

万能显微镜工作法

徐孝恩 编著



机械工业出版社

本书比较具体地总结了万能显微镜的使用经验。对仪器的使用方法和、工件的测量方法、测值的处理和测量误差、仪器的保养和维修等方面作了详细的介绍。这次修订版对仪器使用前的准备作了更详尽的介绍。书末附有万能显微镜及其附件的技术数据，可供查用。

本书可供计量检验人员阅读。

万能显微镜工作法

徐孝恩 编著

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印张 $10^{1/4}$ ·字数227千字

1964年12月北京（中工）第一版

1973年6月北京新一版

1981年11月北京第二版·1986年2月北京第四次印刷

印数37,611—39,710·定价2.15元

科技新书目：113-100

统一书号：15033·3654

目 次

第一章 仪器的概括说明	1
1. 19j型和蔡司(j) UMM200型万能显微镜	3
2. 奥普东 UMM200型、300型万能显微镜	10
3. 莱茨、斯屈拉司姆大型万能显微镜	14
4. 西浦 MU-214 B型和西浦、屈利奥普蒂克三坐标万能 测量显微镜	17
5. 三井精机MLD-1000万能显微镜	20
6. 19jA和J×10型万能显微镜	24
第二章 仪器使用的技术准备及提高测量精度的措施	27
1. 仪器使用的温度要求	27
2. 测量前的准备和应注意的问题	34
3. 立柱、纵横导板不垂直度和导板移动不直度对测量的 影响及其修正	38
4. 调焦原则	45
5. 测量中的阿贝原则	48
6. 仪器照明光源的特点及被测零件形状和光圈的关系	51
7. 测量时的压线与对线	65
第三章 万能显微镜各主要附件的使用方法	68
1. 测量刀和其所属附件的使用	68
2. 特殊目镜头的使用	82
3. 光学灵敏杠杆和Z轴测量设备的使用方法、用途	92
4. 光截镜管的原理和应用方法	98
5. 象点比较附件的原理和调整方法	101
6. 光学分度头的使用	108
7. 光学分度台的使用	113

8. 光学分度头和光学分度台的精度检验	114
9. 其他基本附件的使用	122
第四章 工件的测量方法	131
1. 典型零件尺寸、形状和位置的测量	131
2. 螺纹和螺纹刀具的测量	155
3. 一般切削工具在万能显微镜上的测量	207
4. 齿轮滚刀和蜗轮滚刀在显微镜上的测量	212
5. 在万能显微镜上对齿轮渐开线的测量	236
6. 带前角的各种型铣刀的测量方法	244
第五章 测值的处理和测量误差	246
1. 粗大误差	247
2. 系统误差	247
3. 偶然误差	249
4. 量值处理中的算术平均值原理	252
5. 表征测量准确度的中误差(均方误差)计算方法	253
6. 误差理论中 t 分布的应用	257
7. 测量时粗大误差的剔除方法与测值处理实例	260
8. 组合测量精度的计算	265
9. 数据记录, 有效数字及数据处理	266
10. 测量中的平差问题	270
第六章 仪器的维护和保养	271
1. 仪器的开箱与安装	271
2. 电路联接	277
3. 安装后的检查与缺点的消除和保养方法	278
4. 万能显微镜的负荷	290
5. 镜头的保护	294
附录一 万能显微镜及其附件的技术数据	298
1. 19j、蔡司(j) UMM200型及 YHM-21型等万能显微镜	298
2. 奥普东万能显微镜技术数据	306

IV

3. 新型的带有数学模拟系统奥普东UMM200 型万能显微镜	308
4. 莱茨万能显微镜	309
5. 西浦 MU-214 B 万能显微镜技术数据	310
6. 西浦屈利奥普蒂克三座标万能显微镜	314
7. 三井精机MLD-1000 型万能测量显微镜技术数据	315
附录二 测值处理中常用公式和常数	318
附录三 $\Phi(z)$ 数值与 z 值对照表	323

第一章 仪器的概括说明

在机器制造和仪器仪表制造工业中，为了保证产品零件的互换和提高零件使用性能及寿命，除了采用合理的设计和工艺方式，以及科学地选用材质外，其中相当重要的一环就是要严格地控制所制零件的几何尺寸和形状位置，必须在图纸所规定的各项公差之内。因此，要求对大量不同形状的零

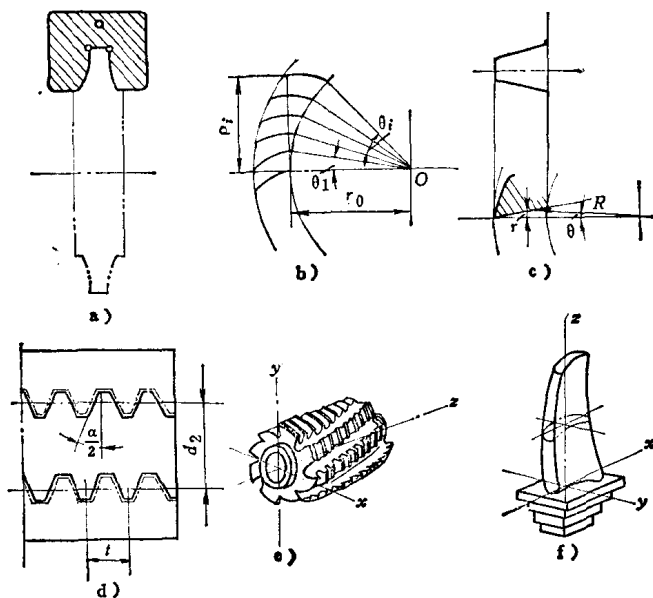


图1-1 各种测量零件举例

- a) 成形样板 b) 轮廓曲线 c) 切削工具 d) 螺纹三要素
 a 、 t 、 d_2 e) 辗切工具 f) 截面形状

件、刀具和样板，诸如图 1-1 所示进行几何量的精密测试工作。

从图中可以看出，要满足这些零件几何参数的测量，所用仪器要求能实现图 1-2 所示几种坐标系的机能，则只有使用万能显微镜或坐标测量机。

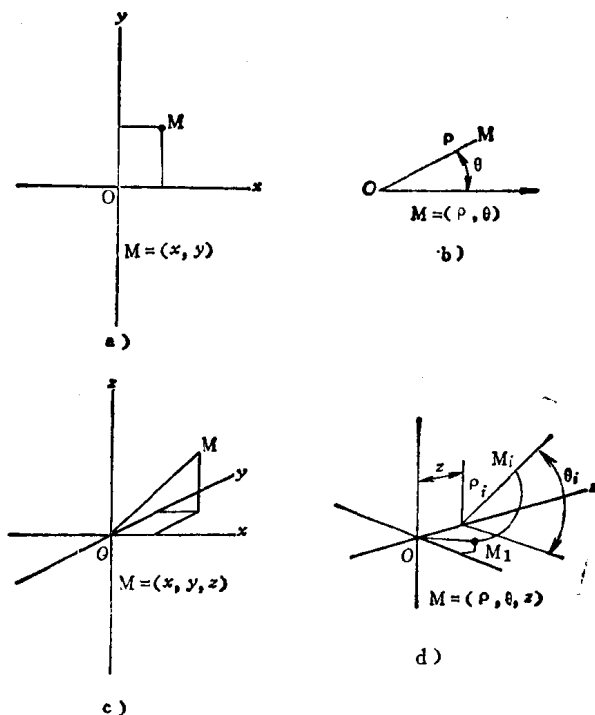


图1-2 各种测量坐标系

a) 平面直角坐标系 b) 极坐标系 c) 立体坐标系 d) 圆柱坐标系

万能显微镜是工厂计量室和实验室最常用的一种光学机械式或目前发展成光、机、电式的一种测量仪器。它之所以有万能之称，就是能利用仪器的各坐标系进行复杂零件的测

试工作。应用范围极为广泛。如果加上有经验的测试者对仪器各种附件进行灵活组合,就能更充分地发挥其测量作用。

目前,我国这种仪器类型很多,有国产的19j和它的改进型19jA等,也有从国外进口的蔡司(Zeiss)(j)UMM200型,苏联УИМ-21型,西德奥普东(OPTON)UMM200、300型等等。七十年代以来国内外又在现有的这些仪器上加以技术改造,把作为标准的毫米刻度尺,改用了光栅或其他增量编码尺,实现测量结果的数显和自动化,扩大了测量范围。但对精度来说,没有太大的变化。那是因为仪器要求满足多种座标系的测量,可动环节多,各座标轴方向,导轨的运动精度又彼此影响,与工件接触定位(包括光学影象对准定位)的高灵敏的万能触头和替代一般光学显微镜适应各种轮廓形状测量的光电显微镜缺乏满意的结构之故。

本文以目前工厂实验室最普遍使用的万能显微镜为例,结合共性问题,对该类仪器的精度、部件使用和测量方法,作比较有系统的叙述。

1. 19j型和蔡司(j)⊖UMM200型万能显微镜

19j型万能显微镜、蔡司(j)UMM200型万能显微镜与УИМ-21型、西德奥普东UMM200型、日本UMD-1000型(不考虑测长机部分)和我国改进型式的19jA、JX10在结构原理和操作方法上均属同一类型,只在个别部分略有差异。这类仪器在几何量测量中与一般单参数测量仪器比较,属于比较大型和复杂的光学仪器,可以作零件尺寸、形状、角度和相互位置等的测量。典型外形如图1-3所示。仪器的主要组成部分为纵横导板,它们都通过滚动轴承安装在仪器

⊖ 表示JENA蔡司厂。

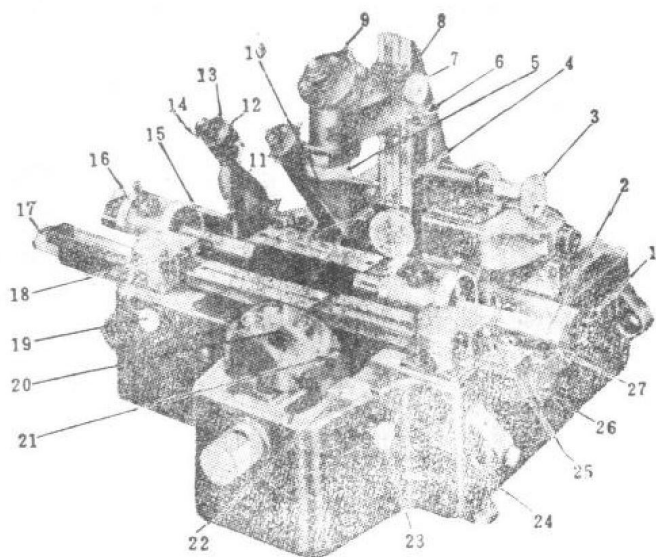


图1-3 仪器外形

- 1—基座 2—纵导板 3—中央显微镜左右倾侧调整手轮 4—测量平台安装准平面 5—焦距微调圈 6—中央显微镜支架 7—中央显微镜调焦移动手轮 8—中央显微镜支臂 9—目镜 10—物镜 11—螺旋读数显微镜锁紧螺钉 12—螺旋读数显微镜零位调整螺丝 13—螺旋读数显微镜 14—对线滚花轮 15—纵尺框 16—顶针座 17—纵导板微动螺丝 18、25—纵导板安全螺钉 19—纵导板定位手把 20—横导板 21—横导板安全螺钉 22—附件支承面 23—横导板定位手把 24—记录板定位销 26—限位螺钉 27—T形槽

的铸铁基座 1 上。纵导板 2 可在基座上作纵向移动，其移动范围为 200 毫米，按被测工件需要，对准测量的大概位置，然后可通过定位把手 19 加以固定。对于精密的微调，则可通过微动螺丝 17 来达到。在测量时，微动螺丝一般应当放置在可调整范围的中间位置，以保证足够的微动量。导板的上面有弧形导槽，用来安装顶针座 16。在两顶针座上可以放置直

径为 100 毫米、长度为 700 毫米的工件。如果被测工件的长度超过这个尺寸，或者没有顶针孔的杆形工件，可以把两顶针座除去，安装上 V 形支架，来满足测量上的要求。有时被测工件要求除了长度测量外，还要求绕轴线作某一转角，这时可以把右顶针座向右方移掉，装上专用的光学分度头来达到上述目的。在纵导板的中间，具有带 T 形槽的准平面 4，其上可以安装测量平台，用来测量样板之类的工件；亦可安装光学分度台及测量螺纹等用的测量刀等附件。导板的左方有一长方形框 15，是 200 毫米标准玻璃刻度尺之所在。其上有螺旋读数显微镜 13，作为测量时纵向读数之用。这纵向读数螺旋显微镜的机体是和基座 1 紧密结合。上面有螺旋读数显微镜的镜头，在镜头内有一块用滚花轮 14 来旋转的玻璃板，板上刻有螺距为 0.1 毫米高精度的阿基米德螺旋线。另一端有圆周刻度，将圆周分为 100 等分，分度值相当于 0.001 毫米。在镜头内的另一块玻璃上，刻有 0.1 毫米的 10 条刻线。这两块玻璃刻度板在目镜的同一成象面上如图 1-4 a。再结合从物镜上来的毫米刻线，这样就组成了一套完整的读数系统。测量时，纵导板的移动，使毫米刻度尺在螺旋读数显微镜的视野内相对移动，当在某一测量位置进行读数时，用手旋转滚花轮 14（图 1-3），使阿基米德螺旋双线和视野内毫米刻线相套，如图 1-4 b 所示。

该螺旋读数显微镜带有零位调整装置，也就是说当我们希望测量的第一个读数为整数时，只要把 0.001 毫米的分度值零位和标线重合，然后放松螺丝 12（图 1-3），旋转螺钉 11，使整个螺旋读数显微镜的头部，相对毫米刻线进行移动，使阿基米德螺旋双线和两端毫米刻度相符合。这时再把螺丝 12 紧固，就得到要求的整数读数了。这就是第一次整数调整的

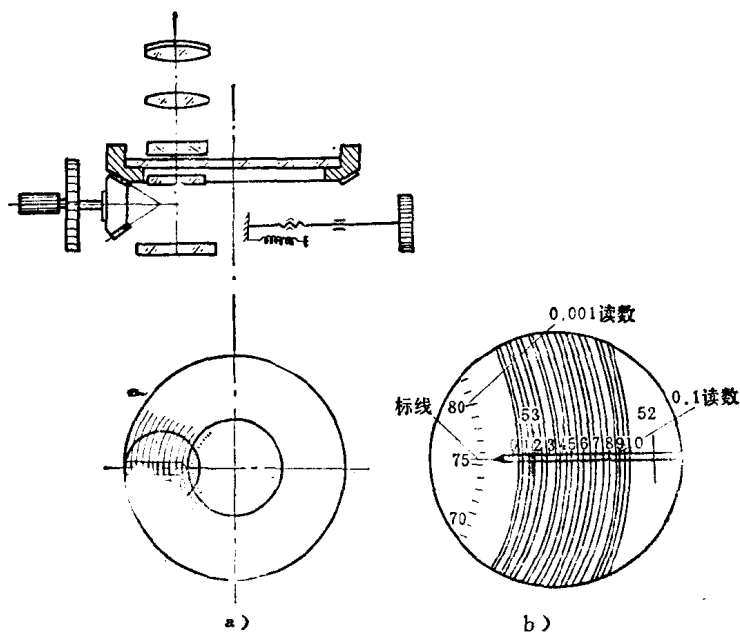


图1-4 螺旋读数显微镜

a) 螺旋显微镜结构 b) 读数分划系统

测量方法。对于技术熟练者来说，是不允许采用第一次整数调整的测量方法的。其原因是为了减少测量时的读数误差。大家知道，每一个人对某一仪器刻度尾数进行估计读数时，都有一定的主观误差，这种主观因素所造成的误差，一般多是常数，即不是偏高就是偏低。如果我们用两次测量来决定一个工件的尺寸时，首先是以仪器的机构来控制整数，其次是以主观估计来决定读数的尾数，这就势必造成一个读数误差。假如测量时，第一次的读数也是按照一般正规估计读数，如前所述，一般估计读数所引起的误差多系常差的原因，使两次读数中所引起的这项误差在处理时互相抵消，而提高了测量的精度。所以在精密的光学仪器上进行测量时，不

能为了贪图一些微小的方便而损失了宝贵的测量精度。反过来说，如果有些操作者在必要时须要调整零位，则必须严格遵守前述的操作步骤，也就是说只有在放松螺丝12（图1-3）之后，才允许旋转螺钉11，否则就可能由于内部推力弹簧的过分压缩，在放松螺丝12时，给镜头带来突然的撞击，而引起镜头内玻璃刻线板相互位置的破坏。

横导板20（图1-3）在基座1上，可以作100毫米的移动。其移动方向与纵导板垂直，横导板上连有中央显微镜支架6，用来安装中央测量显微镜支臂8。中央显微镜的目镜9和物镜10，都可以按照测量的需要进行更换。一般测量时，多用带米字线的目镜头，它的作用是测角和对线。其他还有螺纹目镜、圆弧目镜、双象目镜等，可以根据工作需要不同而分别选用。在安装时，可通过螺丝1（图1-5）的放松，用右手把弹簧支杆2往上拉，然后把目镜头取下，装上另一个目镜头。但必须注意安装基准问题，因为有时会出现这样情况：在使用米字线目镜头时，安装基准和米字线在“0”度时的十字基准刻线与纵横导板移动线彼此平行，但当换上另一个目镜头时，发现视野内对准“0”度的十字基准刻线不与导板移动线彼此平行。这显然对该目镜的位置要进行调整。这时操作者应仔细认真，采取适当的调整方法。以螺丝3作为调整的对象（图1-5），虽然能达到调整的目的，但是这样却为了满足一个目

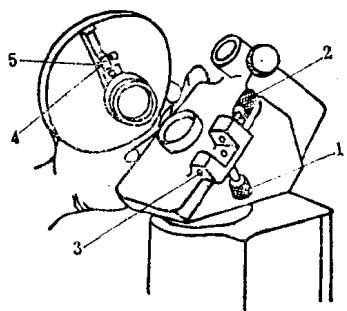


图1-5 目镜头安装

- 1—紧固螺丝 2—弹簧支杆
- 3—调整螺丝 4—夹紧螺丝
- 5—目镜头定位螺丝

镜头安装基准的吻合，而破坏了其他目镜头的安装基准，使以后每换一次目镜头，都要调整一次基准。

目镜头安装基准的正确调整法如下：

在更换目镜头后，发现视野内的纵横“0”位基准刻线不与导板运动方向重合时，首先把目镜头定位螺丝5的夹紧螺丝4放松（图1-5），再用细的针状扳手来调整螺丝5，使视野内的基线和导板移动方向重合。用这方法来改变所调整目镜头的安装位置，就不会改变其目镜头安装时的基准，因此当安装上其他目镜头使用时，无须再进行调整。

安装各种目镜头时，必须注意物镜的放大倍数，因为在目镜头的玻璃板上，所画标准轮廓的大小和物镜倍数相对应。如果所用物镜的倍数不能同标准轮廓所规定的相适应，就可能造成测量上的错误。显微镜附带的四个物镜，放大倍数分别为 $1\times$ 、 $1.5\times$ 、 $3\times$ 和 $5\times$ ，其中 $3\times$ 是标准物镜。目镜头内的许多标准刻线和轮廓的放大率都以它为根据。物镜在安装和更换时，须特别小心，安装方法如图1-6所示，以右手各

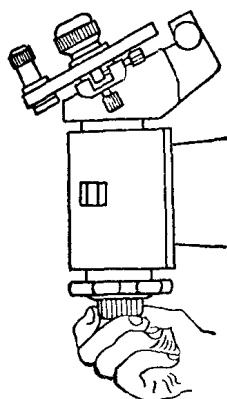


图1-6 物镜安装

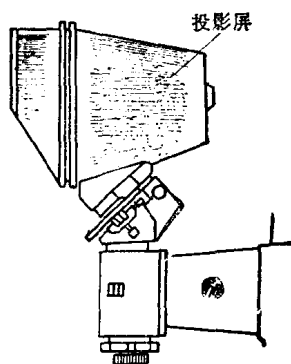


图1-7 投影屏

指抓住物镜的滚花部分，用掌心保护镜头，防止下落。更换时，则以左手掌心放置目镜之下，用右手手指旋物镜滚花部分，这样安装可以避免镜头因不小心而滑落和使光学玻璃蒙上油垢。

为了检验螺旋形的工件并在螺旋线的法向对象起见，中央显微镜支柱可以作 $\pm 12^\circ$ （有些仪器 $\pm 15^\circ$ ）的摆动。横导板的其他部分都和纵导板类似，但纵横螺旋读数显微镜的读数方向刚刚相反，一个按顺时针方向增大，另一个按顺时针方向减小。所以当我们使用纵横螺旋读数显微镜同时进行测量时，在0.001毫米刻度的读数方向上就很可能互相混淆。当我们进行数字繁多的测量时，更应注意，以免因误读测值而需进行重复测量。

中央显微镜的照明光源是6 V / 30 W的小灯泡。在进行投影测量时，并不使用绿色滤光器，而以白光自下向上照射，使被测工件在投影屏内成象，投影屏则安装在接目镜的位置（图1-7）上。

测量圆形工件时，焦距的精密调整，可以用焦距规来进行。必须指出，焦距规只能作调整焦距之用，不能用作其他工作。因为焦距规在半圆缺口上的刀刃长度很短，有人用它来察看顶针轴线和导板移动方向的密合程度，这样往往把这刃口来回在视野内相对米字线移动，以求得顶针轴线和米字横刻线之密合来调整顶针轴线和导板移动方向的密合性。其实这样来回移动，只能观察导板移动方向和米字线的密合性，而和顶针轴线与导板移动方向的密合性无关。要使顶针轴线和导板移动方向密合，一般都用校正棒，或高精度的心杆来进行调整（如对大型工具显微镜）。但对万能显微镜来说，因为顶针安装导轨已被仪器纵导板所控制，无需考虑这一问题。

2. 奥普东 UMM200 型、300 型万能显微镜

这种仪器是在原蔡司 UMM 结构原理的基础上新型设计的一种万能显微镜，其外形如图 1-8 所示。

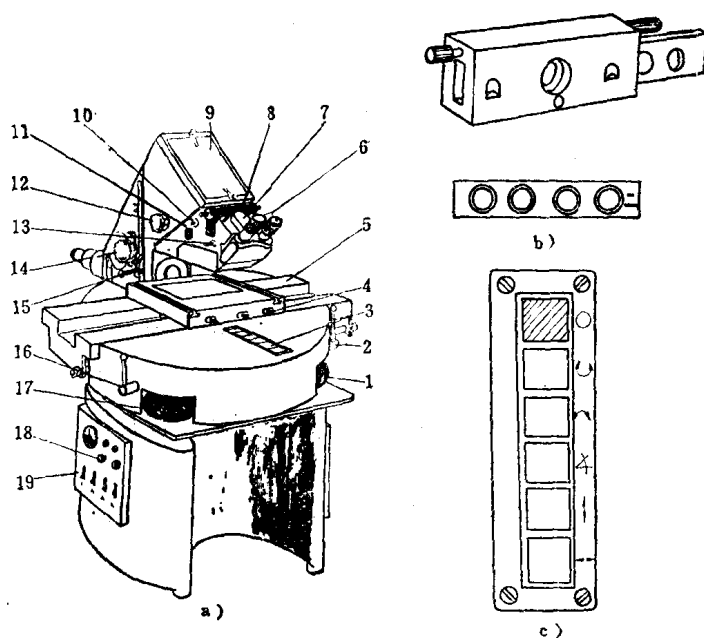


图1-8 奥普东万能显微镜

a) 外形 b) 8' 可换插框和标准轮廓插板 c) 仪器操作琴键开关

- 1—横向导板锁紧及微调手轮 2—横向导板锁紧把 3—琴键开关
4—玻璃工作台 5—纵导板 6—双目体视目镜 7—米字线旋转
度盘照明灯外罩 8—分划板插框(见 b 图) 9—投影屏 10—双
象拉杆 11—投影光线补偿插件和投影轮廓板插件 12—中央显
微镜上下旋钮 13—投影拉杆 14—中央显微镜立柱倾斜钮 15—
光圈调整手把 16—纵导板锁紧把 17—纵导板微调手轮 18—配
电箱面板照明亮度调节电位器 19—开关

仪器观察头采用双目式体视目镜筒，所有的测定读数均可在同一视场内按需要分别显示读出。也就是操作仪器台面上6个琴键开关，可以分别读出回转工作台、光学分度头、中央显微镜立柱倾斜角、米字线测角数值、纵横标准玻璃尺200（300）和100毫米的各项测量读数。所以光路的设计比一般万能显微镜复杂，其具体布局如图1-9所示。

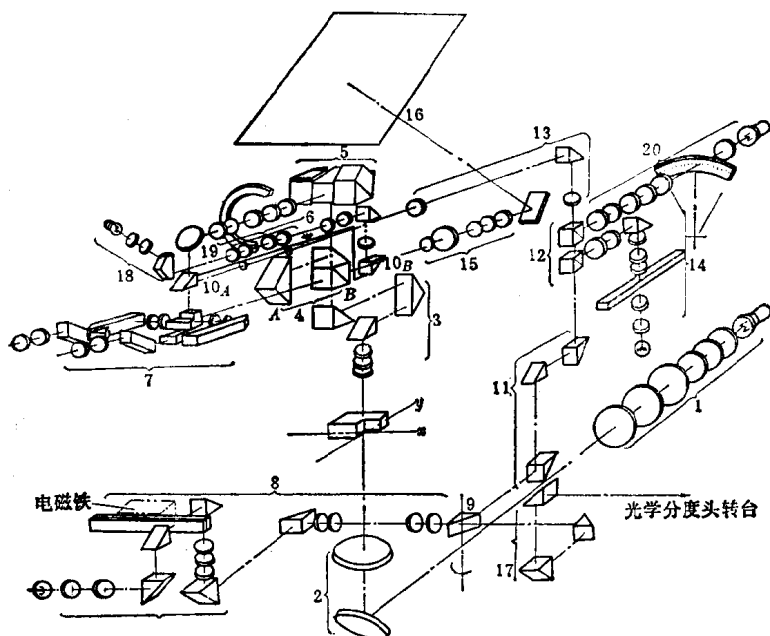


图1-9 仪器光路示意图

- 1—主照明系统 2—转向镜和准直透镜组 3—物镜系统 4—棱镜组
 5—分光棱镜组 6—米字分划板 7—双目体视目镜系统 8—纵向标尺照明成象系统 9、10—摆动棱镜 11、12、13—棱镜组（包含棱镜）
 14—横向标尺照明成象系统 15—投影物镜系统 16—投影屏 17—棱镜组 18—分划板刻度照明系统 19—聚光镜和分划板成象物镜组 20—中央显微镜摆动指示度盘和照明系统

仪器光路系统的主要组成部分是：主照明系统 1 在横导板托架的后部和下部包含有光源、聚光透镜和光圈，可调光圈的直径大小可从托架右下侧读取。光束经 90° 转向镜和准直透镜组 2 形成远心光束，垂直向上照明被测物体并通过物镜系统 3。成象光束可以由二种方式提供测量者观察：把可移动棱镜组通过拉杆 13 (图1-8) 往左推，使棱镜组 4 移开光路，光线直接由物镜系统最后一个 90° 转向棱镜，往上直接射入分光棱镜组 5。在一般成象观察时，棱镜组 5 的拉杆 10 (图1-8) 放在中间位置，光线通过 5 的中间转象棱镜，投射到米字分划板 6 上。米字分划板和 360° 的圆周读数均安装在插框 8 (图1-8) 中，它可以根据测量需要 (如要求不同的螺纹轮廓可更换另一插框)，在侧面长孔中插入选定的标准轮廓板 (图1-8 b)。标准轮廓或米字线和投射在该面上的轮廓，通过转向反射镜进入双目体视目镜系统 7 进行测量。

上述这一光路在电源供给正常情况下，只要按下标有“○”记号的琴键开关 (见图1-8 c) 即可顺利进行。

在投影测量时把拉杆 13 (图1-8) 往右拉，使棱镜组 4 进入光路。这时成象光束通过物镜 3、棱镜组 4，进入投影物镜 15 转向投影屏 16，进行投影测量。

测量时，通常把测量物象和分划板米字线对准后，根据不同要求选定读数系统。在利用米字线进行角度读数时，按下标有“∩”标记的琴键开关，在电磁铁的作用下使棱镜组 10 进入光路。分划板度盘由照明系统 18 照明，使度盘影象通过物镜组 19 转向 10₂，进入双目体视目镜 7 进行读数。如要读取纵向位置，按下标有“↔”标记的琴键开关这时由于电磁铁机构的作用，使两转向棱镜 10₁、10₂ 转入光路。纵标尺通过照明光源和标尺物镜及远成象透镜组，到可作 90° 偏转