形位公差技术报告集

（二）

全国形位公差标准化技术委员会

1985

目　　录

键槽对称度误差测量原理

顺云鹄　执笔

键联结在机械中应用十分广泛，互换性要求高。键槽对称度误差直接影响键联结的配合性能或可装配性。因此，在机械制造业中，对于键槽对称度误差的测量，已引起普遍重视。

应用通用测量器具为工具显微镜、平板和指示式仪器等都可测量键槽对称度误差，然而这些测量方法往往测量效率较低，不能适应生产需要。寻求键槽对称度误差测量原理，设计测量效率比较高、使用方便，结果准确的专用测量装置，是当前键槽对称度误差测量中的一项重要任务。

下面在简述键槽对称度误差评定方法的基础上，讨论基本测量原理，分析定位方法，并提出键槽对称度误差专用测量装置方案，作为设计专用测量装置的理论依据。

一、键槽对称度误差评定方法

根据《形状和位置公差　检测规定》国家标准（GB1958—80），对于定位误差的定义和有关规定，键槽对称度误差的评定方法可有以下几种。

1．按定义评定法

键槽对称度误差是指键槽的实际中心面对其理想中心平面的变动量，理想中心平面由基准轴线定位，且误差值按定位条件下的最小值评定，亦即由两平行平面构成“定位最小包容区域”的宽度f为键槽对称度误差。

在测量中，连续的实际中心面是很难获得的。因此，常常用离散点的集合代替键槽的实际中心面。

构成实际中心面的离散点，可以通过对键槽两侧面的对应点作坐标测量，各组对应点坐标值的中点，即是构成实际中心面的离散点。

设，x_1、x_2为与定位最小包容区域的两平行平面分别接触的两点横坐标值，Δ_1、Δ_2为两接触点的纵坐标值，坐标系原点o在基准轴线上，则对称度误差为：

$$\left.\begin{aligned} & f = 2\Delta' \\ & \Delta' = \left|\Delta_1 - \frac{x_1}{x_1+x_2}(\Delta_1+\Delta_2)\right| = \left|\Delta_2 - \frac{x_2}{x_1+x_2}(\Delta_1+\Delta_2)\right| \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

参见图1。式中的Δ与x，在计算时单位不必统一，如Δ以μm计，而x可以mm计。

2．模拟实际中心面评定法

用定位块的中心平面模拟槽键实际中心面，键槽的中心面形状误差已被排除，故键槽的对称度误差按下列两式评定：

对于轴槽：
$$f = \frac{d(\Delta_1 - \Delta_2) + 2h\cdot\Delta_2}{d-h} \quad (2)$$

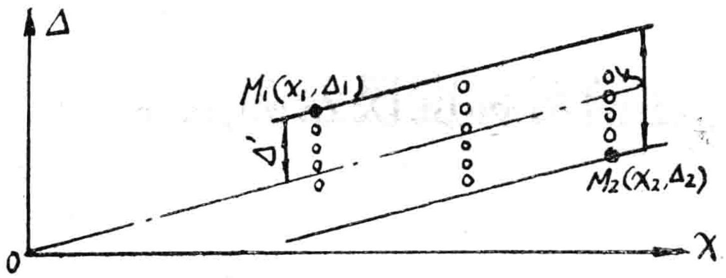


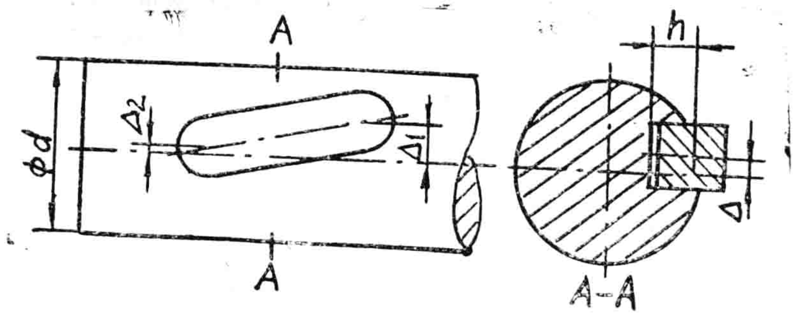
图1

对于毂槽： $$f=\frac{D(\Delta_1-\Delta_2)+2h\cdot\Delta_1}{D+h} \qquad (3)$$

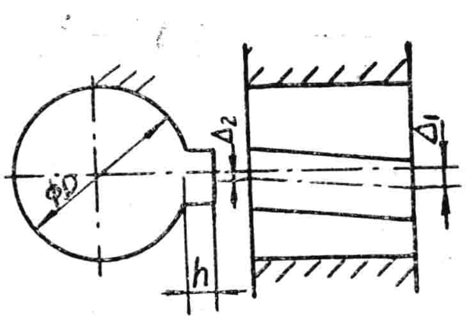
式中： d、D ——轴和孔的直径；

h——轴槽和毂槽深度；

Δ_1、Δ_2 ——模拟中心平面的最大和最小坐标值（参见图2　a)、b))。



a)



b)

图2

3．以线代面评定法

由于键槽中心面的形状误差若与其对称度公差相比，往往很小而可略去不计，这样，就有可能以键槽高度方向的某一截面内测得的坐标值Δ_i来代表实际中心面的偏离值。如图3中，在截面A－A内测得坐标值Δ_i，据此来评定键槽对称度误差。由于该法相当于排除了键槽中心面的形状误差，故可用公式（2）和（3）来分别计算轴槽和毂槽的对称度误差。

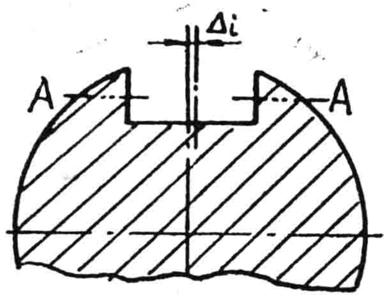


图3

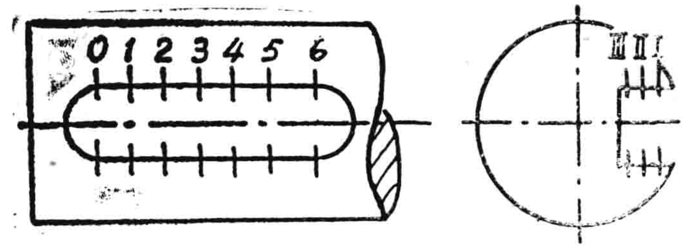


图4

下面举一试验实例，来说明以线代面评定法是可行的。

用坐标测量法，对$d=52$、$h=12$的一轴槽，按图4，在各测量截面内用万工显测得坐标值$\varDelta_i$如下表所列：

面　截	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
0	0.163	0.1615	0.159
1	0.1575	0.160	0.1605
2	0.157	0.1605	0.1545
3	0.1555	0.161	0.1575
4	0.156	0.153	0.1545
5	0.156	0.152	0.1515
6	0.1495	0.1515	0.154

根据上列测得数据，按公式（1），评定的对称度误差为：

$$\varDelta'=\varDelta_1-\frac{x_1}{x_1+x_2}(\varDelta_1+\varDelta_2)=163-\frac{15}{15+25}(163+151.5)=45.06$$

$$\therefore\quad f=2\varDelta'=2\times45.06=90.12(\mu\mathrm{m})$$

按公式（2）对各截面评定结果为：

$$f_{\mathrm{I}}=\frac{52(0.163-0.1495)+2\times12\times0.1495}{52-12}=0.107(\mathrm{mm})$$

$$f_{\mathrm{II}}=\frac{52(0.1615-0.1515)+2\times12\times0.1515}{52-12}=0.104(\mathrm{mm})$$

$$f_{\mathrm{III}}=\frac{52(0.1605-0.1515)+2\times12\times0.1515}{52-12}=0.103(\mathrm{mm})$$

在截面Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ内评定的对称度误差基本相同，与按定义评定法相比较略有偏大。

应用以线代面法来评定键槽对称度误差的可行性，对设计结构简单、使用方便、测量效率又高的专用测量装置提供了依据。

二、测量$\varDelta_i$的基本原理

评定键槽对称度误差，必须首先测得实际中心面相对于过基准轴线坐标平面的偏离量$\varDelta_i$。因此，各种测量装置都是围绕如何测得$\varDelta_i$来考虑。

由于键槽中心面是抽象的中心要素，故无法直接测得$\varDelta_i$，总是需要测量与$\varDelta_i$有关的轮

廓要素后，再求得Δ_i。通常有以下两种方法来反映Δ_i。

1．由圆柱面和键槽侧面反映Δ_i

图5中，假设x—y坐标平面的交线与基准轴线重合，只要测得尺寸A_1和A_2后，就可求得Δ_i。

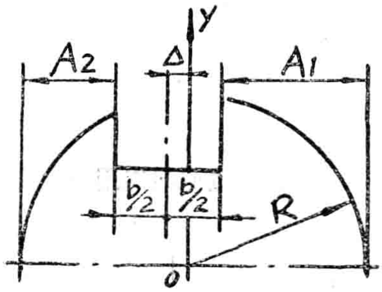


图5

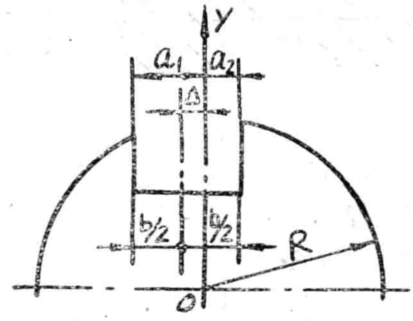


图6

$$A_1 = R + \Delta - \frac{b}{2}, \quad A_2 = R - \Delta - \frac{b}{2}$$

$$A_1 - A_2 = \left(R + \Delta - \frac{b}{2}\right) - \left(R - \Delta - \frac{b}{2}\right) = 2\Delta$$

$$\therefore \quad \Delta = \frac{A_1 - A_2}{2} \tag{5}$$

2．由键槽侧面相对于坐标平面的距离反映Δ_i

图6中，x—y坐标平面交线仍与基准轴线重合，测得a_1和a_2后就可求得Δ_i。

$$a_1 = \frac{b}{2} + \Delta, \quad a_2 = \frac{b}{2} - \Delta$$

$$a_1 - a_2 = \left(\frac{b}{2} + \Delta\right) - \left(\frac{b}{2} - \Delta\right) = 2\Delta$$

$$\therefore \quad \Delta = \frac{a_1 - a_2}{2} \tag{6}$$

测量尺寸A_1、A_2或a_1、a_2时，常采用接触式瞄准测量法。与键槽侧面接触的测头有两类可供选择，其一为刃口形测头，其二为球形测头。测量时若测头偏置都会带来不可忽视的测量误差，下面作一分析。

（1）采用刃口形测头测量

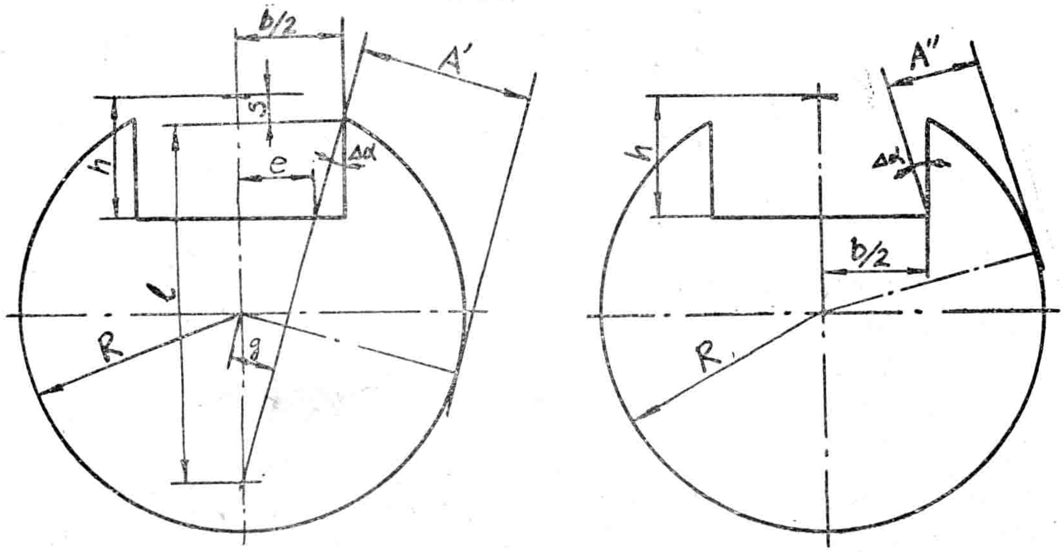
测量尺寸A_1或A_2时，若测头的刃口没有与槽键侧面贴合，且与键槽口接触，则测得尺寸为A'，如图7a）所示。

设刃口相对于键槽侧面倾斜的角度为$\Delta\alpha$，于是：

$$A' = R - g$$

$$g = e \cdot \cos\Delta\alpha - (R - h)\sin\Delta\alpha$$

由相似三角形知： $e = \dfrac{b}{2l}(l + s - h)$，



a)　　　　　　　　　　　　　　　　b)

图7

$$l=\frac{b}{2}\text{ctg}\Delta\alpha$$

因　　$(R-S)^2+\left(\frac{b}{2}\right)^2=R^2,$

所以　$S=\frac{2R\pm\sqrt{4R^2-b^2}}{2}$　　取$S=\frac{2R-\sqrt{4R^2-b^2}}{2}$

$$\therefore\quad A'=R+\frac{\sqrt{D^2-b^2}}{2}\sin\Delta\alpha-\frac{b}{2}\cos\Delta\alpha$$

A'的理论值为A,　　$A=R-\frac{b}{2}$

$$\Delta A'=A'-A=\frac{\sqrt{D^2-b^2}}{2}\sin\Delta\alpha+\frac{b}{2}(1-\cos\Delta\alpha)$$

因一般$\Delta\alpha$不大，故取$\sin\Delta\alpha\approx\Delta\alpha$（弧度）　　$\cos\Delta\alpha=1$

$$\therefore\quad \Delta A'=\frac{1}{2}\sqrt{D^2-b^2}\cdot\Delta\alpha \tag{7}$$

公式（7）表示了刃口测头倾斜一角度$\Delta\alpha$后，由此引起了测量误差$\Delta A'$。

例，轴的直径$D=20$，$b=6$，$\Delta\alpha=0.01745$（相当于1°），则

$$\Delta A'=\frac{1}{2}\sqrt{20^2-6^2}\times0.01745=0.1665\ (\text{mm})$$

在图7b）中刃口测头倾斜$\Delta\alpha$，且测头端点与槽底处侧面接触，于是测得值为：

$$A''=R-\frac{b}{2}\cos\Delta\alpha-(R-h)\sin\Delta\alpha$$

$$\Delta A'' = A'' - A = R - \frac{b}{2}\cos\Delta\alpha - (R-h)\sin\Delta\alpha - \left(R - \frac{b}{2}\right)$$

$$= \frac{b}{2}(1-\cos\Delta\alpha) - (R-h)\sin\Delta\alpha$$

取$\sin\Delta\alpha \approx \Delta\alpha$（弧度） $\cos\Delta\alpha \approx 1$

$$\Delta A'' = -(R-h)\Delta\alpha \tag{8}$$

式中括号前的负号表示测得的 A'' 比A为小

例，轴的直径$D=20$，槽深$h=3.5$，

$\Delta\alpha = 0.01745$（相当于1°）

按公式（8），$\Delta A'' = |-(10-3.5)\times 0.01745|$
$=0.1134$（mm）

从上述分析可知，测量时若刃口测头未能与键槽侧面贴合好，将会引起较大的测量误差，绝不能对此忽视。

（2）采用球形测头测量

在图8中，应用球形测头测量尺寸A，当测头位置偏置后，测得值为A'或A''。由图可知：

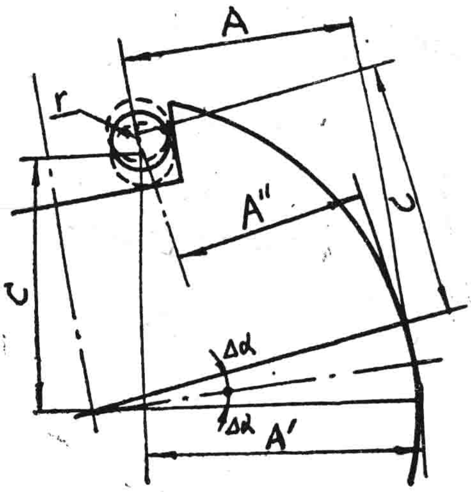


图8

$$A = R - \frac{b}{2} + r$$

$$A' = R - \left(\frac{b}{2} - r\right)\frac{1}{\cos\Delta\alpha} + c\cdot \mathrm{tg}\Delta\alpha$$

$$\Delta A' = A' - A = \left(\frac{b}{2} - r\right)\left(1 - \frac{1}{\cos\Delta\alpha}\right) + c\cdot\mathrm{tg}\Delta\alpha$$

因$\Delta\alpha$很小，取$\cos\Delta\alpha \approx 1$，$\mathrm{tg}\Delta\alpha \approx \Delta\alpha$（弧度）

则 $$\Delta A' = c\cdot\Delta\alpha \tag{9}$$

式中：c——仪器常数，假定测头在槽深中部与侧面接触，故有

$$c = R - \frac{h}{2} = \frac{1}{2}(D-h)$$

例，轴直径$D=20$，$h=3.5$，$\Delta\alpha = 0.01745$（弧度）

则 $\Delta A' = \frac{1}{2}(20-3.5)\times 0.01745 = 0.144$（mm）

又，$$A'' = R - \left(\frac{b}{2} - r\right)\frac{1}{\cos\Delta\alpha} - c\cdot\mathrm{tg}\Delta\alpha$$

$$\Delta A'' = A'' - A = \left(\frac{b}{2} - r\right)\left(1 - \frac{1}{\cos\Delta\alpha}\right) - c\cdot\mathrm{tg}\Delta\alpha$$

取$\cos\Delta\alpha \approx 1$， $\mathrm{tg}\Delta\alpha \approx \Delta\alpha$， $c = \frac{1}{2}(D-h)$

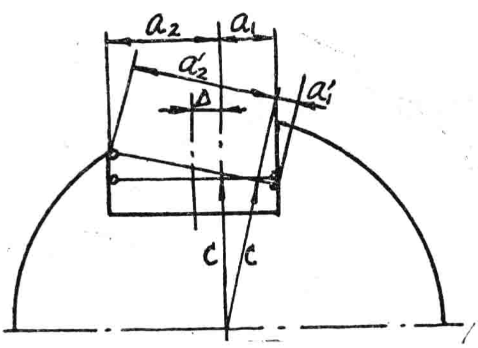
则：$$\Delta A'' = -\frac{1}{2}(D-h)\Delta\alpha \tag{10}$$

上式等号右边的负号表示测得的A''小于A。比较公式（9）和（10）可知，$\Delta A'$与$\Delta A''$绝对值相同，符号相反，说明测头与键槽右侧面接触时，若顺钟向倾斜$\Delta\alpha$，则测得值增大；若逆钟向倾斜$\Delta\alpha$，则测得值减小。

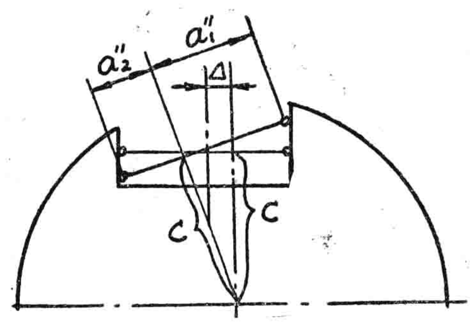
从以上分析可知，无论采用刃口形测头还是球形测头，由于测头的倾斜偏置，都会带来不容忽视的测量误差。

测量键槽侧面与坐标平面之间距离a_1和a_2时，测头的倾斜偏置所引起的测量误差，可作如下分析：

图9a)中，
$$\Delta=\left|\frac{a_1-a_2}{2}\right|$$



a)



b)

图9

当测量线倾斜$-\Delta\alpha$角度后，测得值为a'_1和a'_2，

$$a'_1=\left(\frac{b}{2}-\Delta\right)\frac{1}{\cos\Delta\alpha}-c\cdot\mathrm{tg}\Delta\alpha$$

$$a'_2=\left(\frac{b}{2}+\Delta\right)\frac{1}{\cos\Delta\alpha}+c\cdot\mathrm{tg}\Delta\alpha$$

于是，
$$\Delta'=\frac{1}{2}\left|a'_1-a'_2\right|=\frac{\Delta}{\cos\Delta\alpha}+c\cdot\mathrm{tg}\Delta\alpha$$

取　$\cos\Delta\alpha\approx1$，$\mathrm{tg}\Delta\alpha\approx\Delta\alpha$（弧度）

$$\therefore\quad \Delta'=|-(\Delta+c\cdot\Delta\alpha)|$$

如果测量线与上述图9a)相比，反向倾斜$\Delta\alpha$，如图9b）所示，则测得值为a''_1、a''_2。

$$a''_1=\left(\frac{b}{2}-\Delta\right)\frac{1}{\cos\Delta\alpha}+c\cdot\mathrm{tg}\Delta\alpha$$

$$a''_2=\left(\frac{b}{2}+\Delta\right)\frac{1}{\cos\Delta\alpha}-c\cdot\mathrm{tg}\Delta\alpha$$

$$\Delta''=\frac{1}{2}\left(a''_1-a''_2\right)=-\frac{\Delta}{\cos\Delta\alpha}+c\cdot\mathrm{tg}\Delta\alpha$$

$$\therefore\quad \Delta''=-\Delta+c\cdot\Delta\alpha$$

式中：c—仪器常数，设被测量线在槽深中部，即　$c=\frac{1}{2}(D-h)$，于是：

$$\Delta' = \Delta + \frac{1}{2}(D-h)\ \Delta\alpha \tag{11}$$

$$\Delta'' = \left| -\left[\Delta - \frac{1}{2}(D-h)\Delta\alpha\right]\right| \tag{12}$$

公式（11）、（12）中的$\Delta\alpha$为一次误差，因此测头倾斜偏置引起的误差不能忽视。

三、定位方案

测头倾斜偏置直接影响测量结果的准确性，保证测量线与被测线的一致性，是设计专用测量装置必须解决的问题，也就是需要妥善解决好测头的正确定位问题。

1．槽底定位法

采用槽底定位原理的键槽对称度误差专用测量装置，目前已在一些工厂中使用，其测量原理如图10所示。该种测量装量是由读数千分尺的测杆和固定测头构成测量线，测取被测线上的尺寸A_1和A_2。指零表的测头与槽底接触，作定位用。当测量尺寸A_1和A_2时，指零表应指示出相同的示值（不一定为零），表示测量A_1和A_2的正确位置已被找到。

下面分析该种测量装置的定位可靠性。

当键槽的两侧面与槽底构成的两夹角α_1和α_2不相等时，参见图 11，测得的A_1值与A并不相同。

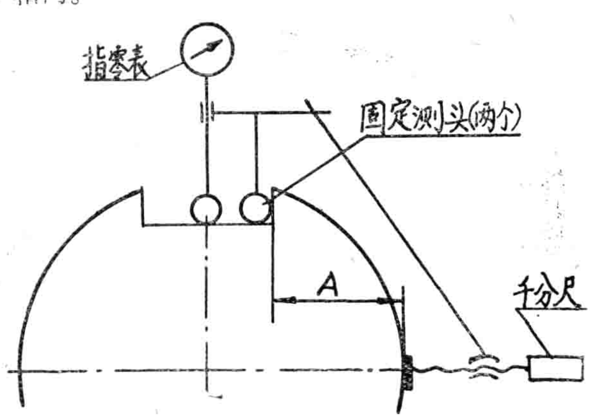


图10

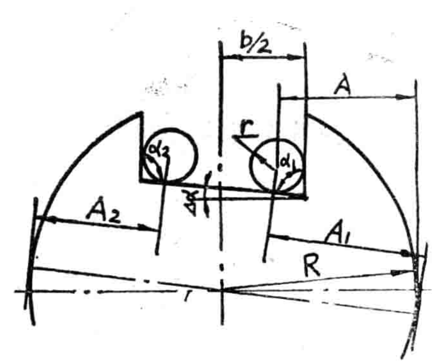


图11

$$A = R - \frac{b}{2} + r$$

$$A_1 = R - \left(\frac{b}{2} - r\right)\frac{1}{\cos\Delta\alpha} + e$$

$$e = \left(R - h + \frac{r}{\cos\Delta\alpha}\right)\sin\Delta\alpha$$

$$\therefore\ A_1 = R - \left(\frac{b}{2} - r\right)\frac{1}{\cos\Delta\alpha} + \left(R - h + \frac{r}{\cos\Delta\alpha}\right)\sin\Delta\alpha$$

$$\Delta A_1 = A_1 - A = \left(\frac{b}{2} - r\right)\left(1 - \frac{1}{\cos\Delta\alpha}\right) + \left(R - h + \frac{r}{\cos\Delta\alpha}\right)\sin\Delta\alpha$$

取　$\cos\Delta\alpha = 1$　$\sin\Delta\alpha \approx \Delta\alpha$（弧度）

$$则\varDelta A_1=(R-h+r)\varDelta\alpha \tag{13}$$

式中：R—轴的半径，h—槽深，r—测头半径

$\varDelta\alpha$——测量线倾斜角度（弧度）

例，轴直径$D=20$，槽深$h=3.5$，测量线倾斜$\varDelta\alpha=0.01745$（相当于1°），测头直径$d=2$

则：$\varDelta A_1=(10-3.5+1)\times0.01745==0.131$ (mm)

同理：$A_2=R-\left(\frac{b}{2}-r\right)\frac{1}{\cos\varDelta\alpha}-\left(R-h+\frac{r}{\cos\varDelta\alpha}\right)\sin\varDelta\alpha$

$$\varDelta A_2=A_2-A=\left(\frac{b}{2}-r\right)\left(1-\frac{1}{\cos\varDelta\alpha}\right)-\left(R-h+\frac{r}{\cos\varDelta\alpha}\right)\sin\varDelta\alpha$$

取 $\cos\varDelta\alpha\approx1$，$\sin\varDelta\alpha\approx\varDelta\alpha$（弧度）

则 $$\varDelta A_2=-(R-h+r)\varDelta\alpha \tag{14}$$

$\varDelta A_1$与$\varDelta A_2$绝对值相等符号相反，说明$\alpha_2>\alpha_1$时，与α_1对应的A_1比A增大$\varDelta A_1$，与α_2对应的A_2比A减小$\varDelta A_2$。

当键槽的两侧面非平行时，若α_1不等于α_2，参见图12，由此引起的$\varDelta A_1$和$\varDelta A_2$与公式（13）和（14）相同，不再作具体分析。

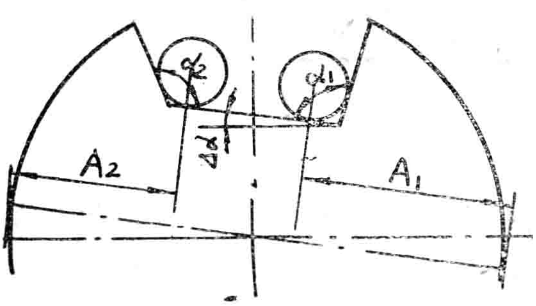


图12

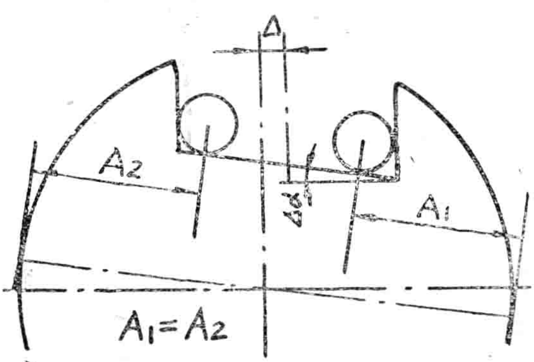


图13

因此，应用槽底定位的测量装置测量键槽对称度误差时，无论键槽两侧面平行与否，只要槽底的两夹角不相等，就有一次测量误差存在，只有当两底角$\alpha_1=\alpha_2$时才能准确反映键槽对称度误差。

值得指出的是，某些工厂在生产中采用槽底定位测量原理后，发现超差时对槽底进行修正后达到对称度所谓合格，显然，这是一种错误的做法。若完工零件对称度本来已是合格，由于底角α_1与α_2不等而造成测量结果超差，这是槽底定位法固有的缺点所造成，已经合格的零件，对此再作补充修正，只能说是付出了没有价值的劳动代价。如果对称度误差确实已经超出，经过修正槽底，对键槽对称度误差不会有丝毫减小，只是在槽底定位测量装置上反映出一种“合格”的假象。例如图13所示，键槽中心面向右偏离$\varDelta$，按公差要求已属超差，现将槽底修成倾斜$\varDelta\alpha$角度后，则有

$$\varDelta A_1=(R-h+r)\varDelta\alpha-\varDelta$$

$$\varDelta A_2=-(R-h+r)\varDelta\alpha+\varDelta$$

于是：$F=\varDelta A_1-\varDelta A_2=2[(R-h+r)\varDelta\alpha-\varDelta]$

若 $\varDelta = (R-h+r)\varDelta\alpha$ 则$F=0$

说明将槽底修至$\varDelta A$等于中心面偏离$\varDelta$值时，$\varDelta A$与$\varDelta$相互抵消，导致对称度误差为零。其实，完工零件客观存在的中心面偏离量$\varDelta$始终没有变小，这时，把超差件就作为合格件而误收了。

由于槽底定位装置的定位误差较大，可能将合格件误废，也有可能将超差件误收，只有当$\alpha_1=\alpha_2$时，槽底定位法才可靠，因此该种定位法就不能说是一种完善的定位方法。

2. 圆柱面定位法

圆柱面定位法用于轴槽测量时，是借助轴的外表面来定位。图14中，1、2是两个定位球，活动测杆3与刃口形测头相连。测量时，按键槽的一个侧面调整，如图中按键槽右侧面

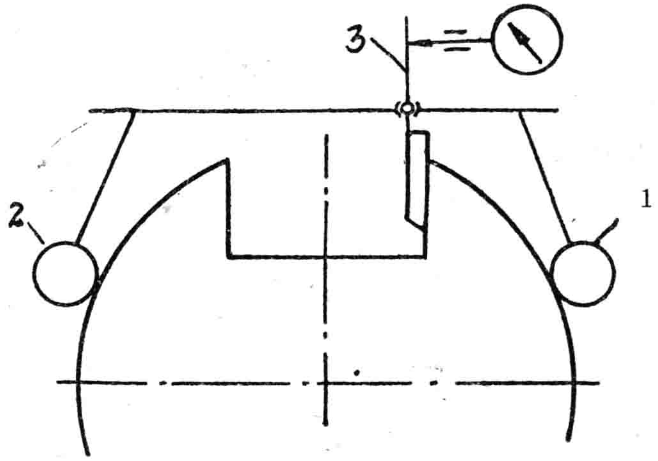


图14

调整，设指示计示值为$\varDelta A_1$，然后反身测左侧，指示计示值为$\varDelta A_2$，在该测量截面内键槽中心面偏离值为：

$$\varDelta = \left|\frac{\varDelta A_1 - \varDelta A_2}{2}\right|$$

测量过程中如果测杆倾斜，接触于键槽侧面顶端，由此引起的测量误差可按公式（7）计算；当刃口与槽底处侧面接触时，引起的测量误差按公式（8）计算。

如果将圆柱面定位测量装置的测头改成球形，则测杆倾斜偏置后引起的测量误差按公式（13）与（14）计算。说明该种测量装置与槽底定位测量装置相比较，两者由于偏置而引起的定位误差相同。

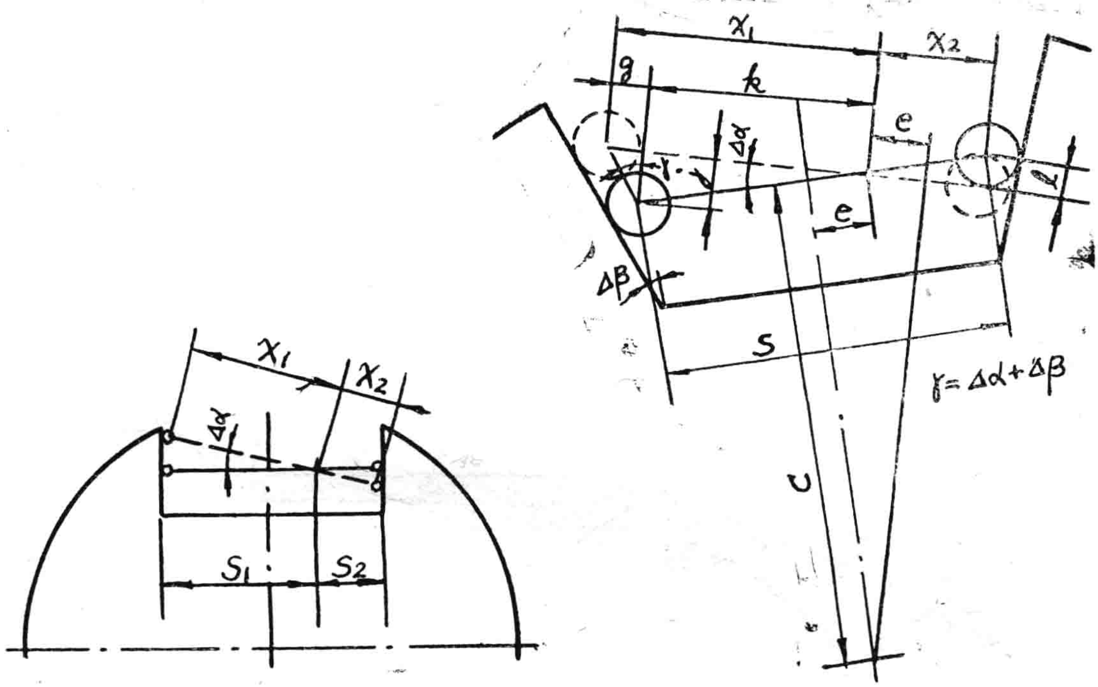
3. 槽宽定位法

测量键槽中心面偏离量$\varDelta$时，被测线的位置沿图15a）中的S方向，若测量线沿X方向，则测得长度x和被测线长度S的关系为：

$$x = \frac{S}{\cos\varDelta\alpha} \tag{15}$$

当键槽两侧面不平行而相对于坐标平面倾斜$-\varDelta\beta$角度时，则测得长度x和被测线长度S的关系可按图15b）进行分析：

图中测量线倾斜$\varDelta\alpha$后，测得长度为x_1与x_2之和（测头直径未计及）。



a)　　　　　　b)

图15

$$x_1 = g + k$$

$$g = j \cdot \mathrm{tg}(\Delta\beta + \Delta\alpha)\ ,\quad j = \left(\frac{S}{2} + e\right)\sin\Delta\alpha,$$

$$e = \left(\frac{c}{\cos\Delta\alpha} - c\right)\frac{1}{\mathrm{tg}\Delta\alpha}$$

$$k = \left(\frac{S}{2} + \mathrm{e}\right)\cos\Delta\alpha = \left[\frac{S}{2} + \left(\frac{c}{\cos\Delta\alpha} - c\right)\frac{1}{\mathrm{tg}\Delta\alpha}\right]\cos\Delta\alpha$$

$$\therefore\quad x_1 = \left[\frac{S}{2} + \left(\frac{c}{\cos\Delta\alpha} - \mathrm{c}\right)\frac{1}{\mathrm{tg}\Delta\alpha}\right]\left[(\sin\Delta\alpha - \mathrm{tg}(\Delta\beta + \Delta\alpha) + \cos\Delta\alpha\right]$$

$$x_2 = \left(\frac{S}{2} - e\right)\cos\Delta\alpha - l \cdot \mathrm{tg}(\Delta\beta - \Delta\alpha)$$

$$l = \left(\frac{S}{2} - e\right)\sin\Delta\alpha$$

$$\therefore\quad x_2 = \left[\frac{S}{2} - \left(\frac{c}{\cos\Delta\alpha} - c\right)\frac{1}{\mathrm{tg}\,\Delta\alpha}\right]\left[\cos\Delta\alpha - \sin\Delta\alpha \cdot \mathrm{tg}(\Delta\beta - \Delta\alpha)\right]$$

令$\cos\Delta\alpha \approx 1$，$\mathrm{tg}\,\Delta\alpha \approx \sin\Delta\alpha \approx \Delta\alpha$（弧度）

$\mathrm{tg}(\Delta\beta - \Delta\alpha) \approx \Delta\beta - \Delta\alpha$，$\mathrm{tg}(\Delta\beta + \Delta\alpha) \approx \Delta\beta + \Delta\alpha$

则　　$$x = x_1 + x_2 = S(1 + \Delta\alpha^2) \tag{16}$$

从公式（15）和（16）可知，无论键槽两侧面是否平行，当测量线倾斜$\Delta\alpha$后，测得的x值恒大于被测线长度S。因此，在测量过程中只需对测量装置稍作摆动，找到示值转折点的位置就是正确的测量方向，或者说测量线被测线重合在一起。按照槽宽来寻找正确的测量

位置，就是槽宽定位法。

从测量原理来说，槽宽定位法要比槽底定位和圆柱面定位有更为充份的根据。关键在于槽宽定位法在具体结构上能否实现。

四、几种槽宽定位测量装置方案

1. 球形测头测量装置方案

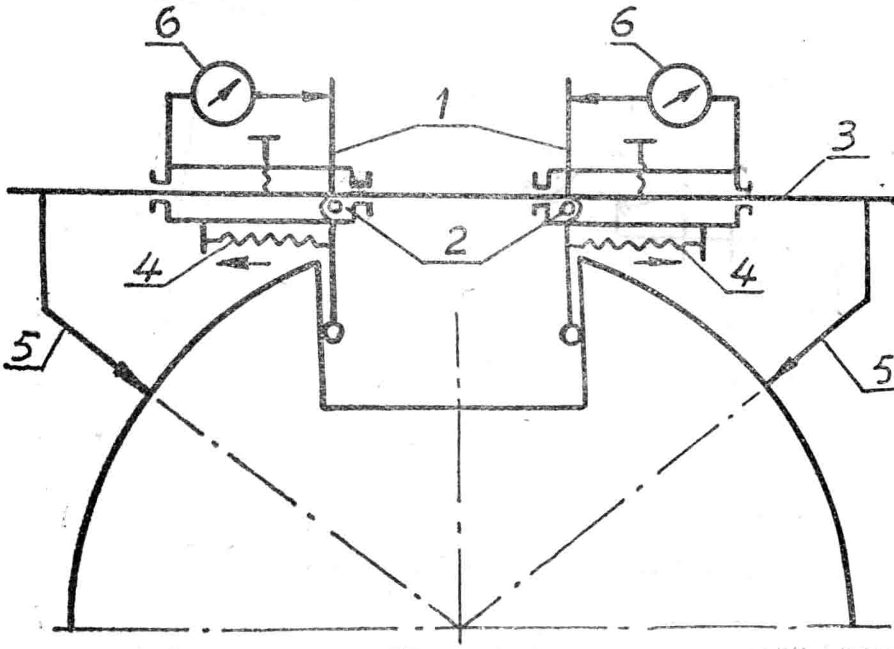


图16

1. 活动测杆 2. 成对滑架 3. 本体 4. 拉伸弹簧 5. 支撑 6. 指示计

图16是球形测头槽宽定位轴槽对称度测量装置方案。有一对活动测杆1定位于成对滑架2上，可作左右摆动。根据被测键槽的宽度成对滑架2可在测量装置本体3上作对称滑动调节后固定于本体3上，借拉伸弹簧4的拉力，可使活动测杆1的测头保证与键槽侧面接触。图中表示测量装置已处于正确位置。按两个指示计6中任一个记录示值a_1，然后将测量装置反转180°，即测头位置左右对换，，找到正确测量位置后，仍在原来作记录的指示计上再次记下示值a_2。于是，被测截面内键槽中心面的偏离量为：

$$\varDelta=\left|\frac{a_1-a_2}{2}\right|$$

寻找正确的测量位置时，需要观察两个指示计的示值变化。当测量装置倾斜偏置后，槽宽变化和测杆位移的综合结果为：

$$\varDelta x_1+\delta \quad ; \qquad \varDelta x_2-\delta$$

两式相加，指示器示值之和仍为$|\varDelta x_1+\varDelta x_2|$，故指示器作微微摆动时$|\varDelta x_1+\varDelta x_2|$为最小时，即为测量装置的正确位置。

值得注意的是，如图17所示测量装置定位过程中若偏置一个角度$\varDelta\alpha$后（图中倾斜后的位置用虚线表示）导致测杆右移，相应地测头右偏δ_1，左测头右偏δ_2。

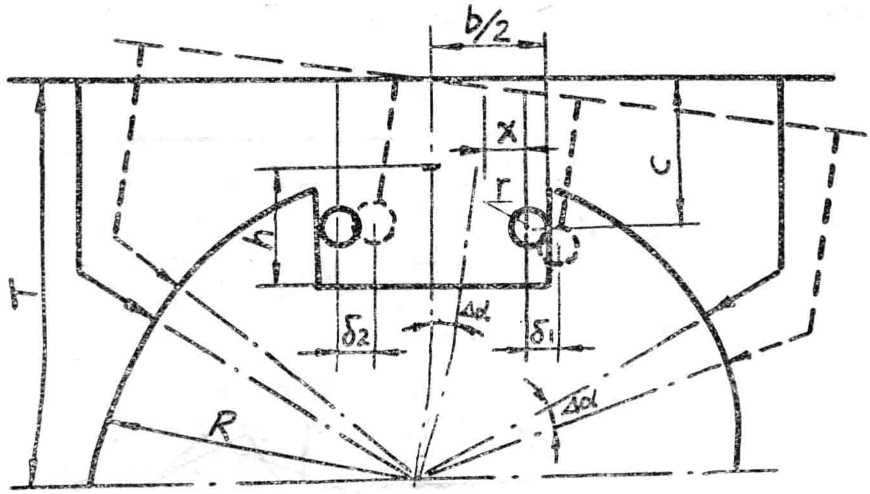


图17

$$\delta_1=\left(\frac{b}{2}-r\right)\frac{1}{\cos\Delta\alpha}-c\cdot\sin\Delta\alpha-x$$

$$x=\left(\frac{b}{2}-r\right)-\left[T-\left(\frac{b}{2}-r\right)\operatorname{tg}\Delta\alpha\right]\sin\Delta\alpha$$

设测头接触于槽深h的中部的侧面，于是

$$T=R-\frac{h}{2}+c$$

$$\therefore\quad\delta_1=\left(\frac{b}{2}-r\right)(\cos\Delta\alpha-1)+\left(R-\frac{h}{2}\right)\sin\Delta\alpha$$

取　$\cos\Delta\alpha\approx1$，$\sin\Delta\alpha\approx\Delta\alpha$（弧度）

则　$$\delta_1=\left(R-\frac{h}{2}\right)\Delta\alpha$$

例，$R=26$，$h=12$。$\Delta\alpha=0.01745$

则　$$\delta_1=\left(26-\frac{12}{2}\right)\times0.01745=0.3490$$

$$\delta_2=\left(\frac{b}{2}-r\right)-\left[\left(\frac{b}{2}-r\right)-T\cdot\operatorname{tg}\Delta\alpha\right]\cos\Delta\alpha-c\cdot\sin\Delta\alpha$$

化简后，　$$\delta_2=(T-C)\Delta\alpha=\left(R-\frac{n}{2}\right)\Delta\alpha$$

于此说明　$\delta_1=\delta_2=\delta$。

由于δ数值较大，故在指示计上反映灵敏，调整时只允许测量装置左、右微微稍动来寻找转折点，为了操作上的方便，必须要有微动机构。

2．浮动测架槽宽定位测量装置方案

为了克服测量装置作左右摆动时测杆的过份位移，将上述测量装置改为浮动测架。图18所示为浮动测架槽宽定位测量装置的示意图。

浮动测架2上装有固定测杆 3 和浮动测杆 4，浮动测架可在装置本体 1 上左右自由滑动，

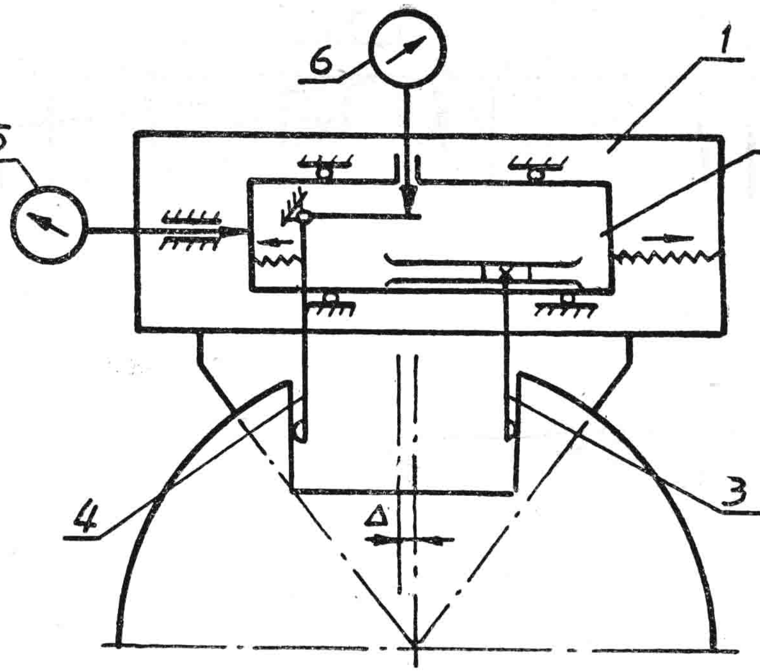


图18

测量时借弹簧之力，使测头与键槽侧面始终保持接触状态。指示计 6 用来寻找正确的测量位置，指示计 5 用来指示键槽中心面的偏离量 $\varDelta$。

正确定位过程可用图19a）说明。图中状态 A（用实线表示），测量装置是在正确位置，状态B为处于倾斜位置。设状态A时指示计示值为

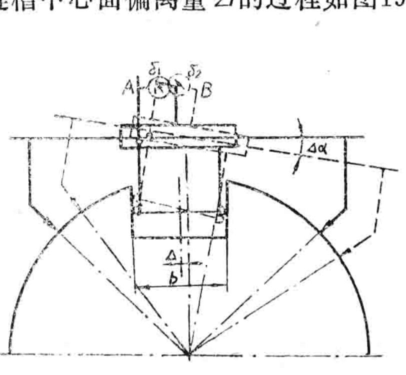
$$\delta_1 = b - a$$

状态B时的指示计示值为

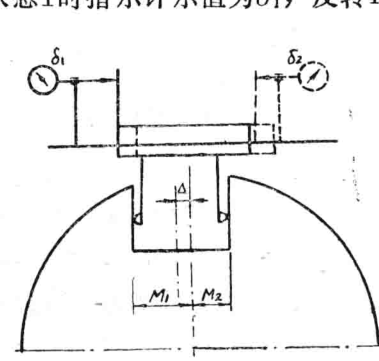
$$\delta_2 = \frac{b}{\cos \varDelta\alpha} - a$$

因$\dfrac{b}{\cos \varDelta\alpha} > b$，∴ $\delta_2 > \delta_1$，δ_1即是指示计示值的转折点。

测量键槽中心面偏离量 $\varDelta$的过程如图19b)所示。状态I时指示计示值为δ_1，反转180°后为



a)



b)

图19

状态Ⅱ（图中虚线所示），指示计示值δ_2，

$$\delta_1 = M_1 - a,\ \delta_2 = M_2 - a,$$

$$M_1 = \frac{b}{2} + \Delta,\ \ M_2 = \frac{b}{2} - \Delta,\ \ M_1 + M_2 = b$$

$$\therefore\ \ \delta_1 = \left(\frac{b}{2} + \Delta\right) - a,\ \ \delta_2 = \left(\frac{b}{2} - \Delta\right) - a$$

$$\delta_1 - \delta_2 = \left(\frac{b}{2} + \Delta\right) - a - \left[\left(\frac{b}{2} - \Delta\right) - a\right] = 2\Delta$$

$$\therefore\ \ \Delta = \left|\frac{\delta_1 - \delta_2}{2}\right|$$

因此，测量过程中，装置在圆柱面上微微摆动，找到图18中指示计 6 的转折点，同时在指示计 5 上读数；再将测量装置反转180°，寻找指示计 6 的转折点，同时再一次在指示计 5 上读数，两次读数差之半即是所求的键槽中心面偏离量Δ。在若干个截面上测得Δ_i后，就可按Δ_i来评定被测键槽的对称度误差。

如果测量装置按标准样件来调整，相当于指示计 5 按$\frac{b}{2}$进行调整，则图19b）中的状态Ⅰ的示值为：

$$\delta_1 = \left(\frac{b}{2} + \Delta\right) - \frac{b}{2} = \Delta$$

状状Ⅱ时的示值为：

$$\delta_2 = \left(\frac{b}{2} - \Delta\right) - \frac{b}{2} = -\Delta$$

Δ前面的负号表示M_2小于$\frac{b}{2}$。

因此，测量装置按标准样件调整后，可不必作正、反两次测量，只按状态Ⅰ或Ⅱ测量一次即可，指示计示值即为Δ（调整时指示计示值为零）。

浮动测架槽宽定位测量装置的定位指示计，需要有较高的灵敏度，才能准确反映定位情况。下表列出了测量线相对于被测线倾斜$\Delta\alpha$角度后，槽宽增大情况。根据不同的键槽宽度b，以及键槽对称度的公差要求，可以选用灵敏度恰当的指示计。

Δb值表（mm）

$\Delta\alpha$ \ b	1	5	10	12	15
0.5°	0.000038	0.00019	0.00038	0.00046	0.00057
1°	0.00015	0.00075	0.0015	0.0018	0.00225
2°	0.0006	0.0030	0.0060	0.0072	0.0090
3°	0.0014	0.0070	0.014	0.0168	0.0210
4°	0.0024	0.0120	0.024	0.0288	0.0360
5°	0.0038	0.0190	0.038	0.0456	0.0570
6°	0.005	0.0250	0.050	0.060	0.0750

GB1958—80检测规定贯彻课题组

1983年10月