

第二十三章 机床光学装置的修理和调整

一、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 $0.4 \sim 0.8$ 微米,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小孔的像,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。

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	T 463 光学座标镗床	用于机床座标定位读数	目视式,与机床结为一体
2	T 4163 B 光学座标镗床	用于机床座标定位读数	投影式,与机床结为一体
3	M 9015 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	M 9017 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 直接安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,使用时联结在 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	HYQ 025 A 光学读数头	用于各类机床各向座标的 定位读数	投影式,读数形式因方位 不同,分多种型号
11	HYQ 03 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

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,有大量热能。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,激发荧光物质而发光,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 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散射;
- 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(图 23-1-1 $\angle\alpha$ 为入射角, $\angle\alpha'$ 为反射角,垂直于反射面的线,称为法线 N)。

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23-1-1表示

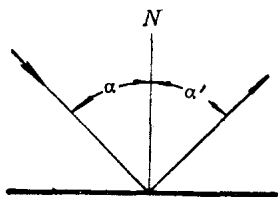


图 23-1-1 光的反射

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,都是为了将捣乱光线加以遮拦、吸收或反射至别处,以达到改善像质衬度的目的。

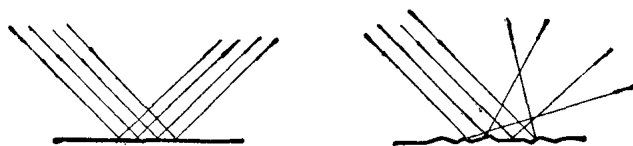


图 23-1-2 平面镜与纸的反射

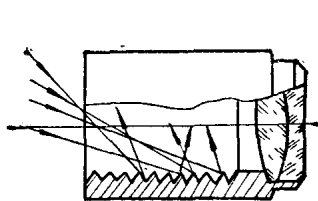


图 23-1-3 零件上减少杂光的方法

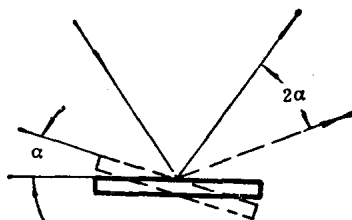


图 23-1-4 平面镜角度变化关系

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 α 角，则反射角将偏转 2α 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。

(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处发生了变化，这种变化即称为折射(图 23-1-5)。设 i_1 为入射角， i_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:

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

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，便定为某介质的折射率了。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 $n=1.4$ 至 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

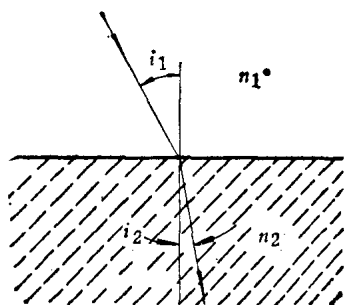


图 23-1-5 光的折射

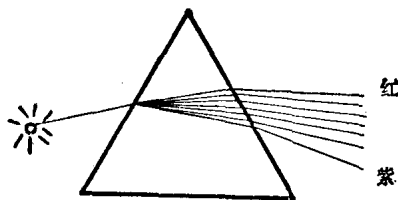


图 23-1-6 太阳光被三棱镜
折射时把光分成各种颜色

23-1-6)。例如钠光灯发出黄色光,它的波长是 $\lambda=0.589$ 微米,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 —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、色差及其他有关像差,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小率的介质,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 i_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

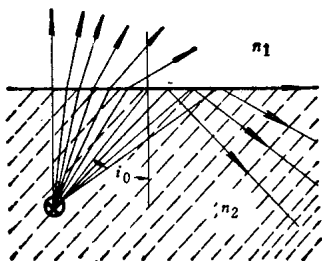


图 23-1-7 光的全反射

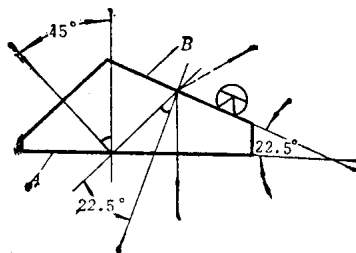


图 23-1-8 临界角在棱镜中的应用

易污霉,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。

表 23-1-2 列出各种折射率玻璃镀膜前后的比较数据。

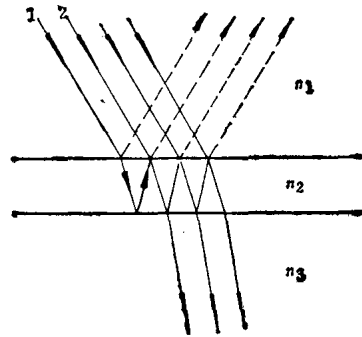


图 23-1-9 光的透射

(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,在透镜后相交之交点。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

表 23-1-2 各种折射率玻璃镀膜前后的比较

表面 处理 反射系数 折 射 率	镀 膜 前	镀 单 层 膜		镀 双 层 膜
		氟 化 镁 $n=1.38\sim1.4$	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
1.52~1.55	4.25~4.65	1.65	3.0~2.7	内的反射系数
1.55~1.60	4.65~5.30	1.50	2.7~2.4	1.0~1.8
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	

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:

$$\text{望远镜系统放大率} = \frac{\text{入射瞳孔 } \phi^*}{\text{出射瞳孔 } \phi} = \frac{\text{物镜焦距}}{\text{目镜焦距}}$$

$$\text{显微镜系统放大率} = \frac{\text{光学筒长}}{\text{物镜焦距}} \times \frac{\text{明视距离} = 250}{\text{目镜焦距}}$$

注: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。以上均用毫米为单位。

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,两个黑点便很困难分开。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,作为这系统的鉴别率。

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。

表 23-1-3 列出各种像差及其产生原因,可供参考。

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	同 上

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) 光学图纸上的常用代号与符号

为了认识光学图纸,现将图纸上常用的代号与符号列于表 23-1-4~23-1-6。

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
$\Delta(n_F - n_C)$	3D	同 上	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	同 上	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	同 上	表示光通过玻璃被吸收的允许级别
条 纹	1A	分五类(1,2,3,4,5) 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

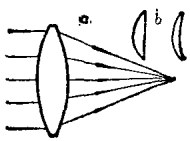
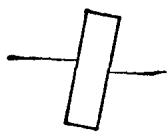
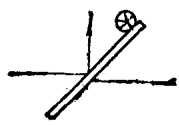
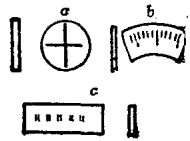
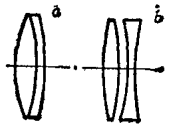
表 23-1-5 对零件加工要求的代号

表 23-1-6 膜层符号

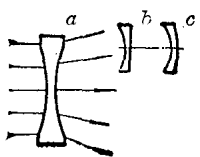
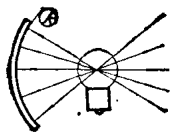
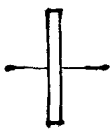
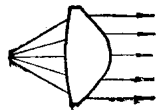
代号	举例	要 求 含 义	符 号	膜层名称
N	2	零件加工后,以样板检验允许 不超过的光圈数		增透膜
ΔN	0.2	光圈局部误差(不规则)允许的 最大值(以光圈计)		外反射膜
C	0.02	磨边中心对光轴的允许偏差		内反射膜
P	IV	P分七级(I~VII)表面光洁度 (麻点、道子)的等级		折光膜
θ	3'	板形零件两平面所形成楔角的 允许角值		滤光膜
α	5'	此要求又称塔差或棱差,指三 个或多个工作面的棱镜,各面无 限延长时,棱与棱或面的夹角允 差		保护膜
ΔR	B	加工用的样板等级分三级(A、 B、C)		导热膜

(四) 常见的光学零件及其用途

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
5	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

(续)

序号	名称	简图	作用
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
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

(续)

序号	名称	简图	作	用
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		同	上
15	五角棱镜		同	上
16	其他棱镜		同	上

二、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,必须要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。总之,在光源调整时,要根据光学装置的要求而定。

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。

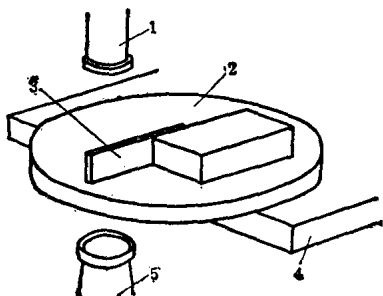


图 23-2-1 照明光束垂直度检验

1—物镜; 2—玻璃平板; 3—块规;
4—工作台; 5—聚光镜

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 2 毫米块规, 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 2 毫米块规像的两侧轮廓, 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, 以免出现量测误差。

(二) 物 镜

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:

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

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 $\frac{1}{s} \rightarrow 0$, 则像距 $s' = f'$ 。这说明无限远处的物体, 它的成像在

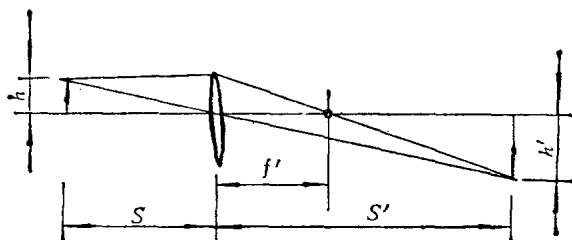
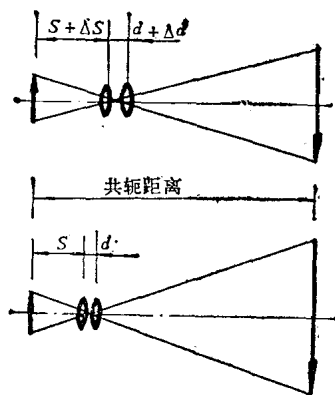


图 23-2-2 物镜的物像关系

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改变。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:

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

图 23-2-3 共轭距离不变时,
 d 与放大率的关系

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