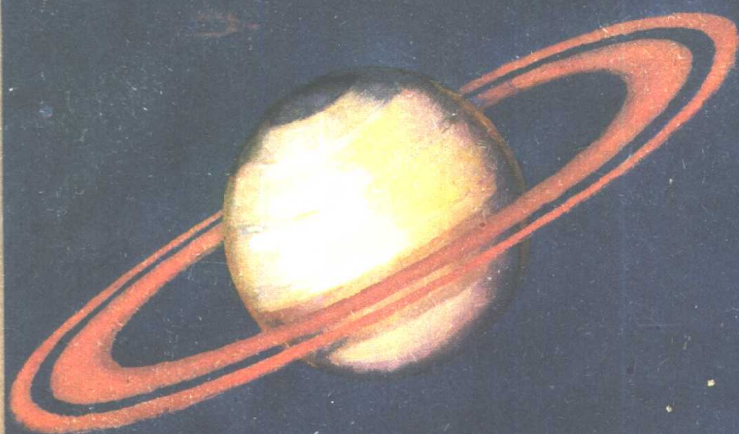




天文爱好者

望远镜的制作

刘家荫 罗蓉枝 著

科学普及出版社

11.2

天文爱好者

望远镜的制作

刘家荫 罗蓉枝 著

科学普及出版社

内 容 提 要

本书介绍了自己动手制作简单结构的天文望远镜的方法。从望远镜的光学原理,讲到望远镜的设计、选料以及具体的镜片磨制方法。所需的工具、材料和安装等等。本书作者积 30 年业余磨制天文望远镜的经验和辅导青少年制作的实践,写成了这本书。本书是天文爱好者自己动手磨制望远镜的有指导价值的参考书。

天文爱好者

望远镜的制作

刘家荫 罗蓉枝 著

责任编辑:王健民

封面设计:王序德

技术设计:郑爱华

科学普及出版社出版 (北京海淀区白石桥路32号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国科学院印刷厂印刷

开本: 787×1092 毫米 1/32 印张: 4.875 字数: 107 千字

1988年4月第1版 1988年4月第1次印刷

印数: 1—4 200册 定价: 1.00元

统一书号: 13051·1530 本社书号: 1493

ISBN 7-110-00222-5/P·3

目 录

第一章 人类的眼睛——天文望远镜	(1)
第二章 天文爱好者与天文望远镜	(11)
§ 2.1 恒星天文学之父——威廉·赫歇尔	(11)
§ 2.2 立志不凡的威廉·帕森斯	(14)
第三章 自制望远镜的基本光学知识	(16)
§ 3.1 光的传播、反射、折射定律	(16)
§ 3.2 光学元件的成像原理	(18)
§ 3.3 透镜及球面反射镜的各种像差	(26)
第四章 自制天文爱好者折射望远镜	(30)
§ 4.1 小型伽利略式及开普勒式折射望远镜的技术参数 及物镜和目镜设计	(31)
§ 4.2 磨制小型简单折射望远镜镜片的设备及材料	(37)
§ 4.3 透镜加工的技术程序	(41)
§ 4.4 透镜抛光后的检验	(48)
§ 4.5 如何选择老花眼镜片作望远镜物镜	(50)
§ 4.6 小型普及折射望远镜镜筒的设计、加工及安装	(51)
§ 4.7 小型折射望远镜的支架	(53)
第五章 自制天文爱好者反射望远镜	(55)
§ 5.1 牛顿式反射望远镜物镜和目镜设计	(55)
§ 5.2 反射望远镜物镜和目镜玻璃选择	(57)
§ 5.3 反射望远镜物镜的加工	(58)
§ 5.4 物镜粗磨的检验	(64)
§ 5.5 物镜的细磨	(66)
§ 5.6 物镜的抛光	(68)

§ 5.7	刀口检验	(71)
§ 5.8	物镜的修改	(78)
§ 5.9	抛物面的检验原理	(82)
第六章	平面反射镜的加工和检验	(87)
§ 6.1	平面反射镜的尺寸计算	(87)
§ 6.2	平面镜的制作方法	(88)
第七章	镜面镀制反射膜	(96)
§ 7.1	反射膜的种类及其优缺点	(96)
§ 7.2	玻璃前表面镀反射膜的方法	(97)
§ 7.3	镀银镜面的保护	(102)
第八章	反射望远镜镜筒材料及安装	(104)
§ 8.1	镜筒的材料选择	(104)
§ 8.2	反射望远镜镜筒的加工和安装	(105)
§ 8.3	寻星镜的制作、安装和调整	(110)
第九章	反射望远镜的支架	(113)
§ 9.1	地平装置结构	(113)
§ 9.2	赤道装置结构	(114)
§ 9.3	天文爱好者简易的赤道装置	(116)
第十章	天文爱好者的望远镜天文观测	(120)
§ 10.1	太阳活动的观测	(120)
§ 10.2	日食及日偏食观测	(126)
§ 10.3	怎样寻找和观测彗星	(132)
§ 10.4	变星及变星的望远镜目视观测	(138)
§ 10.5	月球的长期目视和照相观测	(148)

第一章 人类的眼睛

——天文望远镜

翻阅人类文明发展的历史，其中天文学的发展是最令人难以忘怀的，如果说望远镜的发明给人类增添了一副千里眼睛而应该歌功颂德的话，那么，第一个将望远镜指向天空，应用于天文观测，从而导致了人类能够彻底推翻曾经被人们虔诚信仰将近 2000 年的地心宇宙观念的人——伟大的物理学家伽利略，就更应该给予最高的赞颂。因为他在这方面的努力，不但对天文学的发展具有深远的意义，而且也把天文学的观测手段带进一个崭新的领域。

1609 年 5 月的一天，当伽利略从一位朋友的来信中知道荷兰人利伯希制造出一种稀奇的镜片，能够把远处的景物仿佛拉到眼前，而且看得非常清晰时，他很快就意识到这一发现对天文学的发展所具有的意义。于是，他便集中精力，细心地对这一装置进行了具体深入的研究，并且很快地做出了一副由一块凸的薄透镜和一块凹透镜组合而成的望远镜装置；所谓薄透镜就是指其厚度对于透镜的曲率半径来说可以忽略不计的透镜。这种望远镜的光学结构原理如图 1.1。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。

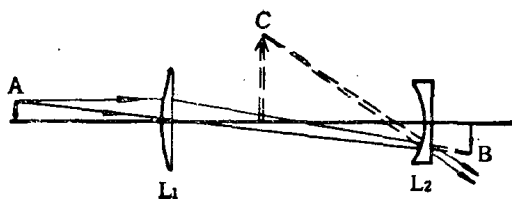


图 1.1

L_1 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，好象是从 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”。

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三颗卫星。接着又在第六天的晚上发现了木星的第四颗卫星。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，至今人们仍然称这四颗木星的卫星为“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发生更大的兴趣。

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透镜目镜换成凸透镜，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。

开普勒天文望远镜的光学结构和成像原理如图 1.2 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 点的虚像。由于 B 处刚好位于

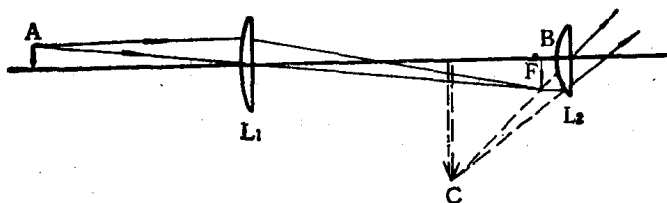


图 1.7

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。

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西斯科·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的消除。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。不过,在这之前(即 1668 年)牛顿便想出了另一个避免色差存在的制造望远镜物镜方法,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 1.3。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° 的小平面反射镜 L_2 表面,并被 L_2 表面反射到镜筒一边的目镜

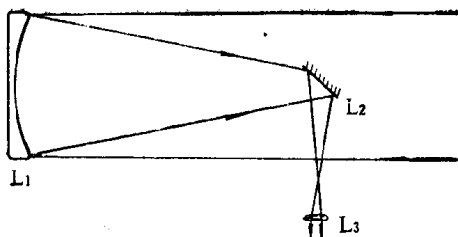


图 1.3

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,这种望远镜的物镜,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。加上这种望远镜装置比较简单,加工比较方便,所以,也是天文爱好者自制望远镜最为可取的光学结构之一。

虽然,牛顿式反射望远镜具有成像比较好、装置比较简单和光学系统安装调试比较容易等优点;但是,也还存在一些缺点。例如,与其它光学性能相同的反射式望远镜相比,一般来说镜身比较长、视场比较小以及除色差以外,其它像差还无法令人满意地加以消除等等。1663年,英国物理学家和天文学家 J. 格雷果里,发明了一种由两块大小不同的非球面反射镜组成的望远光学系统装置,主镜是采用旋转抛物面镜磨制,副镜用一块旋转椭球面镜,如图 1.4。当远处物体发出来的平行于主镜光轴的光线,经主镜 L_1 的抛物面无球差地反射会聚到椭球面副镜 L_2 的第一个焦点 F_1 上;再经过副镜反射后,就无球差地会聚到椭球面副镜的第二个焦点 F_2 上。这种望远

040132

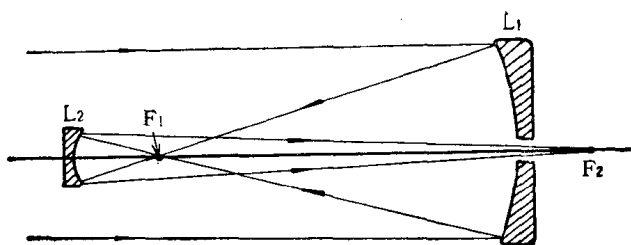


图 1.4

镜装置的优点是,尽管主镜焦距很短,而整个光学系统的焦距却很长(即等效焦距长),故而在光学系统焦距一定的情况下,其镜筒一般比牛顿式反射望远镜要短。加上这种装置可以直接获得正像,既能看天,又能看地面目标,很受天文爱好者欢迎。不过,由于安装副镜机械要求比较严格、主镜曲率半径较小、主反射镜的反射表面需要磨去的玻璃量也比较多,因此这种望远镜也有它不足之处。

1672 年法国物理学家卡塞格林提出了另一种反射望远镜光学系统,至今还被称为“卡塞格林式”反射望远镜(简称“卡式”望远镜)。其光学结构如图 1.5。当远处物体发出的光线射到主镜 L_1 以后,被主镜 L_1 反射到副镜 L_2 ; 然后由副镜 L_2 反射,经主镜 L_1 的中心小孔,在 F 点上聚焦成像。为了获得不同的光学性能,主镜和副镜的曲面要求,可以采用特殊配合。例如,如果主镜 L_1 采用旋转抛物面形式,而副镜采用以 F_1 、 F_2 为两焦点的旋转双曲面镜时,那么经过主镜 L_1 把从物体来的光线将无球差地反射到 F_1 点上成像,而经过副镜反射以后,也还将是无球差地把光线反射并集中到 F_2 点上成像。这种望远镜虽然还有彗形像差,和一定的像散和像场弯曲等像差,但是在近轴光线的像面上,在视场直径大约为

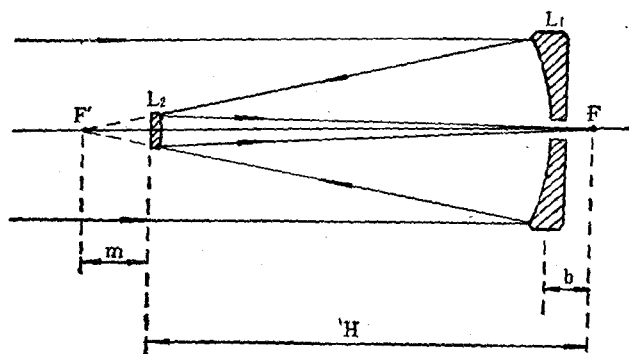


图 1.5

9' 的范围内，像的弥散程度一般约在 1" 之内。如果副镜采用球面的形式，为了消除系统的球面像差，那么主镜 L_1 可以采用旋转椭球面的形式。

虽然这种反射望远镜的副镜安装的机械要求较高，但是由于望远镜镜筒较短，使用比较灵活，而且光学元件加工也并不十分困难，故而至今仍不失为业余天文爱好者比较感兴趣的装置之一。不过，它也存在格雷果里系统相似的缺点。

随着光学玻璃制作技术的不断发展，消色差折射望远镜制作质量也不断的提高。可是，由于消色差物镜对玻璃质量要求较高，尤其是这种物镜所用的大块光学玻璃极不容易浇铸，因此，消色差折射望远镜物镜的口径便一直受到限制，而反射望远镜物镜的口径却还可以大大地增加。有人从理论上进行计算，单块反射望远镜物镜的直径，还可以加大到 16 米。因此，反射式的望远镜从它诞生以来，一直都受到天文学界及天文爱好者的重视。然而，由于在玻璃表面镀银的方法没有

得到解决,只能用金属镜面,因此反射望远镜的发展,一直受到镜面材料的限制。

1856年,德国化学家尤斯图斯·冯·利比希研究出一种叫做“银镜反应”的方法,可以在抛好光的玻璃表面镀上一层反射银膜,而且镀得相当牢固,用这种技术可以将磨制好的透明玻璃镜面,变成一种对光线具有很高反射率的反射望远镜的物镜。这一技术的研究成功,给反射式望远镜的发展,带来了崭新的生命力。尤其是到了1859年,法国物理学家傅科发明了刀口检验之后,研磨出来的反射望远镜物镜光学表面是否合乎要求,只要通过极其简单的方法,就可以轻而易举地判断出来,从而使望远镜物镜的磨制工作变得更加有把握了。反射望远镜的研制,更引起广大科学家的兴趣,大大地促进了它的发展。反射望远镜物镜的口径也很快地增加。到1948年,直径为508厘米的巨大反射望远镜,终于在美国的帕洛玛山天文台建成,并通过了观测试验而交付使用。这架总共花了25年的时间,磨掉5吨多玻璃碎屑、威力足以察觉出3万公里以外一支残烛余光的望远镜,堪称为天文望远镜的“巨人”。1976年,苏联又在北高加索捷林楚克斯卡雅村附近、高度为2070米的帕斯图霍夫山上,安装了一台重约946吨,直径为6米的反射望远镜,堪称为天文望远镜之“王”。由于天文望远镜物镜的直径越大,集光能力就越强,分辨本领也越高,因此,天文望远镜的发展趋势,似乎是趋向大口径。可是,望远镜的口径越大,加工就越困难。为了解决这一矛盾,1971年一台多镜面组合口径物镜的天文望远镜诞生了。这架望远镜的物镜由6个直径为1.8米的反射物镜组成,6个反射物镜绕着中心轴排成六角形,组合后的物镜直径相当于4.5米。

自从反射式玻璃物镜试制成功以后,大口径物镜的反射

式望远镜获得了惊人的发展。然而这种反射式望远镜还是存在着一定的缺陷。例如,可用视场太小和球差比较严重等等。于是人们不得不从另外的角度去解决问题。1931年德国光学家伯恩哈德·福尔多马尔·施密特,想出了一个十分巧妙的办法,即在反射物镜的曲率中心处,安放一块形状特殊的“改正透镜”。其形状及光路大致如下图 1.6。图中 L_1 为主球面

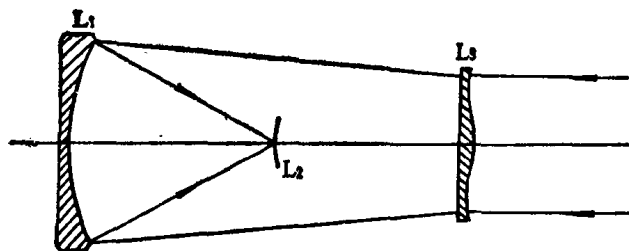


图 1.6

物镜, L_2 为改正透镜, L_3 为像面。当光线进到改正镜后,由于边缘部分受到折射而稍为向外偏折,中心部分的光线则稍为向光轴方向偏折。这样恰好补偿了主反射物镜引起的球差,同时又不会产生彗差和明显的色差,令人满意地提高了大型望远镜的光学性能。不过这种望远镜上安装的“改正透镜”也还存在着一些缺点:一个就是加工困难;另一个就是“改正透镜”位于物镜的曲率中心,使望远镜筒比牛顿式反射望远镜筒几乎加长了一倍;而且像面是弯曲的。

1940年,苏联的天文光学家马克苏托夫,发明了一种新型的反射式望远镜系统,其“改正透镜”是一块弯月形的透镜。荷兰的光学家包沃尔斯也几乎同时独立地发明了类似的系统,所以有时也称为马克苏托夫—包沃尔斯型改正透镜。这种光

学系统，像质十分优良，可以和施密特型望远光学系统媲美。而后者的改正透镜加工，要比前者容易得多。随着科学技术理论不断发展，可见光波段的光学望远镜设计技术也在不断推陈出新。

第二章 天文爱好者 与天文望远镜

天文望远镜是天文爱好者最感兴趣的天文仪器之一，也是天文爱好者藉以走进天文科学大门的入门向导。在天文学的发展历史上，不少有名的天文学家就是首先从对天文望远镜发生兴趣开始，而后通过天文望远镜不断地观测宇宙，为绚丽多姿的宇宙天体所吸引，最终成为有贡献，有成就的天文学家。

下面介绍几位这样的天文学家。

§ 2.1 恒星天文学之父——威廉·赫歇尔

威廉·赫歇尔原来是一位音乐工作者。他从小就跟他父亲学音乐，15岁便成为一位出色的小提琴手和双簧吹奏手。虽然，他的家庭经济比较困难，但却是一位很有远见、有志气的人。他酷爱科学。业余时间常常自己钻研音乐，为了研究声学中的音调规律，而钻研数学和物理。在学习物理、数学的过程中，他又被有趣的光学吸引住了。尤其是对于望远镜，能够把极远处肉眼无法看清的物体拉到面前来，而且看得十分

清晰，他感到十分稀奇。每当万里无云，繁星点点的晴夜，赫歇尔总是热切希望自己能有一架天文望远镜，饱览那千姿万态的星空。赫歇尔从小就有一种不畏艰苦、孜孜不倦、锲而不舍的品德。为了要得到一架望远镜，他省吃俭用，把自己白天工作所得到的菲薄工资，尽量节约下来。并且，根据自己掌握的光学知识，购买了一些透镜，自己安装了一架小型折射天文望远镜，希望用它观测星空。然而，实践中发现这架望远镜实在太小，根本满足不了他了解宇宙奥秘的欲望。为了更多地了解宇宙天体的秘密，他多么需要一台更大的望远镜啊！可是，要购买一架较大的望远镜，他的家庭经济条件是不允许的。于是，他便向邻居租了一架 60 厘米长的格雷戈里式反射望远镜；但使用不多久，还是觉得太小了。这时，他深深懂得，要得到更大的望远镜，除了自己动手磨制之外，别无出路。当时，由于检验技术还不完备，镜头磨制十分困难，即使如此，对于立下雄心壮志，敢于攀登科学高峰的赫歇尔，这些困难是压不倒他的。

1772 年，34 岁的赫歇尔专程回到了家乡，把比他小 12 岁的妹妹——卡罗琳接来，协助他磨制天文望远镜。由于当时还不能制作玻璃反射镜，只能采用金属磨制反射镜板。为了获得适合的合金材料，赫歇尔还在家里安装起提炼镜头合金的熔炉。经过多次配制熔炼，最后制出了一种适合于加工反射镜的铜锡合金。有了镜板材料以后，赫歇尔便专心致志地磨镜子了。当时由于镜面准确度的检验技术还未解决，因此，要磨出一个能用的镜子，必须花费巨大的劳动，反复修正。可是赫歇尔不畏艰苦，不避困难。为了磨制望远镜，他常常废寝忘食。每天用来磨镜的时间，有时竟达到 16 个小时之多。他们一共磨制了 200 个镜面，最后才有一个镜面合用。为了