

自 制 中精度及低精度 水 准 管

孫 天 縱 編著
郭 惠 申 校訂

測 繪 出 版 社

水准管的制作和修配过去多依赖于仪器工厂，一架仪器上的水准管损坏后，由于修配不及时，往往影响生产和教学，大大降低了仪器的使用率。

本册子介绍了用简陋的工具，采用了一些土办法自制中精度及低精度水准管的过程和方法；同时对水准管的精度也作了简单的分析。主要内容包括：水准管的构造和特性；工作台、材料的选择和准备；量测磨杆曲率的工具；玻璃管琢磨前的处理和灌注储液、封管等技术；水准管分划值的检定；怎样求定仪器所需水准管的分划值等。

本册子供测量仪器修配工作者和自制测量仪器者参考



自制中精度及低精度水准管

編著者	孙	天	縱
校訂者	郭	惠	申
出版者	測	繪	出 版 社
	北京宣武門外永光寺西街3号		
	北京市書刊出版業營業許可証出字第081号		
发行者	新华書店科技发行所		
經售者	各地新华書店		
印刷者	地質出版社印刷厂		
	北京安定門外六鋪炕40号		

印数(京) 1—1300册

开本 787×1092¹/₃₂

字数 24,000

定价(8) 0.13 元

1959年10月北京第1版

1959年10月第1次印刷

印张 1¹/₈

統一書号: T15039·338

前 言

水准管的修配过去都依赖于仪器工厂，当仪器上水准管损坏时，大部分检修单位是无法修配的，或者即使能修配，而往往水准管的灵敏度与仪器性能也未能完全适应。因此，由于一架仪器上水准管的损坏，就无法进行测量工作，影响生产或教学，大大降低了仪器的使用率。鉴于以上情况，几年来，我们深感到有自己来磨制水准管的必要。在大跃进形势的鼓舞下，我们打破了迷信思想，用简陋的工具磨制成了质量较高的水准管。当然，在试制中也遇到很多困难，如开始，我们没有有关的参考资料，也不知道仪器厂的制作过程，只是根据C.B.耶利谢也夫的测量仪器学中的一些理论进行试验。然而仅仅根据这些理论，没有实践制作的技能也是不可能的。因此我们只好边摸索边试制，如测定磨杆曲率没有专用千分表时，我们就用一般的千分表改装一下，或者用图解法来解决。检定分划值没有检定器时，我们就用木制检定器代替……等。当然有些土办法也未见成熟，还需继续改进，有待于大家提出宝贵的意见，使土办法逐渐完善。

由于水准管本身是仪器的精密构件之一，因此不能不研究一下它本身的精度问题，在这里曾作了一些简单分析。关于这样制作水准管的发展方向，我们认为工作步骤与工厂没有根本上的分歧，而只不过在个别的操作过程中采用了一些土办法。由于我们采用了这些土工具和土办法所做出的成品精度能达到要求，因此在此介绍，以供修配工作者和自制仪器者参考。

編 者

1959年元月

目 录

一、	概述.....	3
二、	水准管的构造和特性.....	5
三、	工具的准备和材料的选择.....	8
四、	量测磨杆曲率的工具.....	11
五、	水准管的琢磨和琢磨前玻璃管的处理.....	17
六、	灌注储液和封管技术.....	20
七、	水准管的框管和框架.....	23
八、	水准管分划值的检定.....	25
九、	如何求定仪器所需水准管的分划值.....	31
附录一	经纬仪各部分水准管分划值表	34
附录二	水准仪水准管分划值表.....	35
附录三	平板仪各部水准管分划值表	35

一、概 述

水准器是用来把测量仪器的某一个部件与鉛垂綫构成一个一定的角度。在水准器沒有发明以前,人們是利用重力来达到上述目的的。十七世紀时由于精密机械不发达,还不能用重力来做出合乎精度要求的工作原件,因而采用了重力对液面作用的特点制造了水准器。最早的水准管是将普通的圓玻璃管放在火上进行弯曲,如图 1。显然,这种水准管内表面不可能具有一定的曲率,对于精度要求上也无法保証,但易于制作是它的特点。因此,在現代仪器中精度要求不高的仪器上,仍然使用它,如測斜仪,普通水准尺和木工用的水平尺上的水准器等。

十八世紀中叶之后,火上弯曲水准管逐渐被內表面琢磨成一定曲率的水准器(如图 2)所代替。这就是現代仪器中



图 1. 火上弯曲成的水准管

所使用的水准器,它的精度可以达到几秒。現代的水准管是将热稳定而畸变小的,化学稳定而坚固的,但易于加工的



图 2. 現代水准管示意图

玻璃管套在一条鋼条上磨制而成的。假若鋼条具有一定的曲率,則所磨制的玻璃管的內表面就会具有这种近似曲率,然后在管内注以某种液体,封閉好玻璃管,并在管内保留一定的

空間，这个空間我們叫水准气泡。由于重力对管内液体的作用，气泡恒居管内最高位置，人們就根据气泡的位置来确定仪器位置。

水准器分圓水准器和管水准器两种，这两种水准器往往装置在同一架仪器上。圓水准器是用来作概略定平用的。圓水准器的制作在以往是将圓玻璃片的一个面磨制成为合乎要求的凹面；并且使它严密地与一个圓柱形金屬小盒固定在一起（如图3）。在金屬小盒的底部中間有一个具有螺紋的小孔。从小孔中可以注入液体。液体不可注滿，須要保留一个适当大小的气泡，并用合适的螺絲严密封閉小孔。由于这样的制作困难，成本較高，在廿世紀初开始制造近代圓水准器。

近代的圓水准器的制作多半是在原来凹面圓玻璃片下用胶粘或用火焰把玻璃烧化而使其与一个也由玻璃制成的杯状物体联合在一起。前法可以只用一个杯形物，后法必須在



图 3. 圓水准器

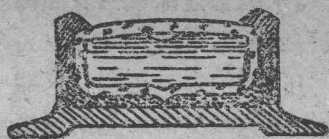


图 4. 圓水准器

杯底中間抽出一个可以注入液体而又易于封閉的小管。在灌注了适当容量的液体后，把小管口封閉。将这样封閉好的圓水准器盒，用石膏固定在圓水准器的框盘中（如图4）。对于水准管的制作我們将在以下几节中詳細討論。

水准器应用极为广泛，主要装置在测量仪器上。物理仪器上以及建筑用的建筑水准器上。水准器的用途有两种：一是用来安置仪器部分的水准器；一是用来测微小傾角的水准

器。第二种水准器在精度上要高于第一种，这种高精度的水准器的制造在这里不作詳細討論。

二、水准管的構造和特性

用圓柱形玻璃管制成的水准器称管水准器或长水准器。在管的內表面管軸方向琢磨成具有一定曲率的圓弧形，管內注以附着力小的，并在严寒气候下不致結冻的液体。在管內保留一个沒有液体的小空間，这个小空間我們叫做水准气泡。在玻璃管的外表面刻有相等間隔的分划綫，在一般的水准器上往往将分划綫等間隔地刻成对称，分划綫的对称中心称为水准器的零点。水准气泡的位置是根据它两端的弧形綫借助于所刻之分划綫来确定的。在分划綫每隔一定的間隔註以註記。通过零点切于縱向圓弧的直綫称为水准管軸（如图 2 n_1 , n_2 ）。

由于重力对液体的作用，当水准管軸水平时，气泡恒居于零点。当水准管軸傾斜角改变时，水准气泡也随着变动，若改变同样一个傾斜角时，則內表面曲率半径大者气泡所变动的分划数較多，曲率半径小的变动分划数較少。通常水准器的灵敏度是根据管子內表面所琢磨的圓弧曲率半径的长度而定的。曲率半径愈大，則水准器愈灵敏。水准器通常是有各种不同的曲率半径，从半米至 250 米。此外水准器的灵敏度与玻璃管內表面的琢磨質量、气泡的长度、外界的溫度变化和液体的成分等有关。在制作中精度及低精度水准器时，后一部分的因素可不顧及。

水准管的外表面所刻的分划間隔一般都是 2 毫米，这一段

2 毫米长圆弧所对应的圆心角的角值，我們称为水准管分划值（如图 5）。水准管分划值在测量仪器上一般在 $1''$ 到 $10'$ 的范围内，这里用 τ 来表示。

分划值超过 $1'$ 的为低精度。由 $15''$ 到 $1'$ 的为中精度。 $15''$ 以下的为高精度。



图 5. 水准管分划值

水准器的灵敏度前面我們提到过与曲率半径有关。当我们了解了水准管分划值的意义后，就知道水准器的灵敏度是与分划值成反比的，这就是說分划值愈

大，水准器灵敏度就愈低。其次，前面也提到过灵敏度的含意，不仅是曲率半径或分划值，而且与其他各种因素有关。現在分述如下：

玻璃管内表面的琢磨質量 因为装在玻璃管内的任何液体都附着于玻璃管的内壁上。如果内表面琢磨比較粗糙或稍有伤痕时，就会使液体增加附着作用，从而使得气泡不灵敏，以及发生偏差。

气泡长度的影响 若玻璃管的分划值为一定时，水准管中的气泡愈长，它的灵敏度就愈大。对于这种现象我們可以这样来解释：当将水准管傾斜一个角度时，气泡愈长气泡两端的高差就越大，因此两端的压力差也随之增加，这就是說气泡所受到的这种作用力就加大了，因此气泡就灵敏。如果气泡很短，当压力差不能超过液体的附着力时，这时气泡仍然不动。为了克服气泡长度对灵敏度的影响，我們希望能調节气泡长度，使它的长度一定。因此在較精密的水准管中隔有一气室，称为有气室水准器。气室中的气体是被一块玻璃横隔板分隔着，隔板下方有一小孔（如图 6），欲調节气泡

长度，可使玻璃管傾斜某个角度，隔室中的气泡就可併到工作气泡中，气泡就会增长，一般認為气泡长度为管长的 $\frac{2}{5}$ 最合适。

外界温度的影响 温度的影响，主要是个間接作用。我們知道当外界溫度降低时，气泡就会变长，当溫度升高时，由于液体的膨胀，气泡就会縮短。因此溫度影响了气泡长度，气泡长度影响了灵敏度，当然溫度对于



图 6. 有隔室水准管

液体的粘度也有影响。为了减少外界溫度对气泡的影响，往往在仪器上是用絕热玻璃使水准管和外界溫度隔絕起来。

液体的成份 不同液体对玻璃的附着作用是不同的。同时有一些对于玻璃有腐蝕作用的液体，是不能用来作为儲液的。一般使用的液体是酒精或醚以及它們的混合物。醚对玻璃的附着力要比酒精小一些。特別需要注意的是所使用的液体必須純洁。使用醚和酒精的混合物时不可在混合后立即注入水准器內，必須在混合一两星期后过滤使用。

上面四个因素对于中精度及低精度水准管，特别是低精度水准管，影响不大，但無論如何我們对水准管的构造特



图 7. 双面水准管

性，应有一个全面的了解。

水准管又可分双面水准管和单面水准管。所謂双面水准管就是在管的上下方有两个零点，好的双面水准管的两个水准器軸是互相平行的（如图 7,a），否則象（图 7,b）所示，

两水准軸相交成某个角度，这个角度称为水准管的收斂角。通常的水准管都是单面水准管，它們在制造上沒有任何差别，都是将玻璃管套在鋼条上旋轉，琢磨管子內表橫截面。有人認為制造单面水准管时，可以将玻璃管在內表橫截面的 60° 範圍內旋轉，这样我們認為無論对工作的进度及精度沒有更充分的根据。一般日本測机舍經緯仪中的单面水准管是按后一种方式来琢磨的。（校訂者按：这个結論可以討論一下）

三、 工具的准备和材料的选择

我們知道水准管的內表面是具有一定的曲率，琢磨这种曲率通常是在一架琢磨工作台上进行。一架精密的琢磨台無論在各部机械配合上，和精度的要求上都是較高的，但磨制

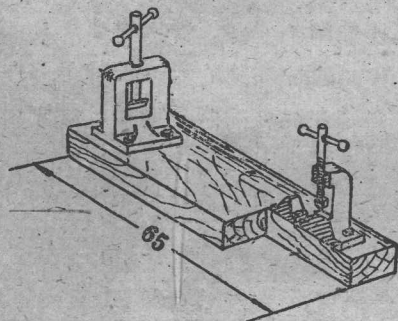


图 8. 简单的水准管琢磨台

中精度及低精度水准管的琢磨台完全可以自制，并且易于克服材料准备上的困难。一架比較簡單的工作台，可以准备下列材料：一块 3 厘米厚的木板，两块作为承架的鉄料，二条經過簡單加工过的螺杆和两个作鋼条支点的頂杆，它們的

装配如图8。主要零件設計尺寸如下：（但決不要受設計尺寸和材料形式的限制，可根据能找到的材料进行設計）。

水准管是套在一条叫磨杆的鋼条上轉动来琢磨，而磨杆是依靠两端承架上螺杆的压力和两个支点（称頂杆），使鋼条具有所需曲率的曲綫。两边承架必須用螺絲結实地固定在

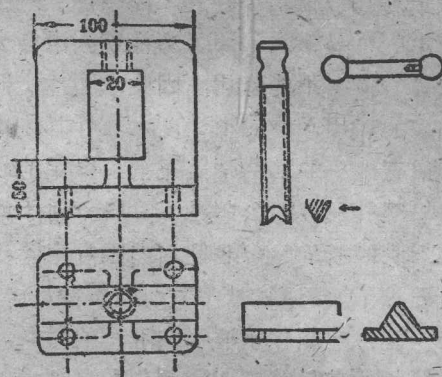


图 9. 简单琢磨台零件主要尺寸

木板上。在磨杆两边所加的压力与磨杆所形成的曲率半径大小成反比。这就是說两端压力愈大，則磨杆的曲率半径愈小。两个支点（頂杆）位置的安置，必須根据所要求水准管的曲率半径和磨杆金属性質而定。琢磨中、低精度水准管时，只要将支点（頂杆）离承架15厘米左右的距离就可以了。两承架安置一般相距50厘米。

从理論上証明：根据上述这样設計所形成的磨杆的弯曲軸綫并不是真正的圓弧，而是一条与圓弧很接近的拋物綫。所以琢磨玻璃管时，特別对較高精度的水准管，尽量应用磨杆的中部，而不要使用磨杆的可移动的那一端。

磨杆 是一条圓而直的优質鋼条，它是琢磨水准管所必

需的原件。一般长50—60厘米。粗是根据所磨水准管的精度不同（玻璃管直径不同）而分有：6毫米、8毫米、10毫米和12毫米不等。对于它的质量和形状都有一定要求，必须耐磨而质硬，通常以含碳量较高的碳素钢，如45号钢、50号钢来制为最佳，但也可以用一般建筑上用的钢筋来制，这种钢一般为30号钢或40号钢最有韧性，尚耐磨。对于较细的磨杆的制造，用车床不易车圆，因为磨杆不圆滑会大大影响水准管的琢磨质量，甚至不能使用，因此，磨杆一般是放在无心磨床上磨出来的。用于磨制中精度水准管时，由车床车出质量优良的（扁度很小的）磨杆是完全可以用的，对于磨制高精度水准管，磨杆扁度的公差是 $\pm 5\mu$ ^①。对于磨制中、低精度水准管时，它的断面只要我们用肉眼觉察不出它是个椭圆就可以满足要求了。

玻璃管 是目前制作水准管中唯一的材料。我们可以向玻璃工厂购买长的玻璃管。对于制作较高精度的水准管时，最好选用派热克斯玻璃、火石玻璃和冕牌玻璃，这些玻璃都是质量均匀。由于玻璃管受应力后会发生变形，这种变形，对水准器的灵敏度是极不利的，但对于中精度和低精度水准管来说，这个因素对它并不能起决定性影响。含二氧化硅成分高的玻璃管，例如派热克斯玻璃管的优点在于：加热时变形小，极易用金刚砂琢磨。但在以后封管过程中，由于这些玻璃能耐高温，不易熔化，会带来一定的困难。

冕牌玻璃是一种无铅玻璃，它所含的成分：石英砂（重量约占58%）、碳酸钠（约占23%）、白垩（约占8%）和普通玻璃（约值11%），一般作化学试管的玻璃很多是冕牌

①参阅1956年我国科学出版社出版的C.B. 耶利谢也夫著：测量仪器学，第86页——编者注。

玻璃，这种玻璃管在一般玻璃工厂中均能买到，对于一般的玻璃管我們也可用来制作低精度水准管的。

玻璃管尺寸的要求，在测量仪器中，对于中精度和低精度的管内径为6—10毫米，长度为20—80毫米。厚度在1.5—2毫米，分划值为15"、20"、30"、60"及120"，玻璃管的直径和长度之間比例，在中精度和低精度水准管一般为1:4至1:5。

管内可以注入甲醇、乙醇和乙醚或它們的混合液。硫酸乙醚較好，醚在标准压力下的冰点为 -117°C ，沸点則为 $+35^{\circ}\text{C}$ 。低精度水准器中采用純酒精（乙醇）就可以了。

另外，为了求得玻璃管琢磨前磨杆的曲率需要有指示器（千分表）、曲率計等工具或用图解法等来确定，对于这些工具所能达到的精度将在下节詳細討論。

四、量測磨杆曲率的工具

1. 表面式指示器 它是用来量測零件的几何形状和零件相互位置的一种精确的量具(如图10)，整个表軀是与帶有直角形切口的支架固定在一起的，将支架上的两切口安置在具有弯曲的磨杆上时，磨杆就将指示器的頂头頂上了一段距离($h = cc'$) (如图11)，这段距离我們称之为矢矩，它的值在表面分划尺上直接可以讀得。分划尺上的分划值一般等于0.01毫米，由于指示器上的讀数誤差对于所求得矢矩影响在10—30 μ 的范围之内，了解这种精度对于磨制高精度水准管是很有用处的。

根据指示器表面所求得的矢矩长度可以按下式求出磨杆的曲率半径 R ，

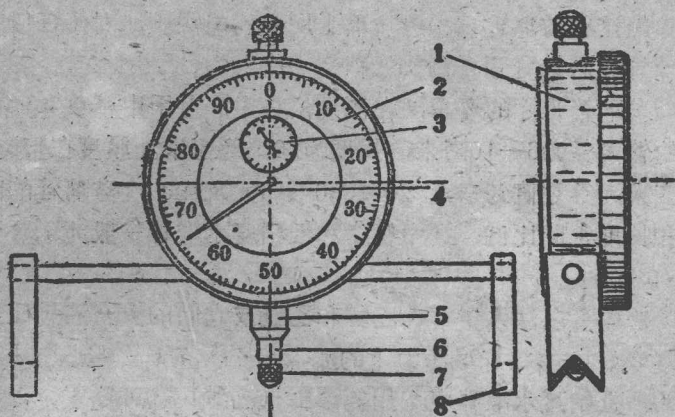


图 10. 表面指示器

1—躯体；2—数字板；3—周轉指标；4—指针；5—筒壳；6—量测杆；
7—頂头；8—表脚

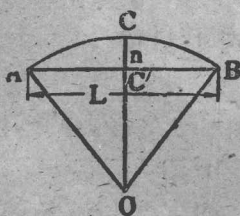


图 11. 測定矢矩

$$R = \frac{L^2}{8h}, \quad (1)$$

和水准管分划值 τ''

$$\tau'' = \frac{h \times 2 \times 8 \times \rho''}{L^2}. \quad (2)$$

L 为指示器的两脚間距，

$$\rho'' = 206265''.$$

若已知 R 或 τ'' 也可按上式反求得矢矩。

例：若要磨制分划值 $\tau'' = 30''$ 精度的水准管，我們已知指示器上两脚間距为 $L = 200$ 毫米，求矢矩长度 h 和曲率半径 R 。

按上式計算：

$$h = \frac{(200)^2 \times 30''}{2 \times 8 \times 206265} = 0.36 \text{ 毫米},$$

$$R = \frac{(200)^2}{8 \times 0.363} = 13.79 \text{ 毫米,}$$

在市面上我們可以买到不帶有两脚架的指示器①（千分表），这种千分表可以加以适当的改装。应当注意的是，在测定磨杆之前，必須将千分表的頂头調整好。也就是說，当磨杆两端未加压力时，两只表脚安置在磨杆上，这时表的頂头必須恰好与磨杆相接触，表面的指示針应指在零綫上。

2. 曲率計 它与表面式指示器所不同的就是用一个測微

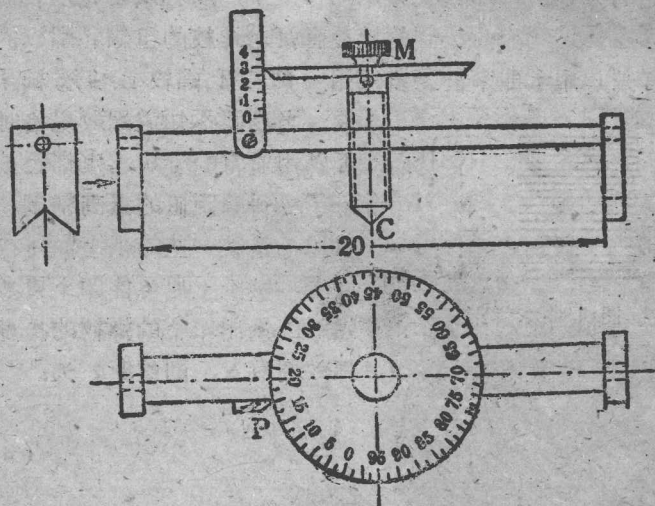


图 12. 曲率計

鼓来代替千分表（如图12），用这种曲率計来测定磨杆的曲率，其精度略次于用表面式指示器。

量测方法：在磨杆两端未加压力之前将曲率計安放在磨

①磨制低精度水准管时，这种指示器可用百分表来改装——編著者。

杆上，旋轉測微鼓 M 使頂頭 C 剛與磨杆接觸，根據指標 P ，讀得測微鼓上讀數 u_1 ，當磨杆兩端加壓後，按上述的方法，在測微鼓上可讀得讀數 u_2 （對於經過長期使用的磨杆，在這時要考慮到磨杆的磨損情況）。若知道測微鼓上的分划值就可求得矢矩 h

$$u_2 - u_1 = H. \quad (3)$$

式中 H 為測微鼓上的分划格數。

測微鼓上一般分100個分划或120個分划，為了求得每一分划的分划值（所代表矢矩的長度），就必須事先求得測微鼓螺距長度，因此量測的精度直接與螺紋的粗細和螺紋的精度有關。用於曲率計上多採用一級細牙螺紋或二級細牙螺紋，

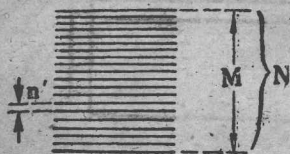


圖 13. 求螺距

當我們不知道螺紋規格時，可以用通常的辦法求定螺距長。為了求得螺距值的最高精度，可以用一張硬一些的紙，緊壓在螺杆上，使紙上尽可能印下更多的螺紋，量出印下的螺紋的長度 M

（圖13），數出這一段中的螺紋周數 N ，則螺距 h' 為：

$$h' = \frac{M}{N}. \quad (4)$$

設測微鼓上分划格數為 n ，則測微鼓上一格分划值 Q （所代表的矢矩長）為：

$$Q = \frac{h'}{n}, \quad (5)$$

所以
$$h = H \cdot \frac{h'}{n} = H \cdot Q. \quad (6)$$

h 为矢矩， H 为测微鼓两次讀数差的分划值。

用曲率計測定磨杆曲率的精度，認為主要是頂头与磨杆的接触上，这种誤差是根据人們肉眼的分辨力为 0.1 毫米来确定的。其次对于 AB 点的安置誤差、测微鼓的行差和刻划差、仪器本身誤差若不考虑（影响很小），当 AB 两脚間距为 200 毫米时，則代入（2）式得：

$$\tau'' = 8'' \quad (7)$$

考虑到最不利情况，对于这种仪器来測定磨制 $20''$ 以下的水准管的磨杆曲率精度是完全足够的。

3. 用图解法求定磨杆的曲率 当磨制較低精度的水准管时，若沒有表面指示器和曲率計，可采用图解法。用一张伸縮性小的图紙（如瓦特曼紙）裱糊在一块平滑的木板（或图板）上，将裱糊好的木板垂直地放在离磨杆 1 厘米左右的地方，利用較远的点光源（燃一根腊烛）或阳光，将磨杆的曲率投影在裱糊好的图板上，根据投影在图板上的影子，用細針刺出三点（图14），为了减小这种刺点誤差，可事先作好各种不同曲率的三点样版，中点 C 必須是磨杆中点的投影，



图 14. 图解法求磨杆曲率

A 、 B 两点之間相距尽量大些（30—40 厘米）。若利用阳光作投影时，图板面需垂直于光綫，并将磨杆曲率表面垂直地投影在图板上，图板上三点 A 、 B 、 C 应同时刺出。或用已經作好的三点样版与磨杆的阴影綫作对比，当三点都在清晰的阴影綫通过时，就可求得矢矩，这时刺点与阴影綫的重合精度可以認為是 0.1 毫米。很显然，这种图解法精度，首先决