



中国科学院大学

University of Chinese Academy of Sciences

## 硕士学位论文

北京天文台太阳磁场研究的起步与发展

——以 35 厘米太阳磁场望远镜的研制为主线

作者姓名: 钟云毅

指导教师: 黎耕 副研究员 中国科学院国家天文台

杨尚斌 研究员 中国科学院国家天文台

学位类别: 理学硕士

学科专业: 天体测量与天体力学

培养单位: 中国科学院国家天文台

2025 年 6 月



**Origins and Progress in Solar Magnetic Field at Beijing  
Astronomical Observatory : Focusing on the Development of  
35cm Solar Magnetic Field Telescope**

**A thesis submitted to  
University of Chinese Academy of Sciences  
in partial fulfillment of the requirement  
for the degree of  
Master of Natural Science  
in Astrometry and Celestial Mechanios**

**By**

**Zhong Yunyi**

**Supervisor:**

**Professor LI Geng**

**Professor Yang Shangbin**

**National Astronomical Observatories, CAS**

**June, 2025**



中国科学院大学  
学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文是本人在导师的指导下独立进行研究工作所取得的成果。承诺除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体享有著作权的研究成果，未在以往任何学位申请中全部或部分提交。对本论文所涉及的研究工作做出贡献的其他个人或集体，均已在文中以明确方式标明或致谢。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

作者签名：

日期：

中国科学院大学  
学位论文授权使用声明

本人完全了解并同意遵守中国科学院大学有关收集、保存和使用学位论文的规定，即中国科学院大学有权按照学术研究公开原则和保护知识产权的原则，保留并向国家指定或中国科学院指定机构送交学位论文的电子版和印刷版文件，且电子版与印刷版内容应完全相同，允许该论文被检索、查阅和借阅，公布本学位论文的全部或部分内 容，可以采用扫描、影印、缩印等复制手段以及其他法律许可的方式保存、汇编本学位论文。

涉密及延迟公开的学位论文在解密或延迟期后适用本声明。

作者签名：

日期：

导师签名：

日期：



## 摘要

35 厘米太阳磁场望远镜是原北京天文台（现国家天文台本部）怀柔太阳观测基地的首台观测设备，主要用于获取太阳矢量磁场数据。该望远镜由艾国祥院士于 1966 年首次提出构想，1968 年正式立项，1984 年投入科学观测，并持续运行至今。作为我国最早自主设计建造的世界级太阳物理观测设备之一，该设备曾代表中国参加中美太阳物理“日不落联测”，其建成是中国太阳磁场研究发展史上的重要里程碑。

20 世纪 60 年代中期，国际太阳磁场研究迅速兴起。虽然新中国在太阳物理研究方面已有一定积累，但整体水平仍与国际先进水平存在显著差距。以林元章为代表的老一代科学家率先利用现有设备尝试开展太阳磁场观测，并取得初步成果。在此背景下，35 厘米太阳磁场望远镜项目得以立项。研制过程中，艾国祥领导的团队攻克了双折射滤光器等关键技术难题，实现了从“面一点一面”的跨越式发展。

本文通过查阅国家天文台馆藏历史档案、老一代天文学家的回忆录，并结合对林元章、艾国祥、张洪起等不同代际太阳物理学家的口述访谈，累计录音超过 11 小时，系统梳理了 35 厘米太阳磁场望远镜的研制历程及北京天文台太阳磁场研究的发展轨迹。

尽管传统观点认为，由于国际国内形势的制约，中国在 20 世纪 60 至 70 年代的国际科技交流较为匮乏，然而本研究发现，国际科技资料在该望远镜的立项与研制过程中发挥了关键作用，这也是该设备在 20 世纪 80 年代投入运行后获得良好国际评价的重要原因之一。上述发现表明，天文观测设备的提出与研制不仅依赖前瞻性的学术视野，也高度依赖于对国际科技动态的及时获取与有效利用。

**关键词：**太阳磁场，科学仪器史，太阳磁场望远镜，北京天文台

国家天文台 YANG Xiao 2026-04-23 10:27:49  
中国科学院国家天文台 YANG Xiao 2026-04-23 10:27:49  
国家天文台 YANG Xiao 2026-04-23 10:27:49  
中国科学院国家天文台 YANG Xiao 2026-04-23 10:27:49

## Abstract

The 35-cm Solar Magnetic Field Telescope was the first observational instrument installed at the Huairou Solar Observing Station of the former Beijing Astronomical Observatory (now the headquarters of the National Astronomical Observatories of China, NAOC). Designed to obtain vector magnetic field data of the Sun, the telescope was first proposed by Academician Ai Guoxiang in 1966, officially approved in 1968, and began scientific observations in 1984. As one of China's earliest independently designed and constructed world-class solar physics instruments, it represented China in the Sino-American "Sun Never Sets" joint solar observation program, and its completion marked a significant milestone in the history of solar magnetic field research in China.

In the mid-1960s, solar magnetic field research saw a rapid rise internationally. Although the newly founded People's Republic of China had accumulated some experience in solar physics research by then, there was still a considerable gap compared to the international frontier. Senior scientists such as Lin Yuanzhang took the lead in attempting solar magnetic field observations using existing instruments and achieved initial success. Against this backdrop, the 35-cm Solar Magnetic Field Telescope project was initiated. Under the leadership of Ai Guoxiang, the development team overcame a series of technical challenges, including the fabrication of birefringent filters, and achieved a leap from two-dimensional to point-based and back to two-dimensional observations—described as a "surface–point–surface" breakthrough.

This study draws upon historical archives preserved at the National Astronomical Observatories, memoirs of senior astronomers, and over 11 hours of oral history interviews with solar physicists from different generations, including Lin Yuanzhang, Ai Guoxiang, and Zhang Hongqi. Based on these sources, it systematically reconstructs the development of the 35-cm Solar Magnetic Field Telescope and traces the evolution of solar magnetic field research at the Beijing Astronomical Observatory.

While conventional views hold that international scientific exchange in China during the 1960s and 1970s was limited due to domestic and global political circumstances, this study reveals that international scientific literature played a critical role in the proposal and development of the 35-cm telescope. This was one of the key reasons the instrument received positive international recognition after it began operation in the 1980s. These findings highlight that the development of high-level astronomical instrumentation not only requires forward-looking scientific vision but also relies heavily on timely access to and effective utilization of international scientific resources.

**Key Words:** Solar Magnetic Field, History of Scientific Instruments, Solar Magnetic

Field Telescope, Beijing Astronomical Observatory

第 1 章 绪论	1
1.1 研究意义	1
1.2 历史背景	2
1.3 前人研究综述	3
1.4 研究内容与方法	5
第 2 章 北京天文台太阳观测的起步	7
2.1 新中国太阳物理研究的基础	7
2.2 《1956~1967 年科学技术发展远景规划》	9
2.3 1958 年中苏海南岛日环食联测	12
2.4 国际地球物理年	13
2.5 北京天文台成立	14
第 3 章 35 厘米太阳磁场望远镜的论证	17
3.1 太阳磁场成为世界太阳物理研究热点	17
3.2 北京天文台首次测量太阳磁场	19
3.3 太阳磁场望远镜的提出与论证	22
3.3.1 修复 60 毫米苏制色球望远镜	22
3.3.2 太阳磁场望远镜立项	24
3.3.3 人员选择与方案确定	25
第 4 章 太阳磁场望远镜研制的挑战与应对	31
4.1 北京天文台国际科技资料的交换与太阳磁场望远镜设计	31
4.2 选址工作	33
4.3 研制用于矢量磁场和视向速度场测量的双折射滤光器	37
4.3.1 应用三组 KD*P 电光调制器	37
4.3.2 制作高精度双折射晶体定轴测厚仪	40
4.3.3 制备氧化锡透明导电膜	40
4.4 引进专用计算机与 CCD 摄像机	41
4.5 国内与国际评价	46
第 5 章 北京天文台太阳磁场研究的发展	49
第 6 章 结语	53
参考文献	55

致谢 .....	59
作者简历及攻读学位期间发表的学术论文与其他相关学术成果 ..	61

## 图目录

图 2-1	1925 年高平子手绘黑子图	8
图 2-2	1958 年海南岛日环食中苏联合观测队射电分队	12
图 3-1	1950–1965 年天体物理数据系统 (ADS) 中“太阳磁场”相关论文的年度发表数量	18
图 3-2	林元章于 1967 年制作的 1/4 波片	21
图 3-3	林元章等人于 1967 年 6 月拍摄的太阳磁场照片	22
图 3-4	60 毫米苏制色球望远镜	23
图 3-5	艾国祥手绘的太阳物理仪器发展简史	26
图 4-1	1968 年到 1970 年北京天文台与国外天文机构刊物资料交换情况	33
图 4-2	1982 年刚开始动工的怀柔太阳观测基地	34
图 4-3	工作人员在测试太阳磁场望远镜	35
图 4-4	怀柔 (左)、兴隆 (中)、沙河 (右) 温度脉动曲线照相记录	36
图 4-5	MSFC 光学结构	38
图 4-6	太阳磁场望远镜双折射滤光器光学结构示意图	38
图 4-7	在南京天文仪器厂出差的部分北京天文台的太阳磁场望远镜研制者	39
图 4-8	计算机改型申请报告	43
图 4-9	CCD 摄像机价格明细表	44
图 4-10	威尔逊山天文台和太阳磁场望远镜对同一活动区观测结果	44
图 4-11	MSFC 矢量磁象仪、大熊湖磁象仪、太阳磁场望远镜改装 CCD 系统前后性能对比	46
图 5-1	艾国祥院士提出的“点-线-面-体”规律	50

## 表目录

表 3-1	1971 年国际上已经建成和在建的 22 台磁场观测设备	19
表 3-2	1966 年到 1971 年北京天文台、紫金山天文台、昆明工作站主要太阳观测设备	20
表 3-3	太阳磁场望远镜 1972 年 2 月与 12 月方案基本指标对比	28

国家天文台 YANG Xiao 2026-04-23 10:27:49  
中国科学院国家天文台 YANG Xiao 2026-04-23 10:27:49  
国家天文台 YANG Xiao 2026-04-23 10:27:49  
中国科学院国家天文台 YANG Xiao 2026-04-23 10:27:49

## 第 1 章 绪论

### 1.1 研究意义

太阳磁场在太阳活动演化中起主导作用。1966 年北京天文台太阳物理组测量太阳黑子强磁场，是中国最早开展的太阳磁场研究。1968 年，艾国祥等人开启了长达 18 年的 35 厘米太阳磁场望远镜的研制工作。1986 年，该望远镜正式投入观测，不久便被国内外太阳工作者评价为是达到世界先进水平的设备之一。纵观北京天文台太阳磁场的发展历程，艾国祥院士领导研制的太阳磁场望远镜具有里程碑意义，它不仅继承了中国科研工作者独立研发的传统，体现出国人自主创新的实力，更促进了后续太阳观测设备的立项（多通道太阳望远镜），推动了北京天文台太阳物理学科的进步以及中国科学技术的发展。然而，现有的研究仅关注到设备的技术特点，缺乏将设备和整个学科的发展以及中国的社会时代背景相结合的分析。因此，为捋清北京天文台太阳磁场的起步与发展历程，以及社会时代背景在这一历程中所起的作用，本文拟细致而深入地探究这一主题，待解决的问题包括以下几个方面：

首先，新中国成立之时，太阳物理的发展状况如何？新中国又是如何开展太阳物理研究的？北京天文台是如何建立的？北京天文台太阳物理研究是如何起步的？本文通过查阅文献，简述新中国成立时中国太阳物理发展基础，接下来，回顾中国在苏联帮助下建立工业体系的历史，重点关注中国通过地球物理年和中苏海南岛日环食联测两个国际合作开启北京天文台太阳物理研究的历史。

其次，50 年代，太阳物理逐渐成为世界太阳物理研究的核心课题，这一情况是如何出现的？北京天文台又是如何开启太阳磁场研究的？太阳磁场望远镜是如何立项的？本文通过查阅国家天文台保存的档案，并根据林元章老师、艾国祥院士等人的口述访谈，以及未曾公开发表的内部资料，介绍北京天文台开展首次太阳磁场研究的过程，梳理太阳磁场望远镜的立项过程。

然后，在北京天文台 35 厘米太阳磁场望远镜的研制过程中，中国各个领域的平均水平几乎都落后于世界的情况下，研制团队遇到了哪些困难，又是如何实现技术突破的？本文通过国家天文台保存的档案和艾国祥院士、张洪起研究员等人的口述访谈，梳理北京天文台 35 厘米太阳磁场望远镜的研制过程，分析国际交流在太阳磁场望远镜的研制过程中起到的作用。

最后，在太阳磁场望远镜研制期间，北京天文台还开展了许多其他太阳磁场研究，并于 1989 年北京天文台改革后，形成了两个延续至今的课题组：怀柔太阳观测基地、太阳磁活动研究组。本文通过分析 60-90 年代北京天文台太阳物理代表人物的学术历程，描绘北京天文台太阳磁场研究的发展图景。

## 1.2 历史背景

科学技术是一个国家经济水平和国防实力的重要表征，中国科技自近代以来一直落后于西方。从鸦片战争之后到新中国成立之前，西方科技大批量地输入中国，带动中国科技产生了不小的进步。但受限于动荡的政局，其发展始终缺少一个强力机构统筹规划，总体水平并不高。

新中国成立初期，国家科技基础薄弱、工业水平落后，发展科学技术成为恢复国民经济和巩固国防的重要手段之一。而要想短时间内提高科技水平，最好的方法就是依靠国际合作。因为 50 年代冷战氛围逐渐浓厚，所以中国只能与意识形态相近的共产主义国家合作。随着“一边倒”政策的颁布，中国开始全面学习苏联的科学技术和管理经验(孔寒冰, 2003)。

1949 年，中国科学院成立，中国科技事业第一次拥有了一个强力机构来统筹规划。1950 年，《中苏友好同盟互助条约》签订，苏联派遣苏联专家在中国的科技、工业和教育等领域，共 156 个项目中进行指导(张柏春等, 2004)。1953 年，“一五计划”启动，明确提出要发展基础科学和应用科学。这表明中国已建立基本工业体系，转而开始关注科研事业的发展。1956 年，中华人民共和国政府在苏联专家的帮助下制定了《十二年规划》。除了对各个学科的发展方向做出规定外，文件还明确提出要“力求自力更生，但要有计划地合理地运用兄弟国家的帮助，虚心学习一切国家的长处，并把学习外国长处和继承发扬科学遗产、总结本国的经验这两个方面结合起来”，这表明中国科技发展在全面学习苏联的情况下，并没有放弃对自主研发能力的关注。这一规划明确了未来 12 年科技发展的战略方向，其影响力至今犹在。

赫鲁晓夫主政苏联后，中苏两国开始在意识形态、国家利益等方面出现分歧。最终，苏联在 1960 年前后单方面撤走了全部苏联专家，两国在事实上交恶。中苏间矛盾的原因十分复杂，但可以肯定的是，在中苏交恶后的 60 年代前期，中国在没有缓冲的情况下，突然脱离苏联的帮助，进入了一段科技的瓶颈期，但中国政府很快便着手调整，于 1962 年推出了《1963-1972 年科学技术发展规划纲要》(以下简称《十年规划》)，调整科技体制的同时，开启独立研发技术的道路。因此中国才能在 80 年代和西方国家重新建立联系后，拥有与后者平等对话的底气(张柏春等, 2004)。

中国传统天文学硕果累累，但近代以来始终落后于世界。新中国成立时，参与天文研究的人员不足百人，某些方向甚至没有专业研究人员，仪器设备更是与国际先进水平有数代以上的差距，独立研发能力几乎可说是没有。但就是在这样一穷二白的基础上，数代科研工作者一步一脚印，甚至是大跨步前进，花费 40 年时间使中国天文学在某些领域达到了世界先进水平，艾国祥院士领导研制的太阳磁场望远镜的成功就是这样一个例子。太阳磁场望远镜肇自 20 世纪 60 年代末，并于 80 年代中期投入使用，是 80-90 年代代表中国参与国际合作的设备之一，也是中国踏上独立研发道路后最早的成果之一。2024 年是怀柔太阳观测基地建站和太阳磁场望远镜投入使用 40 周年。它见证了北京天文台太阳磁场

发展壮大的过程，时至今日仍作为多通道望远镜的重要组成部分为科研人员提供高质量观测数据。这让我们意识到，深入考察太阳磁场望远镜的研制历程，揭示北京天文台太阳物理的发展路径，不仅具有科学史价值，更对当前推进高水平科技自立自强具有深刻的启示意义。

### 1.3 前人研究综述

中国天文学在 20 世纪 80 年代开始和西方国家开展大规模合作，并拉开了此后 40 年间迅猛发展的大幕。这一切的基础在于，西方发达国家愿意承认中国天文学在 80 年代表现出的水平。但众所周知的是，新中国成立之时，中国天文学水平与西方发达国家有相当大的差距，也就是说，80 年代中国开展国际合作的基础，是由建国以来的 30 年积累起来的，而对于这段历史时期中国天文学发展历程的研究却极端匮乏。实际上，中国天文学史的研究可大致分为两个部分，一部分是古代天文学，另一部分是近现代天文学。对前者的研究，著作甚丰，可对于后者，以前的研究更关注民国时中国近现代天文学起步的过程，对建国后 30 年间的中国天文学发展的研究，几乎就是空白，仅在一些老一代科研工作者的回忆中，或论文的历史背景叙述部分有所提及，而没有对这一时期中国天文学各学科发展脉络的具体梳理。因此，本文以 80 年代中国太阳物理观测设备的代表之一——太阳磁场望远镜的研制过程为主线，对北京天文台太阳物理学，主要是太阳磁场领域的发展脉络进行研究。目前可以查阅到的书籍文献资料大致如下：

图书方面：公开出版的材料包括一些学者或单位所编纂的对太阳物理学兴起与发展历史的梳理。中国科学院国家天文台编著的《中国科学院北京天文台台史 1958-2001》，其中就介绍了，太阳物理在北京天文台发展的三个阶段，即初创期（1958 年-1962 年）、发展期（1963 年-1975 年）、成熟期（1975 年-2001 年）三个阶段的重大事件和主要设备及其基本参数（中国科学院国家天文台，2009，第 2 页）。此书通过综合国家天文台所保存的档案，对与北京天文台相关的太阳物理发展史进行了相对全面的梳理，然而它并没有列出参考文献，对 60-70 年代北京天文台的管理体制和太阳物理组的领导成员表述不清，部分内容甚至和其他材料相悖，因此需要对其内容二次考证。1986 年月出版的《北京天文台台刊》第 8 辑是太阳磁场望远镜专辑，其中收录了太阳磁场望远镜研制过程中几乎全部的论文成果，部分论文甚至没有收录进知网，但是有相当一部分是 80 年代之后修订发表的，难以确定成果突破的具体时间，同时部分论文删掉了背景介绍部分，使得读者更加难以把握创新成果的背景。江晓原、吴燕主编的《紫金山天文台史》详细叙述了紫金山天文台及其前身，中央研究院天文研究所和紫金山天文台建立的过程，及参与的重大天文学活动，其中包括三次对中国太阳物理领域具重大意义的日全（环）食国际联测事件（江晓原等，2004，第 101-128 页；第 157-177 页）。王钱国忠所著的《传教士与徐家汇天文台》介绍了徐家汇天文台的历史和开展的天文研究，其中就包括中国最早的近代太阳物理研究，这对梳理新中国之前的中国太阳物理发展状况有很大帮助（王钱国忠，2012，第 98-108 页）。钱伟长

和叶叔华总编的《20 世纪中国知名科学家学术成就概览·天文学卷》记录了中国 20 世纪在太阳物理学领域取得突出成就的多位天文学家，其中展示了他们的科研经历、学术成就等方面，体现了这些老一辈科学家为促进中国科学技术与经济的发展、社会的进步所作出的贡献，其中包括多位太阳物理学家对新中国建立初期中国太阳物理发展的叙述，这些叙述在还原中国太阳物理发展脉络时提供了许多有价值的信息(钱伟长等, 2014, 第 27, 136, 213, 218-219, 370, 398, 505-509, 529 页)。董光璧在《中国近现代科学技术史》中，系统梳理了民国时期至 20 世纪 50 年代新中国初期的科技发展历程，不仅详细罗列了民国时期中国科学技术的艰难起步历程与重要突破成果，更对 50 年代新中国在科技体制建设、人才培养以及重大科研成果方面取得的成就进行了全面而细致的论述(董光璧, 1997, 第 821,824-825,832,835,838-839,861 页)。除此之外，王绶琯和刘振兴主编的《20 世纪中国学术大典·天文学·空间科学》对中国天文学史上有里程碑意义观测设备的参与人员、科学目标、技术参数等也有些许叙述(刘振兴等, 2003)。1977 年，由科学技术文献出版社出版的《出国参观考察报告——美国天体物理学研究概况》，对美国太阳物理发展状况有过较为详细的叙述，对当时美国的 14 个科研单位的所属系统、仪器设备、工作人员和主要特色都做了较为详细的叙述(on Scholarly Communication with the People's Republic of China, 1978)。

期刊论文方面：除了《北京天文台台刊》第 8 辑收纳的论文外，2016 年，储珊珊通过采访王绶琯院士等 1958 年海南岛日环食联测的亲历者，对此次活动进行了细致而全面的梳理(储珊珊, 2016)。2019 年，张静的《新中国学习外国科技的转向(1956-1966)》，详细分析了 1956-1966 期间，中国对外科技交流的方针变化，以及一些具体的科技交流数据，这些数据对我们把握改革开放之前中外科技交流的实际情况具有重要意义(张静, 2019)。1954 年到 1959 年由紫金山天文台发布的太阳黑子年度观测报告，对当时各台站进行观测的设备进行了简单介绍，可以对当时的设备状况有一个大概把握。此外，张筑文在 1980 年，陈彪在 1984 年，方成在 1989 年，艾国祥和汲培文在 1993 年，颜毅华和谭宝林在 2012 年，刘睿等人在 2019 年，都曾先后发表过综述性文件，回顾和梳理了不同时期太阳物理研究方面的成就与进展，有助于研究把握太阳物理的基本脉络(张筑文, 1980; 陈彪等, 1984; 方成, 1989; 艾国祥等, 1993; 颜毅华等, 2012; 刘睿等, 2019)。

在图书和论文外，一些先驱对早期研究经历的回忆也提到了中国太阳物理的早期发展，如怀柔太阳观测基地 20 周年、30 周年、40 周年的纪念册，其中揭露了许多研制过程中的细节。这类资料主要从历史学以及天体物理学角度对中国太阳物理的发展进程进行了介绍，其研究成果对本文有诸多启示和指导，但因为上述研究大体只为了把握全貌，所以对具体细节的研究相对匮乏，大多是集中式、泛化的描述，不过依旧提供了丰富的背景资料。

## 1.4 研究内容与方法

本文通过搜集文献、查阅档案和采访当事人的方法,统计了与北京天文台太阳磁场望远镜直接或间接相关的几类资料:其一是太阳物理学的科普性书籍或学术性著作以及相关论文;其二是国家天文台编纂的资料性总结和保存的相关档案;其三是相关人物的传记、年谱、日记、文集、回忆录和采访等,其中包括北京天文台太阳物理学元老林元章先生、太阳磁场望远镜研制团队的领导人艾国祥院士、研制团队重要成员张洪起研究员等人的采访资料。从三人的采访中可以了解到北京天文台太阳物理学发展和太阳磁场望远镜研制过程中的一些重大事件和细节。这些资料向世人展示了,在新中国成立初期的政治环境下,北京天文台太阳物理学发展的基本脉络,以及太阳磁场望远镜研制过程遭遇的困难和突破方法。针对上述主题及材料,由以下四个部分展开论述:

本文首先以北京天文台的建立为切入点,通过总结佘山观象台、青岛观象台、紫金山天文台以及昆明凤凰山天文台等新中国成立前就开展研究的天文机构的建设经过和观测成果,其中包括1936年和1941年两次具有里程碑意义的日全食观测活动,勾勒出中国近代太阳物理研究的发展历程。然后,回顾苏联通过直接提供技术与物资,以及帮助中国制订科技政策,等两种方法对中国太阳物理的帮助,其中最重要的是1958国际地球物理年和中苏海南岛日环食联测。

其次,本文将系统梳理世界太阳物理学的发展脉络,重点分析20世纪60年代太阳磁场研究成为核心课题的原因。在此基础上,通过深入挖掘未曾公开发表的期刊文章,还原林元章等学者在国内率先开展太阳磁场研究的学术历程;同时依托中国科学院国家天文台珍藏的档案资料,详细考察艾国祥院士推动太阳磁场望远镜立项的关键过程。

然后,本文通过查阅中国科学院国家天文台保存的1820份档案资料,结合对艾国祥院士、林元章老师、张洪起研究员等关键人物10小时48分钟,12万9千字的深度访谈,还原太阳磁场望远镜的研制过程,着重聚焦国际科技资料在研制过程中所起的作用,总结天文观测设备的研发特点。

最后,本文将通过简述北京天文台(现为国家天文台)怀柔太阳观测基地和太阳磁活动组,以及太阳射电组和太阳活动预报中心,对太阳磁场研究的贡献,描绘90年代以来太阳磁场研究的发展状况。

国家天文台 YANG Xiao 2026-04-23 10:27:49  
中国科学院国家天文台 YANG Xiao 2026-04-23 10:27:49  
国家天文台 YANG Xiao 2026-04-23 10:27:49  
中国科学院国家天文台 YANG Xiao 2026-04-23 10:27:49

## 第 2 章 北京天文台太阳观测的起步

### 2.1 新中国太阳物理研究的基础

辛亥革命以后，西方天文学体系开始在中国天文学发展中占据主流地位。其中最突出的例子莫过建立于 20 世纪 20 年代的中央研究院天文研究所以及紫金山天文台。除此以外，还有一些从西方列强殖民地接管过来的天文设施，如青岛观象台和徐家汇观象台。在 20 世纪上半叶，这些天文台多多少少都将太阳观测作为自己的核心内容之一。

1904 年开始，蔡尚志 (Stanislaus Chevalier) 神父使用法国制造的 40 厘米折射望远镜，观测太阳黑子和米粒组织 (董光璧, 1997, 第 832 页; 王钱国忠, 2012, 第 103 页)。他使用投影目视法手绘日像，记录太阳黑子和光斑的形态变化，同时利用太阳分光镜观测太阳日珥 (王钱国忠, 2012, 第 104 页)。在 1924 年蔡尚志退休之前，佘山观象台已存有 12000 多张黑子照片和 7000 多张日珥描图，并发表了《太阳黑子和日珥的研究》、《太阳直径的照相研究》等文章 (董光璧, 1997, 第 832 页; 王钱国忠, 2012, 第 105 页)。其实佘山观象台太阳物理的研究成果对世界太阳物理发展的贡献难称巨大，但由于其全程在中国开展，期间不断有中国人来学习，籍此培养了一批本土天文人才，例如中国收回青岛观象台后的首任台长蒋丙然，因此它对中国太阳物理学发展史上的意义是不容忽视的。值得一提的是，佘山观象台的工作所依仗的，正是当时远东地区最大的太阳望远镜，40 厘米折射望远镜，这一例子体现了先进观测设备对太阳物理的重要性 (董光璧, 1997, 第 832 页)。

五四运动之后，以高鲁为代表的有识之士成立了中国天文学会，力图改变中国天文学的落后面貌。1924 年，中国天文学会正式接管由德国人建立，后为日本人侵占的青岛观象台。1925 年 6 月，高平子和徐汇平开始在青岛观象台利用 16 厘米盖氏赤道仪描绘太阳黑子和光斑，每天一幅图，如图 4-7 所示。初期只使用文字记录，后由高平子设计出归算方法，以数字形式发布，这是中国人真正意义上开展的首次近代太阳观测研究。1938 年，青岛沦陷，观测与研究暂时停止 (董光璧, 1997, 第 824-825 页)。1945 年，抗战结束，气象学家王华文先生接掌青岛观象台。由于战争，观测设备只剩下盖氏赤道仪的镜筒、仪架等零件，大赤道仪物镜也被拆下，后来虽然找到，但是也无法立即使用。王华文等人只得再次改装一架赤道仪用于观测，获得了不亚于抗战前的效果。青岛观象台在 1925-1938 年期间依托德国遗留的 16 厘米盖氏赤道仪，开创了现代太阳黑子观测研究的先河，使青岛观象台在中国太阳物理学发展史上占据了重要地位。这是先进观测设备对台站观测工作决定性意义的又一例证。

1934 年，紫金山天文台落成，余青松任台长。作为位于中华民国首都的天文台，紫金山天文台的研究方向几乎涵盖了天文学的所有领域，太阳物理自然也包含在内。紫金山天文台科研人员利用配备太阳放大摄影器、日珥观测器等仪器的

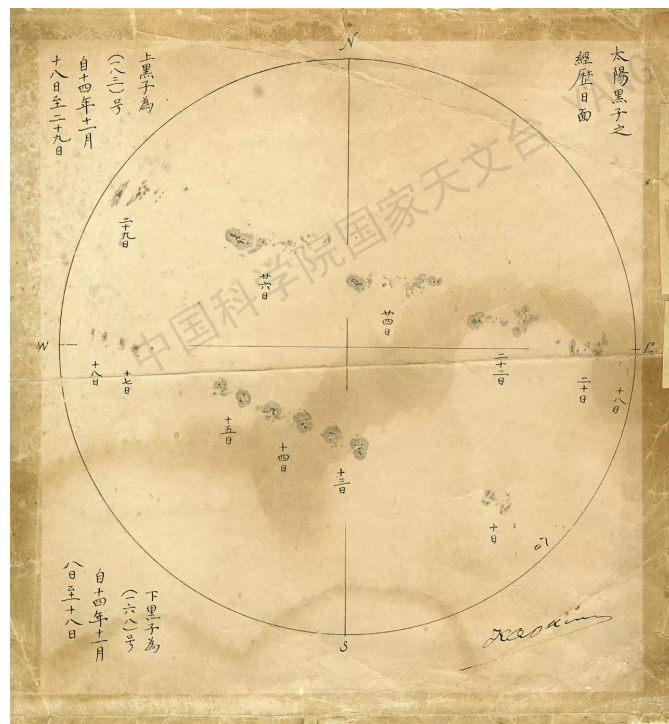


图 2-1 1925 年高平子手绘黑子图

Figure 2-1 In 1925 hand-drawn sunspot sketch by Gao Pingzi.

200 毫米赤道仪开展太阳黑子观测，并引进当时尚未定型的海尔太阳分光仪，参与国际天文学联合会太阳色球研究组的国际合作项目。研究人员自此开始在  $H\alpha$  波段观测色球层的日珥、耀斑等日面现象，并将逐日绘图记录结果，整理后发往法国巴黎默东天文台（Paris-Meudon Observatory）（董光壁, 1997, 第 821 页）。在此之前，中国的太阳色球研究虽已起步，但与国际先进水平有显著差距，正是依托这些先进观测设备，我国的太阳色球研究才得以实质性发展，这不仅提升了中国太阳物理的研究水平，更为 1936 年和 1941 年两次日全食联合观测奠定了重要的技术基础。

1939 年，天文研究所在抗战期间辗转至昆明，在凤凰山上重建天文台，称“昆明凤凰山天文台”，继续使用海尔太阳分光仪开展太阳观测工作。在 1931 年到 1937 年，1939 年到 1940 年，两段时间内，研究人员共观测了 730 天的数据。因为小赤道仪被留在南京，张钰哲便在变星仪下方安装了一架投影仪开展太阳黑子观测。研究人员每天使用目视投影法描绘黑子图，记录黑子群的日面纬度分布，计算黑子相对数，不过受限于变星仪口径，除特大黑子外，多数黑子看不见半影，因此无法计算面积。此项工作在抗战后仍在昆明凤凰山天文台继续，一直到 1948 年，结果发表在中国天文学会的《宇宙》杂志上（董光壁, 1997, 第 821 页；江晓原等, 2004, 第 156 页）。南京时期的太阳黑子与分光观测凭借海尔式太阳分光仪和小赤道仪，均取得了卓越成果；而昆明的变星仪因为口径太小，使得精度较低，不同观测者间的系统性误差也较大，观测数据的科研意义较小。这一对比再次可见高水平观测设备的重要性

除常规观测工作外,天文研究所还参与了1936年和1941年两次国际日食联合观测项目。1936年的观测实质上是为1941年日食观测所做的预演,通过与国际团队的交流对比,中国天文学家深刻认识到自身观测能力的不足。因此,为筹备1941年的观测,日食观测委员会专门向英国订购了一架定天镜,并向美国Fecker公司定制了一台16毫米口径、6米焦距的大型地平镜。然而前者因经费问题被迫取消采购,后者则在战火中被损毁。尽管1941年的观测相比1936年成果更多,但和其他国家相比仍旧有限。这一系列挫折不仅使中国天文学家再次体会到高水平设备的重要性,而且还认识到:要获得高水平观测仪器,自主研发能力的建设不可或缺(江晓原等,2004,第158-159页)。

从早期以目视观测为主的起步阶段,逐步发展到参与国际联合观测的积累阶段,在新中国成立前的三十余年内,通过引进国外先进观测设备、参与国际科研合作,中国太阳物理学完成了从无到有的学科建设,不仅积累了宝贵的观测数据和科研经验,更培养了一批专业人才,为新中国成立后的学科发展奠定了重要基础。尤为关键的是,这一时期中国天文学家通过实践深刻认识到:高水平观测设备是开展前沿研究的先决条件。这一认识为建国后太阳物理学确立“自主研制尖端设备”的发展方向提供了重要启示。

## 2.2 《1956~1967年科学技术发展远景规划》

新中国成立之后,工业基础和国防力量相对薄弱,最好的解决方法就是与其他国家开展合作。而受冷战格局影响,中国只能加入社会主义阵营。最终在1950年2月14日,中国与苏联正式签订了《中苏友好同盟互助条约》,开启了全面学习苏联的发展时期。

1952年国民经济恢复基本完成,1953年毛泽东提出用10到15年完成工业化与生产资料所有制的社会主义改造。国家随即着手制定《1953—1967年国民经济十五年计划》,中国科学院自1954年起参与其中的科技部分编制工作,为后续全国性科技规划奠定基础。

1955年,在苏联顾问柯夫达的建议下,中科院提出制定国家科学技术发展远景规划。此建议获中央高度重视,国务院于1956年初设立科学规划委员会,启动《十二年规划》的制定工作。国务院副总理李富春和总理周恩来先后就规划提出具体指导意见,明确提出“迎头赶上”的战略目标,并强调“以任务为中心、以学科为支撑”的“以任务带学科”规划模式,旨在迅速补齐国家建设最为短缺的科学门类。在中科院和各部委组织下,全国各领域数百位专家参与规划讨论,结合国民经济、国防建设等重大需求,最终形成了57项科技任务,涵盖616个具体课题,重点包括原子能、导弹、计算机、半导体、自动化等战略领域。苏联也应邀派出专家团来华协助规划制定,提供了技术经验与世界发展趋势的咨询支持。1956年8月,规划初稿完成;12月,中共中央批准作为试行方案付诸实施。《十二年规划》的出台,标志着中国科技发展正式进入系统规划、集中攻关的新阶段。它不仅为我国建立新兴学科体系、提升自主创新能力奠定了制度基础,

也成为后来组织“两弹一星”等国家重大科技工程的制度先导(张久春等, 2019)。

中国天文学在新中国早期面临基础薄弱、人才匮乏的困境(中国科学院佘山观象台, 1956)。1956年3月, 由吴有训主管, 张钰哲、李珩、戴文赛、孙克定着手制订《1956—1967天文学发展远景规划》(简称《天文学远景规划》), 克里米亚天文台台长, 太阳物理学家亚·伯·谢维尔内(А. Б. Северный)也参与了讨论(宁晓玉, 2021)。根据《十二年规划》“以任务带学科”的原则, 学科发展需服务于国家战略需求, 太阳物理研究被纳入天文学重点发展领域。这本质上源于其与国防安全的间接关联。太阳物理虽属基础科学研究, 却可通过影响地球空间环境、电离层扰动及短波通信, 与国防技术形成隐性关联。《十二年规划》指出, “太阳表面上的活动(例如黑子、日珥、耀斑等)影响到地球的磁场引起磁扰和磁暴, 也影响高空的电离层和无线电短波的传播, 并且也很可能是天气变化的一个重要原因”, 这种潜在风险使其成为国防科技体系中不可忽视的环节。由此可见, 太阳物理的入选并非偶然, 而是新中国科技规划中“科研为国防服务”逻辑的典型实践。

其实, 中国发展太阳物理还有其他优势。中国的太阳物理观测始于1906年, 发展时间相对较长; 紫金山天文台的邹仪新和陈遵妫作为重要成员参加过1936年和1941年日全食国际联测, 即太阳物理相对其它方向经验更加丰富, 这是天文学其他方向所不具备的优势; 苏联卫星上天后, 科学家发现卫星易受太阳活动影响, 因此中国开展太阳活动预报工作可以为苏联提供协助。这种学科布局既立足于当时中国天文学的研究基础, 又着眼于国际天文学的发展趋势, 还考虑到了复杂的国际形势, 体现了制定者们的深思熟虑。规划明确提出“全面发展、赶超世界”的战略目标, 这不仅反映了新中国科技工作者奋发图强的精神面貌, 也为中国天文学的未来发展指明了方向, 即在保持学科体系完整性的同时, 力争在重点领域实现突破, 逐步缩小与国际先进水平的差距。

同年11月, 苏联科学院米哈伊洛夫教授率领的四人专家代表团<sup>1</sup>访问中国。他们对《十二年规划》中天文学部分给予了高度评价, 并针对具体内容做了建议。如中国原计划在甘肃修建天文台, 但甘肃位于地震带上, 不利于观测, 戴文赛等人后来改为在西安建造天文台。此后, 他们又和谢维尔内一起走访了中国大部分天文机构, 又建议应当集中有限资源重点巩固现有的天文台站, 然后建设一两个配备现代化设备的新型天文台, 在实际工作中培养中高级天文人才队伍(中国科学院国家天文台, 2009, 第1页)。这些建议直指当时制约中国天文学发展的核心问题: 观测台站数量不足且设备陈旧, 专业人才队伍严重短缺, 科研仪器自主研发能力薄弱(中国科学院佘山观象台, 1956)。

按照《天文学远景规划》的建议, 中国科学院更新了四座主要天文台站(紫金山天文台、佘山观象台、青岛观象台和昆明凤凰山天文台)的设备。1954年, 紫

<sup>1</sup>苏联代表团成员为团长: 苏联科学院通讯院士, 天体测量及测地专家亚·亚·米哈依洛夫(А. А. Михайлов); 团员: 列宁格勒大学教授, 普尔科夫天文台照相天体测量部主任亚·尼·节依奇(А. Н. Дейч); 塔什干天文台授时专家瓦·巴谢格洛夫(В. Б. Сеглов); 莫斯科大学教授, 苏联科学院天文委员会副主席, 国际天文联合会副主席, 变星专家鲍·瓦·库卡金(Б. В. Кукаркин)(中国科学院国家天文台, 2009, 第1页)

金山天文台太阳组最早使用 20 厘米赤道仪观测太阳黑子，后仪器损坏，在 1955 年修复前，先后使用 11 厘米和 13 厘米的赤道仪进行观测。1955 年，紫金山天文台为佘山观象台修复了 10.5 厘米太阳分光仪 (郭權世, 1955)。同样在 1955 年，昆明凤凰山天文台使用张钰哲留下的变星仪加入太阳黑子观测网络，1956 年 12 月起改用 12.7 厘米折射望远镜继续观测。1956 年 5 月，青岛观象台将小赤道仪改装成 15.2 厘米折射望远镜进行观测。1958 年，60 毫米 AΦP-2 太阳色球望远镜（以下称作苏制色球望远镜）落户北京，中国的太阳活动监测体系得到进一步完善。除此之外，各台站在保持联合观测的同时，也发展了特色研究方向。佘山观象台继续使用 G10 性露光仪、垂直辐射自记仪、全辐射自记仪开展太阳辐照度观测，并使用自制的海尔太阳分光仪开展  $H\alpha$  观测 (中国科学院佘山观象台, 1953; 張遠良等, 1958)。紫金山天文台也从 1958 年开始使用引进的李奥滤光器，进行  $H\alpha$  观测，重点开展太阳光谱和耀斑光谱的深入分析 (董光璧, 1997, 第 861 页)。到 1958 年为止，全国性的太阳光球和色球观测网络都已形成。

此外，天文教育也慢慢发展起来。民国时期的天文教育机构主要在孙中山于 1924 年建立的国立中山大学天文系和从美国长老会演变而来的齐鲁大学天算系开展，此外，国立南京大学物理系、沈阳东北大学物理系等也开设有一些天文课程 (董光璧, 1997, 第 835, 838 页)。1952 年，中山大学天文系和齐鲁大学天算系合并，成立南京大学天文系，这是新中国建立初期唯一的天文教育机构 (董光璧, 1997, 第 838-839 页)。1960 年，北京师范大学成立天文系，北京大学地球物理系设立天体物理专业，从事天文研究的新生力量逐渐增加。

各个观测台站的正常运转，天文教育机构的逐渐增加，这些都表明新中国太阳发展已步入了正轨。然而，虽然中国太阳物理学摆脱了民国时期管理混乱的局面，但其与国际先进水平仍存在显著差距。有鉴于此，中国科学院派遣优秀人才前往苏联学习。1951-1960 年间，苏联累计接收中国 14000 余名留学生，占同期出国留学学生的 90%。这些留学生中包括新中国建立早期，少有的专门从事太阳物理研究的天文学家陈彪。1953 年，正是在陈彪的建议下，中国政府才决定开展系统的太阳物理研究 (张柏春等, 2004; 中国科学院北京天文台, 1965; 钱伟长等, 2014, 第 301 页)。同时，苏联向中国派遣万名技术专家进行实地指导，这种“引进来”与“走出去”相结合的模式，快速提升了中国在关键技术领域的自主研发能力。通过这一阶段的技术转移和人才培养，新中国在较短时间内建立起以苏联模式为蓝本的现代科技体系 (张柏春等, 2004)。这种全方位的合作，不仅加速了中国的工业化进程，快速提升了中国在重点领域的技术能力，更重要的是培养了本土科研力量，形成了自主发展的基础条件。值得注意的是，苏联援助的技术水平是相当先进的，钱三强后来评价说：“应该说他们（苏联）给我们的东西当时是相当先进的，是 40 年代末 50 年代初的水平”。这一切都表明中国工业水平在 50 年代大幅进步。

除派遣留学生之外，中国还积极与苏联开展国际合作，在过程中不断学习，发展自身实力，其中最具有代表性的两次国际合作分别是“1958 年中苏海南岛日

环食联测”，和“国际地球物理年”。

### 2.3 1958年中苏海南岛日环食联测

1958年中苏海南岛日环食观测是新中国射电天文学的起步，但实际上它对中国太阳物理发展的贡献也不可小觑。

1957年国际天文学联合会日食委员会预报，1958年4月19日会发生日环食，而海南岛正是最佳观测地点。这次日环食因为食带较窄，所以最初并未引起中国天文学会的注意。但不久后，苏方致函中方，希望在海南岛开展日环食观测，并提议可以帮助中方培养太阳物理、射电天文、无线电等领域的有关人才，这才引起中方的重视(钱伟长等, 2014, 第213页)。



图 2-2 1958 年海南岛日环食中苏联合观测队射电分队 (储姗姗, 2016)

Figure 2-2 Radio Observation Team of the Sino-Soviet Joint Expedition for the 1958 Annular Solar Eclipse in Hainan Island

中方接受了苏方的建议，借此机会与苏联方面合作组建了“中苏海南岛日环食联合观测队”。观测队由两个分队组成，前期在北京参加培训。一支是南京大学程廷芳教授率领的光学观测分队，接受莫斯科大学格里高利·西特尼克 (Grigory Sitnik) 博士的太阳物理集训，并在其系统指导下，在日环食期间开展日面边缘光度测量研究(钱伟长等, 2014, 第213页)。另一支是射电天文分队，由紫金山天文台王绶琯副研究员带领，在苏联著名天文学家谢苗·海金 (Semyon Khaykin)、阿纳托里·莫尔查诺夫 (Anatoly Molchanov) 等人的指导下，开展了包括分米波至毫米波的全波段辐射强度分布测量、色球椭率测定、黑子区域特性分析以及偏振辐射频谱研究等前沿研究在内的多波段太阳射电观测(张九辰等, 2009; 储姗姗

姗, 2016)。

观测结束后, 太阳物理和射电天文各有进一步发展。射电天文方面, 中方向苏联借留了 3.2 厘米和 10 厘米射电望远镜各一台, 并迅速在沙河站展开后续研究。王绶琯、陈芳允等人主导了对苏联射电望远镜的仿制与改进工作。1959 年初, 北京天文台就完成了 3.2 厘米射电望远镜仿制工作完成, 称其为中国研制出的第一架能“正规工作的射电望远镜”, 其性能“接近苏联同类仪器水平”, 标志着中国“在研究太阳物理和开展太阳服务工作中迈出的第一步”(储姗姗, 2016)。这也是北京天文台太阳物理最早的生长点之一。

太阳物理方面, 苏联专家西特尼克博士留在南京大学继续教学, 并由此培养出了许多人才。他曾提出可以在南京东郊修建一座太阳塔作为观测与教学基地, 还可以研制一台日冕仪用于日常观测(钱伟长等, 2014, 第 213 页)。但他因为中苏交恶, 不久就离开南京大学, 没能将建议落实。不过, 太阳塔和日冕仪分别在 1982 年和 1961 年被方成和苏定强制成, 他们都曾接受过西特尼克的指导。二人后来又分别于 1995 年和 1991 年当选中国科学院院士。海南岛日环食联测对中国太阳物理人才培养的帮助可见一斑。而值得一提的是, 北京天文台早期重要成员均来自南京大学。因此可以说, 海南岛日环食联测为北京天文台太阳物理的早期发展提供了人才保障。

## 2.4 国际地球物理年

1957 年至 1958 年的“国际地球物理年”(International Geophysical Year) 是 20 世纪最具影响力的全球性科学合作活动之一, 共有 66 个国家和地区参与, 涵盖太阳活动、极光、人造卫星观测等十余项前沿学科, 旨在动员全球科学力量对地球物理现象进行同步观测与资料共享。早在 1952 年, 国际特别委员会 (CSAGI) 便向中方发出邀请, 中国科学院在评估国际形势及自身能力后, 认为参不参与应取决于苏联的态度(张九辰等, 2009)。

随着苏联于 1954 年明确表示将组建国家委员会并积极参与, 受到苏方鼓励和支持的中方随即决定组建“中国国际地球物理年委员会”。中国政府一方面批准设立专项协调机构, 由邮电部、国家测绘局、总后勤部等提供通信保障、地磁测绘、运输后勤等方面的支持, 改造了南京、昆明等已有观测站, 同时在北京等地区新建了数个观测站(张九辰等, 2009)。这变相促进了北京天文台的筹建工作, 也使得紫金山天文台和昆明凤凰山天文台有机会更新设备, 前者从法国引进了一台李奥色球望远镜, 后者则新安置一台 12.7 厘米折射望远镜用以观测(中国科学院紫金山天文台, 1959; 陈展云等, 1957)。另一方面, 中国于 1956 年主动选派陈宗器等组成首批代表团, 先赴莫斯科参加东欧区域会议, 以观察员身份积极参观台站设备、数据处理流程, 记录下不同国家在极地研究、太阳风监测、无线电扰动等方面的工作机制。与此同时, 紫金山天文台的陈彪正在苏联交流, 学习太阳物理前沿研究成果。为了给国际地球物理年太阳活动观测准备观测设备, 陈彪代表中方花费 50 万人民币向苏联政府购买了具备当时世界先进水平的苏制

色球望远镜(中国科学院国家天文台, 2009, 第 26 页; 张九辰等, 2009)。

然而中国从一开始就敏锐地意识到台湾问题可能成为参与国际合作的最大障碍。中国方面在接受邀请函后即通过竺可桢致信国际特别委员会, 明确表示若台湾方面也参与, 中国将无法参加。国际特别委员会虽然在初期承诺台湾并无实际委员会, 暗示中国可安心加入, 但事实证明这一“承诺”并不牢靠。1957 年 2 月, 美国怂恿台湾匆忙组建“台湾地球物理年委员会”并提交研究计划。这一突如其来的变化直接挑战了“一个中国”的国际原则。中共中央国际活动指导委员会迅速发文, 授权中科院强烈抗议, 并警告若台湾以“国家”或“代表中国”的身份出现, 中国将退出国际地球物理年全部活动。尽管国际特别委员会一度婉拒台湾参会请求, 维持会议秩序以让中国代表团得以出席东京会议, 但最终在美国压力之下, 于 1957 年 6 月决定接纳台湾, 以“中国国际地球物理年委员会(台北)”的名义并列为中国代表之一(张九辰等, 2009)。

1957 年 6 月 29 日, 中科院副院长竺可桢正式致函国际特别委员会, 提出严重抗议, 并宣布中国退出国际特别委员会及其全部活动。随后, 国际特别委员会仍坚持将“台北”列入官方通讯录, 中国再次致函抗议。即便如此, 该组织仍未对并列名称作出实质性修改。1958 年初, 中科院再次发出抗议电报, 强调此举已完全违反国际科学合作的非政治性宗旨, 并公开指出“屈从某种势力制造两个中国的阴谋”, 从而彻底终止与国际特别委员会的正式联系(张九辰等, 2009)。

尽管退出国际组织, 中国仍未放弃其在地球物理研究上的既定计划和科学精神。退出后, “中国国际地球物理年委员会”更名为“中国科学院国家地球物理年委员会”, 原有的观测台站建设、资料采集、数据分析工作继续推进, 只是不再与资本主义国家交换数据, 而是重点加强与苏联、越南等社会主义国家的数据合作(张九辰等, 2009)。各观测台站的新设备均已落地, 观测报告也对标国际要求, 可见国际地球物理年虽然没在具体研究上促进太阳物理发展, 但在事实上加速了太阳物理研究的现代化, 如从 1958 年开始, 紫金山天文台发布的耀斑观测表, 都严格按照国际地球物理年的要求记录, 将观测日期、时间、亮度极大时刻、位置、亮度极大时刻面积、 $H_{\alpha}$  最大宽度、观测者一一记录(郭權世等, 1958)。

通过两次国际合作, 中国不仅获得了宝贵的拥有世界先进水平的太阳观测设备, 更是通过“以项目带人才”的方式, 培养出了中国第一批具备现代太阳物理研究能力的专业团队和青年人才。两支观测队伍与苏联专家的成功合作, 标志着中国太阳物理研究开始与国际前沿接轨, 为后续自主发展奠定了人才和技术基础。这种通过重大项目实现跨越式发展的“以任务带学科”模式, 是 20 世纪 50 年代新中国科技发展的主要方法。

## 2.5 北京天文台成立

1958 年, 北京天文台筹备处正式成立(中国科学院国家天文台, 2009, 第 1 页)。随着“国际地球物理年”活动的结束, 苏制色球望远镜落户北京, 这是北京天文

台首台，也是当时唯一一台常规观测设备。在人员严重不足的情况下，陈彪带领南京大学 1958 届毕业生史忠先、吴铭蟾，与苏联专家合作完成了望远镜的安装调试工作。随后，观测任务交由南京大学 1956 届毕业生沈龙翔负责，北京天文台的太阳物理研究由此起步（中国科学院国家天文台，2009，第 170 页）。

1959 年，随着以南京大学 1956 届毕业生林元章为代表的新生力量加入，北京天文台的科研力量得到增强（中国科学院国家天文台，2009，第 170 页）。此时中苏关系出现恶化，苏联专家撤离，本想逐步发展自主创新力量的中国天文学家被迫提前走上完全独立的自主创新之路。同年，在陈彪的指导下，由林元章和沈龙翔负责，北京天文台启动了 62A 型 60 厘米太阳望远镜（以下简称 60 厘米太阳望远镜）的自主研发工作<sup>1</sup>。1960 年，北京天文台太阳物理组（1975 年 7 月升级为太阳物理研究室，以下统一称为太阳组）正式成立，林元章出任组长，沈龙翔和曾在紫金山天文台进修的王贵民担任副组长，主攻太阳活动预报和太阳活动区物理，由此形成了系统的太阳物理研究团队（中国科学院国家天文台，2009，第 170 页）。

尽管团组已经成立，但太阳组仍旧面临人手短缺的问题，因此北京天文台吸纳了大量的初高中毕业生，或在实践中培养，或派往紫金山天文台进修，逐渐充实科研力量。1962 年后，北京大学和北京师范大学首届天文学专业学生毕业，北京天文台才终于有了稳定的高水平人才来源（中国科学院国家天文台，2009，第 170 页）。

然而，即便人员短缺问题得到缓解，北京天文台太阳物理研究组的整体科研水平仍未能实现显著提升，这主要体现在仪器设备方面。1963 年出厂的 60 厘米太阳望远镜因技术缺陷未能通过验收，不得不返厂改造；1965 年，该望远镜在放弃部分预期目标后才正式投入使用。同时，从苏联引进的苏制色球望远镜自 1959 年起陆续出现镜筒漏油、观测分辨率下降等技术故障，到 1963 年，其观测质量已难以满足基本科研需求<sup>2</sup>。初创阶段的北京天文台太阳组不得不在这种设备条件严重不足的困境中艰难开展研究工作，这一状况实际上折射出当时中国太阳物理学的整体发展困境。

1956 年以来，中国科技发展呈现出对苏联技术的高度依赖。随着苏联于 1960 年单方面撤走 1390 名专家并中止 257 个合作项目，中国科技发展陷入了短暂停滞，这种依赖性的弊端暴露无遗（王朝祥，1996）。这一危机与“大跃进”引起的经济困难相叠加，使国家发展面临严峻挑战。与此同时，在冷战格局下，中国还承受着来自美苏两大阵营的外部威胁，国防压力空前巨大。为了更好地适应新形势，时任国务院副总理兼国家科学技术委员会主任的聂荣臻元帅明确提出，要“自力更生，突破尖端”（王朝祥，1996）。在这一思想的指导下，中华人民共和国政府科学技术委员会于 1962 年制定了《十年规划》，将发展目标从“民生优先”转为“国防优先”，从“技术引进”转为“独立创新”。在天文学领域，《十年规

<sup>1</sup>林元章口述访谈，钟云毅，杨尚斌，2024 年 6 月 28 日。

<sup>2</sup>艾国祥口述访谈，钟云毅，杨尚斌，2024 年 5 月 6 日。

划》不仅延续了《十二年规划》中对太阳物理学、天体演化学等理论研究的重视态度，还明确提出要关注“研究、试制新天文仪器，应用新技术”，这为北京天文台开展太阳磁场研究奠定了政策基础。

## 第3章 35厘米太阳磁场望远镜的论证

### 3.1 太阳磁场成为世界太阳物理研究热点

太阳物理学的发展历程可依据观测技术的演进划分为若干重要阶段。最早的观测阶段可追溯至人类文明诞生时。当时的人类主要依赖肉眼观测(艾国祥等, 1993)。但仅靠肉眼观测会导致记录的数据精度有限, 且观测活动受天气条件制约严重, 无法维持长期稳定, 再加上记录者缺乏专业的观测设备和系统的记录方法, 这些都导致数据仅有有限的研究价值, 使得古代太阳观测虽具有重要的史料价值, 却不能被视为现代意义上的专业科学研究。

第二阶段始于17世纪初望远镜的发明。伽利略·伽利雷(Galileo Galilei)等科学家首次将望远镜应用于天文观测, 显著提升了观测精度, 从而开启了太阳观测的新纪元(刘睿等, 2019)。1851年, 伯尔尼天文台台长鲁道夫·沃尔夫(Rudolf Wolf)整合了伽利略、海因里希·施瓦贝(Heinrich Schwabe)等人近200年的历史观测数据后, 确定了太阳黑子11年周期的规律, 并提出了沃尔夫数来量化太阳活动强度, 为太阳活动研究提供了标准化工具, 并沿用至今。这些进展都体现出望远镜对太阳物理研究的革命性影响。

第三阶段从19世纪初开始, 人类通过一系列发现, 不断加深对太阳物理特性和演化机制的理解。1859年古斯塔夫·基尔霍夫(Gustav Kirchhoff)和罗伯特·本生(Robert Bunsen)建立光谱学, 并制成第一架专用于太阳观测的光栅光谱仪, 为研究太阳内部成分提供了工具(刘睿等, 2019)。同样在1859年, 英国天文学家理查德·卡灵顿(Richard Carrington)观测到强烈的白光耀斑, 他将此事件与之后几天内世界范围内的电报系统瘫痪、地磁站观测到的强烈地磁暴、以及赤道可见的极光现象结合起来, 提出太阳活动可能与磁场有关的猜想(Carrington, 1859)。1891年, 乔治·海尔(George Hale)发明太阳单色光相机, 首次将光谱分析与形态学研究相结合, 其结果同样暗示太阳活动与局部磁场结构的关联(Hale, 1929)。1908年, 海尔使用塞曼效应成功测量太阳黑子磁场强度, 意味着人类拥有了定量验证卡灵顿猜想的工具, 同时也标志着现代太阳物理学的正式诞生(Ellery Hale, 1979; 汪景琇, 1998)。

从20世纪初到现在则是第四阶段, 是观测技术不断精进、仪器设备不断发展的阶段。1933年, 法国天文学家伯纳德·李奥(Bernard Lyot)发明了双折射滤光器, 又叫李奥滤光器, 能够实现 $0.1 \text{ \AA}$ 窄带滤波, 且可实时成像, 大幅提高了时间和空间分辨率, 为研究日珥、耀斑等快速变化的太阳活动现象奠定了技术基础(钱伟长等, 2014, 第529页; Lyot et al., 1933)。1953年, 霍勒斯·巴布科克(Horace Babcock)在李奥的基础上成功研制光电象仪, 将磁场测量精度从海尔时代的数千高斯降低至1-2高斯量级, 首次精确测量太阳弱磁场, 直接证实了太阳磁场的周期性变化规律(Babcock, 1953)。这些观测技术的突破为证实“太阳磁场主导太阳活动”的理论猜想提供了决定性证据, 而该假说自1920年代海

尔发现太阳磁周期以来已酝酿近三十年。

虽然猜想已被证实，但这一时期的磁场测量技术仍存在问题。太阳磁场观测与太阳光学观测完全不同。太阳光学观测指对特定波长的太阳谱线进行观测，例如利用  $H\alpha$  或  $Fe II$  谱线观测色球层耀斑或光球层黑子等。而太阳磁场观测则是通过塞曼效应对太阳磁场的大小和方向进行间接测量。它又可分为平行于视线方向的纵向磁场和垂直于视线方向的横向磁场。传统磁像仪仅能探测视线方向的纵向磁场分量，无法获取完整的磁场三维结构信息，海尔测量的黑子强磁场就只包括纵向磁场。1962年，苏联克里米亚天文台的谢维尔内团队发明横向磁场测量技术，首次全面表征太阳磁场 (Stepanov et al., 1962; 刘睿等, 2019)。太阳磁场自此成为世界太阳物理领域的核心研究方向之一。

随着太阳弱磁场和横向磁场测量方法的突破，西方国家有关太阳磁场的研究论文发表量不断增加，如图3-1所示。同时，政府也开始大力投资研发太阳磁场观测设备。当时国际上的太阳磁场观测系统主要分为两类：磁象仪和磁场望远镜。这两种系统各具特点：磁象仪采用光栅光谱仪系统，具有宽波段光谱获取能力，特别适用于需要高光谱分辨率的研究工作；而磁场望远镜则基于窄带滤光成像系统，能够实时获取天体的单色图像，在实时观测方面具有显著优势 (艾国祥等, 1986)。

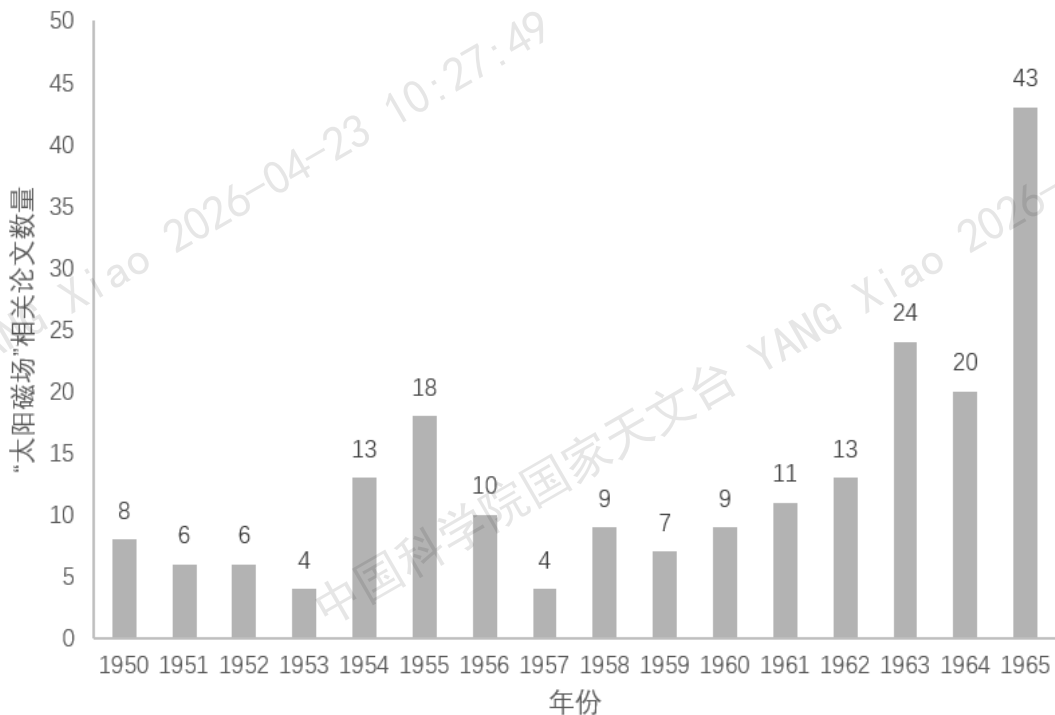


图 3-1 1950–1965 年天体物理数据系统 (ADS) 中“太阳磁场”相关论文的年度发表数量  
Figure 3-1 Number of papers on “solar magnetic field” in the Astrophysics Data System (ADS) from 1950 to 1965

由表3-1可见，截至 1971 年，全球范围内已建成及在建的太阳磁场观测设备

共计 22 台，其中包括 19 台磁象仪和 3 台磁场望远镜。这些观测设备的建设为太阳磁场研究提供了坚实的技术支撑，极大地推动了国际太阳物理的发展。与此形成鲜明对比的是，中国在 1966 年之前尚未开展太阳磁场的测量工作。欧美国家在该领域的研究成果逐年增长，观测设备不断更新换代，而中国仍处于几乎空白的起步阶段。倘若不能及时追赶，中国在太阳磁场研究方面与西方国家的差距势必进一步拉大。

表 3-1 1971 年国际上已经建成和在建的 22 台磁场观测设备 (Babcock, 1953; Beckers, 1971; 艾国祥等, 1986; Lee et al., 1965; Cimino, 1967; Michard, 1967; Evans, 1956; Beckers, 1968; Von Klüber, 1968; Krat, 1968; Lee et al., 1969; Grigorjev, 1969; Wiehr, 1969; Svestka, 1970; Bhattacharyya, 1970; Mayfield, 1971; Janssens, 1973)

Table 3-1 22 solar magnetic field instruments operational or under construction internationally in 1971

设备名称	所属机构	磁场类型
24 英寸望远镜	圣费尔南多天文台	纵向磁场
组合太阳望远镜	圣费尔南多天文台	纵向磁场
30 厘米太阳磁场望远镜	剑桥大学	纵向磁场
全矢量磁象仪	德国夫郎和费研究所	矢量磁场
克里米亚矢量磁象仪	克里米亚天体物理台	矢量磁场
4 英寸 K 型日冕仪	莫纳克亚天文台	偏振仪
40.6 厘米太阳磁象仪	高山天文台	纵向磁场
44 厘米磁光仪	高山天文台	偏振仪
MSFC30 厘米矢量磁象仪	马歇尔太空飞行中心	矢量磁场
全矢量磁象仪	普什科夫研究所	矢量磁场
40 通道磁象仪	基特峰国家天文台	矢量磁场
512 通道磁象仪	基特峰国家天文台	纵向磁场
38 厘米水平太阳望远镜	科代卡纳天体物理台	纵向磁场
洛迦诺偏振仪	洛迦诺天文台	矢量磁场
700 厘米焦距摄谱仪	墨东天文台	矢量磁场
光电磁象仪	威尔逊山天文台	纵向磁场
大型水平摄谱仪	昂德列约夫天体物理台	矢量磁场
50 厘米水平太阳望远镜	普尔科沃天文台	矢量磁场
12 厘米赤道组合太阳望远镜	罗马天文台	纵向磁场
40 厘米太阳望远镜	萨克拉门托峰天文台	纵向磁场
萨彦天文台磁象仪	锡比兹米尔天文台	矢量磁场
50 毫米库尔古拉磁象仪	库尔古拉天文台	纵向磁场

### 3.2 北京天文台首次测量太阳磁场

1957 年，苏联发射了史上第一颗人造卫星，不久便发现太阳活动会影响航天器的正常运行。为了尽力避免此类影响，苏联政府迅速建立了太阳活动监测体

系。除了在苏联国内安置人造卫星监测设备和太阳观测设备外，苏联政府还在中国境内部署了 12 台人造卫星监测设备，作为中苏科技合作的一部分。值得注意的是，由于北京天文台的主要科研力量都参与了 1958 年海南岛日环食联合观测任务，该台自然而然地被纳入到人造卫星监测计划中。它依托当时国际领先的苏制色球望远镜，自 1958 年起就主导着中国的太阳活动预报工作(中国科学院国家天文台, 2009, 第 172 页)。1962 年,《十年规划》出台,继续强调国防科技和高精尖技术研究的优先地位。虽然由于“文化大革命”,其完整制度框架仅维持了 3 年,但是与国防相关的工作却仍旧维持着优先地位(胡维佳, 2003)。从 1966 年国防科学技术委员会要求北京天文台和四机部 22 所开展“电离层突然骚扰和短波通讯中断预报”任务,即“430”任务,到 1970 年“东方红一号”卫星升空的太阳活动预报,再到对越自卫反击战期间为军方提供的太阳活动预报服务,太阳物理研究的国防属性被不断加强,北京天文台也因此获得以不间断地开展太阳物理研究(中国科学院北京天文台, 1966b; 中国科学院国家天文台, 2009, 第 184 页)。

1965 年,北京天文台自主研发的 60 厘米太阳望远镜投入使用。该望远镜采用 57 米长焦距光学系统(后改为 38 米)和 60 厘米的大口径物镜设计,但由于技术原因,它存在设计缺陷,倘若按原本的科学目标开展工作,成果有限(中国科学院国家天文台, 2009, 第 170 页)。当时“太阳磁场主导太阳活动”的猜想已经被证实,而可获得的太阳像越大,越有利于太阳磁场研究。60 厘米太阳望远镜可获得直径 51 厘米的太阳像,这个成像尺寸显著优于中国同期的其他太阳观测设备,尤为适合太阳磁场研究<sup>1</sup>。结合国际发展趋势、国防经济要求和实际情况,北京天文台太阳组于 1966 年正式启动了太阳磁场研究计划,这一决策标志着中国太阳物理研究方向正式与国际接轨。

表 3-2 1966 年到 1971 年北京天文台、紫金山天文台、昆明工作站主要太阳观测设备(中国科学院国家天文台, 2009, 第 174-175 页; 中国科学院紫金山天文台, 1959; 尤建圻等, 1962; 宣家余等, 1980; 紫金山天文台太阳望远镜研制组, 1975; 丁有济等, 1979)

Table 3-2 Major solar observation instruments at Beijing Observatory, Purple Mountain Observatory, and Kunming Station during 1966-1971

设备名称	观测台站	口径/cm	焦距/m	投入使用时间
苏制色球望远镜	北京天文台	6	2	1958
60 厘米太阳望远镜	北京天文台	60	57	1965
李奥色球望远镜	紫金山天文台	14	14	1958
9 波段摄谱仪	紫金山天文台	30	12	1967
水平式太阳光谱仪	昆明工作站	40	16.36	1967
赤道式折光镜	昆明工作站	12.7	1.95	1970
太阳单色照相机	昆明工作站	14	1.26	1965
10 波段摄谱仪	昆明工作站	30	16	1971

为了测量太阳磁场,林元章等人首先对 60 厘米太阳望远镜进行了改造。他

<sup>1</sup>林元章口述访谈,钟云毅,杨尚斌,2024 年 6 月 28 日。

他们在望远镜附带的摄谱仪的狭缝前，加装了一个由1/4波片和偏振条组成的塞曼分裂谱线齿形图像显示器，如图3-2所示。其中，1/4波片由云母制成，偏振条由H偏振片切成许多个宽为0.5毫米的长条后再拼成圆片。这样既保证了相邻细条偏振轴相互垂直，同时又使得每个长条均与波片光轴成 $45^\circ$ ，同时使得光谱焦平面上各横条的亮度最均匀，便于观测。经计算，每个条宽在狭缝上的投影为0.71毫米，对应太阳象的日面角距即为 $2.6''$ 。



图3-2 林元章于1967年制作的1/4波片

Figure 3-2 The quarter-wave plate made by Lin Yuanzhang in 1967

注：照片由作者本人采访林元章老师时拍摄

1967年5月，林元章等人开始进行太阳黑子磁场测量的试验工作。他们选用 $FeI6302.508\text{\AA}$ 和 $FeI6173.348\text{\AA}$ 观测磁场，并成功获得清晰的塞曼分裂齿形图像，如图3-3所示。但在后来实际工作时改用 $Fe\lambda 5250.216$ 观测，大概是因为实际观测效果更好。为精确测定太阳磁场强度，林元章等人先后尝试了两种底片处理方法。第一种是使用L456/9型记录式显微光度计描出分裂谱线的光度轮廓，通过测量描迹记录纸上分裂子线的中心波长差推算磁场；第二种是使用比长仪或坐标量度仪直接在底片上测量谱线裂距。两种方法均可得到谱线齿形结构，但也都需要半天以上的时间，无法在当天取得结果用于预报。

为了解决时效性问题，1970年下半年，林元章向北京天文台天体测量研究室借得一个螺旋蛛丝测微器，安装在摄谱仪焦平面上，在观测时直接测量谱线裂

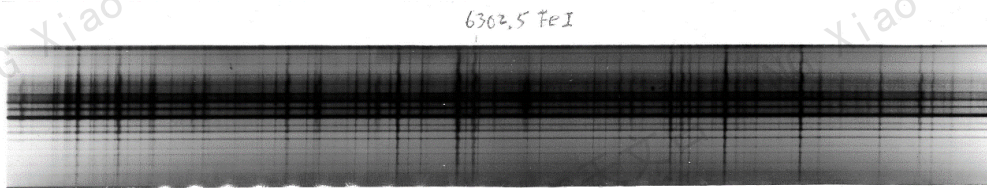


图 3-3 林元章等人于 1967 年 6 月拍摄的太阳磁场照片

Figure 3-3 Solar magnetic field observation by Lin Yuanzhang et al. (June 1967)

注: 照片由林元章老师提供, 标记位置为 FeI  $\lambda 6302.5 \text{ \AA}$

距。这样虽会导致测量精度小于照相测量, 但能快速得到结果, 满足预报要求<sup>1</sup>。10 月, 黑子磁场目视测量成为了北京天文台太阳组的日常观测工作。

林元章等人基于已有设备的特点, 精准把握了国际太阳物理发展态势, 开启了北京天文台的太阳磁场研究。虽然他们的工作只是重复海尔在 1908 年的工作<sup>2</sup>, 并未减小中国与西方在太阳磁场领域的差距, 但这是中国首次测得太阳磁场, 是北京天文台太阳磁场研究起步的标志。

### 3.3 太阳磁场望远镜的提出与论证

#### 3.3.1 修复 60 毫米苏制色球望远镜

1963 年, 苏制色球望远镜因技术故障停止运行, 然而此时中苏已经交恶, 向苏联方面申请维修已无可能, 北京天文台不得不自主开展修复工作。沈龙翔和北京大学地球物理系 1962 届毕业生胡岳风, 曾先后在不拆卸苏制色球望远镜的情况下对内部进行拍照检查, 均未能发现故障原因。这一阶段修复工作的失败至少有两个原因。一方面, 60 厘米太阳望远镜的研制工作正如火如荼地开展, 该项目本身已历经波折, 科研人员缺乏精力; 另一方面, 苏制色球望远镜的贵重价值及其复杂的技术特点让研究人员在没有百分百把握情况下, 不敢下手尝试, 因此难以把握故障的详细情况。两方困难叠加, 修复工作陷入停滞。

如图 3-4 所示, 苏制色球望远镜是双筒望远镜, 分别开展光球观测和色球观测。技术故障导致色球观测无法正常开展, 但光球观测仍在继续。1963 年, 北京大学地球物理系 1963 届毕业生艾国祥进入北京天文台, 参加苏制色球望远镜的日常观测工作。艾国祥与胡岳风充分交流之后, 在《十年规划》“研究、试制新天文仪器, 应用新技术”的原则下, 开始学习苏制色球望远镜的核心元件——双折射滤光器的原理。二人频繁前往中国科学院图书馆, 对当时世界上的各种滤光器进行调研, 经过一年学习后, 大致掌握了苏制色球望远镜的基本原理<sup>3</sup>。1965 年, 时任北京天文台副台长兼党委书记的肖光甲, 组织领导胡岳风、艾国祥以及

<sup>1</sup>林元章口述访谈, 钟云毅, 杨尚斌, 2024 年 6 月 28 日。

<sup>2</sup>林元章口述访谈, 钟云毅, 杨尚斌, 2024 年 6 月 28 日。

<sup>3</sup>艾国祥口述访谈, 钟云毅, 杨尚斌, 2024 年 5 月 6 日。



图 3-4 60 毫米苏制色球望远镜

Figure 3-4 60 millimeter Soviet chromospheric telescope

注: 图来自《中国科学院北京天文台台史 (1958-2001)》附带的光盘

北京天文台设计组周树藩，将这台关键设备拆卸，进行了系统的检查(中国科学院国家天文台, 2009, 第 171 页)。检查结果显示(中国科学院北京天文台, 1964):

- (1) 第八级后的保护玻璃上发现占通光面 1/3 大小的油斑。
- (2) 第九片冰洲石晶体发生转动。
- (3) 第十一片偏振片变质，偏振度减至 96-97.5%，低于要求的 99-99.6%。

二人仔细分析后，总结出故障原因<sup>1</sup>:

(1) 北京地区夏季平均温度 42°C，高于望远镜标准工作温度 35°C，导致硅油膨胀泄露。

(2) 天然树脂粘合剂在硅油中发生溶解。

针对故障原因，艾国祥与胡岳风复位并固定了转动的冰洲石，使苏制色球望远镜在 1966 年重新投入使用。虽然重新投入观测，但该望远镜仍存在两个问题：其双折射滤光器工作温度与北京地区不匹配；NT-46 型干涉-偏振滤光片受损，导致成像质量较低。为了给即将到来的 1967-1968 太阳活动极大年的观测活动做准备，北京天文台十分重视苏制色球望远镜修复后的成像质量(中国科学院北京天文台, 1964)。因此，在“太阳活动预报”工作的带动和促进下，艾国祥等研究人员重新制作了不溶于硅油的人工树脂粘合剂<sup>2</sup>；而胡岳风则先前往贵州山区寻找合适的冰洲石<sup>3</sup>，寻到材料后，又去联系可以加工的厂家，最后找到了北京天文馆旁的一家私营光学工厂。工厂原本负责制造交通灯，交通灯的制作也涉及到偏振片，胡岳风因此在工厂里学习到了偏振片的制作技术，并制作了新偏振片<sup>4</sup>。1968 年，苏制色球望远镜成像质量问题终于得到解决。值得一提的是，林元章等人为 60 厘米太阳望远镜时，制作齿形谱线显示器所用的 1/4 波片，也是在胡岳风制作偏振片的工厂里制作的<sup>5</sup>。

苏制色球望远镜的成功修复意义重大，它是北京天文台太阳物理研究人员首次成功修复世界先进水平的设备，得到了各层领导的高度评价，是北京天文台太阳物理研究的一个里程碑。苏制色球望远镜此后未再出现大问题，直到 1979 年退役。其实从成果上来说，苏制色球望远镜的观测资料并未对中国太阳物理发展做出预期那般大的贡献，反而是这次故障，让中国太阳物理工作人员对先进的太阳观测设备有了深入理解，艾国祥和胡岳风等人基本掌握了双折射滤光器的光学原理，为太阳磁场望远镜的提出奠定了技术基础。

### 3.3.2 太阳磁场望远镜立项

60 厘米太阳望远镜虽然有口径大、焦距长的优势，但是它毕竟不是专用于太阳磁场观测的设备。1966 年，艾国祥成为北京天文台副台长，凭借自己修复苏制色球望远镜双折射滤光器的经验，在年底一场讨论 1967 年工作计划的会议

<sup>1</sup>艾国祥口述访谈，钟云毅，杨尚斌，2024 年 5 月 6 日。

<sup>2</sup>艾国祥口述访谈，钟云毅，杨尚斌，2024 年 5 月 6 日。

<sup>3</sup>艾国祥口述访谈，钟云毅，杨尚斌，2024 年 5 月 6 日。

<sup>4</sup>林元章口述访谈，钟云毅，杨尚斌，2024 年 6 月 28 日。

<sup>5</sup>林元章口述访谈，钟云毅，杨尚斌，2024 年 6 月 28 日。

上提出顺应世界太阳物理发展趋势，“建设世界先进水平的太阳磁场望远镜”（中国科学院北京天文台，1986c）。这是“太阳磁场望远镜”概念首次被提及。

为了推动“太阳磁场望远镜”立项，艾国祥运用当时流行的哲学思辨方法，为项目背书。他发现：伽利略发明的最早的天文望远镜能观测面视场的白光；基尔霍夫的光栅光谱仪能观测单色光的线视场光谱（刘睿等，2019）；海尔的太阳单色光观测仪，用机械扫描多次测量不同位置的线视场获得不同时的视面单色像（Hale, 1929）；李奥滤光器能同时观测全日面单色像（Lyot et al., 1933）。他据此总结出“面-点-面”的发展规律，也即是：实现全日面观测，首先需要通过拼接不同时刻的局部观测数据来构建完整的日面图像，作为过渡阶段。在此基础上，才能逐步实现全日面的实时观测。随着全日面观测精度的提升，科研需求又会推动对局部区域更高精度观测的开展；而局部观测精度的进一步提高，又将反过来促进科学家将不同时刻的高精度局部观测数据进行拼接，从而获得更精细的全日面信息。二者相互推动，构成太阳观测技术发展的良性循环。当时国际上主流的太阳观测仪器是光电磁象仪，它能够高精度观测局部太阳磁场，即点的观测（Babcock, 1953; Stepanov et al., 1962）。因此，下一阶段的太阳观测设备应该是通过测量不同位置的局部矢量磁场从而实现不同时的全日面矢量磁场测量。而为了实现赶超，太阳磁场望远镜的任务目标应该由点及面，获取实时太阳磁场数据。事实证明艾国祥极有预见性，1971年，美国基特峰天文台（Kitt Peak National Observatory）研制的40通道磁象仪投入使用，其原理正是使用40个通道观测40个位置，经过多次测量实现不同时的全日面太阳磁场测量（Livingston et al., 1971）。尔后在1976年，基特峰天文台又研制出60厘米真空望远镜，其原理是使用512个通道实现不同时的全日面太阳磁场测量。二者都符合艾国祥有关下一代太阳观测设备的猜想。

科学目标明确后就是经费预算。在项目立项阶段，艾国祥为确保项目顺利获批，有意将预算控制在较低水平。根据档案显示，太阳磁场望远镜预计在1968到1972年每年获得10万元经费支持，总预算约50万元。这一数额在当时的天文设备建设项目中显得尤为节制。与之形成对比的，是1956年从苏联引进的色球望远镜耗资50万元；1965年启动的60厘米太阳望远镜，原申请经费65万元，后因技术攻关需要追加投入，最终支出在100万元上下（中国科学院国家天文台，2009，第171页；中国科学院北京天文台，1986c）。明确的科学目标和并不算多的预算经费，或许是项目顺利立项的原因之一。实际上，研制彻底结束时，太阳磁场望远镜的总投入已达到425万元，尽管比立项时的预算大幅增加，但与北京天文台同期的重点项目“216望远镜”高达1200万元的总投入相比，明显更低，这种“小投入、大产出”的思路，也是后来设备的参考典范（中国科学院国家天文台，2009，第26页；中国科学院北京天文台，1986c）。

### 3.3.3 人员选择与方案确定

1968年，艾国祥和胡岳风通过多方论证，成功说服了中国科学院天文处处长沈海璋。在后者的推动下，“太阳磁场望远镜”成功立项，并成为院重点项目，

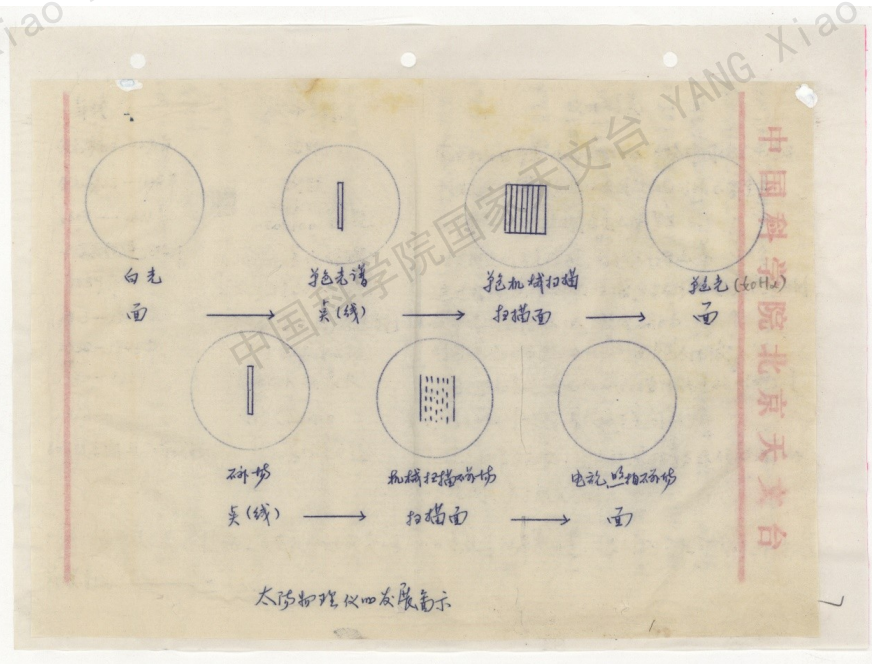


图 3-5 艾国祥手绘的太阳物理仪器发展简史 (艾国祥等, 1986)

Figure 3-5 A Hand-Drawn Chronicle of Solar Physics Instrument Development by Ai Guoxiang

调研筹备工作正式开始 (中国科学院国家天文台, 2009, 第 171 页)。研制太阳磁场望远镜是一个国家级任务, 涉及多个单位。尽管尚未给出完整的设计方案, 但艾国祥和胡岳风都认为核心部件——双折射滤光器是最大难点。而同样在 1968 年, 南京天文仪器厂的苏定强、王亚男与何凤宝, 独立研制出了中国第一台李奥滤光器, 这标志着中国自此掌握了太阳观测设备的关键技术 (钱伟长等, 2014, 第 529 页)。艾国祥、胡岳风在得知这一消息后, 立即代表北京天文台与南京天文仪器厂的王亚男、何凤宝开始讨论工作事宜, 但是讨论因为“文化大革命”被打断, 所以调研工作于 1968 年年中中断。一年后, 开展调研工作成员陆续回到原工作单位, 太阳磁场望远镜的调研工作才慢慢恢复。

1970 年 3 月 30 日, 中国科学院革命委员会科学生产组要求北京天文台、南京天文仪器厂、紫金山天文台和南京大学天文系, 于当年 4 月 7 日在南京组织召开“磁场望远镜工作会议”, 要求北京天文台和南京天文仪器厂各派出 4 至 5 人, 紫金山天文台和南京大学天文系各派出 1 至 2 人参加会议, 讨论太阳磁场望远镜的研制方案, 并确定研制组人员。5 月 12 日, 北京天文台派遣艾国祥、胡岳风、史忠先、卞毓麟、王建民、吴怀玮、张国权等 7 人, 与南京天文仪器厂、紫金山天文台和南京大学天文系的相关技术人员于南京召开正式会议。会议讨论决定: 由南京天文仪器厂和北京天文台一起负责此项任务, 部分电子技术人员可请求其他单位协作。(中国科学院国家天文台, 2009, 第 176 页; 中国科学院北京天文台, 1970, 1966a)。

1972 年 2 月 5 日, 调研组提交了初步方案, 方案明确将研制工作分为三个

部分、两个阶段。三个部分是指滤光器、望远镜主体和电视-计算机系统，这是研发工作中的三个核心模块。两个阶段是指研发工作的先后顺序，其中第一阶段的主要任务是研制滤光器和望远镜主体，第二阶段的任務则为研制电视-计算机系统，这实际是按照中国对不同部分技术的掌握程度安排的研制顺序。方案还确定了望远镜的部分基础参数：物镜口径 35 厘米；工作波长为  $5324\text{\AA}$ ，半宽  $0.15\text{\AA}$ ；工作温度  $42.000\pm 0.005^\circ\text{C}$ 。此外还设计了照相、光电扫描、电视系统三种方式，分不同情况和需求进行数据处理，三种方法的具体参数如表3-3所示(中国科学院北京天文台, 1972a)。

2月19日，调研组一面从两单位抽调人员组成研制团队，一面明确两单位在第一阶段的具体任务：北京天文台负责太阳磁场望远镜的研制要求和双折射滤光器的光学设计方案，南京天文仪器厂负责望远镜主体的机械设计与制造。5月，太阳磁场望远镜研制组正式成立，南京天文仪器厂的李挺、王亚男、何凤宝、侯惠芳、陈志斌、吕韵翎、杨还等人负责望远镜主体部分的研制工作，其中，李挺、吕韵翎以及杨还三人负责机械设计，何凤宝负责滤光器晶体加工，侯惠芳和陈志斌负责电路设计，王亚男参与光学设计，李挺是天文仪器厂在此任务中的课题组总负责人，也是磁场望远镜题目组组长；北京天文台的艾国祥和胡岳风专心负责双折射滤光器的研制工作，后来又有其他人陆续加入，艾国祥是北京天文台方面的总负责人，也是课题研制组的副组长(钱伟长等, 2014, 第370页; 中国科学院北京天文台, 1972b)。除了长期在研制组工作的人员外，南京天文仪器厂的苏定强，北京天文台的史忠先等人也对研制工作作出了重要贡献。

从1970年接到中国科学院革命委员会科学生产组的文件，到1972年提交初版方案，调研组花费了两年时间。除了开展实验确定参数外，同样重要的工作是搜寻合适的冰洲石。艾国祥和胡岳风在修复苏制色球望远镜时，为了寻找合适的冰洲石就花费了很大功夫，先后前往陕西和贵州采购，但最后使用的冰洲石品质依然不高。调研组为了太阳磁场望远镜的性能，要求一定要找到高品质冰洲石。大体积的天然冰洲石，在中国是十分罕见的。1959年紫金山天文台的尤建圻研究员在研制干涉偏正滤光器时，也曾前往甘肃、新疆等地找寻优质冰洲石，却一无所获(钱伟长等, 2014, 第218-219页)。艾国祥等人不畏艰苦，先后前往云南、贵州、东北、甘肃寻找优质冰洲石，但一直没有进展。直到1972年，艾国祥等人才从广州郊区的一位农民手里买到了一块体积足够大，质量达2000g的冰洲石。太阳磁场望远镜的设计方案正是在这颗冰洲石的基础上设计出来的。

1972年12月，研制组又提交了名为《太阳磁场望远镜的提出和工作原理》的正式方案。与2月的初步方案相比，12月的正式版提供了更详细的光学设计方案，并对细节作出了更明确的规定，其中最重要的修订是增加了第二条工作波长  $4861\text{\AA}$ 。两条工作波长中， $5324\text{\AA}$  成像质量要求更高，要求小于  $1''$ ， $4861\text{\AA}$  成像质量要求低一点，小于  $3''$  即可。

根据档案显示，在进行光学设计时，两单位曾有过一番讨论。南京天文仪器厂的工作人员认为，根据计算结果，如果采用折射式系统，即便应用了消色差消

表 3-3 太阳磁场望远镜 1972 年 2 月与 12 月方案基本指标对比 (艾国祥等, 1986; 中国科学院北京天文台, 1972a)

Table 3-3 Comparison of basic specifications between the February and December 1972 plans for the Solar Magnetic Field Telescope

性能	指标	
	1972 年 2 月方案	1972 年 12 月方案
工作波长	5324 Å	5324 Å/0.15 Å/1"
		4861 Å/0.12 Å/3"
纵场灵敏度	100 高斯	200 高斯
空间分辨率	4"	2"×2"/4"×4"
光电扫描 时间分辨率	15 分钟	2 秒/0.2 秒
	纵场灵敏度	10 高斯
空间分辨率	2"-4"	2"×2"
电视接收 时间分辨率	10 秒	未列明
	纵场灵敏度	20 高斯

球差设计,也只能提高一个工作波段的观测水平,另一个工作波段仍然有色差与球差,例如太阳磁场望远镜投入使用后,5324Å 的成像质量更好,最大象斑为 0.57",4861Å 的成像质量则稍差,最大象斑为 2.46"。但如果将物镜换为卡塞格林式系统,采用反射式系统设计,则完全不用考虑色差,消掉球差之后,两个波长的最大象斑分别可达到 0.36" (5324Å) 和 0.72" (4861Å),均小于 1",观测值量大幅提高 (中国科学院北京天文台, 1986b)。北京天文台的成员们反对这一设计。夜间观测的天文望远镜主要采用反射式系统,一个重要原因是观测目标距离远,需要放大目标信号进行分析,而且不需要大幅度转动来追踪目标。而太阳物理则不同,太阳光足够强,不需要反射式设计聚光,过度聚光反而会导致晶体过热加速损坏,除此之外,太阳物理需要实时追踪太阳运动,若采用反射式设计,探测器都放在前端,不方便转动且更易损坏<sup>1</sup>。最终在北京天文台成员们的坚持下,太阳磁场望远镜仍旧维持了折射式设计。

1973 年 1 月 22 至 24 日,研制组在南京再度召开会议,汇报了当前任务进度:光学设计已基本完成,机械本体设计和电路设计正在进行。除此之外,北京天文台考虑到自身专业方向,认为无法完成滤光器的全部研制工作,因此委托福建物质结构所研制 KD\*P 晶体高压电源 (中国科学院北京天文台, 1973a)。会议要求福建物质结构所在 3 月初拟定完任务计划书,但该所在口头答应后却迟迟没有给予文件上的回应。

福建物质结构所迟迟没有回复是有原因的。“文化大革命”爆发后,基础科学研究受到严重冲击,除涉及国防安全的重点项目外,绝大多数科研工作被迫停滞。尽管周恩来总理于 1972 年 7 月 23 日就指示“加强基础科学理论研究和教学”,但实际恢复过程较为缓慢。中国科学院直到 1973 年 6 月 21 日才在北京召

<sup>1</sup>艾国祥口述访谈,钟云毅,杨尚斌,2024 年 5 月 6 日。

开天文工作座谈会，这场会议标志着天文学研究开始逐步恢复正轨(钱伟长等, 2014, 第27页)。在这场会上研制组与福建物质结构所再次商讨了合作事宜。最终在7月底,福建物质结构所同意负责KD\*P晶体高压电源的研制,主要参与人员包括陈在德、蒋晓峰等(中国科学院北京天文台, 1973b,c)。由此可以推断,福建物质结构研究所可能也是在这场会议前后才具备足够的人力资源条件,得以派遣人员参与太阳磁场望远镜的研制工作。

9月23日,长春物理所完成电光晶体电极的制作,被研制组委托研制电视接收系统。研制组希望长春物理所承担电视接收系统的所有研制工作。长春物理所接受了摄像系统的研制工作,由孙星宇、金圣经等人负责,但以专用计算机的研制不符合自身研究方向为由拒绝了部分工作内容。两单位最终也未能达成一致,最后由中国科学院二局下达文件指示,专用计算机的研制问题由北京天文台自行解决(中国科学院北京天文台, 1983, 1973d,e)。

1973年底,望远镜的机械设计也彻底完成。李挺和倪厚坤,针对苏制色球望远镜的故障经验,对滤光器恒温筒以及油封做了特别设计。苏制色球望远镜的故障,从根本上说,是恒温系统设计缺陷,和粘合剂材料选择不当导致的。针对前者,李挺等人精确计算了恒温腔内各种材料的膨胀系数,发现所有材料膨胀系数都小于硅油,即如果不采取措施,也会发生像苏制色球望远镜一样的硅油泄露事故。为此,李挺等人在滤光器前端特别设计了一个缓冲贮油器,不仅可以容纳受热膨胀而溢出的硅油,还可通过此处向滤光器注入新鲜硅油,一举两得。

针对恒温系统的设计难题,李挺等人通过有限差分法对滤光器内部温度场进行数值模拟,精准定位了温度梯度最大的滤光器两端区域,并采取了两方面措施。一方面主动控温,在两端增设辅助加热罩系统,当环境温度较低时会补偿加热。另一方面优化材料,研发人员在滤光器两端加装低导热系数的玻璃纤维增强尼龙隔热层;并将原有塑料端盖改造为中空结构并填充泡沫塑料,形成双重隔热屏障;同时将转动四个波片的连杆等关键传动部件选用导热系数最低的不锈钢材料,最大程度降低热量损失。

太阳磁场望远镜的研制工作是典型的跨部门、跨地区协同攻关的模式。除了北京天文台、南京天文仪器厂、福建物质结构所、南京天文仪器厂是研制太阳磁场望远镜的四个主力研究单位外,还有其他单位的人员也参与了部分工作,南京大学物理系的陈瑞玉为晶体的镀膜加工提供了技术支持,而山东大学则提供了KD\*P电光调制器的重要材料,等等(中国科学院北京天文台, 1983, 1986c)。



## 第 4 章 太阳磁场望远镜研制的挑战与应对

### 4.1 北京天文台国际科技资料的交换与太阳磁场望远镜设计

国际交流是推动学科发展的重要动力之一。以往的观点认为，在 20 世纪 60-70 年代，中国因为意识形态等原因，所以和西方国家的所有交流，包括科技交流在内，是完全断绝的，但实际上这并不符合事实。

早在 1954 年初，周恩来总理就提出“既不能无限期地依赖苏联专家，更不能放松对苏联和其他国家的先进的科学技术进行最有效的学习”；三个月后，毛泽东主席先后在 1956 年 4 月 25 日中共中央政治局扩大会议和 5 月 2 日最高国务会议第七次会议上作了《论十大关系》的报告，其中就包含对“中国与外国的关系”的叙述：“自然科学方面，我们比较落后，特别要努力向外国学习。但是也要有批判地学，不可盲目地学，在技术方面，大部分先要照办，因为那些我们现在还没有，还不懂，学了比较有利。但是，已经清楚的那一部分，就不要事事照办了”。从上述最高领导人的发言可以看出，中国并不排斥与其他国家，包括西方阵营的国家开展科技交流。也正是因为如此，《十二年规划》对改善外国书刊进口工作也做出了规划，为发展科学研究、准备图书资料做出了详细表述：“各种科学机构、图书馆与外国相应的机构经常交换科学技术的文献、期刊、资料、图册、复制品、标本等是十分重要的。在目前，中国文献、资料缺乏的情况下，更应大力开展，努力设法搜集各国图书资料，逐渐建立起中国的科学技术情报系统”。与之对应的是，1956 年，中国科学院图书馆开始系统引进国外科技文献，为中国科研工作打开国际视野(张静, 2019)。

1957 年，美国通过邀请台湾以独立身份参加“国际地球物理年”，妄图制造政治阴谋干涉中国内政，这迫使中国大陆科学家不得不出席有台湾学者参加的国际学术会议，这几乎意味着中国大陆拒绝了所有国际学术会议，中国和以美国为首的西方阵营的交流频率达到了最低点(张九辰等, 2009)。因此，中国在“国际地球物理年”中，仅与以苏联为首的华约阵营交换了资料。可即便关系降至冰点，中西间的科技资料交换也并未断绝。根据 1957 年中国科学院年报显示，中美发生政治矛盾的 1957 年，却是中国收到美国科技资料最多的一年，共收到了书籍和期刊 132 册，而 1956 年这一数字为 75 册，增长了近一倍(张静, 2019)。

与苏联交恶之后，苏联以及整个社会主义阵营在华专家的人数锐减。1960 年，苏联在华专家仅剩 418 人，到 1962 年，整个社会主义阵营在华专家数量更是降至 8 人，“一边倒”政策在事实上破产。不过，中国与国外科技交流的频率并未下降。资本主义国家在华专家的人数自 1961 年起逐步增加，到“文化大革命”爆发前，日本籍和法国籍的在华专家人数分别为 222 人和 105 人，是人数最多的两个国家。1964 年，外国在华专家总人数为 410 人，和 1960 年在华专家总人数接近。外国在华专家数量的增减，代表的是中国科技外部知识来源的变化：包括日本、法国在内的资本主义阵营取代了以苏联为首的社会主义阵营，成为中

国国际科技资料的主要来源地 (张静, 2019)。

值得注意的是, 因为美国奉行“杜鲁门主义”, 所以美国无法像日本、法国等其他资本主义阵营国家那样在宏观层面派遣大量人员来华, 但微观层面的交流从未断绝。国家天文台保存的历史档案显示, 1966 年之前, 北京天文台与 30 多个国家的 100 多个单位维持着刊物交换关系, 累积能接收 160 余种天文刊物。其中, 美国是这一时期最主要的学术资源来源地, 共有 20 多个机构的 30 余种专业刊物。其中, 美国基特峰天文台在建立联系时, 甚至主动补发了历年积累的全部研究资料, 交流态度不可谓不诚恳。这种深度学术交流为中国的太阳物理研究提供了重要参考, 这些国际科技资料, 特别是来自美国的先进研究成果, 为中国自主研发太阳磁场望远镜提供了不可或缺的技术借鉴 (中国科学院北京天文台, 1971)。

1966 年后, 尽管国际学术交流规模有所缩减, 但北京天文台与国际天文界的资料交换渠道依然保持畅通。如图 4-1 所示, 在 1968 至 1970 年间, 北京天文台仍能持续获取来自 71 个国际科研机构的 100 种专业刊物 (中国科学院北京天文台, 1971)。同时, 这些资料绝非次要文献, 而是囊括了当时最前沿的研究成果。例如, 1968 年, 杰克斯·贝克斯 (Jacobus Beckers) 成功研制首台矢量磁象仪的突破性论文刚一发表, 便通过学术交流渠道迅速传至中国科学院。研制组在 1972 年 2 月的初版方案中提到“70 年秋试制第一台视频磁象仪——即我们所称的磁场望远镜, 所用滤光器半宽为  $0.1\text{\AA}$ , 谱线  $\text{FeI}5324\text{\AA}$ , 采用二次电子导摄像管, 空间分辨率  $2''$ , 灵敏度 40 高斯”, 所描述的正是贝克斯的矢量磁象仪 (艾国祥等, 1986; Beckers, 1968)。可以想见, 这份关键文献让北京天文台意识到了艾国祥提议的科学性与远见性, 对推动太阳磁场望远镜项目获批为中国科学院重点项目起到了直接而重要的参考作用。

类似地, 1970 年 8 月 31 日至 9 月 4 日, 在巴黎召开了国际太阳磁场研讨会, 其论文集于第二年出版, 并在当年就传入中国, 其中多篇重要论文为太阳磁场望远镜的最终技术方案提供了宝贵借鉴。例如贝克斯的另一篇论文, 《THE MEASUREMENT OF SOLAR MAGNETIC FIELDS》, 对测量太阳磁场的方法做了详细的介绍和对比, 并且对当时国际上在建和已经投入使用的 22 架太阳磁场观测设备的原理和特点进行了系统的概括, 这帮助研制组快速、准确地把握了国际太阳磁场研究的发展状况 (Beckers, 1971; 艾国祥等, 1986)。除此之外, 论文集还详细介绍了当时世界上仅有的三架磁场望远镜系统: 澳大利亚库尔古拉磁象仪、萨克拉门托峰磁象仪、克里米亚磁象仪。三者在论文集里各有一篇完整论文进行介绍。其中, 萨克拉门托峰的 40 通道磁象仪, 恰好应证了艾国祥对于下一代太阳观测设备的预想, 这表现出“面-点-面”规律的正确性, 为太阳磁场望远镜的顺利推进打下了基础。这些高质量的国际学术资源, 在特殊时期为中国太阳磁场研究的研制方案提供了重要的理论支撑和技术参考, 体现出国际交流在科研工作中的重要意义。

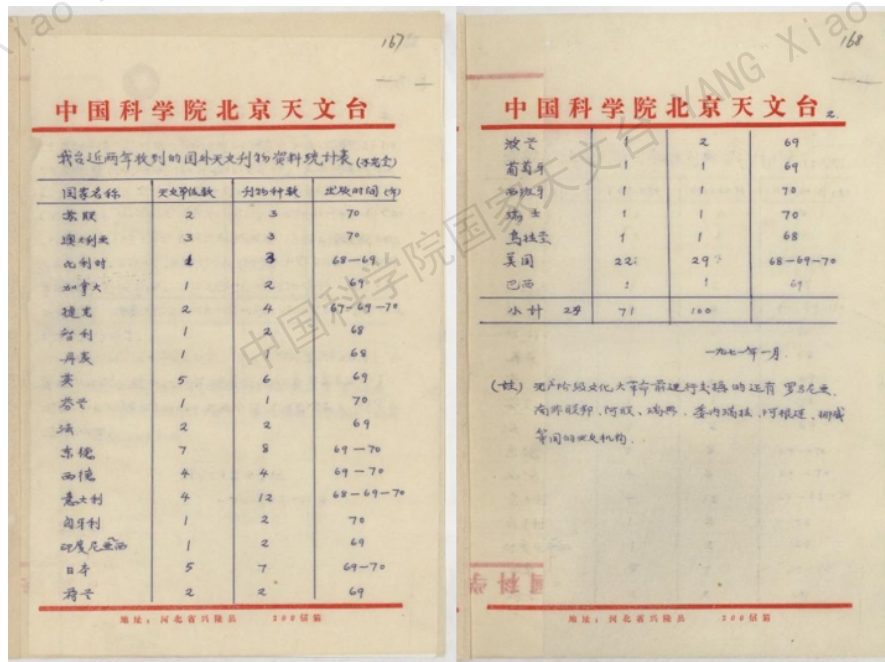


图 4-1 1968 年到 1970 年北京天文台与国外天文机构刊物资料交换情况 (中国科学院北京天文台, 1971)

Figure 4-1 The status of publications exchange between Beijing Astronomical Observatory and foreign astronomical institutions from 1968 to 1970

### 4.2 选址工作

方案确定之后, 首先开始的是选址工作。北京天文台的太阳观测设备自 1963 年开始, 都放置在沙河站。沙河站于 1958 年投入使用, 中苏海南岛日环食太阳联测后, 王绶琯将苏联留下的两台太阳射电望远镜安置在这里开展工作。1963 年, 为便于统一开展工作, 太阳组的所有设备统一迁至沙河站 (中国科学院国家天文台, 2009, 第 3, 25 页)。

在 1968 年兴隆站建立之后, 北京天文台曾计划将所有观测设备都置于一处, 但因为太阳物理是一门应用和服务性较强的学科, 所以在通讯不太发达的当时, 太阳观测站距城市不应太远, 而兴隆站位于河北省“小三线”, 通讯极为不便。且太阳组当时已有十年太阳预报经验, 和通讯、航天、地球物理等合作部门建立了密切联系, 贸然将已有设备运往别处, 不利于后续工作。北京天文台领导在综合考量下, 决定将太阳组留在沙河站, 但兴隆站上仍保留了两个放置太阳望远镜的圆顶 (中国科学院国家天文台, 2009, 第 42 页)。

太阳组原计划将太阳磁场望远镜安置在沙河站, 北京天文台台领导则希望将其放置在沙河站。兴隆站位于河北省兴隆县, 选址时主要考虑的是夜间天文观测的需要, 太阳观测并不是主要考虑对象; 沙河站位于北京市昌平区, 最早是开展太阳射电研究的地方, 而光学观测和射电观测要求并不完全一致。也就是说, 中国太阳物理在这之前并没有开展过系统的太阳观测站站址选择的研究。因此, 为了充分发挥太阳磁场望远镜的性能, 研制组不得不从国外的经验中

学习。

研制组注意到自 1963 年卡尔-奥托·基彭霍伊尔 (Karl-Otto Kiepenheuer) 提出水体环境能显著改善大气视宁度的观点后, 国际太阳物理学界逐步形成了近水选址的倾向, 例如美国大熊湖太阳天文台 (Big Bear Solar Observatory) 修建在大熊湖附近。更关键的是, 罗伯特·莱顿 (Robert Leighton) 从 1965 到 1967 年间在南加州开展的选址工作。研制组深入研究了这份研究后, 结合北京地区的地理特点和项目的科研需求, 最终提出了在怀柔水库建设太阳观测基地的方案。

沙河、兴隆、怀柔三个站址分别代表平原、山地、水面三种方案。为科学对比论证, 研制组开始了对三种方案的调研工作。1973 年, 在望远镜研制方案提交一个月后, 研制组委托北京天文台太阳组的史忠先和钱忠钰等协助开展调研工作。



图 4-2 1982 年刚开始动工的怀柔太阳观测基地

Figure 4-2 Huairou Solar Observing Station (HSOS) Under Construction in 1982 (photo provided by Huairou Solar Observing Station)

注: 照片怀柔太阳观测基地提供

传统方法仅比较不同站址的光学观测质量来评价其优劣。比较光学观测质量的一个方法是直接比对成象的模糊程度。早期一般直接目视观测, 后来则通过测量视宁度来比较。20 世纪 60 年代以来, 西方学者提出了两种同时测量运动和模糊的方法, 但这对仪器要求较高, 研制组难以实现。考虑到测量视宁度办法的

本质，是对观察现象的成像效果，因此，直接拍摄日面精细结构，对比拍摄效果，就是最简单的方法。这种方法在中国就有成功实践的例子。1974年，云南天文台太阳物理研究室运用照相方法，使用5寸折射望远镜成功拍摄了太阳黑子的精细结构(中国科学院云南天文台, 1974)。考虑到太阳磁场望远镜35厘米的口径大小，研制组决定使用15厘米折轴式折射望远镜进行拍照，而且要将其放在离地5米的位置，以排除近地大气的恶劣影响。他们将拍摄照片的成像质量分为6等，并根据照片中的米粒组织的清晰程度估算1至6等照片的分辨率分别为1"、1.5"、2"、2.5"、3"和3.5"及以上(史忠先等, 1976)。结果显示，怀柔1等成像质量的天数达到1.3%，超过劳伦斯·萨拉纳夫(Laurence Salanave)1957年于朱尼佩罗·塞拉峰(Junipero Serra Peak)1%的观测结果，这显示出怀柔站址巨大的观测潜能(Salanave, 1957)。



图4-3 工作人员在测试太阳磁场望远镜

Figure 4-3 Staffs were testing the Solar Magnetic Field Telescope (photo provided by Huairou Solar Observing Station)

注：照片怀柔太阳观测基地提供

根据基彭霍伊尔的理论，除了视宁度以外，温度脉动也是影响观测质量的重要因素。它与高度显性相关，在近地面的强迫对流层影响更为明显，而当高度升至自由对流层时，温度脉动与高度变化的关系开始减弱。因此，出于成本和性能的考虑，太阳光学仪器一般安置在两层的交界处。1969年，澳大利亚联邦科学与工业研究组织(Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation)物理分部的克里福德·库尔曼(Clifford Coulman)系统分析了大气湍流对太阳望

远镜成像的影响，通过测量湍流元与周围未扰动介质的温度差，即可确定强迫对流层和自由对流层的边界高度，以此选定观测圆顶的适建高度 (Coulman, 1969)。史忠先等人考虑了两种测量方法：第一种是气球携带铂丝温度计直接测量温度差与高度的关系，这种方法简单直接，但气球易受风速影响，测点不断变化，结果较难处理；第二种是将温度计固定在一根长直竖杆上，这可以保证测点位置稳定，但测量高度非常有限。相比气球可能带来的不可靠的数据，建立一个竖直杆的难度明显更低，研制组分别在平原、山地、水域立起了 50 米、40 米、24 米的长杆，并在每根杆子上制作固定四个铂丝温度计，连接到示波器上显示，用照相方法记录结果 (史忠先等, 1976)。处理这部分数据的方法一般有两种：一种是测量温度脉动幅度的平均值，这种方法简单方便但不直观，适合处理大量数据；另一种则是通过求温度转换函数，它直接看出成像质量，但处理极为麻烦。钱忠钰等人在处理数据时，选择对较为复杂的近地面求转换函数，而其他观测数据则用求温度脉动幅度平均值的方法处理。一般来说，离地面越高，大气越宁静，因此，强迫对流层和自由对流层的临界高度越低，说明大气质量越好，如图 4-4 所示，怀柔 4 米高度的观测质量甚至超过兴隆和沙河 40 米高度的观测效果，这再次显示出怀柔站址的优良性。

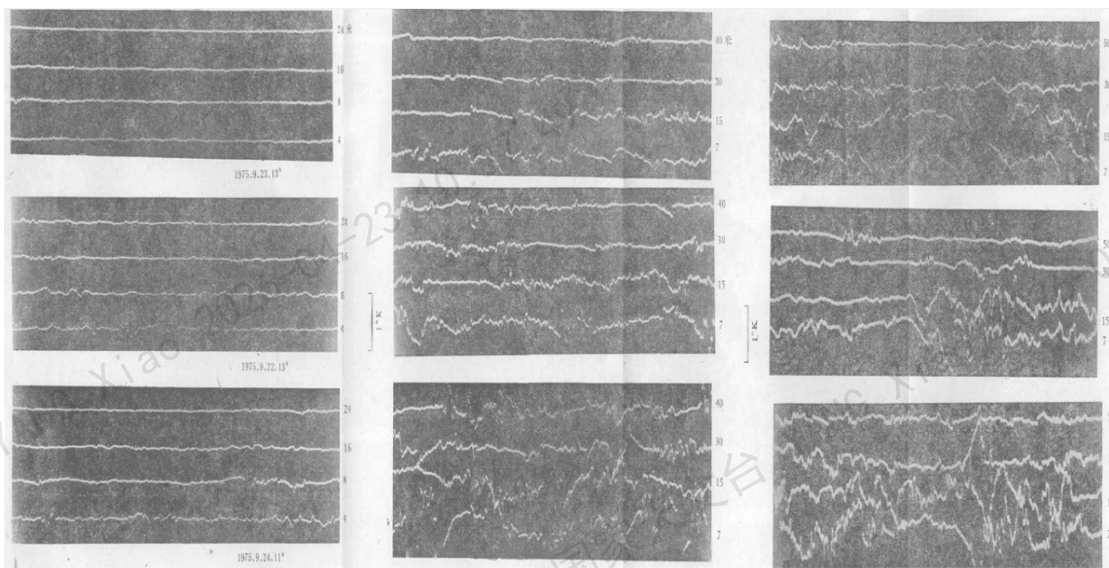


图 4-4 怀柔 (左)、兴隆 (中)、沙河 (右) 温度脉动曲线照相记录 (王建民等, 1977)

Figure 4-4 Photographic records of temperature fluctuation curves for Huairou (left), Xinglong (middle), and Shahe (right).

虽然怀柔站址显示出了最好的建站条件，但是试观测总时长太短，一些研制组成员担心其实际观测情况。调研人员又为此查阅了 1959-1964 年三址的视宁度资料，在反复对比下，怀柔站址仍旧表现出最好的观测条件。因此，研制组最终决定，在怀柔水库建立太阳观测站，称怀柔太阳观测基地 (简称怀柔站) (中国科学院国家天文台, 2009, 第 43 页)。

怀柔站的选址工作开创了新中国光学太阳观测台站建设的先河。这次工作中，研制组充分吸收了国际上最新的研究成果与经验，尤其是美国大熊湖天文台

的成果与经验。时至今日，怀柔水库仍是中国最优秀的光学太阳观测地之一。

### 4.3 研制用于矢量磁场和视向速度场测量的双折射滤光器

#### 4.3.1 应用三组 KD\*P 电光调制器

双折射滤光器是太阳观测系统的核心光学元件，其性能参数从根本上制约着整个望远镜系统对太阳活动精细结构的观测能力。因此，双折射滤光器的设计与制造水平，往往被视为衡量一台太阳望远镜技术含量的重要标尺。

从国际上看，20 世纪 70 年代代表世界先进水平的太阳磁场观测设备主要有美国马歇尔航空飞行中心 (Marshall Space Flight Center, 简称 MSFC) 的 30 厘米矢量磁象仪和美国大熊湖天文台的 25 厘米太阳磁象仪。两台设备的双折射滤光器都改装自蔡司 (Zeiss) 公司生产的蔡司滤光器，由不足 20 个光学元件组成 (Mosher, 1976; Beckers, 1968)。研制人员通过在滤光器前后端灵活配置其他光学器件，使之适应不同的天文观测需求。虽然核心元件类似，但是两台设备的原理却完全不同。大熊湖天文台的太阳磁象仪是加装在望远镜上的另一台仪器，只能观测纵向太阳磁场和视向速度场；而 MSFC 的矢量磁象仪则是为了观测太阳磁场而专门设计的，可以观测太阳矢量磁场，但它不能观测视向速度场。不过，无论是 MSFC 矢量磁象仪还是大熊湖太阳磁象仪，都使用了将一组 KD\*P 电光调制器外置的传统设计 (Zirin, 1970; Hagyard et al., 1982)。这种设计的特点是易制造，因为美国双折射滤光器的研制技术非常成熟，有十分完整的产业链，所以两台设备的双折射滤光器可以直接改装自蔡司滤光器。而中国于 1968 年才刚刚突破双折射滤光器的技术瓶颈，缺乏成熟的产业链，因而无法像美国一样采用改装方法，只能全新设计。

在两次方案提交期间，研制组根据双折射滤光器所必需的双通道设计，提出了一种双谱线工作模式。太阳大气可分为光球层、色球层、日冕层等多个层次，每个层次都有许多特定的谱线，根据不同的观测需求，可自由选择。研制组原选定的  $5324 \text{ \AA}$  是一条光球层观测谱线，而当时光球层的研究成果已经较多，因此研制组决定新增一条色球层谱线以扩展观测能力。常用的色球层谱线是  $H_{\alpha}$  ( $6563 \text{ \AA}$ ) 与  $H_{\beta}$  ( $4861 \text{ \AA}$ )。因为  $H_{\alpha}$  距离  $5324 \text{ \AA}$  较远，波长间隔达  $1239 \text{ \AA}$ ，这对全波段波片研制技术有更高要求。在两条谱线的观测效果没有显著差距的情况下，研制组最终选定波长间隔较小的  $H_{\beta}$  谱线作为第二工作波长，这样就在保证色球层观测目标的同时，有效降低了光学器件的研制难度 (艾国祥等, 1986)。

但传统的外置 KD\*P 电光调制器设计无法满足两条谱线同时工作。在既保证两条谱线正常工作，又不降低透过半宽的要求下，艾国祥和胡岳风设计了一种包括 Lyot、Evans 和 Solc 三种单元的双折射滤光器，由 151 片光学元件组成。这种大胆的设计虽然可以满足两条谱线同时观测，但多单元组合也会产生单元匹配问题，使寄生光增加 1%，远超仪器精度要求的 0.01%。这个问题困扰了研制组许久，直到 1981 年，艾国祥等提出了等傅里叶系数滤光器理论，才消除了这一误差 (艾国祥等, 1984)。

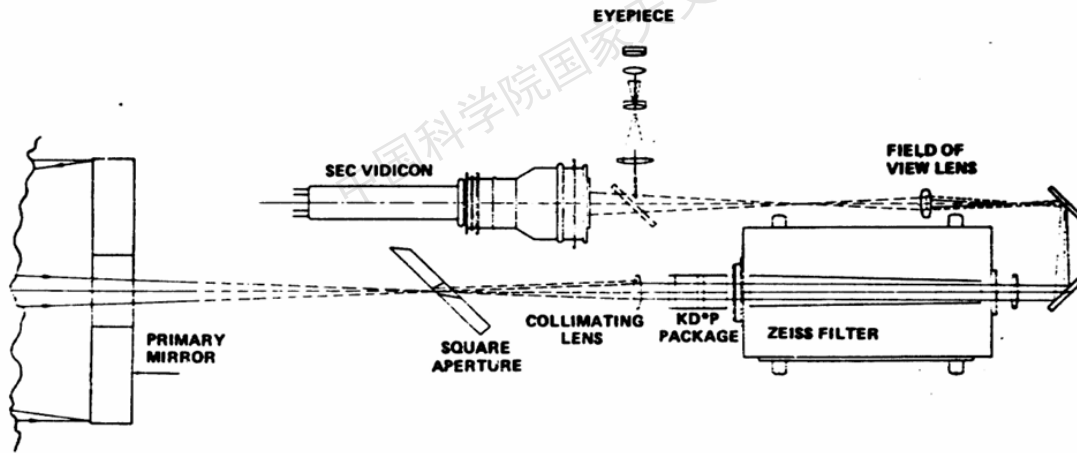
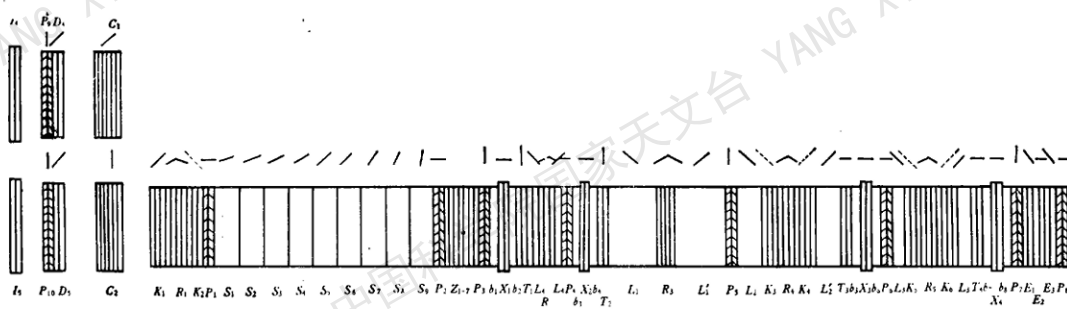


Figure 1. Schematic diagram of the optical system.

图 4-5 MSFC 光学结构 (一组 KD\*P 晶体置于蔡司滤光器外部前方) (Hagyard et al., 1982)

Figure 4-5 The optical structure of the MSFC 30cm vector magnetograph (A set of KD\*P crystals is positioned at the front exterior of the Zeiss filter)



太阳磁场望远镜双折射滤光器最大的创新就是应用了三组 KD\*P 电光调制器。它突破了过去外置单组调制器的局限，通过将 KD\*P 晶体与光学元件进行一体化集成设计的思路，实现了 5324 Å 和 4861 Å 双谱线同步观测，显著提升了光学系统的稳定性和测量精度，使滤光器的整体性能达到国际先进水平，为中国太阳磁场观测研究提供了独特的技术优势，同时也为多通道太阳望远镜等后续大型太阳望远镜的研制奠定了重要基础。

在美国两台设备还并没建成的 1972 年，技术人员就提出了两条工作谱线的设计，因而可以说，研制组是独立完成了这项设计。但是，要实现这项设计，有许多技术难题，而这些难题，基础尚薄弱的中国科研工作者们就必须依靠国际交流来克服。



图 4-7 在南京天文仪器厂出差的部分北京天文台的太阳磁场望远镜研制者

Figure 4-7 Some developers of the solar magnetic field telescope from Beijing Observatory on a business trip to the Nanjing Astronomical Instruments Factory

注：照片由怀柔太阳观测基地提供，拍摄于 80 年代初期，众人游玩江苏镇江金山寺。  
照片后排从左至右分别为：艾国祥，艾贻民，韩峰，张洪起，刘建中。  
照片前排从左至右分别为：李威，李京，王瑞兰，明长荣。

#### 4.3.2 制作高精度双折射晶体定轴测厚仪

1975 年，太阳磁场望远镜的选址工作结束，同时，滤光器的制作材料也已准备齐全，研制组开始全力研制滤光器。

为了研制专用于矢量磁场和视向速度场的双折射滤光器，研制组通过计算发现，双折射晶体的厚度差需要控制在波长的  $1/200$  以内，这一指标与当时国际最高标准持平。国内当时还采用传统方法，依赖于常规偏振光干涉测量技术，通过观察晶体在正交偏振片间产生的干涉条纹来估算光程差和光轴方向，其厚度测量精度仅能达到波长的  $1/50$ ，光轴定向误差约为  $5'$ ，远低于研制要求。1976 年，杨还、艾国祥和胡岳风采用了基于偏振光干涉的暗视场测量方法：当双折射晶体的光轴与偏振轴成  $45^\circ$  夹角时，通过精确测量双折射晶体折射出的两束光产生的相位差，并利用索莱尔补偿器 (Soleil compensator) 调节光程差至干涉极小值，从而实现亚波长级的高精度测量。实验结果表明，该仪器可实现  $0.01$  微米级的厚度控制精度 (杨还等, 1984)。该仪器的核心测量原理与理查德·斯马特 (Richard Smartt) 和威廉·斯蒂尔 (William Steel) 在 1959 年发表的论文思路高度一致，二者均通过光学补偿法测量双折射晶体光程差，唯一的区别是：前者采用索莱伊补偿器，后者使用巴比涅补偿器 (Smartt et al., 1959)。但同样值得注意的是，尽管该仪器参考了前人的成果，但并不能说是移植技术。测厚仪首次将等偏离法应用于双折射晶体的测量中。它通过对称测量，避开透光量极小值附近的不灵敏区，结合索列尔补偿器的  $0.1$  微米级别的高精度位移调节和  $0.05^\circ\text{C}$  级精度的恒温箱，将厚度测量精度提升至  $1/1000$  波长，光轴定向精度优于  $1'$ 。与之对比的是，斯马特和斯蒂尔仅通过单次补偿确定光程差，而没有对不灵敏区进行处理 (Smartt et al., 1959)。

杨还等人学习国外其他领域先进技术，并应用于研制工作的案例充分说明，太阳磁场望远镜的成功研制得益于对国际前沿研究成果的及时借鉴与吸收，国际学术交流在其中发挥了不可替代的推动作用，但也离不开科研团队的自主创新，工作人员的创新运用也是技术突破的关键。

#### 4.3.3 制备氧化锡透明导电膜

除了借助国际资料外，研究人员自身也开展了许多创新突破工作。太阳磁场望远镜的双折射滤光器需要 3 组电光调制器，需配备 6 块  $\text{KD}^*\text{P}$  电光晶体和 12 块透明导电玻璃。胡岳风等人通过在  $\text{K}_9$  玻璃上喷镀氧化锡导电膜来制作导电玻璃。在研制过程中，他们遇到了两个关键难题。一方面，12 块导电玻璃电极需要协同工作，任何一块的性能偏差都会影响整体效果。另一方面，对单块电极来说，平均薄膜电阻需小于  $100\Omega$  每方，膜厚偏差应在  $1300\pm 130\text{ \AA}$  之间，同时还要在两个工作波长下都保持 98% 的高透过率，这对制作工艺有很高要求。

针对第一个难题，研制组通过系统化工业流程成功突破。他们一开始镀膜的时候，废品率较高，因为镀液过程发生在高温加热炉里，所以技术人员无法确认镀层的厚薄。而只有厚度合适的镀层才能使两个工作波长的通过率同时达到最

佳值，因此镀层过厚和过薄都会导致器件无法使用。胡岳风等人在多次失败中，逐渐感知到了喷口伸入高温加热炉的深度和方向与喷镀效果的关联性，然后通过大量实验，总结出了能最大限度地保证器件接近合适的厚度的喷液时间。研制组随之便建立起标准化的喷镀操作流程：将被镀物镀面向下置于支架上，在 $500^{\circ}\text{C}$ 条件下，以4000毫升每分钟的氩气流速进行喷镀，并将喷镀时间精确控制在10秒。更关键的是，胡岳风等人在处理废弃材料时，通过实验又发现，喷镀次数对器件的光学性质和电学性质没有影响，从而发明了“喷加磨减”工艺：对于镀层过薄的样品采用二次喷镀进行补强，对镀层过厚或不均匀的样品则通过浮磨抛光进行修正。这一工艺创新使得原本需要报废的次品得以重新利用，将废品率大幅降低(胡岳风等, 1980)。

另一方面，为了保证成品的一致性，需要测量喷镀薄膜的折射率、吸收系数、厚度、透过率和反射率等。但上述导电膜是弱吸收膜，在不破坏薄膜样品的情况下精确测量薄膜参数，非常困难。

对此，研制组则采用多种技术综合解决思路。他们首次将椭圆偏振法应用于镀有氧化锡的 $K_9$ 玻璃上，为此还专门使用DJS-18计算机开发了参数标定程序。同时，针对弱吸收薄膜(吸收系数 $\leq 0.008$ )参数解不唯一的问题，研制组则使用迭代修正算法：先通过椭圆偏振法获得初始参数，再结合分光光度计测得的透过率和反射率数据进行迭代优化，最终将薄膜厚度的测量误差控制在 $8\text{ \AA}$ 以内。当时国际上并没有对镀有氧化锡的 $K_9$ 玻璃光学参数的研究，胡岳风等人的方法不仅解决了氧化锡薄膜的表征难题，还为其他弱吸收材料的测试提供了新的技术思路(胡岳风等, 1980)。

这些技术创新使得研制团队成功制备出性能优异的透明导电玻璃电极，单片样品在硅油中的平均透过率达到99.03% ( $5324\text{ \AA}$ )和98.93% ( $4861\text{ \AA}$ )，12片叠加后的总吸收和反射损失为10.6% ( $5324\text{ \AA}$ )和12.1% ( $4861\text{ \AA}$ )，大大满足了太阳磁场望远镜的研制要求(胡岳风等, 1980)。

#### 4.4 引进专用计算机与 CCD 摄像机

除了论文资料以外，太阳磁场望远镜在研制过程中还向国外订购了一些不太先进的器件以开展实验。根据1974年“太阳磁场望远镜电视接收系统任务概要(草案)”记录(中国科学院北京天文台, 1974)：

(1) 电视接收系统需要配备一台较快速电子计算机及外储存设备。由吉林物理所于今年提出指标及要求，有北京天文台联系落实和订货，要求院里在明年予以解决。

(2) 关键器件摄像管寿命为700小时，需要经常替换，因此必须立足于国内。但由于国内正在研制，尚需一段时间，为了开展实验工作先少量国外订货(SEC管或硅靶管)是必要的。

(3) 关键器件场效应管，目前国内产品尚不能满足要求，必须国外少量订货。

上述记录说明,研制组从一开始就对一些制造难点有清晰的认识,而其解决方法大体可分为三类。第一类以“快速计算机及外储存设备”为代表。根据 1973 年“关于落实‘研制太阳磁场望远镜电视接收系统’的报告”和 1974 年“太阳磁场望远镜电视接收系统任务概要(草案)”显示,对于这种设备,研制组计划在国内订购;第二类,以摄像管为代表,其工作寿命有限,倘若中国不掌握自主研发技术,成本极高,因此,研制组选择先向国外订购用于实验的数量,待技术突破之后,再自行制造;最后一类以场效应管为代表,因为国内产品质量不能满足要求,且暂无开展相关研究的中国科研单位,所以只能向国外订货(中国科学院北京天文台, 1973f, 1974)。

如前所述,研制工作的两个阶段,是按照当时中国的技术掌握程度分为两类来安排的。1983 年,太阳磁场望远镜成功完成首次观测时,双折射滤光器等光学器件和望远镜主体机械结构等第一阶段任务都已完成制作并成功运行,第二阶段任务虽然也基本完成,但摄像机系统依旧采用光电扫描系统,使得其极限分辨率与美国两台设备相比有一个数量级的差距。同时,因为当时中国计算机技术水平根本无法满足实时观测数据处理的需求,所以北京天文台无法在国内采购到合适的计算机,导致数据处理系统落后美国的两台设备更多。为了继续提高太阳磁场望远镜的能力,研制组经慎重评估,决定向国外采购。

根据档案显示,研制组最早打算订购日本数据通用公司(Nippon Data General Corporation, 简称 N.D.G.)的 ECLIPSE MV/8000 II 型计算机,但研制组将其装配完成后发现它存在两个情况:

(1) ECLIPSE MV/8000 II 型计算机的数据传输率仅为 100k 字每秒,远低于该公司宣传的 2.27M 字每秒,且该公司的软硬件工程师等人均无法给出合理解释。

(2) 市场上已出现与此类型计算机所宣传的性能相同,且价格更低的产品。

因此,研制组决定订购其他类型的计算机。当时北京天文台为了建造天文数据库,订购了美国数字设备公司(Digital Equipment Corporation, 简称 D.E.C.)的 VAX-11/780 型计算机(中国科学院北京天文台, 1986a),效果极佳。研制组在充分了解计算机使用情况后,便向此公司咨询新推出的 VAX-11/750 型计算机的性能。D.E.C. 公司展示了用户提供的实际使用情况:高速数据通道速率可达 3.3M 字/秒;价格相比 ECLIPSE MV/8000 II 型计算机更低。最终,研制组决定订购 VAX-11/750 型计算机(中国科学院北京天文台, 1984)。其实,除了优秀的使用效果,研制组选择 VAX-11/750 型计算机,至少还有两个重要原因。一方面,北京天文台使用了同一厂家生产的系列机建立天文数据库,这便于以后的维护与管理。另一方面,VAX-11/750 型计算机可以与不同型号的计算机相联,未来可以连接另一台计算机,继续提高系统性能。1989 年,两维实时太阳磁场与速度场接收与图像处理系统,作为太阳磁场望远镜的现代化视频实时观测系统,安装在怀柔太阳观测站上。为了实现快速数据传输,怀柔站采用了 IBM/AT 型计算机与 VAX-11/750 型计算机相联的以太网通讯方式,大大提高了数据传输速度

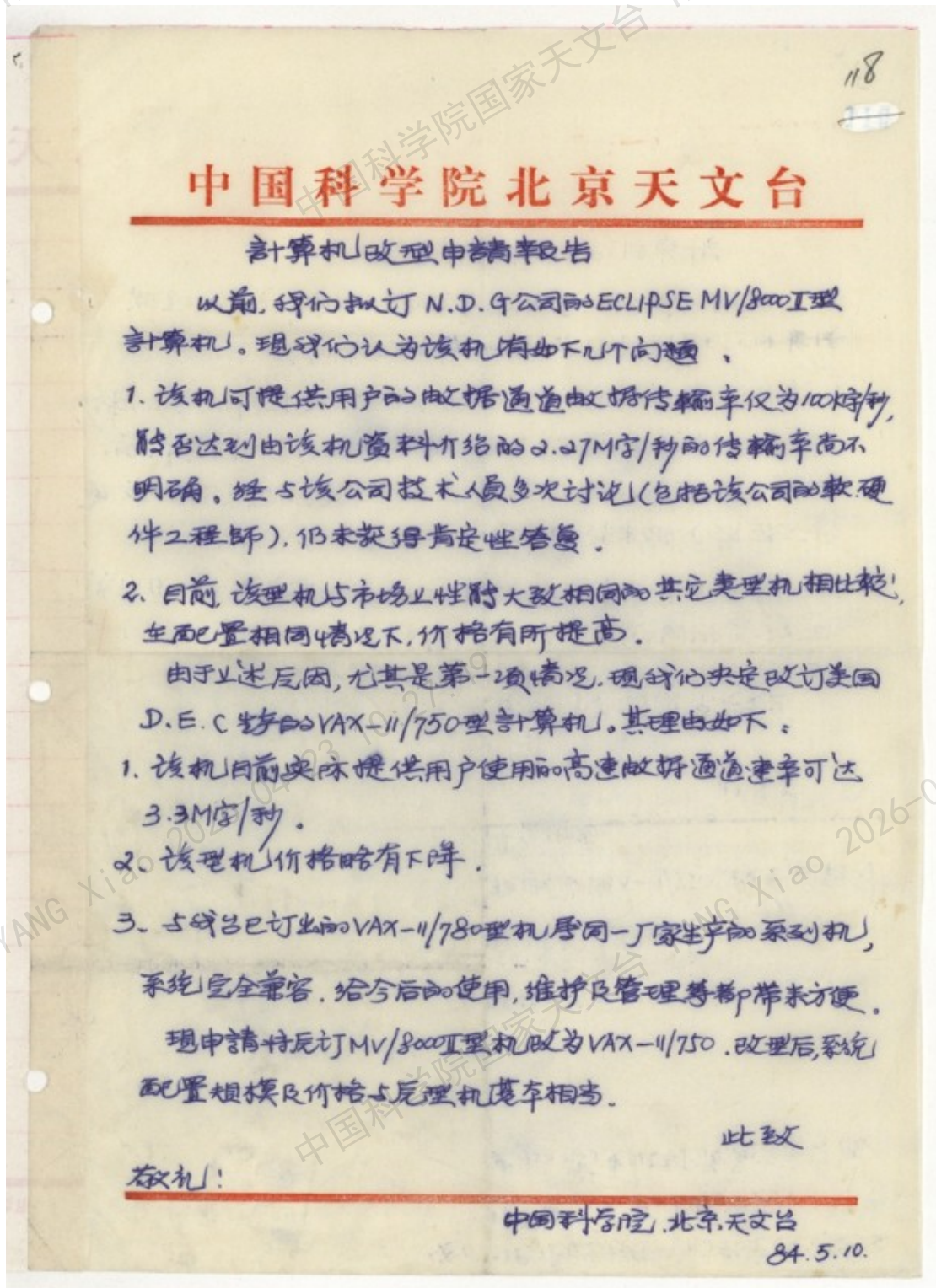


图 4-8 计算机改型申请报告

Figure 4-8 Computer Modification Application Report

(中国科学院北京天文台, 1989a)。

附件 CCD实时方位明细表

CCD摄像机 (CCIR)	2台	\$ 3000
DT 2851-50	1	\$ 2995
DT 2858	1	\$ 1,495
2000PC 1/2" 磁带机	1	\$ 3995
IBM PC-AT (20MB)	1	\$ 4488
Video Lab (Sp0145)	1	\$ 995
486 FS10-50 1/4" 磁碟片	1	\$ 725
532 FS10-50 " " "	1	\$ 725
运费税 (10%)		\$ 1,844
总计		\$ 20,260

图 4-9 CCD 摄像机价格明细表

Figure 4-9 Detailed Price List of CCD Camera

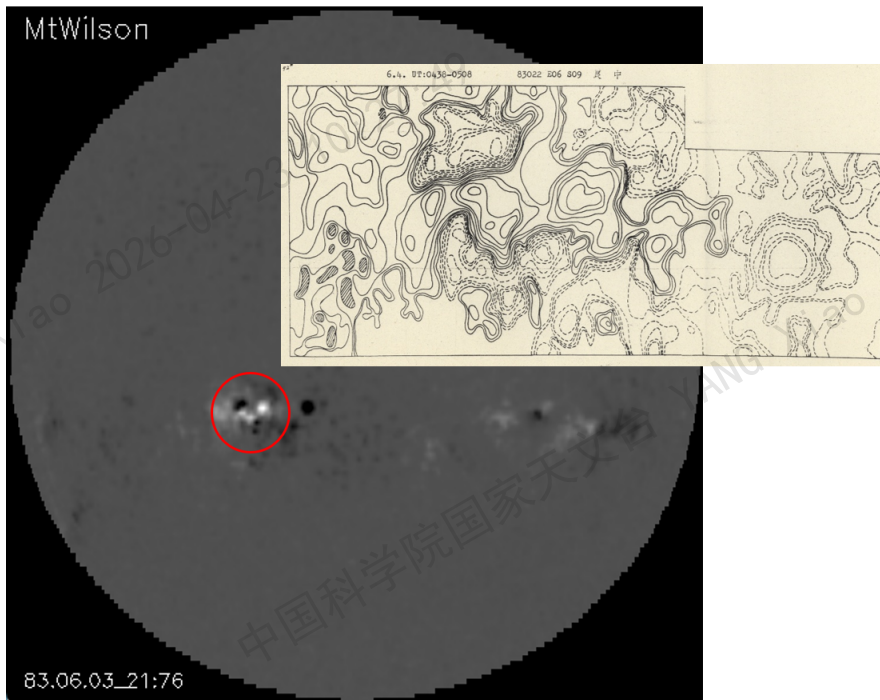


图 4-10 威尔逊天文台和太阳磁场望远镜对同一活动区观测结果

Figure 4-10 Comparative observations of an active region by Mount Wilson Observatory and the Solar Magnetic Field Telescope.

1984年, VAX-11/750型计算机作为太阳磁场望远镜数据处理设备引进。1986年6月, 为了更熟练地运用计算机, 张洪起、明长荣和韩峰三人前往美国参加计算机培训课程。在此期间, 他们向大熊湖天文台台长齐林展示了1983年太阳磁

场望远镜的观测磁图。齐林台长在对比了太阳磁场望远镜和威尔逊山天文台的磁图后，发现二者的观测结果在磁场结构中呈现出高度的一致性<sup>1</sup>。当时中美建交不久，各领域的合作趋向紧密，而对太阳物理来说，东亚地区正缺乏一台高性能太阳磁场观测设备，日本的 SMART (Solar Magnetic Activity Telescope) 望远镜于 1984 年立项，投入使用遥遥无期，北京天文台的太阳磁场望远镜适时出现，恰好弥补了这一漏洞。齐林又了解到中国的摄像机技术仍较为落后，便提出向我们出售 CCD (电荷耦合器件) 系统，为之后潜在的合作夯实设备基础<sup>2</sup>。

CCD 是 20 世纪 70 年代末兴起的一种新型固体摄像器件，相对于望远镜本体，其价格并不算高昂，但对于充分发挥望远镜的性能上有着重要作用，是天文技术现代化的重要方面。上海技术物理所等单位在 70 年代一直尝试追赶世界水平，但是在像素数量和信噪比等参数上难以达到天文观测设备的使用要求。因此为了提高设备性能，中国天文科研工作者更倾向于向国外购买，但又因为这是禁运物资，所以一直无法订到。1979 年，“216”望远镜项目组在多年求购无果之后，凭借与普林斯顿大学 SEC (二次电子导电管) 实验室主任劳伦斯博士的友好关系，由他向厂商代购，才终于获得合适的 CCD。高质量 CCD 的订购难度可见一斑。

张洪起等人在与齐林交流后，立即与国内的研制组领导开展讨论。在考虑了预算和技术的重要性及难度后，研制组决定只进口 CCD 摄像机、滤光片、数据采集用的计算机和磁带机等辅助设备，自行组装并开发新系统。此举一方面基于预算考量，另一方面是秉承《十年规划》的原则——彻底掌握核心技术，避免苏制色球望远镜整体引进后出现问题却无法保修的情况再次发生。1986 年 9 月，项目组获批 2 万美元外汇购入 CCD 核心元器件。1987 年，明长荣、张洪起、韩峰、孔繁熙、李京、刘建强、曹艾，利用引进的元件成功开发出二维实时 CCD 接收与图像处理系统，使太阳磁场望远镜的性能再上一个台阶，达到了与美国两台设备相同的水平。

<sup>1</sup>张洪起口述访谈，钟云毅，2024 年 10 月 16 日。

<sup>2</sup>张洪起口述访谈，钟云毅，2024 年 10 月 16 日。

设备名称	口径	真空筒	折射或反射系统	同时视场	观测谱线 和层次	是否矢量场	能否观测 速度场	恒温 稳定性	每象元对应 角秒数	标准积分 时间
MSFC 矢量磁象仪	30cm	是	反射+折射	5' × 5'	$\lambda$ 5250 光球	是	否	1/100°C	2.5" × 2.5" 1" × 1"	30s
大熊湖 磁象仪	25cm	是	折射	6' × 4'	$\lambda$ 6102 光球	否	是	1/100°C	2" × 2" 1" × 1" 0.5" × 0.5"	30s
SMFT 原系统	35cm	是	折射	6' × 4'	$\lambda$ 5321 光球 $\lambda$ 4861 色球	是	是	1/1000°C (三天)	1" × 4" 2" × 2" 1" × 1"	30-160s
SMFT 现系统	35cm	是	折射	6' × 4'	$\lambda$ 5324 光球 $\lambda$ 4861 色球	是	是	1/1000°C (三天)	1" × 1" 0.5" × 0.5" 0.25" × 0.25"	30s

设备名称	摄像机 类型	象元数	极限灵敏度	宁静度	透明度	开始观测 时间	改进时间	最后 改进时间
MSFC 矢量磁象仪	CCD 10帧/s	256 × 320	H <sub>11</sub> ~ 1-2 G H <sub>1</sub> ~ 30-50 G	较差	一般	~200天	1976	1980 1983
大熊湖 磁象仪	SEC和 CCD	488 × 387	H <sub>11</sub> ~ 1-2 G V <sub>11</sub>	好	好	300天	1976 (模拟) 1982	1979 1981-1985
SMFT 原系统	电视慢扫 摄像相机	120 × 90	H <sub>11</sub> ~ 3-5 G H <sub>1</sub> ~ 50-100 G V <sub>11</sub> ~ 30 M/s	好	较好	280天	1981	1986
SMFT 现系统	CCD 标准扫描 2.5帧/s	582 × 500	H <sub>11</sub> ~ 1-2 G H <sub>1</sub> ~ 30-50 G V <sub>11</sub> ~ 10 M/s	好	较好	300天	1987	1987 1987

图 4-11 MSFC 矢量磁象仪、大熊湖磁象仪、太阳磁场望远镜改装 CCD 系统前后性能对比  
(北京天文台怀柔太阳观测站, 1989)

Figure 4-11 Performance comparison of MSFC Vector Magnetograph, Big Bear Magnetograph, and Solar Magnetic Field Telescope before and after CCD system modification

#### 4.5 国内与国际评价

太阳磁场望远镜的成功研制在国内外产生了深远影响。在中国，项目不仅荣获 1987 年中国科学院科技进步一等奖和 1988 年国家科技进步一等奖，还直接启发了多通道望远镜的研制，对其他望远镜的研制提供了借鉴思路。1975 年望远镜选址工作结束后，紫金山天文台的宋慕陶、胡福民以及云南天文台的李治凯等人专程前去学习选址试观测经验。值得一提的是，李治凯研究员还借走了项目组用于选址的大气温度脉动测量设备(中国科学院北京天文台, 1975)。“太阳光学台址的选择”也在 1988 年获得中国科学院科技进步三等奖。

在国际上，1983 年 11 月，欧洲大型太阳望远镜项目负责人扬·斯坦弗洛 (Jan Stenflo) 教授与首席设计师奥德比约恩·恩格沃尔德 (Oddbjørn Engvold) 访问南京天文仪器厂期间，曾用太阳磁场望远镜的滤光器进行了试观测。二人回国后在 1986 年发表的技术报告中盛赞这套系统“比中国以外任何国家研制的同类设备都更为精密复杂”，并评价其光学质量“让我信服”(中国科学院北京天文台, 1989b)。同年，美国国家航空航天局天文部专家艾伦·基普林格 (Alan Kiplinger) 访问中国后称，对太阳磁场望远镜的研制工作印象深刻。1986 年 9 月 28 日，加州理工学院大熊湖太阳天文台台长齐林向正在研制视频磁象仪的印度学者阿米特·巴特纳加尔 (Amit Bhatnagar) 博士推荐了太阳磁场望远镜系统。美国空间环境服务中心主任哈里·黑克曼 (Harry Heckman) 也对太阳磁场望远镜的观测质量

十分满意，并提出在第 22 太阳活动周峰年期间开展更多合作(中国科学院北京天文台, 1989b)。1987 年 12 月，日本京都大学飞弹天文台台长黑河宏企 (Hiroki Kurokawa) 参观怀柔观测站后，立即提出在即将到来的太阳活动峰年进行观测数据交换(中国科学院北京天文台, 1989b)。这些国际权威学者的积极反馈，充分证明了太阳磁场望远镜在国际太阳物理研究领域所获得的重要地位，也证明了，对于天文学科而言，拥有第一梯队的观测设备，是进行国际合作的必要条件。

太阳磁场望远镜的技术突破不仅具有重要科学价值，更产生了显著的经济效益。美国国家航空航天局 (National Aeronautics and Space Administration, NASA) 空间光学望远镜 (Space Optics Telescope) 首席科学家艾伦·提特尔 (Alan Title) 于 1985 年专门致函艾国祥，提出以其独有的高透过率偏振片技术交换我方研制的高透过率氧化锡导电玻璃，这一技术交换请求充分体现了我方核心技术的国际竞争力(中国科学院北京天文台, 1989b)。随后，以李挺为代表的科研团队持续优化望远镜的双折射滤光器技术，其改进的双折射滤光器先后出口多个国家的天文机构，收入可观(李挺等, 2001)。

上述评价与实例充分证明了太阳磁场望远镜项目太阳观测设备研制水平提高过程中的辐射带动作用，以及其为世界太阳观测能力的整体提升所做出的贡献，标志着中国在高精度天文仪器制造领域已达到国际领先水平，为后续科技设备的产业化发展奠定了坚实基础。

太阳磁场望远镜，尽管全程由中国的科研工作者设计制造，但究其本质，其实是中国外合作的产物太阳磁场望远镜投入使用后，美国、日本等国的太阳工作者纷纷发来合作邀请，为世界太阳物理在 90 年代的蓬勃发展贡献了自己的力量。合作交流的产物进一步促进交流各方的发展，这就是合作的作用，也是全球化浪潮下，世界科研发展的大趋势。

国家天文台 YANG Xiao 2026-04-23 10:27:49  
中国科学院国家天文台 YANG Xiao 2026-04-23 10:27:49  
国家天文台 YANG Xiao 2026-04-23 10:27:49  
中国科学院国家天文台 YANG Xiao 2026-04-23 10:27:49

## 第 5 章 北京天文台太阳磁场研究的发展

新中国建立初期并没有专业的太阳物理研究团队，所以早期的太阳物理研究人员都是其他方向的学者，如陈彪和龚树模最开始均将太阳视为一颗恒星进行分析，从天体物理方向做跨学科研究，后来学者们凭借自身努力，逐渐成为中国的太阳物理学者。当时中国只有南京大学开设了天文系，而研究生学位制度并没有完全建立，博士学位几乎都是外国大学授予，因此可以说南京大学本科生是 50 年代中国天文新生力量的主要来源。

北京天文台太阳物理组成立于 1960 年，第一代研究人员如林元章、沈龙翔、史忠先等，都是从南京大学毕业不久的本科生，先在紫金山天文台太阳室工作，后被派往北京开拓太阳物理研究。史忠先、沈龙翔于 1958 年先后来到北京，负责苏制色球望远镜的安装调试，林元章则于 1959 年来到北京任太阳组组长(中国科学院国家天文台, 2009, 第 3 页)。林元章和沈龙翔在 1959 年设计 60 厘米太阳望远镜时，方案最终经过了陈彪的肯定才投入研制<sup>1</sup>。由上可见，北京天文台早期的太阳物理研究仍需要前辈的指点才能开展，也因此当时的研究几乎全都由上级下达的任务驱动。档案也显示，1966 年之前，北京天文台太阳物理研究以太阳活动预报为核心目标，其他研究均服务于这一应用需求，体现出鲜明的实用主义研究范式。

1966 年后，太阳磁场研究逐渐从辅助地位，发展成与太阳活动预报并重的独立研究方向。这标志着北京天文台太阳物理研究从单一应用导向，转为基础与应用并重的双轨发展模式。1989 年改制后，这一趋势进一步深化，太阳磁场研究领域形成了理论与设备研发协同并进的新格局，具体表现为两个研究倾向明显的课题组——怀柔太阳观测基地和太阳磁活动研究组的建立。

怀柔站面向国家的战略需求，围绕前沿科学目标，进行太阳观测方法、技术和设备革新和科学探索，这是由艾国祥院士的兴趣奠定的基础。90 年代，艾国祥院士在“面-点-面”规律的基础上，又提出了“点-线-面-体”的发展目标，利用创新性的多通道滤光器设计方案，成功研制了多通道望远镜，实现了在一台望远镜不损失有效信息的情况下同时观测多个太阳层次。后来，张洪起研究员和邓元勇研究员又先后主持研发了为怀柔站使用的“全日面太阳光学和磁场监测系统”，和国家气象局温泉太阳磁场望远镜系统。除了地基观测外，怀柔站于 2022 年又研发了搭载在“先进天基太阳天文台”卫星(Advanced Space-based Solar Observatory, 简称 ASO-S)上，用于空间太阳磁场观测的全日面矢量磁象仪(Full-disk MagnetoGraph, 简称 FMG)，突破了地球大气的限制，是我国独立自主研制的第一个空间太阳磁场观测设备。太阳磁场观测的原理是塞曼效应，科学家通过测量裂距计算磁场强度，而裂距在中红外波段更宽，更适合计算，怀柔站经过近 20 年的技术储备，于 2024 年建造了太阳磁场中红外观测系统(the

<sup>1</sup>林元章口述访谈，钟云毅，杨尚斌，2024 年 6 月 28 日。














同时视场	点	点 (线)	线 线扫描面	面	体
白光				1611 伽利略望远镜 	
光谱 单色光		1841 光栅光谱仪 	1887 太阳单色光观测镜 	1938~1944 双折射滤波器 	
偏振光谱 单色光	1908 Hale磁像仪强场 	1953~1962 Baback磁像仪弱场 	1977 * Kitt峰磁像仪 	1980's * 视频磁像仪 	1990's * 多通道磁像仪 
偏振光谱 轮廓		傅里叶 光谱仪 	光栅 光谱仪 	滤光器 光谱仪 	二维同时 光谱仪* 

图 5-1 艾国祥院士提出的“点-线-面-体”规律(钱伟长等, 2014, 第 370 页)

Figure 5-1 Performance comparison of MSFC Vector Magnetograph, Big Bear Magnetograph, and Solar Magnetic Field Telescope before and after CCD system modification

Accurate Infrared solar Magnetic field measurement System, 简称 AIMS), 这是世界上第一台专用于中红外太阳磁场测量的设备。现在, 怀柔站又积极推动太阳极轨天文台 (Solar Polar-orbit Observatory) 这一重大科学计划。该计划旨在通过高倾角轨道 (>80°) 实现对太阳极区的首次正面成像观测, 突破现有黄道面观测的局限性, 从而开展涵盖极区磁场、高速太阳风源区及日冕物质抛射传播的全方位、多波段太阳物理研究。上述设备的成功研制, 充分体现出怀柔站的技术优势与底蕴。

除了技术开发外, 怀柔站还开展理论研究。90 年代开始, 张洪起潜心于太阳磁场研究, 他开创性地从理论上揭示了  $H_{\beta}$  谱线在太阳宁静区和活动区磁场中的特征规律, 为太阳磁场望远镜的数据分析奠定了理论基础, 还系统开展了太阳活动区光球磁场和宁静区色球磁场的观测研究。基于太阳磁场望远镜积累的长期观测数据, 他在国际上较早开展了太阳磁螺度的统计研究, 这成为怀柔站的特色研究之一。2024 年, 张洪起将其四十余年的研究成果系统总结出版为《太阳磁学》专著, 成为该领域的重要学术著作。

磁活动组则瞄准太阳物理研究的前沿方向, 依托怀柔站的磁场观测数据, 广泛整合国际太阳物理观测网络的多源数据, 长期聚焦于太阳磁场与磁活动的观测、理论分析及数值模拟研究, 探索太阳磁场和各类太阳活动的产生机理和可预报性。以上研究都表现出磁活动组对太阳磁场研究的系统性, 这是受汪景琇院士早期工作的影响。1983 年, 汪景琇前往美国加州理工学院和大熊湖太阳天文台访问学习。在此期间, 凭借大熊湖太阳天文台磁象仪的定标工作, 汪景琇逐渐开

始关注太阳小尺度磁场研究，并发现了“磁对消”现象，获得美国同行的认可，回国后便在1989年成立了太阳磁活动研究团组(钱伟长等, 2014, 第505-509页)。

除了太阳领域的研究外，磁活动组还推动太阳物理与天文学其他领域的交叉发展，拓展理解类太阳恒星活动规律，获得对恒星活动性及其空间效应等重要理解，服务于我国深空探测重大战略需求。团组以周桂萍研究员为骨干，将太阳磁活动规律研究拓展至行星宜居性领域，通过“宿主恒星-系外行星”的关联分析，揭示恒星磁活动对行星环境的关键影响。而张军、杨书红研究员等人又牵头充分利用LAMOST (Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopy Telescope, 简称“LAMOST”，中文名为“郭守敬望远镜”)的大样本数据优势，开展类太阳恒星与太阳活动的多波段对比研究，既通过恒星活动性反演磁发电机机制，又以太阳为基准验证和修正物理模型，形成观测-理论互馈的研究闭环。

除了两个主要团组之外，在北京天文台(现为国家天文台)的发展过程中，还有太阳活动预报团组和太阳射电研究组也为太阳磁场研究做出过贡献。

北京天文台太阳活动预报研究与服务起始于我国第一颗人造卫星发射任务，而太阳活动预报中心于1990年在北京天文台建立，艾国祥院士、董士伦、王家龙、王华宁、徐龙等研究员先后领导过该团队。他们总结太阳组过去数十年太阳活动预报的经验，先后形成了太阳黑子相对数、10厘米太阳射电流量、太阳X射线耀斑和短波通讯突然骚扰等一整套程序化预报方案体系，并多次完成国家和一些单位提出的预报任务，还成立了中国区域预警中心(Regional Warning Center-China, 简称RWCC)。太阳磁场研究作为太阳活动预报中的重要部分，团组对此也开展了许多研究，例如，他们提出了通过寻找太阳磁场二维孤立奇点的方法来分析太阳磁场拓扑结构(中国科学院国家天文台, 2009, 第320页)。

太阳射电研究团组于1999年正式成立，但北京天文台太阳射电研究则从1958年海南岛日环食联测就已经开始。1959年，射电天文组(1973年改为射电天文研究室)成立，王绶琯院士担任组长，下辖米波组、厘米波组和理论组。其中，厘米波组逐渐发展成以沙河站为基地的太阳射电天文观测研究小组(以下统称射电组)，先后于1964年和1970年研制出3.2厘米波段太阳射电望远镜和太阳10.7厘米波段射电望远镜系统，为太阳活动预报服务，并在之后的研究中继续向太阳物理研究靠拢(中国科学院国家天文台, 2009, 第133, 138-139页)。90年代开始，随着怀柔站太阳物理观测步入正轨，光学太阳观测工作逐渐向怀柔站集中。1990年，60厘米太阳望远镜从沙河搬至怀柔，1993年沙河站色球观测停止，1995年光球观测停止。1999年底，太阳射电观测设备整体迁至怀柔站，这标志着沙河站的太阳观测任务全部结束。同年，中国科学院开展知识创新工程，北京天文台成立太阳射电研究团组，颜毅华研究员担任首席科学家。他结合太阳磁场望远镜数据，提出了日冕磁场边界有限元无力场外推方法(Boundary Element Method, 简称BEM方法)，在国际上非常有代表性。2016年，明安图射电频谱日像仪(MingantU SpEctral Radioheliograph, 简称MUSER)投入使用，为研究耀斑和日冕物质抛射等太阳活动提供新的观测手段。

在应用研究与理论研究相配合的布局下，北京天文台（现为国家天文台）的太阳磁场研究不断推进，为中国乃至世界太阳物理的发展做出独特贡献。

## 第 6 章 结语

从 20 世纪 50 年代开始, 中国太阳物理学的发展就与国际合作密不可分。1958 年的中苏海南岛日环食联合观测为中国培养了一批太阳物理专业人才, 给后续研究奠定了基础。与此同时, 借助国际地球物理年的契机, 中国科学院从苏联引进了苏制色球望远镜, 这是北京天文台最早开展太阳观测的设备。在设备引进的同时, 中国科学院积极与国际科研机构交换科技资料, 使林元章等学者能够紧跟国际太阳物理研究趋势。他们敏锐地意识到, 太阳磁场研究正成为国际热点, 并由此推动了中国在该领域的起步。1967 年, 林元章等人成功实现中国首次太阳黑子强磁场测量, 标志着中国太阳磁场研究的开端。这一突破激励了更多学者投身该领域。艾国祥在吸收国际先进理论的基础上, 历经 18 年研制出具备世界先进水平的太阳磁场望远镜, 不仅提升了中国的观测能力, 还吸引了全球太阳物理机构的合作请求。以此为核心, 怀柔太阳观测基地逐渐形成, 成为中国太阳物理应用研究的重要阵地。同时, 国际交流还为理论研究提供了契机。汪景琇等学者借助合作机会出国访问, 深入接触国际前沿的太阳磁活动理论, 回国后组建了太阳磁活动研究组, 进而又推动了中国太阳磁场理论研究的发展。

最终, 北京天文台(现国家天文台)形成了以怀柔太阳观测基地的应用研究和太阳磁活动研究组的理论研究为双核心的太阳磁场研究格局。这一发展历程清晰地表明, 国际交流与合作不仅为中国太阳物理研究提供了设备、技术和人才支持, 更帮助中国学者把握学科方向, 最终实现从跟跑到并跑、甚至领跑的跨越。

纵观北京天文台太阳磁场研究起步和发展的过程, 我们能从中总结出对中国科技发展的启示。

其一, 天文学科的发展高度依赖于观测设备, 没有先进的观测设备, 天文学科很难取得突破。但观测设备的研制过程却缓慢而艰难, 一台主流观测设备从概念提出到研制成功, 往往需要耗时十年甚至二十年以上。以太阳磁场望远镜为例, 从 1966 年提出想法, 到 1986 年正式投入使用, 前后历经二十年的时间, 而其它大型天文观测设备也基本大同小异。因此, 天文学科的发展往往需要进行前瞻性布局, 否则很难在短时间内实现技术追赶。

其二, 基础研究的发展依赖于国际合作, 没有国际合作, 则难以实现突破。传统观点认为, 20 世纪 60-70 年代的中国科技处于封闭状态, 但太阳磁场望远镜的研制历程却展现出另一幅图景: 其概念想法切中热点, 科学目标紧扣前沿, 立项依据参考国际成果, 技术路线借鉴国外论文, 关键部件如电视-计算机系统采自国外厂商, 建成后更是迅速参与国际联测, 并获得了国际专家的一致好评, 最终促使双折射滤光器等核心部件远销海外。这一案例深刻说明, 即使宏观环境相对封闭, 保持微观层面的国际交流对科研攻关仍具有不可替代的价值。

在当今越来越复杂的国际环境下, 重新认识北京天文台 35 厘米太阳磁场望

望远镜的研制过程以及它背后代表的北京天文台太阳磁场研究发展历程，无论对于纪念老一代天文学家自强自立，顽强拼搏的精神，还是展望中国天文的下一个时代，无疑都具有重要意义。

## 参考文献

- 丁有济, 宣家余, 吴铭蟾, 等, 1979. 太阳天文三十年[J/OL]. 云南天文台台刊(02): 12-21. DOI: 10.14005/j.cnki.issn1672-7673.1979.02.003.
- 中国科学院云南天文台, 1974. 1972年8月太阳活动区的形态研究——黑子精细结构的形态[J/OL]. 天文学报(01): 25-33. DOI: 10.15940/j.cnki.0001-5245.1974.01.003.
- 中国科学院佘山观象台, 1953. 佘山观象台太阳观测报告[J]. 天文学报(01): 149-168.
- 中国科学院佘山观象台, 1956. 库卡金教授呈中国科学院关于中国天文学的报告[A]. 北京: 中国科学院档案馆: D154-104.
- 中国科学院北京天文台, 1964. 关于北京天文台修复太阳色球望远镜中有关问题的请示[A]. 北京: 国家天文台综合档案室: A017-00055-010.
- 中国科学院北京天文台, 1965. 检修太阳色球望远镜滤光器的请示[A]. 北京: 国家天文台综合档案室: A017-00055-008.
- 中国科学院北京天文台, 1966a. 北京天文台关于太阳活动预报工作八年的初步总结[A]. 北京: 国家天文台综合档案室: A017-00130-001.
- 中国科学院北京天文台, 1966b. 北京天文台向中国人民解放军京字 116 部队和数学所提出任务协作[A]. 北京: 国家天文台综合档案室: A017-00089-017.
- 中国科学院北京天文台, 1970. 关于批准研制磁场望远镜任务及组织任务协作者事[A]. 北京: 国家天文台档案馆: A017-00992-003.
- 中国科学院北京天文台, 1971. 北京天文台与国外科技资料交换情况报告[A]. 北京: 国家天文台综合档案室: A017-00094-028.
- 中国科学院北京天文台, 1972a. 太阳磁场望远镜方案[A]. 北京: 国家天文台综合档案室: A017-00992-005.
- 中国科学院北京天文台, 1972b. 关于磁场望远镜方案讨论及今后工作意见的汇报[A]. 北京: 国家天文台综合档案室: A017-00992-004.
- 中国科学院北京天文台, 1973a. 关于落实“研制太阳磁场望远镜电视接收系统”的报告[A]. 北京: 国家天文台综合档案室: A017-00992-007.
- 中国科学院北京天文台, 1973b. 落实太阳磁场望远镜高压电源[A]. 北京: 国家天文台综合档案室: A017-00109-003.
- 中国科学院北京天文台, 1973c. 请落实磁杨望远镜用高压电源研制事[A]. 北京: 国家天文台综合档案室: A017-00992-021.
- 中国科学院北京天文台, 1973d. 太阳磁场望远镜讨论情况报告[A]. 北京: 国家天文台综合档案室: A017-00109-004.
- 中国科学院北京天文台, 1973e. 关于同意太阳磁场望远镜电视接收系统研制任务协作事[A]. 北京: 国家天文台综合档案室: A017-00992-006.
- 中国科学院北京天文台, 1973f. 关于落实“太阳磁场望远镜电视接收系统”的报告[A]. 北京: 国家天文台综合档案室: A017-00992-007.
- 中国科学院北京天文台, 1974. 太阳磁场望远镜电视接收系统任务概要(草案)[A]. 北京: 国家天文台综合档案室: A017-00992-010.
- 中国科学院北京天文台, 1975. 选址工作总结[A]. 北京: 国家天文台综合档案室: A017-01172-009.
- 中国科学院北京天文台, 1983. 镀膜加工协议[A]. 北京: 国家天文台综合档案室: A017-00992-024.

- 中国科学院北京天文台, 1984. 计算机改型申请报告[A]. 北京: 国家天文台综合档案室: A017-00992-020.
- 中国科学院北京天文台, 1986a. 关于建立天文数据库的报告[A]. 北京: 国家天文台综合档案室: A017-00294-018.
- 中国科学院北京天文台, 1986b. 太阳磁场望远镜光学系统[A]. 北京: 国家天文台综合档案室: A017-00991-015.
- 中国科学院北京天文台, 1986c. 太阳磁场望远镜的研制[A]. 北京: 国家天文台综合档案室: A017-00991-006.
- 中国科学院北京天文台, 1989a. 两维实时太阳磁场和速度场数据接收与图像处理系统总报告 [A]. 北京: 国家天文台综合档案室: A017-00774-007.
- 中国科学院北京天文台, 1989b. 两维实时太阳磁场和速度场数据接收与图像处理系统国外同行评价与国际合作[A]. 北京: 国家天文台综合档案室: A017-00774-012.
- 中国科学院国家天文台, 2009. 中国科学院北京天文台台史 (1958-2001) [M]. 北京: 中国科学技术出版社: 1-3,23,25-26,42-43,170-176,184,182-184,320.
- 中国科学院紫金山天文台, 1959. 1958年太阳黑子年度观测报告[J/OL]. 天文学报(01): 56-98. DOI: [10.15940/j.cnki.0001-5245.1959.01.011](https://doi.org/10.15940/j.cnki.0001-5245.1959.01.011).
- 储姗姗, 2016. 1958年中苏联合海南岛日食观测与中国射电天文学的开端[J]. 中国科技史杂志, 37(03): 284-295.
- 刘振兴, 王绶琯, 2003. 20世纪中国学术大典[M]. 福建: 福建教育出版社.
- 刘睿, 陈耀, 邓元勇, 等, 2019. 中国太阳物理学研究进展[J]. 科学通报, 64(19): 2011-2024.
- 北京天文台怀柔太阳观测站, 1989. 两维实时太阳磁场与速度场接收与图像处理系统——(一——技术调研与总体设计介绍) [A]. 北京: 国家天文台综合档案室: A017-00774-008.
- 史忠先, 艾国祥, 陈传乐, 等, 1976. 沙河、兴隆、怀柔太阳光学观测的候选台址的比较[J/OL]. 天文学报(02): 193-202. DOI: [10.15940/j.cnki.0001-5245.1976.02.009](https://doi.org/10.15940/j.cnki.0001-5245.1976.02.009).
- 孔寒冰, 2003. 并非一方选择的结果——论新中国初期“一边倒”外交政策的产生[J]. 俄罗斯研究(03): 81-87.
- 宁晓玉, 2021. “任务带学科”模式下的授时工作——以综合世界时系统的建立为中心[J]. 中国科技史杂志, 42(02): 246-256.
- 宣家余, 顾啸马, 李伯殊, 1980. 40cm水平式太阳光谱仪调试和性能测定[J/OL]. 云南天文台台刊(02): 74-81. DOI: [10.14005/j.cnki.issn1672-7673.1980.02.007](https://doi.org/10.14005/j.cnki.issn1672-7673.1980.02.007).
- 尤建圻, 许胤林, 赵定理, 等, 1962. 紫金山天文台的太阳光谱仪[J/OL]. 天文学报(01): 34-38. DOI: [10.15940/j.cnki.0001-5245.1962.01.005](https://doi.org/10.15940/j.cnki.0001-5245.1962.01.005).
- 张久春, 张柏春, 2019. 规划科学技术: 《1956-1967年科学技术发展远景规划》的制定与实施 [J/OL]. 中国科学院院刊, 34(09): 982-991. DOI: [10.16418/j.issn.1000-3045.2019.09.003](https://doi.org/10.16418/j.issn.1000-3045.2019.09.003).
- 张九辰, 王作跃, 2009. 首次国际地球物理年与一个中国的原则[J]. 科学文化评论, 6(06): 69-81.
- 张柏春, 张久春, 姚芳, 2004. 苏联技术向中国转移的特点及其影响[J/OL]. 科学学研究(03): 278-283. DOI: [10.16192/j.cnki.1003-2053.2004.03.011](https://doi.org/10.16192/j.cnki.1003-2053.2004.03.011).
- 张筑文, 1980. 太阳磁象仪[J]. 云南天文台台刊, 1.
- 张静, 2019. 新中国学习外国科技的转向 (1956—1966)[J]. 中共党史研究(9): 28-39.
- 张遠良, 郝巧秀, 1958. 1957年佘山觀象台太陽幅射熱觀測報告[J/OL]. 天文学报(01): 119-124. DOI: [10.15940/j.cnki.0001-5245.1958.01.011](https://doi.org/10.15940/j.cnki.0001-5245.1958.01.011).
- 方成, 1989. 太阳物理前沿的新进展[J]. 天文学进展, 4.
- 李挺, 毛伟军, 陆海天, 等, 2001. 中国出口双折射滤光器[J]. 天文学进展(03): 331-335.
- 杨还, 胡岳风, 艾国祥, 1984. 高精度双折射晶体定轴测厚仪[J]. 仪器仪表学报(4): 85-90.

- 江晓原, 吴燕, 2004. 紫金山天文台史[M]. 保定: 河北大学出版社: 101-128,156-177.
- 汪景琇, 1998. 太阳物理研究进展[J]. 物理(11): 15-23.
- 王建民, 钱忠钰, 艾国祥, 等, 1977. 沙河、兴隆、怀柔太阳光学观测候选台址的比较(二)——近地面层大气温度脉动观测[J/OL]. 天文学报(02): 182-191+275. DOI: [10.15940/j.cnki.0001-5245.1977.02.004](https://doi.org/10.15940/j.cnki.0001-5245.1977.02.004).
- 王朝祥, 1996. 六十年代初期调整科技政策、发展科技事业的决策与措施[J]. 党的文献(01): 37-42.
- 王钱国忠, 2012. 风云岁月: 传教士与徐家汇天文台[M]. 上海: 上海科学普及出版社: 103-105.
- 紫金山天文台太阳望远镜研制组, 1975. 400毫米水平式太阳望远镜和多波段摄谱仪[J/OL]. 天文学报(02): 225-228. DOI: [10.15940/j.cnki.0001-5245.1975.02.012](https://doi.org/10.15940/j.cnki.0001-5245.1975.02.012).
- 胡岳风, 艾国祥, 1980. 氧化锡透明导电膜的制备及其性能[J]. 光学技术(01): 17-21.
- 胡维佳, 2003. 中国历次科技规划研究综述[J]. 自然科学史研究(S1): 61-69.
- 艾国祥, 胡岳风, 李挺, 等, 1984. 用于太阳向量磁场和视向速度场测量的双折射滤光器[J]. 中国科学(A辑数学物理学天文学技术科学)(06): 540-548.
- 艾国祥, 汲培文, 1993. 90年代的太阳物理学[J/OL]. 中国科学基金(01): 27-32. DOI: [10.16262/j.cnki.1000-8217.1993.01.005](https://doi.org/10.16262/j.cnki.1000-8217.1993.01.005).
- 艾国祥, 胡岳风, 1986. 太阳磁场望远镜的提出和工作原理[J]. 天文学报, 27(2): 173-180.
- 董光璧, 1997. 中国近现代科学技术史[M]. 长沙: 湖南教育出版社: 821,824-825,832,835,838-839,861.
- 郭權世, 1955. 佘山觀象台的太陽分光儀[J/OL]. 天文学报(01): 117-120. DOI: [10.15940/j.cnki.0001-5245.1955.01.009](https://doi.org/10.15940/j.cnki.0001-5245.1955.01.009).
- 郭權世, 經嘉雲, 1958. 1957年6—12月太陽耀斑觀測報告[J/OL]. 天文学报(01): 115-118. DOI: [10.15940/j.cnki.0001-5245.1958.01.010](https://doi.org/10.15940/j.cnki.0001-5245.1958.01.010).
- 钱伟长, 叶叔华, 2014. 20世纪中国知名科学家学术成就概览·天文学卷[M]. 北京: 科学出版社: 27,136,213,218-219,370,398,505-509,529.
- 陈展云, 张远良, 曾骛珠, 等, 1957. 1956年太阳黑子年度观测报告[J/OL]. 天文学报(01): 125-142. DOI: [10.15940/j.cnki.0001-5245.1957.01.015](https://doi.org/10.15940/j.cnki.0001-5245.1957.01.015).
- 陈彪, 等, 1984. 中国的太阳观测与服务[J]. 天文学进展, 2.
- 颜毅华, 谭宝林, 2012. 太阳物理研究与发展[J]. 中国科学院院刊, 27(1): 59-66.
- BABCOCK H W, 1953. The solar magnetograph.[J]. Astrophysical Journal, vol. 118, p. 387, 118: 387.
- BECKERS J M, 1971. The measurement of solar magnetic fields[C]//Symposium-International Astronomical Union: Vol. 43. Cambridge University Press: 3-23.
- BECKERS J, 1968. High-resolution measurements of photosphere and sunspot velocity and magnetic fields using a narrow-band birefringent filter[J]. Solar Physics, 3: 258-268.
- BHATTACHARYYA J C, 1970. The solar magnetometer of kodaikanal observatory[J]. Kodaikanal Observatory Bulletin, Series A, 205: A203-A222.
- CARRINGTON R C, 1859. Description of a singular appearance seen in the sun on september 1, 1859[J]. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 20, p. 13-15, 20: 13-15.
- CIMINO M, 1967. Solar physics at the astronomical observatory of rome[J]. Solar Physics, Volume 2, Issue 3, pp. 375-380, 2: 375-380.
- COULMAN C, 1969. A quantitative treatment of solar 'seeing', i[J]. Solar Physics, 7: 122-143.
- ELLERY HALE G, 1979. On the probable existence of a magnetic field in sun-spots[M]//A Source Book in Astronomy and Astrophysics, 1900-1975. Harvard University Press: 96-105.
- EVANS J V, 1956. Sacramento peak observatory[J]. BLANK PAGE.

- GRIGORJEV V, 1969. Magnetic knots near a sunspot[J]. *Solar Physics*, 6: 67-71.
- HAGYARD M, CUMINGS N, WEST E, et al., 1982. The msfc vector magnetograph[J]. *Solar Physics*, 80: 33-51.
- HALE G E, 1929. The spectrohelioscope and its work[J]. *Astrophysical Journal*, vol. 70, p. 265, 70: 265.
- JANSSENS T J, 1973. Real time digital videomagnetograph at the aerospace san fernando solar observatory[C]//Developments in Electronic Imaging Techniques II: Vol. 32. SPIE: 123-128.
- KRAT V, 1968. Solar research at the pulkovo astronomical observatory[J]. *Solar Physics*, Volume 4, Issue 1, pp. 118-121, 4: 118-121.
- LEE R, RUST D, ZIRIN H, 1965. The solar magnetograph of the high altitude observatory[J]. *Applied Optics*, 4(9): 1081-1084.
- LEE R, HARVEY J, TANDBERG-HANSEN E, 1969. The improved solar magnetograph of the high altitude observatory[J]. *Applied Optics*, 8(11): 2370-2372.
- LIVINGSTON W, HARVEY J, SLAUGHTER C, 1971. The kitt peak magnetograph iii. automation and the 40-channel probe[C]//International Astronomical Union Colloquium: Vol. 11. Cambridge University Press: 52-56.
- LYOT B, MARSHALL R K, 1933. The study of the solar corona without an eclipse[J]. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, Vol. 27, p. 225, 27: 225.
- MAYFIELD E, 1971. The san fernando observatory, the aerospace corporation, el segundo, california. report 1969-1970.[C]//Bulletin of the Astronomical Society, Vol. 3, p. 180-182: Vol. 3. 180-182.
- MICHARD R, 1967. Solar physics at the 'observatoire de paris-meudon'[J]. *Solar Physics*, Volume 1, Issue 3-4, pp. 498-503, 1: 498-503.
- MOSHER J, 1976. The caltech videomagnetograph[J]. BBSO Preprint(0159).
- ON SCHOLARLY COMMUNICATION WITH THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA C, 1978. Exchange visit of the astronomy delegation to the people's republic of china[M]. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.
- SALANAVE L G, 1957. Observing at junipero serra peak[J]. *Sky and Telescope*, 16: 320.
- SMARTT R, STEEL W, 1959. Birefringence of quartz and calcite[J]. *Journal of the Optical Society of America*, 49(7): 710-712.
- STEPANOV V, SEVERNY A, 1962. A photoelectric method for measurements of the magnitude and direction of the solar magnetic field[J]. *Bull Crim Astrophys Obs*, 28: 166-193.
- SVESTKA Z, 1970. Solar research at the ondrejov observatory[J]. *Solar Physics*, Volume 12, Issue 2, pp. 332-340, 12: 332-340.
- VON KLÜBER H, 1968. The cambridge university solar research station in malta[J]. *Solar Physics*, Volume 4, Issue 4, pp. 479-488, 4: 479-488.
- WIEHR E, 1969. On polarimetry in solar active regions: I: The new locarno polarimeter; observing procedures[J]. *Solar Physics*, 9: 225-234.
- ZIRIN H, 1970. The big bear solar observatory[J]. *Sky and Telescope*, 39: 215.

## 致 谢

笔至此处，我的论文已基本完成。纵使它仍有诸多不足之处，却凝结了我三年来的心血与汗水。在这一段漫长而充实的旅途中，我经历了迷茫与坚持、挫折与成长。回首过往，有太多的感慨与感激，想要倾诉于笔端。

首先，我要向我的导师黎耕老师致以最诚挚的谢意。黎老师在我整个研究生阶段给予了我极大的支持与帮助。在我精神状态低落、工作进展缓慢的时候，老师从未放弃，始终以包容和耐心的态度引导我、鼓励我。老师严谨的治学精神、一丝不苟的科研态度和渊博的学识深深影响了我，也让我不断鞭策自己，努力向前。尤其是在我一次次遭遇挫折、陷入自我怀疑的时候，黎老师总能给予我中肯而客观的评价，使我逐渐恢复信心，继续精进研究。这份恩情，我将永远铭记于心。

我还要特别感谢我的第二导师杨尚斌老师。是杨老师把我引入了太阳物理的研究领域，让我有机会实际参与到太阳观测与数据分析的具体工作中。在怀柔太阳观测基地的一年多时间里，我参与了多次观测，也接触到了当今太阳物理研究中最前沿的仪器设备与成果。这段经历不仅极大地提升了我的科研能力，也让我对这个学科产生了更深的理解与热爱。

此外，得益于在怀柔开展观测工作，我还有幸接触到艾国祥院士、林元章先生和张洪起研究员等多位在太阳物理领域卓有成就的前辈专家。他们严谨务实的科研作风、广阔深远的学术视野以及对科学事业的执着追求让我深受启发、受益匪浅。在与他们的交流过程中，我增长了知识、开阔了眼界。在研究过程中，我还得到了许多老师和同学的热心帮助与支持，既包括怀柔太阳观测基地，也包括国家天文台综合档案室，他们无私分享经验、悉心解答问题，为我顺利完成学业提供了重要保障。在此，向所有给予我帮助的前辈与同伴表示由衷的感谢！

除了学业上的支持与帮助，我更要感谢在我求学路上陪伴我、鼓励我、启发我的朋友们。在重庆、威海和雁栖湖认识的各位朋友，正是你们的陪伴让我在压力之下仍能保持乐观心态、调整状态、保持生活的平衡。我们在微信里互相讨论问题，在饭店里交换八卦，在夜晚的校园里散步畅谈。那些温暖的日常，构成了我研究生生活中不可或缺的一部分。在你们身上，我学会了如何做一个坦率、真诚、乐于分享的人，也在彼此的激励中完成了自己的学业。愿我们都能在各自的道路上坚定前行，安好如初。

我还要深深感谢我的父母。是你们无条件的爱和支持，让我得以心无旁骛地追求学术梦想。在我遭遇困难、迷茫焦虑的时候，是你们始终如一地给予我鼓励和理解；在我取得一点小小成绩时，是你们比我还高兴、自豪。你们是我永远的后盾和港湾。我唯有更加努力，才不负你们多年来的付出与陪伴。希望你们身体健康，心情愉快，愿我今后的成长也能成为你们的骄傲。

最后，我想对自己说一句：辛苦了。三年来的坚持、努力与成长，只有自己

最清楚其中的甘苦。虽然这篇论文还不够完美，但它真实地记录了我三年的学习成果与思考过程，是我人生中一段重要旅程的见证。愿此为新起点，在今后的道路上继续努力，不忘初心，砥砺前行。

再次感谢所有给予我帮助、支持与陪伴的人！

2025年5月

## 作者简历及攻读学位期间发表的学术论文与其他相关学术成果

### 作者简历:

2018年9月——2022年6月,在山东大学空间科学与物理学院获得学士学位。

2022年9月——2025年6月,在中国科学院国家天文台攻读硕士学位。

### 已发表(或正式接受)的学术论文:

- (1) 钟云毅,黎耕,杨尚斌,2025.北京天文台35厘米太阳磁场望远镜的研制过程及其启示[J],中国科技史杂志(已录用).

国家天文台 YANG Xiao 2026-04-23 10:27:49  
中国科学院国家天文台 YANG Xiao 2026-04-23 10:27:49

国家天文台 YANG Xiao 2026-04-23 10:27:49  
中国科学院国家天文台 YANG Xiao 2026-04-23 10:27:49