

第23章 机床光学装置的修理和调整

胡惠普

第1节 概述

近代科学技术的发展,对机械加工机床提出了更高的要求。光学装置在机床上的应用,就是为满足这种要求而发展起来的。近年来,我国机床制造工业采用光学装置已日渐增多,其主要种类列于表23-1-1。

机床上的光学装置能将远距离或近距离的物体以明晰可辨的影像呈现在人们的眼前,使人们对物体的形状、位置进行准确的测量和比较,对保证机械加工的精度起着重要作用,并改善加工和检验工作效率。但光学装置容易受气候和环境的影响,出现污染生霉。因此,操作者和机修人员需要掌握一些光学知识,了解光学装置的作用原理,才能做到使用好,维修好,并在出现故障或失调时及时加以

表23-1-1 光学装置在机床上的应用

序号	机床和装置的名称	光学装置的作用	结构概要
1	T463 光学坐标镗床	用于机床坐标定位读数	目视式,与机床结为一体
2	T4163B 光学坐标镗床	用于机床坐标定位读数	投影式,与机床结为一体
3	M9015 光学曲线磨床	是将工件放大投影,在直观下,磨削加工或尺寸比较测量	装置与机床结为一体
4	M9017 光学曲线磨床	是将工件放大投影,在直观下,磨削加工或尺寸比较测量	装置与机床结为一体
5	光学分度台	用于机床对工件水平面角度精密加工或测量	目视或投影式,装置与分度台结为一体
6	光学分度头	用于机床对轴类零件精密角度加工	目视或投影式,装置与分度头结为一体
7	对刀显微镜	用于车床刀具安装	显微镜式,装置独立使用直接放在工件上或两顶针间
8	对中心显微镜	用于铣床或立式镗床的主轴上,以定工件位置	装置独立,使用时联接在主轴上
9	机床投影器	用于车床或外圆磨床,对工件外形轮廓加工	能安装于机床专用架上,作投影加工
10	HYQ025A 光学读数头	用于各类机床各向坐标的定位读数	投影式,读数形式因方位不同,分多种型号
11	HYQ03 平直仪	用于机床导轨直线性检验或大型机械安装检验	望远镜式,亦称自准平行光管,附有平面反射镜及五角棱镜等

调整和修复。

(一) 光学基本知识

1. 光的性质

光是一种电磁波，它与无线电波一样，向四面八方传播。但光的波长，比无线电波短，在人眼感觉范围内，光的波长只有 $0.4 \sim 0.8 \mu\text{m}$ ，能透射均匀的介质。在同一均匀介质中，光是沿着直线传播的。当遇到小孔或狭缝挡板时，光又以波动形式，产生一种绕射（衍射）现象，这时光不再是按直线传播了。光线绕射（衍射）现象，是光波本质所决定，当光束通过一极小的孔时，在屏上看到的不是一个孔的像，而是中间呈一亮点，边缘还有不太亮的环，这就是光的波动性质引起的衍射现象，一般称为衍射图。

光除了能发出热能外，还可以转变为化学能、电能等等。光照射物体后，受到物体的反射和吸收，反射光被人眼接收后，人们才能见到物体。没有光，则人们无法看到任何物体。

2. 光源

能自身发光的物体，称为光源。光源有两种：即天然光源和人造光源。天然光源如：太阳、星体等。人造光源又分为：热光源和冷光源。热光源是在炽热的状态下发光，有大显热能。冷光源是在低压电下，以电子激发管内的气体或物质而发光，或者是以某种辐射线，激发萤光物质而发光，这种光源，热量小。目前常见的光源有：

- 1) 热光源——电灯（钨丝灯）、碳精弧光灯、高压水银灯、氙灯；
- 2) 冷光源——日光灯、氖灯、钠光灯。

3. 光线及光束

(1) 光线 光线是几何光学中研究光的传播规律提出来的一个抽象名词。认为截面几乎等于零的光流轴线，即称为光线；

(2) 光束 从一个光源向四面八方发射出无数光线，在一定面积内把光线约束在一起，便称为光束。光束分为下列几种：

- 1) 会聚光束 光束中各条光线向中心会聚；
- 2) 发散光束 光束中各条光线离中心向外放射；
- 3) 平行光束 光束中各条光线彼此平行。平行光束可以认为是在无限远处发出的光源。

4. 光的传播定律

光的传播定律共分四条：

- 1) 光的直线传播定律。
- 2) 光束各部独立传播定律。
- 3) 光反射定律。
- 4) 光折射定律。

第一和第二两条定律，在生活实践中，已被人们所感觉和证明了，故这里无须再作讨论。关于第三和第四定律，由于与光学装置联系比较密切，因此，除了在内容作必要介绍外，并对有关现象与应用，也作适当的介绍。

(1) 反射定律

1) 入射角与反射角相等。在图 23-1-1 中， $\angle \alpha$ 为入射角， $\angle \alpha'$ 为反射角，垂直于反射面的线，称为法线 N 。

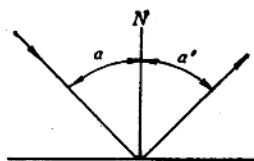


图 23-1-1 光的反射

2) 入射线、法线、反射线，三者都在一平面内。

光线照射至任何物体，都产生反射与吸收，反射角的大小和方向，总是沿这一定律进行的。反射光的强弱，与物体表面性质、形状及颜色有关，例如镀铝的表面，反射率能达到 86%，白纸反射率达到 75%，黑色丝绒反射率只有 0.5%。物体表面光滑与粗糙，对反射光差别也很大，图 23-1-2 表示平行光束对两种表面反射情况。在左面被平面镜反射时，光束仍是平行的；在右面被毛糙的纸张反射时，光束则变为乱反射，光学上称这种乱反射为漫反射。这种杂乱无规则的漫射光，在光学装置中，是一种有害的光线，影响成像清晰与黑白衬度。为了消除漫射光，在光学系统中，常加装一些光阑，或在内壁涂上黑色无光漆，或将管状零件内壁，有意加工成齿纹，并进行染黑处理（图 23-1-3）。总之，这些措施，都是为了将漫射光线加以遮拦、吸收或反射至别处，以达到改善像质衬度的目的。

光的反射，在光学系统中，多数用于改变光线的方向，及用于改变成像上下左右的位置。例如一个物镜，它成的像是颠倒的，经过一定的镜面反

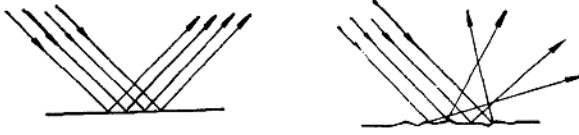


图23-1-2 平面镜与纸的反射

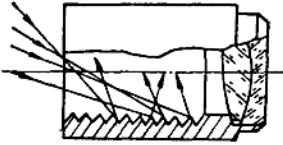


图23-1-3 零件上减少漫射光的方法

射，便可以转变为正像。反射镜还有另一种用途，当入射角为一定时，如反射镜转动 β 角，则反射角将偏转 2β 角（图 23-1-4），这种倍角变化关系，在一些光学仪器中得到应用，如航海用的六分仪，计量工作用的光学计等。

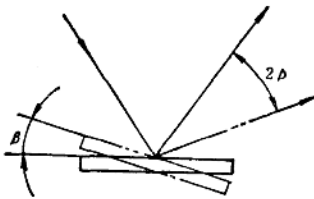


图23-1-4 平面镜角度变化关系

(2) 折射定律

1) 入射角和折射角的正弦之比为一常数。

2) 入射线、法线、折射线，三者都在一平面内。

两种密度不同的均匀介质，当光线从一介质射向另一介质时，它的入射方向在分界面处发生了变化，这种变化即称为折射（图 23-1-5）。设 α_1 为入射角， α_2 为折射角， n_1 、 n_2 分别代表两介质的折射率。则折射定律可以由下式表示：

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

在研究各种介质的折射率中，人们把空气作为第一种介质，并把它的折射率定为 1。这样光线从空气进入某一介质时，入射角与折射角的正弦之比便定为该介质的折射率了。折射率是一个常数，它不管入射角大小都是不变的，如水的折射率为 $n = 1.33$ ，常用的光学玻璃折射率为 $n = 1.4 \sim$

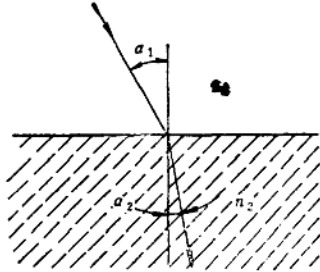


图23-1-5 光的折射

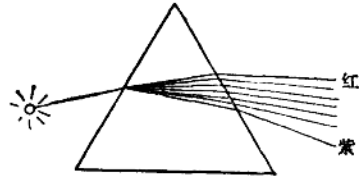


图23-1-6 太阳光被三棱镜折射时把光分成各种颜色

1.8。

光在介质中折射，因波长不同，它的折射率也不同，光波越短折射角则越小。太阳光是包含多种波长的光源，如通过三棱镜折射，能分出从红到紫各种颜色的光，一定的波长，代表一定的颜色（图 23-1-6）。例如钠光灯发出黄色光，它的波长是 $\lambda = 0.589\mu\text{m}$ ，人们称这种一定波长的颜色光为单色光。由于光波长与折射率有关，故在光学上采用钠光作为测定折射率用的光源， n_D 一即表示用这种光源时的折射率符号。此外，把蓝色光折射率 n_F ，和红色光折射率 n_C ，两者相减 ($n_F - n_C$)，称为中部色散。光学玻璃被分成许多品种类别，主要是依据各种折射率与中部色散的差别而制定的。选择不同的光学玻璃，以纠正球差、色差及其它有关像差，乃是光学设计工作者的任务。

5. 全反射

设有两种均匀介质以平面相隔，如折射率大的介质内有一光源，向各方射出许多光线，其中一部分光线透过分界面射向折射率小的介质，但光线到达一定角度时，光线被折射成与分界面平行，这一角度 α_0 称为临界角。如入射角继续增大（图 23-1-7），则光线被分界面全部反射回来，这个现象在光学上称作全反射。临界角与介质的折射率有关，折射率越大，则临界角越小。例如，一般棱镜玻璃

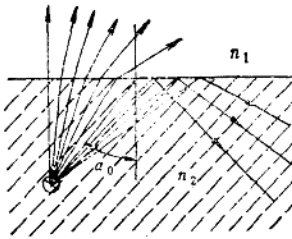


图23-1-7 光的全反射

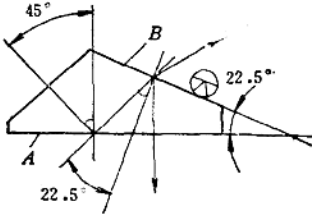


图23-1-8 临界角在棱镜中的应用

折射率 $n_D = 1.5 \sim 1.6$ ，它的临界角是 $42^\circ \sim 37^\circ$ (图 23-1-8)；一个半五角棱镜，玻璃折射率 $n_D = 1.516$ ，它的临界角是 41.5° 。当光线以 45° 角射向 A 面，由于这角度大于它的临界角，故在玻璃内部产生全反射。当光线被反射至 B 面时，它对 B 面的入射角为 22.5° ，这个角度因小于临界角，光线要透过 B 面折向空气，故必须在这个面上镀有反射膜层（如镀银），这样棱镜才能使用。但也有些棱镜，光的入射角并不小于临界角，仍镀有反射膜层，这是由于这个光学装置密封困难，容易污秽，有镀层后，才能防止污染，但单镀银层，则质软容易氧化，故常再镀铜覆盖，并喷上黑色无光漆作为保护。

6. 增透膜

光线射向玻璃，大部分透过表面，但仍有一小

部分被反射出来，这种反射损失，通常为入射光的 5% 左右，如经过玻璃表面越多，则损失的光越多。为了减少这种损失，在光学工业中，是在玻璃表面上，镀上一种膜层——增透膜，使光损失能减少到 2% 以下。光通过膜层所以能减少反射，主要是利用光波干涉原理。图 23-1-9 表示光从空气 (n_1) 通过增透膜 (n_2) 射向玻璃 (n_3) 时，光线 1 在膜内被玻璃面反射，当这反射光与入射光 2 相遇时，如两者的光程差为 $1/2$ 波长，则由于光波干涉，反射光完全被抵消，入射光则得到加强。要达到这种理想的要求，增透膜的折射率必须是 $n_2 = \sqrt{n_3}$ ，膜层厚度 $d = \frac{1}{4} \lambda \times \frac{1}{n_2}$ 。但适用的增透膜材料不多，原因是要求膜的化学稳定高，光吸收性小，抗摩擦和牢固性强，故工业中是采用氟化镁等几种材料。玻璃镀膜后，由于光波干涉，出现深紫红色。普通光源因含有多种波长，膜的折射率也不是最佳值，故实际上仍有部分光被反射出来。虽然如此，但对一个复杂的光学系统来说，镀增透膜却是不可缺少的措施。

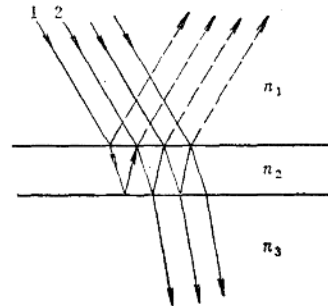


图23-1-9 光的透射

表 23-1-2 列出各种折射率玻璃镀膜前后的比较数据。

表23-1-2 各种折射率玻璃镀膜前后的比较

反射系数 折射率	表面处理 镀膜前	镀单层膜		镀双层膜
		氟化镁 $n = 1.38 \sim 1.4$	二氧化硅 $n = 1.45$	二氧化硅 二氧化钛 $n = 2.20$
≤ 1.52	< 4.25	> 1.65	> 3.0	在可见光范围内的反射系数 是 $1.0 \sim 1.8$
1.52~1.55	4.25~4.65	1.65	3.0~2.7	
1.55~1.60	4.65~5.30	1.50	2.7~2.4	
1.60~1.65	5.30~6.00	1.20	2.3~2.0	
1.65~1.7	6.00~6.70	1.00	1.8~1.5	
> 1.7	> 6.7	0.8	1.4~1.1	

(二) 常用的光学术语

1) 光轴——透镜两球面的球心连线，或一系统中各透镜组的中心连线。

2) 焦点——平行于光轴的光线，在透镜后相交之焦点。焦点分前焦点和后焦点，透镜两侧球面半径不同，其前后焦点离球面顶点的距离亦不同。

3) 焦距——焦点至透镜或透镜组的主点之距离。焦距亦分前焦距和后焦距，两者数值相等，但符号相反。所谓主点，是指平行光线通过透镜后折向一个焦点，如把折向焦点的光线延长，使它与平行光线相交，并在交点处作垂线于光轴，则与光轴相交之点即称为主点。

4) 焦深——指成像面在轴向的一定范围内，成像仍基本清晰。这个范围（或距离）即称为焦深。

5) 截距——透镜或透镜组的最后球面顶点至焦点的距离。

6) 光阑——是一种孔形遮光件，如光阑处在光组中决定通光大小的位置，即称为有效光阑（孔径光阑），如处在成像面位置，即称为视场光阑。光阑孔大小可以调节的，称为可变光阑。

7) 光瞳——孔径光阑被光组前面部分所成的像，称为入射光瞳；被后面部分所成的像，称为出射光瞳。若光组前面或后面部分不存在时，则光阑本身即为入射或出射光瞳。

8) 视场——通过光组所能观察到物体的部分，称为物方视场；在像面所能观察到物体的范围，称为像方视场。

9) 视差——指分划板刻线面与像平面不重合的程度，不重合程度越大，引起观测误差也大。

10) 放大率——物与像大小之比，称线放大率。人眼对物夹角与对像夹角大小之比，称角放大率。光学系统不同，它的放大率表示方式亦不同：

$$\text{望远镜系统放大率} = \frac{\text{入射瞳直径 } \phi}{\text{出射瞳直径 } \phi}$$

$$= \frac{\text{物镜焦距}}{\text{目镜焦距}}$$

$$\text{显微镜系统放大率} = \frac{\text{光学筒长}}{\text{物镜焦距}}$$

$$\times \frac{\text{明视距离 } \ominus = 250}{\text{目镜焦距}}$$

11) 鉴别率——即分辨本领，是衡量一个光组

质量优劣的标志。如人眼的鉴别率（能力）平均为 $1'$ ，即两个很靠近的小黑点，至人眼所夹的角若小于 $1'$ 时，两个黑点便很难分开。望远镜的鉴别率也用角值表示。至于照相或投影物镜，是以能分辨“鉴别率板”的那一组或光栅每毫米多少条线纹，作为该系统的鉴别率。

12) 像差——是各种像差的总称。由于各种原因，光学设计不可能把各种像差全部消除，一般是根据实际需要，有侧重地予以减少。在修理中，如安装不善，也会出现各种像差。

各种像差及其产生原因见表 23-1-3。

表 23-1-3 各种像差及其产生原因

像差名称	现象	出现像差的可能原因
色差	成像边缘出现异常颜色	装配错误、玻璃材料不对
球差	成像不清晰。鉴别率低	装配错误、透镜间隙不对
彗差	成像不清晰。像一侧松散模糊	透镜不共轴，或倾斜
像散	成像不清晰。前后调焦，成像在纵横向有单独趋向于清晰的变化	光轴倾斜，或光学零件受压变形
畸变	成像中部与边缘的放大率不一致	如不是设计产生，则由加工装配差错引起
场曲	成像面不是一个平面，中心和边缘不能同时清晰	如不是设计产生，则由加工装配差错引起

但像差的产生，往往是多种原因的，如成像不清晰，是像差的综合反映，除球差、彗差、像散引起外，色差也有影响。又如光组的透镜间隙不适当，除引起球差外，对色差，畸变、场曲等都有影响。总之，要对不同的像差进行具体的检验分析，才能具体判别各种光组像差的产生原因。

(三) 光学图样上的常用代号与符号

为了认识光学图样，现将图纸上常用的代号与符号见表 23-1-4~表 23-1-6。

⊖ 明视距离是常数，光学筒长是物镜后焦点至目镜前焦点的距离。








表23-1-4 对光学玻璃材料要求的代号

对玻璃的要求		说 明	
要 求	举 例	类 别 与 级 别	含 义
Δn_D	2B	分三类(1、2、3)四级(A、B、C、D),	表示折射率允差的级别
$\Delta(n_P - n_C)$	3D	分三类(1、2、3)四级(A、B、C、D),	表示中部色散允差的级别
均匀性	4	分五类(1、2、3、4、5)	表示一批材料中,允许光通过此材料平板时所引起鉴别率下降的比值等级
双折射	2	分五类(1、2、3、4、5)	表示玻璃退火后残余应力引起的双折射的允差级别
光吸收	3	分五类(1、2、3、4、5)	表示光通过玻璃被吸收的允许级别
条 纹	1A	分二类(1、2) 三级(A、B、C)	表示玻璃内部介质不均匀的允许级别
气 泡	3C	分八类(0、1、2、3、4、5、6、7) 五级(A、B、C、D、E)	表示玻璃内部残留气泡数量及大小的允许级别

表23-1-5 对零件加工要求的代号

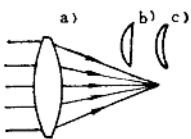
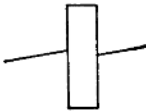

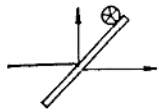
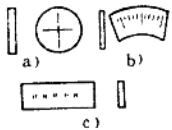
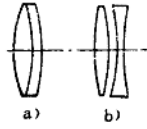
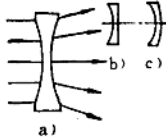
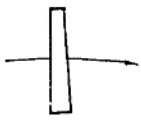
代 号	举 例	要 求 含 义
N	2	零件加工后,以样板检验 允许不超过的光圈数
ΔN	0.2	光圈局部误差(不规则) 允许的最大值(以光圈计)
C	0.02	磨边中心对光轴的允许偏 差
P	IV	P分七级(I~VII)表面 粗糙度(麻点、道子)的等 级
θ	3'	板形零件两平面所形成楔 角的允许角值
π	5'	此要求又称塔差或棱差, 指三个或多个工作面的棱 镜,各面无限延长时,棱与 棱或面的夹角允差
ΔR	B	加工用的样板等级分三级 (A、B、C)

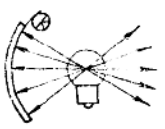

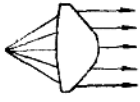
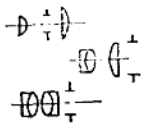
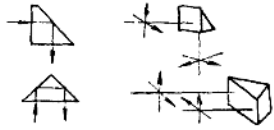
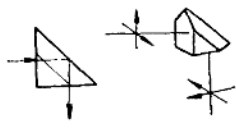
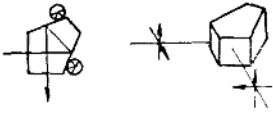
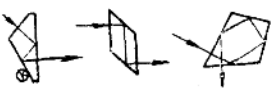
表23-1-6 膜层符号

符 号	膜层名称
	增 透 膜
	外反射膜
	内反射膜
	折 光 膜
	滤 光 膜
	保 护 膜
	电 热 膜

(四) 常见的光学零件及其用途 (表23-1-7)

表23-1-7 常见的光学零件及其用途

序号	名称	简图	作用
1	正透镜		光线会聚 a) 双凸 b) 平凸 c) 凹凸
2	平行平板玻璃		光线产生位移, 方向不变
3	平面反射镜		改变光线方向
4	析光镜		光线经过析光膜分成两光路
6	分划板		a) 对物像瞄准 b)、c) 分度、测量
6	物镜(组)		把物体做成一个实像 a) 胶合式 b) 分离式
7	负透镜		光线发散 a) 双凹 b) 平凹 c) 凸凹
8	楔形平板玻璃		将光线折偏一个小角度

序号	名称	简图	作用
9	球面反射镜		利用反射使光源增强
10	平板玻璃		无色用于防尘窗、罩等；有色用于滤光，以免刺目
11	非球面聚光镜		用于聚光镜时可减少球面聚光镜片数
12	目镜(组)		用于目视时放大成像
13	直角棱镜		改变光轴方向及像面正倒或像面正反
14	直角屋脊棱镜		
15	五角棱镜		
16	其他棱镜		

第2节 光学部件的作用及其调整

光学装置整个系统,是由各种部件组成的。每个部件都有各自的性能与效用,为了达到系统所规定的要求,必须了解各部件的作用和调整方法,特别是掌握一些调整规律,对于做好装校工作和修理工作都具有重要意义。

(一) 光源照明组

照明光源在光学装置中对成像影响颇大。用作投影时,照明要强;用作目镜中观察,则照明要弱些,以防刺眼伤目。此外,还要求照明均匀,不要出现局部明暗。引起光源的局部明暗,一般是灯丝未调整至中心,或灯丝被聚光镜系统成像在物体表面附近。有些投影对照明要求较严,如灯丝形状松散,也会出现明暗不均匀。这时,可更换灯丝较紧密的灯泡试之,如无合适的灯泡,可用氟氢酸气熏蚀,或用水砂纸加水研磨,将灯泡表面作磨砂处理。灯泡磨砂后,虽然对照明均匀有利,但照度会略为降低一些。

机床光学装置使用的光源,大部为钨丝白炽灯,它的发热量高,如长时间照射金属标尺,将由于热膨胀,使标尺长度发生变化而影响测量和读数。因此,有些机床装有限时器,只有观察时通过推动电钮,才能获得照明。

聚光镜将光源会聚后,有两种光束形式,一种是会聚光束,能集中地照明物体一定的面积,通过物体表面反射进行观察或投影,这种光束,照明度强。另一种是平行光束,对物体在较大范围内能照明均匀,这种光束,常用于投影或观测。在调整光源时,要根据光学装置的要求而定,一般检验调整项目为:

(1) 检验调整时光束的变化 可用一白纸片放在光路中适当位置上,通过纸片上出现的光斑大小或灯丝像,适当调整灯座及聚光镜。

(2) 检验光束是否充满物镜,光斑中心是否偏离 可将纸片放在物镜入口端,观察光斑的位置。

(3) 检验光束会聚或平行 可将纸片沿光束轴向移动,如光斑大小变化不大时,这时便认为光束是平行的。

(4) 检验光束的垂直度 方法是用一块约2mm块规,贴附在大尺寸的块规上,然后一同放在玻璃平板上,把借用工具显微镜上的平板,固定于机床的工作台上(图23-2-1)。块规在光路中分别用纵向和横向两种位置检验,通过光学装置的观察,当块规像出现后,检查2mm块规像的两侧轮廓,如两侧轮廓明暗有差别,即表明光束不垂直。

总之,光源调整后,都应根据光学装置各项要求,作一次检查,以免出现测量误差。

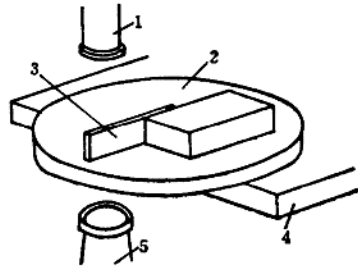


图23-2-1 照明光束垂直度检验
1—物镜 2—玻璃平板 3—块规
4—工作台 5—聚光镜

(二) 物镜

在光学装置中,物镜是主要的成像部件,成像是否清晰,除设计与加工外,正确的装配和调整,也是十分重要的。

简单物镜,一般由两个透镜胶合或不胶合所组成。复杂的物镜,透镜较多,有些分成几个小组。为了便于说明物镜的物像关系,这里把物镜作为一个正透镜来表示。图23-2-2是物体与物镜的成像关系。物体通过物镜后,得到一个倒立的实像,物像位置和大小关系是:

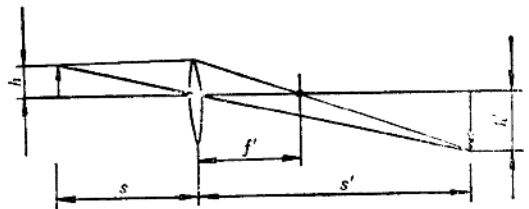


图23-2-2 物镜的物像关系

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{s'} - \frac{1}{s} \quad \Gamma' = \frac{s'}{s} = \frac{h'}{h}$$

当焦距 f' 不变时,物距 s 增大,则像距 s' 减

少，如 s 无限地增大，即 $\frac{1}{s} = \frac{1}{\infty} \rightarrow 0$ ，则像距 $s' = f'$ 。这说明无限远处的物体，它的成像在物镜的焦面上。相反，物体在物镜的焦面上时，它的成像在无限远处。类似这种成像关系，应用于平行光管、平直仪、望远镜等光学装置。放大率 V ，在光学装置中，常有一定的要求，如装置的放大率出现偏差，从上式的关系中，可以看出，只要调节物距或像距，就能改变它的放大率。

在光学上，物体至成像面的距离，称为“共轭距离”。有些光学装置，共轭距离是可以改变的。如光学磨床，只须调整像距 s' ——物镜至屏的距离，便可以改变成像的放大率了。但也有些共轭距离是不能改变的，如坐标镗床的标尺至投影屏的距离，而必须采取改变物镜焦距，才能使放大率进行校正。根据这一情况，在设计时，使物镜内的透镜间隔能作一定范围的变化。现设物镜的总焦距为 F ，其中两个透镜或两组透镜的焦距分别为 f_1 、 f_2 。其间隙为 d ，则它们的关系是：

$$F = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - d}$$

式中 f_1 和 f_2 作为不变值，当 d 增大时， F 也增大。因此，间隙 d 的变化，物镜的总焦距 F 也随着变化。当物镜作放大使用时，焦距增长，则放大率趋向减少；反之，则放大率趋向增加。图 23-2-3 表示在共轭距离为一定时， d 的变化与放大率的关系。即 d 、 s 增大，成像减小； d 、 s 减小成像增大， d 间隙的调节，不应超越允许范围。否则，将影响成像质量。

光学装置中，凡以投影作测量与加工，或观察读数，均要求成像达到必需的放大率，以保证所需

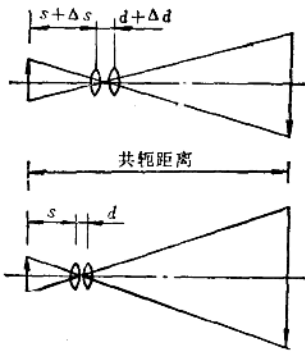


图23-2-3 共轭距离不变时， d 与放大率的关系

精度。因此，认真校正好放大率，是十分重要的。例如光学磨床，以投影屏检测工件的轮廓形状和尺寸，故工件投影放大后，不但放大倍率要达到规定要求，还要成像不发生变形（即屏面上各部分放大率的一致性）。为了检验这种要求，可将精密玻璃刻尺放置在工作台上（台面必须与物镜光轴垂直），通过物镜投影在屏上成像，用一检验用玻璃长刻尺贴在屏上进行检验。如果屏的上下左右放大率达到一致，中部和边缘放大率偏差不超过出厂技术要求（玻璃刻尺技术要求，见表 23-3-5），即认为符合要求。

坐标镗床或光学读数头，对标尺投影的放大率同样需要达到规定的要求。由于机床上的标尺是一精密刻尺，就不必使用玻璃刻尺，故校验比较方便。即将游标度盘（或鼓轮）转动一个满分度（0~100），游动指标相对于精密标尺刻度位移一个刻度时，放大率的调整才算达到要求。如位移不足或过线，则是放大率发生偏差的现象。

物镜光轴不垂直于物平面，则成像面与光轴也发生倾斜，严重时，在视场或投影屏上，物平面不能同时获得清晰的成像。校验方法是利用平行平晶，但这方法只适用于物体与物镜之间距离能调节的光学装置。例如光学磨床，先在工作台上固定一平板玻璃（可借用工具显微镜平板），见图 23-2-4，任意选定玻璃板上某一麻点，以此作为标记投影在屏幕中心。这时，工作台不应再作水平移动，随即把平行平晶（直径 30mm，厚 40mm）放在玻璃板的标记上，屏上的标记像便因此消失。然后将工作台缓缓下降，使标记像重新出现，如像仍在屏幕中心，便认为物镜光轴垂直于物平面（即工作台面）。当然，这里工作台升降导轨是否与物镜光轴平行，也有很大影响，故要根据具体情况，找出不垂直的因素，才能调整好。

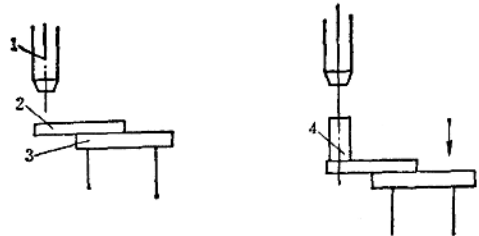


图23-2-4 物镜光轴对工作台垂直度的检验

1—物镜 2—玻璃平板 3—工作台 4—平行平晶

物镜除能把物体放大外，也能把物体成像缩小。例如望远镜物镜、照相用的物镜，均属这方面的应用。望远镜因装有目镜进行放大，故不感觉到像的缩小。一个望远镜，如在物镜的焦点处装各种分划板，并用灯光把它照明，则分划板被物镜成像在无限远处，这时物镜对分划板来说，可以认为发射出一束平行光束。应用这种结构作为光学检验测试工具，被称为平行光管。由于用途不同，光管分长短不同焦距，长焦距平行光管常用于光学测试工作，它的物镜要求成像质量很高，在分划板后可装照明灯及自准式的目镜。此外，平行光管可更换各种分划板，它们的用途如下：

1) 十字分划板用作人为远目标进行瞄准；
2) 定距分划板用于物镜焦距测量（需读数显微镜配合使用）；

3) 鉴别率板用于物镜鉴别能力的检验；

4) 星点板用于物镜像差的检验和判断。

为了使光管发出平行性好的光束，故都附有自准目镜及平面反射镜，以使用自准法校正本身光束的平行性。有关平行光管的应用，可参阅它的说明书。

（三）棱镜与反射镜

光学装置中，棱镜与反射镜，是承担光线方向改变、成正倒或左右反转的光学部件。棱镜与平面镜不同，棱镜在光路中，不但对像差有影响，而且光程（光走的路程）增长。例如直角棱镜损坏后，在平行光束中，可用平面镜代替，但在其他光路（特别是在成像光路）中，就不适当了。棱镜和反射镜在光学系统中，都有它一定的位置与角度，这类部件在修理中，一般都能拆离，经过清洗后，装到原位。但有时需将框座拆下，才能修理其它部分。如框座无定位销钉时，拆卸前最好在框座处用钢针划上标记，这样对系统复原的调整，较为容易。

棱镜或反射镜的位置不正时，在视场或投影屏中，呈现黑暗无光或照明不均匀。如位置失常程度不太大时，成像也能清晰可见，但常伴有成像倾斜（图 23-2-5）或成像梯状变形（图 23-2-6）。成像倾斜的原因，主要由以下三种情况产生：

1) 光学装置相对于物体（例如标尺）位置安装偏斜；

2) 棱镜或反射镜的角度位置失常；

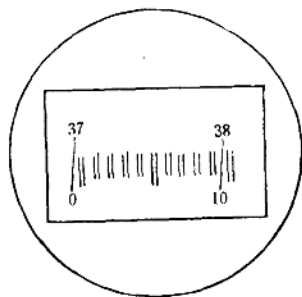


图23-2-5 成像倾斜

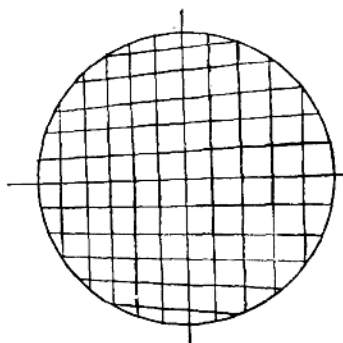


图23-2-6 成像梯状变形

3) 分划板或投影屏本身安装有偏斜。

改正其中任何一种情况，都能纠正成像倾斜。正确的方法是：先安装好光学装置对物的位置，然后再定分划板或投影屏的位置。如果在机床光学装置上这种位置没有确定时，可通过人眼判断加以调整。

成像梯状变形的原因，是光轴对投影屏不垂直，可以调整反射零件或调整投影屏来纠正。为了检验光轴对投影屏的垂直度，这里介绍一个小工具，供用者参考。工具形状见图 23-2-7，可设法将工具粘在屏后面中心位置，当投射光束通过时，在屏前可以看到一个小光斑及被工具所遮蔽的阴影。

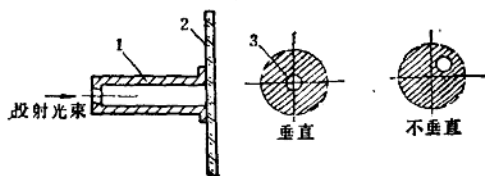


图23-2-7 检验光轴垂直度

1—工具 2—投影屏 3—投射阴影

影，如光斑在阴影中心，即表明光轴垂直于屏，如偏离中心，则需作适当的调整。工具的小孔约2mm，小孔要求与基座圆盘外圆同轴，管子直径约40mm，长度按要求决定。如垂直度要求 $10'$ ，则管长约170mm，光斑偏离中心允许0.5mm。

(四) 投影屏（分划板）

分划板或投影屏是光学装置接受成像的光学部件，它们表面有十字线、分度尺等刻划。

这类部件污染生霉后，对观测妨碍最大，要及时拆卸清洗。清洗时，应同时清洗它们附近相联的其它零件。分划板如作成游动件时，还应更换适当润滑油脂，以保证它的游动灵活性。拆卸清洗后，装复原位时，如出现分划倾斜，可通过物体沿机床导轨移动，使物像也在分划板刻线面上移动，利用物像移动的轨迹，加以校正。

有调焦的装置，如光学磨床的工作台将物体升降调节，可以将物体准确地成像在屏上，故只有放大率问题而没有视差问题。没有调焦的装置，如成像不在分划板刻线面上，则产生所谓“视差”。作为测量或读数的光学装置，都不允许有视差存在，否则，将引起读数或测量错误。视差是否存在，可以在观察时移动眼睛，从一侧移向另一侧，往复观察，如有视差，则像与分划刻线有相对位移的现象出现。消除视差的办法，多数是调节物镜，改变对物体的距离，如调节后对成像放大率有影响，则调节中应加以兼顾。

(五) 目镜

目镜的结构见图23-2-8，它在光学装置中，是作为放大镜使用。在成像小，分划板刻划细，通过放大才能被人眼分辨清楚。

有些目镜能作螺旋转动作为“视度”调节，其上装有分度刻划的视度圈。分度旋至零位时，是人

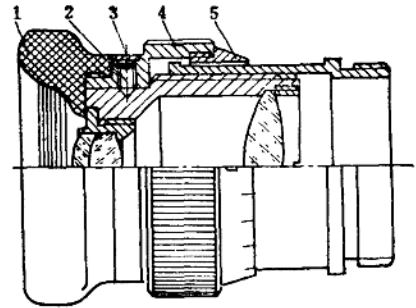


图23-2-8 目镜

1—眼罩 2—紧固螺钉 3—挡圈
4—联接圈 5—视度圈

眼视力正常的使用位置。零位两侧分刻正、负分度，是供人眼视力远视或近视时使用，每一分度，称为一个视度。每个视度，相当于眼镜店所称的一百度，故人眼如患近视，须带三百度眼镜，应用目镜观察时，只要将目镜旋至负三个视度的位置上，即可不用戴眼镜观察。

目镜经过修理后，视度的位置不能复原时，可用“视度管”加以校正。它是一个放大约6倍装有分划板的望远镜，物镜可以沿轴向滑动，在滑动的前后距离上刻有0.5或0.25视度值的分度，物镜移在零位时，表示物镜的焦点与分划板刻线重合，即无限远的物体，这时能成像在分划板上。如用视度管校正某一目镜的视度位置，可按图23-2-9将管放置在目镜前，当被检目镜内的分划板通光照明后，先调节视度管目镜，把管内分划看清楚时，即停止调节，将物镜移在零位。在人眼通过视度管观察下，缓慢地前后调节被检目镜，如被检目镜内的分划板像，在视度管的分划板上出现，并认为最清晰时，被检目镜即认为处于视度零位上。这时它的视度圈刻划，如不指在零位，则需松开眼罩、挡圈

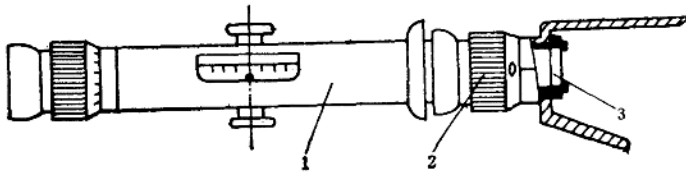


图23-2-9 视度的检验

1—视度管 2—被检目镜 3—分划板

及三个暗头螺钉，然后旋转联接圈，将零位校正，校正时要保持目镜原来位置。

校正视度，如手头无视度管时，有经验者，也可用自己眼睛已知的视度，直接对目镜作校正，误差约在 0.5 个视度以内。

目镜油脂更换或清洗修理，常需拆卸视度圈，大多数视度圈均采用左螺纹细牙联接，故拆卸时要特别注意。

第 3 节 光学装置的修理

(一) 修理

1. 修理工作的准备

修理前的准备工作，主要是尽可能了解该光学装置的有关技术资料，如：说明书、技术检验要求、装配图、光学系统图等等。目的是掌握光学装置的技术要求，拆卸程序，调整校正部位。同时，对检测仪器设备的准备，特殊的拆卸工具制备，都是十分必要的。在没有资料时，可在拆卸过程中逐步绘制出它的光学系统草图，及一些比较复杂的结构草图，以便装校时参考应用。

光学零部件和一些精密零件的修理清洗，需要一个清洁而湿度不大的房间与一个钳工修理间。两者有门隔开，前者房间要环境空气干净，尽量避免尘土侵入。人员工作活动时，地面不应有灰尘扬起。房内除配置工作台椅外，还要有贮放工具物料的橱柜用具、洗手盆等。工作台面可铺上深色的塑料布、黑丝绒屏、台灯。修理间内，可备一两个台虎钳、台式钻床、砂轮机、铁平台等设备，如能配置一部精密装配车床则更好，钳工与机床所需工具，均宜适当配置一些。

2. 修理时的注意事项

1) 修理前，对整个光学装置如何开展工作，应当有一个打算（计划）。拆卸每一个零部件或结构，要注意了解它的作用原理，这对修理工作是十分必要的。

2) 零件拆卸，要针对被拆件的形状选择工具，否则会导致零件损坏或增加拆卸困难。工具质量要良好（指硬韧性）。如无适用工具，则应该按被拆件的形状尺寸，配制好后再拆。

3) 遇到零部件联接处污锈，拆卸困难，可用煤油浸润，或浸入汽油内，经一定时间后再拆。

必要时，可用木槌在轴向或径向轻轻振击，如内部有光学零件，则振击时要注意振击部位和力量。

4) 拆卸零件时，要注意有无隐蔽的紧定螺钉，以免损坏或造成拆卸困难。螺纹锈蚀已无法拆除时，可用钻头钻掉，但尽可能不要损坏螺孔。否则，要重新铰孔。

5) 精密零件或光学零件被拆下后，要注意妥善放置保管。如镜面轴需垂直悬挂以防止变形，精密刻尺要覆盖防尘及避免碰撞，反射镜膜层表面防止被手污染等。

6) 固定光学零件，压力要适当，以免产生变形。因此，固定时，其支承面要注意清洁平整，压力点必须在它的支承点上，金属压板一般不应直接压在玻璃上，其间要垫上厚纸、软木等材料，垫片厚度要适当，即压板螺钉紧固后，光学件不发生走动即可。

7) 与光学零件接触的有关零件，要用汽油清洗，待干燥后，方可进行装配。

8) 拆卸透镜部件后，常容易把正反面次序等搞错，故拆卸时，可在透镜边上作些标记，或绘一草图，留作装配时依据。对成像质量有一定要求的物镜，如将透镜拆下时，在各透镜同一侧边缘面上，作出标记，以保持各光轴的同轴度。

9) 在光学通道中，如出现无光黑漆脱落，修理时，应用漆重新涂敷好。如修配换上新零件，则这零件应作表面染黑处理，以防反光影响成像衬度。

10) 光学装置中原有密封的部位，修理时，仍须用密封蜡加以密封处理，如内部装有防潮矽胶时，应烘烤或更换。

11) 拆卸光学部件时，如认为修理后不易装复原位，可用钢针在联接面处作些标记，或记住旋出螺纹牙数，这样，对光学系统的恢复或进行调整，都比较方便。

3. 常用修理工具和材料

常用修理工具见图 23-3-1，其名称和规格见表 23-3-1。此外，还有几种较实用的工具，分别见图 23-3-2~图 23-3-6。

常用的修理材料列于表 23-3-2 和表 23-3-3。

4. 检验工具与仪器

表 23-3-4 所列的工具和仪器，可根据实际需要，适当配备使用。

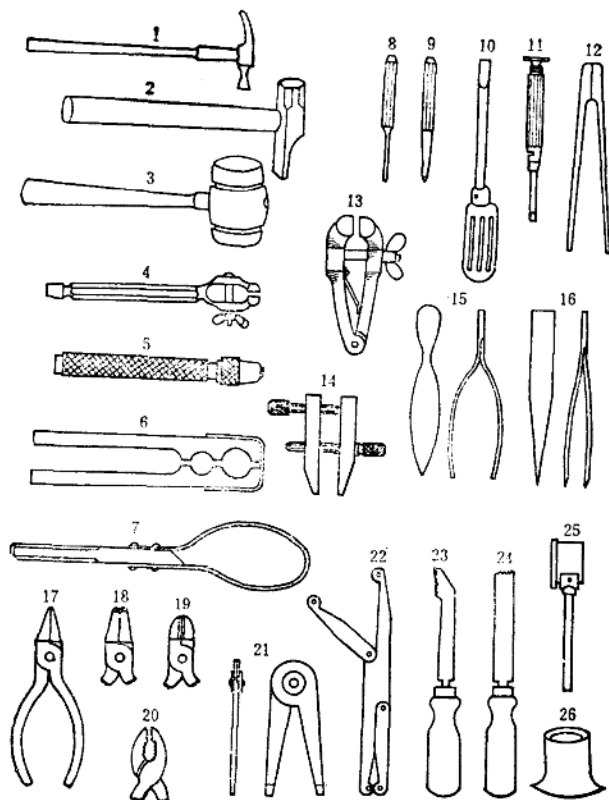


图23-3-1 常用修理工具

表23-3-1 常用工具名称及说明

序号	工具名称	说 明	序号	工具名称	说 明
1	钟表锤	约0.1kg	13	手虎钳	钳口宽约30mm
2	小钢锤	约0.25kg	14	平行夹	钢制
3	木锤	中小号的各一把	15	铜镊子钳	黄铜制大小与钢制相似
4	小手虎钳	钳口宽约12mm	16	竹夹	即照相冲洗用具
5	钟表管夹	一套约4把 $\phi 1\sim 3.5\text{mm}$	17	平口钳	150(6in)mm
6	管子钳	木或铝制, 钢带联接	18	圆口钳	150(6in)mm
7	皮带扳手	用皮带装于木柄上, 拆薄管件用	19	剪口钳	150(6in)mm
8	平头铰	一套约五支 $\phi 1.5\sim 3\text{mm}$	20	鲤鱼钳	150(6in)mm
9	尖头铰	与钳工用同	21	双槽活扳手	槽宽 \times 阔 $\approx 1\times 3\text{mm}$
10	木柄螺钉旋具	一套5~6把 $\phi 4\sim 8\text{mm}$	22	双孔活扳手	钢销钉 $\phi 1, \phi 1.5, \phi 2, \phi 2.5\text{mm}$
11	仪器螺钉旋具	一套5~6把 $\phi 1.2\sim 3.5\text{mm}$	23	内螺纹刮刀	常用螺距0.5, 0.75, 1mm三种
12	钢镊子钳	与钟表工作作用同	24	外螺纹刮刀	

(续)

序号	工具名称	说 明	序号	工具名称	说 明
25	手持放大镜	约6倍	26	钻 头	$\phi 1\sim 6\text{mm}$
26	眼用放大镜	约3倍		丝 锥	M1.2~M6
	三角刮刀	100 (4 in) mm		手 播 钻	或手电钻
	什锦锉刀	一套		漆 刷	50 (2 in) mm
	油光细锉	150 (6 in) mm		酒精灯	
	剪 刀	普通家用		橡皮吹风	即医疗用品——洗耳器
	刷 子	牙刷、钢丝刷、铜丝刷		橡皮指套	按需要准备
	油 石	按需要准备		手 电 筒	

表23-3-2 密封蜡配方

配 方 1		配 方 2	
松 香	30%	5号沥青	10%
地 蜡	20%	黑地蜡	60%
蜂 蜡	30%	MC-14航空机油	24%
MC-14航空机油	10%	602树脂	6%
颜色填料	5% (氧化铬)		

表23-3-3 常用的修理材料

名 称	对材料的要求	用途说明
无水酒精	纯度99%以上	作混合溶剂用
无水乙醚	纯度99%以上	作混合溶剂用
棉 花 脂	纤维长约25mm, 脱脂	作棉球擦拭用
航空汽油	RH75~100	清洗零件用
机 械 油	N32~N68	机构润滑油
润 滑 脂	粘度分软、中、硬三种	目镜螺纹、滚动轴承等用
虫 胶	用酒精溶成浆状	作粘结或部件调整后防松动粘固用
树脂胶	与光学工厂用同	光学件胶合用
细白布	即麻纱细布, 脱脂	清洗工作用
擦镜纸	同市售质量	清洁光学件用
软白纸	有吸水性	擦拭精密零件用
柳条木	与钟表修理用同	
鹿 皮	与擦眼镜用同	擦拭精密标尺用
氧化铬	颗粒要细、纯净	擦拭精密标尺用
金相砂纸	粗、中、细	修理光洁金属表面用

表23-3-4 检验工具与仪器表

名 称	说 明
精密玻璃尺	刻划范围: 30mm, 格值0.1mm, 误差 $\pm 0.5\mu\text{m}$
检测用玻璃尺	刻划范围: 250~500mm, 格值1mm, 误差 $\pm 0.02\text{mm}$
玻璃光栅板	刻划面积: 10×10mm, 每毫米刻线纹数: 220, 170, 130, 110四种
玻璃方格网板	刻划面积: 60×40mm, 方格尺寸: 1×1mm
勒克司表	
平行平晶	组合Ⅱ ($\phi 30\text{mm}$, 厚40mm) 或组合Ⅲ ($\phi 40\text{mm}$, 厚65mm)
平面平晶	$\phi 100\text{mm}$, 规格: 一级
平直仪	上海机床厂HYQ03型, 精度: 1/200000
视度管	视度检测范围 ± 2 视度, 刻值0.5视度
测量显微	上海光学仪器厂15J型, 测量范围: 50×30mm, 示值0.01mm
平行光管	上海光学仪器厂32W型, 焦距1200mm

5. 光学零件的清洗

光学装置在修理后, 为了防止污霉, 所有光学零件和与它联接的零件, 都需严格进行清洗。金属机械零件, 用汽油清洗; 光学表面被油脂污染时, 先用汽油清洗干净, 然后用混合溶剂清洗。如表面一般污霉, 则直接用混合溶剂清洗。溶剂配方见表23-3-5。

为了使用方便, 混合溶剂应分装在清洁的容积50mL小瓶内, 瓶颈应磨砂和带有橡皮吸嘴。清洗工作时, 手要清洗干净或戴上橡皮指套, 所用工具要保持清洁, 脱脂好的棉花、纱布等, 绝不可用手

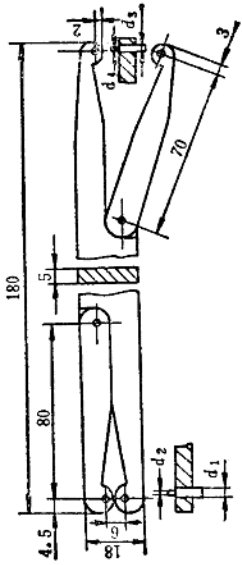


图23-3-4 双孔活动扳手

$d_1 = \phi 3$ $d_2 = \phi 2$ $d_3 = \phi 1.5$ $d_4 = \phi 1$

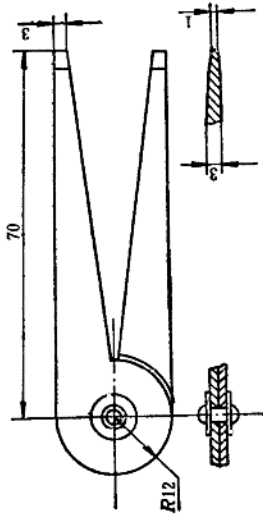


图23-3-5 双槽活动扳手

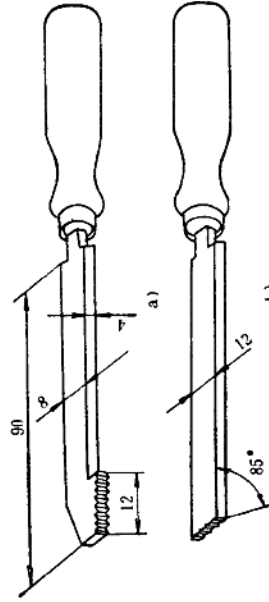


图23-3-6 双槽刮刀

a) 内槽刮刀 b) 外槽刮刀

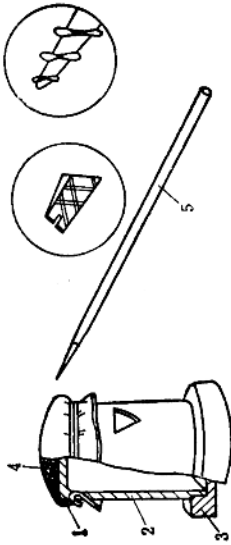
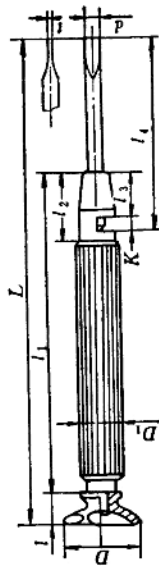


图23-3-2 光学零件清洗工具

1—脱脂细纱布 2—金属罐 3—铁底座 4—棉花或海绵塑料(作衬垫用) 5—卷棉棒



(mm)

d	t	D	D _t	L	t	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	K
1.5	0.3	8	5	95	4.6	64	16	10	46	3
2	0.3	10	6	102	5.2	68	17	11	42	3
2.5	0.4	12	7	108	5.8	72	17	11	44	3
3	0.6	14	8	114	6.4	76	19	12	46	3.5
3.5	0.8	16	9	120	7	80	19	12	48	3.5

图23-3-3 仪器螺钉旋具

表23-3-5 混合溶剂比例

温 度	昏 度	酒 精	乙 醚
常温20°C	60%~65%	30%~20%	70%~80%
高温30°C	<60%	85%~75%	15%~75%
低温10°C	>65%	15%~10%	85%~90%

注：1.根据季节变换表内配方可适当增减；
2.擦拭后，如留有痕迹，应重新蒸馏；
3.使用及储藏，均需严防近火，以求安全。

接触。棉花放在盒内，盒子放在工作台方便的地方，并设法加以固定，盒盖要开一孔，以便卷作棉球用。

清洗工作具体做法是：用手将光学零件捏住或通过铜或竹篾子夹紧，另一手拿卷棉棒从盒中挑取棉花，并将它压在卷棉台上向一个方向旋转，把棉花滚转成球，要注意将棒尖裹藏在棉球内。把卷好的棉球浸入混合溶剂，立即取出即可作擦拭使用。擦拭光学表面，应沿一个方向擦，如作最后清洗，则每擦一次更换一个新棉球。检查清洗是否干净，可在100瓦灯光下，观察它的表面反射状况，如无擦拭痕迹残留，即认为擦洗干净（光学零件擦洗前，对非光学面或透镜边缘，都应预先用脱脂纱布擦拭干净）。为了更好地观察，要避免外来杂光，故可在灯旁竖立一块黑色屏（可用黑色立绒），桌上也放一黑色呢绒，室内除工作用灯外，最好无其它杂光射入。清洗分划板等一类零件，有时也用透射光进行观察，这时黑色屏上可挂一张白纸片。擦拭表面（特别是分划板表面），注意不得擦出伤痕。分划板封装前，如仍有少量尘粒黑点，可用脱脂狼毛笔扫除或用吹风机吹掉。

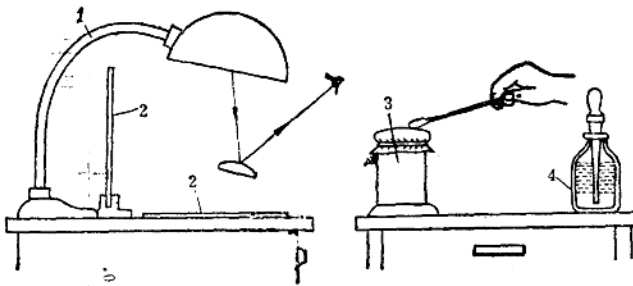


图23-3-7 光学清洗工作台布置

1—台灯 2—黑丝绒屏及台板 3—卷棉台 4—混合溶剂

清洗工作台布置及使用工具见图23-3-7，卷棉台是一个倒置的金属空罐，其上放脱脂细布并用橡皮圈扎紧，罐侧开一个三角形孔，是备括去卷棉棒上用过的废棉球之用。底部是一个生铁制座，是储存废棉球之用。卷棉棒的直径为3~4mm，长约180mm，可用不锈钢或象牙制成，一端锉成扁方锥形，头部不宜太尖锐，锥面用工具锉出一些小槽，或把圆锥锉成木螺紋形，使卷棉和脱除都方便才好。

以上是一般常用的清洗方法。镀有增透膜的光学表面，切不可用干的棉球或脱脂细布等物擦拭，以免造成膜层伤痕（只可湿擦）。光学表面生霉，用混合溶剂洗消，有时效果不太好，可试用水擦拭，即用口呵气使之凝成水滴，然后轻擦。此外，还可以用人的口涎进行擦拭。因为口涎含有弱酸，对霉菌溶解有较好效果，但使用后，最后仍需用混合溶剂重新清洗。增透膜生霉，经过清洗后，难免有斑痕存在，这种斑痕不会影响透光，可不必加以擦除。

析光膜是一种特殊膜层，种类甚多，有些膜层质地较软，不能用常规方法擦拭。发生污霉时，可浸入溶剂中，用毛笔或棉球，轻轻地浮着表面擦洗，最后在清洁的溶剂中取出任其自然干。析光镜的另一面是增透膜层，按上述方法擦洗即可。

表面反射的光学零件，它的反射膜层多为真空蒸发镀膜。对这类膜也不宜干擦，擦洗前，必须将表面灰尘用毛笔先行扫除，随后用混合溶剂的棉球，轻轻浮着表面擦洗，擦拭的次数，越少越好。

分划板、刻度尺、分度盘等零件，擦洗前分辨清楚它们的刻划是用哪种工艺制造，分别采用合适的擦洗方法：

1) 用直接腐蚀制造的玻璃或金属刻划。它的刻线多用漆料喷涂，擦洗时要避免溶剂过多和线条接触，擦拭次数也不要过多；

2) 照相分划一般是不宜擦拭的，必要时可在放大镜下用工具将污点剔除；

3) 镀铬分划板，可用正常方法擦洗，但必须不可过分用力，对于个别污点，可用工具加以剔除。

总之，擦拭这类零件，要特别谨慎小心，防止由于擦拭材料不清