10	5°43′29″	9.9751	19.9501
1:8	7°9′10″	12.4514	24.9027
1:7	8°10′16″	14.2132	28.4264
1:5	11°25′16″	19.8020	39.6040
1:3	18°55′29″	32.4324	64.8649

用正弦规也可以检查内锥体的锥度，检查方法如图 6 所示。内锥体零件的外表面作为测量的辅助基面，先用块规组将正弦规右边的圆柱垫起，使内锥体的上母线成水平，用测微计（或杠杆千分表）按检查外锥体的方法测出内锥体上母线的半锥角 α（图



a)　　b)

图 6　检查内锥体的锥度

6 *a*)。然后，在不改变安装的情况下，将块规组垫在正弦规左边圆柱下，使下母线成水平，用测微计（或杠杆千分表）测得下母线的半锥角 α（图 6 *b*）。显然圆锥角 2α 为二半锥角之和。

这里必须特别注意，在测量上、下母线的半锥角时，内锥体在正弦规上的安装状况必须保持不变。为此，必须用夹具可靠地夹紧。这时，套筒外表面的状况（如滚花、扁平部分等）只影响每个半锥角单独的测量精度，而当二角相加时这种影响相互抵消了，对圆锥角 2α 的测量精度，是没有影响的。

测量内锥体与测量外锥体不同的是，测量内锥体时块规组尺寸按半锥角计算。如果按图 6 所示在测微计上加了一个杠杆，测微计的读数符号应与实际相反，即正应读成负，负应读成正。

五、测量锥度的直接计算法

测量锥度特别是测量锥体量规时（如图 5 所示），如果所用的基本量具（平板、正弦规、块规、测微计或杠杆千分表等）经过精确的检定并有精确的数值，正弦函数 $\sin 2\alpha$ 的精确数值也知道，那末测量的精度就能满足需要。

但如果只知锥体的锥度（如 $\frac{1}{20}$、$\frac{1}{25}$、$\frac{7}{24}$、1:19.254、0.04988等），计算方法采用公式 $h = L\sin 2\alpha$，如已知锥度 $K = \frac{1}{Q}$

则
$$2\alpha = 2\mathrm{tg}^{-1}\frac{1}{2Q} \tag{5}$$

或
$$2\alpha = 2\mathrm{tg}^{-1}\frac{K}{2} \tag{6}$$

这样一来，要先根据锥度的比值从正切函数中找出 2α，然后再查 2α 的正弦函数，最后计算 h。如果我们只有一份四、五

位三角函数表的话，计算的精确度就往往不能满足要求。

如 4# 莫氏锥体量规锥度的名义值为 0.05194，锥度的极限误差为 ±0.00004，要求准确到小数后第五位。若应用五位函数表，也只准确到第五位。函数表的分度又比较粗糙，一般以分为单位。这样，经过两次查表及计算后，第五位数字已不可靠。按一般习惯，在精密测量中，为尽量减少误差，计算的数字至少应比实际的准确数字多一位，也就是说本例的计算数字应准确到小数后第六位最为理想。按照上面所说的方法，是不能达到这种要求的。

下面所谈的直接计算法，可以免除查表的麻烦，计算的准确度原则上不受限制，如能用一般计算机计算，准确到七、八位是毫无困难的。

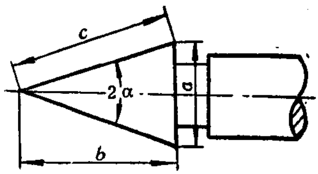


图 7　直接计算锥度的原理图

这种计算方法的原理如图 7 所示，这里把锥度看成一个等腰三角形底与高之比。

设　　　　锥度　$K = \frac{1}{Q} = \frac{a}{b}$

而　　　　$\sin\alpha = \frac{a}{2c}$

$$\cos\alpha = \frac{b}{c}$$

根据三角学的公式

$$\sin 2\alpha = 2\sin\alpha\cos\alpha = 2\left(\frac{a}{2c}\right)\cdot\left(\frac{b}{c}\right) = \frac{ab}{c^2}$$

又因　　$C^2 = \left(\frac{a}{2}\right)^2 + b^2 = \frac{1}{4}a^2 + b^2$

故　　$$\sin 2\alpha = \frac{ab}{\frac{1}{4}a^2 + b^2} = \frac{4ab}{a^2 + 4b^2} \qquad (7)$$

因　　　　　锥度　$K=\frac{1}{Q}=\frac{a}{b}$

故有　　　　　$b=Qa$ 及 $Q=\frac{1}{K}$

以 $b=Qa$ 代入（7）式

则　$$\sin 2\alpha=\frac{4a(Qa)}{a^2+4Q^2a^2}=\frac{4a^2Q}{a^2(1+4Q^2)}=\frac{4Q}{1+4Q^2} \tag{8}$$

如以 $Q=\frac{1}{K}$ 代入（8）式

即得　$$\sin 2\alpha=\frac{4\left(\frac{1}{K}\right)}{1+4\left(\frac{1}{K}\right)^2}=\frac{4K}{4+K^2} \tag{9}$$

如将（7）（8）（9）式分别代入公式（2）

则有　$$h=L\sin 2\alpha=\frac{4Lab}{a^2+4b^2} \tag{10}$$

及　$$h=L\sin 2\alpha=\frac{4LQ}{1+4Q^2} \tag{11}$$

和　$$h=L\sin 2\alpha=\frac{4LK}{4+K^2} \tag{12}$$

因此，如锥度以分比形式表示者（如 $K=7:24$），则可用（10）式计算。

如锥度以小数形式表示者（如 $K=0.04988$），则可用（12）式计算。

如锥度用Q表示者，则用（11）式计算较为方便。

下面以铣床主轴的锥度 $\left(\frac{7}{24}\right)$ 为例，说明两种计算方法的步骤。

（一）用一般计算法（采用四位三角函数表）

先将分数化为小数：

$$K=\frac{7}{24}=0.2916$$

应用公式（6） $2\alpha = 2\,tg^{-1}\frac{K}{2} = 2tg^{-1}\frac{0.2916}{2}$

$= 2tg^{-1}0.1458 = 2\times 8°17.93' = 16°35.86'$

应用公式（2） $h = L\sin 2\alpha$

$= 100\sin 16°35.86' = 100\times 0.28564 = 28.564$

（二）用直接计算法

1）应用公式（10）

$\because a : b = 7:24$

取 $a = 7,\quad b = 24$

$$h = \frac{4Lab}{a^2+4b^2} = \frac{4\times 100\times 7\times 24}{7^2+4\times 24^2} = \frac{67200}{2353} = 28.559$$

2）应用公式（12）

$$\because \quad K = \frac{7}{24} = 0.2916666$$

$$\therefore \quad h = \frac{4LK}{4+K^2} = \frac{4\times 100\times 0.2916666}{4+0.2916666^2}$$

$$= \frac{116.66664}{4.085069} = 28.559$$

由此可见，本例中第一种计算方法的误差达5微米，而第二种方法能既快又准地算出所求的数值。

六、测量角度和角度样板

图8是用正弦规测量样板的角度β（即B、C两面的夹角）。在正弦规上不能直接测量β角，而是测出2α角，则$\beta = 90° + 2\alpha$。测量时，将A面作为辅助基准。同时，保证A面与B面间成90°，其偏差应小于β角之公差（例如是β角公差的1/5）。当

然也可以将 A、B 面夹角的实际值代入，以计算 β 角的大小。

测量 2α 角时，要在正弦规的一个圆柱下面垫上块规组，它的理论高度 $h = L\sin(\beta - 90^\circ)$。

然后以 A 面为基准，将样板放在正弦规上，用刀口直尺检查 C 面与平板是否平行，检查的方法如下：在平板上放一适当高度的块规组，块规组上放刀口直尺，在正弦规上平行移动样板，使 C 面与刀口直尺接触，观看 C 面两端的漏光程度，以两端漏光的大小，调整块规组 h 的大小，直到使 C 面无漏光为止。

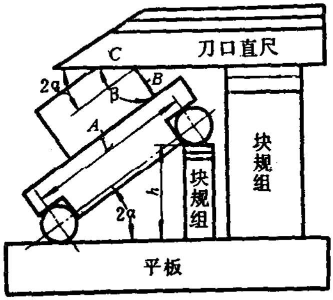


图 8　测量角度样板

根据 h 计算角度 β：

$$\sin 2\alpha = \frac{h}{L}$$

$$2\alpha = \sin^{-1}\frac{h}{L}$$

$$\beta = 90^\circ + 2\alpha$$

在以上过程中，也可以用测微计（或杠杆千分表）代替刀口直尺找平。

如果样板的角度不大于 80°，可用测量外锥体的方法进行测量。

图 9 为一种带槽的角度样板，槽宽为 b，槽与 n 面夹角为 2α，n 面与 m 面平行。

测量槽与 n 面的夹角时，由于 n 面不便于安装，可借助于 m 面。将样板安放在正弦规上（图10），使其靠紧侧挡板，此时样板就垂直于正弦规的滚柱了。将厚度等于槽宽的块规组 1 塞入槽内，