



21世纪

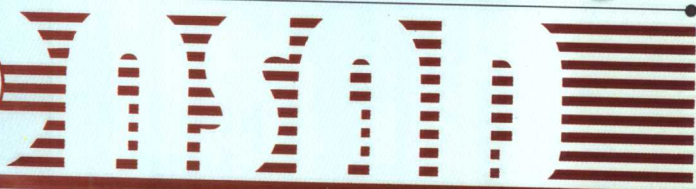
天文学

中国科学院数学学部天文学科发展战略研究组



山东教育出版社

21世纪 天文学



● 中国科学院数学部天文学科发展战略研究组



35
144

山东教育出版社

66211

图书在版编目 (CIP) 数据

21 世纪天文学/《21 世纪天文学》编写组编著. — 济南: 山东教育出版社, 2002

ISBN 7—5328—3564—2

I. 2... II. 2... III. 天文学—远景—研究报告
IV. P1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 029660 号

21 世纪天文学

中国科学院数学学部天文学科发展战略研究组

出 版 者: 山东教育出版社

(济南市纬一路 321 号 邮编: 250001)

电 话: (0531) 2092663 传真: (0531) 2092661

网 址: <http://www.sjs.com.cn>

发 行 者: 山东教育出版社

印 刷: 山东新华印刷厂潍坊厂

版 次: 2003 年 12 月第 1 版

2003 年 12 月第 1 次印刷

印 数: 1—2000

规 格: 787mm×1092mm 16 开本

印 张: 7 印张

插 页: 3 插页

字 数: 102 千字

书 号: ISBN 7—5328—3564—2

定 价: 38.00 元

(如印装质量有问题, 请与印刷厂联系调换)

前 言

受国家自然科学基金委员会的委托，1999 年中国科学院数理学部要求组织部分院士和专家对我国天文学科未来 10 至 15 年的发展战略提出咨询报告。正在这个时候，国家科技部委托国家自然科学基金委员会数理科学部组织成立了天文学学科发展与优先领域专题调研组，由方成院士任组长，成员包括：苏洪钧研究员、胡景耀研究员、邹振隆研究员、李东明研究员、蒋栋荣研究员、扬戟研究员和汲培文高工。调研组于 1999 年 8 月开始工作，并作了分工：太阳和太阳系部分由方成执笔，恒星、星际介质和银河系部分由胡景耀、扬戟执笔，星系和宇宙部分由邹振隆执笔，基本天文学部分由李东明执笔，天文技术和方法部分由蒋栋荣、胡景耀执笔，正文报告由方成负责、苏洪钧和汲培文协助撰写。调研组写出初稿后，广泛征求了全国天文界部分专家的意见，并作了必要的修改。在此基础上，调研组于 2000 年元月完成了调研报告。2001 年上半年，按照中国科学院学部主席团的工作布署，根据学部咨询评议工作委员会的要求，数理学部组织了天文学科发展战略调研组，由方成院士牵头，以这个调研报告为基础，请原调查组成员对原稿又作了进一步的修改，特别是根据最近一年来天文学科的最新发展，补充了新的材料和分析，最后形成了一个报告。根据中国科学院数理学部的意见，以这一报告为基础，从面向社会更广大科技工作者、特别是青少年出发，2001 年底和 2002 年初又作了一次修改和补充，特别是增加了一些彩图，使内容更丰富和生动，最后写出了这本小册子。它包括正文部分和附录部分，后者给出了太阳和太阳系，恒星、星际介质和银河系，星系和宇宙，基本天文学以及天文技术和方法等五个分学科的介绍。我们希望这本小册子不仅可以供有关领导部门参考，而且也可以为广大天文工作者、特别是年轻人提供了解国内外天文学科现状和未来发展方向的窗口，引起大家对我国天文学科

发展战略的深入思考和讨论。

应当指出，这个小册子不仅反映了参与撰写报告的专家的观点和意见，而且凝聚了许多天文界同仁的真知灼见和思想。我们在此对所有参与讨论、发表意见和修改完善的同仁表示衷心的感谢！报告难免还有一些不尽如人意、不够完善的地方，恳请读者批评指正。

中国科学院数学学部天文学科发展战略研究组

2002年5月20日

目 录

前 言	1
21 世纪天文学	1
一、天文学的地位和重大意义	5
1. 人类认识宇宙的第二次飞跃中的带头学科	5
2. 有力地促进其他自然科学的发展	6
3. 对技术进步有巨大推动作用	6
4. 同研究地球和空间环境息息相关	6
5. 在全民素质教育中有不可替代的作用	7
二、国外天文学研究的特点、趋势和前沿	7
1. 20 世纪天文学的突出成就	7
2. 当代天文学发展的特点和趋势	8
三、国内天文学研究的现状、优势和特色	18
1. 研究现状	18
2. 优势、特色和差距	19
3. 国家在天文学领域的相关计划和经费投入	20
四、未来我国天文学发展建议	21
1. 发展目标	21
2. 重要研究方向和前沿	22
3. “十五”期间优先发展领域	24
五、政策措施建议	25
1. 必须使全国规划成为规范我国天文学发展的国家 行为	25
2. 建设新一代设备, 发挥现有设备作用	25
3. 大力培养人才, 加快实现科技队伍的新老更迭	26
4. 大力发展和加强高校的天文研究力量	26
5. 大力推进国际交流与合作	26

6. 重视学科交叉，发挥集团优势	27
附录 1 太阳和太阳系	29
附录 2 恒星、星际介质和银河系	51
附录 3 星系和宇宙	65
附录 4 基本天文学在天文学中的地位 和作用	79
附录 5 天文技术和方法	91



21 世纪天文学

摘要

天文学是研究宇宙中天体和天体系统的形成、结构、活动和演化的科学。它是当代推动社会进步和高科技发展的最活跃的前沿学科之一。天文学研究具有重大科学和应用意义：它是人类认识宇宙的第二次飞跃中的带头学科；它有力地促进其他自然科学的发展；它对技术进步有巨大推动作用，因为近代天文研究追求极微弱讯号的探测、极高的空间和时间分辨率、极精确的空间定位和极精密的计时等；天文学研究与地球和空间环境息息相关：太阳辐射的剧烈变化会造成无线电通讯中断和人造卫星损坏、变轨等重大灾害。卫星监测、空间碎片研究，以及自主的时间服务系统为国家和航天器的安全提供保障。地球自转的变化可能会对全球气候产生影响等；天文学对于提高全民族素质、培养创新精神和科学的思维方法，树立辩证唯物主义认识论和世界观，也有着十分重大的作用。

20 世纪天文学研究成就突出地表现为两个方面：第一，建立了恒星的内部结构与演化，以及宇宙大爆炸标准模型两大理论框架。第二，使天文学再度成为新现象、新思想、新概念的源泉。

当代天文学发展的最显著特点是观测手段的迅速发展和全波段研究的开拓。国际上天文学的发展重点是：追求更高的空间、时间和光谱分辨率；追求更大的集光本领和更大的视场，以进行更深的宇宙探测；实现全波段的探测和研究；建立资料更完善、使用更方便的向全世界开放的数据库。

研究方面，国际上天文学的主流是天体物理学，研究的重点是天体和天体系统的活动和演化。对太阳的研究，除日震学外，集中在对日地空间和人类活动有重大影响的太阳活动研究以及对太阳基本磁元的研究；对太阳系的研究十分活跃。登陆行星甚至小行星的人造卫星计划已经实现；在恒星层次，最活跃的领域是恒星早期和晚期演化的研究，包括分子云和恒星形成，超新星、中子星、脉冲星等致密星的研究。密近双星、恒星内部结构、对流和演化的研究也是一些前沿热点；在星系和宇宙层次，星系的形成和演化以及宇宙的结构和起源已成为最重要的研究领域。类星体和活动星系核成为热门研究课题。 γ 暴的研究更趋热化。暗物质的本质和来源成为宇宙学研究中



的一大难题；在基本天文学方面，太阳系天体动力学是活跃的方向之一。非线性天体力学和天文地球动力学也有重要进展。天力、天测与其他学科之间相互渗透成为新的发展方向；卫星动力学以及亚毫米级和微角秒级的天体测量已成为新的研究热点和前沿。

改革开放以来，我国天文学研究有了长足的发展，逐步形成了从人才培养、仪器设备研制、观测和理论应用到应用服务的较完整的体系。我国天文学研究的总体水平在发展中国家中位居前茅，在国际上已成为一支不可忽视的力量。我国的实测基础初步形成；科技队伍成长起来，形成了一批优秀的研究群体；利用我国的观测设备取得了成批的天文发现，并取得了一批国际上有显示度的重要成果。同世界先进水平相比，差距仍然很大：我国只有中小型观测设备，天文卫星一颗也没有；天文研究经费相当有限；拔尖的年轻学科带头人不足；国际上有重要影响的成果仍很少。

到 2015 年我国天文学的发展目标是：充分发挥我国观测仪器的特色和地域优势，使用国外的先进设备和开放的观测资料，合理选题，努力创新，加强理论研究工作，提高研究水平；突出重点，建成若干个大型地面和空间天文观测设备；在重点大学中大力发展天文教育和研究，积极培养优秀人才；使我国天文学在设备和研究队伍的整体水平上缩小与先进国家的差距，在若干有一定优势的前沿领域中做出有重大国际影响的工作，在国际上占有重要的一席之地。

重要研究方向和前沿是：

在太阳研究方面，主要研究太阳活动及其对日地空间环境和人类社会的影响，也要重视对太阳表面和太阳基本磁元的研究。在行星科学研究方面，主要研究大行星（及其卫星和环系）、小行星和彗星的性质和动力学演化，还致力于搜寻近地小行星和日外行星系统，并研究其特性。

在恒星层次，应重点研究：分子云和恒星形成；恒星结构、演化和脉动；超新星及其产物与前身星；致密星及其相关的爆发现象；恒星化学丰度。在星系和宇宙层次，应集中研究星系的形成、活动和演化。主要有：正常星系（包括银河系）结构和演化；活动星系核和活动星系；星系团结构和动力学；宇宙大尺度结构样本和理论；宇宙早期物理过程和宇宙学。

在基本天文学方面,重点研究:非线性天体力学和外太阳系及近地天体动力学,大天体自转动力学;空间目标监测和卫星动力学;地球自转变化监测及其动力学;新一代授时方法和手段。在天文技术和方法方面,重点研究大型望远镜和空间探测所需要的技术和方法。继续积极开展我国古天文和古历法的研究。

建议我国“十五”期间天文学优先发展领域为:

(1) 太阳活动三维结构和演化及其对环境的影响,太阳大气磁元和精细结构;

(2) 分子云结构和坍缩,年轻星的活动,以及恒星系统的形成;

(3) 超新星和致密星;

(4) 变星和恒星结构、脉动和演化;

(5) 恒星和恒星系统基本参数的测定,银河系结构与动力学;

(6) 活动星系核、活动星系及其环境,星系团结构和动力学;

(7) 宇宙大尺度结构和早期物理过程,星系红移大样本;

(8) 地球自转变化与地球各圈层物质运动的监测及其动力学;

(9) 非线性天体力学和外太阳系及近地天体(包括空间目标)监测及其动力学;

(10) 新一代地面和空间天文技术和方法。

建议采取以下主要措施:

1. 建设新一代设备,发挥现有设备作用

应确保大科学工程《大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜》(LAMOST)按期按质建成;大力推进空间天文研究,争取发射我国第一颗天文卫星和若干天文小卫星;在充分论证的基础上,再上一个地面大科学工程;充分发挥有优势的仪器和望远镜的作用;为南方观测基地和紫金山天文台盱眙观测站配备必要的中、小型设备;条件具备时,建立一个卫星动力学实测基地;重视和积极进行青藏高原优秀天文台址的选址工作。

2. 大力培养人才,加快实现科技队伍的新老更迭

要花大力气培养年轻人才,特别是优秀的“将”才和“帅”才。为此,要大力支持科学院和高校的联合,重点给予北京天体物理中心、华东天文和



天体物理中心和天文地球动力学研究中心以稳定的支持；要在择优遴选的基础上，重点支持一批优秀的研究群体；要积极鼓励多种形式的人才交流，注意老中青结合；要加强对自由探索研究的支持力度；要大力改善工作条件，减少行政杂事，确保年轻人把主要精力用于科研等。

3. 大力推进国际交流与合作

应积极支持利用国际上重要的天文观测设备和卫星资料；参加重要的国际联测；用较少的投资参与国际上大型天文观测设备的建设，以分享观测时间和特优台址资源；通过派出去和请进来，有成效地培养人才。应较大幅度地增加国际交流和合作的经费。

一、天文学的地位和重大意义

天文学是研究宇宙中天体和天体系统的形成、结构、活动和演化的科学。它也研究如何利用关于天体的知识来造福人类。探索天体演化是人类认识自然规律中的最根本的问题之一。天文学与其他科学技术相互影响、相互促进，它与我们的生存环境息息相关，它在提高全民族的文化素质、培养科技人才和树立正确的世界观等方面有着不可替代的作用。天文学是当代推动高科技发展和社会进步的最活跃的因素之一，是当代最活跃的前沿学科之一。

1. 人类认识宇宙的第二次飞跃中的带头学科

16 世纪、17 世纪，人类认识宇宙发生了第一次飞跃，天文学取得了划时代的进展：哥白尼日心说的提出，望远镜的发明以及牛顿力学的创立，促进了自然科学的革命，推动了数学和力学的发展。20 世纪中叶以来，随着射电、光学和空间天文观测技术的突飞猛进，天文学特别是天体物理学发生了革命性变革。人们可以科学地研究从基本粒子、元素起源、宇宙中分子的形成和生命起源，到行星系统、恒星、星系以至整个宇宙的起源和演化。激动人心的发现不断涌现，新认识、新理论层出不穷，天文学空前地活跃起来，成为自然科学中最活跃的前沿学科之一，在人类认识宇宙的第二次飞跃

中成为无可争辩的主角和带头学科。

2. 有力地促进其他自然科学的发展

天文学曾对数学和力学的发展起了奠基性的作用。天文学和物理学的结合产生了天体物理学，成为当代天文学的主流。宇宙中星际分子和有机分子的发现，以及地外生命的探索开创了天体化学和天体生物学的研究，并成为生命起源研究的重要领域。天文学同地球物理学和地学的密切结合，开辟了空间天气学和天文地球动力学等交叉学科的新天地。天文学是空间科学的先驱，又是它不可缺少的内容和依托。因此，天文学和自然科学的几乎所有学科互相渗透、互相促进，成为整个自然科学中不可缺少的重要学科。

宇宙广袤浩瀚、变化万千。宇宙中空间和时间尺度跨度达 60 个量级，能量尺度超过 30 个量级。宇宙间存在着地面实验室无法达到的超大尺度、超大质量、超高速、超高（低）密度、超高（低）温、超高压、超真空和超强磁场等极端物理条件。对宇宙的研究必将大大丰富和深化人类对自然规律的认识，推动人类认识论和世界观的发展。

3. 对技术进步有巨大推动作用

天文学是观测科学。观测手段、技术和方法的改进常是天文发现和重大突破的先导。天文学研究反过来又常会对技术进步产生重大的影响。历史上牛顿运动定律的发现、核聚变概念的发展，以及恒星大气辐射转移理论的完善，都对近代科学技术的发展起过重大的作用。由于现代天文观测和研究追求极微弱讯号的探测、极高的空间和时间分辨率、极精确的空间导向和定位以及极精密的计时等，因而在天文学研究中发展起来的天文技术、方法和新概念对技术进步无疑有着巨大的推动作用。

4. 同研究地球和空间环境息息相关

当代地球和空间环境的保护和利用这一重大问题与人类生存和社会发展密切相关。它涉及到全球气候变化研究，大气臭氧层保护，厄尔尼诺现象、地震和旱涝的预测，以至于小行星撞击地球的监测等。太阳辐射的剧烈变化还会造成无线电通讯中断、电力系统故障、人造卫星损坏和变轨，以及威胁宇航员安全等重大灾害。卫星的监测、空间碎片的研究，以及自主的时间服务系统可以为国家安全和航天器的安全提供保障。所有这些，无一不同天文



学的研究息息相关。

地球是太阳系行星中最重要的一颗。它的大气、海洋、地壳变形、地核较差自转等多种因素及其对天文因素的响应也影响到人类居住的环境。这些问题需要天文学和地球科学的交叉研究，对于人类认识和预测地球环境变化有重大意义。

5. 在全民素质教育中有不可替代的作用

宇宙丰富多彩、充满魅力，自古以来就吸引了人类极大的兴趣和关注。以研究宇宙为根本任务的天文学自然就成为传播科学知识和科学思想方法最积极而有效的学科之一。天文学的每一项重大成就都大大地丰富了人类的知识宝库，给愚昧和迷信以沉重打击。哥白尼的日心学说把自然科学从神学中解放出来，开创了人类思想史上第一次伟大的革命，就是最好的例证。

培养数以亿计的高素质的劳动者和数以千万计的专门人才，对 21 世纪我国社会和经济的发展有重大战略意义。天文学在提高全民族素质的历史性任务中无疑有着不可替代的作用。天文学不仅可以培养人们强烈的求知愿望、勇于创新的精神和科学的思维方法，而且可以帮助人们认识人类在自然界和宇宙中的地位，树立起辩证唯物主义的认识论和正确的世界观。

二、国外天文学研究的特点、趋势和前沿

1. 20 世纪天文学的突出成就

20 世纪人类在探索宇宙奥秘的漫长道路上取得了辉煌的成就。从学科发展的全局来看，这些成就突出地表现为两个方面：

第一，建立了两大理论框架。它们是：（1）恒星的内部结构与演化。这一理论框架令人惊叹地指出了作为天体最基本单元的恒星在形成之后，如何简单地只要用两个初始参量，即质量和化学丰度，便可决定它一生演化的主要特征，并获得观测上的验证。（2）宇宙大爆炸标准模型。这一理论框架描述了作为自然界最大物质系统的宇宙的起源、演化和未来的命运，并为一切物质包括基本粒子、原子和分子的产生和形成提供统一的科学图像，受到越来越丰富的观测的支持。

第二，使天文学再度成为新现象、新思想和新概念的源泉。宇宙作为自

自然界天然的实验室，由于它时空的广延、对象的多样、条件的极端、系统的复杂和过程的激烈，从而成为不竭的知识源泉。随着探测能力的进步，在人类永无止境的探索宇宙发展规律的进程中，新发现不断涌现。60年代以来，类星体、脉冲星、星际有机分子、宇宙伽玛暴、引力波、引力透镜、视超光速等的发现，有力地刺激并推动了天文学自身及相关学科的发展。

天文学的这两方面的成就是相互补充的：理论框架的建立，不是认识的终结，相反，它为更深刻地了解新发现确立了新的高度；而新发现又反过来丰富、发展乃至推翻旧的理论体系，促使在新的水平上创立新的理论体系。

2. 当代天文学发展的特点和趋势

当代天文学发展的最显著特点是观测手段的迅速发展和全波段研究的开拓。近十年来一系列大型的先进设备相继投入使用，包括口径10米级的光学望远镜[美国 Keck (2×10 米)，西欧 VLT (4×8 米)，美—意—英 Gemini (2×8 米)，日本 (8 米) 等]，口径2.4米的哈勃空间望远镜，高灵敏和高空间分辨率的空间紫外、红外、X射线和 γ 射线望远镜，地面和空间长基线射电望远镜等。这些设备的使用使各波段的空间分辨率和探测能力都有量级的提高，从而使各波段的观测资料第一次得到匹配，开创了天文学全波段研究的崭新纪元。

在探测手段和能力方面，当前国际上天文学的发展重点是：

(1) 追求更高的空间、时间和光谱分辨率。新一代地基和空间观测设备(如光干涉阵 GIAL)将使光学观测的空间分辨率达亚角秒级。空间甚长基线(VLBI)设备将使射电波段的空间分辨率提高一个量级。空间天文观测将成为天文学探测的主要手段。月基天文台的建造将成为现实。

(2) 追求更大的集光本领和更大的视场，以进行更深的宇宙探测。十余架已完成或即将完成的10米级新一代光学/红外望远镜，以1平方千米接收面积目标的巨型射电望远镜计划，以及正在研讨的25米~100米级巨型光学望远镜计划(美国已正式计划研制一架口径30米的光学/红外望远镜)都是这方面的重要努力。

(3) 实现全波段的探测和研究。重点集中在毫米波、亚毫米波、红外以及高能X射线和 γ 射线探测方面。除了10米级光学/红外望远镜和新的



VLBI 射电阵以外, 已发射的各类天文卫星, 如 ASCA、ROSAT、ISO、CGRO、COBE、SOHO、哈勃空间望远镜以及最近耗资 15 亿美元发射的钱德拉卫星, 都取得了许多令人振奋的成果。世纪之交将运行的新一代卫星, 如 X 射线卫星 XMM、ASTRO-E、红外卫星 SIRTIF、FIRST, γ 射线卫星 INTEGRAL, 以及空间 VLBI 等, 在性能上都有很大的提高。所有这些将使天文学的研究跨上一个新的台阶。

(4) 建立资料更完善、使用更方便的数据库。它们向全世界开放, 以使大量的天文实测资料得到更有效的利用。美国 NASA 正在建立和完善的 SS-DS (空间科学资料系统) 就是一个最新的努力。

在研究内容方面, 当前天文学的主流是天体物理学, 研究的重点是天体和天体系统的活动和演化。在可预见的将来, 天文学所面对的根本问题是: A. 宇宙如何开始? 如何演化到目前的状态? 宇宙的归宿是什么? B. 星系如何形成和演化? C. 恒星如何形成和演化 (特别是晚期演化)? D. 行星和行星系统如何形成和演化? E. 宇宙中有无生命? 具体地说, 有以下一些方面:

(1) 太阳和太阳系

对太阳的研究, 除了建立全球观测网和利用空间探测器对日震学开展深入研究外, 突出地集中在两个方面: 一是对日地空间和人类活动有重大影响的太阳活动 (主要是耀斑和日冕物质抛射) 研究。这些研究越来越紧密地同空间物理、地球物理的研究相交叉。空间天气学的蓬勃发展就是最好的例证。二是对太阳表面和太阳活动的基本磁元 (磁纤维) 及其基本物理过程的高分辨率观测和研究。主要内容是:

① 日震学和太阳内部结构

太阳振荡和中微子探测是诊断太阳内部物理状态的两个强有力的互补手段。近年来, 声波振荡 (P 模) 频率的测量精度已达 10^{-4} 。目前理论计算的声波频率和观测的差别已降低到 1/1 000。根据 P 模振荡观测反演太阳内部物理状态的方法有了许多发展。对于太阳半径 0.4 以内的区域, 只有用重力模 (g 模) 才能进行研究。从观测上探测 g 模仍然是一个亟待解决的问题。太阳中微子探测的最新结果再次证实了高能中微子的亏损问题。但是,

主要由 P—P 核反应产生的低能中微子是否有同样亏损是更为重要的问题。目前正用镓来探测低能中微子。如果观测最终证实也同样存在低能中微子亏损,则必须找出恰当的解释。中微子振荡是一种可能的解释。近年发展了由日震学测量来探测太阳背面黑子和耀斑的方法。最近利用日震学方法首次得到了光球下黑子区的动力学结构,取得了突破性进展。

② 耀斑物理

耀斑是由多个磁环组成的系统。磁环之间的相互作用,主要通过磁场重联,可触发耀斑。耀斑的能量主要来自环系内部的磁场。能量的储存则大多来自光球的运动。已提出了若干个理论模型,包括以暗条电流为基础的、由暗条爆发产生双带耀斑的物理模型。最近的数值模拟结果给出了磁重联产生耀斑的详细图像,并提出了耀斑的统一模型。

近年来对耀斑动力学过程的研究已成为一个热点。耀斑能量的释放会产生粒子加速、激波、热传导波前和物质运动等动力学现象。如何解释不同能量的粒子几乎同时加速的事实仍然是困难的问题。耀斑中加速粒子、激波、热传导波前等都可以把能量从日冕传到色球,产生色球蒸发、色球压缩区,以及色球加热和运动等。如何区分这些机制并较好地解释观测,仍然是未解决的难题。研究表明,白光耀斑期间,甚至光球都会有明显的加热和电子密度的增加。这对耀斑能量传输机制是一个严重的挑战。已发现了时标为数毫秒至秒级的毫米波到米波的快速起伏。近年来对微耀斑和微微耀斑的研究更加重视,因为它们比较单纯,可为研究复杂耀斑提供重要线索;同时它们对太阳大气的加热可能有重要贡献。

③ 太阳磁场

近年来,利用高分辨的磁场资料对各种尺度的磁结构特性和演化进行了研究,也对电流和磁螺度的短期和长期演化进行了研究。对黑子的研究表明,黑子本影有时可同半影分别地运动,所以半影可能并不是本影的简单延伸;还发现了本影的纤维结构;对小磁流管的研究表明,大多数磁流管内磁场为 $0.1 \sim 0.2 \text{ T}$,但也有些磁流管内磁场较弱。对磁流管的形成机制、动力学结构和演化也进行了不少理论研究。对日珥磁场的测量技术已日趋成熟,得到了一些新结果;对日冕磁场的测量尚在起步阶段。已提出了一些间