

(天文学基础知识)

反射望远镜

牛玉石 编著



科学出版社

内 容 简 介

望远镜是天文爱好者观测天体的重要手段,也是洞察宇宙的眼睛。

本书首先介绍了望远镜发展的简单历史以及反射望远镜的种类:牛顿式、赫歇尔式、卡塞格林式、格雷果里式、折轴式和折射式等等。其次论述了光学系统的原理。最后,也是最重要的部分,论述如何设计光路、磨制镜片和制作镜架与附件等等具体步骤及方法。是磨制望远镜的科普读物,可供天文爱好者、高中教师阅读参考。

反 射 望 远 镜

牛玉石 编著

责任编辑 黎昌颖 彭 英

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1985年3月第一版 开本:787×1092 1/32

1985年3月第一次印刷 印张:9 1/2

印数:0001—2,000 字数:192,000

统一书号:13031·2841

本社书号:3957·13—5

定价: 1.75 元

出版说明

天文学发展到当代,进入了一个新的时期,这门古老的科学焕发出新的青春。新的观测手段,精密的观测仪器导致许多意想不到的发现。六十年代四大发现(类星体、脉冲星、微波背景辐射和星际分子)以及宇宙X射线爆发、宇宙 γ 射线爆发和星系核的活动等,向当代科学提出了挑战,对天文学的发展产生了重大影响,形成了许多新的分支学科。这种繁荣鼓舞着天文工作者奋勇前进,也引起了广大天文爱好者浓厚的兴趣。

1978年,北京天文学会恢复了学会活动不久,理事会和科学出版社经过共同努力,组织了一个编辑委员会,为具有中等文化程度的广大读者提供一套丛书,组织了二十个选题,定名为《天文学基础知识丛书》。现在该丛书开始出版了,这将引起广大天文爱好者的极大关注,为天文普及起到有益的作用,希望广大读者不吝指正。

编辑委员会

1984年5月于北京

• • •

编辑委员会名单

主任编委：冯克嘉

副主任编委：李 竞 马星垣 杨海寿 肖兴华

编委(以姓氏笔划为序)

马星垣 卞德培 冯克嘉 乔国俊 李 竞 李惕碚

肖兴华 吴鑫基 杨海寿 罗定江 郑学塘 胡文瑞

郭玉莲 黄天祥 薄树人

本书责任编辑：黄天祥

前 言

天文望远镜的发明,在天文学发展史上,开创了崭新的时期,使人类认识宇宙的能力来了一个飞跃。随着望远镜口径由4.2厘米逐渐扩大到6米,分辨率也随着提高,天文学的观测研究范围也逐步扩大,从太阳系到银河系,进而到河外星系,甚至更遥远的天体。

天文望远镜是观测天体的重要手段,毫不夸大的说,没有望远镜的诞生和发展,也就没有现代的天文学。如今随着望远镜的不断改进和提高,天文学正经历着新的巨大飞跃。正在迅速推进着人类对宇宙的认识。

广大天文爱好者都渴望有一架性能良好的望远镜,市场上出售的望远镜要不是价格昂贵,再就是性能不如意,所以,最好是自己磨制望远镜。历史说明,古今中外有许多有成就的天文学家和光学家,都是有过自制望远镜的经历,而后逐步攀登上天文学的高峰。值得提出的是英国赫赫有名的天文学家赫歇尔,他一生中磨制了百多个望远镜,伴随他勤奋的观测,最后成为世界上成就显著的天文学家。苏联著名的光学家马克苏托夫,少年时代就在简陋的条件下磨制望远镜,以致后来创造一种新型的望远镜——马克苏托夫式望远镜。同样在我国也有许多天文学者,从小经过磨制望远镜,而后毕生从事天

文工作。

本书向读者介绍各种望远镜的原理，并力求把深奥的光学理论，用浅显的语言，简明扼要地叙述，帮助读者自行设计、磨制、组装一架满意的反射望远镜。

本书在写作过程中，承蒙许多同志的帮助。特别是南京天文仪器厂工程师李德培同志，对本书原稿作了详细的审阅，提出许多中肯的意见；北京天文馆副馆长陈晓中同志，北京师范大学天文系堵锦生老师也给予热情支持，在此向他们致以衷心的感谢。作者深知自己的水平有限，书中不周全之处在所难免，望读者批评指正。

牛玉石

1982.12 于北京

目 录

出版说明

前言

第一章 天文望远镜史话.....	1
一、以管窥天	2
二、奇妙的发现	3
三、后起之秀	6
四、射电波段的战斗	9
五、空间天文望远镜	12
六、我国的成就	21
第二章 反射望远镜的原理.....	24
一、望远镜的种类	24
二、几何光学成象	33
三、天文望远镜的元件	38
四、近轴光学基本公式	44
五、象差	78
六、非球面反射镜	90
七、反射望远镜系统成象	98
第三章 反射望远镜的设计.....	111
一、天文望远镜的光学性能	111
二、卡式望远镜的设计	119
三、其他类型设计	130
第四章 反射望远镜的制作.....	134

一、选料及工具	134
二、磨制方法	153
三、卡式主、副镜的磨制	196
四、目镜与寻星镜的磨制	222
五、镜面镀银	231
第五章 望远镜的安装和校准	245
一、望远镜的安装	245
二、望远镜的校准	278
第六章 转仪钟	284
一、重力转仪钟	285
二、电动转仪钟	286
第七章 小型天文台的设计	290
一、圆顶式	290
二、方顶式	295

第一章 天文望远镜史话

夕阳西下，夜色降临，晴朗的夜空，繁星点点，吸引着千千万万的天文爱好者。天文台的圆顶室打开了天窗，短而粗的望远镜，或细而长的望远镜，敏捷地寻找目标，细致地观测各种各样的天体。

晴朗的夜空，在天文工作者和天文爱好者看来，不仅使现代人迷恋，而且，自古以来吸引着许许多多的人。在望远镜发明之前，人们经历着多少不眠之夜，就用双眼观看闪烁的星光，搜索天空上出现的奇异现象，精确地记录着它们的变化。战国时代，我国古代天文学家甘德、石申，便用肉眼观测，编制了120颗恒星的位置表，这是世界上最古老的星表，可惜失传了。

随着科学的发展，单凭肉眼观测天空，所见的天体太有限了。事隔一千八百多年后，人类用自己的智慧发明了望远镜，用望远镜观测天空，极大地拓宽了人类的眼界。宇宙间的妙趣，更加激发人们的探索热情。天文望远镜的发明，是天文学划时代的标志，从而迎来了天文学上的一次飞跃。经过了三个世纪的漫长年代，天文学取得丰硕的成果，在人们向宇宙更进一步探索的时候，天文望远镜不断地得到改进，它成为天文工作者的重要手段。

在天文学发展中,观测手段的不断改进和创造,对天文学均有着重要意义。回顾十七世纪以前,人们只能用肉眼观测,看到的星星不过是六、七千颗。十七世纪以来人们用越来越大的口径制成的望远镜,使人类的视野从我们周围的太阳系,从太阳系所在的、由数以千计的恒星和星云组成的银河系,扩大到银河系以外广袤无垠的空间。而在近三、四十年来,从应用光学、无线电电子学以及空间技术,汲取养料,创造出独特的观测手段。射电望远镜和空间望远镜相继诞生了。它使天文观测手段不但具有空前的探测能力和精度,而且使天文观测的领域,扩大到整个电磁波段,这就是说,除了用肉眼观测可见光波以外,针对天体的紫外、红外、无线电、X射线、 γ 射线的波段,均产生了相应的望远镜。

如今追溯望远镜发展的历史,会对我们有着很大的启发。

一、以管窥天

天空无限奥妙,人们凭眼睛观星,总是不够深远的。为能够看得更多、更清楚的天体,创制了各种各样古代观测仪器,我国西汉时的古书《淮南子》,曾有“以管窥天”的记载。这是一个用细而长的空圆管观看的工具。被称作窥管或望筒。实际上是没有镜片的望远镜。宋代科学家沈括在《梦溪笔谈》中写着:“熙宁中,予受招典领历官,杂考星历,以玑衡求极星。初夜在窥管中,少时复出,以此知窥管小,不能容极星游转,乃稍稍展窥管候之,凡历三月,极星方游于窥管之内,常见不隐。

然后知天极不动处，远极星犹三度有余。每极星入窥管，别画一图。图为一圆规，乃画极星于规中，具初夜、中夜、后夜所见各图之。凡为二百余图，极星方常循圆规之内，夜夜不差。予于《熙宁历奏议》中叙之甚详。”

这段论述的意思就是说：“熙宁年间(公元 1072 年)，我奉皇帝的命令掌管历法，研究星象，我用窥管观测真正的北极。第一夜观看北极，发现窥管所能看到的星，不一会就移出筒外。因此，我感到窥管太小了，不能让极星在管里游转，于是我逐步增大窥管进行观看，经过三个月的实验，结果极星只在窥管视野内移动，常见不消失。采用这个办法，我发现极星离真正的天极三度余。把每次的观看画出视野图。图为一圆形，并把极星划入图中，绘出入夜后、午夜和黎明前的位置。共有 200 多幅，图中表明极星均在圆规内夜夜不差，‘极星’确实是一颗拱极星。”

通过这段生动的记录，足见窥管在天文学史上，曾有过不小的贡献。

二、奇妙的发现

1608 年，荷兰的米德堡，有位不出名的眼镜制造商，名叫汉斯·李波尔赛。有一天，店门口有两个孩子，看见李波尔赛没在店内，拿了几片透镜玩耍，他们通过前后两块透镜，观看远处教堂上的风标，好象发现了什么似的，分外惊喜。李波尔赛回来后，看到他们欣喜若狂的神情，也拿起两片透镜，叠

在一起观看,出现在他眼前的风标放大了,这使李波尔赛大为兴奋,立刻把两片透镜装在一个筒子里,制成望远镜。这个奇妙的发现,使第一个望远镜诞生了。窥管便很快被淘汰了。

这意外的发现,象长着翅膀似的,很快地传到意大利。1609年5月意大利天文学家伽利略,在威尼斯得到了这方面的消息,他深知这一发明的重要性,迅速赶回住地——帕多瓦城,

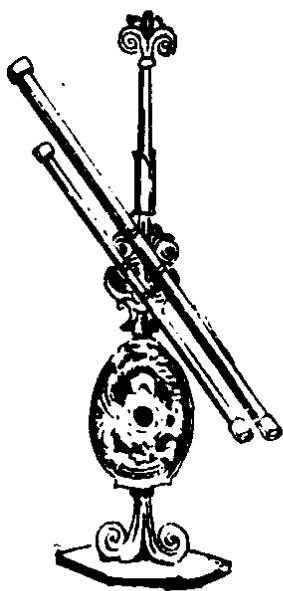


图 1.1 伽利略望远镜

他曾写道:“知道了这件事,我就开始思索这个问题,我在回来的第一天夜里就把问题解决了,第二天把仪器做成功了。”伽利略制作的望远镜是用一个纸制的镜筒,长约1.2米,物镜口径为4.2厘米的平凸透镜,目镜用双凹透镜。开始只放大3.5倍,后来经过不断地改进,把放大倍数提高到三十倍左右。图1.1是伽利略制作的第一架望远镜照片,图1.2是望远镜的原理图。

伽利略用自己制造的望远镜观测星空,在短短的两年多时间内,他发现了月亮上的环形山、山谷和“海”;他先后发现木星四个最大的卫星,从而有力地说明了运动中的木星,又是



图 1.2 望远镜的原理图

另外一些较小天体运动的中心；接着他用望远镜观测金星，看到金星也有位相，表明金星是在地球轨道之内绕太阳运动的一般行星。这些不寻常的发现，雄辩地验证和保卫了哥白尼的“日心说”。在望远镜的视野内，茫茫的银河系被分解成颗颗恒星，原来白色云雾般的银河系是由无数颗恒星组成庞大的天体系统，这就大大扩展了人类眼界。观测太阳表面，发现太阳有黑子，并且还有运动，由此测出太阳自转的规律。凡此种种，在当时无不使全世界的学者大吃一惊，给那些守旧顽固分子当头一棒。天文望远镜的发明，在天文学发展史上是个重要的里程碑，有着划时代的意义。它成为保卫真理的犀利武器，同时在自然科学中完成一次伟大的革命，开创了天文学的新时代——望远镜天文学时代。

1611 年德国的天文学家开普勒，又把望远镜改进了，他选用两片双凸透镜，组成折光系统，使放大倍数有了很大提高，视野宽阔，人们称它为开普勒望远镜。如图 1.3 所示。

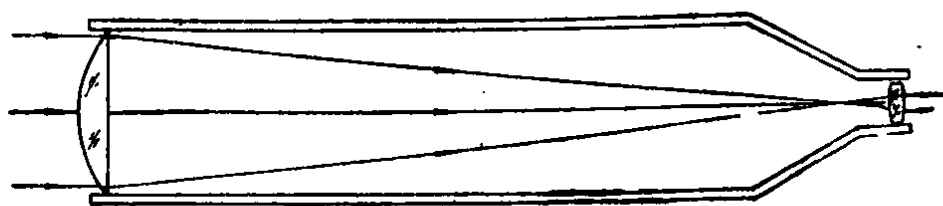


图 1.3 开普勒望远镜原理图

后来人们制作一些口径比较大的望远镜，用它观看天体时，镜头四周总是出现五颜六色的花斑(叫色差)，严重影响成像质量，这曾长时间使天文学家苦恼。为了克服它，只有拉长

望远镜的镜筒，有的索性架在空中观测，即所谓架空望远镜，当时曾有人使用 75 米长的望远镜，测定金星的直径。由于折射镜这个缺欠的存在，使折射望远镜长时间停滞不前，直到 1758 年，英国光学家杜隆特，用两块不同玻璃合理组合，制成消色差透镜，减掉讨厌的色差，大大提高观察天体的清晰度和测量精度。这样大大促进折光系统望远镜又向前迈进了一大步。可是要制作大口径的折射镜，困难仍是很大的，直到现在为止，世界上最大的折射望远镜是在美国叶凯士天文台，口径为 102 厘米，透镜装在 19.2 米长的镜筒前端。除此之外，超过 70 厘米口径的折射望远镜，仅仅有五台(见表 1.1)。

表 1-1 世界上最大的折射望远镜

天 文 台	所 在 地	口径(厘米)
美国叶凯士天文台	美国威斯康星州威廉斯湾	102
美国利克天文台	美国加利福尼亚州哈密尔顿山	91
法国巴黎默东天文台	法国塞纳—瓦兹省	83
德意志民主共和国天体物理台	德意志民主共和国波茨坦	80
美国阿勒格尼天文台	美国宾夕法尼亚州匹兹堡大学	76
苏联普尔科沃天文台	苏联列宁格勒	76

三、后 起 之 秀

作为折射望远镜的亲兄弟，反射望远镜很快问世了。如今后来居上，成为现代天文学日用工具了。1668 年英国的科学家牛顿，他经过实验，认为反射镜可以代替折射镜，能够很好地克服折射系统产生的色差。于是他自己亲自动手，选用

2.5 厘米直径的金属,磨制成一块凹面反射镜。当平行光线照在镜面上时,不必穿过玻璃内部,而从表面反射回来聚成一点,再配上目镜也能观测天体。

反射望远镜比折射望远镜有着许多优点,它消除色差,并能在广泛的可见光波段内,聚集天体发出的辐射能。反射望远镜容易制作,即使玻璃内部有些气泡和条纹,也可以使用。制成的望远镜镜筒较短。有了这些优点,反射望远镜一出现,便很快得到发展,各类繁多的反射望远镜接连出现,成为观测天空的主要手段。关于反射望远镜的种类我们将在下一章详细讨论。开始制作的反射望远镜口径不算大,后来,选用玻璃作镜面,又解决了在玻璃表面镀银或镀铝的新工艺,大口径的反射望远镜相继而出。目前世界上口径在 2 米以上的反射望远镜有十四台之多。其中美国帕洛马山,口径 508 厘米的反射望远镜和近年来制成的苏联高加索山,口径 600 厘米的反射望远镜,是这些反射望远镜的佼佼者(见表 1-2)。

望远镜口径越大制作起来越困难。如美国 5 米望远镜,从设计到制成,中间花费 20 年之久,镜面重 20 吨,研磨和抛光用了 11 年时间,磨掉的玻璃超过 4.5 吨,可见制作之难可以想像。

为了能够克服大口径单镜的加工困难,美国设计并制造一种新型望远镜。这种望远镜由许多单块小口径的镜面组合而成,即所谓“多镜面望远镜”,它的出现被认为是第二代光学望远镜。美国曾于 1979 年用六台口径 1.8 米的反射镜组合成第一台相当口径 4.5 米的反射望远镜。望远镜采用地平式

表 1-2 世界上最大的反射望远镜

天文台	所在地	口径(厘米)
苏联专门天体物理台	苏联高加索泽丘斯卡亚	600
美国海耳天文台	美国加利福尼亚州帕洛马山	508
美国美洲际天文台	智利托洛洛山	400
美国国立天文台	美国亚利桑那州基特峰	400
英、澳赛丁斯普林天文台	澳大利亚新南威尔士	390
英、法、美莫纳克亚天文台	美国夏威夷莫纳克亚	380、370、310
西欧六国欧洲南天天文台	智利拉西亚	360
美国利克天文台	美国加利福尼亚州哈密尔顿山	300
美国麦克唐纳天文台	美国得克萨斯州洛克山	270
苏联克里米亚天体物理台	苏联克里米亚	260
苏联比尤拉坎天体物理台	苏联亚美尼亚比尤拉坎	260
美国海耳天文台(南天天文站)	智利坎帕纳岛	260
美国海耳天文台	美国加利福尼亚州威尔逊山	254
美国史密森天文台	美国霍普金斯山	450 (6 台 1.8 米 多镜面组合)

电子计算机自动控制。目前,美国在“多镜面望远镜”成功的鼓舞下,正进行着口径 25 米望远镜的研究。打算用十八个 6 米镜面组合,或用一百多个 2.4 米镜面组合一个庞大的望远镜阵列。新望远镜的集光能力将比美国目前最大的 5 米望远镜大 25 倍,分辨力也大 5 倍。在实际观测中,所有主镜用激光敏感,并通过一台计算机系统,不断地校正各个主镜位置,使它们相互合作,精确地成象在同一焦点上,即所谓自适应望远镜。可以预见这台望远镜的建成,天文学家将可以用它观测到诸如恒星的行星;木星和土星上的风云和天气变化;其他银河系中恒星的表面细节、运动和构造等。

四、射电波段的战斗

大气层对可见光开辟的窗口太狭小了,为了扩大窗口,开辟新领域,射电望远镜及时诞生了。在 1932 年美国贝尔实验室无线电工程师,为专门搜索和鉴别电话的干扰信号,在一个农场架起一具奇妙的装置。这个装置长 30.5 米高 3.66 米,外表看上去象飞机的翅膀骨架,下面安上了四个轮子,装置上安上马达,可以旋转,人们给它起个绰号叫“旋转木马”。这实际是现在射电望远镜的天线系统。另外为这个装置配上灵敏度很高的接收机。当央斯基把这架接收 14.6 米波长的射电望远镜,对向天空检测电讯干扰信号时,偶然发现有种微弱的“沙沙”信号声,而且这种信号有着 23 小时 56 分 04 秒的周期性变化。这个变化恰巧就是地球相对于恒星自转周期,经过仔细分析,发觉这正是银河扫经天线主瓣的时候。他在 1932 年发表文章断言:这是来自银心——人马座方向,一种射电辐射。由此央斯基开创了用射电波研究天体的新纪元。

然而在当时这一重大发现未被天文学家重视。可是被一名美国杰出的无线电工程师格罗特·雷伯所重视,他决心制作一架射电望远镜。经过几年的努力直到 1937 年,雷伯终于制成世界上第一台射电望远镜。它的天线是由一块金属板拼成直径约 9.6 米的抛物面,在抛物面焦点处放置一对锥状的小接收天线,可以接收 1.87 米的波长。这个庞大仪器就安放在他家的后院里。他在 1939 年 4 月接收到来自银河中心的