

# 中华万有文库

总顾问 费孝通

总主编 季美林

副总主编 柳 斌

## 《中华万有文库》编辑委员会

主任：刘国林

秘书长：魏庆余 和 龚

委员：（按姓氏笔画为序）

王 斌	王寿彭	王晓东	白建新
任德山	刘国林	刘福源	刘振华
杨学军	李桂福	吴修书	宋士忠
张 丽	张进发	张其友	张荣华
张彦民	张晓秦	张敬德	罗林平
封兆才	和 龚	金瑞英	郑春江
单 瑛	侯 玲	胡建华	袁 钟
贾 斌	章宏伟	常汝吉	彭松建
韩永言	葛 君	鞠建泰	魏庆余

# 《中华万有文库》

## 总序言

本世纪初叶，商务印书馆王云五先生得到胡适之、蔡元培、吴稚晖、杨杏佛、张菊生等 30 余位知名学者、社会贤达鼎力相助，编纂出版了《万有文库》丛书。是书行世，对于开拓知识视野，营造读书风气，影响甚巨，声名斐然，遗响至今不绝。

1 千多年以前，南朝学者钟嵘在《诗品》中以“照烛三才，晖丽万有”来指说天地人间的广博万物。今天，我们全国各地的数十家出版发行单位与数千名作者以高度的历史责任感，联袂推出《中华万有文库》，并向社会各界读者，特别是青少年读者做出承诺：传播万物百科知识，营造益智成功文库。

我们之所以沿用《万有文库》旧名，并非意图掠美。首先，表明一个信念：承继中国出版界重视文化积累、造福社会、传播知识的优秀传统，为前贤旧事翻演新曲，把旧时代里已经非常出色的事情在新时代里再做出个锦上添花。其次，表明我们这套丛书体系与内容的鲜明特点。经过反复论证，我们决定针对中小学生在提倡素质教育的需要和农村、厂矿、部队基层青年在提高基本技能的同时还要提高文化与科学修养的广泛需要，以当代社会科学与自然科学的基础知识为基本立足点，编纂一套相当于基层小型图书馆应该具备的图书品种数量与知识含量的百科知识丛书。万有的本意是万物，百科知识是人类从自然界万物与社会万象之中得到的最重要的收获，而为表示新旧区别，丛书之名冠以中华。这就是我们这套丛书的缘

起与名称的由来。

《中华万有文库》基本按照学科划分卷次，各卷之下按照内容分为若干辑，每一辑大体相当于学科的2级分支，各卷辑次不等；各辑子目以类相从，每辑10至100种不等，每种约10数万字，全书总计300余辑3000余种。《中华万有文库》不仅有传统学科的基本知识，而且注意吸收与介绍相关交叉学科、新兴学科知识；不仅强调学科知识的基础性与系统性，而且注重针对读者的年龄特点、知识结构与阅读兴趣而保持通俗性和趣味性；不仅着眼于帮助读者提高文化素质与科学修养，而且还注重帮助读者提高劳动技能和社会生存能力。

每个时代中的最大图书读者群是10至20岁左右的青少年。每个时代深远影响的图书，是那些满足社会需要，具有时代特点，在最大读者群中启蒙混沌、传播知识、陶冶情操、树立信念的优秀图书。我们相信，只要我们扎扎实实地做下去，经过几个以至更多的暑寒更迭，将会有数以百万计的青少年读者通过《中华万有文库》获取知识，开阔眼界，《中华万有文库》将在他们成长的道路上留下明显的痕迹，伴随他们一同走向未来，抵达成功的彼岸。

海阔凭鱼跃，天空任鸟飞，凭借知识力量，竞取成功，争得自由。在现代社会中，没有人拒绝为获取知识而读书，这是《中华万有文库》编纂者送给每位读者的忠告。追求完美固然是我们的愿望，但世间只有相对完善，《中华万有文库》卷帙庞大，子目繁多，难免萧兰并擷，珉玉杂陈。这些不如人意之处，尚盼大家幸以教之。我们虚心以待。是为序。

《中华万有文库》编委会

# 目 录

天文望远镜 .....	(1)
望远镜的简史 .....	(1)
望远镜的放大倍率 .....	(4)
天文望远镜放大倍率的极限 .....	(6)
自制望远镜的基本光学知识 .....	(7)
光的传播、反射、折射定律 .....	(7)
光学元件的成像原理 .....	(9)
透镜及球面反射镜的各种像差 .....	(18)
望远镜镜片磨制的准备工作 .....	(23)
磨制镜片的原材料 .....	(23)
镜板落料的技术 .....	(26)
偏极透光检验法 .....	(26)
平面镜的磨平 .....	(28)
磨制镜片的设备 .....	(28)
磨制镜片的工作地点选择 .....	(34)
凹面镜的磨制技术 .....	(34)
折射望远镜透镜加工的技术程序 .....	(39)
透镜抛光后的检验 .....	(46)
凹面镜(反射望远镜物镜)的加工程序 .....	(49)
物镜镜面的刀口检验 .....	(60)

物镜的修改 .....	(68)
自制折射天文望远镜 .....	(75)
伽利略式折射望远镜 .....	(76)
开普勒天文望远镜 .....	(78)
如何选择老花眼镜片作望远镜物镜 .....	(79)
简易折射天文望远镜的结构说明 .....	(81)
小型折射望远镜的支架 .....	(87)
自制反射天文望远镜 .....	(89)
牛顿反射望远镜 .....	(89)
牛顿式反射望远镜物镜和目镜设计 .....	(90)
反射望远镜物镜和目镜玻璃选择 .....	(92)
反射望远镜的结构说明 .....	(94)
平面镜的加工 .....	(95)
目镜的设计 .....	(96)
镜筒的材料选择 .....	(98)
反射望远镜镜筒的加工和安装 .....	(99)
寻星镜的制作、安装和调整 .....	(105)
小型反射望远镜的组装 .....	(108)
自制望远镜的使用与维护 .....	(112)
自制望远镜的使用方法 .....	(112)
自制望远镜的维护 .....	(113)
业余天文台的设计 .....	(115)
光学望远镜与圆顶室 .....	(115)
天文台的选址 .....	(116)

---

圆顶式天文台 .....	(118)
锥形顶天文台 .....	(118)
方顶式天文台 .....	(118)
防雨木箱式天文台 .....	(120)
其他天文仪器制作简介 .....	(122)
赤道式日晷的制作 .....	(122)
地平式日晷的制作 .....	(124)
简易经纬仪的制作 .....	(127)
天文爱好者的星空观测 .....	(129)
星空观测的一般事项 .....	(129)
月球的长期目视和照相观测 .....	(131)
行星的观测 .....	(138)
专业望远镜简介 .....	(143)
中国的 2.16 米光学天文望远镜 .....	(143)
红外望远镜 .....	(144)
射电望远镜 .....	(146)
射电望远镜的综合孔径技术 .....	(149)
射电望远镜的技术 .....	(150)
空间望远镜的优势 .....	(152)
哈勃空间望远镜 .....	(154)
下一代望远镜 .....	(156)

# 天文望远镜

## 望远镜的简史

望远镜的发明、制造和发展大多依赖历代天文爱好者的不断贡献。早在 1608 年，荷兰有一个磨眼镜玻璃的技师发现，当他将两个透镜置于一定的距离时，就可将远处的物体放大，使它显得更近。当时著名的天文爱好者，意大利人伽利略立即采用了这个发明，向一个制造眼镜的人买了两片透镜，为自己造了一个小的望远镜。他的仪器是很简单的——只有一个小圆筒，在一端装一个凸镜作为物镜，在另一端装有一个凹镜作为目镜（见图 1）。起初他只得到 3 倍的放大率，后来造了一个 8 倍的望远镜，最后竟达到了约 32 倍的放大率；那也是当时的技术水平的最大成就。伽利略用望远镜发现了木星的 4 个卫星，月球上的山脉，金星的盈亏，太阳的黑子等。他所用的两个望远镜现今还陈列在意大利福劳来斯的物理博物馆里。

伽利略的望远镜的主要缺点在于它的视场小，所以后来德国天文家开普勒建议用凸镜为目镜（见图 2）。这种望远镜的视场较伽利略式的望远镜为大，但它的主要缺点就

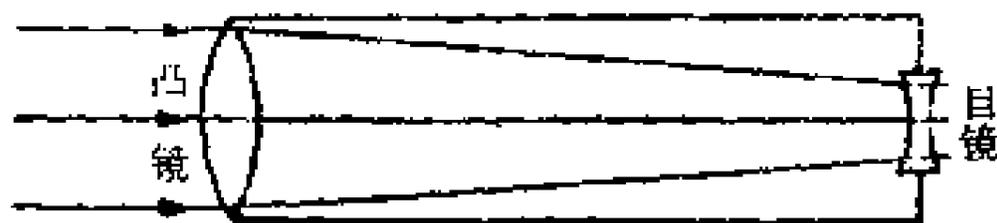


图 1 伽利略式折射望远镜的主要组成部分

是色像差（使所看见的东西有像虹一般的颜色）。

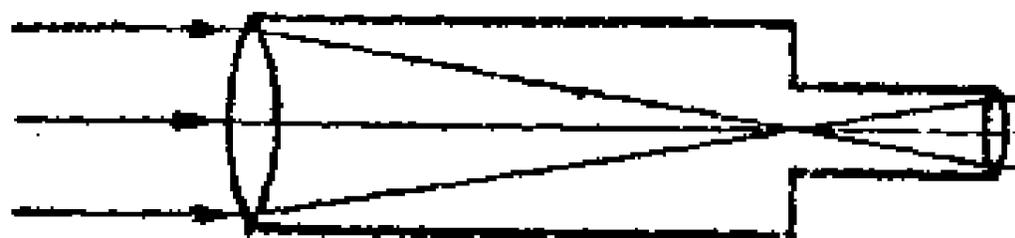


图 2 开普勒式折射望远镜的主要组成部分

1758 年，英国光学专家多兰德（Dhlland）用两片质地不同——冕牌玻璃和火石玻璃——的透镜合在一起，大大消除了色像差。这个方法到现在仍然应用于一般折射望远镜的构造上（见图 3）。

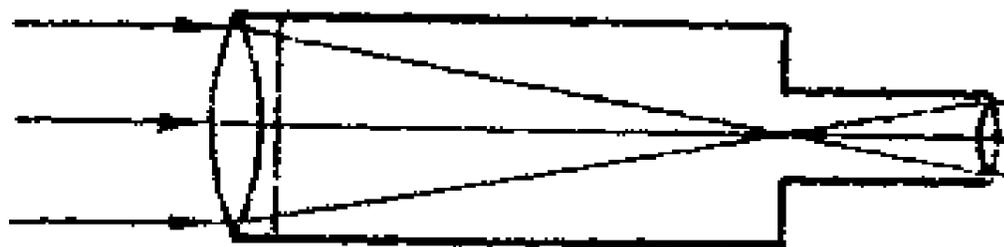


图 3 用双层玻片矫正色像差的方法

1666 年，当英国科学家牛顿（Newton）对折射望远镜

的种种缺点感到无法克服时，他便发明了反射望远镜。他自制的头一个反射望远镜乃是用一片金属磨成的，直径只有 2.5 厘米，但他竟能得到 39 倍的放大率。牛顿式反射望远镜的原理见图 4。

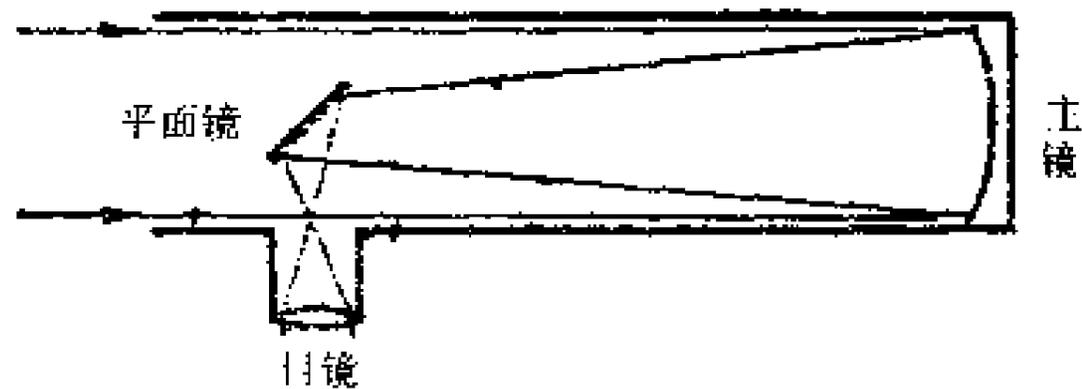


图 4 牛顿式反射望远镜的主要构成部分

不熟悉这种原理的人或许会想，那置于望远镜筒内的平面镜和它的支架难免有碍于观测，但事实上它只遮蔽了平行光线的一部分，故此只减少了反光镜聚光的实效面积，却不会影响所观测物体的形象。人从目镜观看时，不能看见平面镜本身，只见它所反射的光线。

第一个认真发展反射望远镜的人当属天文爱好者赫歇尔 (Herschel)。他是一个职业音乐家，但用业余时间研究天文，并制造望远镜。他当时没有经济能力购买所需要的望远镜，所以决心自行制造。当时还没有发明用玻璃镀银的方法，所以他采用一种金属作为镜板。赫歇尔试制了 200 多个反射镜之后，才作成一個合用的镜面。他是一个不屈不挠的天文爱好者，有时一连工作 16 小时，而不肯片刻放

下他所磨制的镜面。当时还没有现代化的许多验光的先进技术，但他从自己的经验中学得了精巧的技艺，实在不愧为天文爱好者的先导。他所制成的最大镜面直径是160厘米。他对天文学的最大贡献在于观测星云。到1802年为止，他已经发现并记录了2500个星云。

从赫歇尔以后，天文学的研究突飞猛进，天文爱好者也日见增多。现今各先进国家中有成千上万的天文爱好者自己制造望远镜。自制望远镜的经验的推广，最早是北爱尔兰阿耳马各天文台台长爱立，他著有《天文家爱好者的望远镜》一书（1920年前后）。

## 望远镜的放大倍率

每个天文爱好者都希望制造一个倍数很大的望远镜，也许巴望着一开始就作出一个500倍的仪器。这种愿望固然是可以理解的，但它所带来的问题不是一般天文爱好者所能解决的。

第一，放大率（即倍数）越大，要求镜面的精确度就越高，所以对制造技术的要求也越高。一个50倍的望远镜如欲增高到500倍，只需将目镜的焦距缩短。但如果镜面不是一个精确的抛物面形，其上的差错要被放大10倍。这就是说，所看见的天体虽然比原先放大了10倍，但也比原先模糊了10倍。天文爱好者用手工制造的反射镜面是不容易做成很精确的抛物面形的，所以如果配用一个焦距特别

短的目镜，是不相宜的，与其观测一个很大而很模糊的天体，还不如观测一个较小而更清晰的天体。

第二，纵然我们可以制造一个精确率很高的抛物面形镜面，并在放大 500 倍时依然看到相当清晰的天体，但望远镜的视场必须要相应地缩小到大约 4 秒角度的空间。如果想用 500 倍的望远镜在天空寻找一颗星，那就等于一个人立在地上，想从两丈高的席棚中通过小钮扣一般大的小洞看天上的一颗星一样难。纵然可以找到一颗星，但由于地球的自转，那星也会很快地移到别的位置上去。可见如果想用 500 倍的望远镜观测天象，就必须有很精确的赤纬和时角盘，也必须安装在固定的、准确的方位上，更须有精确的转仪钟，使望远镜跟着天体转动。这些要求虽然是某些技术高明的天文爱好者所能达到的，但就一般爱好者而言，尤其是初学者，还不能希望很快的能达到这个水平。

故此我们在开始的时候不可为自己定立太高的目标，否则我们容易因种种困难而灰心，以致半途而废。建议天文爱好者的第一次尝试可以 15 厘米直径，120 厘米焦距（或更小）的反射镜为基础。这个镜面可以配合一个约 2.5 厘米焦距的目镜而构成一个 45~50 倍的望远镜。为了帮助初学者少遇到的技术难题，我们头一次应以球面形的镜面为例，因为球面是比较容易磨制的，而且在实际使用的条件下，一般初学者和普通爱好者多半看不出一个球面形和抛物面形之间有多少差别。这主要是因为放大率不高的缘故。但应注意，50 倍的望远镜已经是相当有用的仪器。一

般野外双目棱镜望远镜的放大率为6~10倍。所以一个50倍的望远镜已经是很难能可贵了,决不能看作一个玩具。我们可以用这个望远镜观测木星的4个较大的卫星,土星的最大卫星,猎户座的弥漫星云,武仙座的球状星团和仙女座河外旋涡星云等。自然,月亮上的环形山等也都能看得很清晰。此外还有许多用普通棱镜望远镜看不见的恒星也可以看到眼里。

应该指出,天文望远镜的主要要求除放大倍率之外,还有穿透力,或集光力。一个5厘米直径的望远镜可能配上一个显微镜的目镜而达到数百倍的放大率,但它看到的恒星不比一个10倍的相同口径的望远镜所能看到的更多,因为二者的集光力相同。可见在观测恒星时,主要的有利条件不是望远镜的放大倍率,而是它的集光力。集光力越强,它所能收聚的光线越多,所看到的恒星也越多。一个望远镜的集光力同它物镜的直径成正比例。

### 天文望远镜放大倍率的极限

就望远镜本身而言,它的放大倍率是没有限度的。但由于空气的波动,最精制的望远镜最多只能达到1000倍左右。有时为了测量木星或土星的卫星,可能用到1300倍,但在此种情况下,空气的波动势必也放大1300倍,使星光闪烁不定,不易测量。

## 自制望远镜的基本光学知识

自制望远镜，首先要掌握一些基本的光学知识。具体地讲就是要掌握光的直线传播定律、反射定律、折射定律等三个基本定律，以及有关的数理基础所组成的几何光学基本原理。

### 光的传播、反射、折射定律

#### 1. 光的直线传播定律

光在均匀透明的介质中是沿着直线方向传播的。

#### 2. 光的反射定律

光线投射在两种介质分界面上时，便产生反射现象，如图 5。光线在介质表面反射时，一般遵守两条规则：

(1) 入射光线  $A$ ，反射光线  $B$  和入射点法线  $N$  三者同在一个平面内，入射光线和反射光线分居在法线的两侧。

(2) 入射光  $A$  与法线  $N$  的夹角  $\alpha$  (入射角) 和反射光  $B$  与法线  $N$  的夹角  $\beta$  (反射角) 相等：

$$\alpha = \beta$$

#### 3. 光的折射定律

当光线投射到两种透明的不同介质界面上时，从一种

介质进入到另一介质内部的光，产生了改变原来投射方向的折射，如图 6。一般光的折射，也遵守两条规则：

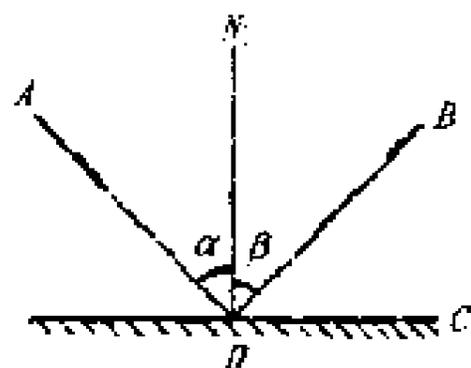


图 5

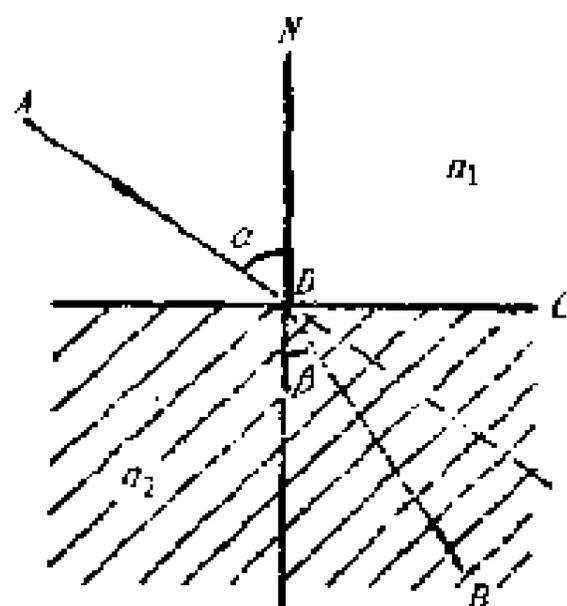


图 6

(1) 入射光线  $A$ ，折射光线  $B$  和入射点  $D$  的法线  $N$  三者在同一平面内，入射光线和折射光线分居于法线  $N$  的两侧。

(2) 入射角  $\alpha$  和折射角  $\beta$  正弦之比对于一定的两种介质来说是一个常数。即

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n}{n'}$$

其中  $n$  和  $n'$  分别为第一介质和第二介质的绝对折射率。当  $n'=1$  时（在空气中）

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n.$$

在一般天文望远镜的设计上，主要是以几何光学中上

述定律为基础的。

## 光学元件的成像原理

一般天文望远镜所采用的光学元件，主要有反射镜和透镜两类。无论哪一种，为了下面讨论方便，我们首先要掌握几条定义：

**顶点** 镜面的中心（用字母  $O$  表示），叫做镜面的顶点。

**曲率中心** 球面法线的交点  $C$ ，叫做镜面的曲率中心。

**曲率半径** 由镜面曲率中心  $C$  到镜面的距离，叫做曲率半径。

**主光轴** 通过镜面顶点  $O$  和曲率中心  $C$  的直线，叫做主光轴。

**焦点** 任何一种球面反射镜或折射透镜，当平行于主光轴的光线入射时，经反射镜或折射透镜反射或折射后，都能使光线发生发散或会聚现象，其光线或光线的延长线都相交于一点，这点叫做焦点。

**实焦点** 平行于反射镜或折射透镜主光轴的人射光线，经反射镜或折射透镜的反射或折射后，其实际光线会聚的那一点，叫实焦点。

**虚焦点** 平行于反射镜或折射透镜主光轴的人射光线，经反射镜或折射透镜的反射或折射后，光线不能直接会聚，只有光线的延长线会聚于一点，这点便称为虚焦点。

主平面和主点 有时为了简化光学系统成像的作图方法，在光学系统中另外设立两个特殊的垂直于主光轴的平面，即如果光线进入到光学系统内，与第一平面  $MN$  相交于距离主光轴高度为  $h$  的点  $M$ ，那么，在光线从光学系统出来时，与第二个平面  $M'N'$  相交的点  $M'$ ，仍然与主光轴具有距离。这两个平面，称为第一主平面和第二主平面。第一主平面和主光轴的交点，称为第一主点；第二主平面和主光轴的交点，称为第二主点。如图 7 的  $N$  和  $N'$  两点。这样，从主点到光学系统的第一、第二焦点  $F$  和  $F'$  点的距离，就是光学系统的第一焦距和第二焦距。对于薄透镜来说，两个主平面是重合的。

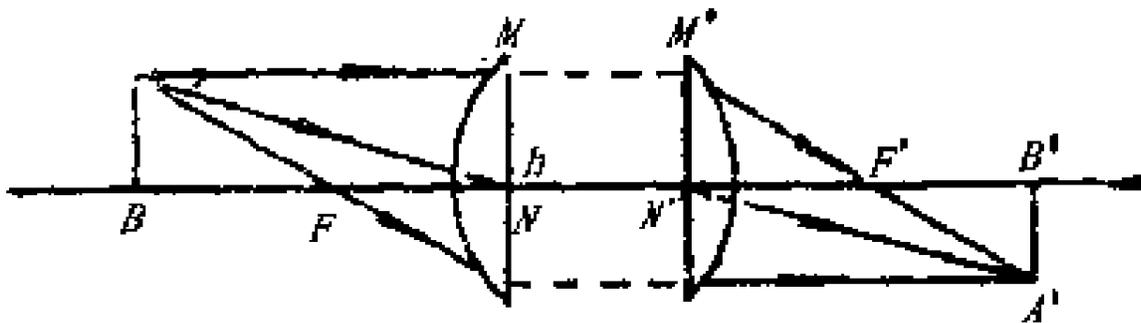


图 7

节点 当与主光轴成一定倾角  $\alpha$  的一组平行光束入射时，出射光束将集中交于像方焦平面上一点  $B'$ ；而从光学系统射出的光束中，必须能够找到一条光线  $\overline{P'B'}$ ，与入射的某一条光线  $\overline{PB}$  平行。同时， $\overline{PB}$  和  $\overline{P'B'}$  光线必定分别交于第一主平面和第二主平面上与主光轴距离相等的  $P$  点和  $P'$  点上。 $\overline{PB}$  和  $\overline{P'B'}$  光线（或其延长线）与主光轴的交点  $K$

和  $K'$ ，便称为节点，如图 8。同理，凡过节点  $K$  的任何入射光线，都必定有一条与之平行的共轭出射光线通过  $K'$  点。对于两面共轭的薄透镜来说，如果透镜两面介质相同，那么两主点和两节点都与透镜中心重合。这就是透镜的光心。故而一般作图分析薄透镜成像时，为了方便，可用透镜主平面代表薄透镜。过光心光线，射出透镜之后，其前进的方向不变。

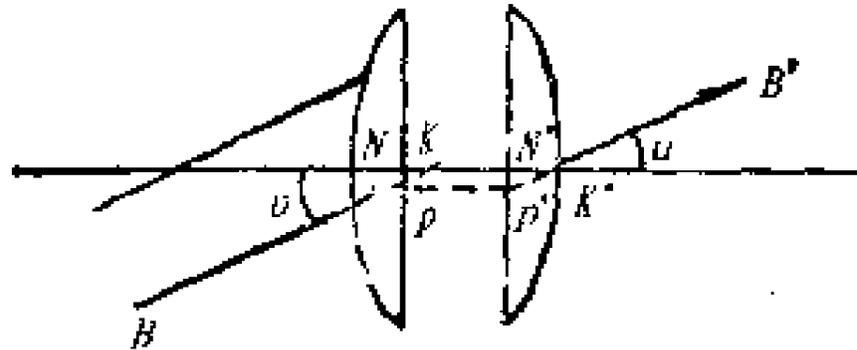


图 8

根据上述定义，我们就能进一步讨论天文望远镜的光学元件成像原理。而一般天文望远镜的光学元件，不外有反射镜和折射透镜两种。

#### 4. 反射镜的成像原理

反射镜可以分为凸反射镜（凸镜）、凹反射镜（凹镜）和平面反射镜（平镜）3种。无论哪一种，其成像原理都可以根据反射定律进行讨论。讨论的数学方法很多，最简单的是采用几何图解法。作图的基本原则为：

(1) 和主光轴平行的入射光线的反射光线必定经过焦点。相反地，根据光线的可逆性知道，通过焦点的入射光

线，到达镜面后，其反射光必然和主光轴平行。

(2) 通过镜面曲率中心的人射光线的反射光必然沿入射光的路线反射，反射的方向和入射方向相反。

(3) 从物体上任一点出发的光线到达镜面上，必然遵守光线的反射定律，即入射角等于反射角。如图 9 设  $\widehat{BO}$  表示球面反射镜的一部分，此球面镜的中心点  $O$ ，称为“顶点”。 $C$  点为球面的球心，就是“曲率中心”，由  $C$  点到球面上的距离  $r$  称为“曲率半径”，通过顶点  $O$  和曲率中心  $C$  的直线，称为“主光轴”。

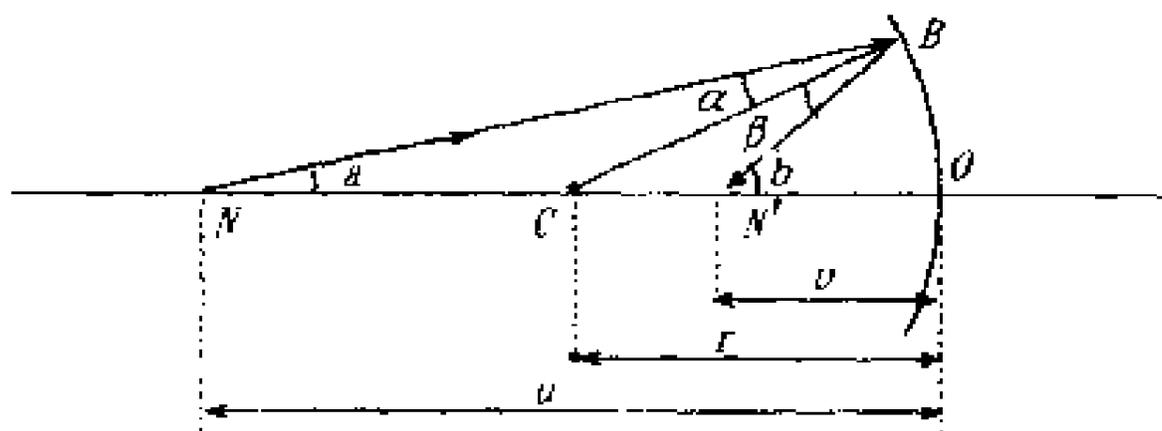


图 9

从物体  $N$  发出的一条光线  $\overline{NB}$ ，经  $B$  点按反射定律入射角等于反射角，反射后和主光轴交于  $N'$  点。设  $\overline{NO} = u$  (物距)， $\overline{CO} = r$  (曲率半径)， $\overline{ON'} = v$  (像距)。于是在  $\triangle NBC$  和  $\triangle N'BC$  中，根据正弦定律得

$$\frac{\overline{NC}}{\sin \alpha} = \frac{\overline{BC}}{\sin \alpha} \text{ 和 } \frac{\overline{N'C}}{\sin \beta} = \frac{\overline{BC}}{\sin \beta} \quad (1)$$

因为： $\overline{CO} = \overline{BC} = r$

$$\overline{NC} = u - r$$

$$\overline{N'C} = r - v$$

故 (1) 式可写成:

$$\frac{u-r}{\sin\alpha} = \frac{r}{\sin a} \text{ 和 } \frac{r-v}{\sin\beta} = \frac{r}{\sin b} \quad (2)$$

整理后得:

$$\left. \begin{aligned} r\sin\alpha &= (u-r)\sin a \\ r\sin\beta &= (r-v)\sin b \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

由于光线遵守反射定律反射, 即  $\alpha = \beta$ , 则 (3) 式可合并为

$$(u-r)\sin\alpha = (r-v)\sin b$$

即

$$r-v = u \cdot \frac{\sin a}{\sin b} - r \cdot \frac{\sin a}{\sin b}$$

或写成:

$$v = r + r \cdot \frac{\sin a}{\sin b} - u \cdot \frac{\sin a}{\sin b} \quad (4)$$

对于只考虑近轴光线的情况下, 即角  $a$  和角  $b$  都足够小, 这时,  $\sin a \approx a$ ,  $\sin b \approx b$ .

由图 9 可知:  $\overline{BO}$  这时可当作垂直于光轴的直线段, 即

$$\sin a \approx \tan a \approx \frac{\overline{BO}}{u}$$

$$\sin b \approx \tan b \approx \frac{\overline{BO}}{v}$$

因而

$$\frac{\sin a}{\sin b} = \frac{v}{u}$$

代入 (4) 式得

$$\begin{aligned} v &= r + r \cdot \frac{v}{u} - u \cdot \frac{v}{u} \\ &= r + r \cdot \frac{v}{u} - v \end{aligned}$$

即

$$\begin{aligned} 2v &= r + r \cdot \frac{v}{u} \\ &= r \left( 1 + \frac{v}{u} \right) \end{aligned}$$

全式除以  $v$  和  $r$  得：

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{2}{r} \quad (5)$$

根据前面提到的“焦点”定义可知，当  $u = \infty$  时， $v = f$ ，(5) 式便成为：

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{f} = \frac{2}{r}$$

即

$$2f = r \quad (6)$$

只要预先确定球面反射镜的焦距  $f$  值，就能从 (6) 式求出球面反射镜的曲率半径  $r$  值，因此 (6) 式可称为球面反射镜的加工公式。

将 (6) 式代入到 (5) 式后可得：

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f} \quad (7)$$

这就是一般反射镜的近轴成像公式。

### 5. 透镜的成像原理

透镜可以分为正透镜和负透镜两类。正透镜又有平凸、双凸、凹凸多种。而负透镜也可以分为平凹、双凹和弯月

形。无论哪一种透镜，当一束平行于主光轴的人射光线穿过透镜，并经过凸透镜折射之后，一般都会聚在第二焦点  $F'$ （实焦点）；或经过凹透镜折射后，其光线的延长线必经过第一焦点  $F$ （虚焦点）。而经过光心  $O$  的光线，穿过透镜后，其前进方向不变，两条光线会聚的地方  $B'$ ，便是物体成像的位置，如图 10。

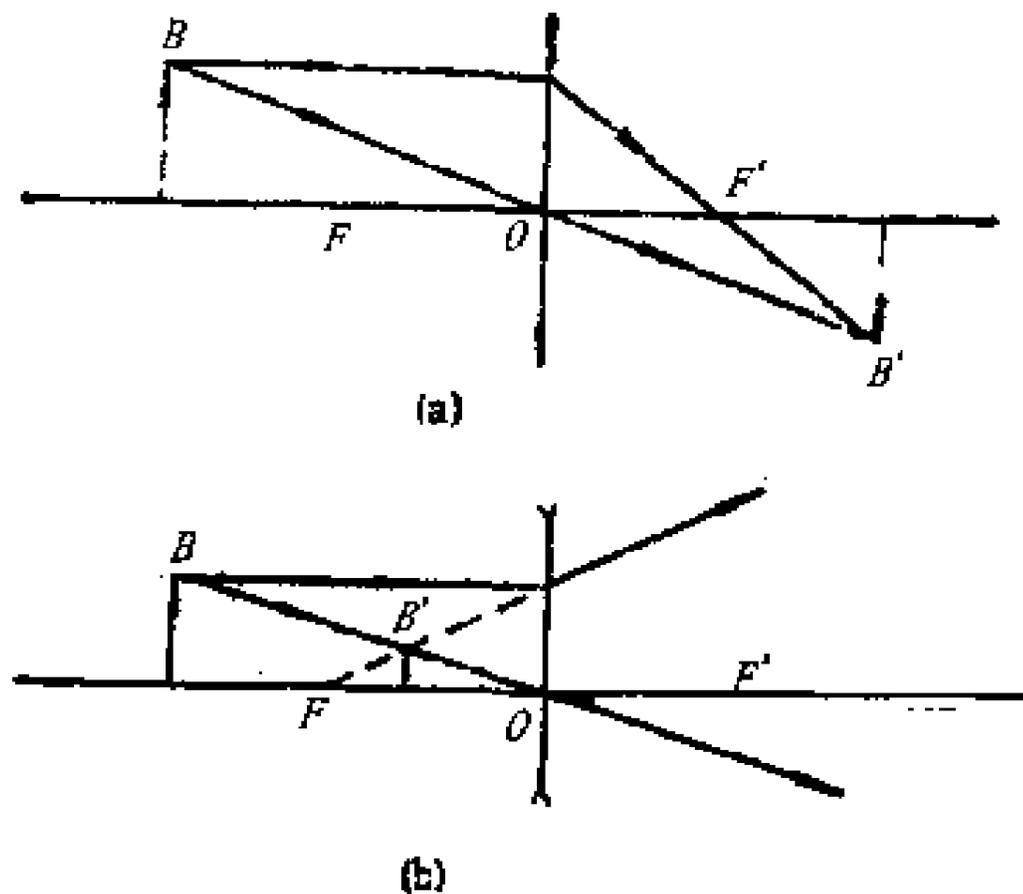


图 10

在天文爱好者的望远镜中，用薄透镜制作普及型小望远镜，既简单，又能初步满足天文爱好者对望远镜质量的要求。因此在普及型天文小望远镜制作上，用薄透镜的光学成像图解方法，帮助解决天文望远镜的设计问题，是十分方便的。

在实际应用中,由于每个透镜都是放置在空气中的,而空气的折射率为 1,如果透镜所用的玻璃折射率以  $n$  表示,那么透镜的两个折射表面曲率半径  $r_1$  和  $r_2$  与透镜的焦距  $f$  之间的关系,可用下面公式表示,即

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad (8)$$

这就是薄透镜的焦距公式。

对于由同一发光点发出的无数条光线,根据光的折射定律和透镜的光学性质,我们可以知道必然有如下 3 条特殊光线通过透镜后的方向是可以完全确定的。

(1) 平行于主光轴的近轴光线经过凸(或凹)透镜后必定通过实焦点(或者它的向后延长线必定通过虚焦点)。

(2) 通过凸透镜实焦点或射向凹透镜虚焦点的光线,由于光的可逆性,光通过透镜后必定与主光轴平行。

(3) 透镜主光轴上的一个特殊点,通过这点的射线,其出射方向和人射方向将互相平行,而且有傍向的平行位移。这个特殊点,叫做透镜的光心。薄透镜的主点、节点都与透镜中心重合时,这中心可近似地作为透镜的光心。通过光心的光线其前进方向可当作无折射通过。

物像实际上是物体上无数发光点元被透镜折射后重新会聚成点元像的集合体。根据这个原理,物体上任一点元发出的光线中,任两条确定光线被透镜会聚成点元像的位置,如图 11,便是物像所在的位置。当位于焦点外物体  $AN$  在  $A$  点发出的光,经透镜后,平行于主光轴的光线必定通

过实焦点  $F$ ；而过光心的光线，经过透镜后传播方向不变，从而得到物体成像的位置为  $A'N'$ 。

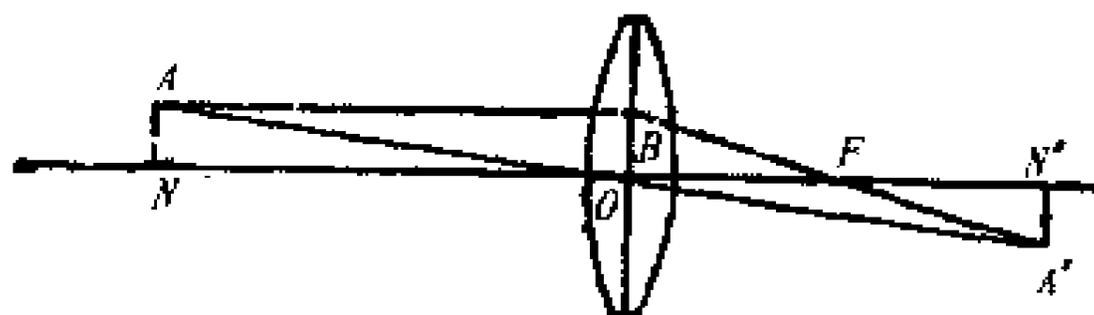


图 11

设透镜的焦距为  $f$ ，垂直于光轴的物体与透镜的距离为  $u$ ，成像位置与透镜的距离为  $v$ ，从图 11 中知道，因为  $\triangle NAO$  和  $\triangle A'N'O$  中， $\angle AON = \angle A'ON'$ ，所以两直角三角形是相似的，有

$$\frac{AN}{A'N'} = \frac{NO}{N'O} \quad (9)$$

设  $B$  为入射光线和通过透镜后出射光线的交点，对于薄透镜来说， $\overline{BO}$  可以看作是垂直于光轴  $\overline{NN'}$  的线段（见图 11）。因此  $\triangle BOF$  和  $\triangle A'N'F$  也是相似三角形，有

$$\frac{BO}{A'N'} = \frac{OF}{FN'} \quad (10)$$

因为  $BO = AN$ ，所以  $\frac{AN}{A'N'} = \frac{OF}{FN'}$

代入 (9) 式得  $\frac{NO}{N'O} = \frac{OF}{FN'}$  (11)

因为  $NO = u$ ， $N'O = v$ ， $OF = f$ ， $FN' = v - f$ ，代入 (11) 式得

$$\frac{u}{v} = \frac{f}{v-f}$$

即  $u(v-f) = vf$

两边同时除以  $uvf$ , 得

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f} \quad (12)$$

这就是透镜成像公式。与公式 (8) 联系在一起, 就得到薄透镜的物像公式:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = (n-1) \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad (13)$$

从此式知道, 只要事先获得透镜的焦距  $f$  或者物距  $u$  和像距  $v$ , 以及设计透镜前确定的任何一个曲率半径  $r_1$  (或  $r_2$ ), 我们就可以非常方便的求出透镜的另一个曲率半径  $r_2$  (或  $r_1$ )。因此, 我们不妨称这一公式为透镜制造者公式。这个公式虽然是近似的, 但对于一般业余天文爱好者设计计算望远镜元件, 其精密度是足够的。

## 透镜及球面反射镜的各种像差

无论是透镜、透镜系统、或者任何球面反射镜、球面反射镜系统, 光学元件或光学系统本身常常由于这样那样的物理原因, 或者材料的、工艺的种种缺陷, 使得实际的光学系统在成像上存在着种种误差, 这种误差被称为像差。

根据产生的原因, 像差大致可以分为单色光像差和多色光造成的像差 (即色像差, 或简称为色差) 两种。

在单色光像差中，还可分为球面像差（球差）、彗形像差（彗差）、像散，像场弯曲（场曲）和畸变等 5 种。

### 1. 球面像差

来自主光轴上物点  $S$  的一束单色光线，经透镜折射或球面反射镜反射之后，交于主光轴上不同的位置。距离透镜中心  $O$  点越远的光线  $a$ ，折射后交主光轴上的点  $S'$  离透镜中心  $O$  点就越近；反之，即越远，如图 12。而  $S'$  和  $S''$  之间的距离，叫做透镜（或反射镜）产生的球差。可用

$$LA = S' - S'' \quad (14)$$

表示，式中  $LA$  为光学透镜（或反射镜）的球差值。当  $LA = 0$  时，球差完全消除。一般说，一个单透镜只要满足条件

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{4 + n + 2n^2}{n(1 + 2n)} \quad (15)$$

时，对于无限远处的物点成像，将可以获得最小的球差。式中  $r_1$  和  $r_2$  为透镜的两个曲率半径， $n$  为透镜玻璃的折射率。对于反射镜来说，当位于主光轴上无限远物点发出的光线，只有经抛物面反射镜反射时，轴上球差才能完全消除。故反射式望远物镜，常常用抛物面代替球面，就是为了消除球差。

### 2. 彗形像差

不在主光轴上的一物点所发出的光线通过透镜的中央部分和边缘部分，不能同时造成同一像点，而是越近透镜中心的光线，所成的像也越近光轴，弥散率比较小。而离透镜中心较远的光线，所成的像离主光轴也较远，弥散率

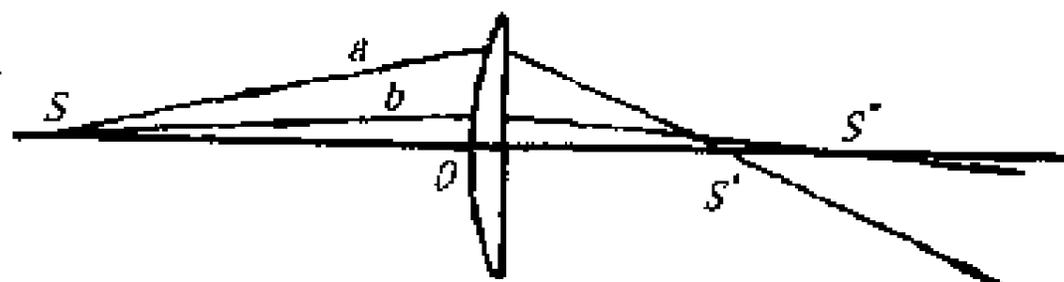


图 12

也越大，从而使物点的像成为一个彗星形状的图形，叫彗形像差，如图 13。这种像差，对于望远物镜来说影响较大。为减少它的影响，往往使望远镜的可用视场变小。

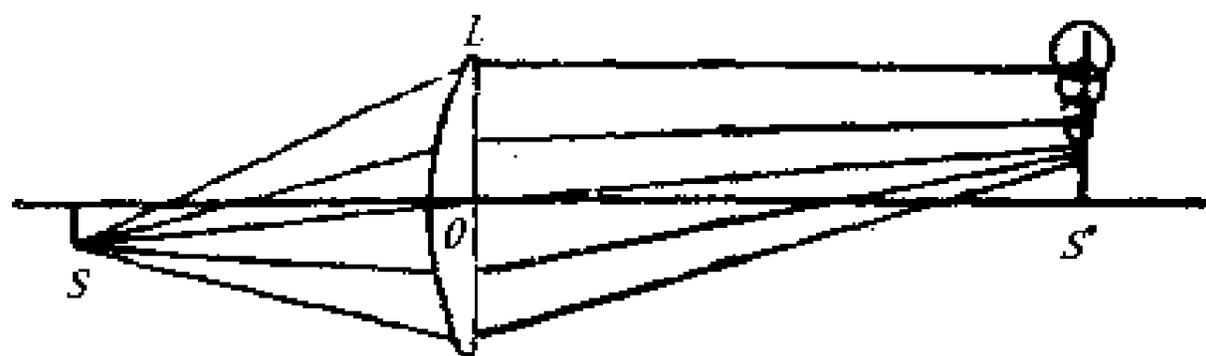


图 13

### 3. 像散

对于离主光轴较远的物点发出的光线，经透镜所成的像，在主光轴外距透镜远近不同的两个位置上，不是成一个点像，而是形成两条互相垂直的线段，线段之间成像模糊，这种现象，叫像散。如图 14，由于望远镜的视场不大，因此一般影响较小。

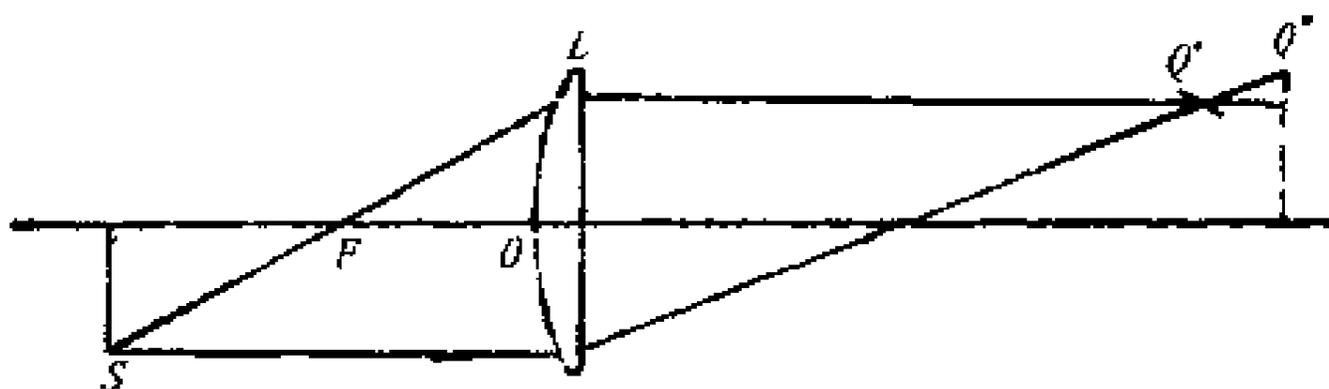


图 14

#### 4. 像场弯曲

当一个垂直于主光轴上较大的平直物体，经过消像散光学系统成像后，虽然，物体各部分的像都很清晰，但清晰的像并不是平直的，而形成**一个清晰而弯曲的像**，这种现象叫做**像场弯曲**。

#### 5. 畸变

当一个垂直于主光轴上较大的物体，经光学系统成像以后，虽然物体各部分的像都很清晰，但物体像的各部分垂轴放大率（即垂直于主光轴上的像和垂直于主光轴上的物体长度的比）都不同，有的地方像的放大率高一点，有的地方像的放大率小一点，这种现象叫**畸变**。

多色光造成的像差，简称**色差**，它主要是由于透镜光学介质对不同颜色光的折射率各不相同，从而使不同颜色的光线成像的位置也不同。这种现象，叫做**位置色差**，见图 15。如果透镜对于不同颜色光线所成的像的放大率各不相同，这种现象，叫做**放大率色差**（或叫**垂轴色差**）。

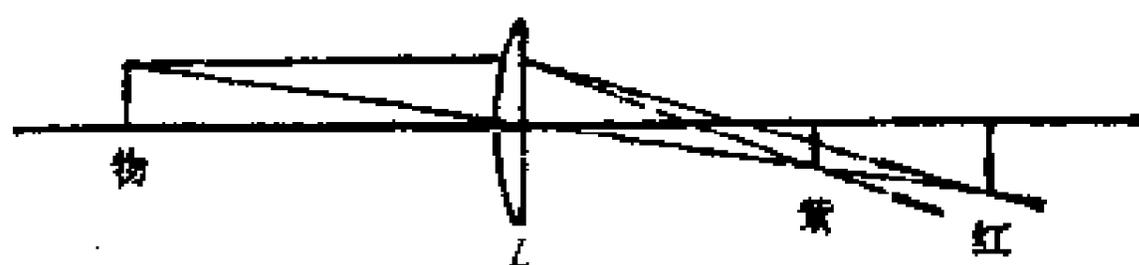


图 15

业余爱好者在制作天文望远镜时，必须注意对望远镜光学质量影响最大的像差，其中首先要注意色差，其次才是球差。

对于球面反射物镜来说，由于光线没有通过镜面玻璃而产生折射，因此，反射物镜便自然地消去色差。不过，球面反射物镜，球面像差（简称球差）仍然存在，如图 16。

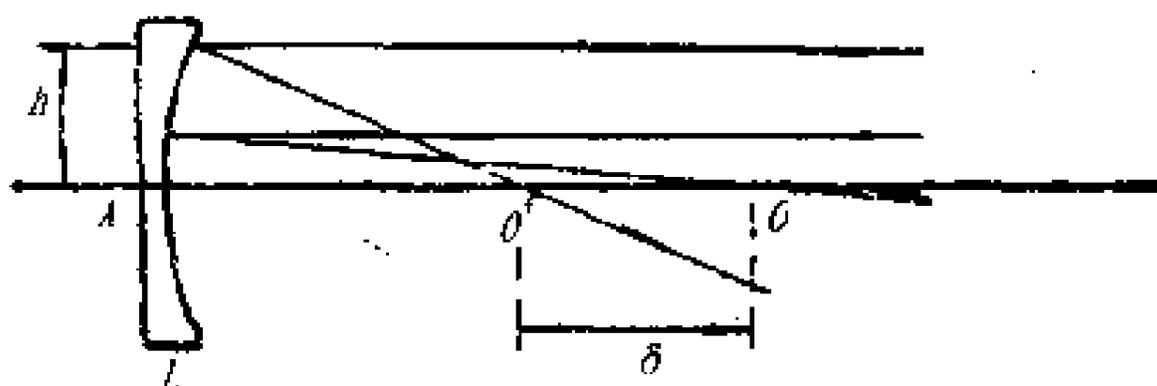


图 16

球面反射镜的球差  $\delta$  可用

$$\delta = \frac{h^2}{4r} = \frac{h^2}{8f}$$

表示，式中  $h$  为入射光线的最大高度， $f$  为镜面焦距。

## 望远镜镜片磨制的准备工作

### 磨制镜片的原材料

除技术问题外，天文爱好者在开始自制一个望远镜之前，必须考虑到原材料问题。现在作如下的介绍：

在原料方面，主要的是两块玻璃板。镜板直径与厚度应有 6：1 的比例，偶板可以较薄。选购玻璃时不怕表面有小伤痕或纹道，只要里面没有“水纹丝”。所能买到的多半大于 15 厘米直径，故必须切小。水纹丝表明玻璃退火时间太短，故容易因温度的升降而变形，不适用于制造望远镜。

一般业余爱好者加工玻璃所用的磨料有两种：一种是人造磨料，如氧化铝（白色）、碳化硅（绿色）等；另一种是天然磨料，如石英砂、黄砂等。人造磨料以白色的氧化铝（ $\text{Al}_2\text{O}_3$ ）最为理想，硬度适度，研磨的玻璃不容易出划痕。碳化硅金刚砂研磨速度比较快，但纯度比较差；研磨时如不小心，即容易出划痕。

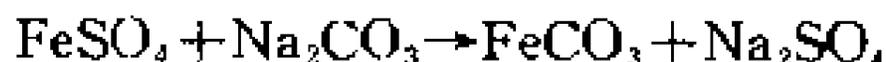
在人造磨料来源比较困难的情况下，天然磨料是业余天文爱好者最理想的代用品。一般黄色的河砂其硬度稍比白色的石英河砂大一些，白色的石英河砂其硬度虽然比较

小，但作为业余天文爱好者的廉价玻璃磨料，是相当令人满意的。

一般人造磨料的粒度等级很多，业余天文爱好者磨制天文望远镜常用的磨料等级，大致是 90<sup>#</sup>（或 100<sup>#</sup>，120<sup>#</sup>，150<sup>#</sup>），240<sup>#</sup>，400<sup>#</sup>，500<sup>#</sup>，600<sup>#</sup>，800<sup>#</sup>，1000<sup>#</sup>等。这些磨料，一般五金站专买砂轮的地方都可以买到，等级砂号数字越大，砂粒就越细。如果一时缺货，可以改用相近的砂号代替，如缺 150<sup>#</sup>，可用 180<sup>#</sup>代替。缺 240<sup>#</sup>可用 280<sup>#</sup>代替，缺 400<sup>#</sup>，可用 500<sup>#</sup>代替……。

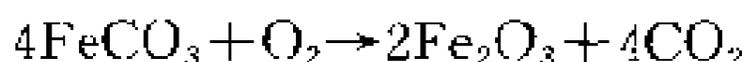
抛光是镜面加工的最后一道工序。镜面在经过细磨工序以后，无论磨砂的颗粒多么细，都只能是一种半透明的毛玻璃，通过抛光这一工序以后，镜面才能变成完全透明。透镜在抛光前，首先应作好抛光前的一些准备工作。

**抛光粉的制备** 一般用来抛光玻璃的抛光粉有三氧化二铁（Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）和二氧化铈（CeO<sub>2</sub>）两种。氧化铈成本比较高，业余爱好者不容易搞到。而氧化铁制作比较方便，制作的方法也比较多。较简单的一种方法就是用硫酸亚铁（FeSO<sub>4</sub>）与碳酸钠（Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>）反应生成碳酸亚铁（FeCO<sub>3</sub>），再经过焙烧而得。其化学反应方程式为：



用工业硫酸亚铁制作时，必须加水溶解过滤处理，然后将碳酸钠溶液过滤倒在一个玻璃缸内，一面搅拌一面加入硫酸亚铁溶液进行沉淀反应。数小时后，吸出上层液体，并用水多次冲洗碳酸亚铁沉淀物，直到用氯化钡检验清洗液

无白色沉淀物析出为止。把上层的水滤掉，将沉淀的碳酸亚铁放在焙烧皿上加温搅拌，直到其颜色慢慢变成深红色，就是所要得到的氧化铁。其反应过程如下：



加工出来的氧化铁粉，最好经过磨碎之后，放到一个干净的瓶子里，加满水，均匀搅拌，把上层悬浮液滤到一个干净的瓶里，过了十多分钟之后，待氧化铁完全沉淀，将水倒去一部分，留下体积相当于氧化铁五倍的水，即可用来进行抛光。此外，氧化铁也可在化工商店购买。

**沥青抛光模的制作** 沥青抛光模是用干净的5号沥青加上适当的干净松香，混合后加温成熔融状，浇在事先清洗干净的磨砂模上面，趁热还软的时候，把涂满肥皂水并经过细磨后的镜头压在柔软的沥青上，并像磨砂时研磨的动作一样，压力由轻到重，快速推磨，待沥青表面和镜头完全吻合时，立即将镜头和沥青模一起浸在冷水中冷却定

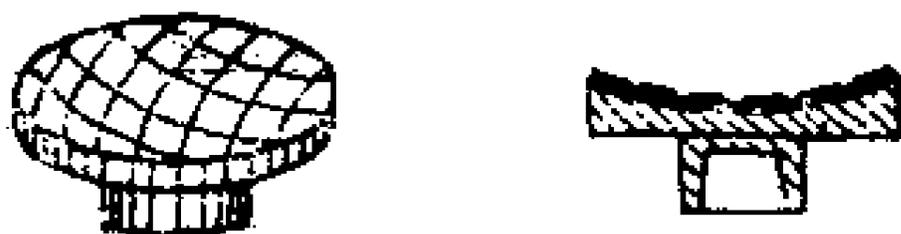


图 17

形。最后，把镜头拿开，用小刀或钢锯片在沥青模的表面割成小方格浅槽（一般小方格边长为1厘米左右），如图17，以便在抛光时让抛光粉积存在槽内，避免抛光时抛光粉过

早流失而降低抛光速度。这样，抛光模便算制作完毕。

### 镜板落料的技术

准备一个适当大小的洋铁罐、一块木板、一个铁夹和

一架钻床。在铁罐上剪

出齿形的锯口；在罐底

中心处装上一个二分螺

丝钉，把它安在钻床上

(见图 18)。用沥青将玻

璃板粘在木板上，木板

又夹在钻床上，加水

和 200 号金钢砂进行钻

磨。厚 2 厘米的玻璃需

要约 30 分钟加工，便可

切穿。如果没有钻床，可

用图 19 的简单设备作

手工磨切。

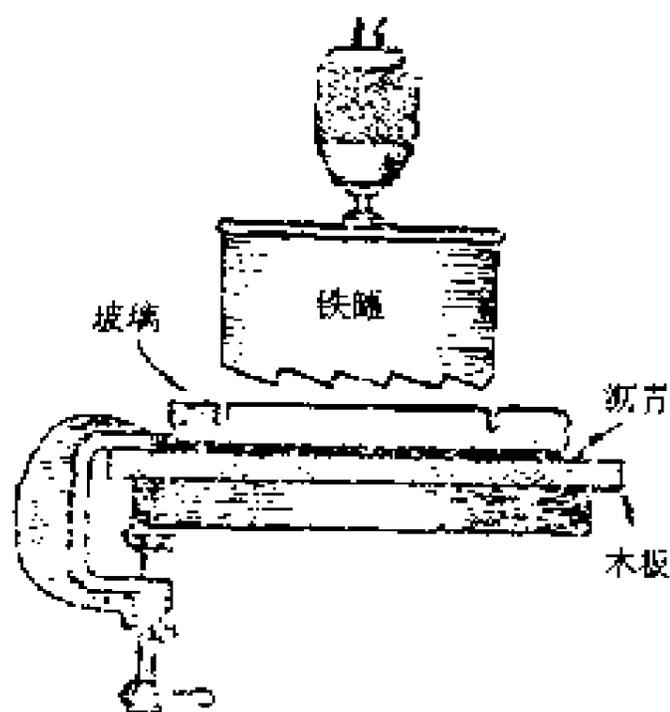


图 18 镜板落料方法说明

### 偏极透光检验法

为试验玻璃退火后内部有无变形，需用偏极光线。图 20 所示是一种偏极透光检验法，其主要的特殊设备是一个尼科尔棱镜、一块黑玻璃和一块紫色玻璃。这些设备可向

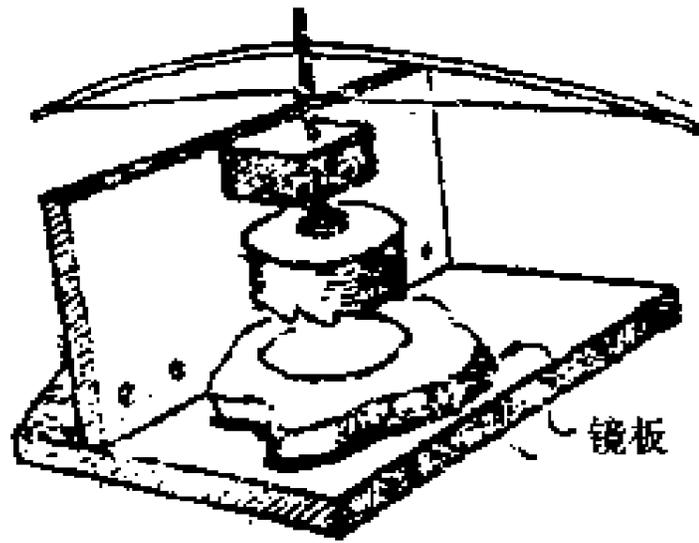


图 19 自制镜板落料机器设备

专营光学仪器的商店采购。

如果取一块变形的玻璃置于黑玻璃与紫玻璃之间，变形的部分就必定显示带有颜色的纹路。如果不用紫玻璃，则变形的部分

只有光暗之分。

在试验时，环境温度必须稳定，否则合格的玻璃也会显出变形现象来。

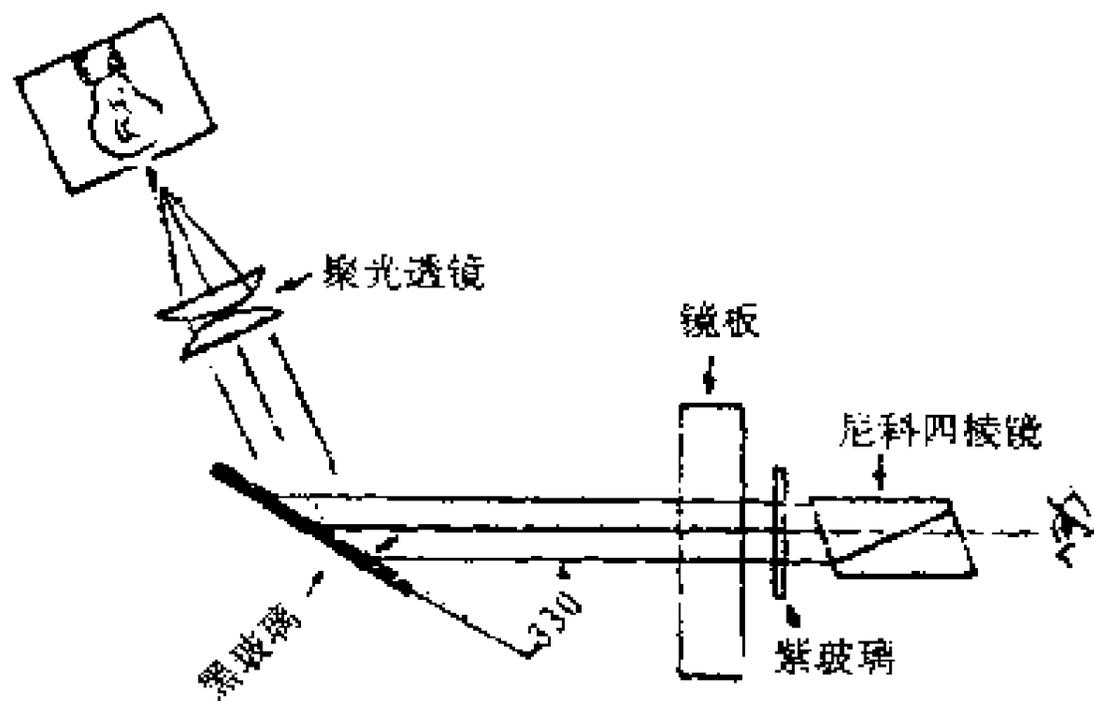


图 20 偏极透光检验法的说明图

## 平面镜的磨平

平面镜是不经过加工就使用的，所以它的平面不可能是很平的。在改进主镜和目镜的精确度的同时，不可忽视平面镜的磨平和抛光。选3块6毫米厚的玻片，先用15M砂粉互相对磨（即第一块和第二块，第二块和第三块，第三块和第一块轮流对磨），再用30M砂粉，最后进行抛光。抛光应用沥青压在平面上施工。3块玻片最好在3个不同的沥青面上抛。抛光后洗净擦干。将两块玻片合拢，察看是否有彩色光纹。最好在暗室里点酒精灯或煤气炉，取食盐撒在火焰上，使之产生钠光。如果光纹是直的，则证明二块玻片都是平的。如果出现一个牛顿环（即彩色光圈），则证明它们有 $1/100000$ 英寸（1英寸=2.54厘米）的曲度。如果有2个牛顿环，则证明它们有 $1/50000$ 英寸的曲度。

## 磨制镜片的设备

我们的反射镜既是用手工制作的，就不需要复杂的机械设备。主要的设备是：

①一个稳固的工作台面。最好这个台面不超出半米直径，使工作者可以绕着它转。最理想的台面是一个石柱或沉重的铁桶。但如果没有合适的台面，也可用普通台面的一角。先在台面上装一块木板，在木板上钉3个小木块，然

后用楔子将玻璃板楔牢，如图 21 所示。

②一个普通的水桶，专供洗镜面用。水桶应相当深，使金钢粉可以沉淀而不易再被搅动起来。不可在装有下水管的自来水水池里洗镜面，因金钢粉重量大，容易沉在下水管的弯子里，将管堵塞。



图 21 安装磨镜用偶板的方法

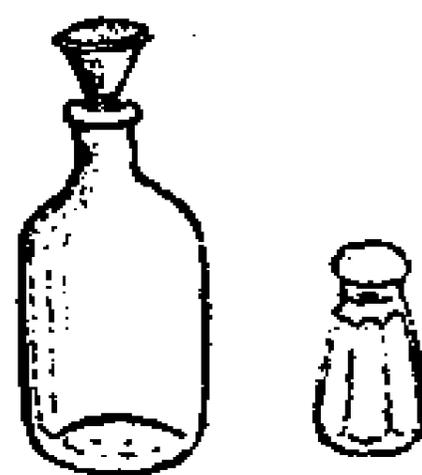


图 22 撒砂粉用的瓶

③一个装有小莲蓬头的水瓶或撒盐瓶，如图 22 所示。将一羹匙粗金钢砂装入瓶内，即可准备工作。

④工作记录纸一张，最好钉在附近墙上，以便随时记录工作的进度和时间。主要记录项目是磨镜的时间和所用金钢粉的等级和次数。

⑤几只适当大小的搪瓷盘和脸盆等，作为遮盖工作物之用。

⑥弧形样板。用一条长竹竿作为划弧的半径，在相距 240 厘米处钻两个小眼：一个作圆中心，一个作划圆周用（见图 23），在一块铅皮上划出 240 厘米半径的弧形样板，如图 24 所示。

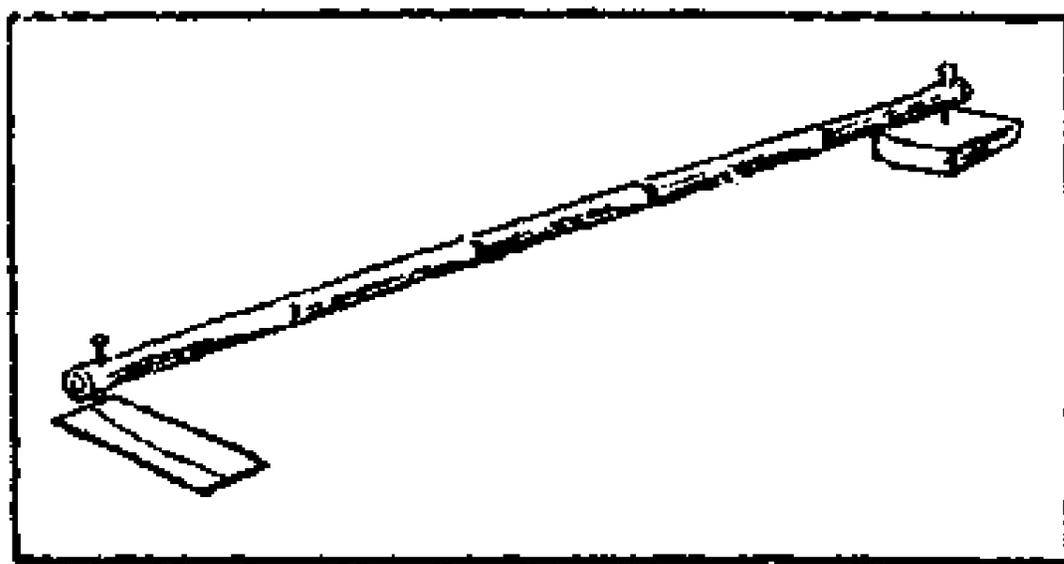


图 23 划出适当弧度的方法



图 24 测量镜面凹度的弧形样板

另外，在磨制凸面镜时，还常需要制作以下设备：

### 1. 手摇研磨机

小型简单折射望远镜镜片都是薄透镜，由于镜片既小又薄，因此，手工研磨时，必须要有特殊的工具，主要是手摇研磨机。简单的手摇透镜研磨机结构可参考图 25 中 (a) 的形式自己安装。所用的齿轮可以到废品公司金属仓库去选取废旧齿轮代用。选取时最好能选到伞形齿轮、螺旋齿轮等齿轮轴相互垂直的齿轮。只要两个齿轮的齿数相差约 3~5 倍，而且啮合得比较好即可。

如果有条件的话，可以用小型手摇钻代替，其装置如

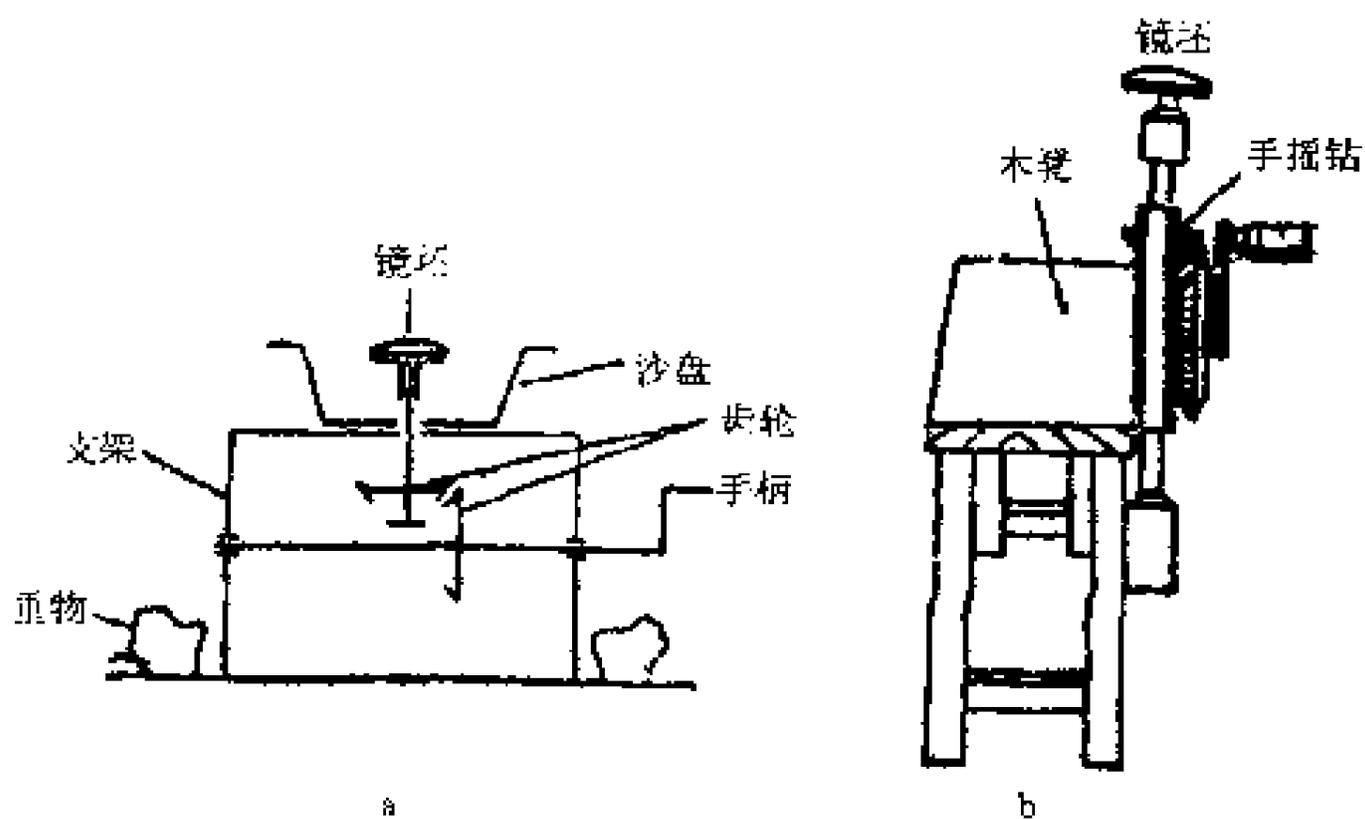


图 25

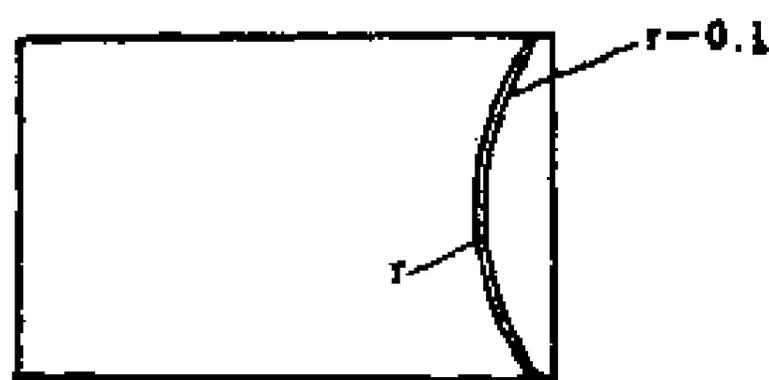


图 26

图 25 中 (b)。作为一个天文爱好者，能备有上述两种形式之一的手摇透镜研磨机，确实是值得高兴的事；因为，依靠这么一台小型

工具，就可以帮助我们随心所欲地磨制各种类型透镜。

## 2. 透镜模具的制备

一般透镜的研磨模具，可以分为磨砂模和抛光模两种。磨砂模是用来作粗磨和细磨的模具。在制作这种模具之前，首先必须制作“检验样板”，用来检验磨砂模的曲率半径及

曲面的均匀度。检验样板的制法，一般可用一片厚度约为 0.5 毫米的铁皮（大小约和磨砂模的直径相等），按透镜曲率半径  $r$  的设计要求，划两条曲率半径为  $r$  和  $r-0.1$  毫米的同心圆弧，如图 26。然后，沿着  $r-0.1$  毫米圆弧剪成平滑弧形，最后用锉刀慢慢修改，直到所剪的圆弧刚好均匀紧密地与  $r$  曲线重合为止。另外，又在厚度一样、大小相同的另一片铁片上，用同样方法划两条曲率半径为  $r+0.1$  和  $r$ （以毫米为单位）的圆弧，再沿着  $r+0.1$  这条弧线剪成平滑弧线。最后，用锉刀慢慢修改，直到剪口刚好均匀紧密与  $r$  弧线重合为止。如果还怀疑弧形剪口可能不够均匀，必要时也可以将凹凸两块检验样板套在一起，对着亮光观察，一面用半圆什锦锉再细致地加以修正，直到接触面能均匀接触为止。这样，检验样板便修制完毕，如图 27。

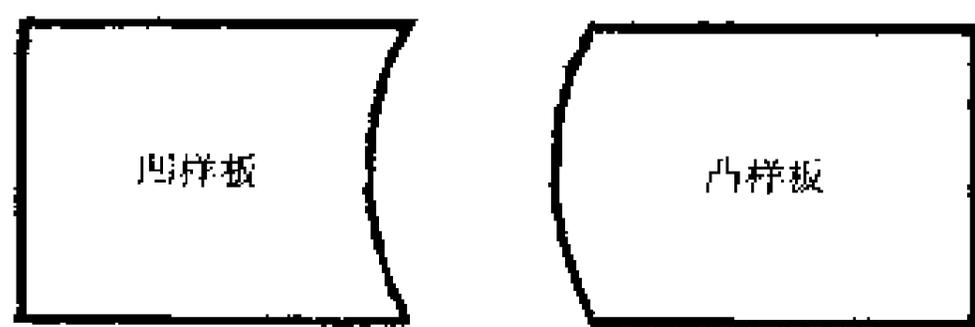


图 27

有了检验样板之后，即可开始车制透镜球面磨砂模具。磨砂模具的制作方法，一般有两种：一种是委托工厂加工的铸铁球面模。其剖面形状如图 28。另一种更简便的制作方法，即用厚度为 0.5 毫米的薄铁皮剪成一个直径比要磨

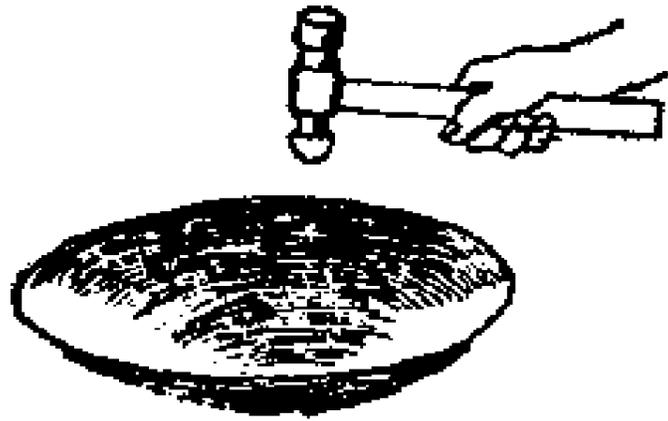


图 28

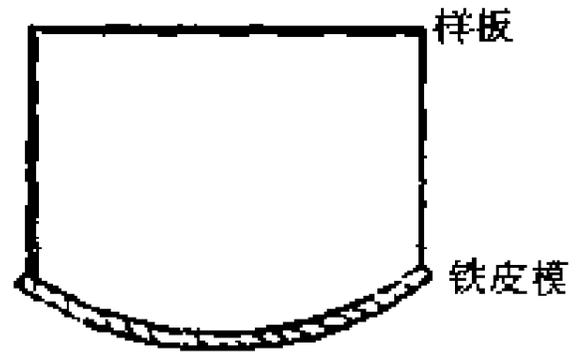


图 29

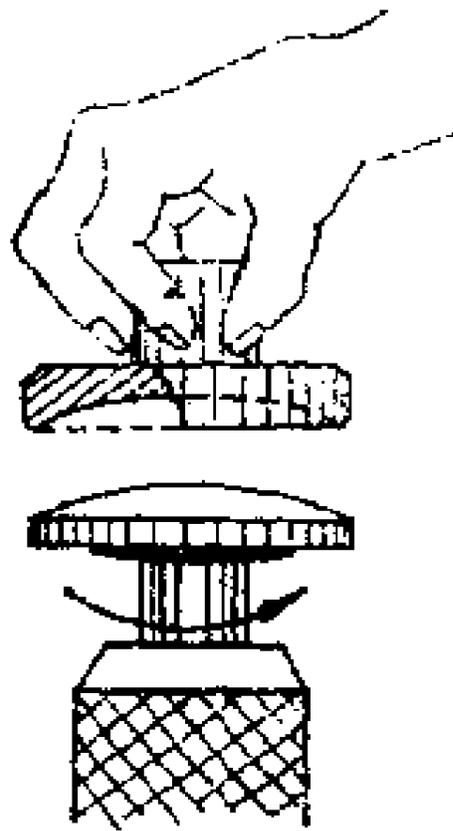


图 30

的透镜稍大的圆片，然后用奶头铁锤下面垫木头慢慢地对这个平直的圆铁片进行锤打，一直打到球的半径刚好和检验样板的曲率半径一样，如图 29。球形铁片越平滑越好，然后，把这个球缺形铁片，用柏油粘在一个 T 字形圆木模上，如图 30。这就是一个很好的透镜研磨模。

### 3. 粘结模的制备

由于一般天文爱好者所磨制的折射望远镜口径常常小于 6 厘米，这样小的镜片，用手拿着镜片进行研磨，会有

很大的困难；因此，为了研磨操作上的方便，常常采用一种“粘结模”，把透镜毛坯粘到模上去，便于用手拿住进行研磨。如图 30，粘结模可用铸铁加工，也可用木加工。

除了准备好上述工具和模具外，还必须准备 5# 沥青、松香、抹布（要干净）、棉花、汽油、乙醇（酒精）和松节油等。这些东西，在透镜粘结及透镜最后进行抛光时都会用到。

## 磨制镜片的工作地点选择

工作地点的条件要求是：

①温度变化小，空气宁静。按一般情况而言，楼上不如楼下，楼下不如地下室。如果工作地点靠近工业区，则应注意空气中的烟垢。特别是在抛光或镀银时，必须将门窗关闭，以免烟垢落在镜面上。

②严防砂土、灰尘。在灰土多的地区，门窗必须经常半闭。如果因楼上有人走动而使灰尘从天花板上落下来，可用图画钉把大张报纸钉在天花板上。在暂停工作时，应用脸盆将工作物盖好。

## 凹面镜的磨制技术

在玻璃板上磨出球面形的凹面的方法，乃是将它在一块相同尺寸的玻璃板上来回推拉，如图 31 所示。板与板之间须铺金钢砂粉。经过一定时间的推拉，上面一块会磨

成凹形，下面的则磨成凸面。上面一块是镜板，下面的只充当一个工具，谓之偶板。镜面的凹度和磨凹的速度全在于加工的技术，即推拉的磨程、压力和转动。分别说明如下：

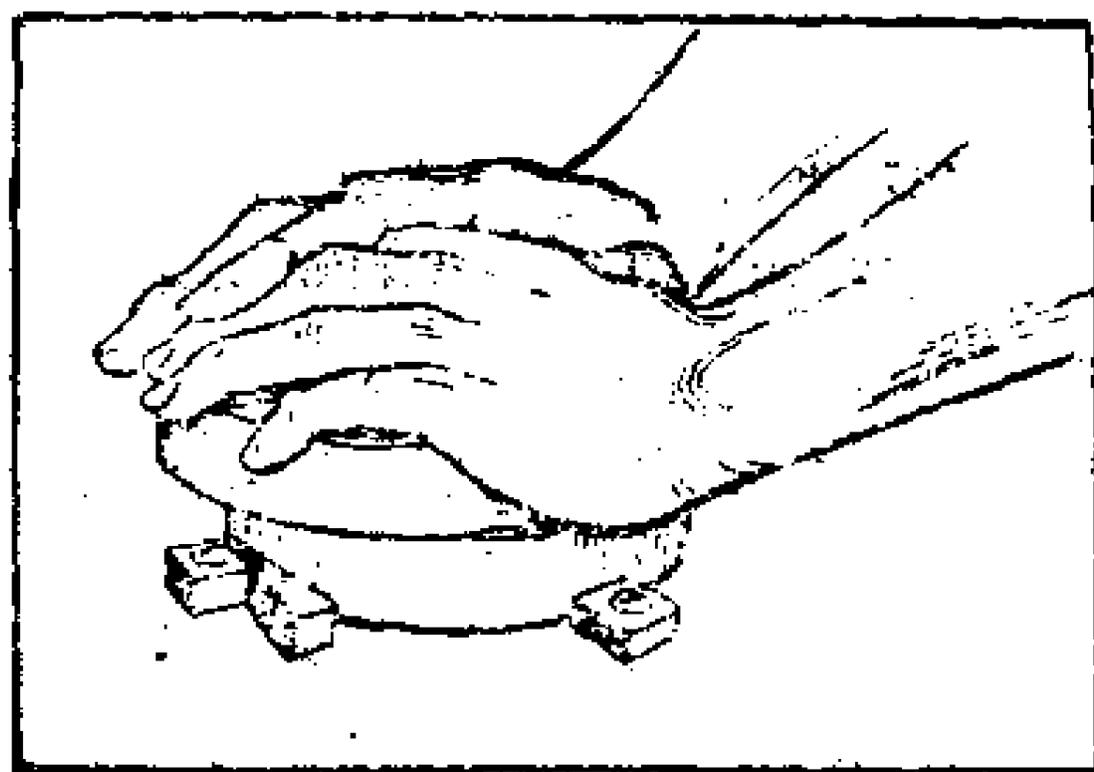


图 31

(1) 磨程 镜板在偶板上面推拉的距离叫作磨程。磨程如果太大，则镜面的中部容易太深，如果磨程小了，则又不易磨出足够的凹度来。除粗磨须用长磨程外，标准的磨程是镜面直径的  $1/3$ 。这就是说，一个 15 厘米直径的镜面的磨程应该是 5 厘米。这是指镜面每次推和拉的总距程而言，表明它每次边缘突出最多部分为 2.5 厘米。这样，当它从左边突出 2.5 厘米的地位移至右边突出 2.5 厘米地位时，它运动的总距程是 5 厘米。见图 32。

或许有人想，磨程的要求既然如此简单，制造一部机

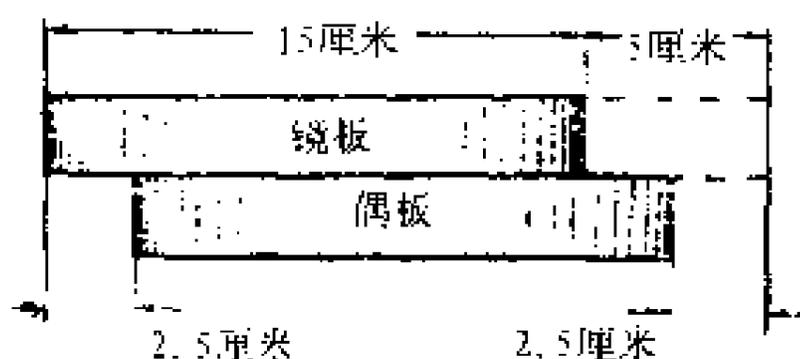


图 32 短磨程的算法

器来磨镜面必是很容易的。其实一部机器如果每次将镜面都严格地推到如上面所述的一定地位，那反而是太准确了；因为这样，容易造成镜面上的圈痕。所以磨程的要求乃是平均的，表明每次推拉都应当稍有出入才好。如要达到这个要求，用手工比用机器还容易些。固然，也有不少先进的天文爱好者用机器磨镜，但这些机器都是根据他们手工的经验而设计的。

以上所说  $1/3$  的磨程乃是指细磨和抛光的技术。在开始粗磨时，为要迅速磨出凹形起见，就必须作长距磨，即每次使镜板突出偶板一半。

(2) 压力 推拉的压力应平稳，推和拉的压力要相等，不可像用锯子一样，大力推而小力拉。如果压力不平均，则不易得出均匀的球面形。此外，粗磨、细磨和抛光的压力不同。最粗的应该压力最大，抛光的压力应当最轻。最大压力也不应超出合理范围，但总应在 30 分钟后使工作者相当疲倦，甚至流汗。如果压力太大，可能使偶板边缘的玻璃崩碎。抛光的压力虽要轻，但总须大于镜板本身的重量

和工作者双手的重量。工作既是用手工，所以对压力无法作准确的规定，这也是必须从经验中逐渐体验的。

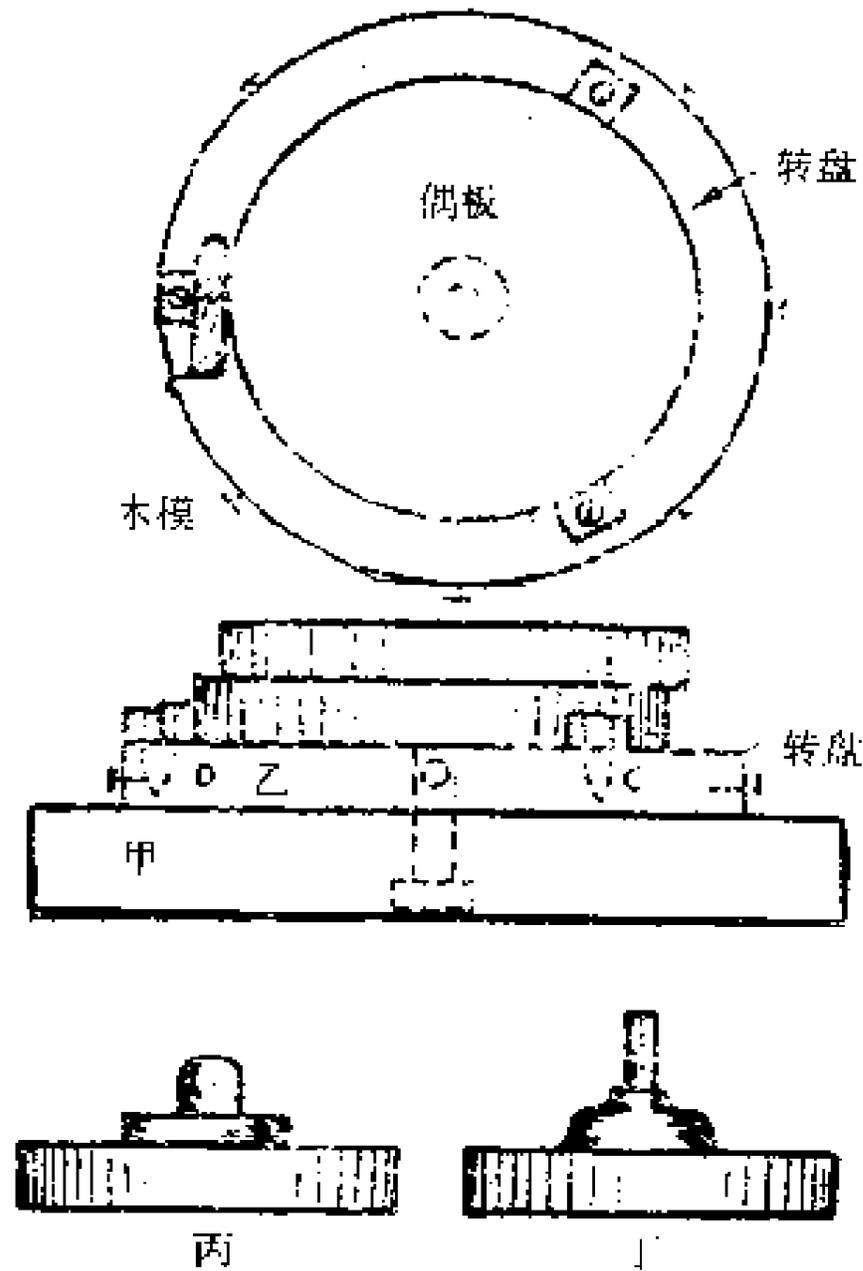


图 33 转动的台面和镜板上安装木柄的方法

(3) 速度 磨镜面的速度最高不应超出每分钟 60 个来回，即每秒钟推拉一次，但最理想的速度是每分钟约 50 个来回。过高的速度只会使玻璃板越磨越薄，而磨不出所求的球面形的凹度。

(4) 转动 为使镜面磨工均匀，必须在偶板上大约每

10 个来回转动一个小角度（约  $30^\circ$ ）。同时为使偶板也保持球面形，工作者必须环绕台面走动，或使偶板的台面转动，而工作者不动。图 33 示台面转动的简单装置。甲是固定的台面，乙是转动的台面。这转动的台面容许工作者坐着操作。15 厘米的镜面可以用手直接掌握，但大于 15 厘米的镜面需加用一个木柄；木柄可用沥青粘牢（图 33 丙）或用一个通下水管的真空橡皮塞子（马桶泵浦），如图 33 丁所示的样子。

（5）温度 在赤手掌握镜面时，手的温度足以影响玻璃的形状，使之局部膨胀。故在转动时应随时改变双手在镜背上的位置，使手上的温度能比较平均地传到镜背上去。更好的方法是带上橡皮手套进行工作。

## 折射望远镜透镜加工的技术程序

加工透镜时，随着研磨所用砂粒的大小不同，可以分为粗磨、细磨和抛光三个步骤。

### 1. 粗磨

粗磨是研磨透镜的第一道工序。在粗磨之前，首先检查好玻璃毛坯的质量。所用的玻璃毛坯以没有气泡、没有水纹、没有颜色等为好。如果有现成的圆形玻璃毛坯，就可以开始粗磨。如果仅有大块的平面玻璃，必需先用金钢刀将玻璃割成圆形，或割成小方块再用钳子把方角挟碎，大致挟成圆形，再在水磨石上慢慢地把边缘打圆。打磨的时候，为了防止玻璃崩裂，先轻轻地倒边（即打磨边上的棱角），再把镜坯磨圆，如图 34。毛坯打圆之后，为了提高加工速度可以先用砂轮把玻璃毛坯的一面按照样板打磨成凸面，大致和检验样板的曲率一样，如图 35。

玻璃毛坯初步加工完毕后，即将其粘结在粘结模上。粘结的方法：（1）先将松香放在一个小铝锅内加温，直到松香成熔融状态。（2）如粘结模为铸铁模，先把粘结模烤热，同时也将玻璃毛坯用慢火烤温。然后将熔融的松香倒在粘结模上，均匀地铺满粘结模的表面。（3）若粘结模上的松

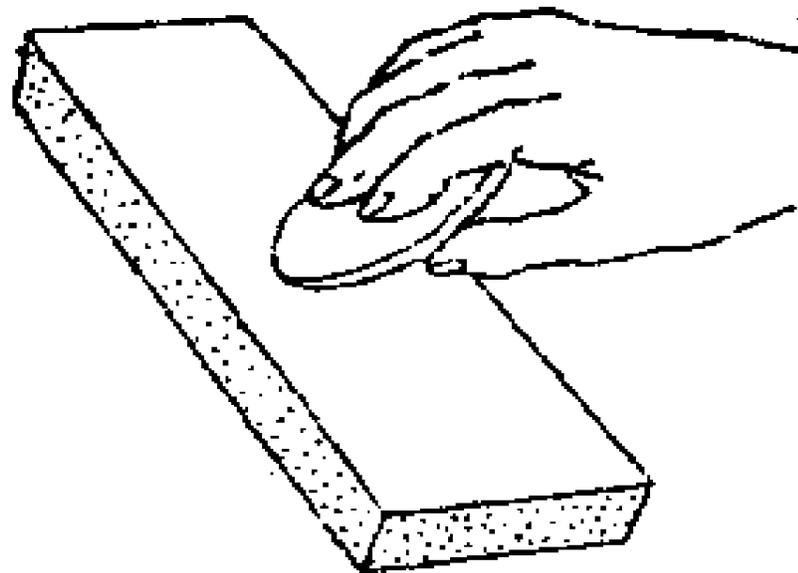


图 34

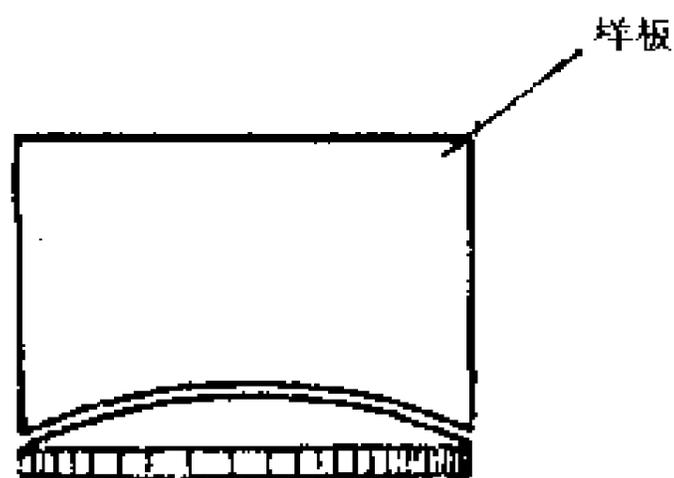


图 35

香温度合适，立即将烤热的玻璃毛坯贴在粘结模上，轻轻将其压平压正，必须使玻璃毛坯的底面处处和松香粘紧。如果在操作过程中，室温较低，使倒在粘结模上的松香又硬结而粘不上玻璃毛坯时，可再将松香烤熔，然后照上述的方法把玻璃毛坯粘上，如图 36 (a) (b)。(4) 将粘好玻璃

毛坯的粘结模固定在手摇研磨机的转轴上，如图 37。



图 36

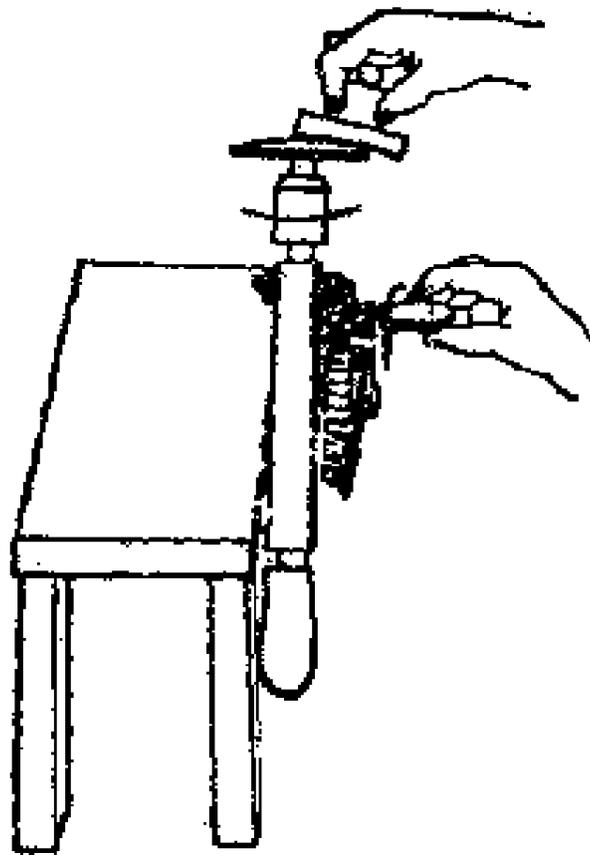


图 37

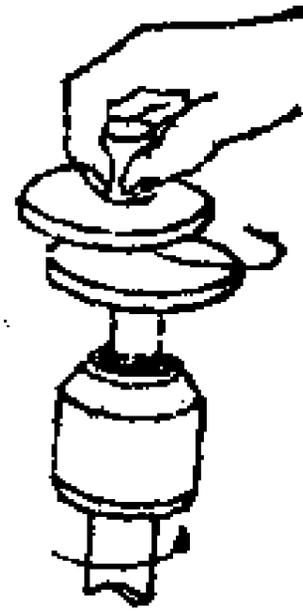


图 38

上述工序做完后，即可开始粗磨。先将少量 120<sup>#</sup> 或 90<sup>#</sup> 金钢砂，装在一个宽口的小瓶内，加入少量的自来水（加水量大约为瓶内金钢砂高度的 1 倍到 2 倍）。用一片小竹片挑出一点金钢砂，均匀地涂铺在玻璃毛坯表面，再加上一两滴水，用右手慢慢地摇动手摇研磨机，使粘结模随着主轴转动。左手拿着透镜模，轻轻地压在玻璃坯上进行研磨，如图 38。

为了使透镜表面磨得更均匀，透镜模必须沿着透镜的直径来回地作直线运动，或以透镜模的中心环绕粘结模中心作椭圆运动。研磨时，一般把上模（磨镜头常把凸模放在下面，凹模放在上面）推或拉的距离叫做“动程”。在正常研磨时，动程一般用  $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{5}$  镜头半径较理想，粗磨时动程可以长一些。当镜头与透镜模已经密合时，多用短动程较合适。

对于天文爱好者来说，150<sup>#</sup> 以内的粗金钢砂，可用河边的石英砂代用（砂的直径 0.5 毫米左右）。用粗砂研磨时，一直磨到玻璃表面处处均匀，而且球面与模具完全吻合，粗磨工作就算完成。

粗磨的速度与砂的粗细、施加的压力和手摇研磨机的转动速度都有关系。砂粒越粗（指砂号），施加的压力越大，转动的速度越快，玻璃的磨损也越快。

## 2. 细磨

细磨是采用 240<sup>#</sup> 以上细金钢砂进行研磨的一道工序，

为了能顺利完成，必须做好准备工作：(1) 把粗磨好的镜头和模具彻底清洗，最好用毛刷仔细洗刷，甚至工作台面、手指甲缝也不例外，以免偶然残留有粗砂，细磨时混进细砂内，使镜头表面划伤（划痕）。(2) 将各种细砂，如 400<sup>#</sup>；500<sup>#</sup>、600<sup>#</sup>、800<sup>#</sup>、1000<sup>#</sup> 等，分别放在干净的宽口小瓶里，加上比金刚砂高约 2~4 倍的干净水，搅拌均匀，让砂粒慢慢沉淀待用。(3) 把粗磨完成的镜头连同粘结模，插紧在手摇研磨机（或手摇钻）的转轴上，即可进行细磨。

细磨的操作方法与粗磨相同，可是，加砂时，必须注意用挑砂匙轻轻地挑取砂的上层，均匀地涂在准备细磨的镜面上，大约涂满镜面的 2/3，再加上两滴水，即可研磨。挑砂时，不要挑到底层，主要是因为砂粒越粗，下沉越快，底层的砂往往是不干净的，研磨时很容易造成镜面划伤，出现划痕，从而影响镜面的光洁度。万一在细磨中镜面突然出现白色划痕，必须用上一道砂返工重磨，有时甚至用更粗的砂才能磨去。

在细磨过程中，因为所用的砂越来越细，所以每换一道砂，必须把上一道较粗的砂孔磨去，使镜面处处都呈均匀的毛玻璃，方可换下一道更细一级的砂研磨。如果一道砂磨得不够时，只要把镜面清洗擦干之后，就会发现镜面有许多较粗的砂孔，如图 39。这时如果再继续磨下去，这种砂孔便逐渐稀少，最后会全部消失。

每换一道更细的砂研磨时，都应该严格地做好洗清工作，以保证细磨时顺利进行，不会突然出现划痕。



图 39

在细磨过程中，万一缺某一号细砂，也不必焦急。解决的办法有两个：一个是在将要换砂时，不要立即停止研磨，也不要再加砂；而是在镜面上滴几滴水之后，继续研磨，直到从手感上觉得镜面残存的砂已明显磨碎消失即可。如果手感上觉得镜面砂粒已经消失，就不要再磨下去，否则，镜面极容易出现划痕。这样做的目的，主要是使镜面磨得更细一点，即使跳过一级砂号研磨，也不会因此而影响镜面的光洁度。

细磨时，在研磨模上施加的压力不要太大，而且，随着砂粒越细，施加的压力也要相应的轻些，否则，容易崩边。同时，模子在研磨中运动要稳定，手拿磨模的着力点越低越好，以保证模子能尽量紧贴着玻璃表面稳定运动。这样，研磨出来的镜片准确度才能够得到保证。

细磨到最后一道细砂磨完以后，不要立即停磨，应该把磨模轻轻拿起来，在镜面上滴几滴水再磨一道，然后彻底清洗，等待抛光，这样可以加快抛光的速度。

### 3. 抛光

把抛光模和需要抛光的镜头，工作面等彻底清洗干净，

然后把粘好镜头的粘模固定在研磨机转轴上，用一支干净新毛笔，将氧化铁（也叫铁红粉）水悬浮液，稍加搅拌，用毛笔沾上一点红粉水，扫涂在镜头上，并将镜头压在抛光模上，用磨砂时那种磨法进行研磨抛光。在抛光的过程中，应随时注意镜面光亮的均匀性。如果镜面亮度不均匀（中间先亮或旁边先亮），就必须找出原因（有时候行程太短，中心部分抛得慢，行程太长，边缘部分抛得慢）。如果改进的研磨方法都不见效，必要时重新压模后再抛光，直到镜面全部抛亮，在强光下看不到残余砂痕，抛光工作便算结束。

## 透镜抛光后的检验

一般说，抛光时抛光模的运动如果比较稳定，不发生晃动现象，加工出来的镜片合格率还是比较高的。抛光时最容易出现毛病的，常常是平的那一面。所以，抛光好的镜片，平的那一面，必须用标准平面（即平晶）进行光干涉检验，检验时最好在黑光灯底下观测，干涉条纹比较容易看到。

检验的方法，是把要检验的平面和标准平面擦干净，不允许有一点灰尘或脏物留在上面，否则，容易把标准平面磨坏，甚至不容易看到干涉条纹。然后，将标准平面轻轻压上去，在黑光灯（农用紫外线日光灯）下即可看到清晰的光干涉条纹。如果看到的干涉条纹是一些同心圆，而且用手指在标准平面的边缘轻轻一按，干涉条纹的圆心便向着力点方向移动，或者当检验者一低头时，干涉条纹便向四周发散，即说明镜面是凸的。相反，当干涉条纹向着力点相反方向移动，或者当检验者低头时，干涉条纹便从四周收缩，即说明被检验镜面是凹的。假如出现的干涉条纹是一排排平行直线，即说明镜面是合格的平面见图 40。对普通玻璃来说，折射率  $n \approx 1.53 \sim 1.54$  之间，如果取  $n = 1.53$  时，即  $r_1/r_2 = 1/9$ ，也就是第二表面的曲率半径大约

要比第一表面的曲率半径大 9 倍，用这样的透镜做望远镜物镜，它的球差才最小。

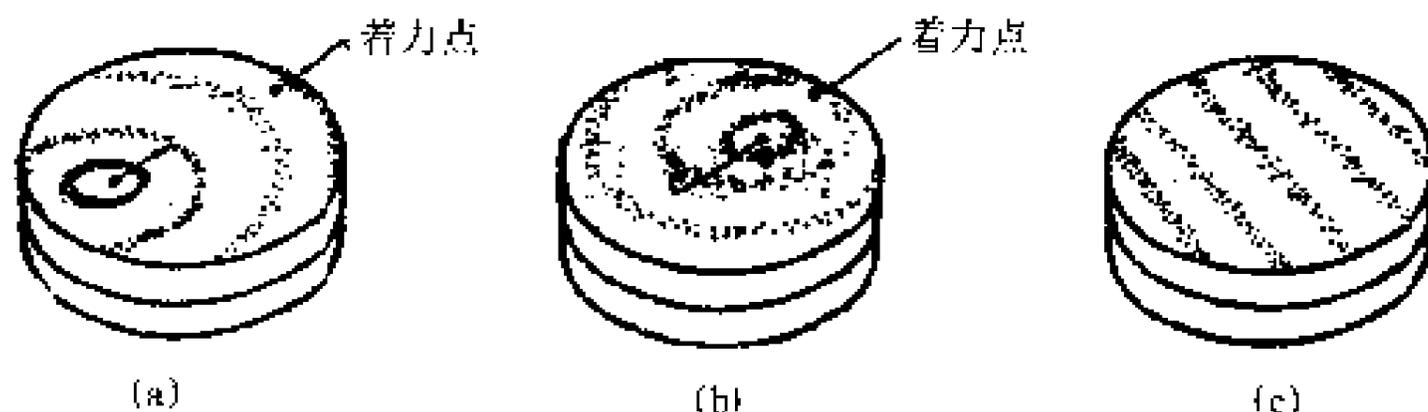


图 40

假若我们用一块标准平面，通过观测牛顿环方法来检验透镜的第二表面时，可用公式

$$r = \frac{2R^2}{(2K-1)\lambda}$$

求出镜面大概的曲率半径  $r$ 。式中  $K$  为干涉环的环数， $R$  为最大干涉环的半径， $\lambda$  为作干涉观测用的光波波长。

对于一般简单的折射望远镜来说，望远镜物镜的焦距都比较大。所以，物镜的第一表面曲率半径  $r_1$  也比较大。为了加工方便，有时也可以把透镜的第二表面加工成平面，用标准平面作干涉检验时，只要看到平行的直线干涉条纹就行，如图 40 (c)。

除用光的干涉方法检验以外，最简单而可靠的检验方法，就是“直接观测检验法”，即将抛光好的透镜，安装在一个长度与物镜焦距  $f$  相同的塑料筒或纸筒上，镜片的凸

面向外，然后，把镜筒对着远处目标，用目镜进行观察。如果成像清晰，镜片研磨就算合格。否则便不合格，必须返工重磨或者重新抛光修改。

## 凹面镜（反射望远镜物镜）的加工程序

(1)粗磨 粗磨是把平板玻璃磨成所需要的粗糙球面。

在工作台上先垫上几块厚布，然后把工具玻璃固定在工作台上。把物镜玻璃放在工具玻璃的上面，在两块玻璃之间加入金刚砂和水，就可以进行研磨了。

磨制的过程中要有 3 种动作。第一种动作是要使物镜镜面前后移动；第二种动作是要使物镜镜面缓慢转动；第三种动作是人和物镜一起绕工作台缓慢转动。

在镜面前后移动的动作中又有 3 种磨法，如图 41 所示。第一种磨法是物镜镜面正对着工具玻璃的中心推动，叫做径动；第二种磨法是物镜镜面沿着工具玻璃的弦推动，叫做弦动；第三种磨法是物镜镜面绕着工具玻璃的中心作椭圆运动，叫做椭圆动。粗磨时要多用弦动，因为弦动磨得较快。

在 3 种磨法中又有不同的动程。在径动中，每次径动动程稍小于半径，一次比一次向前推进，总的径动动程稍小于直径。在弦动中，弦动动程稍大于半径的  $1/3$ 。在椭圆动中，物镜镜面的中心不能超出工具玻璃。

在研磨的过程中，两手用力要均匀，每次推拉用力要

一致，砂水的比例要适中，砂子要不断换新的。

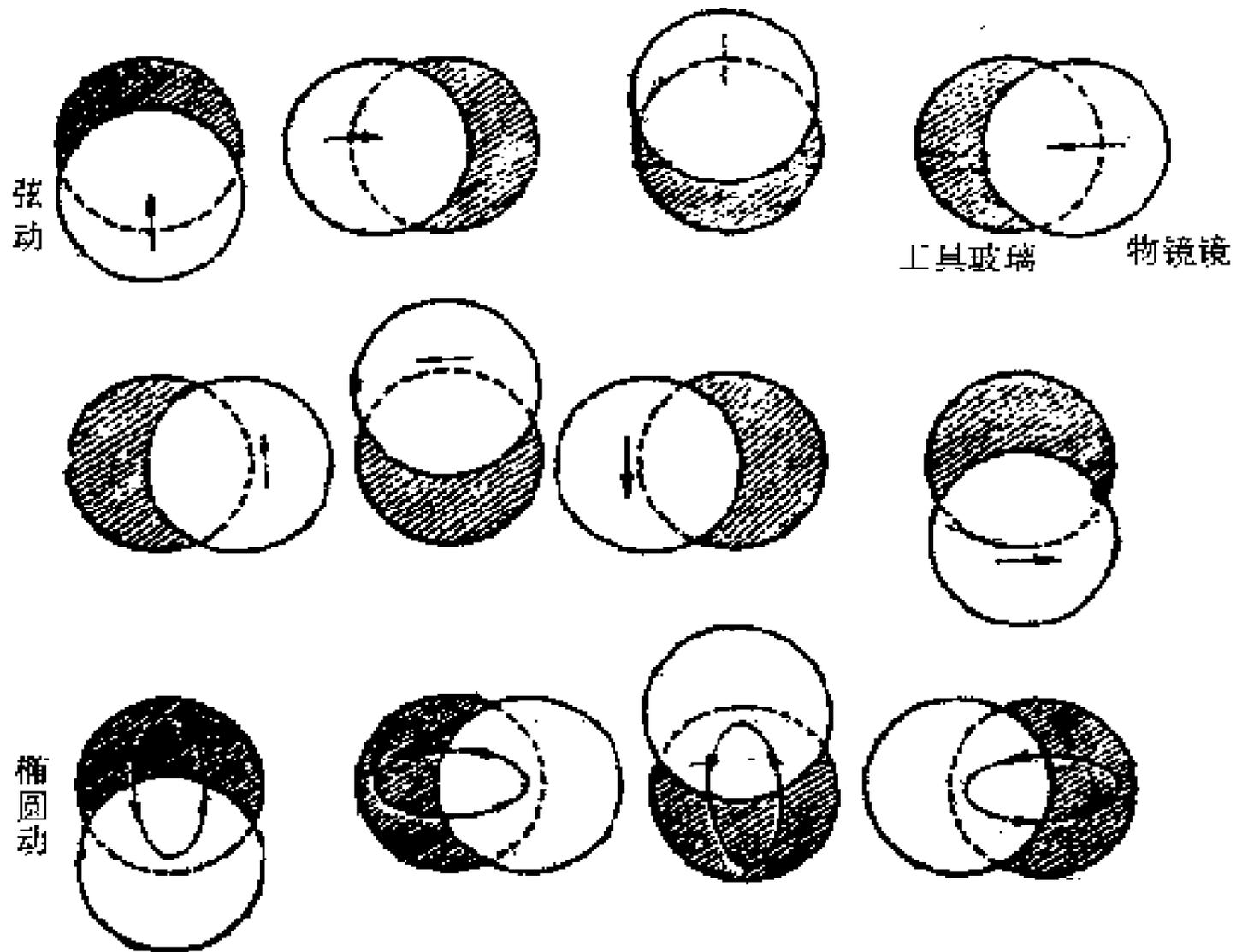


图 41 前后移动的三种磨法

粗磨几个小时之后，就要经常检查镜面的焦距。检查的方法有两种，一种用型板，另一种用太阳光检验。用型板的方法，首先要做一块型板。找一张厚纸板，用物镜焦距的两倍长为半径在厚纸板上画一圆弧，如图 42 左所示。按镜面直径的大小剪切一块就成了型板。检验的时候，型板同镜面对齐，检查两者的密合程度，如图 42 右所示。就可以知道镜面应该怎样再磨了。

用太阳光检验的方法，要在镜面上涂上一些水，对着

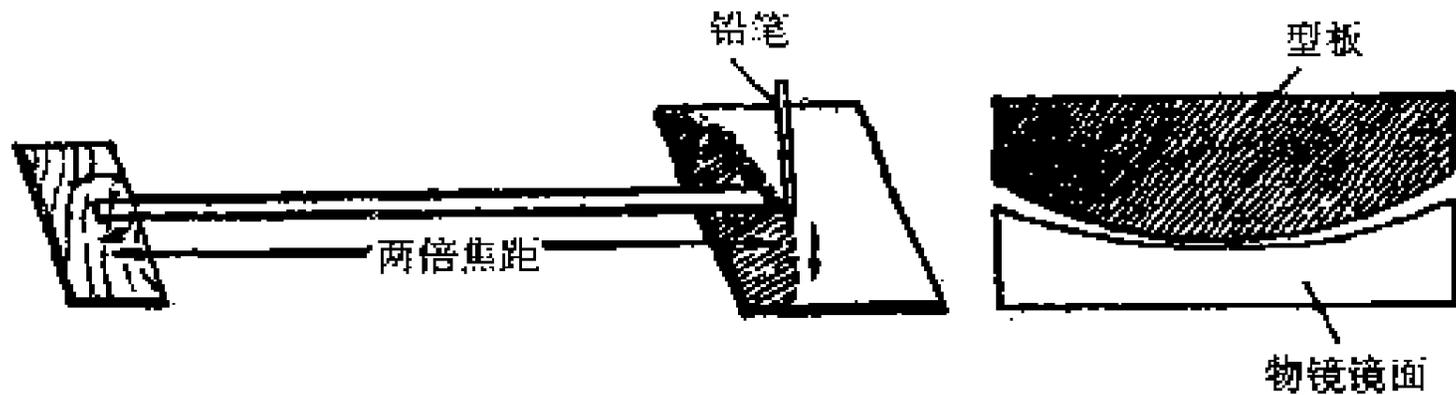


图 42 用型板检验物镜的焦距

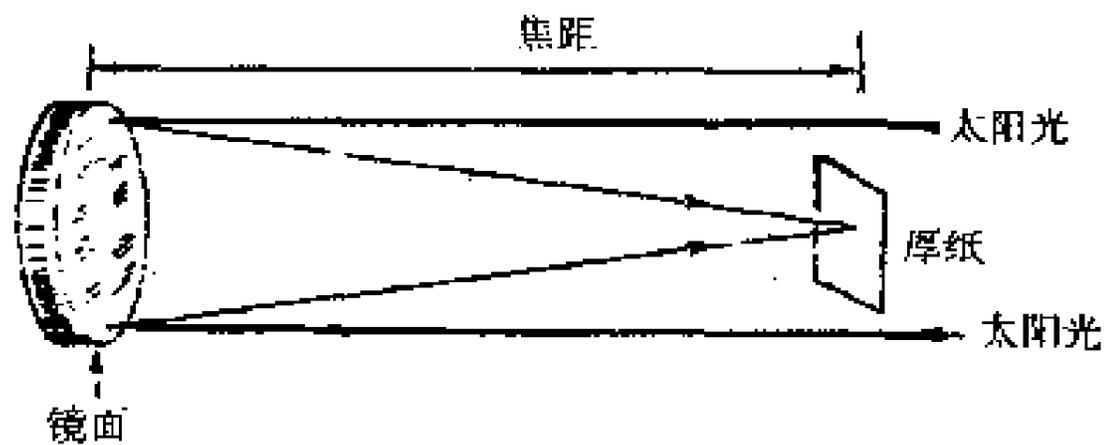


图 43 用太阳光检验物镜的焦距

阳光。在镜前面放一张小白纸，找到太阳光在白纸上成像最小而且清楚的位置，量出这个位置到镜面的距离，就是物镜的焦距，如图 43 所示。

经过检查，镜面焦距比设计的焦距稍长一些就可以结束粗磨，过渡到细磨。

(2) 细磨 细磨是把比较粗糙的镜面磨去砂痕，并且磨成更准确的球面。

细磨前要做一次清洁工作，冲洗工作台、工具玻璃、物镜镜面以及其他用具。

细磨的时候，大多用径动法，动程约为半径的  $1/3 \sim 1/4$ 。整个细磨过程要用多种号数的砂子，后一级要磨去前一级的砂痕，后一级所用的砂子要比前一级的细。

用某一号砂子磨了一段时间之后，可以用高倍率的放大镜仔细检查镜面的情况。如果各处已经没有前一号砂子的砂痕，就可以换用后一号的砂子。每号砂子一般磨一二小时。研磨的时候，砂子要均匀分布在镜面各处，砂同水的比例要适当。

在细磨的过程中也要经常采用太阳光的方法检查物镜的焦距。

在用氧化铝 M303 和 M304 磨过之后，镜面就应该呈半透明。这时候，如果用太阳光检查确认成像清楚、焦距合适，就可以停止细磨，进行抛光了。

(3) 抛光 抛光是把半透明的镜面研磨成完全透亮的镜面。抛光的时候，要用较软的沥青模子代替工具玻璃，要用红粉做磨料。

制作沥青模子，首先要熔化沥青，并且用纱布过滤，如图 44 所示。经过过滤的沥青，倒在用黄板纸围着的、预先烘热的工具玻璃上，厚度约 5 毫米。等到沥青开始变硬的时候拆去黄板纸，把涂有肥皂水的镜面压上去，使镜面同沥青面相互吻合，如图 45。然后把边缘的沥青切去，取下镜面，用小刀在沥青模子上刻槽，如图 46 所示。槽宽  $3 \sim$

4 毫米，槽距 30~40 毫米，冬天可以窄一些，夏天可以宽一些。

刻好槽后，把沥青模子放入热水中，使沥青模子变软。取出后再把涂有肥皂水的物镜镜面压上，使镜面同沥青模子完全吻合。镜面压在沥青模子上几小时（冬天约 10 小时，夏天约 5 小时）后才能使用。

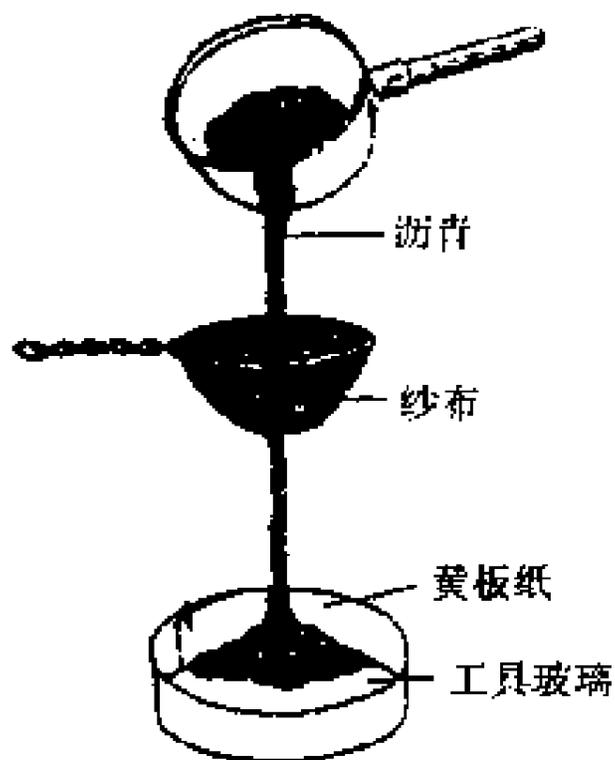


图 44 用纱布过滤沥青

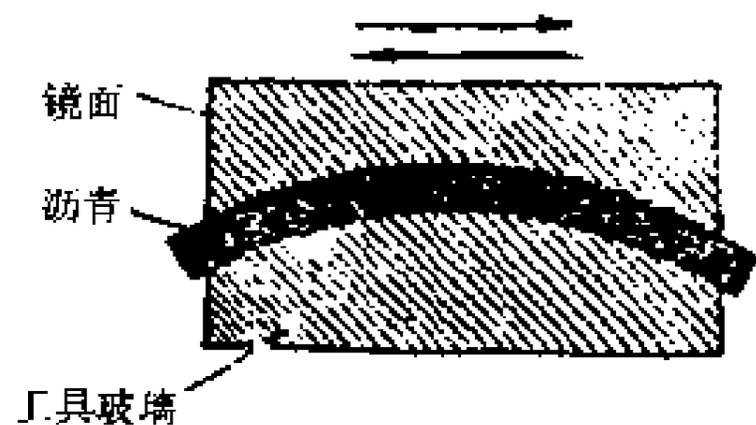


图 45 压沥青模子

抛光的方法同细磨相似。抛光时大多用径动或椭圆动，速度要慢，慢起慢止。红粉同水的比例大约 1:7。当看到红粉变黄，就要取下镜面，把沥青模子洗净，另加入新红粉。抛光的时间大约要用 10 小时，甚至更长一些。

在抛光的过程中，还要不断检验镜面，不断修改镜面，使镜面呈光亮的球面。修改镜面的工作往往需要几天甚至

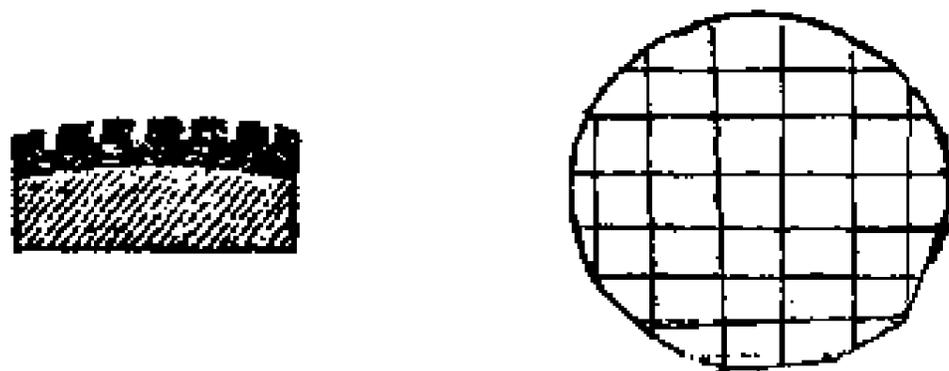


图 46 在沥青模子上刻槽

几个星期。

(4) 物镜的检验和修正 检查所磨的镜面是不是准确的球面，常用刀口检验法，如图 47 所示。

检验工作要在暗室里进行。把物镜镜面放在一个能够使镜片直立的框子上，如图 48 所示。在距离镜面两倍焦距的地方，安放一个光源（可以用去掉聚光罩的手电筒光做光源）。光源不放在镜面的主光轴上，而是偏左一点。这样，光源的像就离镜面主光轴偏右一点。如果观测者的眼睛处在像点的后面，就会看到整个镜面是光亮的。

用一把小刀放在眼前慢慢切割光线，同时观察镜面影子的变化。当刀口在像点以内的 1 处慢慢向左移动的时候，观测者就会看到镜面从右向左慢慢变暗（刀口移动方向同黑影移动方向是相反的）。当刀口在 2 处（像点）挡住反射光的时候，镜面就全变暗了。当刀口在像点外的 3 处慢慢向左移动的时候，镜面从左到右慢慢变暗。

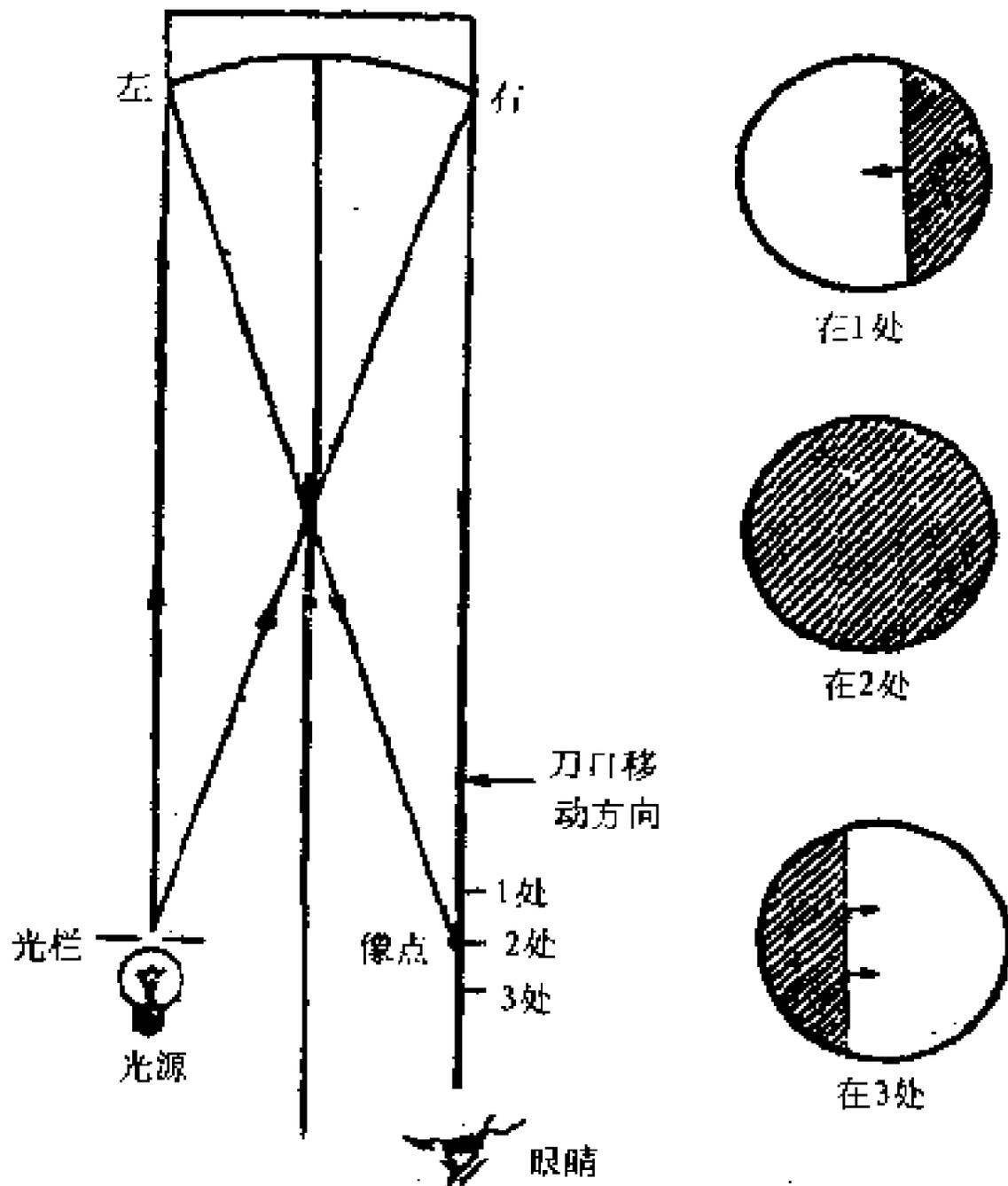


图 47 刀口检验法

上述的情况表明镜面是准确的球面。实际上，初步磨好的镜面总是不够准确的地方，有些地方可能高一些，另一些地方可能低一些。因此，用刀口逐次挡住玻璃面反射光的时候，在镜面上会出现明暗交错的现象。这就需要记录明暗位置，分析产生的原因，然后用适当的办法加以修正。

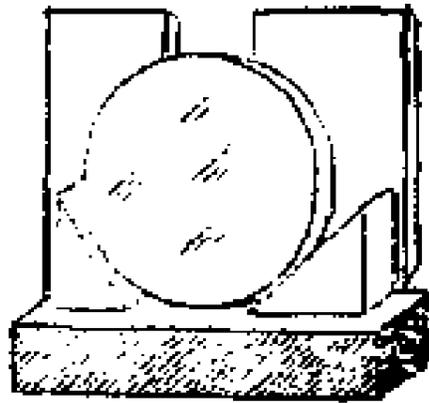


图 48 直立镜片的框子

比如镜面的中央稍微凸起，当刀口在 2 处从右向左移动的时候，一开始中央偏右的部分就变暗，接着外边边缘变暗，最后中央偏左部分才暗下来，如图 49 所示。产生中央凸起的原因，可能是工具玻璃的中央较低，或者动程太短，或者两者都有。修正的办法是用较长的动程来抛光。如果中央区域凸起较多，可以做一个小的沥青模子，在高出的区域作螺旋形抛光。

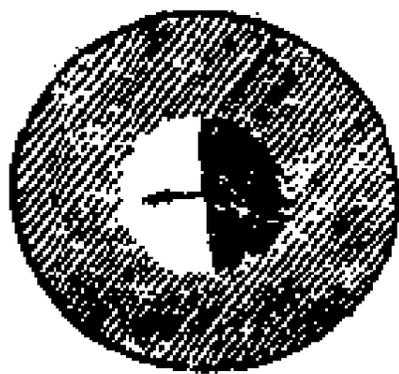


图 49 镜面中央稍微凸起

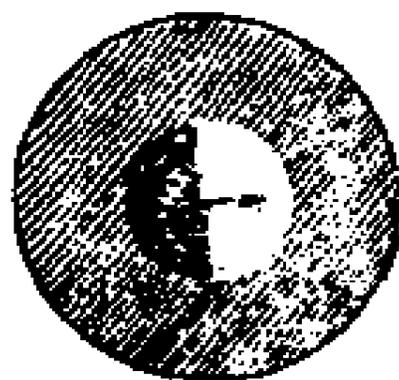


图 50 镜面中央稍微凹下

又如镜面的中央稍微下凹，当刀口在 2 处从右向左移动的时候，一开始中央偏左的部分就变暗，接着外边缘变

暗，最后中央偏右部分才暗下来，如图 50 所示。修正的办法是用较短的动程抛光。

(6)物镜镜面镀银 在已经抛光的镜面上镀上一层银，可以大大增强银面的反射能力。镀银要有相当的设备，技术也比较复杂，最好能请天文台或者光学仪器厂帮助解决。

如果自己动手镀银，需要有以下用具：烧杯、量筒、天平、玻璃棒、玻璃管、药棉、蜡纸、胶布等。需要用以下药品：硝酸银、氢氧化钾、氨水、酒石酸、浓硝酸、酒精、砂糖、蒸馏水等。药品要高纯度的，使用之前要分别保存好。

镀银的工作步骤如下：

①配制还原液。还原液的配方是：蒸馏水 250 毫升、砂糖 22.5 克、酒石酸 2 克（或浓硝酸 1 毫升）、酒精 45 毫升。这个配方配得的还原液可以满足 100~150 毫米物镜镀银的需要。

配制还原液的方法是：先把砂糖加入蒸馏水中烧煮，再加入酒石酸，等到冷却后再加入酒精，过滤后贮存在瓶中。这种还原液要贮存 1 个星期以后才好使用，冬天要贮存 1 个月以后才好使用。

②清洗镜面。这是很重要的一步。如果镜面上有油污，就不能镀好银。先用棉花蘸肥皂水把镜面洗擦干净，再用净水冲洗。等镜面干后，用蜡纸把边缘围起来，纸高出镜面 30~40 毫米，围好后用胶布粘好，如图 51 所示。蜡纸外边还可以

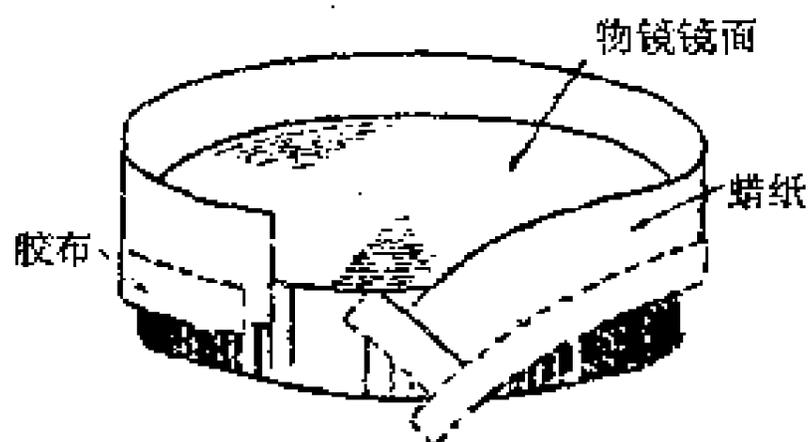


图 51 用蜡纸把镜面围起来

包几层纸板，用绳子捆紧。然后用小木棍卷几个棉花球，蘸上浓硝酸擦洗镜面 2~3 遍，镜面边缘都要擦到，擦好后用水冲去硝酸，再用蒸馏水冲洗几次。最后在镜面上留 5~10 毫米的薄水层，以保持镜面不被弄脏。直到倒入镀银液的时候，都不能让镜面出现干的部分。

③ 配制镀银液。镀银液的配方分 a 液和 b 液。a 液是：蒸馏水 75 毫升、硝酸银 5 克、氨水适量；b 液是：蒸馏水 50 毫升、氢氧化钾 2.5 克、氨水适量。

镀银液要现用现配。先配制 a 液。把硝酸银溶于蒸馏水中，再把氨水慢慢滴入溶液内，用玻璃棒不停地搅拌，当溶液由褐色逐渐变成透明的时候就不再滴入氨水了。

再配制 b 液。把氢氧化钾溶于蒸馏水中，然后慢慢倒进配制好的 a 液中，边加边搅拌。再滴入氨水，直到溶液变清为止。配制 b 液要按要求慢慢进行，以防发生爆炸。为了安全，操作时要戴上防护眼镜。

①镀银。用干净的烧杯量取还原液 30 毫升，同镀银液一起倒到镜面上，轻轻摇动镜面，使两种溶液充分混和。这时候溶液又变黑。3~4 分钟后，镜面上就有一层亮的银膜。用扎在小木棍上的棉花球轻轻地擦镜面。用力要小，以免擦破银膜。再过几分钟，等到银膜长得厚了些，就可以把药水倒出来，再用清水冲洗镜面。拆去胶布和蜡纸后再用蒸馏水冲洗一下，就可以把镜面竖起来晾干。

镀得好的镜面是不透光的，最多只能看到后面电灯的灯丝。如果太透光了，说明镀得太薄。这时候可以用硝酸洗去银膜，重新镀银。

通常在镀好银的镜面上，有一层白色的雾状物，需要把它擦掉。镜面晾干以后，用一块柔软的麂皮（擦照相机镜头用的麂皮），包一团棉花，在麂皮上面擦些干细红粉，然后轻轻地擦拭银膜，如图 52 所示。擦拭时用力要小而均



图 52 用麂皮轻擦镀好银的镜面

匀，不要拉出细纹来。经过擦拭后，镜面就变得洁白明亮，一个可用的物镜就做成了。

在镀银的过程中，周围环境的温度要在  $18\sim 25^{\circ}\text{C}$ ，溶液的温度要在  $18\sim 20^{\circ}\text{C}$ 。夏天可以在早、晚进行，冬天最好在中午进行。

### 物镜镜面的刀口检验

由于反射镜表面的质量要求很高，因此，只能采用最精密的“刀口检验”方法进行检验。“刀口检验”的方法，原理虽然简单，但精密度却很高。有人计算，其精密度最少可以达到  $0.015\lambda$  以上，比一般光学零件的瑞利公差  $\frac{1}{4}\lambda$  还要高出 17 倍，对于保证精密度很高的光学镜面加工，完全是足够的了。

最适合于业余天文爱好者作物镜质量检验的方法，要算是刀口检验了。最简单而又可靠的刀口检验方法，有下面两种装置。

#### 1. 手电筒配合小刀进行刀口检验

其方法是用一支普通的手电筒，把带反光罩的电筒头部拆下，使小灯珠露出外面。

根据刀口检验的原理知道，为了得到更好的检验质量，所用的光源必须是点光源。因此，购买作为刀口检验的手电筒小电珠（小灯泡）时，必须选择额定电压为  $1.5\sim 2.5\text{V}$  的，这种小电珠的钨丝是一字形排挂的，使用时只要将灯

丝的走向对着物镜方向。这样，投射到镜面上的发光钨丝横截面，便成为一个点光源。

检验镜头时，只要用手电筒竖立在物镜的曲率中心附近，眼睛注视镜面，并前后左右移动手电筒，直到眼睛看到镜头上，小灯珠钨丝的像扩大把整个镜面充满为止。这时，眼睛看到镜面，就像一个太阳那样。然后，用小刀（刀口越平滑越好）的刀口贴近睫毛切割过去，同时眼睛注意镜头的刀口影子变化、移动速度、影子的形状、分布情况等，借此判断镜头表面的准确情况，如图 53。 $L$  为光源， $E$  为眼睛， $N$  为小刀。此法设备十分简单，任何天文爱好者都可以做到。经验证明，这种检验的方法，准确度完全符合天文爱好者自己制作天文望远镜的要求。不过，这种方法只能定性，不好定量，不能作抛物面的检验。

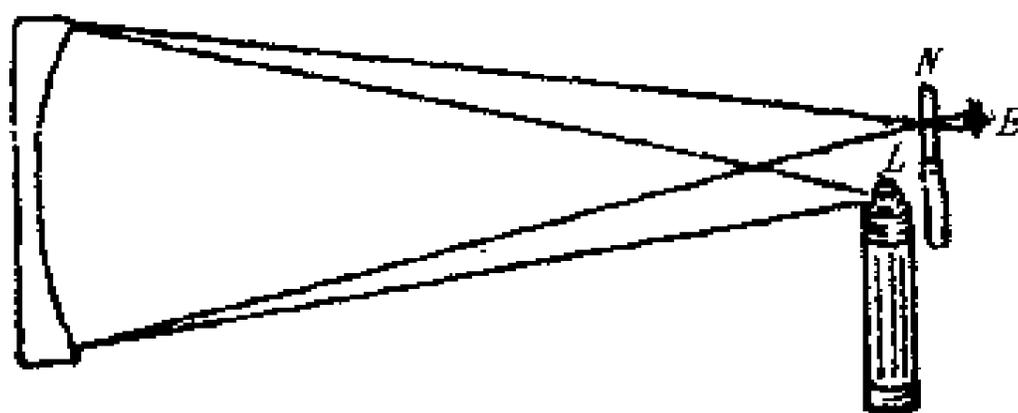


图 53

## 2. 刀口检验简单装置

刀口检验最简单的装置，如图 54 所示。

刀口是用锯片作的。

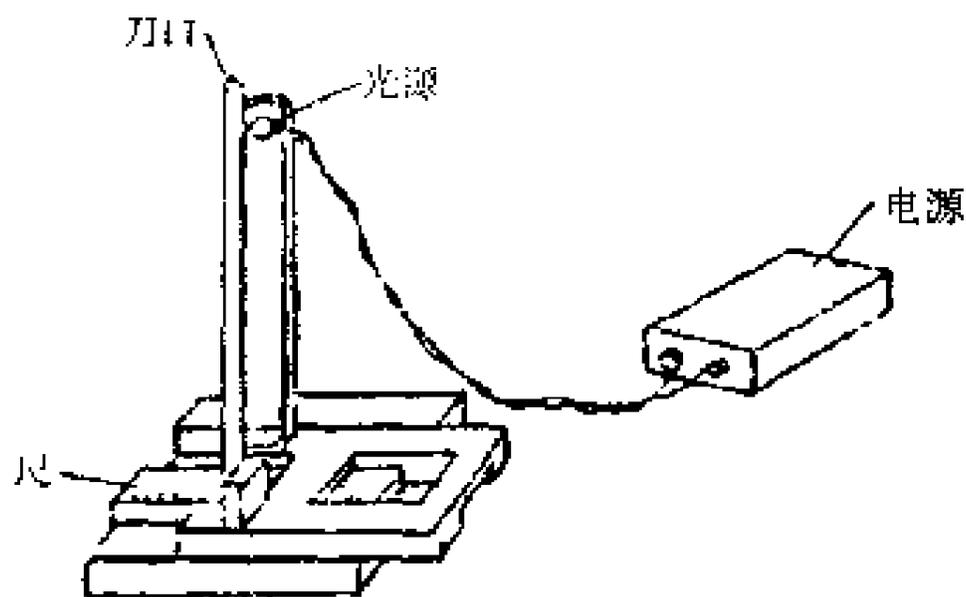


图 54

刻度靠条，上面镶有刻度尺并且刀口座可以靠在上面活动。

点光源是 1.5~2.3V 的小电筒灯泡。使用时，灯泡的钨丝方向应该转到与刀片平面相垂直的位置（也就是与镜面相垂直的位置），以便获得较细的接近于点状的光源，使检验的灵敏度更高。

检验的原理，如图 55。当灯泡发出的一束光线，到达镜面  $L$  之后，边缘的反射光线 1 和 2，都集中在镜面光轴的  $f$  点上。当刀口从侧边向  $f$  点慢慢地割进去时，就可以用眼睛看到镜面  $L$  上，原来像太阳的那样一团亮光中，有一个刀口的阴影。从阴影的不同形状（是直线或弯曲等），分布情况，便可判断出镜面的各种偏差。如果细磨不准确，或抛光不均匀等，都可从镜面上刀口阴影的分布形状表现出来。例如，出现边缘低时，其光线反射如图 56。边缘的光

线集中在光轴  $f_2$  点上，中间部分的光线则集中在  $f_1$  点上。这时，如果刀口从  $F$  点割下去，则可看到镜面的阴影，中间部分对面光暗，边缘部分则与刀口同一边的先暗。这就是一种倒边现象。倒边和镜头中心低，阴影图形基本相同，只是中间低的镜头，边缘阴影范围比较宽而已。

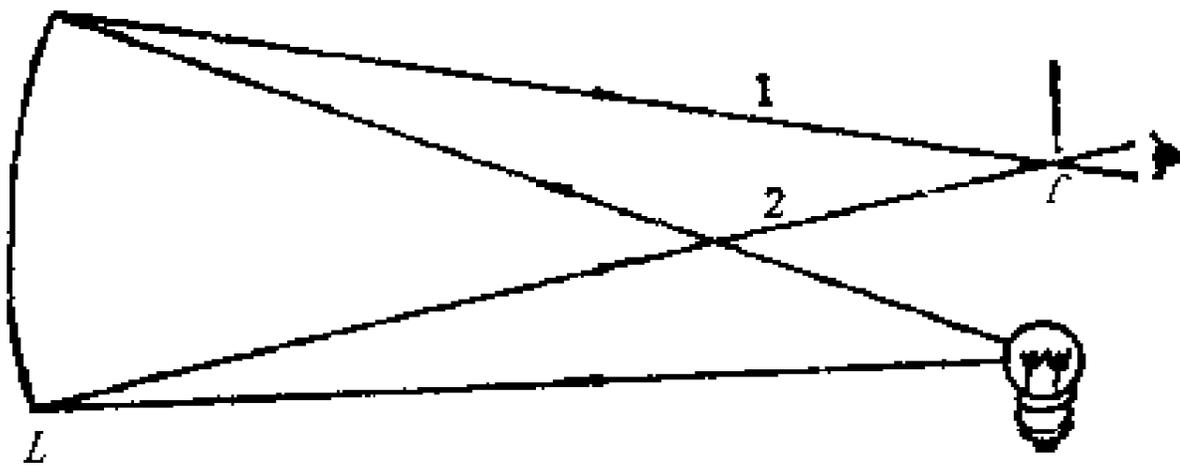


图 55

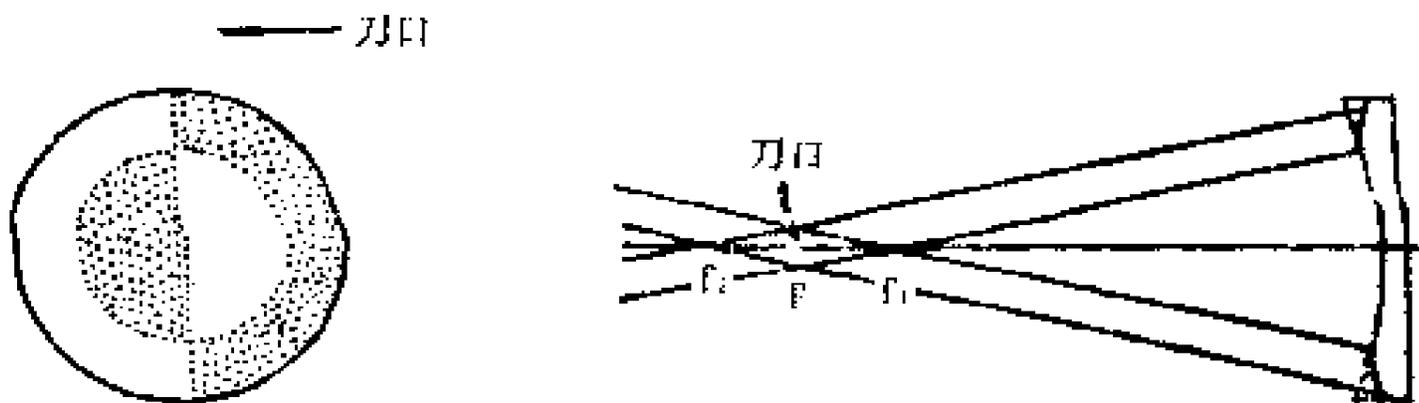


图 56

如果镜头出现中心高(如图 57)、当刀口从  $F$  的地方割过去，首先被刀口接住 2、4 两条光线。所以，在刀口检验

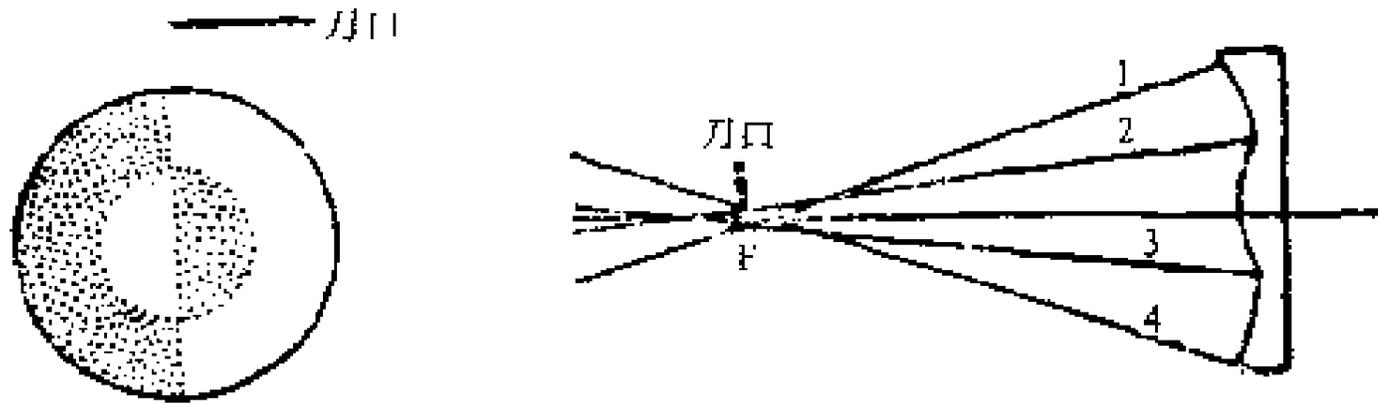


图 57

下，可以看到镜头边缘对面的部分光暗。而镜头中间部分，则与刀口同一边的半边先暗。这就是中心高的一种现象。如果镜面出现如图 58 那样的阴影图形，在镜头半径的中部区域，有两个互相套接的亮暗环，位于同刀口切入位置相反方向的区域，如图 59。根据光路分析可知，当刀口从  $F$  点割下去时，首先遮去的光线是 1, 3, 4, 7 共四条光线，其他部分光线未被挡住。故说明环带区域  $a, b$  有一个低环。有时，出现的暗环图形，刚好和低环带图形方向左右相反，如图 60。与低环带图形相类似的光路分析，可以知道，这是一种高环带的镜面。有时，镜面也会出现一种太极图影像，如图 61。这种图形，说明表面很不均匀，暗的地方低，明亮的地方高，而且高低很不对称。就像刚上锅的油饼，有些地方高出，有些地方低下那样。

如果镜面是一个准确的球面，由于刀口和点光源都位于垂直光轴的平面之上。因此，点光源发出的光线，到达镜面以后，必然会合于光轴上与光源对称的一点  $F$ 。当刀口

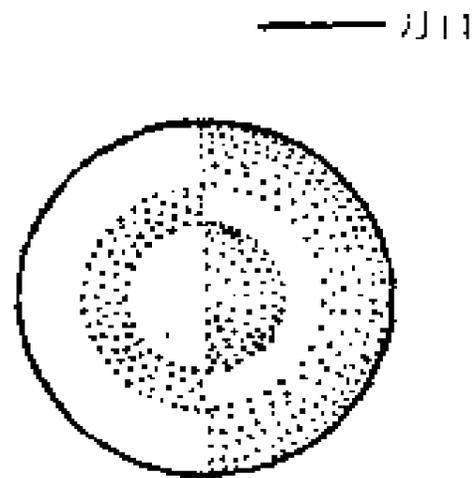


图 58

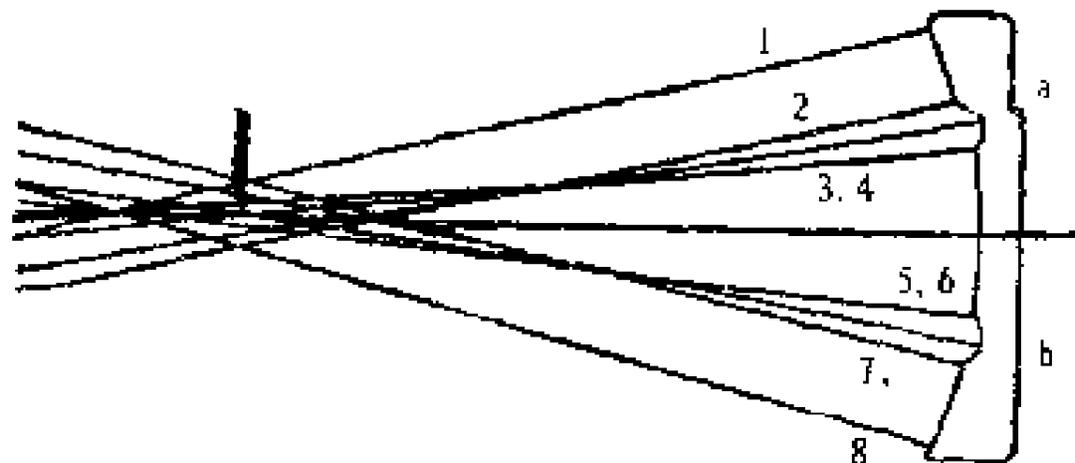


图 59

在  $F$  点割下去时，即可看到镜面上的刀口阴影很模糊，而且几乎一碰即暗，很难看清刀口的清晰形状。不过，由于光源只是一个很小的光点，不可能是真正的点光源。所以，当刀口慢慢地割下去，就会勉强看见镜面还是有明暗分界，但反差并不很强，而是模糊不清的界线影子。如果刀口割

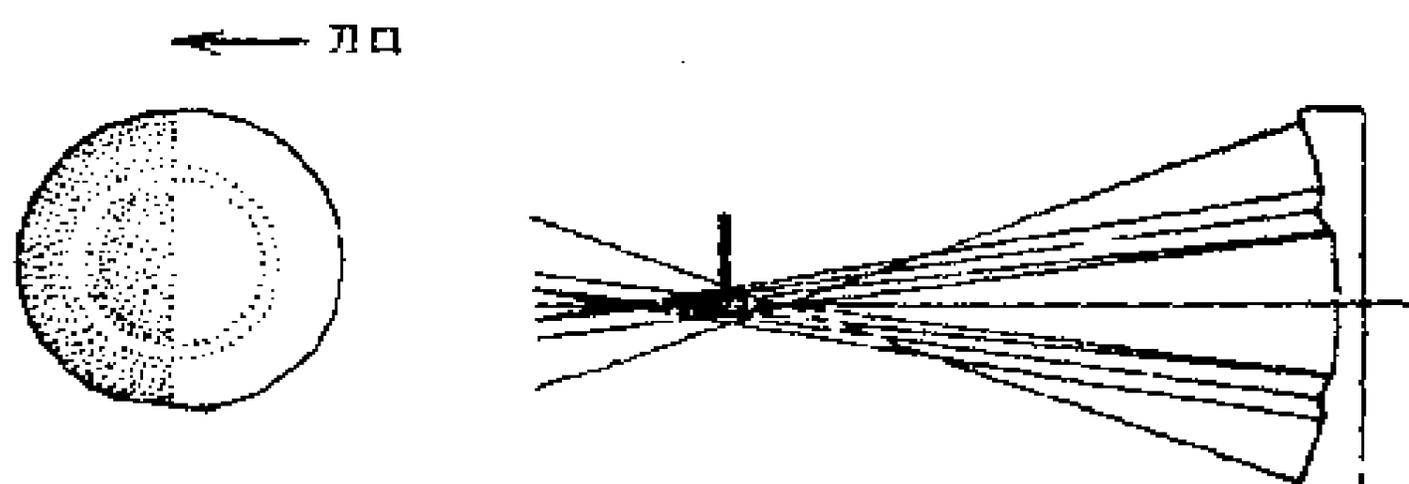


图 60

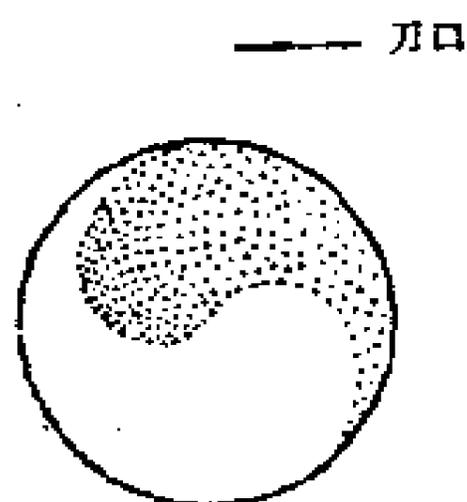


图 61

下是  $F$  点附近的  $A$  点，将可看到镜面上刀口阴影界面大致是一条模糊的直线，与刀口割下的方向相同，并平行地向对面移动，如图 62。若刀口在  $F$  点附近的  $B$  点割下时，刀口阴影界面也是模糊直线。只是刀口影子的移动方向，与刀口移动的方向相反而已（如图 63）。

总之，进行刀口检验，必须掌握两原则：一个原则就是，如果看到刀口阴影移动的方向，与刀口本身移动的方向

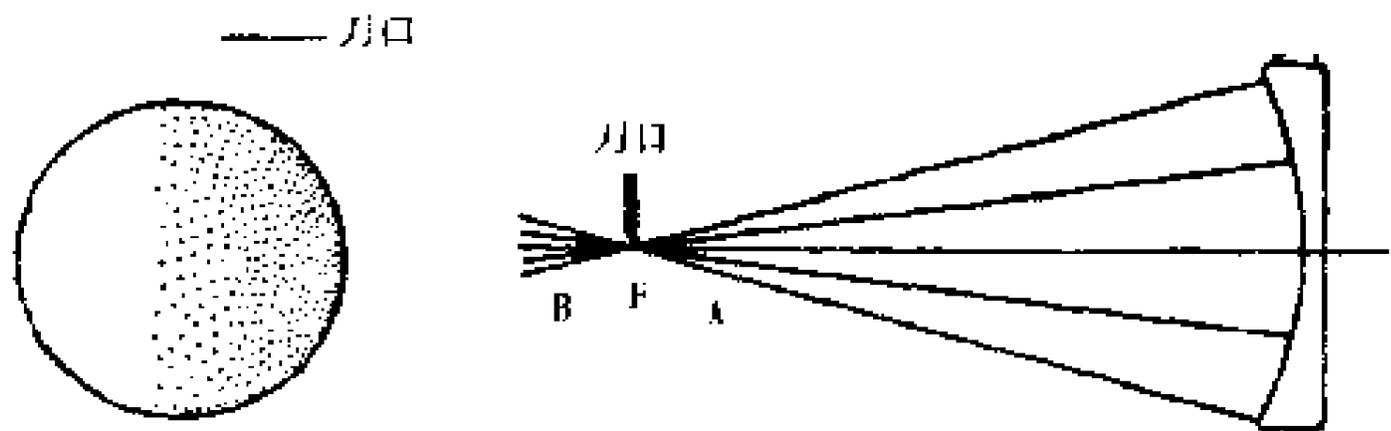


图 62

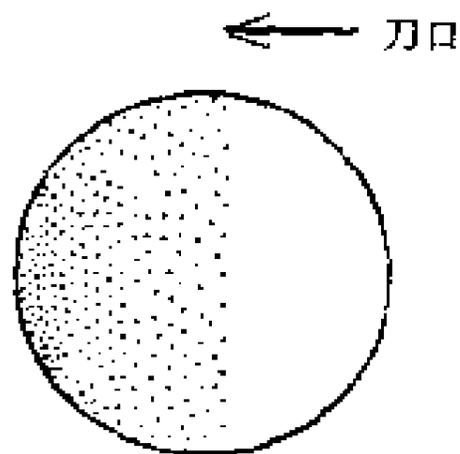


图 63

向相同，位于阴影位置的这部分镜面曲率中心，在光轴上离镜面要比刀口位置远些，镜面这部分应该是凸的。另一个原则是，如果看到刀口阴影移动的方向，与刀口本身移动的方向相反，位于阴影位置这部分镜面的曲率中心，在光轴上离镜面要比刀口位置近些，镜面这部分应该是凹的。

另外，还要注意几个要点：

(1) 用刀口检验的方法检查镜面，一定选择从镜面的

曲率中心处进刀，检验结果才最灵敏。

(2) 如果选择在镜面曲率中心进刀作刀口检验，看到镜面的阴影如果是一触便暗的或者刀影移动很快、亮暗界面十分模糊不清，说明镜面就是准确的球面。

(3) 如果发现镜面有向相反方向移动的交错阴影，说明镜面的球面不够准确。

(4) 凡是在移动方向相反的两个阴影相接触的部位，即镜面上相对应于这部位的环带，必然是镜面上升和下降的交界线。

(5) 镜面的毛病越严重，阴影反差越强；毛病越小，阴影反差越淡薄，黑白界线越模糊。

检验时尚须注意，由于检验的精确度很高，因此必须在镜头抛光后稍等几分钟，再进行检验。否则，因玻璃热胀冷缩，常常会影响到刀口检验的结果。

## 物镜的修改

镜头在抛光一段时间（用氧化铈抛光大约 10 分钟左右），镜面开始出现一点反光以后，就可以开始检验。目的是边磨边及时修改，不要等到问题很严重时再修改。如果等到抛光完毕再修改时，就将会花费更多的时间；因为，镜面在抛光时出现的毛病，不一定是细磨造成的。因此，一面抛光，一面修改，是很快得到理想抛光面的一种比较有效的方法。

镜面修改是精密光学工作获得成效的关键。可是，修改方法的正确与否，则是修改工作是否顺利的主要因素。一般来讲，不同的毛病，必须采用不同的方法解决。

### 1. 倒边修改

倒边是一种镜面边缘部分的曲率半径比理想球面的曲率半径稍长的现象。这是镜面修改工作中最难对付的毛病之一；因为要纠正这种毛病，必须抛掉大面积的其他区域来修正，常常要花费很大的力量和耐心才能达到目的。一般对倒边的修改主要是采用短距离的圆形动程研磨方法。但必须注意压力要尽量均匀，并且压力集中于镜头的中间部分。这样抛下去，每隔 5 分钟左右就检验一次。如果越磨到边部分的刀口阴影越淡（没有原来的那么黑），就说明倒边的现象逐渐被消除，修改的方法是正确的，应该大胆地坚持抛光下去。如果越抛下去，倒边部分的刀口阴影越黑，即黑白之间的界线越分明，说明倒边越来越严重。此时应该考虑到抛光模是否变形了，或者应该考虑到压力是否适当。有时，受力点位置不对，修改效果也不好。如果属于抛光模变形，即要重新压模（即沥青模烤热后，用镜面加肥皂水重压）。

另一种效果比较好的倒边修改方法，是小模修改和直线运动相配合的方法。用一个直径相当于倒边部分宽度的小沥青模（像小抛光模一样）。先将小铁模烤热，浇上沥青，然后在镜面的中心部分涂上肥皂水，很快把小模压在上面，待小模冷却后，就用此模在倒边部分的内沿（A、B 部位），

在镜面上作逆时针或顺时针方向的螺旋形研磨，如图 64。连续磨两三圈之后，便检验一次。直到这个地方在刀口检验下，看到一圈颜色不太深的低环带之后，或倒边部分阴影开始模糊，如图 65，再用原来大抛光模作短动程直线运动抛光 1~3 圈（即人绕工作台转），倒边的毛病往往便可消除。

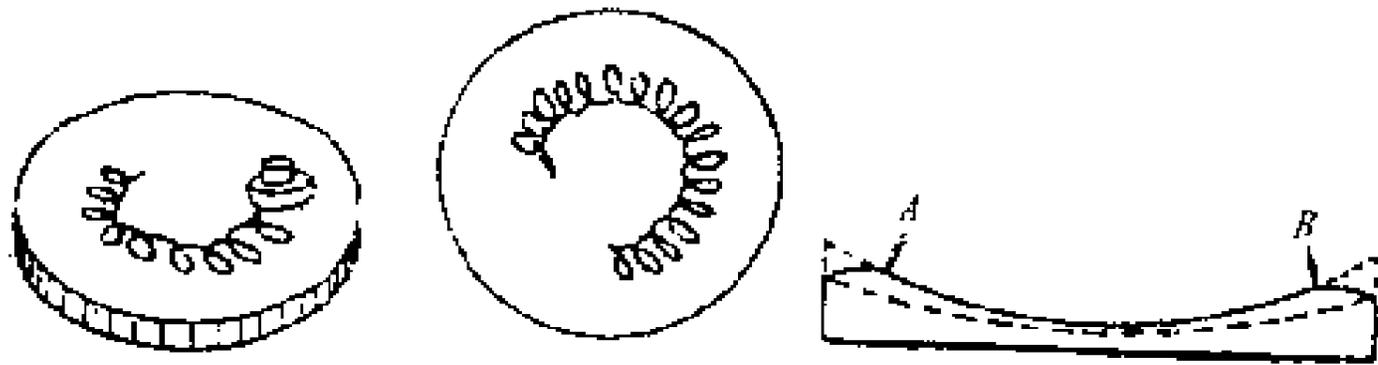


图 64

还有一种方法是修改抛光模，即将抛光模的边缘，相当于倒边宽度的范围内，多刻上一些辐射形的条纹，以减少边缘的接触面积，如图 66。然后再采用大角度的旋转，加上用短动程的直线运动方法进行研磨，倒边不很严重的，每隔 5 分钟左右检验一次。用这种方法，一般应该能很快地把倒边毛病消除。

## 2. 中心高的修改

镜头出现中心高现象，最好的修改方法，是采用长动程（一般用镜面半径的  $1/2 \sim 1/3$ ）直线运动或椭圆运动方法研磨。两三分钟甚至更短时间便要检验一次；因为这种

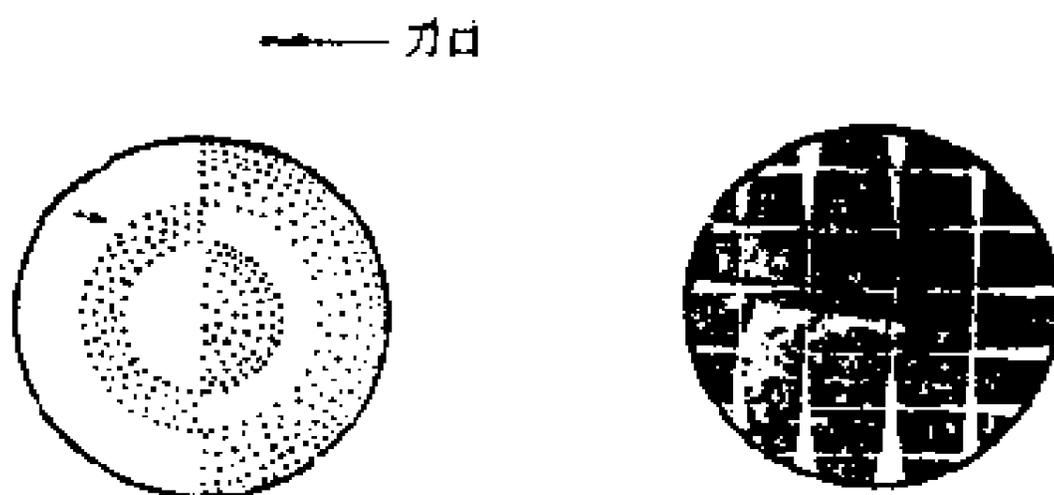


图 65

图 66

毛病消除得比较快，研磨时间太长，容易出现由于研磨过头而变成较难修改的“中心低”现象。

如果在刀口检验下看到中心高出的部分，阴影颜色不很深，亮和暗对比反差不很强，即说明毛病不很严重，在这种情况下，用修改抛光模的方法，往往在1~2分钟很快就能消除。抛光模修改方法，是按中心高出部分的直径范围，把抛光模边缘区域，刻上许多辐射条纹，使边缘部分接触面减少，中心部分接触面相对来说就大一些，从而很快地把镜头中心部分抛去，如果抛光时再结合长动程直线或椭圆运动方法抛光，效果更为显著。最快时，有时1分钟就可以把毛病消除。所以要经常用刀口检验，以免中心部分抛过头而成为中心低，以致后患不浅很难纠正回来。抛光修改，如图67。

### 3. 中心低的修改

中心低的毛病，如果不是由于细磨或抛光模变形引起

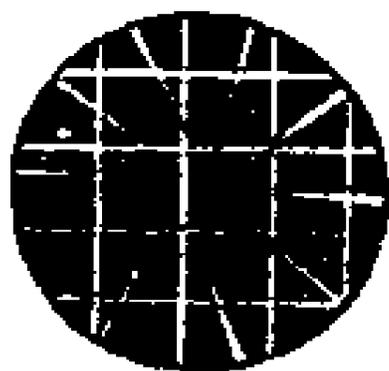


图 67

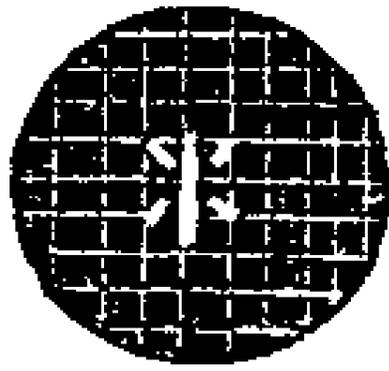


图 68

的话，往往主要是由于动程过长才出现的一种现象。纠正的办法，一般可用短动程直线或椭圆运动，加上大角度镜头自转的抛光研磨方法，往往可以获得较好的效果。不过这种毛病，由于需要抛去的玻璃面积比“中心高”毛病要大得多，所以，纠正的速度很慢，必须要有较大的耐心和信心才行。

纠正中心低的另一种方法是修改抛光模，即有意识地把抛光模中心部分，根据镜面中心低那部分直径大小，小心地按米字形适当地割去一部分沥青，减少中心部分研磨的接触面，就相当于增加边缘部分的抛光速度，减少中心部分的抛光速度，从而达到修正镜头中心低的目的。抛光模修改方式如图 68。

#### 4. 环带误差（低环带和高环带）的修改

环带误差一般主要是由于抛光模变形、抛光模条纹分割得过于对称，或者抛光时镜头自转运动角度过大、过快等原因产生的。为了纠正这种毛病，一般只要把抛光模烤

软，然后在涂好肥皂水的镜头上重新压一下，趁沥青还没有冷凝时轻轻地把镜头和抛光模对磨一下，使镜面和抛光模表面很好地密合，重新在抛光模表面刻上条纹（刻条纹时注意不要太对称），最后用直线或偏心椭圆运动不规则地交替研磨抛光，很快就可以纠正过来。

### 5. 抛物面的修改

要将一个反射镜加工成抛物面镜，首先要将镜头抛成标准的球面，最后再把标准球面镜修改成抛物面镜。

(1) 直接抛光修改法 这种方法与镜面中心高的修改方法相似；所不同的是修改中心高时，所用的长动程抛光法，动程长度一般都是固定的；而抛物面的修改必须用由短到长，而又由长到短地有规律的抛磨，直到在刀口检验下，镜面完全符合理论计算的数据为止。

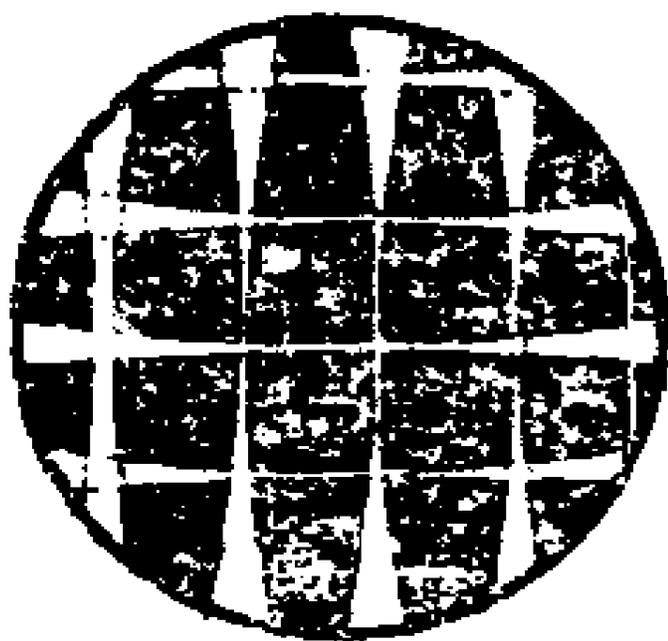


图 69

(2) 修改抛光模的修改法 这种方法主要是将原来抛光球面的未经任何修改的抛光模，从边缘开始向中心方向刻上均匀的辐射状槽沟，即越到旁边，槽越宽，如图 69；然后进行抛光。

总之，以上所用的修改抛光模的方法，一般只能应用于镜面经过抛光以后，光洁度已经达到镜面抛光的最高要求的情况下。如果镜面光洁度还是达不到要求时，最好不要轻易采用修改抛光模的办法来纠正镜面的毛病；因为抛光模被修改以后，即使镜面的形状纠正得合乎要求了，但镜面的光洁度还达不到要求。这时，用已修改过的抛光模，始终是不能解决镜面的光洁度问题的。

## 自制折射天文望远镜

对于每一个喜爱科学，尤其是喜爱天文学的人，望远镜是一种最令人向往的科学仪器。每逢晴朗的夜晚，面对着浩瀚的宇宙，那千姿百态、五颜六色的天体是多么令人神往啊！在这个时候，谁都希望自己能有一架小型的天文望远镜，用来看看月亮上的环形山、金星的盈亏、土星的光环、木星的卫星、火星上的极冠以及仙女座大星云、猎户座大星云等等。这样的望远镜最好是自己动手做。在科学技术高度发达的今天，无论是从理论方面，或者是从技术方面看，每一个有志于天文观测的爱好者，自己制作天文望远镜不但完全可以做得到，而且当他掌握了这门技术之后，就能更主动的在天文科学领域中发挥自己的特长。

天文望远镜有许多种类型。可是，从制作技术、经济条件和使用特点等方面考虑，对于业余天文爱好者比较适合的，要算是简单小型伽利略式折射望远镜、简单小型开普勒式折射望远镜以及牛顿式反射望远镜、卡塞格林式反射望远镜等几种。

## 伽利略式折射望远镜

这种望远镜的光学结构原理如图 70。图中  $A$  为位于远处的观测目标， $L_1$  是一块长焦距凸薄透镜，作为物镜。 $L_2$  是一块短焦距凹透镜，作为目镜。远处的物体  $A$  发出的光线，经透镜  $L_1$  折射应在  $B$  处成一个倒立的实像  $B$ 。可是， $A$  发出的光线，在到达  $B$  处成像以前，便被目镜  $L_2$  折射发散，其延长线交于  $C$  处。当眼睛向目镜（凹透镜  $L_2$ ）里观测时，便发现进入眼睛的光线，好像是从  $C$  点发射出来一样。故  $C$  便成为物体  $A$  的一个放大虚像。这种望远镜至今仍被人们称为“伽利略望远镜”。

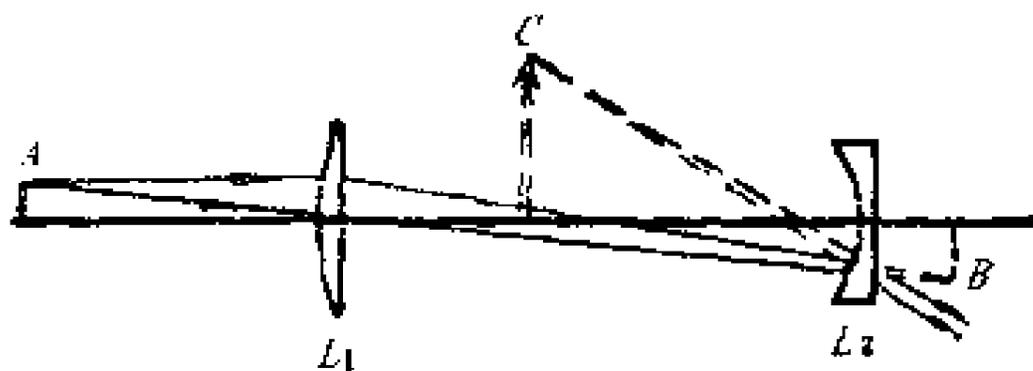


图 70

300 多年前，由于当时光学技术水平的限制，尽管伽利略花了不少心血，可是制造出来的望远镜，与现代技术制造出来的望远镜相比，精密度差多了。然而，当伽利略将它第一次对向天空，而且仅仅是对准离地球最近的天体

——月亮时，便清楚地看出，月球并不是皎洁无瑕的天体，它的表面也和地球一样有山、有谷，高低不平。这是给当时占统治地位的唯心学说流派，把月亮看作是上帝创造的完美无瑕的说的第一次冲击，使当时唯心保守势力一时处于惊惶失措的境地。更令人鼓舞的是，在1610年1月7日的夜晚，面对着万里无云，繁星闪烁的星空，伽利略用自己制作的望远镜，兴致勃勃地瞄准一个明亮的光点——木星时，一个晚上便发现了木星的3颗卫星。接着又在第5天的晚上发现了木星的第4颗卫星。从而，使人类的观测和思维，以及对于宇宙的认识，更进一步地从唯心主义的旋涡中解脱出来。为了纪念伽利略这一伟大的发现，至今人们仍然称这4颗木星的卫星为“伽利略卫星”。此外，伽利略还用自己制作的天文望远镜先后发现了金星的盈亏和太阳表面的黑子等等，使当时的天文学界大为震惊，从而激发了天文学家及天文爱好者对天空及望远镜更大的兴趣。

自从伽利略望远镜问世以后，伟大的天文学家开普勒，研究并发现了透镜成像的光学原理，第一次解释了伽利略望远镜放大的机制，并提出加长望远镜物镜焦距和镜筒长度，可以减少望远镜物镜球面像差的理论。同时，在研究改进伽利略望远镜的时候，认为只要把伽利略望远镜的凹镜目镜换成凸透镜，便不但可以加大望远镜的视场，而且还可以在目镜焦平面上安装刻度玻璃，使得这种望远镜可以直接用来测定天体的位置，大大提高天文望远镜的性能。

## 开普勒天文望远镜

开普勒天文望远镜的光学结构和成像原理如图 71 所示。当远处的物体  $A$  发的一束光线，通过物镜  $L_1$  折射之后，在  $B$  的地方成一个倒立的实像。而这个实像也和物体一样，发出一束光线；通过目镜  $L_2$  折射后，进入到眼睛的光线，已经不是从物体  $A$  的方向发出，而是像从  $C$  这个地方发出的那样。所以， $C$  点就是物体  $A$  的虚像。由于  $B$  处刚好位于目镜  $L_2$  的前焦点  $F$  的附近，因此，这种望远镜在  $B$  点附近安装上测微刻度玻璃尺，便可成为一种十分有用的测量仪器。至今天文台还常常用来作为天体测量的工具。

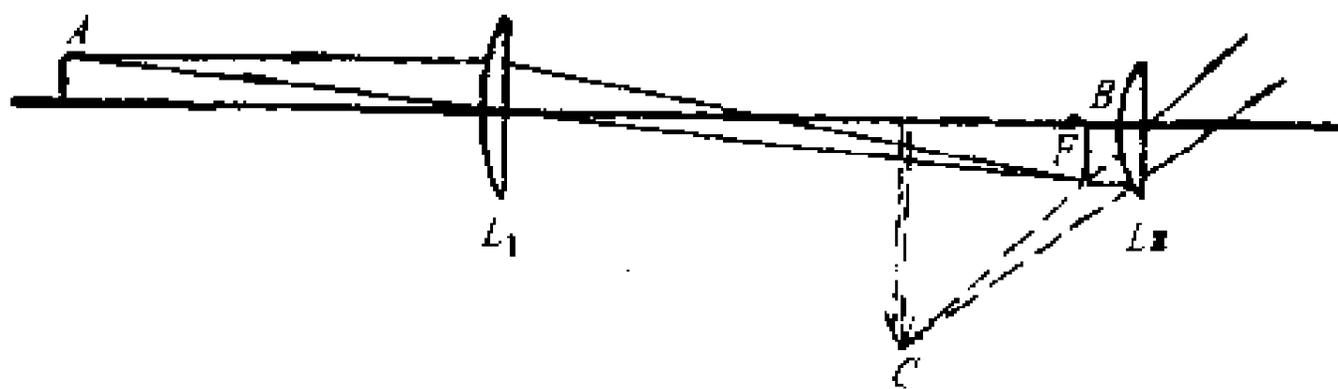


图 71

1621 年荷兰数学家维勒布劳德·斯内列斯应用数学理论，研究了开普勒发现的透镜球差。结果发现了光线在透镜玻璃中折射时出现的折射率，从而使望远镜的成像理论大大提高了一步。1640 年意大利天文学家弗朗斯科·冯

塔纳，利用开普勒式天文望远镜进行了一系列的天文观测，不但看到了木星的大红斑，而且还看到了火星表面的“运河”斑纹。更鼓舞人心的是，接着意大利的天文学家基奥范尼·巴蒂斯塔·里希奥利通过天文望远镜竟清楚地看到木星的卫星在强烈的阳光照射下，影锥扫过木星表面的暗影。从而证实木星也和地球、月亮、金星一样，是一个自身不能发光，需要在阳光照射下才能发亮的天体。同时也再次证明了木星的卫星也和地球的卫星——月亮一样，是在环绕木星运动的天体。这些观测事实都证明了地心理论是错误的。

加长物镜焦距虽然可以大大提高开普勒天文望远镜的成像质量；但是，由于单片透镜的色差和球差等始终不能很好地消除，从而限制了这种望远镜的发展。1733年英国律师兼数学家切斯特·穆尔·霍尔发现了火石玻璃与冕牌玻璃的色散程度不同，用这两种玻璃配合起来而试制成功了第一块消色差透镜。从此开普勒式的折射望远镜便得到了巨大的发展。

## 如何选择老花眼镜片作 望远镜物镜

自己动手磨一个简单的折射望远镜物镜，固然不是什么困难的事。不过，如果不愿自己动手磨镜片，也可以到眼镜店里购买未经磨边的老花眼镜来代替。但是，由于

眼镜片是以度数计算的，必须把镜片焦距  $f$  换算成眼镜度数，方可选购，换算的公式如下：

$$D = \frac{100}{f}$$

式中  $f$  是以米计算的镜片焦距， $D$  是眼镜度数，100 是常数。

例如：已知物镜焦距  $f = 2$  米，即

$$D = \frac{100}{2} = 50 \text{ (度)}$$

也就是说，只要选取 50 度的眼镜片，即可得到所要求的镜片。只是，还应该注意，眼镜店中的老花眼镜一般有两种，一种是托片（一边凸、一边凹），一种是青片（一边平、一边凸）。青片球差比较小，所以作望远镜物镜比较理想。望远镜的目镜，可以用一般放大镜片代替。如果选购放大镜片作望远镜的目镜时，必须将焦距  $f$  化为放大镜的放大倍数，方可选购。计算公式如下

$$\beta = \frac{250}{f_{\text{目}}}$$

式中  $f_{\text{目}}$  为以毫米为单位的望远镜目镜焦距，250 为常数， $\beta$  为放大镜的放大倍数。

例如：要找一个焦距  $f_{\text{目}} = 25$  毫米的放大镜作为望远镜的目镜时，根据公式得：

$$\frac{250}{25} = 10 \text{ (倍)}$$

因此，只要购买一个放大率为 10 倍的放大镜，此镜片就可

以作为一个焦距  $f_{\text{目}}=25$  毫米的望远镜目镜。

## 简易折射天文望远镜 的结构和制作方法

### 1. 结构和光路

简易天文望远镜由物镜、物镜镜筒、目镜、目镜镜筒等组成，如图 72 所示。它的物镜和目镜都是凸透镜，是一种开普勒折射望远镜。

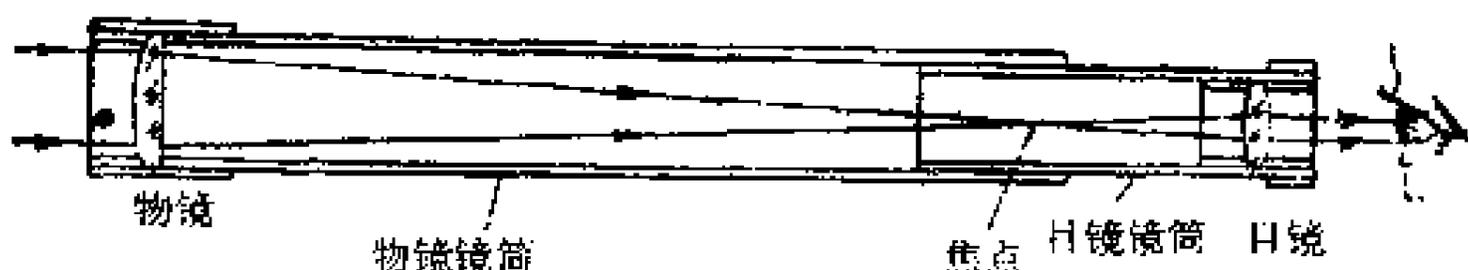


图 72 简易天文望远镜的结构

这种望远镜的光路如图 73 所示，假设用这个望远镜观测天体  $AB$ ，由于天体非常远，天体射来的光线都可以看作是平行光。天体的光线通过物镜后会聚到物镜的后焦点上，形成一个倒立的天体实像  $A'B'$ 。目镜的前焦点刚好同物镜的后焦点重合。天体的实像  $A'B'$  的光线经过目镜变成平行光，射到观测者的眼睛里，观测者看到的是成像在无限远放大的天体的虚像  $A''B''$ 。

设计简易天文望远镜，有 3 个指标是需要认真考虑的。

①放大率。由光路图可以看到，用眼睛直接观看天体

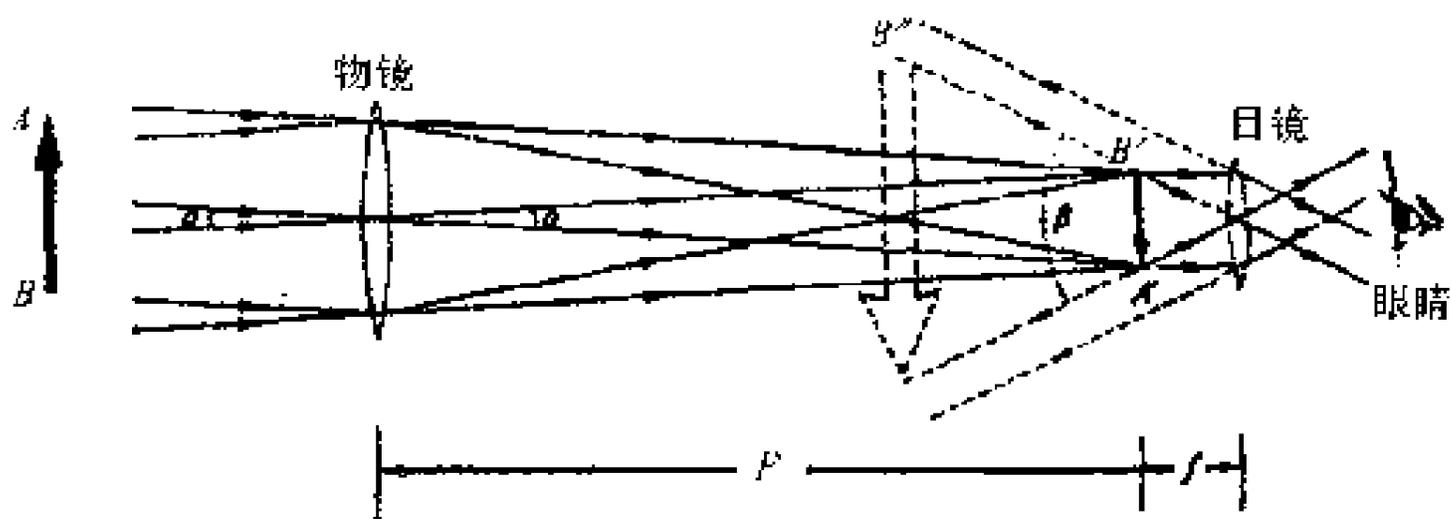


图 73 开普勒折射望远镜光路图

$AB$ ，视角只有  $\alpha$ ，通过望远镜观看这个天体，视角就变成  $\beta$ ，显然，天体的视角被放大了。只要经过简单的推算就可以证明，望远镜的放大率  $M$  等于物镜焦距  $F$  同目镜焦距  $f$  的比

$$M = \frac{F}{f}$$

从这个式子可以看到，物镜的焦距越长，目镜的焦距越短，望远镜的放大率就会越大。一般来说，目镜的焦距不能太短，否则会产生严重的像差。物镜的焦距也不能太长，否则在望远镜里看到的天空范围太窄小。

②相对口径。相对口径是反映望远镜聚光本领的指标。相对口径  $A$  等于物镜的口径  $D$  同物镜的焦距  $F$  的比：

$$A = \frac{D}{F}$$

相对口径大，在望远镜里看到的天体就明亮；相对口径小，

在望远镜里看到的天体就灰暗。从上面的式子可以看到，如果物镜的焦距不变，物镜的口径越大，相对口径就越大。因此，为了在望远镜里看到的天体更明亮一些，需要找口径较大的凸透镜做物镜。

③视场。视场是指在望远镜里看到的天空范围。一般来说，物镜的焦距越长，放大率就越大，但视场会越小，看到的天空范围就会越窄小。视场太小，在望远镜里寻找要观测的天体会很困难。

## 2. 制作方法

①选择物镜和目镜。物镜可以选用焦距是1米左右的凸透镜，也可以用大约100度的老花镜片代替。

目镜可以选用焦距是30~50毫米的凸透镜，也可以用5~8倍的修理钟表的放大镜代替。如果用焦距1米的凸透镜做物镜，焦距50毫米的凸透镜做目镜，那么望远镜的放大率就是20倍。如果改用30毫米的凸透镜做目镜，那么望远镜的放大率就是33倍。

买来的物镜和目镜要测定它们的焦距。分别把物镜和目镜对着太阳，在镜片的另一侧放张白纸板，前后移动白纸板，使太阳在白纸板上成像清晰。用直尺量出镜片到白纸板的距离，这个距离就是镜片的焦距。物镜和目镜的焦距测定了，整架望远镜的长度就能够确定了。

②设计镜筒。为了便于调节焦距，以适应视力不同的人观测，整个镜筒要做成两节，一节是物镜镜筒，一节是目镜镜筒。它们都可以用黄板纸（马粪纸）制作。物镜镜

筒的直径约等于物镜的直径，物镜镜筒的长度约等于物镜的焦距。目镜镜筒的直径约等于目镜的直径，目镜镜筒的长度要比目镜焦距长 50~80 毫米。目镜镜筒的外径要等于物镜镜筒的内径，使得目镜镜筒既能插入物镜镜筒内，又能贴得比较紧，便于前后调节焦距。

③物镜镜筒的制作。物镜镜筒比较长，又要求有一定的强度，制作起来比较麻烦一些。先找一根长度稍长于物镜焦距、直径约等于物镜直径的圆管（如日光灯管、塑料管、铁管等）做芯柱。

物镜镜筒用黄板纸条卷绕两三层制成。先把黄板纸切成 70~80 毫米宽的纸条。其中准备做第一层的黄板纸条，一面涂上墨，等墨干透后就可以卷镜筒了。注意墨面朝里，以消除杂散光。

在芯柱上卷绕黄板纸条的时候，纸条要一圈紧挨一圈，不能有间隙，也不能重叠，如图 74 所示。在镜筒的两端和纸条的接头处，要用涂有浆糊或胶水的牛皮纸固定好。第一层卷好后，在第一层外面涂上浆糊或胶水，然后卷绕第二层。为了粘得更牢，第二层的黄板纸条里面也涂上浆糊或胶水。第二层的卷绕方向要和第一层相反。第三层的卷绕方向和第二层相反，和第一层相同。一般卷三层黄板纸就足够了。镜筒的最外面糊上一层牛皮纸。镜筒卷好后稍晾一会就要把芯柱抽出，然后竖直放在室内彻底晾干。

镜筒要卷得比需要稍长一些，卷好晾干后再用锋利的刀子截成需要的长度。

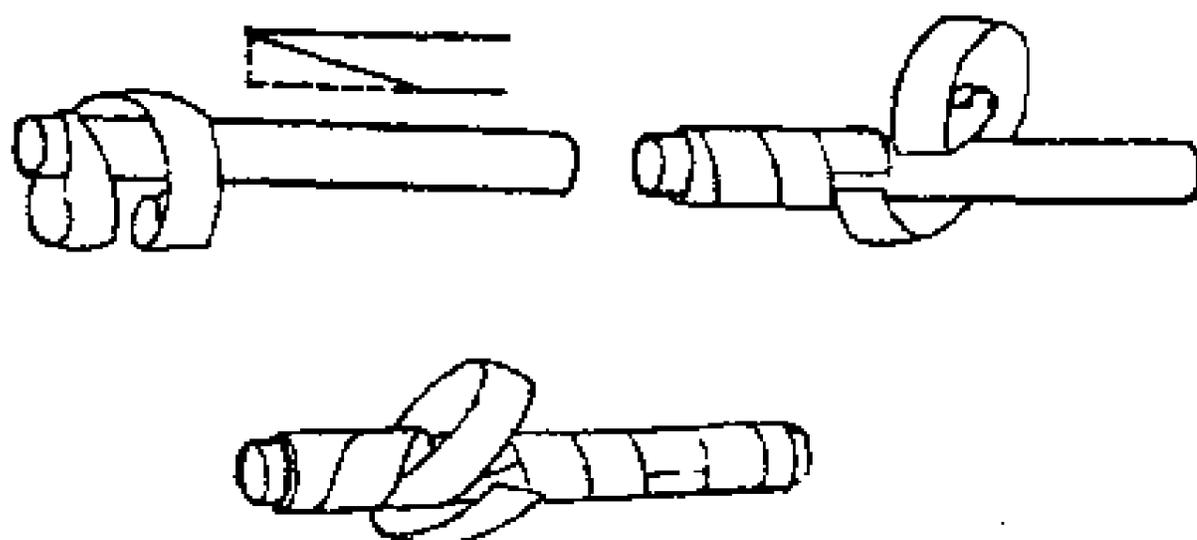


图 74 物镜镜筒的制作

④目镜镜筒的制作。找一根直径约等于目镜的圆管做芯柱。

目镜镜筒的卷绕方法同物镜镜筒基本相同，但要注意目镜镜筒的外径等于物镜镜筒的内径。当目镜镜筒外径卷绕到已经接近物镜镜筒内径的时候，就可以通过糊牛皮纸来逐渐达到要求。

⑤镜片的安装。要根据镜片和镜筒的具体情况采用不同的方法，如图 75 所示。其中 (a) 是镜片直径小于镜筒内径，(b) 是镜片直径等于镜筒内径，(c) 是镜片直径等于镜筒外径，(d) 是镜片直径大于镜筒外径。一般来说，为了把镜片固定在镜筒中，要分别不同情况附加镜片套筒。另外，在目镜镜筒的末端，要加一段卷纸，以免整个目镜镜筒滑进物镜镜筒内。

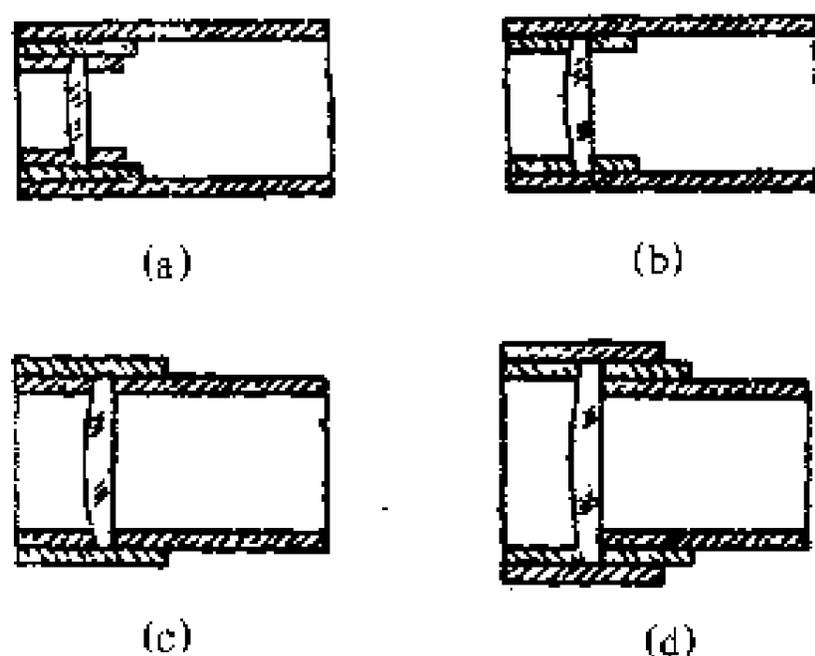


图 75 镜片安装的几种方法

安装镜片的关键就在于使物镜和目镜的主光轴都落在镜筒的中心线上。为此，在镜片没有完全固定好之前，要进行简单的调整。对于物镜，可以把初步装上物镜的物镜筒对着远处的灯光，在物镜筒上没有物镜的一端蒙上一层半透明纸，使远处灯光通过物镜成像在半透明纸的中央。然后不改变物镜筒的放置方向，转动镜筒，如果远处灯光的像始终落在半透明纸的中央，说明物镜的主光轴落在镜筒的中心线上，这时就可以把物镜固定下来。否则就需要适当调整物镜位置，直到符合要求为止。

物镜调整好之后，就把物镜筒的半透明纸撕掉，把初步装上目镜的目镜筒插入物镜筒内。整架望远镜仍然对准远处灯光，并用眼睛观测。前后调节目镜筒的位置，使远处灯光落在望远镜看到的视场中央。然后使物镜

镜筒不动，单转动目镜镜筒，如果远处灯光始终处在视场中央，说明目镜的主光轴落在镜筒的中心线上，就可以把目镜固定下来。否则就需要适当调整目镜位置，直到符合要求为止。

### 小型折射望远镜的支架

一般来说，凡是放大率超过 10 倍以上的天文望远镜，都必须配有支架。否则，徒手观测会由于手的抖动而无法

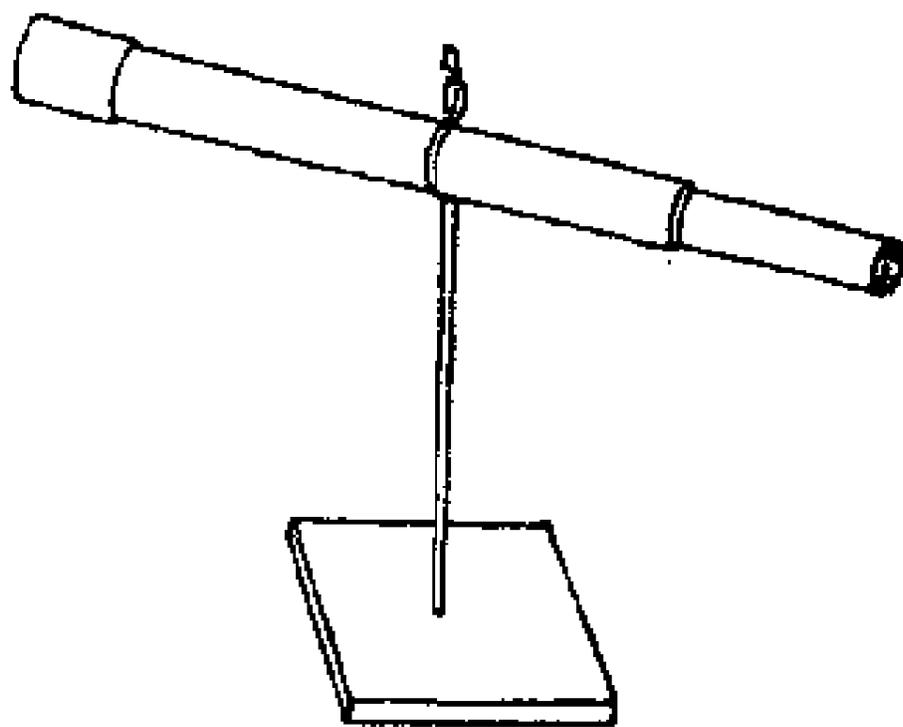


图 76

对准目标，即使偶然对准了目标，也还会由于手的抖动而无法看清楚目标。所以，最简单的天文望远镜，也非常需要一个支架。最简单的支架有两种。一种是用一根绳子捆

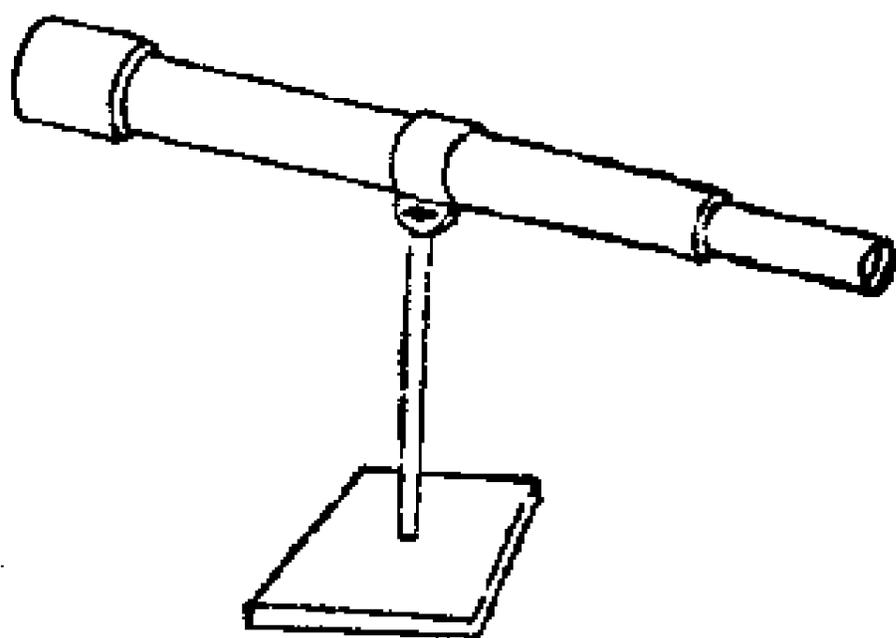


图 77

着镜筒，然后挂在一根固定在木板上的木桩顶端。但是，这种支架，只能用手扶住望远镜筒，才能观测。如果人手抖动，也会直接影响观测如图 76。另一种简单的支架，是用一片厚 0.5 毫米的铁皮，包住镜筒中部，然后用螺丝固定一条铁棍的顶端，而铁棍又固定在一个底板上，如图 77。

## 自制反射天文望远镜

### 牛顿反射望远镜

在 1668 年牛顿便想出了另一个避免色差存在的制造望远镜方法，并试制成了第一架反射望远镜，这种望远镜的结构及光路如图 78。当光线射入主反射物镜  $L_1$  之后，经  $L_1$  表面反射到达与光轴相交成  $45^\circ$  的小平面反射镜  $L_2$  表

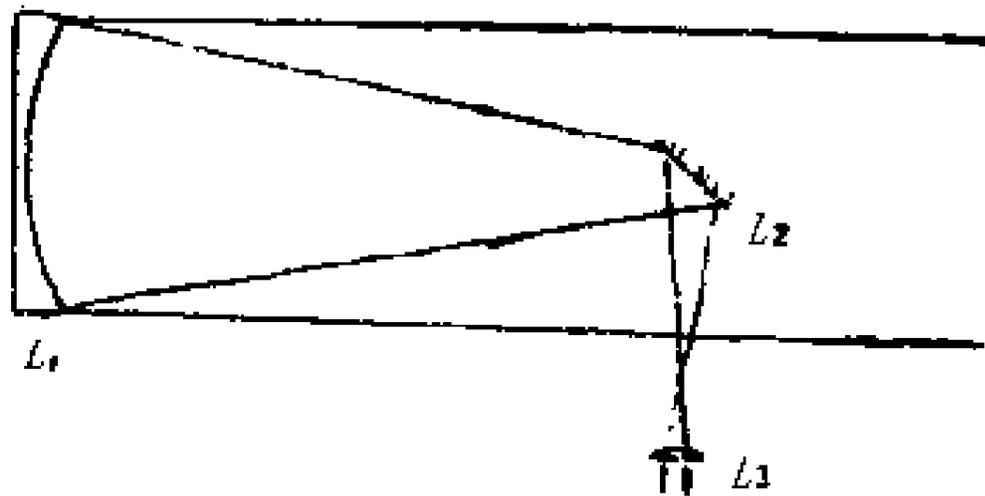


图 78

面，并被  $L_2$  表面反射到镜筒一边的目镜  $L_3$  上，通过  $L_3$  便可以看到远处物体的放大像。因为光线进到物镜  $L_1$  后，没有穿过物镜  $L_1$  及平面镜  $L_2$  的玻璃，所以，避免了色差的产

生。同时，这种望远镜光学结构比较简单，需要加工的镜面数量也比折射望远镜少。更重要的是，它对玻璃质量指标的要求没有折射望远镜那么高，因此物镜的成本比较低，物镜的直径也可以做得更大一些。加上它的装置比较简单，加工比较方便，所以，是天文爱好自制望远镜最为可取的光学结构之一。

### 牛顿式反射望远镜物镜和目镜设计

反射式天文望远镜有许多种。装置比较简单，安装调整比较容易的要算是牛顿式反射望远镜了。其装置如图 79。 $L$  是一个球面或抛物面反射镜。远处天体发出的平行光线射到物镜  $L$  以后，经物镜反射，到达平面反射镜  $E$  和目镜  $B$ ，从而成为一个放大的像  $A$ 。

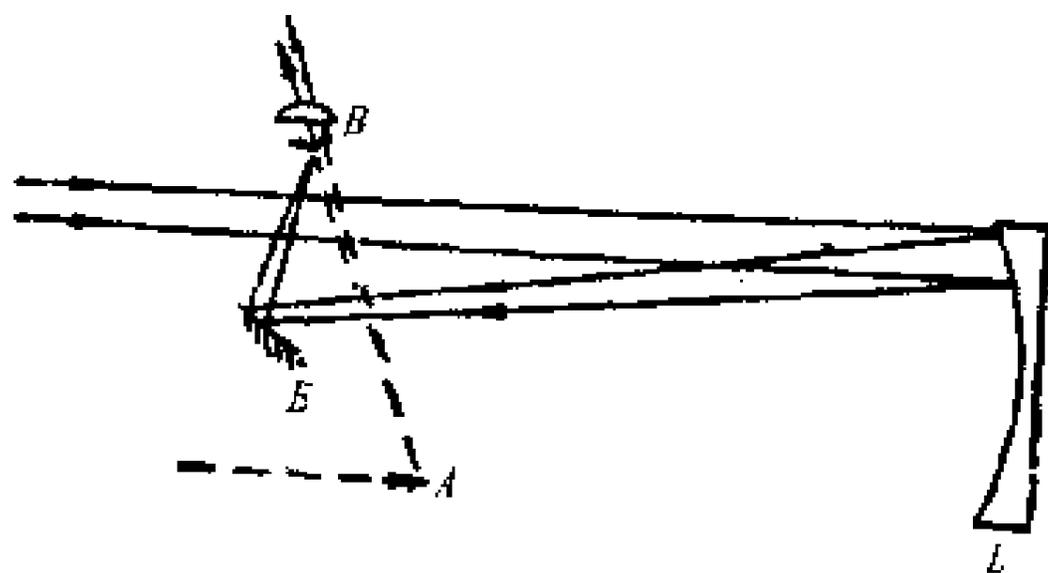


图 79

在设计反射天文望远镜时，首先考虑的是望远镜的放

大倍数，由下面经验公式计算。

$$\beta = \frac{D}{2}$$

式中  $\beta$  为望远镜有效放大倍数， $D$  为物镜的有效口径，2 为常数。

一般来说，望远镜的有效口径越大，则望远镜的放大倍数越大。如果口径为 150 毫米的物镜，一般放大倍数为 70 倍左右比较适合。最好不要超过 100 倍。否则，由于分辨本领达不到而模糊不清。由下面的公式就可以大致确定其有效放大倍数；因为望远镜的放大倍数与物镜、目镜的关系可以表示为：

$$\beta = \frac{f_{\text{物}}}{f_{\text{目}}}$$

式中  $f_{\text{物}}$  为物镜焦距， $f_{\text{目}}$  为目镜焦距。

一般来说，望远镜的目镜视场  $\omega'$  一定时，出射光到目镜距离  $l$  和目镜焦距  $f_{\text{目}}$  之比值（称相对出射光瞳距离）越大，（即  $f_{\text{物}}$  越小），则光线在目镜上投射点高度就越大如图 80，而目镜像差就越严重。故而要得到比较满意的像质，目镜结构就必然趋向复杂化（图 80）。所以，一般制作惠更斯目镜，焦距不宜取得太短，以不小于 1 厘米比较理想。

如目镜焦距  $f_{\text{目}}$  为 10 毫米，放大倍数  $\beta$  为 100 倍，则

$$f_{\text{物}} = f_{\text{目}} \times \beta = 10 \times 100 = 1000 \text{ (毫米)}$$

另外，由于反射球面镜的曲率半径  $r = 2f$ 。因此得到反射物镜的曲率半径为

$$r = 100 \times 2 = 200 \text{ (厘米)}$$

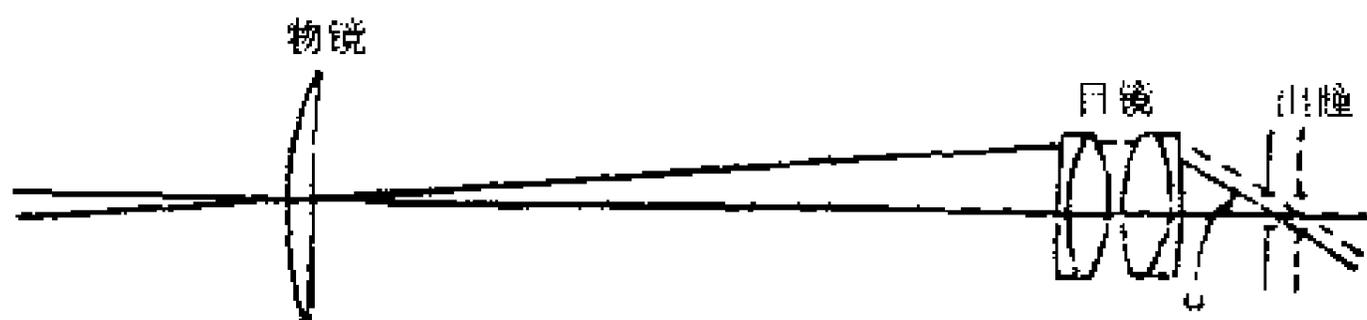


图 80

一般来说，为观察太阳、月亮以及某些近地行星等，望远镜要求放大倍数可以略高一些（30 倍以上）。但是，对于用来观察恒星等比较远而暗的天体，则不但要求望远镜有一定的放大倍数，而且还要求集光力越大越好。而望远镜的集光力，一般和物镜的直径成正比，物镜的直径越大，即看到的恒星数便越多。反射望远镜的相对集光力的公式可以由下式求得：

$$L=4 (D^2-d)$$

式中  $L$  为以人眼瞳孔为单位的集光倍数， $D$  为物镜直径， $d$  为平面反射镜的投影面积，都是以厘米为单位。这个公式，实际上是根据一般人眼的瞳孔，平均直径为 5 毫米时采取的折中公式。

### 反射望远镜物镜和目镜玻璃选择

最适合天文爱好者自己动手制作的反射式望远镜，要算是牛顿式望远镜了。这种望远镜，除了目镜之外，其他

的光学零件都是反射镜，光线是不通过镜子内部的。所以，对于玻璃内部光学性能的要求并不很高，只要气泡不太接近镜面，以免在研磨中，气泡容易露出镜面，至使粗磨时间延长。因此，它的物镜，用价格比较便宜的普通玻璃制作，就可以确保成像清晰。

不过，反射望远镜的物镜，在研磨工艺上，要求的精密度很高。为了保证物镜在安装中具有一定的强度，不至于由于玻璃的变形而影响成像，物镜要有一定的厚度。一般物镜的厚度与口径的比例，最少也不能小于1/10。另外，物镜的玻璃最好不要有太深的颜色，以免在镜面镀膜时，有时由于膜层太薄，在观测太阳时，镜面会吸收太阳光线而温度太高影响镜面的曲率和变形。

反射望远镜除物镜之外，其他较小的光学元件，只要选取5~6毫米的台玻璃和2~3毫米的窗玻璃即可。例如望远镜的目镜，如果采用惠更斯目镜和冉斯登目镜的装置，目镜的玻璃，用普通的窗玻璃制作，其效果也相当满意。不过，选取窗玻璃时，最好要选表面较光滑，透明度良好，内部没有气泡和结节、折射率均匀（一般将表面干净的窗玻璃，对着光亮的地方一照，只要各处透光均匀）的玻璃。而玻璃的厚度，可以根据透镜的厚度而定。透镜的厚度可用下式计算：

$$d = N_{\min} + \frac{D^2}{4f} + C$$

式中  $N_{\min}$  为透镜最薄的地方的厚度， $D$  为透镜的直径， $f$  为

透镜的焦距， $C$  为加工透镜时估计的最大磨损量。

## 反射望远镜的结构说明

反射望远镜的光学系统有几种类型，其中最简单的是牛顿式的。图 81 是牛顿式反射望远镜。它的光学部分由物镜、平面镜和目镜组成。其中物镜是个凹面镜。

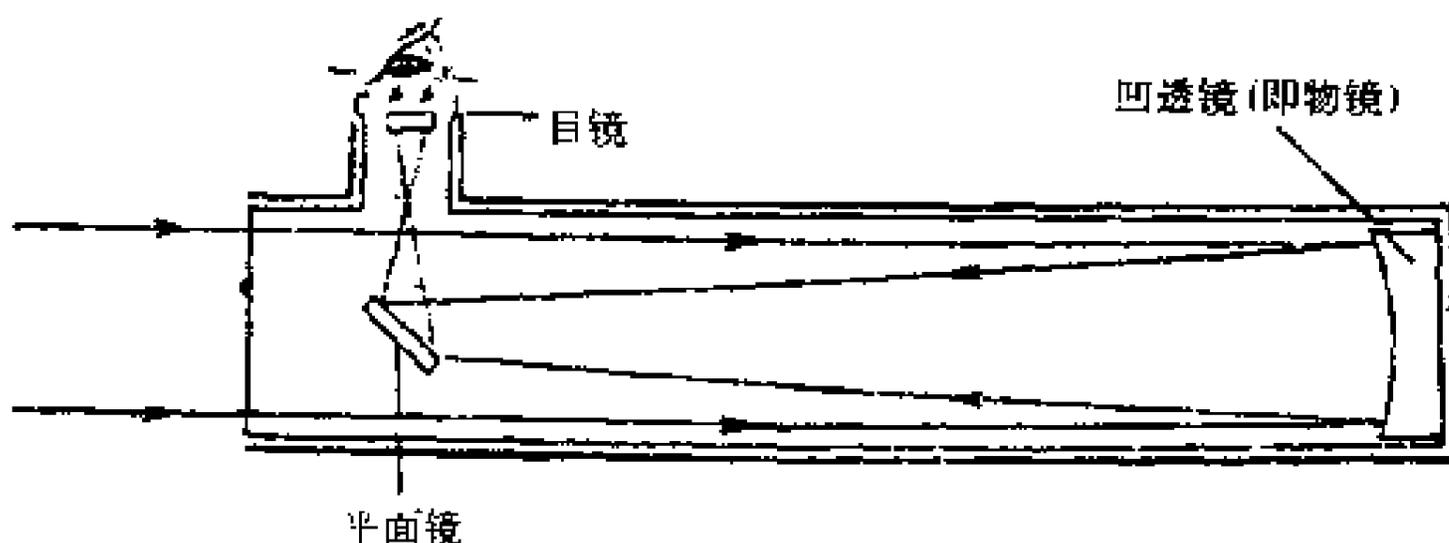


图 81 牛顿式反射望远镜

天体的光线射入望远镜后，经过物镜的反射和会聚，再经过平面镜的反射，成像在目镜的前焦点处，观测者从目镜中可以看到放大的天体的像。

反射望远镜的物镜没有色差，对玻璃质量要求不太高，容易做得大一些，也容易磨制和检验。因此，许多大口径的天文望远镜都做成反射望远镜。

小型反射望远镜的物镜焦距一般选物镜口径的 8~10 倍。目镜一般选用冉斯登目镜。牛顿式反射望远镜的放大

倍数的计算方法同开普勒望远镜相似。比如物镜的焦距是1000毫米，目镜的焦距是25毫米，那么反射望远镜的放大倍数就是  $1000/25=40$ （倍）。

制作小型反射望远镜的关键是制作物镜。表1列出几种物镜尺寸，供参考。为了容易成功，初学者可以做口径是100~200毫米的物镜。

表1 物镜的几种尺寸（毫米）

有效口径	镜片直径	玻璃厚度	镜片厚度
100	105	15~18	13~
150	155	20~26	16~
200	210	28~33	20~
250	260	30~40	25~
300	310	35~45	30~

## 平面镜的加工

由于平面镜是 $45^\circ$ 放置的，所以要加工成椭圆形。椭圆长短轴的比是 $\sqrt{2}:1$ ，短轴一般取物镜有效口径的 $1/4$ 。比如物镜有效口径是100毫米，那么短轴应该是25毫米，长轴应该是35毫米。为了加工方便，也可以做成长方形。长方形的长和宽和椭圆长短轴尺寸相同。

平面镜的表面要求很平，要求反射光的能力很强。因此，要挑选很平的玻璃做平面镜，并且要在镜面上镀银。

挑选平面镜的方法是：使玻璃反映远处电线杆等带直线的景物，移动眼睛看玻璃上的景物，如果没有发现变形或跳动，说明玻璃表面是平的；如果出现景物变形或跳动，说明玻璃表面是不平的。

平面镜镀银的方法同物镜镀银的方法基本相同。由于平面镜很小，可以把镜片放入搪瓷盘里进行。

## 目镜的设计

一架望远镜通常都配上几个目镜，从而获得不同的放大倍数。业余天文爱好者通常采用冉斯登目镜。它有两块焦距相同的平凸透镜，凸面相对。目镜镜筒用铁皮做成，两片透镜通过纸垫圈、纸筒子、铁皮筒子固定在目镜镜筒里，如图 82 所示。如果单片透镜的焦距是  $f$ ，那么两片透镜的间距应该是  $\frac{2}{3}f$ ，整个目镜的焦距应该是  $\frac{3}{4}f$ 。

在设计目镜的时候，可以从望远镜所需要的放大倍数，求出单片透镜的焦距和两片透镜的间距。比如物镜的焦距是 1000 毫米，要求望远镜放大倍数是 40 倍，那么目镜焦距  $f$  应该是：

$$f = \frac{1000}{40} = 25 \text{ (毫米)}$$

单片透镜的焦距  $f$  应该是：

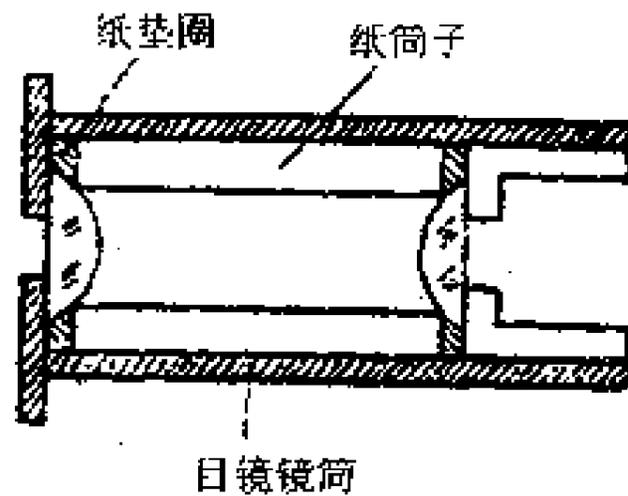


图 82 冉斯登目镜

$$f' = \frac{4}{3} f = \frac{4}{3} \times 25 = 33.3 \text{ (毫米)}$$

两片透镜的间距  $l$  应该是：

$$l = \frac{2}{3} f' = \frac{2}{3} \times 33.3 = 22.2 \text{ (毫米)}$$

根据以上数据就可以选购单片透镜，然后自己组装冉斯登目镜。

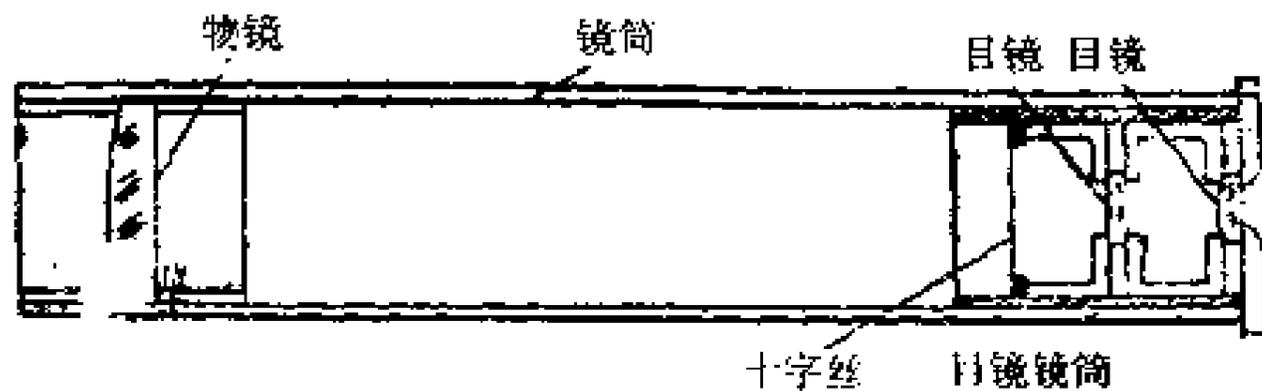


图 83 寻星镜

## 镜筒的材料选择

对于天文爱好者来说，制作望远镜镜筒的材料，可以从3个方面进行考虑。第一重量要轻。第二具有一定的强度。第三成本越低越好。如果选择镜筒的材料很重，望远镜的支架就必须做得很牢固和笨重。否则，使用时稍为有些震动，或者风吹，都可能引起望远镜的不停抖动，星像会变成模糊不清。而要把望远镜支架做得很稳固，就必然会增加支架结构的复杂程度，从而增加了天文爱好者自己制作天文望远镜的困难。同时，望远镜支架过于笨重复杂，也会引起天文爱好者搬迁使用的不便。

此外，镜筒材料还需有一定的强度。在安装好光学元件之后，镜筒不会由于两端的重量而弯曲和变形，引起望远镜出现本来可以避免的像差，从而降低望远镜的质量。至于制作成本要低，对于我们来说，那是不言而喻的了。

比较适合的材料有3种：(1) 工业塑料：如硬性乙烯管、聚丙烯管和钙塑管（一般建筑工程作为地下水管），其中硬性乙烯管强度最好。一般可以到废品公司或仓库去选购。管壁不要太厚，大约2~3毫米左右就可以了。(2) 纸筒：纸筒的特点，是成本低、制作容易、刚性好、不易变形。是天文爱好者目前制作各种类型望远镜镜筒较为适合的材料之一。纸筒可以自己卷制，也可以去选购。(3) 薄铁皮筒：一般焦距1.5米、直径15厘米的反射望远镜，可

用厚度为 0.3 毫米的薄铁皮卷制。

反射望远镜镜筒，必须选择内径大约和物镜直径相同，长度大约等于物镜焦距的管材制作。太小就不能充分发挥物镜的应有分辨本领。物镜镜筒太长，不但对视场不利，而且也额外地增加镜管的重量。

## 反射望远镜镜筒的加工和安装

反射望远镜镜筒的加工，可以分为物镜筒加工及目镜筒加工两部分。物镜筒又可以分为物镜座及镜筒两部分。

### 1. 物镜座的加工

找一段内径和镜筒外径大小相同的硬性乙烯塑料筒（或纸筒、铁皮筒），长度约 8 厘米，作为物镜座外筒。两端端面要加工成平直，且要求垂直于筒体，再用一块直径与筒体大小一样的、厚度约为 3~4 毫米的圆形硬性乙烯板，用“四氢呋喃”粘牢在筒体端面上，如图 84。

图中：1 为物镜座外壳，2 为垫圈，3 为物镜，4 为海棉垫，5 为底板。安装时，先放一块海棉垫在底板上，再将物镜反光面朝上慢慢放进筒体内，锯一小段长约 1 厘米、外径刚好和物镜座外筒的内径一样的硬性乙烯管作为垫圈，直接压到物镜边缘上，把物镜卡住，然后在垫圈与镜座筒之间取几点，每处滴上一滴四氢呋喃，粘牢，就是一个很好的物镜座。

### 2. 物镜筒加工

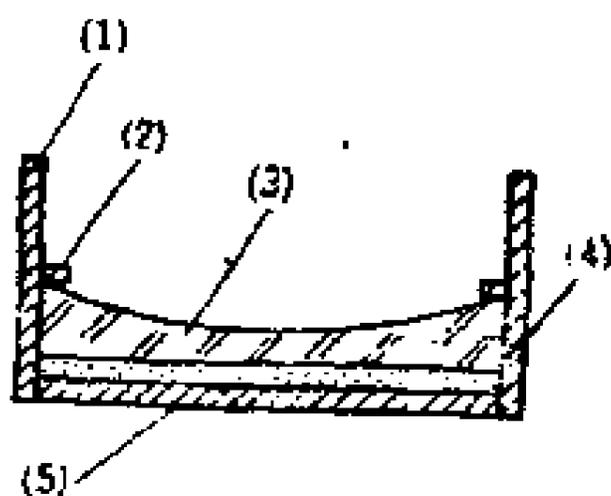


图 84

物镜筒最好选取内径刚好和物镜直径相同的筒材（塑料、纸筒、铁皮筒均可），长度约等于物镜焦距。然后，在镜筒的一端，离端面相当于镜筒外径一半加 30 毫米的地方，开一个圆孔  $a$ ，孔径约 40 毫米，如图 85，这就是安装目镜筒的孔。

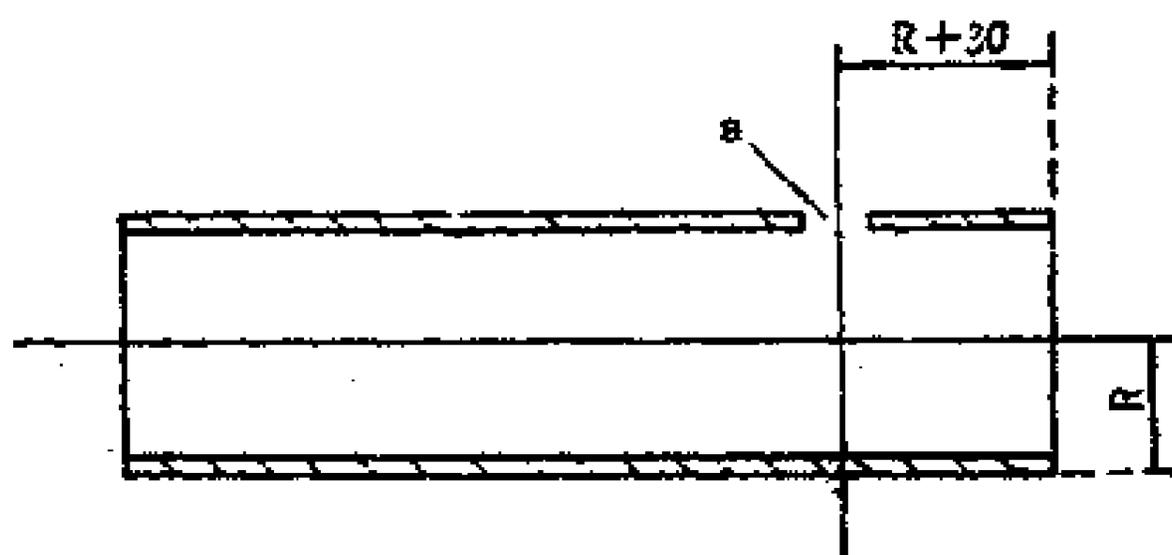


图 85

在镜筒上开了圆孔的一端，从圆孔中心向端面一侧，在

距离为 50 毫米的地方，安上一个平面反射镜镜架。镜架可用厚度为 2 毫米的铁片弯制，其形状如图 86。平面镜架的中部，是一段内径为 20 毫米，长约 20 毫米的金属管（或塑料管）。为了在支架上安装一个  $45^\circ$  平面反射镜，可以用木头加工一个平面反射镜座；用沥青或环氧树脂直接把已镀好反射膜的平面镜粘牢在镜座上，或做一个金属套筒。图 86 中，c 为金属套筒，b 为镜座，a 为平面镜架。

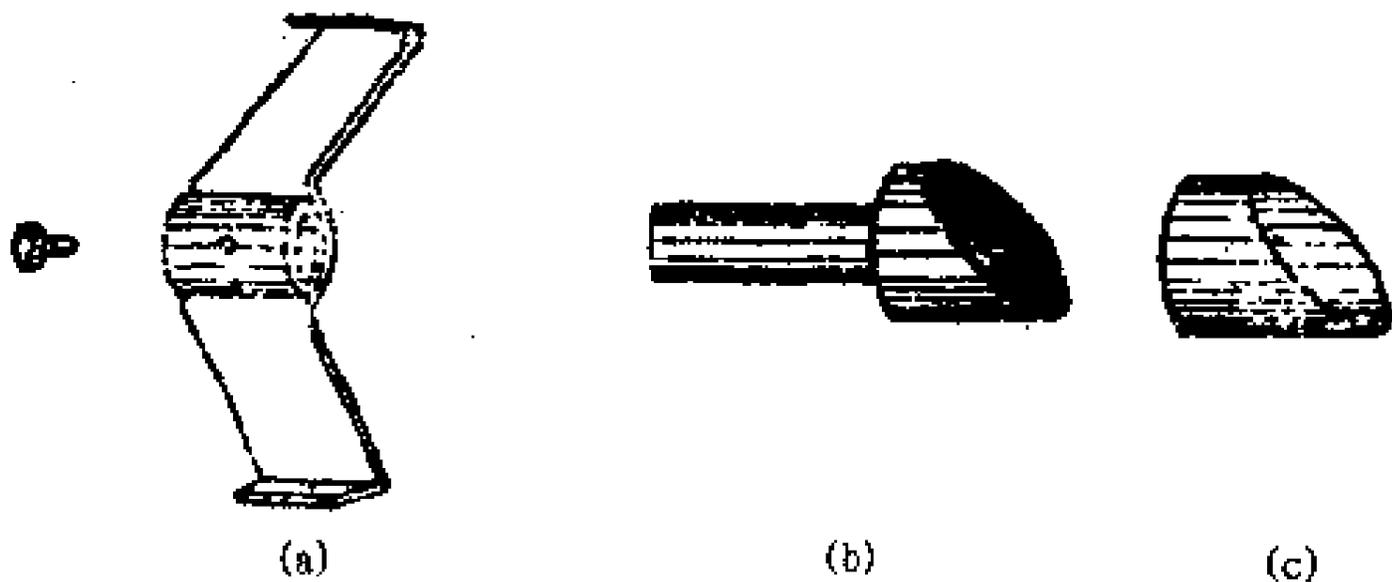


图 86

### 3. 目镜筒的加工

找一片厚度为 5 毫米，每边长度约 8 厘米的硬性乙烯塑料板，把它放在电炉上烤软以后，弯成刚好能与物镜筒外径密合的弧度。并在中心部位开一个直径为 4 厘米的圆孔。然后，锯一段外径为 4 厘米、长约 4 厘米的硬性乙烯管，套在弯好的塑料板中间圆孔上，并用四氢呋喃粘牢便可。如图 87 (a)。

### 4. 光学总装和调整

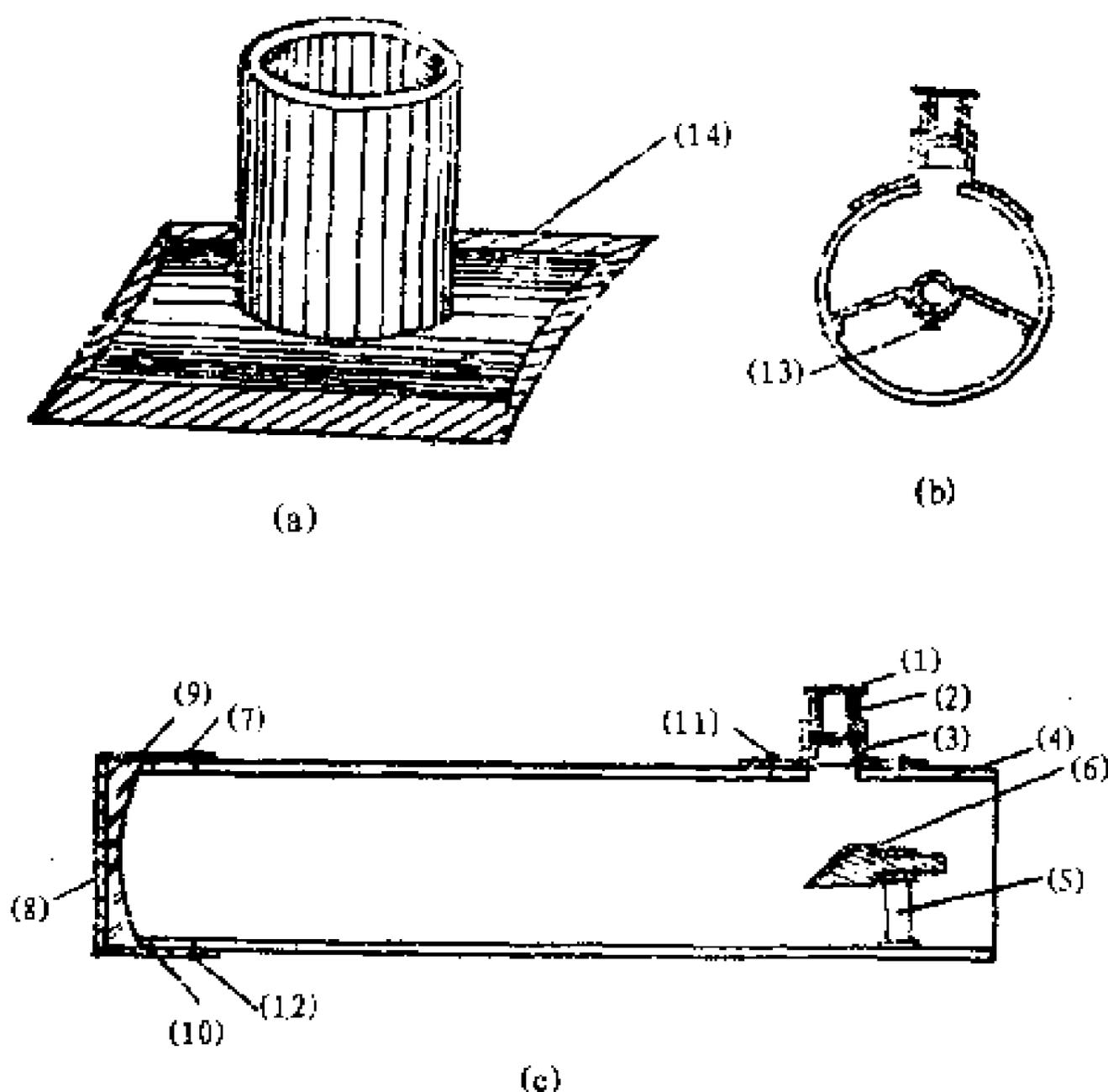


图 87

总装是把物镜座、物镜筒、 $45^\circ$ 反射镜、目镜筒等都组装在一起。如图 87。1 为目镜，2 为伸缩套，3 为目镜筒座，4 为物镜筒，5 为平面反射镜支架，6 为平面反射镜托，7 为物镜座壳，8 为泡沫塑料垫，9 为物镜，10 为物镜垫圈，11 为固定螺丝，12 为物镜筒固定螺丝，13 为平面反射镜支架固定螺丝，14 为目镜筒底座。可用硬聚氯乙烯材料加工，做法是：在主镜筒的一端，将装好物镜的物镜座安装上。为

为了防止物镜座滑出，要在物镜座与主镜筒接合处开3~4个小孔，以便在光学部分调整好以后，用螺丝钉把物镜座固定在主镜筒上。而镜筒的另一端，在离端面相当于主镜筒的半径加3厘米的目镜开口处，将目镜座固定在主镜筒上。另外，在目镜筒的中心，向主镜筒端面的方向距离5厘米处，在镜筒内安上45°平面反射镜的镜座。最后，做一两个把主镜筒固定在支架上的铁圈。即用铁皮，剪成5厘米宽的铁片，在铁片中间部分，按主镜筒外径的大小，变成圆圈，铁皮的两端约留5~6厘米长，将其弯成直角，再在这一段的中间，对称各开一个孔。把铁圈套在主镜筒的中间部分，用长螺丝钉通过下端的2个孔将主镜筒固定在镜架上。为使主镜筒固定得稳固，一般用2个铁圈较好。

安装好后，就可进行检验和调整。调整工作可分为两个方面进行。一是对45°平面镜的调整。先将45°反射镜装到反射镜架上，把望远镜对准明亮的地方（天空或灯光）。在未装上目镜之前，用眼睛从目镜筒中间看进去，看到望远镜内壁影子分布在亮圈周围不均匀，平面反射镜不在亮圆的中间，即可以将平面镜角度转动一下。如果在转动的过程中，平面镜越往亮圆面的一边偏，说明转动方向相反了，如图88。直到把平面镜调回亮圆中心为止。

另一个是调整物镜座。平面镜调好后，平面镜已回到亮圆面的中心位置，但镜筒壁的影子还不均匀，如图89，镜筒壁影子一边多，一边少。这是物镜面和镜筒不垂直的原因。这时，只要用小锤子轻轻敲一下物镜座外壳，如图90，

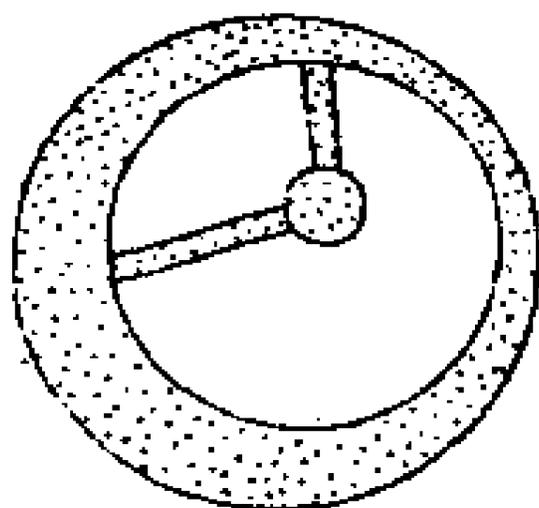


图 88

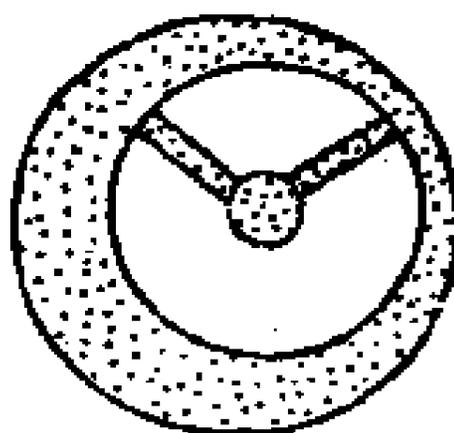


图 89

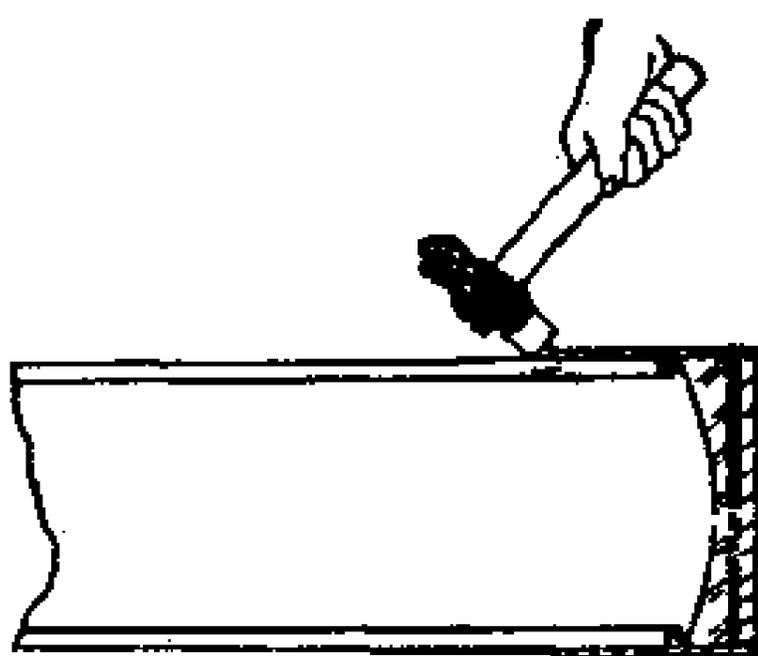


图 90

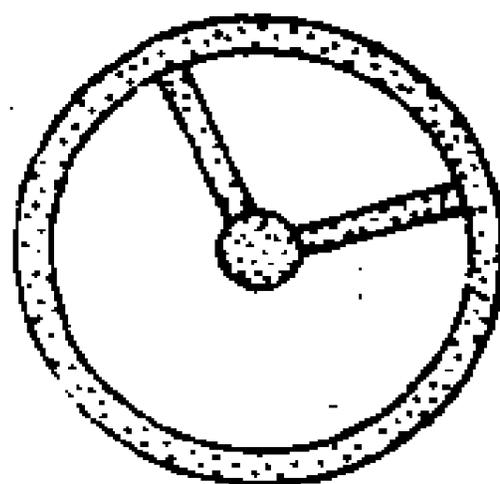


图 91

看到平面镜仍然位于亮圆面的中心不动，而镜筒影子在四周的分布已均匀为止如图 91。这时，说明望远镜物镜，平面反射镜的光轴已经一致，即望远镜已经调好。只要把有螺丝的地方固定好即可。以上调节工作，必须一面调节，一

面用眼睛通过目镜筒进行监视，以免调过头。

由于，自制望远镜由于机械加工较粗糙，搬动时物镜较易移位。观测时必须先经过检查，发现位置不对，立即进行调整；因为这种调整，对望远镜成像的质量影响极大。

### 寻星镜的制作、安装和调整

一个 50 倍以上的反射望远镜，最好要有一个视场较大的小折射式望远镜作为寻星镜，安装在反射望远镜的旁边，作为寻找天体和瞄准天体使用。因为反射式望远镜视场较小，没有寻星镜帮助找星，单靠望远镜瞄准，往往是不容易找到的。由于寻星镜是一个目镜带有十字丝的小折射望远镜，因此，它的光学镜头可以参考折射式望远镜的制作办法，而十字丝玻片只要安装到目镜的焦平面上即可。

十字丝玻片的制作方法如下：

(1) 将按照目镜筒内径大小加工好的平面薄玻璃片，浸入事先融化好的热石蜡中。钳出来后，趁石蜡还未冷却凝固，尽量把粘在玻璃上的多余石蜡甩掉，使留在玻璃片上的石蜡层越薄越好。

(2) 用锋利的针尖，仔细在玻璃片的蜡面上刻上十字线，如图 92。刻好后，对着光亮的地方，看到所刻的线条光滑透亮即可。

(3) 用塑料棒蘸一点氢氟酸，在刻线上来回拖拉三四次（注意不要碰脱蜡层）。然后，在自来水下冲洗，把氢氟

酸完全冲干净。再用汽油或酒精把蜡层洗掉，十字玻璃片便制作完毕。

将十字玻璃片固定在目镜的焦平面上，并慢慢调节到眼睛从目镜看进去，能清楚看到十字丝刻度为止。十字丝目镜的结构如图 93。图中：1 是目镜，2 是目镜框，3 是十字丝玻璃，4 是场透镜，5 是透镜压圈。

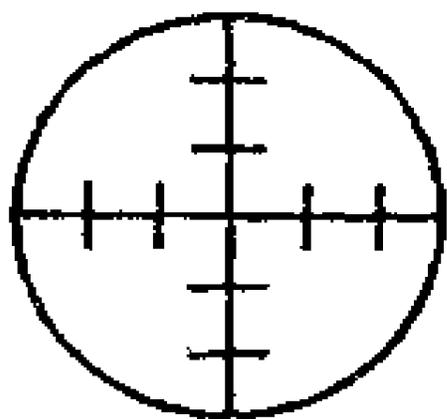


图 92

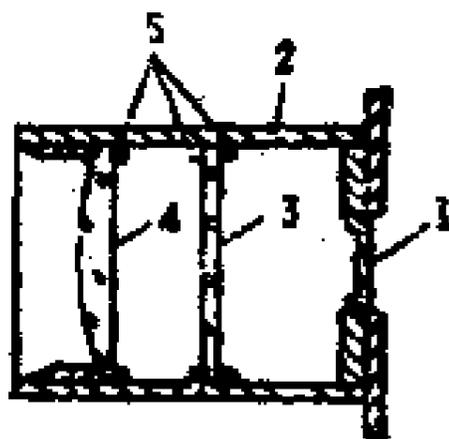


图 93

安装望远镜的寻星镜，可以先制作两个寻星镜托，固定在主镜筒上，镜托的制作如下：

(1) 锯两段内径稍大于寻星镜筒外径、宽度约 1 厘米的金属水管，作为寻星镜托环。如图 94，(a) 1 为调节螺丝，2 为环体。

(2) 用厚度为 2 毫米、宽度为 10 毫米的铁片，弯制两个如图 94 中 (b) 那样的支架。在 2 的部分，弧度和寻星镜托环的外径一致。1 的部分弧度和主镜筒外径一致。将托环和支架用螺丝钉固定起来，并固定到主镜筒靠近目镜的

一端，如图 95。

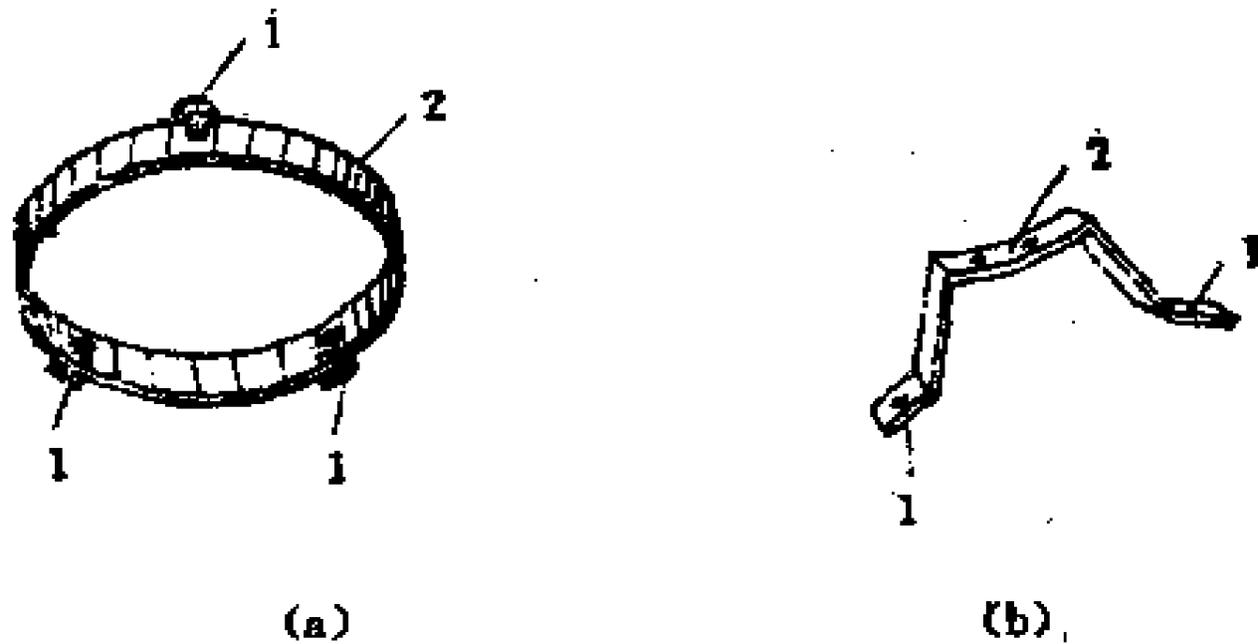


图 94

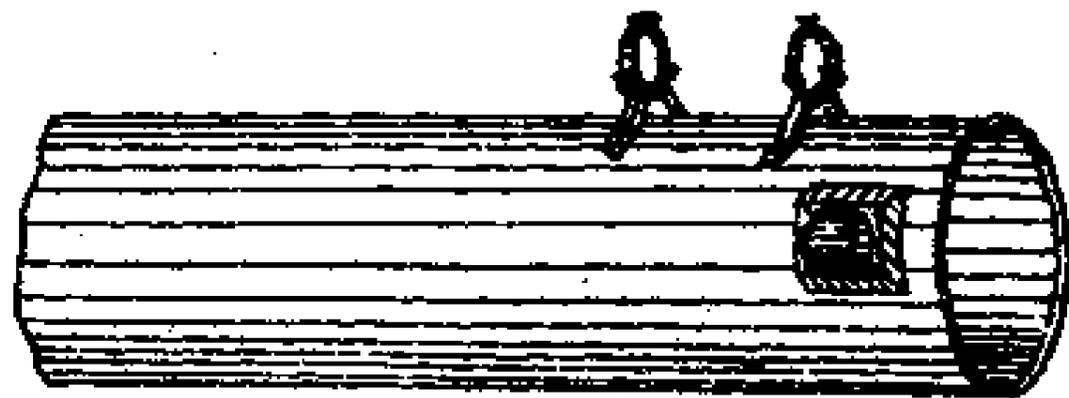


图 95

调节时先将高倍率的目镜安上，将望远镜对准远处的固定目标，把目标尽可能调整到望远镜的视场中心，立即把望远镜固定好。调整寻星镜靠近十字丝目镜一端的托环调节螺丝钉，使目标位于寻星镜视场中十字丝的交点上，再把 3 个调整螺丝钉都固定好。这时，寻星镜的光轴和主镜

光轴便大致平行，以后每次观测，只要先用寻星镜对准目标，使目标位于寻星镜目镜的十字丝交点上，就可以在主望远镜的视场中找到需要观测的目标。

### 小型反射望远镜的组装

各种零件齐备后，就可以按照图 96 所示的结构图组装。整个镜筒可以用白铁皮来做，也可以用黄纸板来做。镜筒的直径要比物镜直径大 20 毫米左右，镜筒的长度要比物镜焦距长 200 毫米左右。镜筒内要涂黑。如果用白铁皮来做，在卷成圆筒之前，先要打好安装目镜、寻星镜以及支架的洞口。

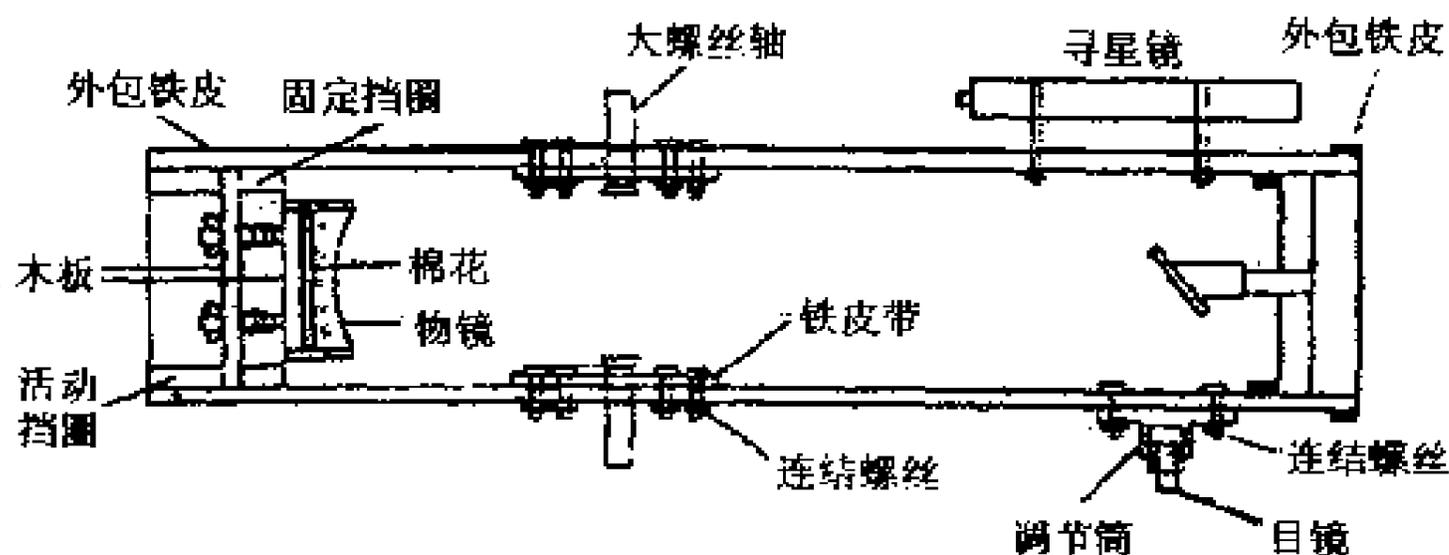


图 96 小型反射望远镜的结构图

①物镜的安装，可参考图 97，铁皮圈固定在木板 A 上，物镜由铁皮圈的凸爪固定好。木板 A 下面的 3 个螺丝是用

来微调物镜位置的,使物镜的主光轴和镜筒的中心线重合。

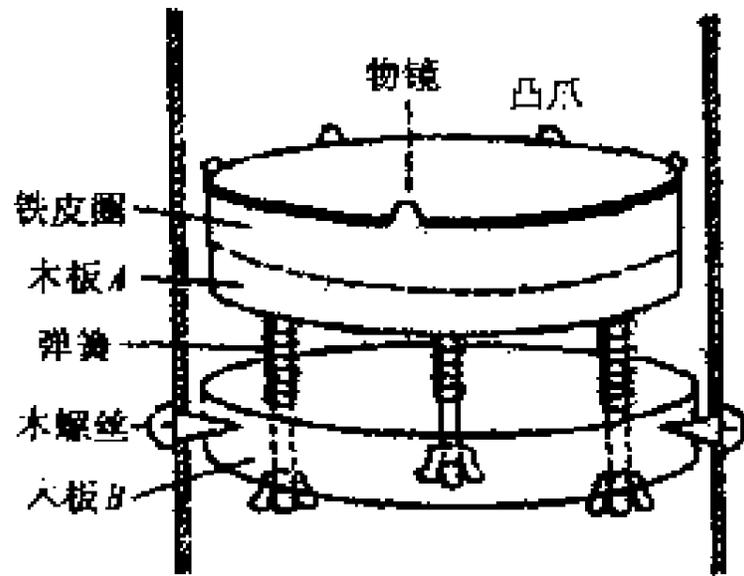


图 97 物镜的安装

②平面镜的安装。可参考图 98。平面镜固定在一个圆筒的  $45^\circ$ 斜面上。圆筒由调节螺丝固定在十字架的内环里。十字架的外环正好能塞进镜筒里。

③目镜的安装。为了解决目镜镜筒同物镜镜筒的连接问题,还要用铁皮做一个套筒,套筒的内径要等于目镜镜筒的外径,使目镜镜筒刚能放进去。套筒的一端焊上一块方形铁皮,这块铁皮要有一些弧度,4个角钻上孔,用螺丝固定在物镜镜筒上,如图 99 所示。

④寻星镜的安装。寻星镜用两个支架固定在物镜镜筒上。支架上的两个环圈的直径要比寻星镜筒大一些,环圈上有 3 个相距  $120^\circ$  的螺丝,用来调节寻星镜的位置,使寻星镜的光轴与物镜的光轴相平行。

⑤望远镜的底座。望远镜的底座要用好木料来做。图

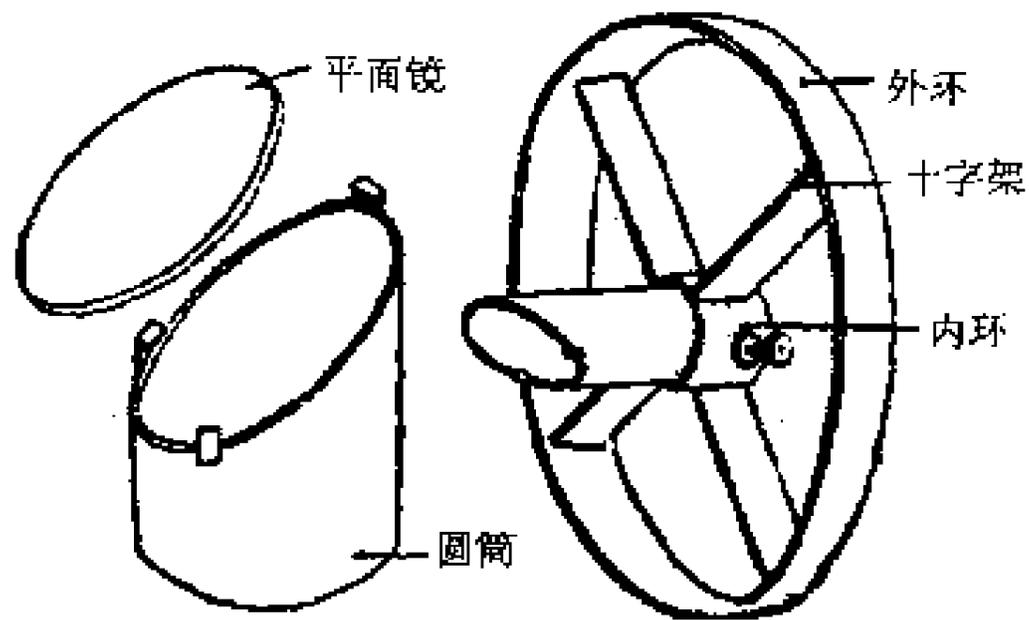


图 98 平面镜的安装

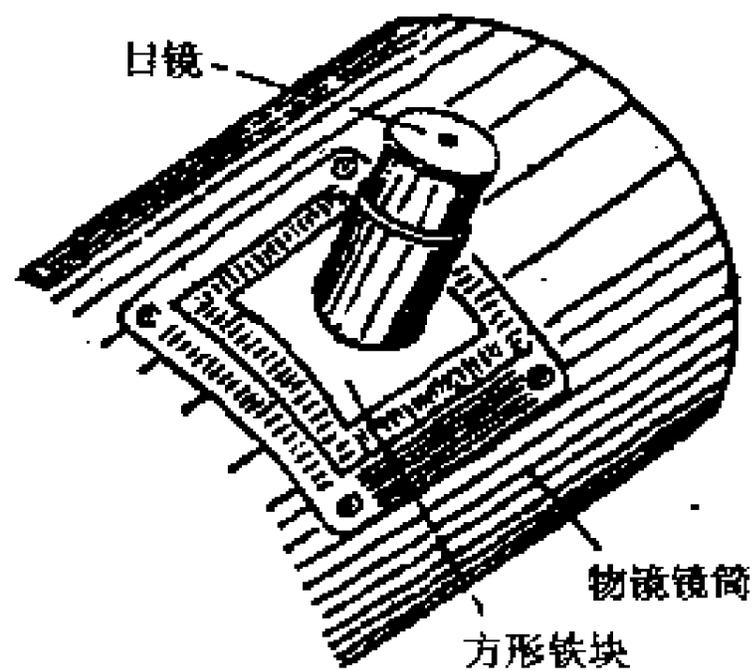


图 99 目镜套筒同物镜筒的连接

100 是地平式底座，它能使望远镜作上下、左右转动。用三脚架做支架便于移动，但不太稳定。如果不用移动，使用埋在地下的直立柱子做支架就稳定多了。另外，望远镜的

底座也可以做成赤道式的，使用赤道式会给跟踪天体进行观测和照相带来方便。

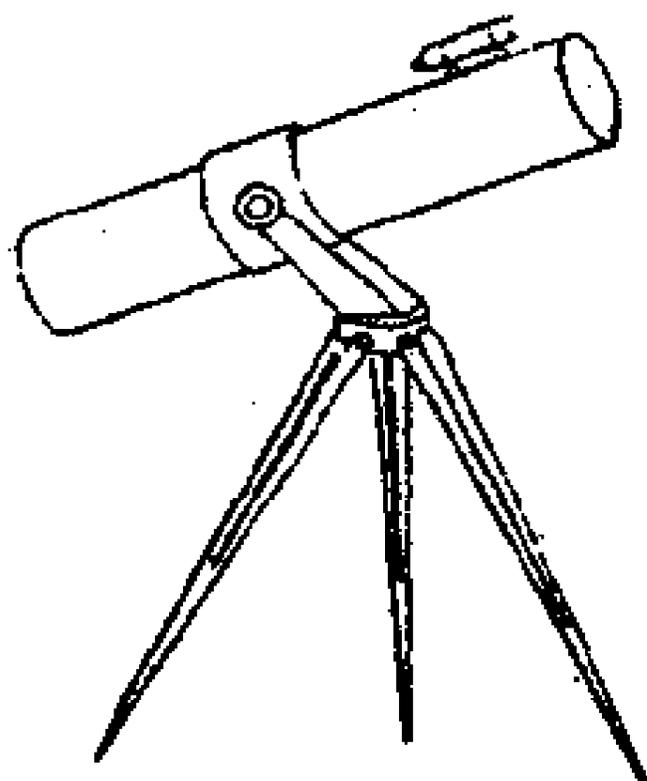


图 100 望远镜的地平式底座

整架望远镜组装完成后，还需要仔细调整物镜的位置、平面镜的位置和目镜的位置，使正对望远镜天体的光线，经过物镜的反射和平面镜的反射，会聚到目镜的前焦点上。初步调好后，就可以用它来观测天体。在试用的过程中再进一步调整，直到比较满意为止。

## 自制望远镜的使用与维护

### 自制望远镜的使用方法

由于天文望远镜的装置不同，使用方法也不一样。望远镜的装置有地平式和赤道式两种。地平式装置的望远镜像普通经纬仪一样，有两根互相垂直的轴。一根轴和地平面垂直，另一根轴和地平面平行。观测时望远镜可以上下旋转改变它的高度，也可以水平旋转改变它的方位。

赤道式装置的望远镜也有两根互相垂直的轴。一根轴平行于地轴，叫做极轴，另一根轴平行于赤道面。观测时固定赤纬盘，望远镜可以绕极轴旋转。

对于地平式装置的望远镜，必须按天体的地平坐标来观测。预先算好观测时刻天体的方位角和高度角，然后按地平坐标调好望远镜进行观测。

对于赤道式装置的望远镜，必须按天体的时角和赤纬来观测。天体的赤纬可直接查《中国天文年历》或有关星表。天体的时角  $t$  要由观测时刻的地方恒星时  $s$  和天体的赤经  $\alpha$  求出：

$$t = s - \alpha$$

还有一种简便的找星方法，就是比较法。事先用望远镜找到比较亮的容易找到的天体（如月亮、行星或一等星），然后再去找所要观测的天体。比如查得某日晚8时月亮的赤道坐标  $\alpha=10^{\text{h}}45^{\text{m}}.9$ ， $\delta=+2^{\circ}43'.7$ ，查得要观测的猎犬座  $\alpha$  星的赤道坐标  $\alpha=12^{\text{h}}54^{\text{m}}.8$ ， $\delta=38^{\circ}27'.8$ ，两者坐标差  $\Delta\alpha=2^{\text{h}}08^{\text{m}}.9$ ， $\Delta\delta=35^{\circ}44'.1$ 。先用望远镜视场中央对准月亮的中心，然后把赤纬盘上移  $35^{\circ}44'.1$ ，时角盘反时针移过  $2^{\text{h}}08^{\text{m}}.9$ ，那么猎犬座  $\alpha$  星就会在视场中央。

## 自制望远镜的维护

望远镜是一种精密仪器，在使用中必须注意维护。

①望远镜必须轻拿轻放，注意安全。

②在观测中首先要调好平衡物，使镜筒转动轻松、灵活。平衡调好后，在使用的过程中就不要随意更动。

③转动望远镜，首先要松开制动螺旋，再慢慢转动。在转动的过程中，必须用手扶住，以免望远镜碰到架子上。转动后要拧紧制动螺旋，但也不能拧得过紧，以免损坏螺旋。

④如果微动螺旋不能转动，表明已经转到头，这时候需要反转若干圈，然后松开制动螺旋，重新对准目标。

⑤在观测过程中，如果因为天空中的云雾使目标变得模糊，只要暂停观测就可以了。如果因为口鼻呼出的水汽使目镜镜片模糊，就要用擦镜头纸揩干水汽，严禁用手指或脏布擦镜头。

⑥每次观测后，要填写望远镜使用记录，记录方法如表 2 所示。

表 2 小型望远镜使用记录表

日期	使用时间	观测项目	仪器情况	使用者	备注
1983. 7. 15	9:00~10:00	太阳黑子	微动不太灵活	刘彤	请小修

⑦望远镜使用完毕要擦干净，然后存入箱内或用布包好。望远镜要注意防潮防震，箱内要有干燥剂。

⑧望远镜使用三四个月后要做一次较大的拆洗工作，拆洗后要在各转动轴处涂上润滑脂。零部件损坏要注意更换新的。反射镜面有暗斑或者失去光泽，要重新镀银或镀铝。

## 业余天文台的设计

### 光学望远镜与圆顶室

装有银白色圆顶的望远镜观测室已经成了天文台的象征。利用天文望远镜能看到那么多有趣而神秘的景象，使得一座座造型优美的圆顶室更加令人神往。

为什么望远镜要安放在圆顶室中呢？这是因为天文学家用来探测宇宙的眼睛——望远镜，和人们的眼睛一样，是非常娇气的，它不但经受不住风沙雨雪的侵袭，就是灰尘和空气中的各种腐蚀性气体对望远镜的危害也很大。外界温度的变化和观测室内外温度的不平衡造成的空气扰动，也会危及望远镜的成像质量。为了避免这些麻烦，就需要把望远镜尽量与外界的不利环境隔离开来，望远镜的观测室就是基于上面的考虑而设计的。

传统的天文观测室的造型为圆柱形圆顶建筑，由于顶部为一个半球壳体，与其他建筑有较大区别，所以称为圆顶室。圆顶室的圆顶上有两个狭长的活动天窗，可以朝两边裂开，圆顶可以在导轨上绕中心轴平滑地转动。这样，在观测时可以使望远镜指向需要的位置，而尽量少暴露望远

镜，平时又可把望远镜严严地保护起来，免受风雨之苦。圆顶室一般都涂成银白色，这是为了反射掉大部分的太阳辐射。在设计圆顶室时，还要考虑安装隔热层，这是为了防止由于温差造成的上升气流引起空气抖动。夜晚，由于观测室地面温度略高于空气温度，也会形成上升气流，因此，有的圆顶室对室内地板还采取了冷却措施。外界振动对于望远镜的影响也很大，所以常把望远镜基墩与圆顶室的地板隔开，以便使圆顶在转动时尽量平稳。为了防止风吹引起的振动，一些圆顶室还安装了风帘，上面只有一个直径稍大于望远镜口径的圆孔，以便让光线射入，其余部分与外界隔离，从而更好地保护望远镜。

## 天文台的选址

随着天文观测仪器的日趋精密，对天文台台址的要求越来越严格了。另一方面，由于人口骤增和工业的发展，使世界各地的环境污染和光污染日益严重，这就使天文台选址工作变得更加重要和困难了。

选择天文台址首先要考虑的是良好的大气宁静度和透明度。天文台的主要任务是研究各种天体，这些天体一般都很遥远，所以可接收的光线比较暗弱，故要求台址在夜间有良好的观测条件。天文台经常建造在高山上，这是为了避开地面附近的水汽和减少气流从地面带起的尘埃及微粒的影响，因为它们会增加大气对星光的吸收，影响对暗

星的观测，而且地面附近的空气流动也十分激烈，这会使望远镜里的星像抖动、扭曲，影响观测的质量。另外，如果天空经常有云，也会影响天文观测，所以选择台址还要分析候选地点的气象资料，确定每年平均有多少个可用于观测的晴夜。如果天文台的海拔很高，就可以把大部分云和水汽都甩在脚下，使晴夜增多，这是选择高山作台址的又一个优点。

很多人为因素也干扰天文观测，选址时也要考虑。最主要的干扰来自城市的灯光，很多已建成的天文台由于城市灯光的影响，已经不得不考虑搬迁了。不过，太阳观测台由于观测对象是明亮的太阳，所以，不受光污染的干扰，它主要是要求白天大气宁静度要好。实践证明，水面上的大气宁静度优于高山地区，所以许多太阳观测站建在水面附近。射电天文台的选址与光学天文台有较大不同，它主要要求大气中水汽含量要少而稳定，并且要避开其他无线电波的干扰。

选址时，还要注意交通、运输、工作人员生活条件等问题，所以天文台不可能建在太高或太偏僻的地方。即使天文台建得很高，大气的影响依然存在，因此，科学家们开始把各种望远镜发射到太空去进行观测，这样，就彻底摆脱了大气的影响。由于技术上的限制，目前设备沉重、结构复杂的大型望远镜上天的还不多。很多研究项目依然要依赖地面天文台来完成，所以还要花费大量的人力、物力进行天文台选址工作，以便让大型望远镜充分发挥出它们

的威力。

当然，这里说的是专业天文台的选址，对于天文爱好者的业余天文台，只能依爱好者自己的客观条件，尽量选择比较好的地点，以满足观测的要求。

### 圆顶式天文台

望远镜如果永久装在户外，其机件便容易生锈，甚至会被某些好奇的人弄坏；所以一般比较精制的装置最好有一定的保护。

圆顶式的天文台原是最理想的建筑，但在技术上有许多不易克服的困难，所以采用此种形式的天文爱好者并不多。圆顶必须能转动；顶上开有约  $90^\circ$  的弧口，和一二扇弧形的门（图 101）。

### 锥形顶天文台

锥形的房顶与圆顶大同小异（图 102），它的优点在于建筑方面比较容易。

### 方顶式天文台

方形的屋顶比圆形或锥形的更容易建造，所以是许多天文爱好者所采用的型式。方形屋顶可分两个总的类型：一

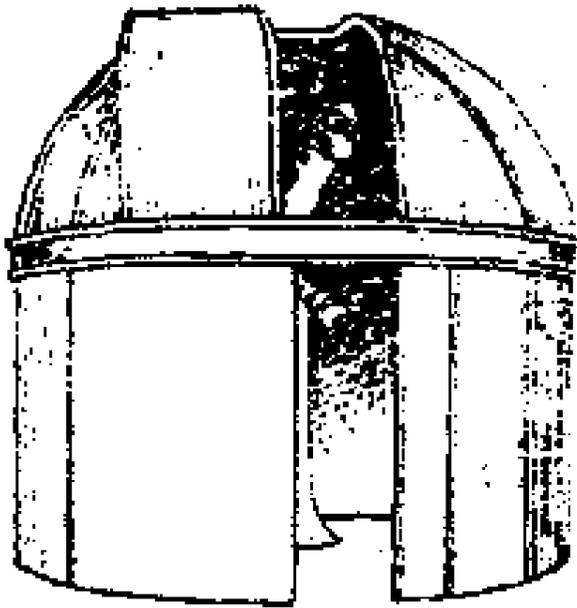


图 101 圆顶式天文台

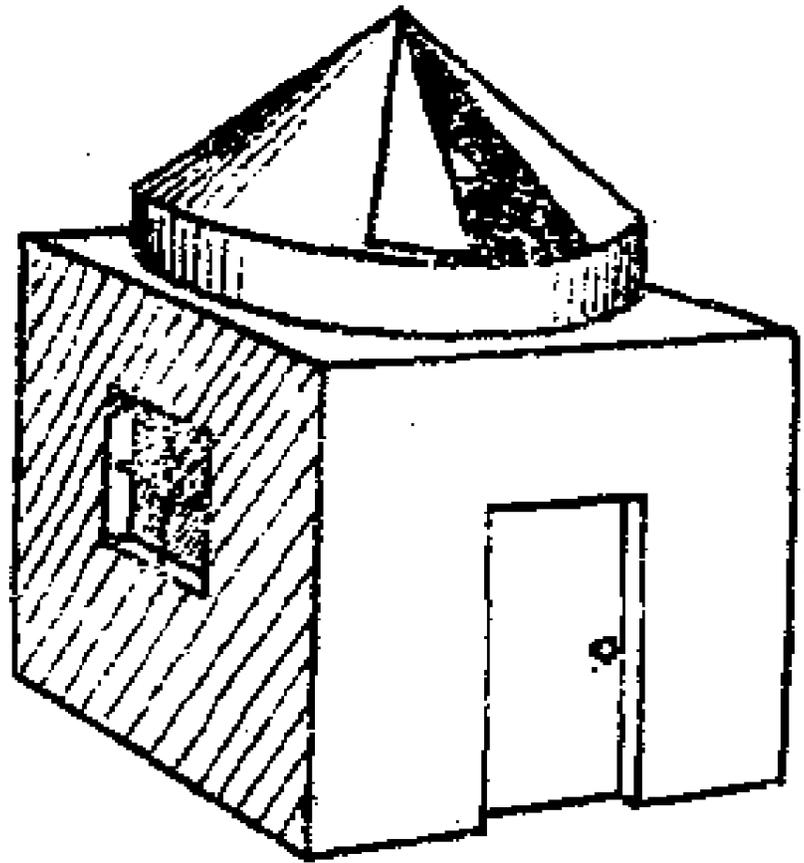


图 102 锥形顶天文台

类可使方顶在观测时全部移开，如图 103 所示；另一类是

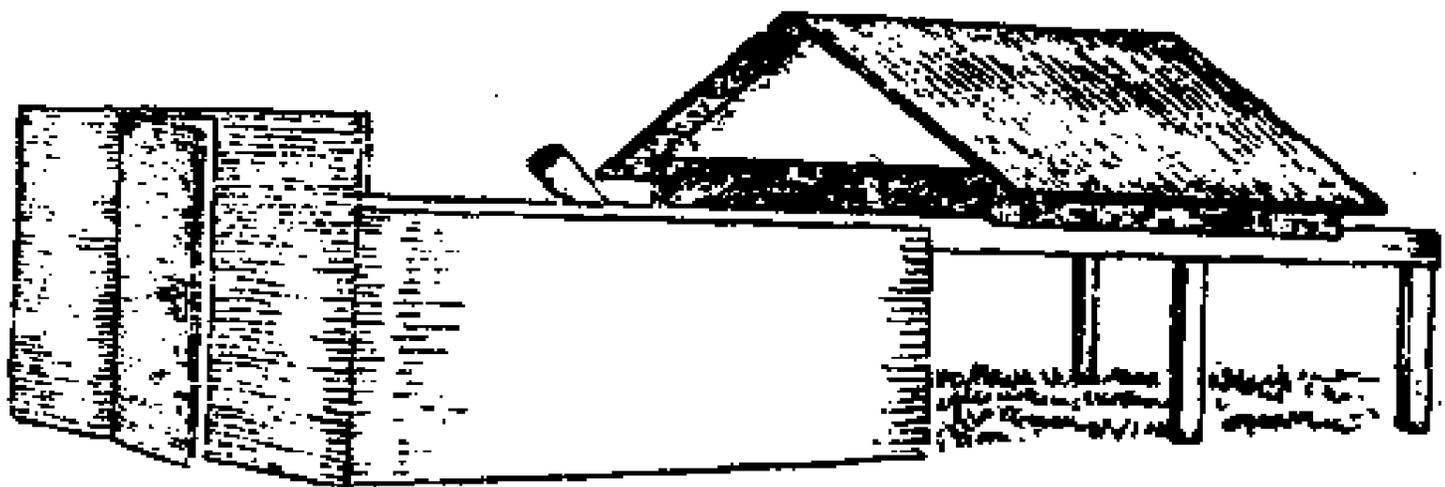


图 103 方顶式的天文台

在房屋的下部装有轆子，可在铁轨上移动，如图 104 所示。

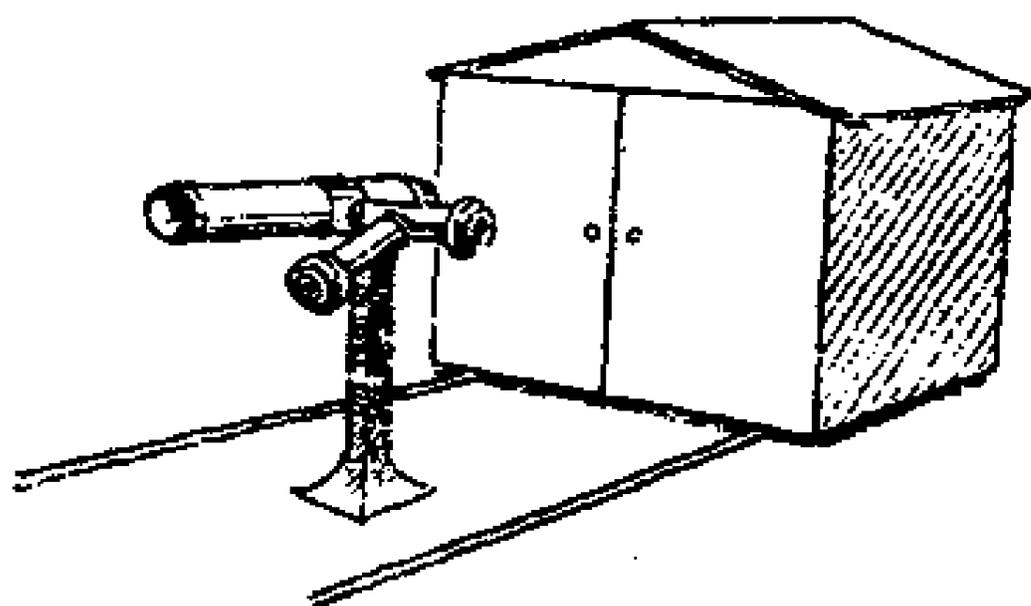


图 104 全部房屋在铁轨上移动的天文台

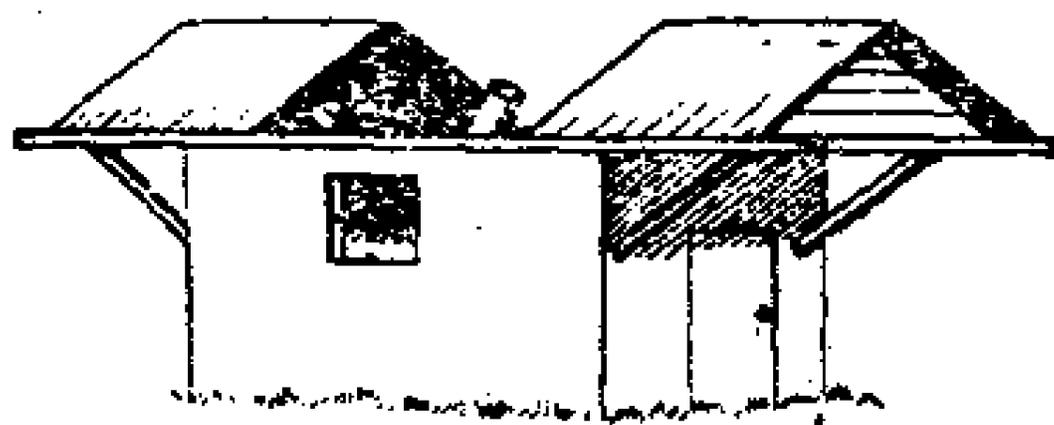


图 105 房顶分为二段的天文台

此外也有将方顶分为二段的，如图 105 所示。

### 防雨木箱式天文台

最经济的建筑乃是一个装有斜顶的大木箱，如图 106。

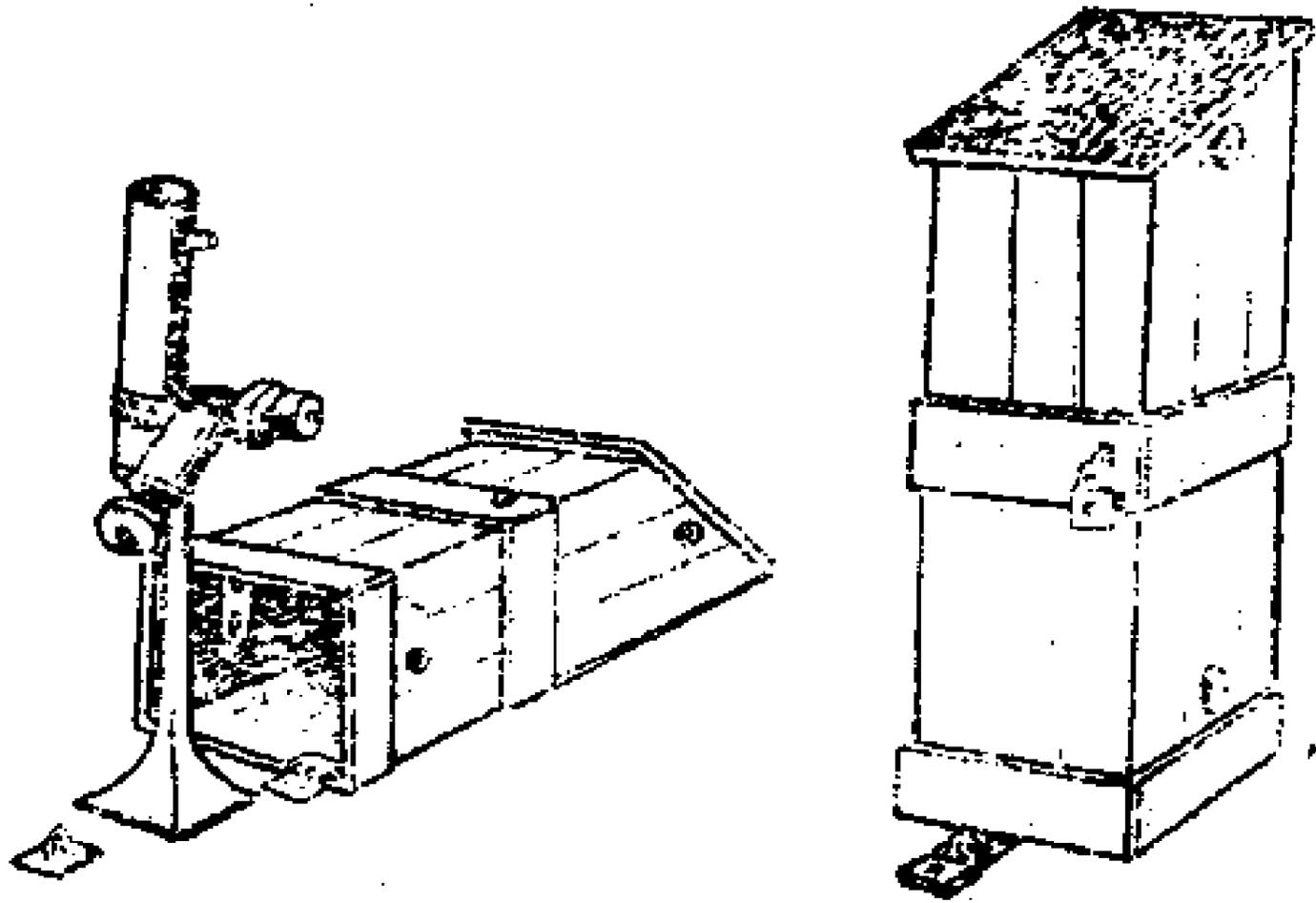


图 106 一个简单的防护箱

## 其他天文仪器制作简介

### 赤道式日晷的制作

日晷是利用太阳测定时间的仪器。它有赤道式、地平式和卯酉式 3 种结构。

赤道式日晷由日晷板、指时针、底板等组成，如图 107 所示。指时针垂直穿过圆形日晷板的中心。指时针同底板

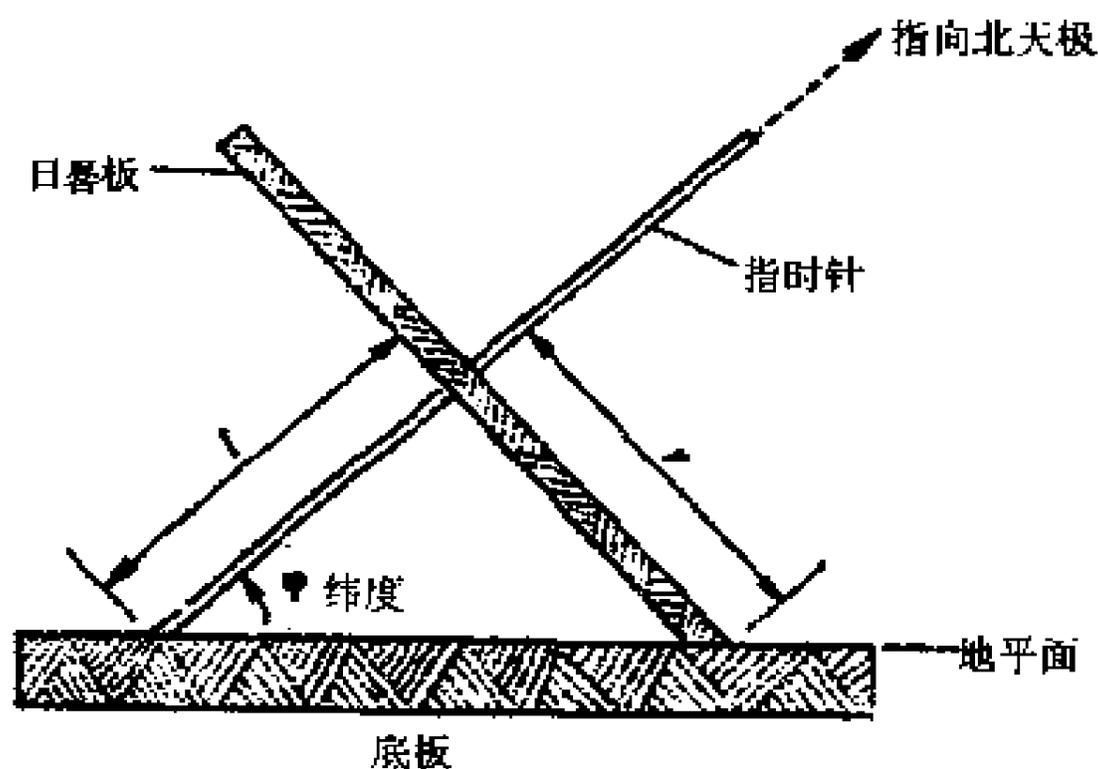


图 107 赤道式日晷

的夹角等于当地纬度  $\varphi$ 。底板平行于地平面。指时针南北旋转，上端指向北天极。

在春分到秋分这半年的时间里，太阳在天赤道以北，指时针的影子落在日晷板的上面。在秋分到春分这半年的时间里，太阳在天赤道以南，指时针的影子落在日晷板的背面。从指时针影子所在位置，就可以知道当地的时间。

底板可以用宽 200 毫米、长 200 毫米、厚 30 毫米的木板制作。

日晷板可以用直径 100 毫米、厚 15 毫米的圆形平板制作。以圆板的中心为圆心，在靠近圆板边缘处画一个大圆，

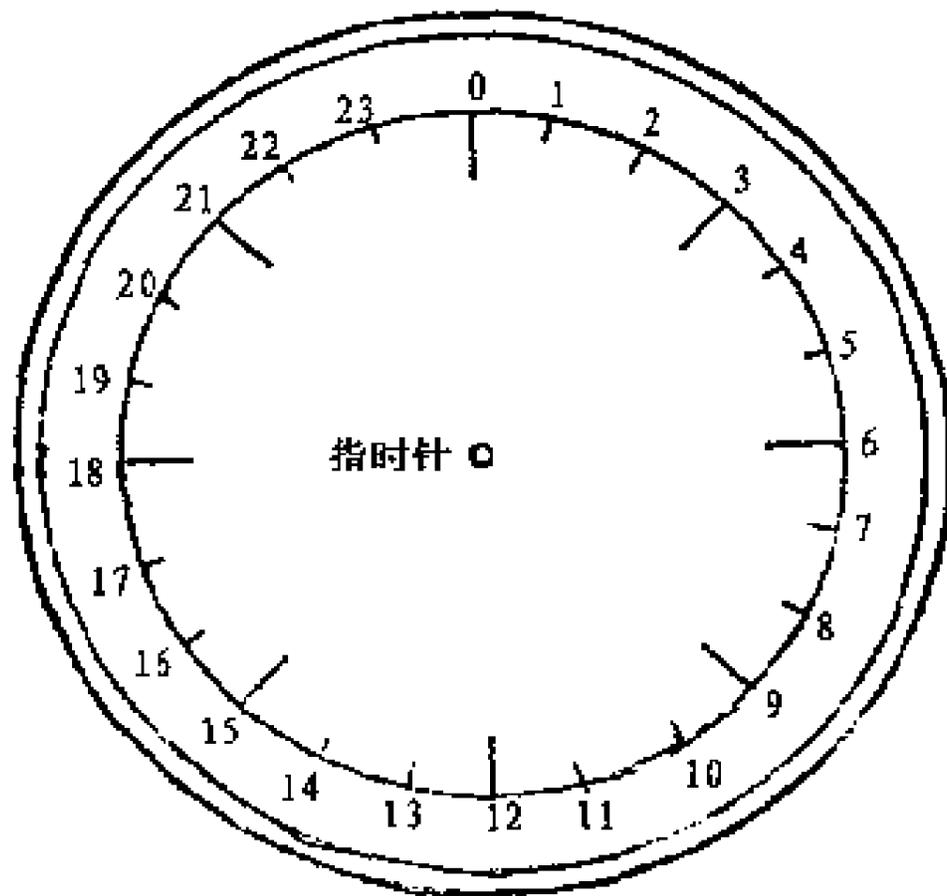


图 108 日晷板的正面

并等分成 24 份。在等分线上，顺时针方向记上 0、1、2、……23 作为时线，如图 108 所示，这是日晷的正面。在日晷的背面，需要反时针方向记上 0~23 的时线。

指时针可以用铁针或者竹竿、木杆制作。在日晷板的中心钻一个小孔，把指时针打进小孔中。指时针一定要垂直于日晷板。指时针在日晷板背面的长度  $l$  应该是：

$$l = \frac{r}{\tan\varphi}$$

比如在北京地区， $\varphi \approx 40^\circ$ 。如果日晷板的半径  $r$  是 50 毫米，那么  $l$  是 59 毫米。

在底板相应位置上挖一个安放日晷板的圆槽，挖一个安放指时针的小槽。最后用乳胶把日晷板和指时针固定在底板上，注意 0 和 12 的时线在垂直平面上，12 时线在正下方。

## 地平式日晷的制作

地平式日晷由日晷板和指时针组成，如图 109 所示。日晷板水平放置，指时针同日晷板的夹角等于当地纬度  $\varphi$ 。指时针南北放置，上端指向北天极。

地平式日晷可以看成是赤道式日晷在地平面上的投影。地平式日晷的时线需要按下式计算：

$$\tan x = \sin\varphi \tan t$$

式中  $x$  表示某一时刻的时线同日晷面上南北线的夹角， $\varphi$

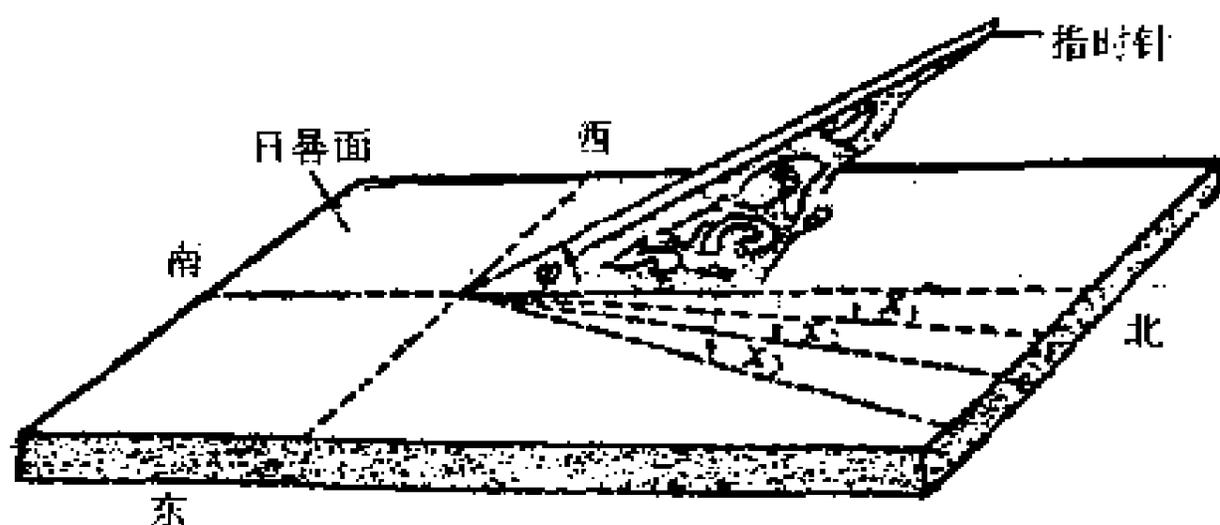


图 109 地平式日晷

是观测地的纬度， $t$  是太阳同当地子午线的夹角。

表 3 列出北京地区 ( $\varphi \approx 40^\circ$ ) 每隔 10 分钟的阳光时角  $t$  同晷面时线夹角  $x$  的对应值。

表 3 北京地区太阳时角  $t$  同晷面时线夹角  $x$  的对应值

$t$	0 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>	0 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	0 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	0 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	0 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>	1 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	1 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>	1 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	1 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	1 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	1 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>	2 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>
$x$	1°36'	3°13'	4°50'	6°28'	8°6'	9°46'	1°27'	13°9'	14°54'	16°40'	18°29'	20°20'
$t$	2 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>	2 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	2 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	2 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	2 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>	3 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	3 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>	3 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	3 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	3 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	3 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>	4 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>
$x$	22°15'	24°12'	26°13'	28°19'	30°28'	32°42'	36°2'	37°25'	39°55'	42°31'	45°13'	48°2'
$t$	4 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>	4 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	4 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	4 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	4 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>	5 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	5 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>	5 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	5 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	5 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	5 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>	6 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>
$x$	50°58'	54°1'	57°10'	60°27'	63°50'	67°21'	70°57'	74°38'	78°25'	82°14'	86°7'	90°1'

其他地区可以按照上述公式计算。计算的时候注意把太阳时角换成角度或者弧度才能代入式中。

日晷板（底板）可以用宽 150 毫米、长 200 毫米、厚 30 毫米的木板制作。

指时针用长 120 毫米、厚 3 毫米的三角形薄木板制作，

底角等于当地的纬度。指时针板用乳胶粘在日晷板上，底角的角顶要正对着东西、南北线的交点，指时针板面要同南北线对齐。

在日晷板面上作时线的时候，对指时针的宽度要加以修正，如图 110 所示。作右边时线要以  $AB$  线为准，作左边时线要以  $CD$  线为准。另外，黄昏的 19 时线、20 时线，不应该同下午的其他时线相交于一点，而应该是上午 7 时线、8 时线的延长线。同时，上午的 4 时线、5 时线，应该是下午 16 时线、17 时线的延长线。

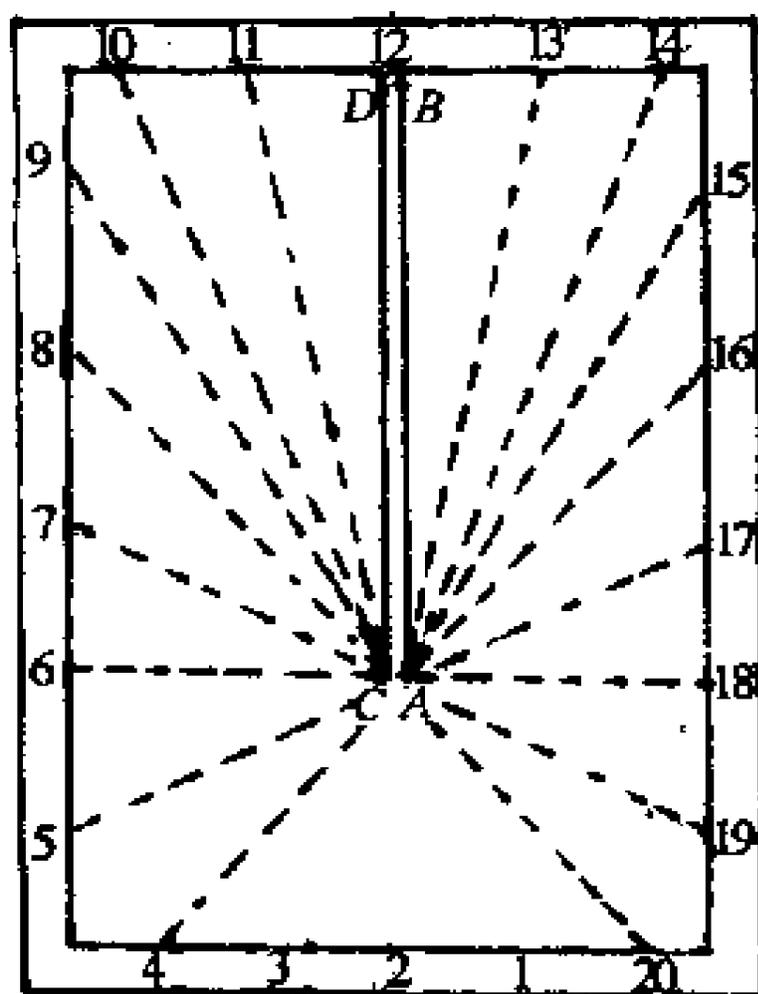


图 110 日晷板上的时线

## 简易经纬仪的制作

简易经纬仪由高度板、方位盘、立柱、底座等组成，如图 111 所示。它是用来测量地平高度和方位角的仪器。

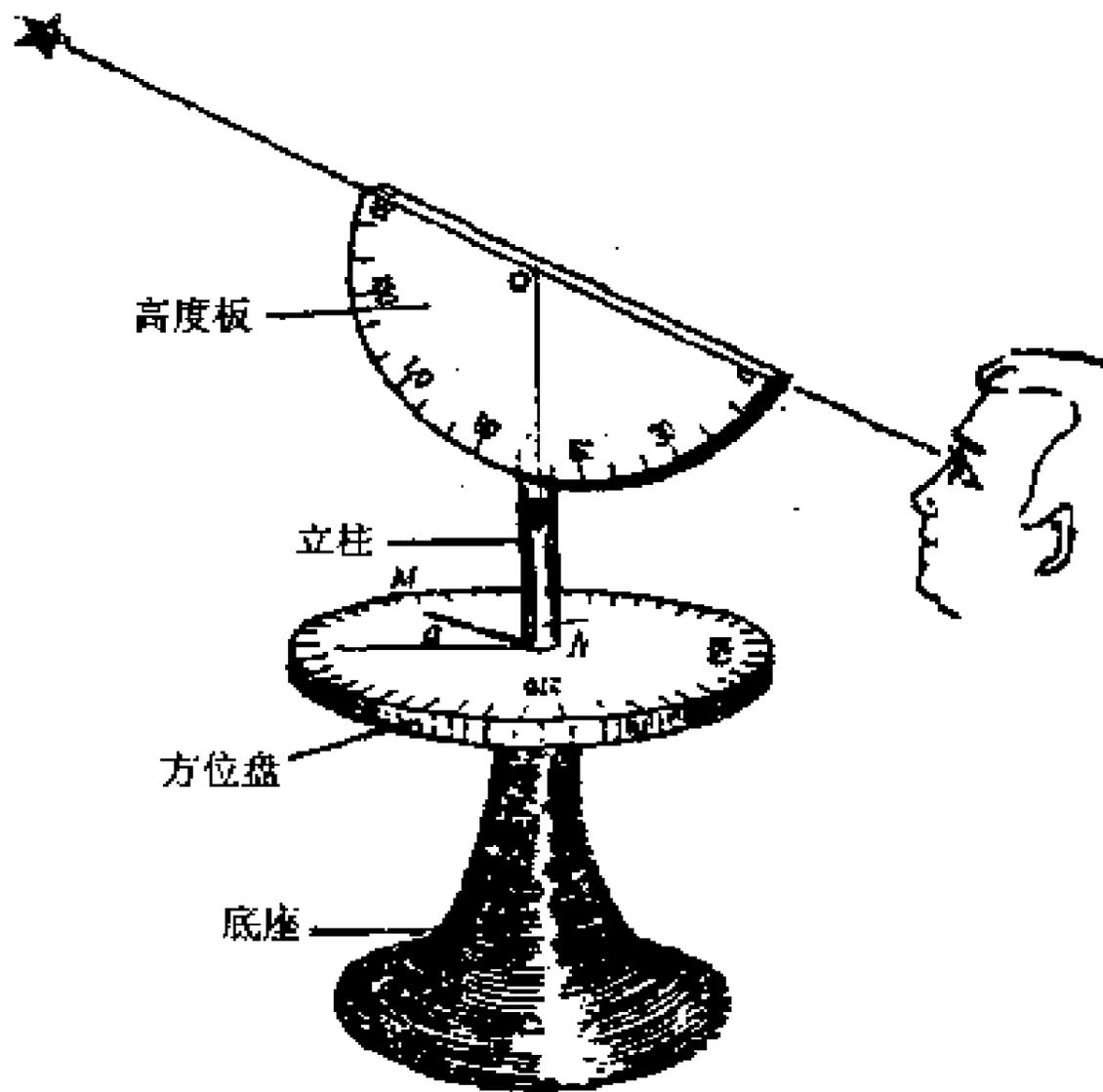


图 111 用简易经纬仪进行观测

高度板实际上是一个量角器，量角器的圆心处拴一根细线，细线下端挂一个重物作为铅垂线。测量的时候，转动量角器，使观测者的眼睛、量角器的直边、被观测的天体同在同一条直线上。这时候铅垂线所示的角度  $z$  就是天体

的天顶距。测得天顶距  $z$ ，就可以计算出地平高度  $h$ ：

$$h = 90^\circ - z。$$

方位盘是一个可以旋转的圆盘，圆周上按顺时针方向刻有  $0^\circ \sim 360^\circ$  刻度，观测时转动方位盘，使  $0^\circ$  刻线正对南方。当量角器对准被测天体之后，量角器所在平面同方位盘相交于直线  $MN$ ，直线  $MN$  同正南方向的夹角  $\alpha$  就是天体的方位角。

立柱可以用宽 30 毫米、长 30 毫米、高 350 毫米的木条制作，一头削成圆柱形。

高度板可以用宽 280 毫米、长 500 毫米、厚 15 毫米的木板制作，制作成以 250 毫米为半径的量角器。在量角器的重心处打一个小孔，穿入一根钉子并把钉子钉在立柱上。量角器可以绕钉子转动，并且能够停留在任意角度上。另外，在圆心处钉一小钉，拴上铅垂线。

方位盘可以用直径 500 毫米、厚 15 毫米的木板制作。方位盘中央打一个立柱刚能插进去的圆孔。

底座可以用木料做成，中间也打上孔，使立柱插入方位盘后再插入底座。底座下面还可以装上 3 个大螺丝，用来调准方位盘的水平位置。底座也可以用竹筒子制作，竹筒子要长一些，使用时把竹筒子的下端埋入土中。

## 天文爱好者的星空观测

星空知识来源于对星空的预测，当我们在前人观测的基础上，对恒星的状况和星空的变化有所了解以后，就可以更有效地进行观测了。在观测实践中，由于我们的锲而不舍和辛勤劳动，以及不断改进观测方法，加深了我们对宇宙空间的认识，而且可获得某些成果。曾经有不少星空爱好者，就是这样进入天文学家的行列的。虽然我们主要是用简易仪器凭肉眼观测，在观测的项目和精度上自然受到限制。但我们也不必气馁，古代的天文学家和现在的许多业余天文爱好者，不就是凭着他们的一双眼睛和简易的观测仪器而有所发现和发明的吗？

### 星空观测的一般事项

星空观测与地形、时间和天气状况有关，应该选择在适当的观测场地和恰当的时间内进行。还应该考虑观测的手段和设备情况。自己动手制作一些简易的观测仪器，准备必要的观测用具。

**场地选择：**在海面或海滩上观测星空，可以看到海平面上的地平圈，所见的星空范围和星的出没时刻，与理论

上的数值近似，是最理想的观测场地。其次，在有一定海拔高度或高原面上，可以看到应有的自然地平，所见的星空范围较大，星出时刻提前，星没时刻推后，仍然是较好的观测地点。至于山地丘陵或山间盆地，则视线受到阻碍，视野大为缩减，可见的星空范围极大地变小，看不到自然地平，也不存在地平线的现象了。这里的星星，升起的时刻推迟，而西沉的时刻提早，星星在地平圈上的可见时间大大缩短，所见星星的数目也大为减少。在这样的地区观测星空，就应当尽量选择一个地势较高、视野较广和周围没有建筑物或灯光干扰的场地。在居民点集中的城镇地区，最好在郊区的高地，或者在高大建筑物的屋顶平台上。与观测场地有一定距离的地形地物，例如一个堰口，一座山头，一个塔顶，或者一棵独立树，有时候反而有助于我们的肉眼观测。譬如说，“星星挂在树梢头”，那么是哪颗星星、在什么时刻挂在这颗树梢上呢？又譬如说，“月出东山之上”、那么它告诉我们的不只是那里是东方，而且那里还是当时的黄道和白道的所在了。当地的这些地形地物，它们的地平坐标值是我们所熟知的，我们可以利用它们作为标志，来目测地平附近的星座或某星的位置，并对比它们的出没时刻。可见，地面上的景物，并不能完全限制一个热心而熟练的星空观测者，有时候反而为他提供了有利的观测条件。

时间选择：观测星空的时间，一要天气晴朗，二要没有月光。曹操的诗句：“月明星稀，乌鹊南飞”，说的是黄

昏时候，月色虽美，星星却少，他正确地指出了明月和星光相矛盾的现象。欣赏明月和观测星空，二者是不可兼得的，因为月球的光辉遮掩了微弱的星光，所以观测星空的时间，最好是选择在月出之前或月落之后。农历的月初或月末，最适宜于观测星象；月初的渐盈娥眉月，于日落西山之后随之下沉，月末的渐亏娥眉月，黎明时候才升起于东方地平线上；而且因为是娥眉月，月光也不足以掩盖星星的光辉，农历的月初和月末，几乎整个夜晚都可以观测星象。此外，农历月中二十日前后的前半夜，也是宜于观测星空的时间。这时，渐亏月尚未东升或升起不高，也是满天星斗的时候。

实际上，除了满月前后的一二天，这时日落月出，不适宜于观测星空以外，其他日期的夜晚，只要天气状况良好，总有一些时段是可以观测的。而且，在同一个整夜，可以看到不同季节的星空，上半夜的星空，就是前个季节下半夜的星空。所谓四季的星空，仅仅是指黄昏时候的星空而言的。可见，观测星空的时间是很多的，观测天区的季节性限制也不太大。

## 月球的长期目视和照相观测

月球是离地球最近的一个天体。由于它受到太阳、地球和行星的引力等因素的摄动影响，使其运动变得十分复杂。人们在观测研究月球的运动中，通常总是不得不把月

球运动的理论分成主要问题（受太阳、地球的主要影响部分）和次要问题（行星引力摄动、月球形状异常引起的摄动影响等部分）两部分去分析研究。由于月球运动的复杂性，而给天文爱好者提供了长期观测月球运动的可能性和必要性。对月球运动的长期观测，尤其是青少年天文爱好者对月球的长期观测，将具有非常深远的意义。

对于天文爱好者来说，最为可行、有效，而且十分有趣的月球观测活动，要算是月球天平动的长期观测了。所谓月球天平动，就是从地球上看来，月亮环绕着月心所作的像天平那样，周期性地来回摇摆运动的现象。月球的天平运动有两种：一是月球的光学天平动，或称为视天平动；另一个就是月球的物理天平动，也就是月球的真正周期性摆动。

月球的光学天平动又可分为3种：①纬度天平动。因为月球的赤道和白道有一个约 $6^{\circ}41'$ 的夹角，当月球围绕着地球运动时，月球走到白道的最北点，人们从地球表面上看来，将可以多看到月球南极部分背后约 $6^{\circ}41'$ 的区域。而当月球走到白道最南点时，人们从地球表面上看来，又可以多看到月球北极部分背后约 $6^{\circ}41'$ 的区域。一般大约27.2个平太阳日为一个运动周期。②经度天平动。因为月球公转轨道是一个椭圆轨道，与地球的距离有近和远之分，所以月球的公转速度是不均匀的。根据开普勒的面积定律知道，在近地点时，运动速度比较快一些，在远地点时，运动速度相对地要慢一些。对于均匀自转运动（相对来说）的

月球，其西部和东部的边缘后侧，沿经度方向常常有  $7^{\circ}45'$  左右的地方可以被地面上的观测者看到，约每隔 27.5 日就会看到一次。③周日天平动。由于地球是一个直径约 12700 多千米的大球体，因此，每当月出时，地球上的人，往往可以多看到月球西边缘后侧约 1 度左右的区域，当月落时，同样也会多看到月球东边缘后侧约 1 度左右的区域。同理，位于地球南北两极地区的人们，也将能多看到月球南北两极后侧一部分区域。

月球的物理天平动，主要是由于月球的外表形状不是均匀球体，因此，在地球引力作用下，使月球本身发生对其平均位置的偏移，出现月球本身真正的摆动。

对于青少年天文爱好者来说，观测月球的方法，最简单可行的就是目视描绘观测和照相观测了。

(1) 目视描绘观测 主要是通过天文望远镜细心地把月面细节描绘在一张白纸上，尤其着重描绘月球圆面边缘部分，描绘装置如图 112。用来描绘月面图的望远镜，最好有赤道跟踪装置。在望远镜适当的地方（视望远镜类型而定），安装一块与目镜光轴方向垂直的描绘板，上面夹上描绘月球表面图的白纸。为了便于描绘观测，晚上可用红灯照明，以避免灯光刺激眼睛，产生描绘误差。描绘时，只要纸的位置放得适当，将可看到白纸上投影有月球的一个虚像，然后按月球影像，用铅笔慢慢描绘。只要修正多次，一般是可以描绘得相当准确的。

开始描绘月面时，要看好时间，并准确把时间记录好。

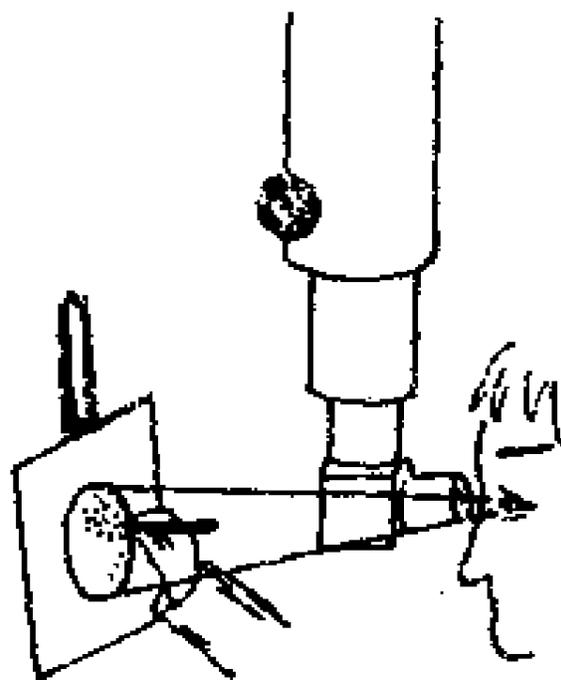


图 112

描绘完毕后，同样记录下准确时间，还必须注意描绘是否准确，并在描绘纸上注明观测描绘的年、月、日（最好包括阴历日期），观测地点的经纬度和观测者姓名。连续观测2~3个月之后，即可进行分析研究，写出观测报告。

(2) 月面的照相观测 由于月球视圆面比较大，亮度也比较强，因此，对月球进行照相观测，一般可分为望远镜物镜焦平面照相，目镜后投影照相和目镜后加照相机照相三种方法。

① 物镜焦平面照相：先卸下望远镜的目镜，将去掉镜头的照相机或特殊的照相盒，直接安装在目镜筒上面。然后调节目镜筒，使照相机或照相盒底片位置的毛玻璃（装毛玻璃时毛面应对向望远镜方向）上成像清晰，便可把底片装上，进行拍照。不过，曝光时间必须适当，太长太短

都将直接影响照相质量。这种照相方法的曝光时间，可近似地参照下面公式：

$$t = (f_{\text{物}} / D)^2 \frac{1}{A \cdot B} (\text{秒})$$

式中  $t$  为曝光时间（以秒为单位）， $f_{\text{物}}$  为物镜焦距， $D$  为望远镜物镜的有效口径， $A$  为底片的感光指数（以 ASA 为单位）， $B$  为天体的亮度指数，参考表 4。照相装置如图 113。图中 1 为照相机或照相盒；2 为相机接头；3 为目镜筒；4 为支架；5 为固定螺丝；6 为望远镜筒（牛顿式）。

表 4 天体亮度表

天体	太阳	弯月	上下弦	凸月	满月	月全食	半影食
$B$ 值	$10^{\circ}$	20	40	80	200	0.005	50

②目镜后投影照相：不要把目镜取下，在目镜筒上附加一个镜筒，附加的镜筒长度与天体像的大小、目镜焦距、物镜成像的直径等有关。而附加镜筒的有效长度  $a$ （从天体像面到目镜距离）可由下式计算：

$$a = f_{\text{目}} \left( \frac{S}{d} + 1 \right)$$

式中  $f_{\text{目}}$  为目镜的焦距， $S$  为天体像的大小， $d$  为物镜焦平面上天体像的直径。在附加镜筒上再安装照相机（将照相机镜头取下），或安上特制照相盒。如图 114，1 为照相机（或照相盒），2 为附加镜筒，3 为目镜筒，4 为照相机支架，

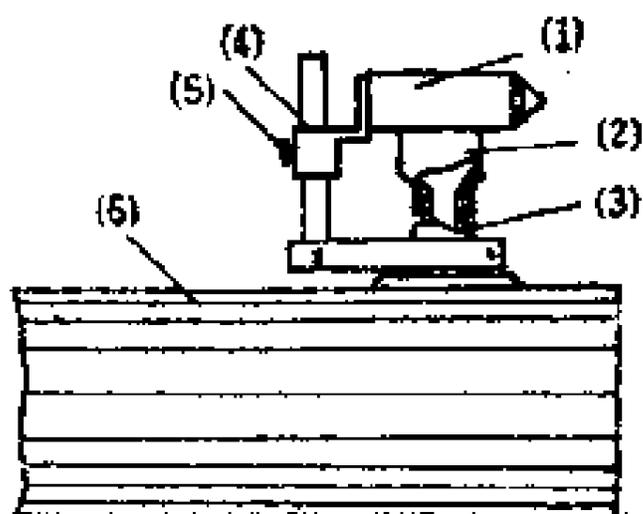


图 113

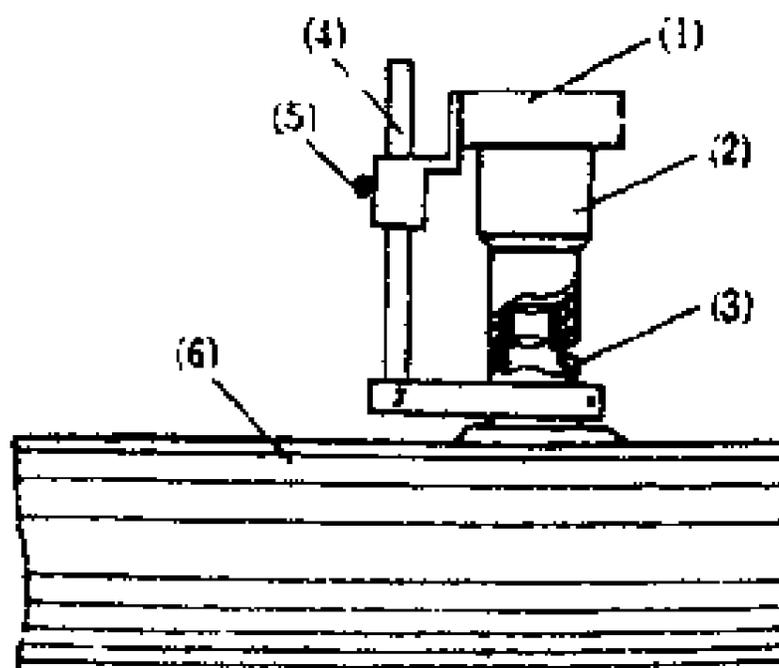


图 114

5 为固定螺丝，6 为望远镜筒（牛顿式）。

曝光前调节目镜筒，使天体成像清晰即可照相。这种照相方法，曝光时间  $t$  可参考下式：

$$t = (af_{\text{物}})^2 / A \cdot B(Df_{\text{目}})^2 (\text{秒})$$

式中  $a$  为附加镜筒的有效长度， $f_{\text{物}}$  为望远镜物镜焦距， $D$  为物镜的有效口径， $f_{\text{目}}$  为目镜焦距， $A$  为底片的感光指数（以 ASA 为单位）， $B$  为天体亮度指数（参看表 4）。

③目镜后加照相机照相：望远镜的目镜和照相机上的镜头都不要取下。只要将望远镜对准天体，并调好焦点，使望远镜目镜中的天体成像清晰，把照相机的光圈和焦距都调到最大，再将照相机安装在目镜后面，照相机镜头对准目镜，慢慢调整照相机的位置，使照相机的光轴与望远镜光轴重合，而且，从照相机镜头到目镜距离刚好能使照相

机的取景器上天体成像清晰，即可进行照相。如果必要，也可稍微调节目镜筒，改进天体像的清晰度。

用这种方法照相，曝光时间可通过下式计算：

$$t = (f_{\text{物}} \cdot f_{\text{照}})^2 / A \cdot B (Df_{\text{目}})^2 (\text{秒})$$

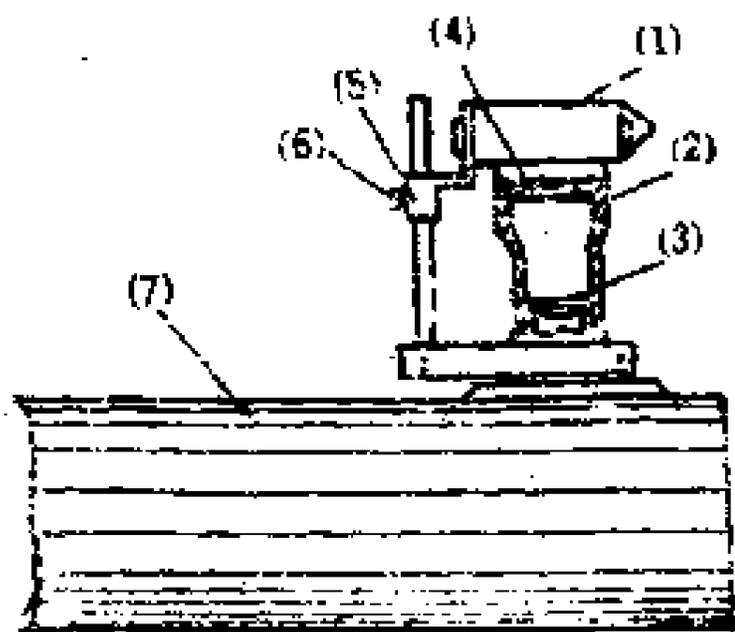


图 115

式中  $t$  为曝光时间， $f_{\text{物}}$  为望远镜物镜的焦距， $f_{\text{照}}$  为照相机镜头的焦距， $A$  为照相底片的感光指数（以 ASA 为单位）， $B$  为天体亮度指数（参看表 4）， $D$  为望远镜物镜的有效口径， $f_{\text{目}}$  为目镜的焦距。如图 115，1 为照相机，2 为照相机遮光遮，3 为目镜，4 为照相机镜头，5 为支架，6 为固定螺丝，7 为望远镜筒（牛顿式）。

由于照相的曝光时间，还与大气的透明度、宁静度、暗房技术等因素有关，故以上的曝光时间计算，只是参考，观测时还必须多次试验，才能获得最理想的结果。

以上照相曝光时间，也适合其他天体照相，只要按表

查出相应星等的  $B$  值即可。

## 行星的观测

### 1. 行星的动态

要观测某颗行星，首先要了解这颗行星的动态。了解行星动态有两种简单办法。

(1) 根据行星过去的动态，利用行星的会合周期推算行星未来的动态。比如根据 1984 年 6 月 29 日木星冲日，木星的会合周期是 398.88 天，就可以推算出下次木星冲日大概在 1985 年 8 月 4 日。知道了这个冲日日期，就可以推算出木星未来的动态：1985 年 7 月、8 月、9 月，木星在日落前后从东方升起，升起的时间逐日提早，这 3 个月几乎全夜可见。10 月、11 月、12 月，木星上半夜可见，见到的时间越来越短。1986 年 2 月木星合日，不可见。到 5 月、6 月、7 月，木星下半夜可见，见到的时间越来越长。到 1986 年 9 月，木星再次冲日。在这种预测中，我们已经考虑到木星的公转周期，大约 12 年绕太阳 1 周。它在天球上移动是很慢的，大约 1 年才移动  $15^\circ$ 。

(2) 查《中国天文年历》或《天文普及年历》，推算行星的未来动态。在天文年历中，一般都列有当年太阳和各大行星的赤经、赤纬值。水星每 5 日列一组值，金星、火星、木星、土星每 10 日列一组值。我们查算到某日太阳和行星的赤经、赤纬，就可以在黄道星图中标出太阳和行星

的位置。在查算的时候，要注意把行星在留的日期考虑进去。从行星和太阳的赤经差，可以推知行星的升起、下落以及可见情况。

任何一颗星，包括内行星和外行星，离太阳大约  $15^\circ$  内是看不见的。如果用时角来表示，在太阳以东或以西大约 1 小时内的星星是看不见的。当行星的赤经比太阳的赤经小的时候，它在太阳的西边，比太阳先升起地平线，下半夜可见。当行星的赤经比太阳的赤经大的时候，它在太阳的东边，比太阳迟落入地平线，上半夜可见。当行星和太阳的赤经差等于  $180^\circ$  的时候，行星冲日，在冲日前后，全夜可见。

如果在黄道带星图上标出 12 个月内太阳和行星的位置，就可以得到整年行星可见情况。

## 2. 寻找行星的方法

天上的星星很多，怎样才能把我们要观测的行星找出来呢？除了上面所说的通过推算或者查算，了解行星的动态以外，还可以根据行星本身的一些特征较快地把它寻找出来。

(1) 行星总是在黄道附近运行。我们可以借助黄道带星图来寻找它。

(2) 行星一般比恒星亮。金星是全天最亮的星，亮度在  $-3.3 \sim -4.3$  等之间，发白光，人们叫它“太白金星”。木星亮度仅次于金星，在  $-1.4 \sim -2.5$  等之间。土星亮度在  $+1.2 \sim -0.4$  等之间，颜色稍黄。火星亮度在  $+1.5 \sim$

-2.9等之间，火红色，很容易辨认出来。水星亮度在+2.5~-1.2等之间，当它作为昏星或者晨星出现的时候，地平附近没有别的星，也容易辨认。

(3) 行星闪烁小，亮度比较稳。由于行星离我们比较近，有一定的视圆面，视圆面上各点射来的光线对大气抖动的影响可以相互抵销，所以行星的闪烁现象比较小。而恒星离我们很远，它的光是呈点状的，受大气抖动的影响比较大，所以恒星总是不停地闪烁着。

### 3. 行星的观测

青少年观测行星，可以用肉眼，也可以用小望远镜。

用肉眼观测行星，可以了解行星的视运动规律。观测时要有一张黄道带星图，根据推算或者查算，在星空中找到要观测的行星，估计这颗行星相对于周围恒星的距离，然后在黄道带星图上标出这颗行星所在位置，并且记下观测日期。对于水星，每天要观测1次。对于金星，可以3天或1周观测1次。对于外行星，可以1周或者1个月观测一次。行星在留的附近，观测次数要稍多一些。把1年内观测记录下来的点，用光滑的曲线，连接起来，就是这颗行星当年相对于恒星的视运动路径。

用小望远镜观测行星，能够看到行星有一定的视圆面，能够看到行星的位相变化，能够看到行星表面的一些情况，能够看到行星的一些卫星，能够看到天王星、海王星和一些明亮的小行星。因此，用小望远镜观测行星是十分有趣的。

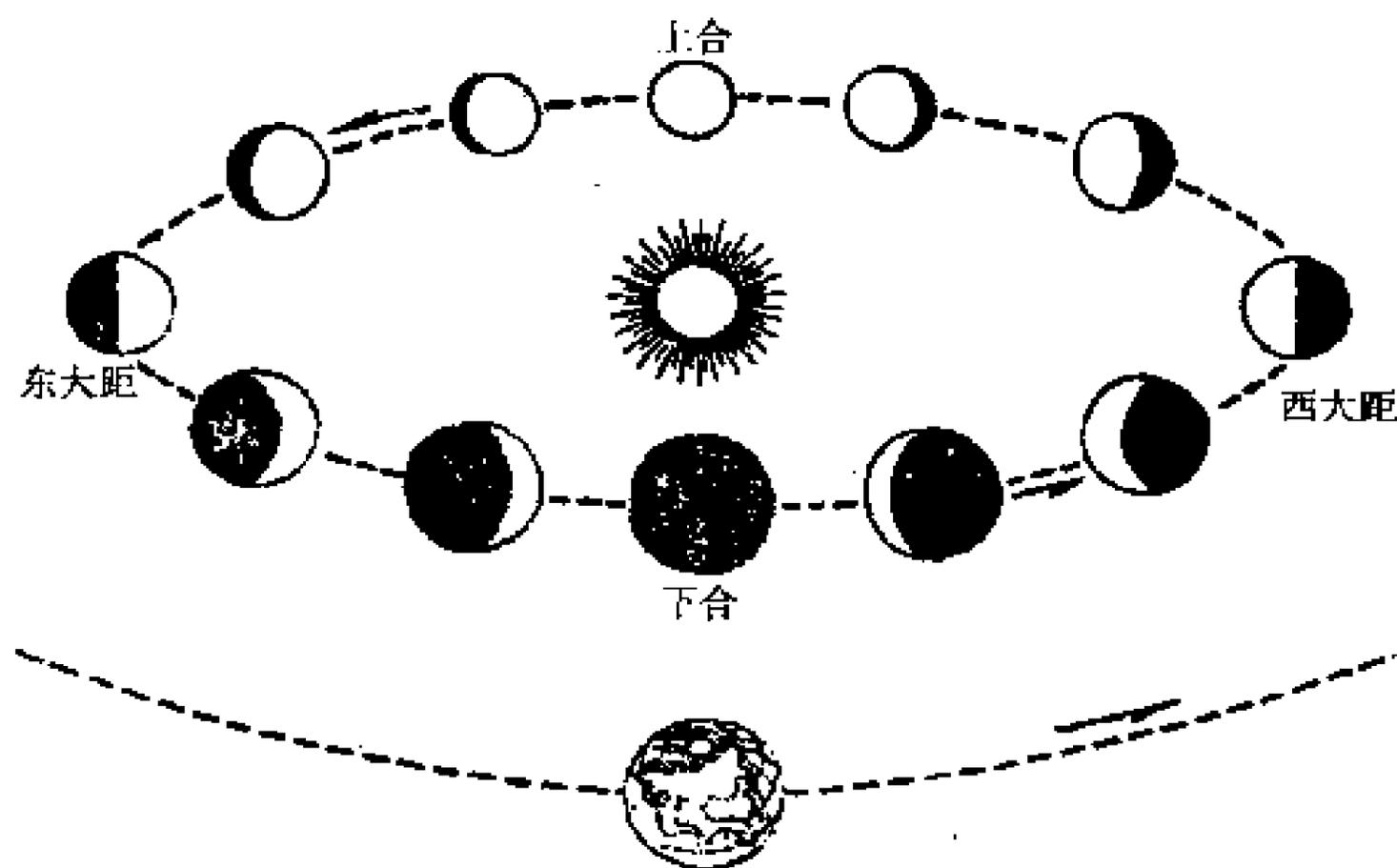


图 116 金星的视角径和位相变化示意图

由于行星和地球之间的距离不断变化，我们看到的行星视圆面和行星亮度也在不断变化。视圆面的大小一般用视角径表示，行星的视角径是观测者对行星整个圆面所张的角。内行星在下合前后的视角径最大，在上合前后的视角径最小。外行星在冲的时候视角径最大，在合的前后视角径最小。

由于行星本身不发光，只是反射太阳光，所以行星同月亮一样有位相变化，也就是有圆有缺。内行星在上合前后接近圆形，在下合前后是弯月形。图 116 是金星的视角径和位相变化示意图。外行星在冲的时候是圆形，合的时

候接近圆形。合的前后离地球远，视角径小，亮度小，不适宜观测。冲的时候离地球近，视角径大，亮度大，是观测的好时机。表 5 列出行星的视角径和亮度。

表 5 行星的视角径和亮度

行 星	赤道角直径 (")		亮 度 (星 等)	
	最 大	最 小	最 亮	最 暗
水 星	12.9	4.7	-1.2	+2.5
金 星	64.0	9.9	-4.3	-3.3
火 星	25.1	3.5	-2.9	+1.5
木 星	49.8	30.5	-2.5	-1.4
土 星	20.5	14.7	-0.4	+1.2
天 王 星	4.2	3.4	+5.7	+6.0
海 王 星	2.5	2.2	+7.6	+7.7

用小望远镜观测行星，要选择天气晴朗、空气宁静的时候进行。望远镜的放大倍数也不宜太大，有 40~100 倍就可以了，否则容易因空气波动引起行星表面模糊不清。

## 专业望远镜简介

### 中国的 2.16 米光学天文望远镜

我国口径最大的 2.16 米反射式光学望远镜，安装在中国科学院北京天文台兴隆观测站。

兴隆观测站位于北京东北方向，地处燕山主峰南麓的河北省兴隆县连营寨，海拔约 960 米，是我国重要的天文观测基地。新建的 2.16 米望远镜的圆顶室宏伟壮观，高 35 米，直径 21 米。即使在 50 千米外的京都第一峰——雾灵山上遥望，它也非常醒目，在阳光照耀下熠熠闪光，好像镶嵌在燕山群峰中的一颗璀璨的明珠。

我国自行设计和研制 2.16 米天文反射望远镜的设想始于 1958 年，并由南京天文仪器厂承担。中间经过多次试验，几经周折，经过南京天文仪器厂和兄弟单位的协作奋斗，终于在 1988 年 8 月研制成功。这架望远镜既吸取了国外同类仪器的若干优点，又有不少独辟蹊径的大胆创新。首先在光学系统中，卜焦与折轴焦点共用一块  $\varphi > 90$  的凸双曲面副镜；其次，主镜背面不通孔；第三，采用静压油垫来支撑望远镜体；第四，仪器驱动系统中，有一个大型的

高精度赤经传动齿轮；第五，作为仪器的“中枢神经”的电控系统，在制作上也相当精美、可靠。此外其他一些设计也颇具特色。因此，可以称得上是中国科技工作者的一大创举。

由于兴隆观测站每年晴夜达 200 天以上，大气透明度高，天空亮度很暗，天文宁静度高，因此是安放大型望远镜的好地方。另外，兴隆离北京近，进行技术支持和学术交流都很方便，还有水、电及交通等方面都有保障，因此国家决定把这台现有口径居首的光学望远镜安放在兴隆观测站。

2.16 米望远镜配备有先进的终端控制、接收和处理系统，比如除采用电视导星等基本手段外，还采用自行研制的光导纤维传送信号及 CCD 电子成像技术等，并配有性能好的电子计算机，大大提高了望远镜的效率。

按理想状况，这架望远镜可轻易地观测到 9 亿颗星体，其中距地球最远的星体可达 1 亿光年。另外还可对河外天体进行细致的光度、光谱及其他方面的工作。

## 红外望远镜

携带着大量信息的天体辐射的波长范围很广，从不足  $10^{-10}$  米的  $\gamma$  射线到  $10^{10}$  米的射电波都有。当它们进入大气时，绝大部分都被吸收或反射掉了，大气就像一层厚厚的墙壁挡住了来自天体的辐射。但也有某些波段范围内的射

线能到达地面，好像在墙上为它们开了“窗口”，这就是大气窗口。大气窗口按波长范围不同分为光学窗口、红外窗口和射电窗口。

过去，人们只能通过波长在  $3 \times 10^{-7} \sim 7 \times 10^{-7}$  米之间的狭窄的光学窗口去认识宇宙。随着科学的进步，关闭着的红外和射电窗口也慢慢被打开了，它们为我们带来了大量意想不到的新发现。

天体在红外波段的辐射，波长范围从  $7 \times 10^{-7} \sim 10^{-3}$  米，通常又分为远红外区、中红外区和近红外区。红外望远镜就是通过大气的红外窗口来接收天体红外辐射的。它在外形、设计上与反射光学望远镜有很多相似之处。这种望远镜利用光学系统将由天体来的红外辐射聚焦到红外探测器上，再通过电子系统和终端设备得到红外辐射的各种信息。红外望远镜也和光学望远镜一样，要求有尽量大的口径，以便能收集到更多的天体辐射。

任何物体都要发出红外辐射，望远镜本身也不例外。所以红外望远镜的镜面上一般不是镀铝，而是镀金或银。对望远镜上的探测器，甚至望远镜本身和各种辅助设备，也要经过致冷处理，使其在较低的温度下工作。这些措施都是为了降低望远镜产生的噪声。红外望远镜接收到的来自附近空间的天空背景辐射要比来自天体的辐射多得多。以致使要观测的信号被深深淹没了。因此，必须把深陷于背景信号中的有用信号检测出来，这种技术叫调制技术。

由于红外线的波长比可见光波长大多得多，要达到与可

见光同等的观测精度，对镜面加工精度的要求也低得多，因此，有些红外望远镜是采用铸铝或特种塑料制成的，这样便大大降低了造价。

为了摆脱大气对红外辐射的吸收和大气本身在红外波段的强烈噪声，最理想的办法是把红外望远镜送到大气以外进行观测或采用高空飞机、气球装载红外望远镜上天观测。地面的大型红外望远镜也要尽量安放在海拔高度高而干燥的台址，比如美国的 3.8 米红外望远镜，就是安放在夏威夷海拔 4200 米的莫纳克亚山上。

由于红外观测在白天也可以进行，所以不少大型地面望远镜都已改装成红外—光学两用望远镜，这样可以大大提高望远镜的利用率。

## 射电望远镜

在最早的时候，人们用来观测星星的工具就是人的肉眼。到了后来，伽利略发明了光学望远镜，开辟了观察地球外的星体奥妙的新纪元。但是，在全波段的电磁波辐射里，光学望远镜所能够接收的只是一个小小的窗口，要想利用这么一个小小的“窥管”来认识天体的各种现象，是很不够的。由于科学的进一步发展，接收无线电波成为科学技术的一个手段。1932 年，美国的一位无线电工程师央斯基第一次接收到了他确定是地球以外的星体发射来的无线电波，这时候，人们才明白过来，我们可以通过接收无

无线电波的方法来收集星体的信息，用来研究它的机制。这以后，我们对于宇宙的观测又迈开了新的一步。

射电天文学是指借助无线电电子学的技术方法，利用无线电波来观测研究宇宙天体的一种方法，它是以射电望远镜来辅助进行的介于无线电物理学和天体物理学之间的边缘科学。

射电望远镜在结构、原理上与光学望远镜有点大同小异，它的天线部分相当于望远镜中的物镜，能够对天体的无线电波进行聚焦。光学望远镜是在焦点处放置照相底片、光学元件或者直接装上目镜用肉眼来观测，这时候，我们就会直接地得到被测星体的像。但是，在射电望远镜中，焦点的地方放置的是一架非常灵敏的无线电接收机，这个接收机并不能直接地看到天体的详细形象，而只是笼统地识别天体射电波的强弱，我们从这种电波讯号可以分析出天体的某些情况。

射电望远镜有许多光学望远镜所无法比拟的优点。

首先，射电望远镜大大地扩展了我们接收电磁波的范围，我们能够从另外一个窗口看到宇宙天体中另外一面的“景象”。而且，更突出的是，射电望远镜不受时间的限制，也可以少受或者不受变幻无常的天气的影响，它能够昼夜不停地观测，在长波波段中还可以阴雨无阻地连续进行观测研究，这样就能够搜集到比较多的完整的资料。

其次，虽然设备优良的光学望远镜可以观测到非常暗弱的天体，但是，对许多遥远的宇宙天体发出的强烈的电

波，射电望远镜更易接收到，因此，射电望远镜可以观测到宇宙深处更远的地方。在现代天体观测中，人们往往利用射电望远镜来确定遥远的星体的确切位置，然后再用光学望远镜将“射电源”翻译成肉眼看得见的东西，这样就大大丰富了我们对宇宙的认识。

另外，利用射电望远镜可以研究光学天文学所无法研究的某些宇宙过程和物理形态。在广阔的宇宙中，到处都飘浮着一些尘埃物质；而且星体周围也环绕着星际气体，由于它们的遮掩作用，宇宙深处的遥远天体的光波不能到达地面，但这些天体的无线电波能被射电望远镜接收。还有些宇宙物质变化过程中所发射的光波比其电波要微弱得多，甚至有些过程根本不发出光波，而仅仅发射电波。而且，在宇宙天体中，最多变的面貌又主要表现在它们所发射的电波中，所以，射电望远镜打破了以前光学望远镜所看到的宇宙相对静止的状态，能够看到它们发物理变化、爆发等过程。利用射电望远镜人们还可以研究星体的来源、进化的各阶段的演化过程。

在最近几十年里，射电望远镜作出了极杰出的贡献，类星体、射电新星、脉冲星、星际分子，以及微波背景辐射的发现，都是它的功劳。

射电望远镜打破了天文研究方法的旧框框，可以主动积极地用电波去探测较近的天体，从而获得了单凭观测所不能得到的新信息，开辟了天文学由纯观测科学向实验科学发展的新途径。

## 射电望远镜的综合孔径技术

综合孔径是一种用来观测天体的射电新方法，有人用这样的比喻来说明综合孔径技术：有一条大河，我们不知道它的横断面的情况，为了绘制这条河的断面图，我们可以用两种办法：一种是派出十条测船分别在河横面上排成一个横队，同时各自测出船下的水深，从这 10 个数字中绘出河床的断面图；另一种办法是只派出一条测船，分别在河面的 10 个测点上测出水深，也得到 10 个数字，那么根据这 10 个数字也能测出河床的断面图。综合孔径技术就是类似于后者的一种方法。

人们把射电望远镜固定在一个地方，利用地球自转的运动，像有船在河面上的运动一样，从不同的空间点来对同一个星体进行观测，分别记录下来精确的时间和观测数据。再进行最后的分析，得出星体的图像。现在，人们把综合孔径技术发展得更进一步了。人们把许多台射电望远镜排列成一个天线阵，像在一个边长有几千米长的大棋盘上一样，在棋盘的中央固定一架射电望远镜，然后把另一架望远镜逐次移动到棋盘的每个格点上，组成双天线干涉仪，对各种不同基线长度分别测量出干涉信号的振幅和相位，这样就可以得出口径像几千米的射电望远镜观测一个射电源所得的二维图像。不仅仅是这样，人们还同时利用地球自转引起的基线长度和方位的变化，根据傅里叶变换

(一种数字变换)综合出一个相当大的天区内射电强度的分布,得出天体的图像。

这种综合孔径的分辨率与直径是基线最大长度的单天线相同,接收面积是各个天线接收面积的总和,而且,和同等口径和分辨率的一个射电望远镜相比,综合口径要便宜得多,因此,它是一种很有效的新技术。

## 射电望远镜的技术

随着射电天文学的发展,人们越来越需要具有高分辨率的射电望远镜,以便于更好地观察天体的细节。我们都知道,望远镜的分辨率与它的口径有关,分辨率越高,它要求的望远镜的口径就越大。射电望远镜工作在无线电波段,接收的波长比光学望远镜要大1万倍甚至1亿倍,根据分辨率的公式 $\frac{\lambda}{D}$ ,如果一架射电望远镜工作在毫米波段,它要达到口径5厘米挑战型光学望远镜那样的分辨率,那么它的天线直径就要达500米,如果它工作在10米波段,天线直径就得5000千米!制造这样的望远镜是完全不可能的。后来,科学家们利用光干涉的原理,制作了射电干涉仪。随着近代科学技术的发展,在天文观测中人们使用了计时精确的原子钟和磁带记录技术,由两个天线分别在同一时刻接收同一射电源的信号,各自记录在磁带上,然后把磁带送到计算机上进行相关处理,得出观测量,这种观测方法有一个特别的优点就是望远镜口径不受限制,可以

达几千千米。想想看，一台口径是地球的直径的望远镜，是怎样的奇迹！

由于上述甚长基线干涉测量具有很高的精度，所以，这种方法主要用来进行射电源的精确定位，并且测量数千千米范围内的基线距离和方向的变化，我们可以进行建立以河外射电源为基准的惯性参考系，研究地球大陆板块运动和区域性地壳运动的形变，以及揭示极移和世界时的短周期变化规律，地球自转速率的变化等工作。很容易理解，如果我们能够精确地把两个地点之间的距离和方向每天都记录下来，然后隔一段时间再进行比较，那么，根据这个距离和变化情况我们就可以测出两个不同地点所在的板块的相对运动和地壳运动所发生的形变。用甚长基线测量极移和世界时的短周期变化规律的道理也是这样，世界时是根据地球自转的运动规律建立起来的时间系统，我们利用甚长基线法精确地测定地球的自转运动，然后把这个记录跟均匀变化的高精度的原子钟进行比较，相减，所余的部分就是世界时的短周期变化了。

在天体物理学方面，由于甚长基线干涉仪的在线不受限制，使干涉仪的分辨率可以高达万分之几角秒，这样，我们就可以得到射电源亮度分布的结构图，对这引起射电源的结构图进行细致的研究，我们会得到有关天体演化的一些知识。

众所周知，在地球的四周存在着大气，这些大气对于天体的射电信号会产生相应的随机相位起伏，这样就会使

干涉条纹相位的测量产生误差，限制了甚长基线干涉法的使用。科学家们又想出了一个办法，不仅是两个站台同时观测，而且是用3个站台在3条不同的基线上对射电源进行跟踪观测，这样就消除了地球表面大气和时钟误差引起的随机效应，使甚长基线的观测日臻完善了。

甚长基线干涉测量技术在国际上已有几十年的历史，并且在各个科学领域中推广使用。我国这方面的工作也已经开始了。1981年11月在上海天文台—前西德马普射电研究所之间已经成功地进行了我国首次参与的洲际甚长基线干涉测量实验。目前，我国正准备在国内建立一个国内的VLBI网，在上海、新疆和云南分别建立射电VLBI站，用来进行进一步的系统的工作。

### 空间望远镜的优势

天文学家们总有一些奇怪的直觉的倾向，比如说，他们决定将望远镜装在高山上，好像能离星星近一些，也就看得更清楚一些。当然，他们果然是比在平地里看得更清楚了。现在，天文学家们把望远镜装得更高，甚至装到了脱离地球大气层的地球轨道上，这就是空间望远镜。难道他们这么做仅仅是为了离观测的星体更近吗？就像我们为了看清楚金鱼游来游去的样子而使劲地趴在玻璃缸上一样？当然不是。其实，装置太空望远镜是为了避开地球的大气对天文观测的影响。我们大家都知道，在全波段的电

磁辐射中，地球大气只为我们在地面上的观测开了几个小小的窗口，也就是可见光窗口，波长3~15厘米的无线电窗口和“半透明”的红外窗口。我们只能从这几个窗口里往外“看”，其他波段就完全被地球大气这堵“墙”挡住了，完全看不见。而且，在大气层上层以及下层的阳光和星光也闪烁不定，使我们分辨不清一些比较弱的也是闪烁不定的光体。在大气层中，下层有许多不均匀的物体，它们对光具有反射、折射和分散的作用，这些作用使得地面望远镜接收的外层空间图像发生严重的畸变，变得非常的不真实。大气层的这些“害处”，使科学家们不得不逃出大气层，到外层空间去进行观测。随着火箭技术的发展，科学家们的梦想得到了实现。

那么。空间望远镜有什么巨大的威力呢？空间望远镜可以得到非常鲜明的星体甚至星云的照片和画像，从这些东西里得到的知识，将会远远超过5000年的地面观测所积累的全部知识的总和，这对于我们探索太空奥秘是一个大跨步。并且，除了太阳、月球和地球视场附近之外，空间望远镜可以观察天体的任何部位，这将使我们的视野大大地开阔，这样，我们就不仅仅是从窗口里看宇宙，而是走到户外来观赏宇宙了。

大型空间望远镜将会“工作到近乎由光的本性所确定的极限。”也就是说，由于空间望远镜不存在重力引起的结构形变，它接收到的图像清晰而稳定，光有多少反射进来，它就会呈现出怎样一个真实的像，空间望远镜可以探测到

非常暗淡的天体，比地面上那架大的海尔望远镜（口径为5米，安放在美国帕洛玛山上）所能观测到的最暗的天体还要暗100倍，它能产生角径小于0.1弧秒的清晰物象，并且能记录暗到29星等的天体，这样，人们会看到比现在地面观测所能看到的远10倍的距离。

大型空间望远镜可以观测整个电磁波谱，所以它能以前所未有的精度和细节来研究紫外区和红外区。并且，它能够一切条件下工作，无论是刮风下雨还是白天黑夜，有没有大气辉光或照明灯光，甚至太阳出现在近旁也不会妨碍对星星的观测。

空间望远镜还可以使我们对恒星的演化、恒星的物质结构和物理性质，银河系的构成和在太空的分布有进一步的认识。更重要的是，它将会使我们明确地知道，宇宙的膨胀是怎样进行的，它会不会永远地膨胀下去，或者像脉搏一样搏动，以及宇宙是怎样开始的，又会怎样结束。

我们可以看到，空间望远镜把我们带到了一个全新的世界里，在此，我们将以前所未有的更明亮的眼睛来注视我们的宇宙。

### 哈勃空间望远镜

早在1983年，美国政府就准备发射一台大型的空间望远镜到太空中去，它是到1990年才发射上去的哈勃空间望远镜，也是目前世界上最大的一台空间望远镜，它的口径

有 2.4 米，主要用来做可见光和紫外光波段的研究。

由于哈勃望远镜在空间轨道上运行，摆脱了地球大气层中湍流的闪烁作用的影响，并且也由于没有重力变形引起的图像的畸变，天空背景又长期黑暗，所以，它能够观测到比地面观测站所能观测的景象暗弱 7 倍的天体的细节。也就是说，我们能看到的比地面观测能看到的空间更深 7 倍的距离。这样，我们整个视野范围也就扩展了 350 倍！因此，通过这台空间望远镜，我们就可以解释许多天文中未知的问题。举个例子说，我们可以对成千个星系的距离加深研究。我们还可以看到类星体回归期的宇宙条件一定和它们现在的方式是非常不同的。同时，对于宇宙演化和其他恒星问题，我们都会得到更多更详尽的资料。

哈勃望远镜的主镜的作用是把光集中起来，然后传送到许多的后端仪器中的一台中去，在这台望远镜里，主要的仪器有一台广角的行星照相机、一台微弱星体摄谱仪、一台高清晰度摄谱仪和一台高速偏振计/光度计。

哈勃空间望远镜是用航天飞机发射的，它将在空中自由地飞翔，同时又受到地面的控制。宇航员们可以乘坐航天飞机到空间望远镜上面去进行修理工作，取回数据，甚至还可以更换科学仪器，以便进行另外项目的研究。这样的“拜访”大约是 2.5 年一次，这台空间望远镜甚至还可以重新收回，进行整修，然后再重新发射。预计这台哈勃空间望远镜可以在轨道上至少工作 15 年。

这次哈勃空间望远镜的发射并不是十分理想，因为它

的轨道有些偏了，变成了一个椭圆轨道，并且主镜的聚焦也不太好，使有些工作不能进行。但是，总的来说，哈勃空间望远镜的巨大威力给我们的天文观测带来了新的前景。

## 下一代望远镜

我们已经介绍过了许多类型的望远镜，有光学望远镜、射电望远镜和空间望远镜，那么，下一代的望远镜将是什么样的呢？人们自然而然地猜测到那一定是一个巨大的配备了各种各样电子设备的庞大的望远镜。确实如此，下一代的望远镜其实也就是巨型的光学望远镜。我们知道，要观测到遥远的暗弱的天体，收集到更多的天体辐射，就需要采用口径尽可能大的望远镜，但是，望远镜的口径并不是想造多大就能够造多大。首先是经费的问题，在现有的那些大型望远镜的基础上，想要再增大一些口径，就得多花费好几百万美元的经费，这是非常不划算的。而且在制造技术方面，不同类型的大望远镜制造的难度各不相同，折射镜如果太大，自身的重量就会使镜面变形，镜筒的弯曲也会增加。大气的原因也限制了口径的继续增大。反射望远镜相对来说要求较低，口径也可以做得较大。但1976年前苏联建成的一台口径6米的反射望远镜已经是极限了，没有人想建更大的整块的望远镜。那么，下一代的望远镜应该朝哪方向发展呢？

60年代就有人提出了设想，到了70年代，由于各种探

刻器,附属仪器和电子计算机对望远镜的要求越来越高,同时,红外、射电,空间天文取得了许多崭新的观测结果,迫切需要光学观测的有效配合,而现在所有的大型望远镜已不能适应这种要求了。1974年,美国基特峰天文台成立了专门的研究小组提出了望远镜的规划。

我们对下一代的望远镜有什么样的要求呢?首先,这种望远镜应该具有高分辨的本领和强集光的能力,可以用来研究光辉灿烂的恒星周围微弱的行星,还有遥远的河外星系中的单颗恒星、脉冲星。由于射电望远镜和空间技术的发展,人们在射电区和红外紫外区发现了许多现象,但这些现象由于光学望远镜的落后而不能找到相对应的光学现象来加以补充、验证,因此,大型的光学望远镜应该能够从事类星射电源的光学证认和光谱分析以及探测遥远星系的红移等等,以便能够和射电望远镜并驾齐驱地进行工作。

关于巨型望远镜的制造,由于工程技术的水平有一定的限制,因此要想在近期内实现,科学家们认为它的量级应该在25米量级上,可用于可见光、红外、毫米波观测,从亚毫米波段直到可见光区,都能进行斑点干涉的测量。

1977年,科学家们从许多设想中归纳出四种方案。(1)转动“靴”:这种望远镜的形状就像是一只靴子,“靴”底是镜面,而“靴”统是支撑架。它的主镜是宽25米的一段球面镜,曲率半径50米,纵向弧长75米。这个镜子不是由一块玻璃铸成,而是由许多六角形镜块拼合而成。还

有副镜，副镜在主焦点附近，可以绕镜面的曲率中心的水平轴转动，对主镜面进行扫描，并且这镜还使光多次反射通入折轴室。所有的这些东西都放在大底盘上，绕着垂直轴转动。这种“靴”的优点是在运转过程中镜面上各镜块的重力影响是不变的，不会使图像变形，但这种望远镜的结构过于庞大了，运用起来不够灵活轻便。(2) 可操纵的镜盘：这种望远镜的样子和地平式射电望远镜很相像，但是结构精度要比射电望远镜高。它的主镜是25米的抛物面镜盘，由排列在16个同心圆带上的1032块偏轴抛物镜块组成，相对口径是1/0.75。这种望远镜的结构最紧凑，体积最小，而且还保持了主焦点系统、卡塞格林系统和折轴系统，这使得它性能比较全面，但是它又受到重力的影响，为了消除这种影响必须涉及到比较复杂的技术工程问题。上面的这两种望远镜都是用单一口径的镜子拼成的，所以比较容易保证干涉测量所要求的成像光束的光程相等。但是对接收器区的分光仪狭缝失光是很不利的。(3) 大型多镜面望远镜：由6个口径是10.2米的独立镜筒安装在同一个地平装置上，周围是许多小镜块，分布在一个或几个同心圆环带上。这是现在已有的美国霍普金斯山多镜面望远镜的按比例放大。(4) 望远镜阵：将许多独立的望远镜排列成阵，各台望远镜接收到的光线经过多次反射集中到同一个焦点。科学家们根据各种情况和需要设计了3种阵列形式：108台2.4米望远镜，16台6.25米望远镜或6台10.2米望远镜。以上这两种望远镜是多口径组合，特别是望远

镜阵。在保证组合光束相位一致性方面，必须解决相当困难的技术问题，但在其他方面，它所要面临的技术问题要少一些，而且各个望远镜是分开的，在使用上有较大的灵活性。

除了望远镜阵之外，前3种方案主要都是应用于小视场(1'以内)，主要是用来观测位置已精确测定的暗弱天体，所以要求望远镜具有较高的定位精度(1")和跟踪精度(0.1")。

由上我们可以看出，下一代的望远镜除了是非常巨型的并且有先进的终端设备之外，它们都不是由一块玻璃铸成，而是用各种形式的多镜面综合成像。走到这些望远镜边上，我们会看到在不同侧面不同方向的无数影子在晃动，我们的一举一动全都清清楚楚地反映出来，并且暴露无余了。因此我们可以这么直观地理解，在这样一种大型的多面镜下，星星再也逃不出我们人类的视野了。