

光学计量仪器

第二輯

第一机械工业部上海光学仪器研究室編譯



上海市科学技术編譯館

79.841
566
:2

目 录

1. 最近的工具显微镜	(1)
2. 新型綫值計量的光学机械仪器	(6)
3. MKII 型坐标测量显微镜	(11)
4. 可測至 30 呎的新型测长机	(13)
5. 投影仪和测量显微镜的測量誤差	(23)
6. 測角儀器的檢驗	(26)
7. 光学計量仪器中的測微目鏡	(32)
8. 螺紋螺距誤差的高精度測量	(39)
9. 內螺紋的光学測量法	(43)
10. 精密长度測量技术的进一步发展和它在制造、檢驗及計量室中的应用	(47)
11. 光电显微镜	
——在直接讀数和自动瞄准方面的一些进展——	(59)
12. 机构傳动精度的无接触檢驗	(67)

最近的工具显微镜

一、前言

在光学精密机械量仪的发展史中,工具显微镜是1920~1930年之間問世的。1926年德国 Zeiss 厂在德累斯頓高等技术学校的 Berndt 教授紧密合作之下制成了带投影装置的小型工具显微镜。不久該厂又制成了大型工具显微镜。1927年該厂在上述两种仪器及螺紋測量比較仪的基础上,生产了万能工具显微镜。

由于这类仪器是以坐标測量为基础,配置了多种附属装置,并具有精度較高、操作方便和广泛的适用性等特点,在机械工业中应用很有成效。所以,世界各国很多光学仪器工厂均先后生产了同类型的仪器。虽然各厂的商品名称并不完全相同,但其基本原理相同,結構形式也是大同小异的。四十余年来,这类仪器已发展成为一种标准型式。

簡而言之,工具显微镜是具有如下特点的一种量仪:

(一)主要以具有远心照明系統及远心物鏡的显微镜来从事直角坐标、角度和輪廓的測量;

(二)为保証操作簡便,結構簡單,因而在設計上未符合阿貝原理,坐标測量时的准确度約为3~5微米;

(三)具有測量螺紋的机构和附属装置。

值得注意的是,从坐标測量的准确度来看,工具显微镜只是属于中等精度的量仪,但由于它并未按照阿貝原理进行設計,因而各种零件和結構必須具有較高的精度。

工具显微镜按其測量范围的不同,大致可分为:小型、大型、万能型和重万能型四类。但自1950年以后生产的新型产品,其測量范围均有所扩大。

虽然工具显微镜的技术測量效能仍然能适应今日工业的需要,但随着机械工业的迅速发展,为了滿足日益增加的快速、簡便和多項目測量的要求,以及光学仪器工业本身的发展,促使工具显微镜进入了一个新的发展阶段。

二、最近的情况

在近代工具显微镜中,保持了以往受过考驗的基本原理和結構,而相应地扩大了使用范围、提高了仪器的精度、簡化了操作方法和改善了某些机构的性能。总的来說,这些变化还只是一种逐步改善的过程,然而却是值得我們注意的,特别是后面将述及的数字指示技术的应用,可以說已开始进入半自动化測量的阶段了。

(一) 扩大使用范围

工作台的測量范围。和以往的仪器相比,最近的工具显微镜的工作台測量范围均有所增加,这一点可以从表1中看出来。

表 1

仪器类型	原来的測量范围(毫米)	現在的測量范围(毫米)	厂名或型号
小型工具显微镜	75×25	100×50	西德 Zeiss 厂
大型工具显微镜	150×50	150×75	西德 Zeiss 厂
	150×50	150×100	苏联 VIM-22
	150×60	200×75	西德 Leitz 厂

其次,世界各国对重型万能工具显微镜的系列也給予了相当的重視。除原来西德 Leitz 厂的 Strasmann 型仪器能測量1000×200毫米的范围之外,現在苏联 FOM3 厂已发展了 VIM-24 型的仪器,它的測量范围为1000×100毫米,工件重量可达100公斤,日本奥林巴斯公司的 LMS 型仪器的測量范围是700×300毫米,瑞士 Trioptic 型仪器的測量范围是400×200毫米。如果把万能測长机也作为万能工具显微镜的延續,那末瑞士 SIP 厂和日本三井精机公司的万能測长机的纵向量程也可达1000毫米,至于民主德国 Zeiss 厂的三米万能測长机則是更大的仪器了。

此外,由于各类仪器的附属装置的增加,如果把

某些工厂生产的大型工具显微镜，如西德 Zeiss 厂的产品，称之为小型万能工具显微镜也是不过分的。

(二) 增加高度测量

为了适应三向坐标测量的需要，目前许多新型的工具体显微镜均增加了高度测量装置。这类装置大致可分为下列几种：

1. 第一种是光指示器式，这种型式的仪器可以由美国 3-D 型工具显微镜为代表。其光学系统见图 1。透镜 1 把具有一定宽度的斜的狭缝 2 的象投影到包括透镜 3 的光轴 7 和透镜 4 的光轴 8 的交点的水平面上，此象再通过被侧面的反射，经物镜 3、4、反射镜 5、6 及立方棱镜 9 后，成象于目镜 10 焦平面上的分划板 11 上。当被测面位于 A 位置时，在分划板 11 的视场中央，如图 1(a) 所示，形成交叉而又显明的两个象。若被测面位于 B 或 C 位置时，则形成如图 1(b) 或 (c) 所示的，偏离视场中心而又模糊的两个象。因此可以使光指示器上下移动以寻求可以获得图 1(a) 象的位置，然后可根据光指示器的上下位置求出工件的高度值。

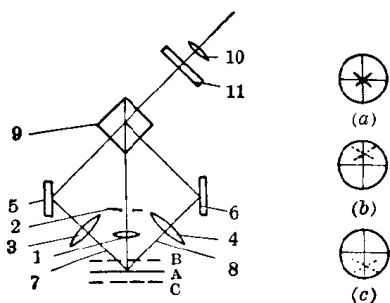


图 1 3-D 型工具显微镜光指示器的光学系统

这种装置避免了一般工具显微镜物镜的放大倍率低、数值孔径较小，因而焦距较大而带来的误差。

2. 第二种是接触式，西德 Leitz 厂的 UWM 型仪器和苏联 ГОМЗ 厂的 УИМ-21 型仪器等较大型的仪器上配备了这种装置（图 2）。其原理和一般立式测长仪相同，只要取下测量显微镜换上这种装置就可以进行高度测量。测量范围是 100 毫米，分度值为 1 微米。

这种装置考虑了阿贝原理，有着较高的测量精度。

3. 第三种是采用高放大率的物镜（ $10\times$ 、 $40\times$ ）对准的方式。根据日本久保田稔所提供的数据，工具体显微镜 $10\times$ 物镜的焦距深约为 20 微米、 $40\times$ 物镜的焦距深约为 4 微米。这类仪器的高度测量的分度值

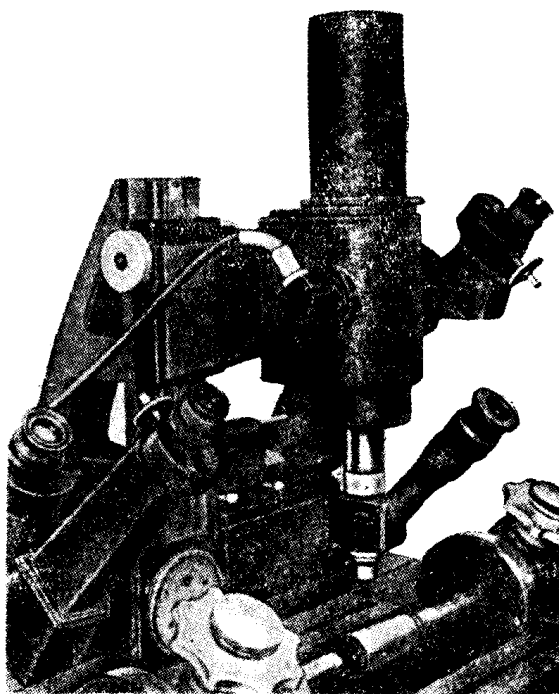


图 2 УИМ-21 型仪器的测高装置

一般为 0.01~0.02 毫米。读数方式多数由装置在镜筒内部的玻璃标尺成象在观察目镜的视场边缘，借助于目镜分划板上的游标进行读数。日本联合公司的工具显微镜就是这种类型的仪器。

4. 此外，西德 Zeiss 厂生产了一种新型的内螺纹及高度测量装置（图 3），用来装在测量显微镜的物镜上，它具有一根 0~30 毫米的玻璃标尺，在双筒目镜的视场中可以读取的分度值是 1 微米。

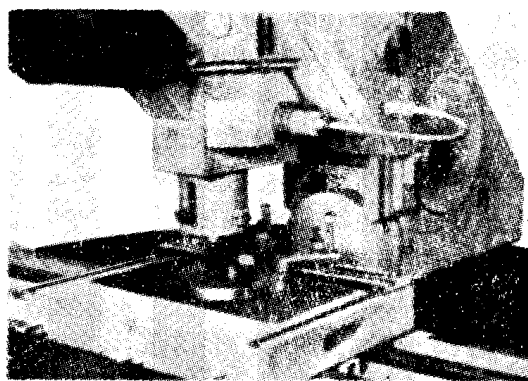


图 3 西德 Zeiss 厂万能测量显微镜上的内螺纹及高度测量装置

民主德国 Zeiss 厂的 KM-10 型和 P1 型仪器上，除具有测量范围为 150 毫米，分度值为 0.05 毫米的高度测量机构外，还配置了测量杠杆附件（图 4），其原理和著名的光学比较仪一样。测量范围为 ± 100 微米，分度值是 1 微米。可以用来进行指定

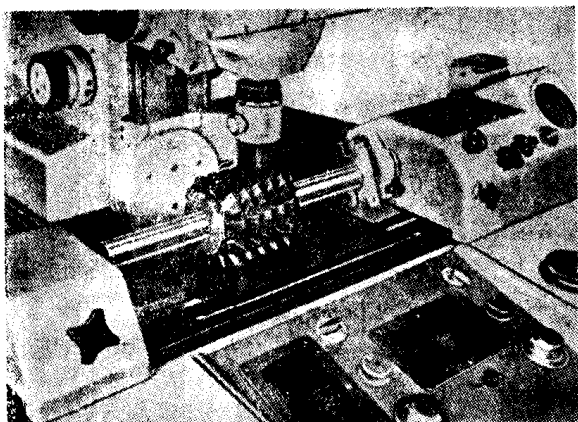


图4 民主德国 Zeiss 厂 P1 型仪器的测量
杠杆附件和圆分度头

范围内的高度测量。在一般情况下，这种测量杠杆主要是用来进行纵、横两个方向的接触测量，代替至今尚在使用的光学接触器。

瑞士 Trioptic 型仪器的高度测量范围是 350 毫米，其三个方向的移动是由变速电动机来控制。

(三) 应用双象法

在测量孔穴的间隔方面有一种使用起来极其简便的点称双象装置。如组合棱镜方式及以折射率不同的棱镜配合起来的方式。

相邻的螺旋突出形及齿形的轮廓等，在相互比较线对称图形时，必需采用线对称的双象装置。日本国民钟表公司及东京光学公司所设计的投影仪上采用了图 5 所示的线对称装置的光学系统。最近已作为附件用在工具显微镜上了。

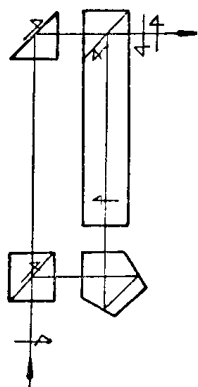


图5 线对称装置的光学系统

西德 Zeiss 厂的大型及万能工具显微镜的双象装置是装在仪器内部的，在目镜视场中的双象是呈现红绿两种颜色，其重叠之处为黑色，通光之处为白色，因此能很便利地借人眼对颜色的感觉，精确地使双象重合。

民主德国 Zeiss 厂的 KM-10 型和 P1 型仪器的双象装置也是装在仪器的内部。这种结构的特点是转换便利，而且比以往的产品省却了一套目镜。

(四) 采用投影系统

虽然万能型仪器的读数系统很早就使用了玻璃或金属标尺，但其读数方法却一直是用测微显微镜进行的。自从苏联 ГОМЗ 厂的 УИМ-22 型仪器采用了投影读数系统之后，因为应用了直读原理，读数极其迅速和方便，所以近来在新型仪器上均相继采用。

对于大型工具显微镜而言，采用投影读数系统，至少有下列四个优点：

1. 在用玻璃标尺、游标分划板和投影屏代替测微螺杆及量块之后，免除了易磨损的部件，提高了仪器的使用寿命；

2. 减少了传动链，提高了仪器的精度，如 KM-10 型仪器和原来的大型工具显微镜相比，最大误差在 x 方向由 $\pm\left(5+\frac{L}{28}+\frac{H\cdot L}{3000}\right)$ 微米变为

$\pm\left(3.6+\frac{L}{27}\right)$ 微米， y 方向由 $\pm\left(5+\frac{L}{14}+\frac{H\cdot L}{1000}\right)$ 微米变为 $\pm\left(3.7+\frac{L}{13}\right)$ 微米；

3. 提高了工作效率，KM-10 型仪器的操作时间仅为原来的旧型仪器的 $\frac{1}{3}$ ；

4. 投影屏上的光线柔和、均匀，就是长时间的操作也不易感觉疲劳。

投影读数系统，除了直读式之外，为了提高读数精度，还采用了标尺移动式。苏联 ГОМЗ 厂的 УИМ-23, УИМ-24 型仪器，民主德国 Zeiss 厂的 P1 型仪器就是采用这种读数方式的，分度值为 1 微米。

西德 Zeiss 厂所采用的方式是把标尺刻线和网状分划板的象直接成在双筒目镜视场中（图 8），按直读方式进行读数的。读数时人眼用不着离开目镜，只要按一下相应的按钮，视场中就会出现标尺和网状分划板的象。其附属装置的读数也可以在双筒目镜视场中读取。

此外，民主德国 Zeiss 厂 P1 型仪器的圆分度头（图 4）和圆工作台也都采用了投影读数方式。

除读数系统外，上述几种仪器在观察系统方面也采用了投影屏与双筒目镜一起使用的结构，因此这类产品一般均可称之为投影工具显微镜。

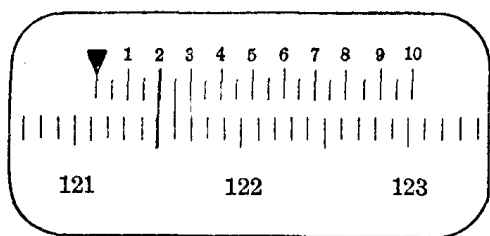


图6 民主德国 Zeiss 厂 KM-10 型仪器的投影读数屏的视场

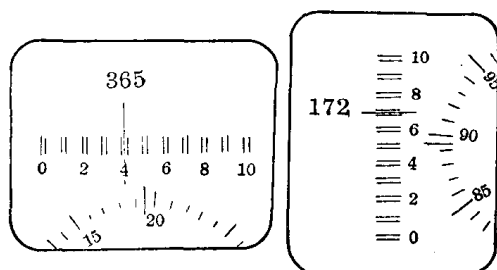


图7 ГОМЗ 厂的 УИМ-23 型仪器的投影读数屏的视场

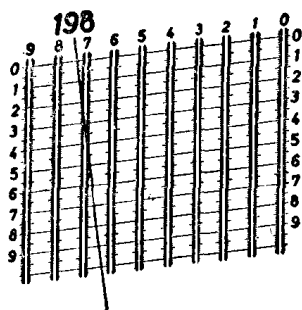


图8 西德 Zeiss 厂 UMM 型仪器的读数系统的视场

(五) 提高仪器及其附属装置的精度

1. 如前所述,在采用投影读数系统之后,仪器的精度有了相应的提高。除此而外,由于设计和工艺方法的改进也使仪器的精度有所提高。如民主德国 Zeiss 厂的 P1 型仪器的立柱垂直的重复性偏差提高到 $\pm 20''$,其附属装置的圆分度头和圆工作台的分度值分别从 $1'$ 和 $30''$ 提高到 $6''$,弹性测量装置改成测量杠杆附件之后,使原来依赖于仪器工作台的测量精确度的装置改善成在 ± 100 微米范围内,分度值为 1 微米的装置。瑞士 Trioptic 型仪器的纵横行程的测量分度值为 0.5 微米,比一般仪器至少提高了半个数量级。

2. 美国 Doall 公司用黑花岗石制成了“Micro Inch”型仪器的导轨。仪器的基座是一整块花岗石,其工作表面的平面度在 $0.1 \sim 0.2$ 微米之内。基座

上固定着的工作台导轨与立柱导轨也都是用花岗石条制成的。为减少摩擦的影响,在滑动面上涂了炭层,而不用油层润滑,避免了油膜对测量精度的影响。仪器纵横导轨的垂直性偏差为 5 秒,滑板运动的直线性为 0.018 微米。

3. 在测量方法方面,苏联 В. П. Коронкевич 等发表了采用和洛埃镜相仿的干涉带来提高测量螺紋时的瞄准精度的方法。其结论如下:

(1) 测量螺紋参数的干涉方法不需要应用接触设备(测刀和三线等);

(2) 工件轮廓边缘用干涉带方法的定位精度与显微镜瞄准标尺刻线的精度一样;

(3) 用干涉方法检查螺紋工件时,可考虑到被测螺紋表面的偶然不平度,这在用测刀时是困难的;

(4) 用干涉方法测量工件时,不要求改变显微镜的结构;

(5) 当散焦为 0.03 毫米时,误差达 1.66 微米。因此建议调焦误差不应超过 0.01 毫米,但一般工具显微镜的物镜焦深较大,难于满足这一点。

三、新的趋势

人们总是不断地在广大范围之中寻求简化和自动化的尺寸测量和控制技术,这是因为采用自动化技术能降低辅助费用、提高测量精度和减少废品率。最近,属于自动化技术范畴的数字指示技术已被引入到工具显微镜的读数系统中来了。

在 1963 年第八届欧洲工具机展览会上,展出了西德 Zeiss 厂制造的数字式 (digital) 工具显微镜 (图 9), 读数由电传打字机直接打印在纸条上。

仪器读数系统的简要原理如下:

用一根间隔为 1 毫米的精密控制轴进行毫米测

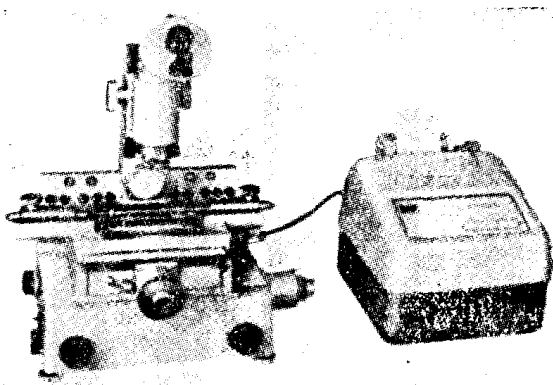


图9 西德 Zeiss 厂制造的具有附属电传打字机的数字式 100/50 工具显微镜

微器的校正，軸上的一个鎖紧螺母达到校正位置时就定位于此。控制間隔的調整不可靠性与測量动作无关。用一根精密測量軸来校正毫米測微器的小数部分。这根軸能够在1毫米範圍內校正具有鎖紧螺母的精密控制軸。由位于精密控制軸附近的十进編碼的触道摹取測量值的厘米和毫米数字标记。精密測量軸帶有糾正系統，此系統对于第十毫米測微器的位置是十进的，对于两个最后的位置是二进編碼的。自由零位選擇及任意符号的轉換对仪器提供了簡易的处理方法。因为耦合了电傳打字机，所以避免了測量記錄起笔时的傳遞誤差。

在西德 Zeiss 厂的精密量仪——如数字式傾斜仪 (Digitaler Neigungsmesser)——的讀数系統里还采用了最近迅速发展起来的摩尔条紋原理。估計不久，工具显微鏡也会采用这种原理。这样工具显微鏡將走向自动化測量、記錄和控制的新阶段。

目前采用光栅的摩尔条紋裝置較多，应用在量仪上的光电脉冲发生器及光电脉冲发生器多棱鏡系統等。介紹一下光电脉冲发生器多棱鏡系統 (原理見图 10)。多棱鏡尺是一个由众多的、彼此靠攏串聯在一起的 90° 角的棱鏡所組成，所有的棱鏡底面均胶合在一块平面玻璃上，而由棱鏡之二斜面进行反射。在光路中，发射光栅的图象由多棱鏡尺的反射而被重迭于接收光栅上。棱鏡尺移动时，发射光栅的图象移动为其距离的两倍，因而在发射光栅成象于接收光栅上的情况下产生了两倍的光脉冲。单棱鏡一个一个地移入光路中，在成象处 (光电元件上) 就記下了光脉冲的数值，通过电子系統將脉冲数及其小数部分用数字仪表指示出来。这种系統的优点在于不需用长光栅，測量的长度仅由棱鏡数量来限制。

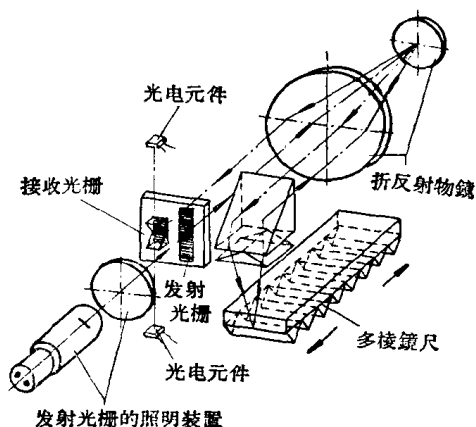


图 10 用于长度測量的光电脉冲发生器多棱鏡系統

四、結 束 語

工具显微鏡已进入了一个新的发展阶段。其特征从上述情况来看，大致有以下几点：

(一)維持基本原理和結構，着重扩大使用范围、增加附属装置和提高仪器的精度，其中大型工具显微鏡已經进一步地万能化了；

(二)广泛采用投影系統，除讀数系統外，在观察系統方面也采用了投影屏和双筒目鏡一起使用的結構，因此投影工具显微鏡的品种也愈来愈多了；

(三)操作系統如手輪、按钮以及讀数系統均尽量設法置于仪器的正前面，为操作者提供了方便的条件；

(四)新型的数字式工具显微鏡已經产生了。

預計随着精密机械光学工业和电子学工业的发展，工具显微鏡的所有附属装置由折換式改进为密封在仪器内部而用按钮轉換的方式是有可能的，不久还可看到自动化測量与記錄仪器出現在市場上。

参 考 文 献

- [1] The new Projection Toolmakers' Microscope "KM10", Jena Review, Special Issue Spring Fair, 1963, Leipzig.
- [2] New P1 Universal Measuring Microscope, Jena Review, 1964. 5.
- [3] The new Projection Toolmakers' Microscope of VEB Carl Zeiss, Jena Review, 1963. 5.
- [4] 最近の工具顯微鏡について，精密機械，1960. 2.
- [5] 測定顯微鏡，久保田稔。
- [6] Neue Meßgeräte für mechanische Größen auf der 8. Europäischen Werkzeugmaschinen-Ausstellung Mailand, Oktober 1963. Zeitschrift für Instrumentenkunde, 1964. 2.
- [7] New Three-coordinate Measuring Machine type Trioptic, Microtecnic, No. 2, Vol. XVI, 1962.
- [8] Интерференционный метод измерения элементов резьбы, Измерительная техника, 1963. 2.
- [9] Оптико-механические измерительные приборы, Н. Я. Крупн.
- [10] Трёхкоординатный инструментальный микроскоп, Контрольно-измерительная техника, 1958. 32, № 122~125.
- [11] Doall "Micro-Inch" Measuring Instrument, Machinery (U.S.A) 1962. 11, Vol. 69, No. 3.
- [12] 有关工具显微鏡的样本。

(彭定榮編譯)

新型綫值計量的光学机械仪器

О. Я. Егорьев

一、显微镜上綫值計量的精度

在檢查站和計量室中最广泛应用的 ИТ, ОМН, УИМ 以及其他測量显微镜都存在着很多的缺点。通常, 在測量时上述显微镜的焦点是調至物体上面的边缘, 而这些物体几乎經常具有塌边、圆角和倒角等等。因此, 檢驗員常会对被测尺寸大小产生一种不正确的概念。在精密測量时必须(沿高度)調焦于零件測量面的平面上。为此在表面上用机械方法刻一細綫、划痕、刻綫等。但是要使显微镜調焦至所作的記号上是很复杂的^①。这里应该考虑到, 被反射半光錐光綫的主光綫和表面形成某一角度 ($2 \sim 5^\circ$), 此角度大小取决于所应用显微镜物鏡的孔径。在对准記号調焦时有了上述这一角度就会在景深範圍內引起某一正的或負的誤差^②(见图 1)。

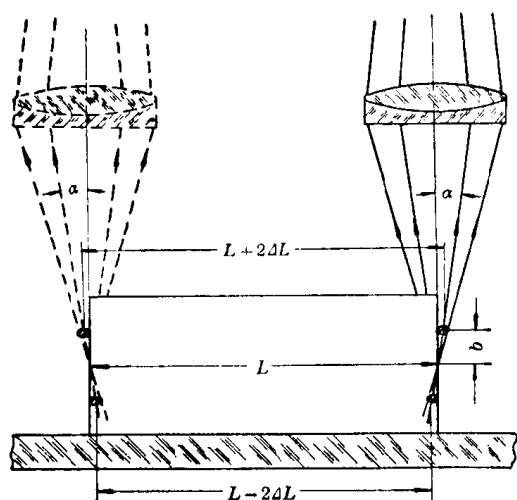


图 1 显微镜景深对測量精度的影响

为了消除調焦誤差和提高測量精度, 采用了測刀、滾柱或特制接触附件。当与測刀或滾柱連用时, 是对測刀的刻綫或滾柱的母綫調焦, 因此, 充分利用了物鏡的全部孔径。

这样, 主光綫对于光軸的傾斜角度等于零, 同时也沒有調焦的誤差。

但是上述方法使綫值尺寸測量过程大大地复杂化。这里我們主要說明的是測刀和滾柱的調节过程是很复杂的, 并且劳动量很大, 因此它仅适于在实验室的条件下进行。測刀和滾柱要求定期檢查測量面的质量和損耗情况。經驗証明, 測刀使用 10~15 次后, 它的精度損失 10%^③。

此外, 測刀和滾柱不可能用来測量孔, 特别是尺寸为零点几毫米的小孔。帶有接触附件的仪器基本上适于測量 1 毫米以上的孔, 而对于更小的尺寸是不适用的^④。

更精确的干涉檢驗測量仪器仅仅在实验室的条件下可能采用, 这是由于它对振动和其他干扰具有很高的灵敏度。制造車間条件下很方便进行測量的干涉仪器的嘗試一直在进行着。但是目前要断言那一种仪器是适宜的还为时过早。

另一方面, 干涉仪器有一个重大的缺点, 这个缺点和光的波动性有关。問題在于, 处于一定相位的光波, 当射到理想的光滑面上反射时使相位改变至相反的, 也就是通常所說的从平面上反射时发生半波損失。当光波从金属表面反射时, 上述現象大大地复杂化, 因为相位損失的数值大大地增加。这取决于表面吸收的性能, 以及影响表面反射能力的加工方法和拋光的光洁度。因此, 所測得之尺寸与实际尺寸相差一很大的数值, 而此值又无法估計。

干涉仪器也同样完全不可能用于測量小孔和小的內尺寸, 例如尺寸小于 3 毫米的卡規。

由于上述这些情况就产生了一种想法, 把利用光学系統得到的象作为調整的标记。用刻綫尺或更精确的量块測量标记光学象的位移值, 就得到零件

① 假如这个面是样板、量块等的工作面, 在此面上不可能用机械方法刻上記号的話, 那么要調焦于表面上需要的某一点, 完全是不可能的——原注, 下同。

② 为了减小这个誤差, 測量显微镜具有远心物鏡。

③ 最近国外广泛采用硬质合金制成的測刀。按現有資料, 这种測刀在 500 次調整后仍无显著的精度損失。

④ 見 И. А. Григорьев “小孔檢驗” 一书, Машгиз Москва 1952。

的未知尺寸。

在实际中用得最广泛的是刻线尺(刻尺)和量块。平行平面端面量具是最精确的长度标准。量块的工作尺寸用精度达百分之一和千分之一微米的最新式干涉仪测定。大家知道,量块尺寸的精度略高于刻线尺。刻线尺的精度基本上取决于线条刻划的质量。在这里决定性因素并不是线条的宽度,而是线条的边缘,通常在光学机械仪器中线条的宽度大约不超过 10~15 微米。线条制造的质量越好,边缘越均匀,则它在显微镜目镜视场中得到的就越精确。按测量显微镜的刻尺读得之值(放大 40 倍)具有最小平均读数误差约 0.2 微米,这与眼睛的鉴别率有关。当与量块连用时测量精度约提高了 9 倍,即为 0.02~0.03 微米。

线条制造的质量越好,边缘越均匀,则它在显微镜目镜视场中得到的就越精确。按测量显微镜的刻尺读得之值(放大 40 倍)具有最小平均读数误差约 0.2 微米,这与眼睛的鉴别率有关。当与量块连用时测量精度约提高了 9 倍,即为 0.02~0.03 微米。

根据标记成象位移值的测量原理,莫斯科巴乌曼工业大学《度量衡学和互换性》教研组曾制造了一台新仪器“反射比较仪”^①的样机。

仪器工作精度的研究表明,制造了“反射比较仪”以后就有可能使精密测量从计量室转入车间(测量精度达 ± 0.1 微米)。

二、仪器的结构

反射比较仪(图 2 a, b)是一台设有反射头和带有游标读数显微镜的纵向比较仪。反射头 1 装于仪器底座 2 上。利用粗动和微动手轮使滑板 3 沿底座移动。滑板的右面配置长 200 毫米的玻璃毫米刻尺 4, 左面装一中间有孔的工作台 5。工作台 5 可以在垂直面上移动 30 毫米,绕垂直于测量线的轴 0 摆动 $\pm 15^\circ$ 和借助于手轮 9 在水平面上回转 $\pm 45^\circ$ 。读数显微镜 6 具有螺旋、凸轮或楔型目镜游标 7。仪器壳体中设有照明设备 8。反射头由二个显微镜组成,这二个显微镜垂直地安放在同一个光轴上,同时二个物镜是相对的。反射头的光路系统示于图 3。

如图 3 所示,光线从照明器 1 射出,通过聚光镜 2 会聚于刻有二条相互垂直刻线(十字线)的分划板 3 上。为了说明方便,十字线的中心点用符号 A 表示。然后,光线从反射镜反射并射入物镜 5。物镜 5 使 A 点投影于上面显微镜调焦的点 A' 上。

同样, A 点的象由物镜 7 投影于目镜 10 焦平面上的目镜分划板 9 上。目镜分划板 9 上刻有二条

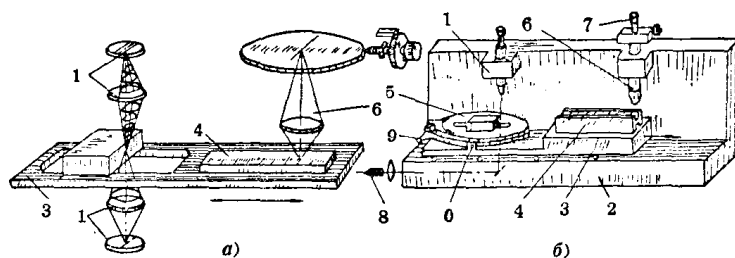


图 2 反射比较仪图

a—仪器的原理图; 6—仪器的结构图: 1—反射头; 2—底座; 3—滑板; 4—刻尺; 5—工作台; 6—读数显微镜; 7—显微镜游标; 8—照明器; 9—工作台转动手轮

平行的细线(双刻线), A' 点的象就位于此二细线之间。假如使某一物体 6 的或多或少反射的表面(例如量块、卡规、样圈等的边缘)慢慢地移近反射头的

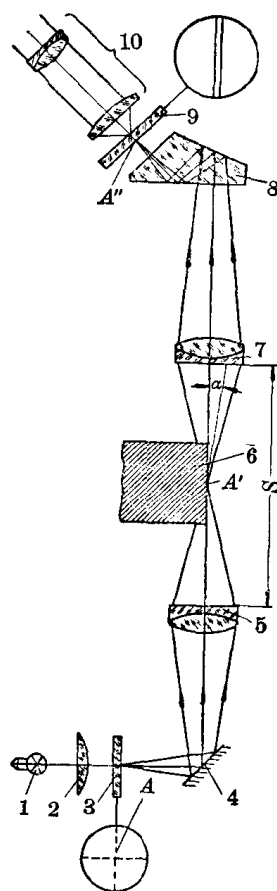


图 3 仪器反射头的光路系统

1—照明器; 2—聚光镜; 3—十字线分划板; 4—反射镜; 5 和 7—物镜; 6—被测物体; 8—棱镜; 9—双刻线分划板; 10—目镜; S—显微镜物镜之间的距离

① 类似的这种仪器名称叫做“Перфлектметр”,最初是西德莱茨公司设计成的,曾不至一次地在国际工业展览会上展出过。

显微镜光轴,那么就会出现 A' 点与该面重合的瞬间。在这种情况下,这个表面使下面十字线的 A' 点产生镜面反射,此十字线投影于上面显微镜的目镜分划板平面上。反射后十字线的形状与反射面的形状相对应。图 4 所示为反射面是平面时在目镜视场中所见的情况(量块的边缘),图 5 所示反射面为圆柱形孔的内表面。

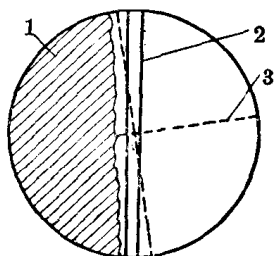


图 4 在仪器目镜视场内的平面

1—被测物体的轮廓; 2—双刻线;
3—反射后的十字线

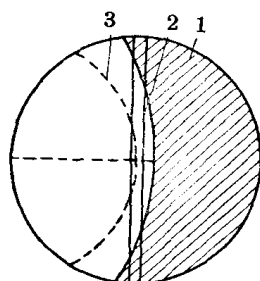


图 5 在仪器目镜视场内的圆柱形表面

1—被测物体的轮廓; 2—双刻线;
3—反射后的十字线

仪器物镜之间的距离 S (当孔径改变时,亦即物镜放大倍数改变时)可利用专门的手轮调节。

该仪器可以用第二个读数显微镜代替反射头或用第二个反射头代替显微镜。在后一种情况下即成为双反射计,它在测量长度尺寸时,比用普通纵向比较仪上测量得到更高的精度。这将在下面研究。

同时,仪器基本的和最主要的优点是可以完全不用毫米刻尺而利用量块和游标测量尺寸达 0.040 毫米的精密小孔。这种情况在实际中是最适用的。

仪器上测量的方法如下。把物体要测量距离的各面(也即要确定未知的尺寸)顺次地与反射头的显微镜光轴重合,从各面反射出来的记号(A' 点)可在目镜视场上双刻线中看到。同时按测量显微镜的游标读得读数。当装有第二个反射头时可利用游标确定标准量块测量面的位置(量块尺寸与被测尺寸的相差不得超过 1 毫米)。二次读数之差即为被测尺寸的大小。

必须指出仪器的二个主要缺点:

- 1) 读数显微镜视场中刻尺刻线的移动比反射头目镜视场中零件被观察表面的移动慢二分之一。
- 2) 无光泽的表面对光线反射很差。

三、仪器在工作前的调整

从图 3 可见,反射比较仪的物镜完全与测量显微镜一样,工作时仅利用孔径光束的一半。但是上面的显微镜必须严格地对准成像空间深度的中心,即 A' 点。假如这个条件没有达到,那么在测量量块组外尺寸和与它相等的卡规的内尺寸时仪器结果会示出不同的数值。因此从度量观点出发特别重要的是在测量过程中必须严格保持反射头上、下显微镜物镜之间的距离不变。

仪器调焦主要有二种方法,也就是:

- 1) 利用三块长度量块的组合(最好不低于一级或二级量块);
- 2) 利用光的干涉。

仪器第一种调焦方法比较简单,但工作量较大。这主要是由于下列原因。

尺寸约 10~20 毫米的三块量块相互研合成组合体(见图 6)。显微镜物镜之间的距离必须调整到被测尺寸 M_1 和 M_2 的数值彼此相等为止。此后转动中间的量块,使其原来在上面的边缘现在凸出在其他二个量块下面边缘的外面,并且重复仪器的调整工作①。

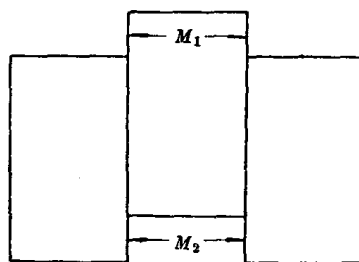


图 6 仪器调整的量块组

在调整过程中需要注意的仅仅是刻尺读数的误差,因为这个误差已包括了温度影响产生的误差,量块和刻尺制造的误差等等。假如令上述的读数平均误差等于 0.2 微米,而按反射头目镜视场中双刻线,调整量块平面的误差等于 0.1 微米,则当一次测量

① 仪器的这种调整方法可以避免由于量块的不平行性(研磨层楔形),温度的变化,以及量块和刻尺制造质量等等引起的偶然误差。

M_1 和 M_2 值时按平方和規則得誤差

$$\sqrt{0.2^2 + 0.2^2 + 0.1^2 + 0.1^2} = \sqrt{0.1} \approx 0.3 \text{ 微米}$$

进行一系列測量后,可得出 M_1 和 M_2 尺寸的平均值,精度达 0.1 微米。

假如 M_1 和 M_2 尺寸的差不超过 0.1 微米,則在每一次安置时仅具有同样的誤差,并且可以认为調整的精度达 $0.1:4 \approx 0.03$ 微米。这誤差比測量显微镜刻尺的讀数高一級(0.2 微米),因此,达到了調整的目的。

仪器用干涉方法調焦比較复杂,但工作量較小。調整的精度比用量块的高^①。

以后,仪器在工作时其調焦不应破坏。反射头的显微镜物鏡換掉时必须重新仔細把仪器进行調焦,假如必要的话,則可对它进行校正。为此目的最好采用三个量块組合体。

物鏡的孔徑对仪器調整的精度具有很大影响。

当物体測量面平行其本身移动一 a 值时,所有射至其面上的光綫仍在同样方向上反射,但平行于本身移动了 b 值。根据光之反射定律, b 值等于 a 值的二倍。假設,从下面显微镜的物鏡中射出的光束的主光綫,以 α 角投射到表面上,則可得出下列关系式:

$$a = \alpha \frac{b}{2}$$

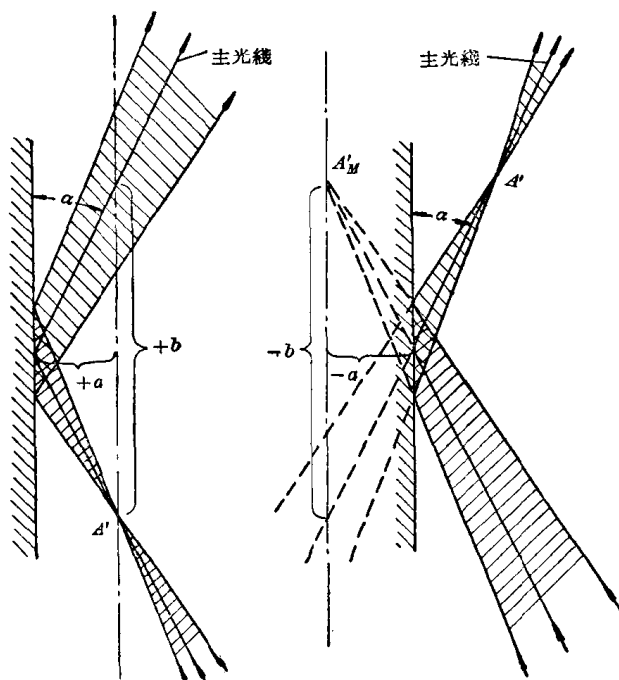


图 7 反射比較仪調焦不精确而引起的測量誤差

此式对 b 微分,可算出由于調焦誤差引起的測量誤差值(見图 7)。

$$\pm \delta a = \pm \alpha \frac{\delta b}{2}$$

式中 δa ——表面离显微镜軸的位移量,即:被測尺寸的誤差;

δb ——調焦的誤差。

假如物鏡的孔徑 $A=0.12$, 取 $\alpha=3^\circ$ (0.05 弧度),則当調焦誤差 $\delta b=\pm 5$ 微米时 $\delta a=\pm 0.25$ 微米。

上面已經說明了,为了进行測量,物体在仪器的滑板上逐漸移动,使其表面順次地与显微镜光軸重合,使下面十字綫的象从物体表面反射出来后投射到目鏡視場中。从这里可以推出,反射后的十字綫在目鏡視場中安置的精度比用普通測量显微镜瞄准时,标记安置的精度高一倍(光反射定律的作用)。反射比較仪的安置精度可达 ± 0.1 微米。

为了确定被測物体相对于滑板移动軸的正确位置,必須用目鏡确定下面十字綫的垂直綫的象是否平行于双刻綫的綫条。假如沒有这种平行,例如图 4 所示,則滑板移动的軸将与被測尺寸的方向不重合。由于工作台在水平面上回轉可使物体达到正确的位置,它比用普通測量显微镜要快一倍和精确一倍(光反射定律的特性)。在重要的測量中这个現象起着很大的作用。

物体在垂直面中位置按下列方法檢驗。工作台利用垂直运动手輪和上下搖动不大的手輪进行移动。假如物体反射面严格地垂直安置,則反射后的十字綫(A'' 点)相对于目鏡分划板上双刻綫不位移。反之,十字綫相对于双刻綫移动。类似的物体位置的檢驗仅可能在本仪器中进行,在測量显微镜中是不可能进行的,因为这是光反射定律的結果(图 8)。

我們来分析一下仪器还能工作的反射面最小可能值。从图 9 可見,当物体的平面在垂直于光軸的方向移动时光束与平面所截的面积向上或向下移动,并且随着光束横截面的縮小而縮小。在某一瞬間,上述面积就变成一个点(A' 点)。假如这个点真正是一个理想的点,則由于显微镜和我們的眼睛有

① 反射比較仪型的仪器之詳細調焦过程已在 P. Шульце 一文中叙述过,文章名称为“利用 Перфлектметр 測量刻綫尺和量块”(R. Schulze, Vergleich von Strichmaßen und Körpermaßen mit dem Perflektometer) ATM № 243, 1956. 在此文章中还列有西德萊茨公司制造的 Перфлектметр 型仪器的工作精度数据。

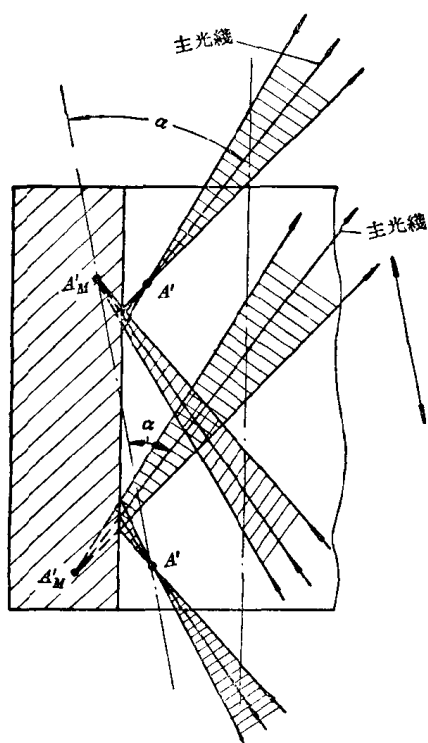


图 8 工件沿垂直軸正确位置的調整

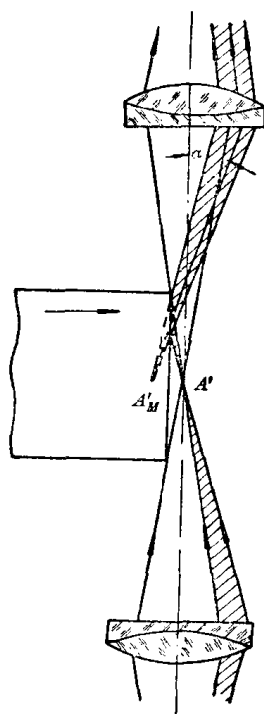


图 9 随光束横截面尺寸而变化的反射光線范围的大小

一定的鉴别率，它就不可能在目鏡視場中看到。因此就必須要使某一“物质的”点，也即具有一定尺寸的点(尽管尺寸很小)投影于显微镜中。这对于垂直于平面的方向特别重要。

我們的眼睛在仪器目鏡視場中要观察的也正就是这个点。仪器物鏡的性能和仪器本身的原理也就是这个緣故。在仪器目鏡視場中可观察到中心在 A' 点上的某一区域 t (图 10)。利用初等数学可算出被测物体表面的最小高度。对于数值孔径为 0.1，与表面垂直方向上可見区域最大尺寸值为 15 微米的物鏡，此高度为 0.7 毫米。高度尺寸很小就不可能在目鏡視場中得到較高质量的十字綫象。

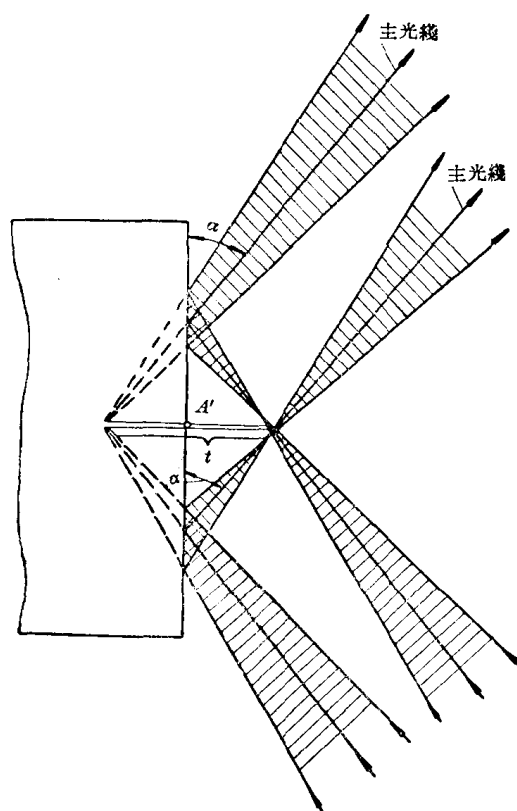


图 10 在目鏡視場中所見到的“物质的”点的产生

結 論

莫斯科巴烏曼工业大学度量衡教研組制造的反射比較仪沒有經過广泛的生产試驗，但是在試驗室中所得到的試驗結果指出，該仪器可以对多种工件、工具、量块、刻尺等等进行檢驗和測量。包括应用于工具和量块制造中以高精度檢驗特别是小尺寸的卡規、样圈、量块、精密刻尺，檢驗各种測量工具測量面的平行度和垂直度。該仪器还可广泛用于軸承工业中測量圈的内徑、滾道的直径和圈的球面度。該仪器还可以用来測量或檢驗錐形軸承和止推軸承等内、外圈的錐度。出現了新的仪器以后，钟表、光学

(下接第 38 頁)

МКИ 型 坐 标 測 量 显 微 鏡

坐标测量广泛应用于仪器制造业，特别是钟表工业。在许多情况下要求把零件或工具孔的中心坐标测量到微米级。在大量生产的条件下这种测量的工作量是很大的。

以往在解决上述坐标测量的任务时，采用万能工具显微镜，但是它基本上适合于螺纹元件的测量，对扁平零件，测量孔的中心坐标也不一定方便，这主要是由于工作效率低。此外，这种万能工具显微镜测量方向的垂直度偏差为 $20'' \sim 30''$ ，在许多情况下是太大了。

下面介绍苏联设计和制造的 МКИ 型专用坐标测量显微镜，它可用来精确而有效地测量扁平零件之孔的中心坐标。它也可用来测量 100×100 毫米范围内的长度，并且可用来测量角度值。

仪器的主要规格如下：

二个方向的测量范围	100 × 100 毫米
手輪轉动一周测量台和中央	
显微镜移动值	14 毫米
微动手輪轉动一周测量台和	
中央显微镜的移动值	0.5 毫米
纵向和横向主刻尺的格值	1 毫米
讀数显微镜的格值	0.001 毫米
中央显微镜的放大倍数	50 × 和 30 ×
中央显微镜的視場	3.4 ~ 5.7 毫米
讀数显微镜的放大倍数	50 ×
在 25 毫米內示值誤差	± 0.0015 毫米
在 100 毫米內示值誤差	± 0.002 毫米
测量台和横拖板运动方向的	
相互不垂直度	$\pm 8''$

仪器的光学原理：

中央显微镜有二个运动，一个是沿垂直面运动，用来調焦，第二个是沿水平面作横向移动，用于調节坐标 y 。

中央显微镜的光路图示于图 1。横向主刻尺固定在带有中央显微镜的横拖板上，同显微镜一起在水平面上沿 y 軸移动。坐标 y 的讀数由专用讀数显微镜来担任。

讀数显微镜的光路图示于图 2。物鏡 2 把主刻尺 1 的刻綫成象于平面 a ，物鏡 3 再把这个象放大

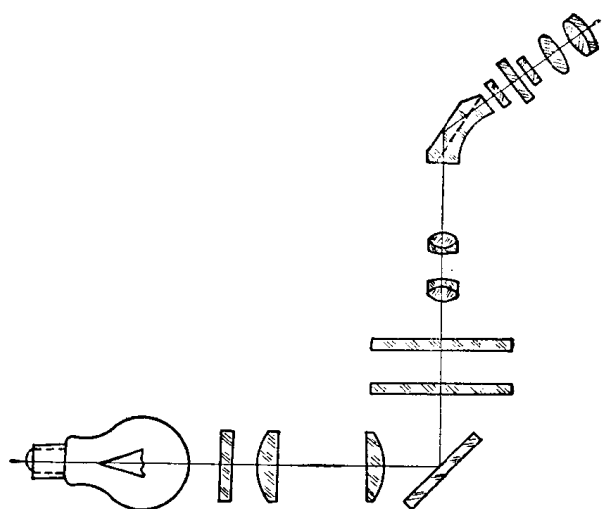


图 1

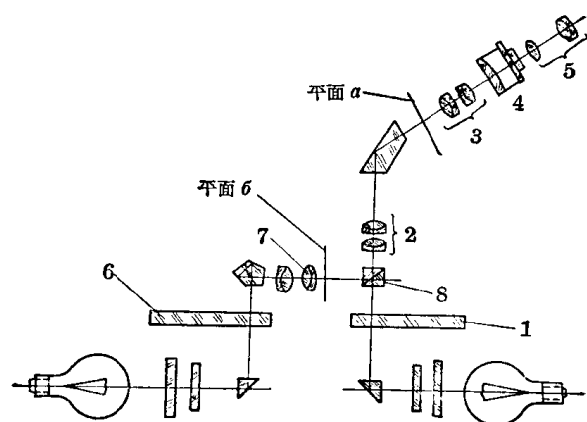


图 2

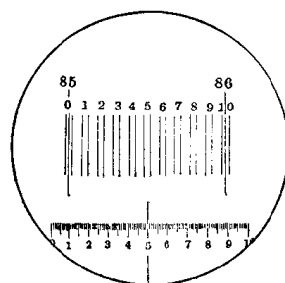


图 3

5 倍而成象于目鏡 5 的焦平面上。这里还安裝有透鏡补偿器 4，用来测量千分之一毫米。其視場示于图 3。十分之一毫米直接由固定分划板上的双刻綫刻尺讀数，而百分之一和千分之一毫米的讀数是借

助于联接在一起的补偿透镜测微尺 4 的移动,使得主刻尺的刻线象和相近的双线中心重合,再在视场里根据下面的测微尺来读数。

补偿透镜的焦距和它到目镜焦平面的距离应如此选择:当补偿透镜移动为测微尺的一个分度时,主刻尺刻线象的位移为 1 微米,而当补偿透镜移动为测微尺的全长时,主刻尺刻线的位移值等于视场中双线中心线之间的距离,即物平面上的 0.1 毫米。

坐标 x 的调节是借助于在其上置有工件的测量台的移动来实现。纵向主刻尺固定在测量台上,其刻线也成象在同一读数显微镜的视场里(图 2 中刻尺 6 转动了 90°)。物镜 7 把纵向主刻尺 6 的刻线成象在 β 平面,而物镜 2 再把这个象成象在 α 面上,用读数显微镜来观察。

立方棱镜 8 是由二个直角棱镜胶合而成,在其中一个棱镜的斜面上镀有半透反射膜。由于安装了这个棱镜,在读数显微镜的视场里既投影了横向主刻尺,同时又投影了纵向主刻尺,但是只有在读数时被照明的那根主刻尺才看得见,当然其照明系统必须保证在照亮一根主刻尺的同时使另一根刻尺的照明关闭。并且视场的颜色也是不同的,照明纵向主刻尺时视场为黄绿色,而照明横向主刻尺时为蓝绿色。

МКИ 型坐标测量显微镜的外形图示于图 4。借助于齿轮、齿条的传动,仪器的纵向测量台与横向拖板能在底座 1 上沿二个相互垂直的方向移动,在测量台与横向拖板上分别固定着 100 毫米长的主刻尺。测量台与横向拖板的粗动是借助于手轮 4 和 5 来进行的,而精确的微动是借助于手轮 6 和 7 来进行的。读数显微镜 8 和中央显微镜 12 是很靠近的,这样保证了在一个工作位置上能同时进行对准和读数,使得工作方便并提高了工作效率。

中央显微镜能在横向拖板的高度方向上移动 75 毫米,并能应用各种测量目镜头:如轮廓目镜头、

双象目镜头、刻有很多同心圆的分划板的目镜头。根据苏联钟表工业科学研究所的研究,用这三种目镜头对小的标准孔的中心的瞄准精度是恰好相等的。当放大倍数为 $50\times$ 时,瞄准的均方误差为 ± 0.5 微米,极限误差为 ± 1.5 微米。而用双象目镜头和同心圆分划板的目镜头来瞄准,能具有相当高的工作效率。中央显微镜视场的照度可改变可变光阑的直径来调节。

读数显微镜 8 上的手轮 9 是用来移动补偿透镜的,旋转手轮 9 直到主刻尺刻线成象在双刻线分划板的双刻线之间后,再进行读数。

被固定在中央显微镜底面的照明器 14 是用来作为反射照明的。

在纵向测量台上安装着旋转工作台 1(见图 5),而在旋转工作台上安装着能借助于测微丝杆在互相垂直的方向上进行移动的小工作台 2。显微镜 3 是用来读取旋转工作台的转角值,其最小分度值为 $10''$,视场图示于图 6。

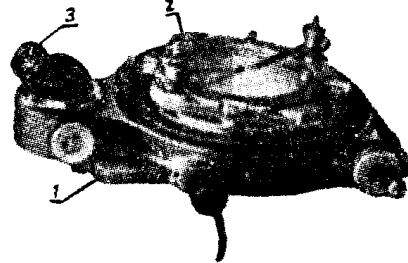


图 5

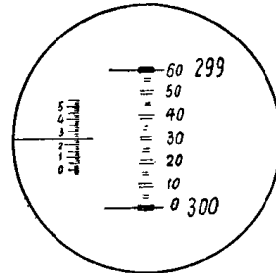


图 6

在工作台 1 和 2 上都刻有十字线,从而保证迅速地将工作台定中心,并将工件安置在坐标测量的位置上。

试验证明:МКИ 型坐标测量显微镜的生产率要比 УИМ-21 型万能工具显微镜高 2~3 倍。

参 考 文 献

- [1] Оптико-механическая промышленность, 1959, № 6.
- [2] Измерительная техника, 1961, № 3.

(唐正浩編譯)

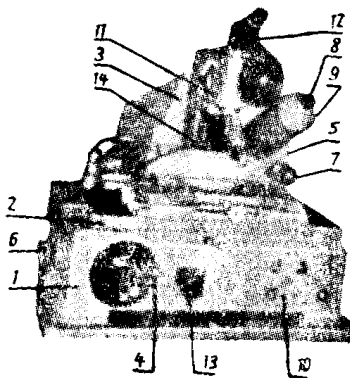


图 4

可測至30呎的新型測長機

F. H. Rolt, E. C. Godfrey, S. C. Bottomley

大量生产的可互换的零件，其尺寸大多数都小于20呎(500毫米)。因此在这样大小的范围内，量具和测量技术的高度发展是不足为奇的。第一次世界大战以来，这门特殊的技术以不断增长的速度发展着，而改进重工业中大工件尺寸的测量方法只是近几年来才提出了要求。这些工件多数是圆柱形的，直径可以大到20或30呎(6或9米)。

加工这些大件时，实际的做法是不必特别注意每个零件的精确尺寸，但需使它们在装配时能达到由经验所定的间隙量或公盈量。换句话说，完成组合零件尺寸的加工，是建立在相对基础上的，而不是绝对的。

容易懂得，在装配大尺寸组合零件的过程中，只是测量它们之间的千分之几时或可能是百分之几时，定出它们之间的可靠的差值，比之以足够高的精度绝对地测量它们各个零件的尺寸，其困难要小得多。

在一个零件装配到另一个零件上时，如果两个零件出自同一家工厂，那是很容易完成的。但是，如果组合零件是由不同的工厂，甚至可能是由不同的国家所制造，那么装配就变得困难。个别零件，若由于损坏而必须更换时，这对于国外用户，就会有更大的困难。

这些制造上的“对配”方法的不方便，近年来受到重视，并且一种把大尺寸的单个零件加工到一定范围的趋势在增长着。这种趋势进一步受到了I.S.O. (国际标准化组织)和许多国家标准化团体近年来研究成果(扩充现有的极限和配合制度)的鼓励。过去，极限和配合制度只规定了大约20呎以内(500毫米)工件的极限和公差，而现在扩充到直径达到125呎(3150毫米)的工件，在某些情形下甚至到200呎(5000毫米)的工件。

可以指出，生产和检验特定范围内的大工件的问题，不仅关系到生产大型的蒸汽轮机、水轮机、发电设备的重工业，而且也关系到制造大型的机床、飞机壳体、车轮、原子能电站和诸如以可互换的装配件建造桥梁的建筑工程。

针量规在测量大工件尺寸时的应用

同重复地成批生产的小零件的生产不同，大工件通常是单个地在重型车床或立式钻床上制造的。它们的加工需要操作者颇为熟练和细心的操作。在将工件最后加工到某一尺寸时，基本上还需要以“针量规”为依据。“针量规”也就是具有圆端的长度量规。这种量规是用截面形状为圆形或方形的实心钢棒所制成，也有用顶端可以伸缩的钢管来制造，如图1所示。

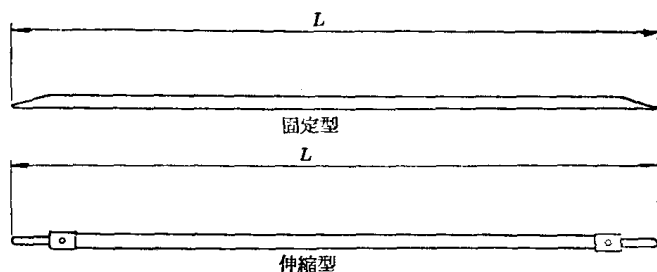


图1 针量规的例子

机器操作者要度量他所加工工件的各个内径或外径，必须备有合适长度的针量规。钻孔时，量规应该直接贴合于所加工的孔上，直到加工孔能放入量规为止。量规的长度通常制成与孔的不限尺寸相等，这样超过下限的孔径就可以在量规另一端用相应的横向余隙来测定，所用的公式表示在图2。因此，若针量规的长度制成与孔的下限相等，而后的正公差以 T 表示，则量规在孔中最大的容许横向余隙 W 将等于 $\sqrt{8DT}$ 或 $2.82\sqrt{DT}$ 。例如，对于公差为0.01呎(0.254毫米)的80呎(2032毫米)的孔，最大的横向余隙等于2.5呎(63毫米)。

针量规在加工车间中也用来测量外径尺寸。当然，不能直接应用它测量零件。但是它们可以作为参考物来确定横木规的尺寸，如图3所示。横木规通常这样制成：在一木梁的两端分别用螺栓栓住两个短小的钢质卡钳脚。

可以指出，木制的横木规的优点是便于掌握和

* 原文为 $8D.T$ ，显系刊误——编者注

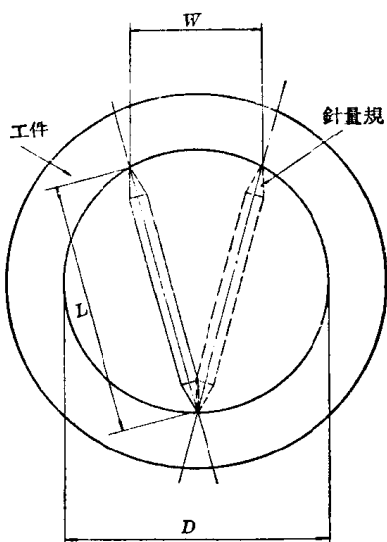


图2 以下限尺寸的针量规测量孔的大小
 $D = L + W^2/8L$ (近似关系)

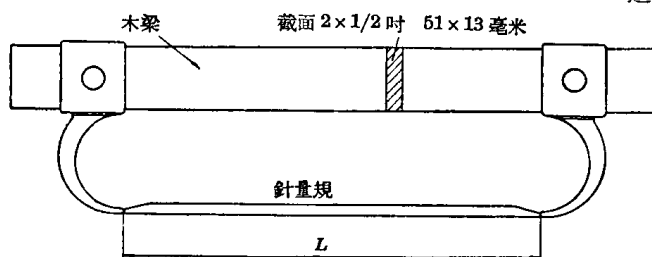


图3 为外测量用,以针量规定位横木块

对手掌的温度不灵敏。只要经常注意用针量规检验横木规的定位,这样大气湿度的变化而引起的横木规木梁长度的任何变化都不会影响工件的测量。

由上所述,可以了解,针量规在机器制造中对于测量大工件的尺寸起着重要的作用。经验证明,只要针量规按照所需的长度一开始就制造得很精密,并且适当的注意它们在加工车间使用时的温度,那么针量规将为熟练的机械师加工大工件时提供一个简单而又可靠的工具。

为了生产大工件,向专门生产量规的公司购买针量规,是不必要的。因为这些量规的构造简单,以钢棒或者钢管在普通的工具房里就可以制成。不过,重要的是,制造规时要以适当的方法准确地测定它们的长度,使量规制造到所要求的尺寸——与所生产的工件极限有关的尺寸。测量方法应该达到这样的要求:测量量规长度的任何不准确度最好不要超过工件预计公差之十分之一。

一般认为,对于制造到适当精密公差(如 I.S.O. 公差级 IT 7.8 和 9)的大工件,要求能够测定针量规

达到每呎 ± 0.00005 吋或 ± 0.0001 吋数量级的精度(每米 ± 4 或 ± 8 微米)。

对于长度超过 4 或 5 呎 (1200 毫米或 1500 毫米)的针量规,使用与标准长度的量规相比较的测长方法是不方便的。最近伦敦希尔格与华茨公司 (Hilger & Watts) 设计出我们现在要叙述的测长机,使得量规的测量实际上可以达到 30 呎 (9 米)。这些机器是以分度尺或卷尺作为本身的测量基准,使用时这分度尺 (或卷尺) 的精度是不应有所降低的。

这些测长机有两种类型:

“A”型,有两种尺寸,测量长度达 80 吋 (2 米) 的和 120 吋 (3 米) 的二种;可直读到 0.00005 吋 (0.001 毫米)。

“B”型,由两个或三个单位长的床身衔接而成,可使测量长度达 19 呎 (5.9 米) 和 29 呎 6 吋 (9 米)。这类机器可直读到 0.0001 吋 (0.002 毫米)。

“A”型测长机

机器的用途

设计这些仪器,主要是为了直接测量针量规和量棒的长度;这些机器有两种尺寸,长度 80 吋 (2 米) 的和 120 吋 (3 米) 的。机器可配上两类测量头,“A”型测量头能够使读数在整个机器范围内直接读到 0.00005 吋 (0.001 毫米),而“B”型测量头读到 0.0001 吋 (0.002 毫米)。

机器本身装配着精密标尺和光学观察系统,在一般使用时不再需要其他标准。机器的初步调整和校正是制作者利用一组特定长度的杆 (国家物理实验室检定,在标准温度 20°C 下有最高的精度) 来完成的。

在使用这些机器时要得到最好的精度,应该把它们放置在保持标准温度 20°C 的室内,温度起伏不超过 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。若没有这种条件,至少也应该放置在不受直接日照,不通风或者没有其它可能引起空气温度不稳定和突然变化情况的室内。气温的变化会妨碍测量的量规达到与机器完全相同的温度,而这一点对于钢量规的测量是一个重要的条件。

机器的说明与原理

机器的全貌如图 4 所示。构造坚固的床身由高质稳定的铸铁制成,床身符合机动学原则支承在两支柱上。床身右端是测量头,左端是尾座,中央是支

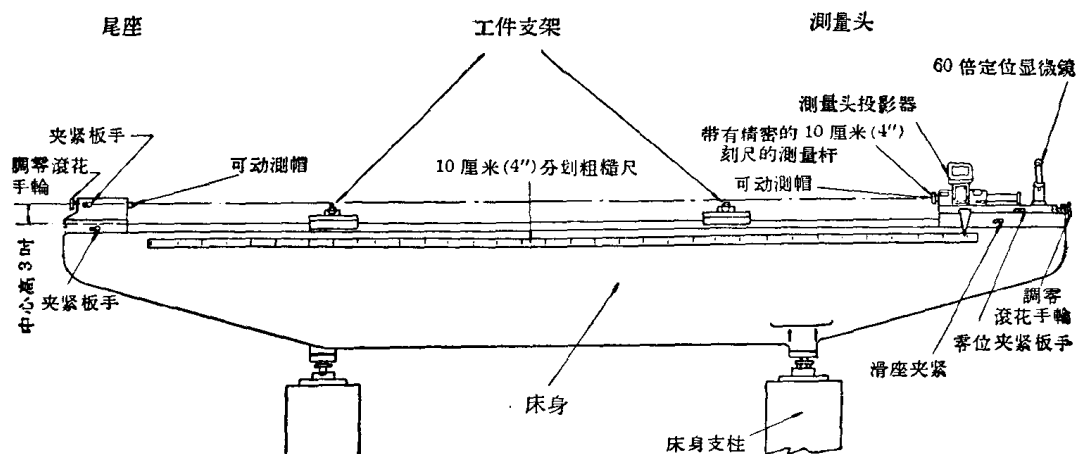


图4 长度可测到 80 吋和 120 吋 (3 米)的“A”型测长机

持量規的一對中間支架。測量時量規是固定在測量頭和尾座的接觸面之間的。

測量頭上裝有顯微鏡，以使其準確地定位於主標尺的任一 4 吋分度上(主標尺裝在床身內)。測量頭上還裝有一測量杆，測量杆可以在低摩擦軸承內沿着機器的測量軸水平移動。測量杆的縱向行程為 4 吋(100 毫米)，根據使用“A”或“B”型測量頭，測量杆相對於測量頭的位置可以分別直接讀數到 0.00005 吋或 0.0001 吋。

在測量量規的長度時，首先把測量頭和尾座放在零位。為此，利用測量頭上的顯微鏡把床身上的固定測量頭準確地定位在主標尺的零線上。然後，移動尾座，使兩接觸面重合，把量杆的讀數調到零讀數。這時即可在這零位置牢固地夾緊尾座，而測量頭隨即沿床身移動，使它對准主標尺上某一特殊的線，使這長度恰好小於所測量的量規長度。

在這個位置夾緊測量頭，把它的測量杆移向右方；就在此位置放上量規並且把測量杆向量規移動，使量規固定在兩接觸面之間。記下測量杆的位置，把這讀數加上表示尾座和測量頭之間距離的主標尺長度，就得到所要測量的量規的長度。

主 標 尺

主標尺有“H”形截面，由低碳鋼製成，製造時低碳鋼經過徹底的退火和穩定。主標尺裝置在機器床身中的保護溝槽內。這是一根 80 吋(2 米)的長尺，兩個滾子支承在它的埃里點上。由於較長，另一把 120 吋(三米)的尺是支承在兩對平衡滾子上，而它的左端也與較短的一把尺一樣，受彈簧壓力而固定在床身上的一个不动支座內，如图 5 所示。

主標尺分度線的間隔為 4 吋。分度線是刻在經

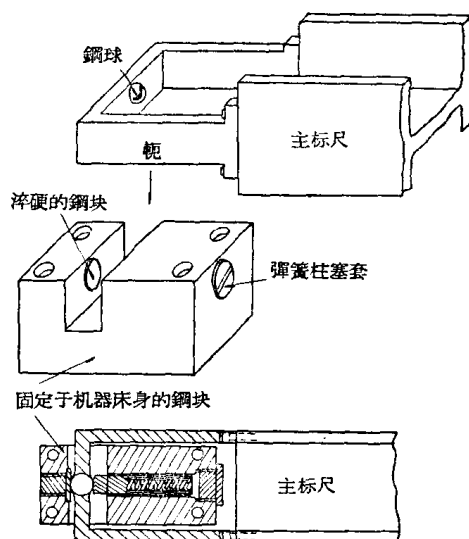


图5 主标尺支座

高度拋光和淬硬的鋼塊上的，鋼塊穩固地固定在尺體內并裝置得使分度線在尺體的中和面上。每一塊鋼塊都有一片薄玻璃蓋片蓋住它的拋光面，以防止分度線受脏或侵蝕。

利用測量頭上的顯微鏡，通過光學加工過的圓形光窗可以看到分度線，光窗稍微傾斜裝在旋轉架上，如图 6 所示。這些旋轉光窗可以被制作者用來作非常靈敏的調節，對於零分度線而言使每一條分度線的象定位在它的真實位置上。換言之，它們起着一個改正裝置的作用，可以補償刻制主標尺時的任何誤差。光窗利用一些標準長度杆來定位，這些標準長度杆是由國家物理實驗室校正到最高精度的。這樣來定位光窗，那麼主標尺的實際精度就只受到標準長度杆的已知精度和進行調節時(包括一切必需的有關機器和標準量規溫度條件的注意[見附錄])的小心程度所限制。