



60厘米试验天文 反射望远镜专集

科学出版社

60 厘米试验天文反射 望远镜专集

龚祖同 主编

科学出版社

1980

内 容 简 介

本专集共收入十七篇论文，书中从光学、机械、电控以及天文使用方面分别介绍了工作原理、总体方案、设计计算方法、测试结果及有关技术问题。

本书可供天文、光学仪器、机械制造、电工等专业师生以及从事这方面工作的研究、技术人员、工人和其他有关专业人员参考。

60 厘米试验天文反射

望远镜专集

龚祖同 主编

*

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

*

1980 年 10 月第 一 版 开本：850×1168 1/32

1980 年 10 月第一次印刷 印张：9 1/8

精：1—600 插页：精 8 平 6

印数：平：1—590 字数：242,000

统一书号：15031·304

本社书号：1862·15—4

定 价： 精装本 2.60 元
平装本 2.10 元

前 言

我国是天文学发展最早的国家之一,设计巧妙、工艺精湛的古天文仪器,成为我国光辉灿烂的古代科学文化的象征。它记载着我国古代许许多多的科学家、发明家、能工巧匠的聪明才智。但是,近几百年来,由于封建制度的腐朽,殖民主义、帝国主义的侵略,我们国家的科学技术落后了。天文学的发展,长期濒于停顿的境地。

新中国成立以来,在中国共产党和毛主席的领导下,我国的天文学获得了新生,并取得了较大的发展。1958年,天文台和有关高等院校、科研单位、工厂密切合作,从无到有地开始研制天文观测仪器,结束了天文仪器完全依赖进口的局面。

60厘米试验天文反射望远镜,是作为我国自力更生地研制口径为2.16米的天体物理光学望远镜的一个中间试验模型。这架仪器的研制过程中,在中国科学院的统一领导下,参加此项联合作业任务的各个单位的科学技术人员,大力协同,坚持不懈,克服了物质技术条件上的重重困难,先后进行了光学、光学精密机械、机械刚度强度,精密恒速传动、静压油垫轴承、圆顶随动、光电导星、自动定位等课题的试验研究,多数取得了较好的结果。通过实践,直接取得研制较大口径的光学望远镜的一些经验。

1968年,60厘米试验天文反射望远镜安装在中国科学院北京天文台新建成的兴隆站,经过改进,现在成为我国一架效率较高的、作恒星光电测光的专用观测设备——全国各天文台、各有关高等院校共同从事恒星物理研究的手段之一。近几年,天文工作者在这架仪器上,进行过大量的密近双星光电观测,成功地观测并发现了天王星的光环,作出了一定的贡献。

华主席为首的党中央一举粉碎了“四人帮”提出了“抓纲治国”

的伟大战略决策，推动了科学技术的蓬勃发展。作为自然科学六大基础学科之一的现代天文学和天体物理学，也将要和其他学科一样，在实现“向科学技术现代化进军”中，作出自己的贡献。然而，现代天文学和天体物理学的大干快上，就脱离不开强有力的观测手段和实验装备的提供，以及现代新技术的支援。有鉴于此，我们在全面总结，认真整理了正反两个方面的经验基础上，编写了这本《60 厘米试验天文反射望远镜专集》，以供我国广大天文工作者，天文仪器工作者，以及其他光学仪器、机械制造、电工专业等技术领域的工作者，在进行具有深远的历史意义的新的长征中，在改变当前我国科学技术的落后面貌，实现赶超世界先进水平的战斗中参考之用。

本专集，反映了参加这项技术任务的科技人员，借鉴外国的技术成就，并通过自己的实践所取得的一些体会，基本上反映了我国六十年代初期的技术水平。由于工作主要是在当时的历史条件下做的，因而，文章中也反映了当时所受到的技术条件的限制和一些测试条件不够完善的不足。

本书得到有关科研单位、高等院校的同行们和老一辈科学家的大力支持和具体指导，我们在此表示感谢。尤其是中国科学院西安光机所所长龚祖同同志，积极领导这项科研任务，并担任本书主编，给我们的工作添加了信心。由于我们的水平有限，内容会有不当之处，恳请批评指正。

洪 斯 溢
于北京天文台
1978 年 6 月

目 录

前言	iii
60 厘米试验天文反射望远镜总报告	1
光学系统设计	12
60厘米抛物面主镜的磨制	19
光学部件的检测及光学系统的调整	26
镜筒设计	48
镜筒桁架计算及实测	56
镜身及底座设计	64
静压油垫轴承——流体静力润滑研究	75
静压油垫轴承——试验分析与运转性能	96
机械驱动系统设计	114
赤经蜗轮副部套设计	143
铸造件的残余应力测试	162
精度分析与实测结果	200
赤经传动系统	207
圆顶随动系统	229
光电导星系统	258
使用情况报告	280

60 厘米试验天文反射望远镜总报告

龚 祖 同

(中国科学院西安光学精密机械研究所)

摘 要

本文叙述了一个60厘米试验天文反射望远镜的诞生过程,谈了十项主要技术课题的结果: 1. 镜身的设计; 2. 镜筒的设计; 3. 光电导星; 4. 圆顶随动; 5. 折轴焦点; 6. 刚度; 7. 星象质量; 8. 自动对星; 9. 油垫轴承; 10. 传动机构。除了自动对星一项外,其余都获得了成果。这架具有三个工作焦点的试验镜是我们自制的第一台,它开辟了制造更大的望远镜(例如 2.16 米口径望远镜)的道路。

早在 1953 年,毛主席视察了南京紫金山天文台。在参观该台蔡司 60 厘米反射望远镜时,曾指示我们以后要制造比这更大的望远镜,要研究天体史。这是毛主席对我国天文事业发展的关怀,对天文工作者的殷切期望和极大鼓舞。

一、课题任务的提出

1958 年,紫金山天文台的同志们破除迷信,解放思想,提出了要为首都北京天文台研制一台二米望远镜的倡议。这个倡议首先得到了前中国科学院江苏分院的支持,和南京工学院的具体协作。最后决定研制的望远镜的通光口径为 2.16 米(85 英寸)。在初步进行调查研究的基础上,绘制出一套包括光、机、电的设计草图。

1959 年,中国科学院召开各有关研究所负责人会议。会议认为,中、大型天文光学望远镜的研制,是一项高、大、精、尖的复杂的

技术任务;必须发挥社会主义大协作,组织“联合作业”,由院内、外有关单位承担,即由长春光机所负责,成员有北京天文台、紫金山天文台,南京天文仪器厂,自动化所,南京工学院等。并成立“216联合作业任务办公室”,实际负责这项技术任务的具体组织协调工作。同时,考虑到任务的艰巨复杂,决定先行研制一架按原来的2.16米初步设计方案,缩小到1/3.6倍,即口径为60厘米的中间试验望远镜。并在这架试验镜上明确进行以下10项课题的研究,以便通过实践,取得经验。即:1. 镜身的设计;2. 镜筒的设计;3. 光电导星;4. 圆顶随动;5. 折轴焦点;6. 刚度;7. 星象质量;8. 自动对星;9. 油垫轴承;10. 传动机构。

二、科研、生产、使用相结合

60厘米试验天文反射望远镜的全过程,就是科研、生产、使用三者密切结合的过程。

1961年夏,通过边实验,边研究,边设计,写出了工作报告和学术论文多篇,汇集成216资料汇编3册。1963年4月,光学、机械、电控制设计基本完成。通过有关领导部门的安排,镜身的机械加工任务下达营口机床厂,镜筒和光学加工任务下达南京天文仪器厂,电控制系统下达北京自动化所和南京天文仪器厂承担,长春光机所则承担了60厘米镜坯的试制和折射系统的光学元件的磨制。在此期间,参加“216联合作业”任务的同志们,在科学院的领导和支持下,克服重重困难,联系工艺条件,反复审改图纸,下厂参加加工。1966年4月6日营口机床厂完成镜身的加工并验收完毕,而后运至南京天文仪器厂与其他部分进行组装。1968年8月,试验镜运至北京天文台兴隆站上安装。但在试观测的过程中,发现赤经传动系统爬行现象日益严重,以致无法使用。直至1973年初决定返修,采用力矩电机作驱动,简化传动系统,爬行现象得到很大的克服。1976年8月,又经对力矩电机作进一步地改装,终于达到了良好的运转效果。1977年9月,中国科学院召开

会议,在兴隆站现场进行了全面总结。到目前为止,天文工作者,利用这架试验镜已对6个食变星和1975年天鹅座新星进行了光电测光,提出了5篇论文。1977年又观测了天王星掩事件,取得了环带资料。

在此期间,我国机电工业不断成长,新产品陆续试制成功。例如旋转变压器、力矩电机,这对试验镜的改进提高,起到了关键的作用。试验镜研制的需要,反过来又推动新产品、新技术的试制和研究。例如主镜镜坯的制造从无到有地从试制到进入生产、静压油垫轴承的试验使用获得成功。这样,使试验镜终于全部自力更生地诞生。

三、十个主要课题的简要结果

(一) 镜身的设计

从力学的角度考虑,在地球纬度 45° 以上的地区采用叉臂式镜身或圆盘叉臂式镜身较为有利。在地球纬度 45° 以下,则双柱式或马蹄式镜身较为有利。北京的纬度是 40° 左右,所以双柱式或叉臂式均属可用。但叉臂式对称型结构本身较之非对称型的双柱式,从全面来看有两个优点:(1) 基墩只需一个,使圆顶观测室内空间宽敞;(2) 望远镜极轴和纬轴的交点适在圆顶室的中心,光轴指向天窗的中心,对圆顶随动,时角计算都简便些。相比之下,我们采用了圆盘叉式。

对极轴支承,60厘米的望远镜并不一定需要静压油垫轴承。但为了给二米镜储备经验,我们采用了用一个球面油垫轴承,代替径向和轴向的两个油垫轴承,而且可使望远镜转动部分的重心落在球的中心,对调整极轴较为轻快。因为有此优点,我们就采用一个球面油垫轴承。轴承的球面加工,要求特殊设备,营口机床厂想方设法,较快地得到解决。赤经轴赤纬轴的驱动,用了经典式的蜗轮副,由上海机床厂加工,精度达到赤径蜗轮周节累积误差小于 1.8μ (相当于 $10''$),周节相邻误差小于 4μ ($2.2''$)。经实际使用的

经验,这精度是符合要求的。

(二) 镜筒的设计

这个试验镜有三个工作位置(见图1):

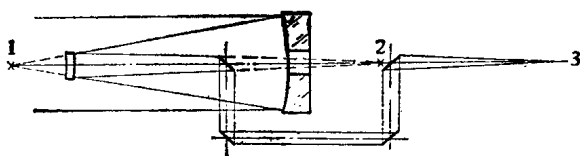


图1 光学系统

1——主焦点 2——卡氏焦点 3——折轴焦点

(1) 主焦点: $f = 2292\text{mm}$, $V = 3.82$,
 $2\omega = 1^\circ$ (加改正镜)

(2) 卡氏焦点: $f = 9000\text{mm}$, $V = 15.02$,
 $2\omega = 10'$ (不加改正镜)

(3) 折轴焦点: $f = 34500\text{mm}$, $V = 57.5$.

折轴焦点在这试验镜上,并无实际用途,只作试验之用,为二米镜取得经验而已。

在镜筒结构方面比较了开架式和圆筒式,就镜筒重量而论,开架式的较轻,就主镜温度平衡而论,开架式所需时间较短,所以采用了开架式。用了 Serrurier 的三角形结构,用无缝钢管成架,中央为一四方中间块,一端载副镜室,一端载主镜室,两端的弯沉接近一致。

(三) 光电导星

在这工作中,中国科学院自动化研究所承担了电子线路工作,南京天文仪器厂承担了检测装置工作。电子线路原先用电子管装起了一套,后来用晶体管又装起了一套。1968年1月,曾用半圆片旋转式的光电导星装置,拍到过一张恒星照片。可惜没有把电子线路保存好。现在由南京天文仪器厂重新装调一套,相信继续

努力一定能够成功。

(四) 圆 顶 随 动

由于恒星的恒动,圆顶室的天窗必须随星而动,以免挡光。老式圆顶的转动须用人工控制,增加了天文观测者的麻烦。这个圆顶上设计了一个自动随动装置采用了旋转变压器作坐标变换,利用现成的鼠笼式电动机,并加了测速发电机及动力制动以消除停转时的摆动,已投入使用。

(五) 折 轴 系 统

在这试验镜上有折轴焦点 (Focus coude), 这个焦点位置不随赤经赤纬的变换而移动, 对做恒星的光谱工作是必要的。试验镜上设折轴焦点之目的是用来考察这焦点的稳定性, 并积累装校经验, 以供二米镜上用。我们采用了四个平面镜。1976 年这个折轴系统已装校好, 在折轴焦点检查时, 星象是稳定的。

(六) 刚 度

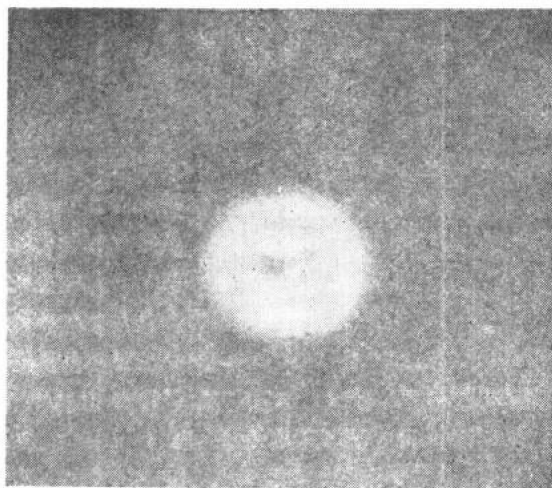
天文望远镜要能指向半个天球的任何一个星, 它的极轴指向北极要能旋转 $\pm 90^\circ$ 。天文工作者要求望远镜的镜筒、镜身在任何指向都不受重力的弹性变形的影响。这就要求对镜筒、镜身做刚度的研究。中国科学院原机械研究所用有机玻璃按照比例制成望远镜模型, 挂以重量并测量相应位移, 从而获得刚度的数据。

(七) 星 象 质 量

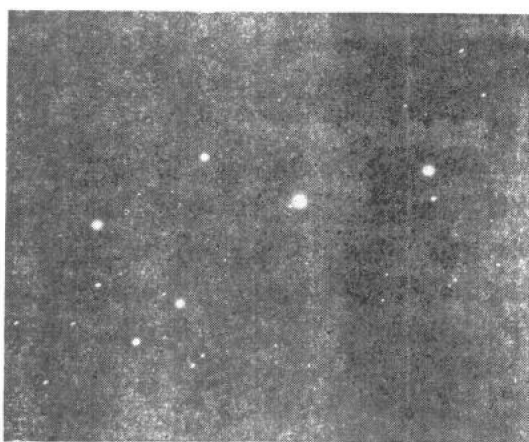
一个天文望远镜的星象质量是最关键指标之一。60 厘米试验镜具有主焦点、卡焦和折轴焦点。在主焦点设计和加工了两套改正镜, 使视场扩大到 $60'$ 。主焦点加 Ross 改正镜的星象质量见所附照片。

(八) 自 动 对 星

先从星表上找出某一个星的赤纬和赤经, 把赤经的度数折算



照片一(木星)



照片二(恒星)

为时角,把赤纬的度分秒和时角预先拨在相应的刻度盘上,启动望远镜使之追到预拨的度分秒和时角上,用分别控制触点办法使之降速至只剩有恒动来跟星。这是原设计者的理想。经过研究认为这个设计如能使对星准到几分,已属不易,拟将秒盘取消。由于我们没有做好,仍将秒盘加工了出来,后来试验结果,对星精度达

不到分数秒数,甚至连度数也不保证,因此就放弃了。

(九) 油 垫 轴 承

二米以上口径的天文望远镜由于重量较大(一般在 100 吨左右),极轴的运转都采用了油垫轴承,油垫轴承的摩擦系数为 10^{-6} 级。在结构上油垫轴承有柱面、平面、球面三种,柱面的用作径向轴承,平面的用作止推轴承,球面的可作径向止推两用。我们采用了球面油垫轴承,这是我国第一次在天文望远镜上应用。

(十) 传 动 机 构

设计时国内还没有力矩电机的产品,因之这台望远镜的快动、慢动、微动、恒动、光电导星、蒙气差校正都交给了机械传动系统来解决,于是传动链搞得过长,刚度下降过甚,造成微动时的断续运动(即所谓爬行),使试验镜在漫长的四年内,北京天文台不能进行光电测光工作,这个损失是无法弥补的。1973 年春、北京天文台、南京天文仪器厂、自动化所有关人员和我到兴隆现场开会商讨挽救措施,决定把传动链缩短,改用力矩电机驱动赤经轴,承担了快动、慢动、微动、恒动和光电导星的任务,取消了原来的主传动箱而仍用它的指示机构。这个办法总的看起来是成功的。返修和采用力矩电机以后,爬行消失了,跟星精度达到 $3''/30\text{ m}$, 优于原设计的要求。力矩电机的经验将用到二米镜上去。

60 厘米望远镜的研制过程中,除了光机电三部分的设计加工外,还为 2.16 米望远镜创造某些条件,例如 2 米专用立式车床、大磨镜机及 2.8 米真空涂膜机。这些都是大型非标准设备,需要早日做好准备。大磨镜机是在试制小磨镜机的基础上进行的。齐齐哈尔机床厂承担了磨镜机和立式车床的制造。大真空涂膜机是中国科学院兰州物理研究所和兰州曙光机械厂设计制造的。

四、技术上的经验教训

试验镜上十个课题都已总结,其中比较成功的有七项,失败的

有一项(自动定位),走了弯路的有两项(传动系统和光电导星),分别论述如下:

1. 赤经传动机构的爬行和光电导星的反复.

赤经传动机构的爬行的主要原因是传动链太长,而设计时没有足够重视.主传动箱有五套行星轮系串联起来(见图2),其中由于齿隙、油膜和弹性链轴节,使这传动链刚度剧烈地下降,在驱动电机一端旋转若干转之后,被驱动的镜身才开始运动,而且被驱动的部分共重8吨左右,惯性较大,所以只有当驱动电机转动产生足够扭矩时(积累位能),镜身才能转动一下(位能变成动能)来消释一下这个扭矩;又由于镜身质量大惯性亦大,旋转起来一定冲过理论位置然后停下,要等到驱动电机继续旋转,积累起扭矩又达到足以克服惯性及摩擦力矩时,镜身才能再起动一次.这样造成运动的不均匀性,走走停停,产生了星象跳动无法稳定,无法做观测工作.这就是通俗的所谓爬行.虽然经过返修和改用力矩电机,消除了这种爬行,但所造成的人力物力上的浪费以及耽误了天文工作者的使用,其损失是很大的.

在试运转中曾在传动链的一个轴颈上安装了一个印刷线路电动机(Motor with printed circuit armature),这种电动机旋转时产生一个力矩,扭紧了整个传动链,使之刚度增加、爬行大幅度地下降.可是所采用的印刷线路电动机功率不够,易于烧坏,因而没有继续采用.但这种方法还是有效的.

光电导星装置,由于各种原因,在初步试验可行后,没有继续改进就安装在望远镜上,因而损失了时间.

2. 自动对星的问题.

1967年在南京天文仪器厂光、机、电三部分总装时,自动定位(即自动对星)机构的精度很差.经过实地试验发现机构很不稳定,精度只能达到度的数量级,远远达不到原设计的秒的数量级.其原因是望远镜转动部分有7~8吨重,它的惯性是很大的.当触点发出信号时,电机虽然断电,望远镜转动部分因惯性关系特别因爬行关系,冲过原定位置几十角秒甚至达到几分.这是失败的主

要原因。从此以后，“自动对星”这一项目撤消了，仍用手控对星，就是看了赤经赤纬指示器，用手控开关对星。必须吸取这个教训。

五、几点体会

60 厘米试验镜从 1960 年初开始试制以来，经历了重重困难，受到了一些干扰。但是，“216”的同志们坚持实践是检验真理的唯一标准，顽强地坚持战斗，克服一个又一个的困难，发扬了有条件要上，没有条件创造条件也要上的优良作风，终于取得了初步成果。

1. 试验镜全部采用了国产的原材料和元部件，并且都是国内大协作加工而成。通过这些年的努力，我们非但造出了我国第一个可用于恒星光电测光工作的 60 厘米反射望远镜，为 2.16 米望远镜的研制取得必要的经验，而且带动了其他技术（如大镜坯的浇铸，以及静压油垫轴承、旋转变压器、力矩电机等的具体应用）的发展。同时通过实践，还培养出了一批具有相当水平的设计、制造、调试天文仪器的技术队伍，初步建立了发展我国天文仪器的基础。

2. 联合作业组织形式体现着共产主义大协作精神，显示出社会主义的优越性。60 厘米试验镜能够尽量采用先进技术，解决了一个个技术难关，是联合作业的有关单位团结一致大力协作的结果。因而建立在以科研、生产、使用相结合为基础的联合作业必须坚持。

我们国家要在二十世纪末实现四个现代化，天文仪器也必须迎头赶上去，首先在坚持“自力更生”，努力学习外国先进技术，尽快地高质量地完成 2.16 米反射望远镜的研制，为社会主义祖国争光，坚定不移地在党的领导下，鼓足干劲，阔步前进！

REPORT ON OPTICAL SYSTEMS OF THE 60 cm ASTRONOMICAL REFLECTING TELESCOPE

Gong Zu-tong

(Xi'an Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract

The story of the birth of a 60cm experimental astronomical reflecting telescope was told. Ten main technical problems were narrated: (1) Design of the telescope body, (2) Design of the telescope tube, (3) Photo-electronic star guider, (4) Automatic sidereal rotation of the dome, (5) Focus coudé, (6) Rigidity, (7) Image quality, (8) Automatic positioning of the star sought, (9) Oil pad bearing, (10) Right ascension and declination drive. The narration includes the preliminary consideration, experiments, and the final results. Except item (8) all of the problems were successfully solved. The success of this work was attributed to the policy of self-reliance taught by Chairman Mao. Intense and persevering effort and scientific analysis were suitably combined to overcome the difficulties encountered, which were colossal at that time. The experiences of success as well as failures were summarized. This experimental telescope with 3 foci is the first one ever built in China and pave the way to build a larger one of 216cm diameter.