

断續表面工件 在磨削过程中的 自动檢驗

B. B. 康达塞夫斯基 著

國防工業出版社

在磨削过程中，自动檢驗光滑表面工件的裝置，目前在生产中已卓見成效，在設計方面也日趋完善。但是对于在磨削过程中自动檢驗断續表面工件的裝置，到目前为止还設計得很差，同时样式也很少。这就使得許多工厂至今仍沿用旧的檢驗方法来檢驗磨削工件的尺寸，从而阻碍了生产率的提高。

本書作者，对现有的在磨削过程中自动檢驗断續表面工件的各种裝置，作了詳細的研究，比較了各种裝置的工作性能和优缺点，并向讀者推荐了其中一些較适用的裝置。

本書可供机械制造工厂的工程技术人员和技工閱讀，作为改进生产技术的参考資料；也可作为高等学校和中等技术学校的专业学生的参考書。

В. В. Кондашевский
АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ
В ПРОЦЕССЕ ШЛИФОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ
С ПРЕРЫВИСТЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

Государственное
издательство оборонной промышленности
Москва 1955

本書系根据苏联国防工业出版社
一九五五年俄文版譯出

断續表面工件在磨削
过程中的自动檢驗

〔苏〕康达塞夫斯基 著
刘远铸、鄧潤棠、許云德 譯

国防工业出版社 出版

北京市書刊出版业营业許可証出字第074号
北京新中印刷厂印刷 新华書店发行

850×1168 1/32·31/4 印張82,000字

一九五七年十二月第一版

一九五七年十二月北京第一次印刷

印数：1—1,460冊 定价：(10) 0.57元

前 言

本書所研究的，是加工过程中工件尺寸檢驗自动化方面极少被人研究过的一个問題——断續表面工件在磨削过程中的檢驗。

关于磨削过程中檢驗断續表面工件所用之自动装置的研究、設計和生产运用等工作，大部分都是由作者和有关工业部門在社会主义合作的原則下完成的。

工程师Ю.Ф.魯沙列夫和Л.Т.舒姆卓娃，大学生Л.И.高尔布諾夫和А.В.潘秋霍夫，在上述工作中給了作者以很大的帮助，作者在此謹向他們致謝。

讀者如有批評和指正，請寄苏联国防工业出版社（莫斯科，彼得洛夫卡24号），作者对此将竭誠欢迎，不胜感激。

导 言

机器制造业中,自动檢驗工件尺寸的一种最有效的先进方法,就是在加工过程中檢驗工件。

近来,苏联的許多工厂和科学研究所設計并推行了許多卓見成效的、在磨削过程中自动檢驗光滑表面工件内外尺寸的装置^①。

至于断續表面工件(有鍵槽的軸和軸套、花鍵軸和軸套、有成形槽的軸和軸套、圓盘凸輪、端面凸輪、表面上有切槽的平面工件等)在磨削过程中的自动檢驗装置,到目前为止,还設計得很差,而且式样也比较少。

光滑表面工件加工时所采用的、有探索装置的自动檢驗工具,并不宜于用来檢驗断續表面的工件,因为这种工具的测量头会陷入工件表面的缺口,而受到缺口边缘的碰击,所受的碰击傳到测量装置的活动部分,会引起测量装置紊乱,甚至于损坏。

有效地檢驗断續表面工件所用的装置,在結構上必須做到:不管加工表面的缺口有多少、有多寬、其分布情况如何,均不致引起反应。

本書的目的,是分析那些現有的能有效地檢驗断續表面工件的各种装置,并推荐其中一些在实践应用中比較好的装置。

在磨削过程中自动檢驗断續表面工件的装置,按其测量方法可分为两种:一种是以直接测量法为基础的,一种是以間接测量法为基础的。

以直接测量法为基础的装置,又可分为两种:一种是与被測工件表面相接触的,一种是不与它接触的。

与被測工件断續表面相接触的装置,有一定形状的测量头,

① 这类装置,已載述于B.B.康达塞夫斯基所著“工件尺寸在加工过程中的自动檢驗”一書,苏联国防工业出版社1951年版。

用以在工件加工过程中不断地探索工件。由于工件在磨削时尺寸发生改变，测量头亦随着移动；测量头的移动傳給指示器或傳感器，借此在工件达到規定尺寸时自动停止机床，或用手来停止机床。

在磨削过程中檢驗断續表面工件的装置，其特点就是它具有不受工件表面缺口之影响的特制测量头。

在磨削过程中檢驗断續表面工件的装置，依其测量头結構之不同，可分为：

帶圓柱形测量头（剛性量規）的装置；

帶弧形测量头或平直测量头的装置；

帶两点接触测量头的装置；

帶单点接触测量头的装置。

在前三种装置中，测量头結構本身就能防止它陷入工件表面的缺口。在帶单点接触测量头的装置中，防止测量头陷入工件表面缺口的方法是这样的：采用專門限制器或專門的制动装置，以便当工件表面缺口在测量头下通过时限制测量头的移动或制止其移动。

不接触的装置，可以不与工件表面接触而測量出工件的尺寸。不过这种装置，在加工过程中目前还没有人采用它来檢驗断續表面工件，所以我們在后面也不研究它了。

以間接測量法为基础的装置，其特点就是：它并不直接檢驗工件本身的尺寸，而是檢驗某种別的数值，例如檢驗砂輪切削面的移动量或磨床床头的移动量，用以表征（間接法）工件尺寸。然而必須指出，測量床头的移动量时，如果不把砂輪的磨損考虑进去，就会引起很大的誤差。

由此可見，以間接測量法为基础的装置，可分为两种：一种是檢驗砂輪切削面之位置的装置，一种是檢驗床头移动量的装置。

后一种装置又可分为两种：1）不抵消砂輪磨損的；2）抵消砂輪磨損的。

在磨削过程中檢驗断續表面工件用的所有的装置，都是以相

对测量法为基础的：在工作前，用标准件将装置加以调整，调整好了以后就把标准件从机床上取下来。在机床上加工的工件尺寸的检验方法，就是测量工件尺寸与标准件尺寸之差。当工件达到了规定尺寸时，机床就应当用手停止或自动停止。

在加工过程中用以检验断续表面工件的装置，如果按其対机床的作用方法来分，也可分为两种：

装有测量仪表或信号灯的观察式装置；

半自动和自动装置。

装有测量仪表的观察式装置，可能发生主观误差（读数读错了）和机床停止不适时，因为在这种情况下机床是用手来停止的。

装有自动信号装置的观察式装置，有传感器（多半是电接触传感器），当变换用量和结束加工时，信号灯就亮了起来。采用这种装置时，主观误差只决定于机床停止是否适时，因为在这种情况下，机床也是用手来停止的。半自动和自动装置有这样一种传感器：当工件达到规定尺寸时，它就使机床自动停止。这种装置，与观察式装置比较起来，能保证工件得到更高的加工精度。

目 录

前 言

导 言

第一章 以直接测量法为基础之测量装置的工作分析	1
§ 1 带圆柱形测量头(刚性量规)之装置的工作	1
§ 2 带弧形测量头和平直测量头之装置的工作	3
§ 3 带两点接触测量头之装置的工作	14
§ 4 带单点接触测量头之装置的工作	22
§ 5 以直接测量法为基础之装置的实验研究	46
第二章 以直接测量法为基础之测量装置的结构	54
§ 6 带圆柱形测量头(刚性量规)的装置	54
§ 7 带弧形测量头和平直测量头的装置	54
§ 8 带两点接触测量头的装置	73
§ 9 带单点接触测量头的装置	76
第三章 以间接测量法为基础的测量装置	89
§ 10 检查砂輪切削表面位置的测量装置	89
§ 11 检查砂輪滑架机床的走刀架移动量的装置	92
結束語	96
参 考 文 献	97

第一章 以直接測量法为基础之測量 裝置的工作分析

§ 1. 帶圓柱形測量頭（剛性量規）之裝置的工作

帶剛性量規之裝置的作用原理見圖 1。剛性量規 1，根據被測工件 2 的規定孔徑製成。加工開始時，孔徑比規定尺寸小。孔徑隨加工程度而增大。帶動量規的機械是這樣裝起來的：砂輪在每一縱向行程終了時，量規 1 由於彈簧 3 的作用而力图通過工件的孔；而在下次縱向行程開始前，量規 1 就借助於特殊機構的作用（在圖 1 內這種機構並未示出）從工件旁退開。在工件的孔徑未達到規定尺寸之前，加工過程一直繼續。當工件 2 達到規定尺寸後，量規 1 便進入工件 2 的孔內，此時電接點 4 就接通電流，於是機床停止，加工終結。

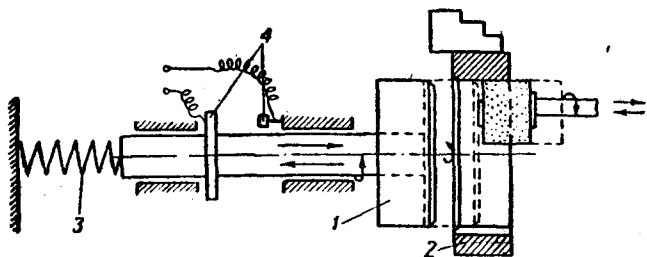


圖 1 帶剛性量規的裝置示意圖

在原理上，帶剛性量規^①的裝置，既可以用來檢驗孔，也可以用來檢驗軸。但採用帶剛性卡規的裝置來檢驗具有斷續表面的軸實際上是辦不到的，因為卡規運動很難與軸的轉動相適應，並且當工件表面的缺口轉到卡規口部時，卡規可能會在工件

① 剛性量規是剛性卡規和剛性樣柱的總稱。——編注

沒有達到規定尺寸時就通過軸，軸再繼續轉動下去，卡規口會被撐開，致使卡規損壞。

在裝有剛性樣柱的內圓磨床上，工件表面缺口的位置對樣柱沒有什麼關係，因此帶剛性樣柱的裝置完全是能夠工作的，並常常把它用來檢驗具有光滑表面的和具有斷續表面的圓柱形通孔（孔徑由5到100公厘）。這些裝置所能保證的加工精度，在 $\pm(6\sim10)$ 公忽範圍內。

這些裝置的優點是：宜於檢驗孔，不論孔內加工表面的缺口有多少，也不論缺口的分布位置如何；宜於檢驗在內圓磨床和無心內圓磨床上加工的工件；有可能使磨削過程自動化；對工件和機床的彎曲與振動不敏感；在已知的所有測量裝置中，它的外形尺寸最小（指的是量規的外形尺寸）；測量裝置不佔據機床的工作部位。

這些裝置的缺點是：使用範圍有限——只能檢驗有圓柱形通孔（孔徑不超過100公厘）的工件；測量力很大（達15公斤）；量規磨損大；量規的尺寸不能調整（因此，量規的磨損不能得到抵消，而且必須給每種工件尺寸都製造一種量規）；對量規製造精度的要求高；調整工作有主觀性而且複雜；不能用視力觀察工件尺寸的變化情況；裝置之活動部分內的摩擦大；整個結構極其複雜；現有的各種機床如不經大改裝就不能安裝此種裝置。

結 論

1. 帶剛性量規的裝置，只有在磨削直徑不超過100公厘的通孔時，特別是在磨削直徑為20~30公厘的通孔時，才宜於用來對斷續表面工件進行自動檢驗，因為在磨削這種孔時，其他結構的裝置很難用得上，在許多場合下甚至根本就不能使用。

2. 帶剛性量規的裝置，主要適用於在製造時就已裝上了測量裝置的專用內圓磨床。至於工業上現有的萬能內圓磨床，並不宜於裝上帶剛性量規的裝置，因為這樣做，就必須把磨床作很大的改裝。

3. 上述裝置，安上極限開關，就可以自動化。

§2. 帶弧形測量頭和平直測量頭之裝置的工作

對具有斷續表面的軸、孔和平面進行有效檢驗所用的測量裝置中，採用最廣的是帶弧形測量頭或平直測量頭的測量裝置。這種裝置正常工作的基本條件，亦即保證其精確工作的基本條件，就是要求測量頭能平穩地越過工件表面的缺口。要平穩地越過缺口，就要正確地選擇測量頭的基本尺寸，即以工件缺口的寬度和工件半徑為根據，來確定測量頭的長度和半徑。

根據工件表面缺口的寬度來確定測量頭長度的條件是：測量頭的長度一定要大於工件表面缺口的寬度，其目的是要使測量頭總是能夠越過缺口（測量頭的長度橫跨工件表面缺口）。

為了找出測量頭長度同工件表面缺口寬度之間的关系，讓我們來研究一下圖2。圖2是檢驗軸、孔和平面用的同型的測量裝置。在裝置上有一個測量杆1，它由於受彈簧3的作用可以在導筒2內上下移動；測量杆的下端固定着一個弧形測量頭(A和B)或平直測量頭(B)。測量杆的上端頂着指示器（或傳感器）5的接觸杆。指示器借支架6固定在這一個裝置的本體上。設測量頭的弦長為 a ，工件表面缺口寬度為 b ，則當我們採用 $a < 2b$ 的這種短測量頭時，就會發生下述情況：當測量頭4由於彈簧3的力 P 的作用而以較大部分與工件連續表面相接觸時（見圖2a），測量工作可以正常地實現，指示器的指針也可以平穩地在刻度盤上移動；可是當工件繼續轉動下去，測量頭4的較大部分處於工件表面缺口上方時（見圖2δ），測量杆1就由力 P 的作用在導筒2內發生傾斜，致使測量頭4陷入工件表面缺口，陷入深度為 C 。這樣一來，工件表面缺口的後緣（就工件轉動方向而言），便碰擊測量頭4的端頭。測量頭4受到碰擊後傳到測量裝置的各個活動部分，使指示器的指針發生很大的擺動，或者使傳感器發生虛假動作，這就會大大影響測量精度。

為了使這一裝置的測量頭處於工件表面缺口上方時也能平穩

地工作起見，應該使測量頭的長度比缺口寬度大一倍以上 ($a > 2b$)。最好是使 $a = (2.2 \sim 2.5)b$ 。如果測量頭有了這樣的長度，即使在測量頭跨越工件表面的缺口時，力 P 也會作用于工件的連續表面上（見圖 2a），而不致引起測量杆傾斜，因而缺口後緣也不會碰擊測量頭。這樣，測量裝置就會平穩地進行工作，而使所要求的測量精度得到保證。

採用帶弧形測量頭的裝置時，工件表面缺口的最大許可寬度 $b_{\max}$ 可依下列條件確定：

$$a_{\max} = (2.2 \sim 2.5)b_{\max}, \text{ 即 } b_{\max} = \frac{a_{\max}}{2.2 \sim 2.5}。$$

式中 $a_{\max}$ 為測量頭的最大長度。

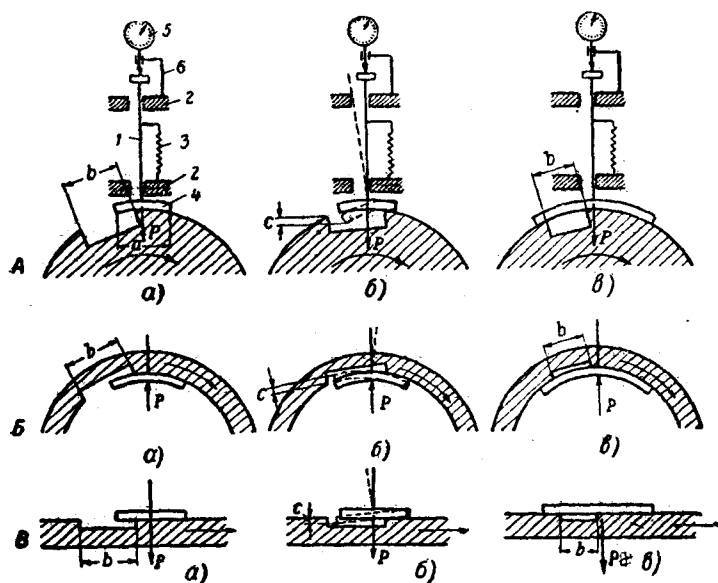


圖 2 依測量頭的長度和工件表面缺口的寬度為轉移的帶弧形測量頭和平直測量頭之裝置的工作示意圖

a) 和 b) —— 測量頭的長度小於 $2b$ ；B —— 測量頭的長度大於 $2b$ ；
a —— 測量軸用；6 —— 測量孔用；B —— 測量平面工件用。

因为测量头的最大弦长等于工件直径 d ，所以缺口的最大许可宽度为 $b_{\max} \leq 0.4d$ 。依工件半径 R_1 为转移来确定测量头半径 R_2 ，是保证测量装置正常工作的极其重要的条件。

最理想的情况当然是在 $a = (2.2 \sim 2.5)b$ 的条件下把测量头的半径制成 $R_2 = R_1$ ，因为这样，测量头的测量表面就会与工件表面同心，测量头就会平稳地越过工件表面的缺口，从而保证了测量装置的整个活动系统能够平稳工作。但是，要精确地保持 $R_2 = R_1$ 这种关系，只有对 $R_2 = R_1 = \infty$ 这种平面工件才有可能，也就是说，只有采用平直测量头时才有这种可能。

当加工轴和孔时，需要考虑到下述情况：工件半径 R_1 的值是可变的，各毛坯的原始半径可能彼此相差很大，相差的数值等于加工裕量的偏差之半；测量头半径 R_2 却是不变的，它不依加工裕量的削减程度为转移，也不以毛坯尺寸为转移。

为了求出 $R_2 = f(R_1)$ 的关系，让我们来研究一下图3和图4。前面已经讲过，在检验轴和孔的时候，要想保持 $R_2 = R_1$ 这

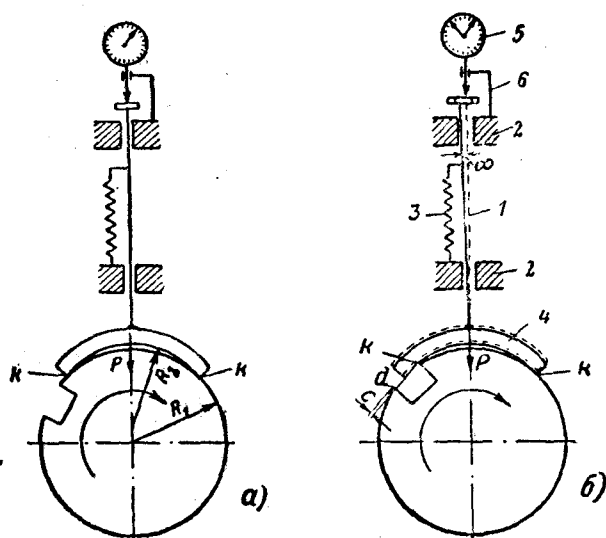


图3 $R_2 < R_1$ 的弧形测量头之工作示意图

一等式是办不到的，那末只可能有下面两种情况：

$$1) R_2 < R_1 \text{ 和 } 2) R_2 > R_1,$$

式中 R_1 指的是毛坯半径：对于轴来讲，它是最大界限尺寸；对于孔来讲，它是最小界限尺寸。

在檢驗軸时，如果保持 $R_2 < R_1$ 这一关系，测量头 4 就会以其最边的两点 k 同工件表面相接触。于是两个支点 k 将与测量杆 1 的中心綫等距，测量杆的中心綫也通过工件的旋轉中心綫。当工件轉到图 3 6 所示的位置时，测量头左緣就要陷入工件表面 缺口，陷入深度为 C ；测量杆 1 的中心綫也随着傾斜，傾斜角为 α ；于是当工件繼續轉动时，缺口左邊緣 d 便碰击测量头 4 的端部，指示器的指針也就发生跳动。工件表面缺口愈多，工件轉速愈高，則指針的跳动也就愈加頻繁。实践証明，在 $R_2 < R_1$ 时，即使工件轉速不大，指針的跳动或傳感器的虛假动作也会如此頻繁，以致使工件的測量成为完全不可能的事。在檢驗孔的时候，如果保持 $R_2 > R_1$ 这一关系也会发生类似情况。

这里也必須指出，若使用测量头 $R_2 < R_1$ 的装置沿着长軸的全长来測量长軸的直径，則測量誤差比上面所講的还要大得多。这是由于砂輪使軸在水平面內弯曲的緣故。这时軸便向测量头的

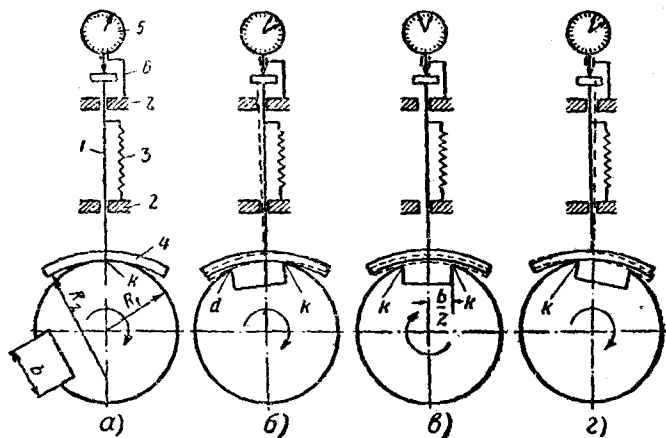


图 4 $R_2 > R_1$ 的弧形测量头之工作示意图

左方移动，造成测量头只有一点与工件接触，因而引起振动，这种振动又传给测量装置的测量部分。

采用 $R_2 > R_1$ 的测量头来检验轴时，测量头4就只有一点 k 同工件表面接触（见图4a），当测量头4处于工件连续表面时， k 点的位置不变，而当测量头4处于工件表面缺口的上方时（见图4b、c、e）， k 点的位置就不断改变。 k 点离开测量头中心（向右或向左）的最大距离为 $0.5b$ ，即为工件表面缺口的一半。在图4b和图4e上可以看得很清楚，依据接触点 k 的位置在测量头中心的右边或左边，测量杆1在导筒内就相应地向左或向右倾斜。但是，当测量头具有足够的长度并且导筒2与测量杆1之间的空隙很小时，测量头边缘就不致陷入工件表面缺口，工件也就不致碰击测量头，而使工件表面的缺口平稳地在测量头的测量表面之下通过，测量杆1也就能平稳升降。这时，指示器5之指针的摆动，较之 $R_2 < R_1$ 时的指针摆动要小得多。

为了研究由于测量头不断升降所引起的、并依 R_2 和 R_1 之值为转移的测量误差，我们在测量头上标一点 M （图5）。当测量头处于最高位置时，这一点就在 M_1 ，这时测量头与工件连续表面接触于一点；当测量头处于最低位置时，这一点就在 M_2 ，这时测量头与工件表面接触于两点： A 和 B 。测量误差决定于线段 M_1M_2 的值：

$$M_1M_2 = h_1 - h_2 = \Delta h,$$

式中 $h_1 = M_1D$ ——半径为 R_1 之轴的 AM_1B 弧的弧高；

$h_2 = M_2D$ ——半径为 R_2 之测量头的 AM_2B 弧的弧高。

设工件表面缺口宽度 $AB = b$ ，则弧高 h_1 和 h_2 可按下面众所周知的公式求得：

$$h_1 = R_1 - \sqrt{R_1^2 - \frac{b^2}{4}};$$

$$h_2 = R_2 - \sqrt{R_2^2 - \frac{b^2}{4}}.$$

已知 h_1 和 h_2 ，求 Δh

$$\Delta h = h_1 - h_2$$

$$= (R_1 - R_2) - \left(\sqrt{R_1^2 - \frac{b^2}{4}} - \sqrt{R_2^2 - \frac{b^2}{4}} \right). \quad (1)$$

以 $R_2 < R_1$ 的測量頭檢驗孔（見圖 5 δ）時，求測量誤差的公式可用同法誘導出來，得：

$$\Delta h = h_2 - h_1$$

$$= (R_2 - R_1) - \left(\sqrt{R_2^2 - \frac{b^2}{4}} - \sqrt{R_1^2 - \frac{b^2}{4}} \right). \quad (2)$$

採用平直測量頭來檢驗斷續表面軸件時，得：

$$\Delta h = R_1 - \sqrt{R_1^2 - \frac{b^2}{4}}. \quad (3)$$

這里舉這樣一個例子來說明當測量頭半徑和鍵槽寬度一定時，測量誤差 Δh 的值隨軸件半徑的改變而改變的情況：設測量頭半徑 $R_2 = 30.2$ 公厘，鍵槽寬度 $b = 14$ 公厘。

當工件半徑 R_1 由30.2公厘減少到30.00公厘時，則所得測量誤差 Δh 值為：

$$R_1 = 30.20 \text{ 公厘時， } \Delta h = 0;$$

$$R_1 = 30.15 \text{ 公厘時， } \Delta h = 2 \text{ 公忽；}$$

$$R_1 = 30.10 \text{ 公厘時， } \Delta h = 3 \text{ 公忽；}$$

$$R_1 = 30.00 \text{ 公厘時， } \Delta h = 6 \text{ 公忽。}$$

設其他條件不變，唯 $R_1 = 30.00$ 公厘，則採用平直測量頭所得的測量誤差 $\Delta h = 828$ 公忽。

由公式（1）和（2）可以看出：測量誤差 Δh 隨兩半徑 R_1 和 R_2 之差的減小和缺口寬度 b 的減小而減小。

前面已經講過，不影響弧形測量頭正常工作的工件表面缺口

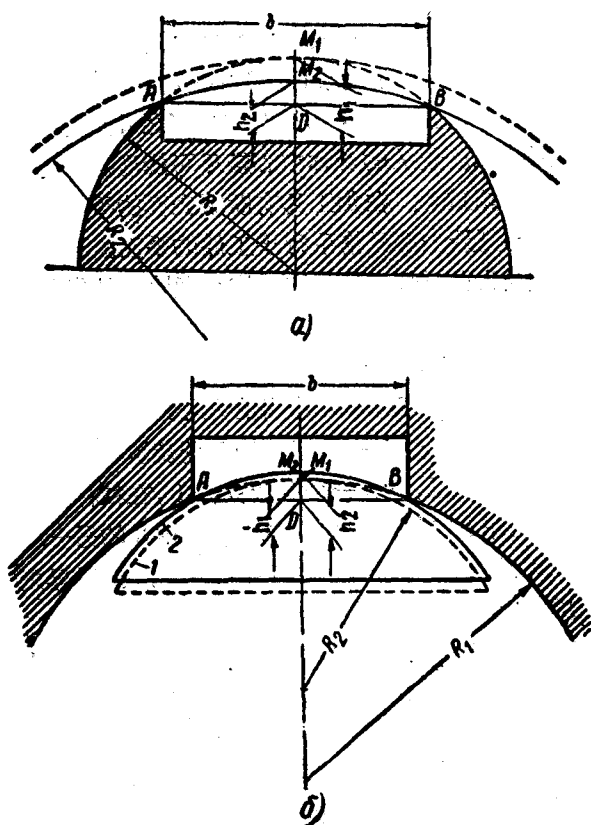


图 5 计算工件表面缺口通过弧形测量头时测量头移动量的示意图

a——在 $R_2 > R_1$ 时检验轴用；b——在 $R_1 > R_2$ 时检验孔用。

最大宽度为 $b_{\max} \leq 0.4d$ 。但当缺口宽度为 $b_{\max}$ 时，误差 Δh 值就会很大，而使这种测量装置的精度降低。有鉴于此，带弧形测量头的装置最好是用来检验 $b_{\max} \leq 0.3d$ 的工件。若 $R_2 = R_1$ ，则 b 为任何值时误差都是 $\Delta h = 0$ 。但正如以前所述，这种情况实际上只有在加工平面工件时才有可能。

加工长轴时，轴会产生水平平面内的弯曲变形，因而使轴与测量头 ($R_2 > R_1$) 间发生相对位移，但这对测量精度的影响很小，

因为以縱磨方法加工軸且軸的水平变形很小时，測量头 ($R_2 > R_1$) 的工作与上述橫磨时的工作几乎没有什么不同。

除了正确地選擇測量头的长度和半徑之外，并須做到：在調整測量裝置时使測量头的对称中心綫尽可能准确地与圓柱形工件的对称中心綫相重合。在加工具有斷續表面的平面工件时，务使平直測量头的測量表面严格平行于工件的平面。

弧形測量头和平直測量头安装的正确性，是靠移动整个測量裝置或相应地轉动測量杆上或測量杠杆上的測量头来保証的。測量杠杆由于結構比較簡單、調整方便，所以在許多場合下都适用。

上述关于選擇呈直綫移动的測量头之长度和半徑等一切問題，也完全适用于測量头呈角运动的測量裝置。图 6 就是測量头呈角运动的測量裝置。它有一个測量杠杆 1，在杠杆的一端固定着測量头 2。杠杆 1 安装在軸 3 的一端，在軸 3 的另一端固定着另一杠杆 4，杠杆 4 与指示器 5 的接触杆接触，指示器則安装在測量裝置的固定本体上。

随着工件加工裕量的削減，測量头 2 及杠杆 1 和 4 由于彈簧 6 的作用就繞着軸 3 轉一个 α 角。杠杆 4 又作用于指示器的接触杆上，使指示器的指針移动。一俟工件磨削到規定尺寸后，机床即行停止。为了預防因杠杆 4 受到杠杆 1 及測量头 2 偶然傳来的振动而使指示器遭受损坏起見，在測量裝置的本体上应安装一个定位器 7。

測量头呈角运动的測量裝置，其工作条件和精度取决于測量头的长度、測量头的半徑以及固定測量头的杠杆长度。測量头长度与半徑的選擇原則，与測量头呈直綫移动的裝置同。固定有測量头的杠杆长度的選擇，基本上是由加工裕量值决定的。如果測量裝置的杠杆很短，而加工裕量又很大，則杠杆以及与之相連的測量头的轉移角度就会很大，这样一来，工件表面缺口就可能碰击測量头的邊緣。

随着工件加工裕量的削減，呈角运动的測量头与工件的接触点就发生不大的位移，即由 k_1 移到 k_2 (图 6 a)。如果測量头