

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、观测和理论研究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。

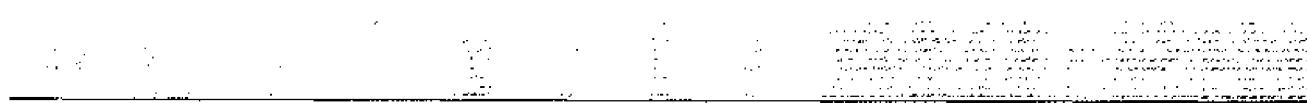
二、国外天文学研究的特点、趋势和前沿

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



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 GIAI) 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 平方千米接收面积为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 SIRTF、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 SSDS (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，因为它们比较简单，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 $0.1 \sim 0.2$ T，但也有一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



接的方法。

④ 日冕和日冕活动

近年来，对日冕研究最重要的进展是对日冕物质抛射（CME）的新认识。一次 CME 事件可释放出多达 10^{25} 焦耳的能量，并把 10^{16} 克的物质抛入行星际空间。CME 在行星际空间和地球附近产生剧烈的扰动，成为近年来诞生的空间天气学关注的主要对象。观测和统计研究表明，CME 同日冕大尺度磁结构的活动有关，且大部分和耀斑有关，但产生 CME 的具体条件和机制仍不清楚。已提出了若干模型。日冕中小尺度活动现象（如冕羽、EUV 和 X 射线亮点等）以及它们对日冕加热的贡献也是重要的研究课题。

除了以上这四个方面以外，近年来太阳活动体和太阳大气结构的特性和演化、太阳活动周期性、太阳各种波段辐射和总辐射的变化、太阳扰动在行星际空间的传播，以及日地关系等也是研究热点。

对太阳系的研究成为十分活跃的领域。在行星物理学方面，主要课题有：A. 行星表面形态分析和表面过程物理学；B. 行星大气物理学，主要研究大气的化学成分、物理状态、构造和运动；C. 行星磁层物理学，包括行星和天然卫星磁场的比较研究；D. 行星动力学特性；E. 行星的环系。在彗星物理学方面，国际哈雷彗星联测已为彗星物理研究提供了大量的实测资料。关于等离子体彗尾现象的若干关键问题，例如彗尾中等离子体能量的储存和运输，射线的构造和运动等都未解决。彗星爆发的机制和巨大能源更是探求的焦点。小行星物理学、流星天文学、行星际空间物理、陨石学和宇宙尘研究，以及太阳系起源研究也越来越受到重视。登陆行星甚至小行星的人造卫星计划已经实现。2001 年 2 月 12 日“苏梅克”卫星成功地在小行星“爱神星”着陆就是一个最新的重要成就。美国于 2001 年 4 月发射升空的环绕火星的卫星“奥德赛”（Odyssey）于 2002 年 2 月成功地开始测绘火星。初步结果表明，火星极地存在大量氢原子，其最可能的解释是火星上存在冰冻水。如果这一结果是正确的话，则生命出现的可能性就很大。登陆行星和小行星一方面是为了直接探测地外生命的各种形式，这对于生命起源的研究有重大的意义；另一方面也是为了探明地外物质资源的分布，以便人类今后的开发和利用。

值得提到的是，近年来毫米波射电、红外和光学观测都找到许多新形成的太阳型恒星周围有星云盘。目前已观测到 80 余个具有行星系统的恒星，这对探索地外生命和研究行星系统的形成和演化具有重要的意义，引起了国内外的广泛重视。

(2) 恒星层次

恒星是宇宙的基本单元，在当今天文学的研究中，它起着“承上启下”的作用。银河系中有千亿颗类似于太阳的恒星，它们的差别只在于它们的质量、化学丰度和年龄。恒星又是组成星系的主要成分，宇宙演化初期形成星系，其标志应该是其中出现恒星，恒星又是目前已知的唯一能合成氦以后元素的“熔炉”。恒星层次的天体还包含着众多的极端物理条件和物理过程，例如致密星中的高密度、Polar 的强磁场和超新星、 γ 暴等。20 世纪由于天文观测走向成熟和核聚变理论的发展，已经能比较系统地给出有关恒星演化过程的答案。这是 20 世纪天文学的重大成就之一。但是对恒星层次包括对它们演化的研究远远没有结束。目前，天体物理学的一批关键问题涉及到恒星层次，它们是目前天体物理研究的热点。最活跃的研究领域是恒星的早期和晚期演化及相关的物理过程和活动现象的研究。一些重要的新发现和突破性进展，诸如星际分子和脉冲星的发现，恒星行星系统的发现、星震学的诞生、双星系统中黑洞的证认等大多集中在这个领域。毫米波和红外天文的发展，使分子云和恒星形成的研究成为恒星研究的热点。作为恒星演化的归宿和恒星层次最剧烈的活动，超新星及其前身星、中子星、脉冲星和恒星级黑洞等致密天体的研究是天体物理研究最活跃的前沿领域之一。密近双星及其演化的研究，以及涉及恒星内部结构、对流和演化的研究，依然是一些前沿热点。 γ 暴余辉的发现和光学对应体的证认使 γ 暴的研究更趋热化。主要研究方向包括：

① 恒星形成过程（包括行星系统）

对最早期恒星的研究，包括所出现的坍缩和吸积以及在其周围所出现的光学喷流、HH 天体和由激波激发的水脉泽等是目前包括大型毫米、亚毫米和红外天文研究的重点，并为光学天文研究所关注。

② 恒星的脉动、星震及恒星内部物理状态及过程



虽然我们已较系统地能描绘出恒星演化的整体图像，但是仍然具有相当大的不确定性。其原因是对内部物理过程认识仍不完备，而且对具有大的质量流失的大质量恒星了解得还不够。一方面我们在理论上要进一步发展有关理论，另一方面是从观测恒星的脉动、星震及从物理学知识得到更好的恒星内部物理状态及过程。

③ 双星、特别是密近双星

利用双星动力学计算双星的轨道曾为我们提供了重要的恒星基本参数，如它们的质量、半径等。超过一半的恒星是在双星和聚星系统之中，但是由于它们在演化过程中会相互影响，已有的恒星演化理论并不完全适用于它们，对于具有物质交换的密近双星更是如此。

④ 致密星及相关的吸积现象和爆发过程

超新星及其遗迹和前身星的研究是当今国际天文学研究所关注（目前相当多的 γ 暴模型也涉及包括中子星的双星系统）的重要热点。致密星，包括中子星、脉冲星，以及尚未发现的奇异星，不仅吸引天文学家的关注，也吸引着物理学家的兴趣。

⑤ 星际介质

星际介质的研究已逐步成为天文学研究的重要对象。究其原因是：a. 星际分子/尘埃云是恒星形成的诞生地，对星际介质、特别是对分子/尘埃云的研究成为毫米波和红外天文学研究的重点。而有机分子谱线的研究则成为分子天文学和射电频谱学研究的主要课题。b. 分子/尘埃云中恒星形成效率、恒星寿命和质量流失率是研究宇宙中元素演化的基本资料。c. 星际介质中存在的有机分子（包括彗星中存在的，有一部分彗星被认为是从太阳系外来的），关系到生命的起源。d. 星际物质的组成和存在形式和银河系的起源和演化有着密切关系，同时又是研究银河系结构的主要工具，例如 HI 和它的 21 厘米谱线。

(3) 星系和宇宙层次

银河系的研究主要包括：A. 银河系的结构（包括旋臂结构）。其中特别关注的是：核心是否存在黑洞，是典型的旋臂星系还是棒旋星系，厚盘的成分，及其稳定性问题，以何种成分存在的暗物质及其分布；B. 恒星的化

学丰度和它们在银河系内的分布，这关系到银河系和化学元素的演化的基本问题；C. 星际物质的分布、循环以及大尺度能量交换；D. 银河系和暗伴星系的关系。现在发现有一批暗伴星系其质量甚至小过大的球状星团，且在100 kpc之内。它们的存在肯定会影响到银河系的结构和形状。通过对它们的研究有可能解释一些目前不能解释的问题，如逆转恒星群、高速星等。

在星系和宇宙研究方面，人们已发现红移大于6的星系，把视野扩大到120~140亿光年。探索星系的形成和演化、研究宇宙大尺度结构，以及研究宇宙早期物理过程的时代已经到来；银河系提供了关于星系整体的图像，对银河系核球的研究取得了重要进展，它为研究星系核提供了一个很好的样本；随着现代观测技术的进步，至今已发现10 000个以上有剧烈活动的天体，包括类星体、BL Lac天体和星暴星系等。占星系总数10%以上的类星体和活动星系核，以其巨大的辐射能量、中心可能存在的巨型黑洞、奇特的辐射性质以及视超光速和喷流等丰富多彩的活动，成为星系研究中的前沿热门领域。宇宙中星系大尺度结构的发现，加上微波背景的高度均匀性，向宇宙学的传统模型提出了挑战。解决问题的出路之一是假定宇宙中存在大量的暗物质，但暗物质的本质和来源又成为宇宙学和物理学研究中的一个大难题。有证据表明宇宙在加速膨胀，支持宇宙常数不等于零的宇宙。它对于粒子物理的真空能量有重大意义。宇宙参数的进一步测定把宇宙学的研究推向新的高潮。主要方向是：

① 星系结构和演化

毫米波和亚毫米波观测将进一步揭示河外星系中分子云的分布；高精度面源测光和分光有可能发现椭圆星系中心的物理本质；演化的星族合成法将广泛用于研究各类星系的恒星形成史；高红移星系的观测有可能揭示年轻星系的面貌，追踪星系的形态、颜色、金属丰度等随时间的变化；星系与周围物质的相互作用以及星系之间的潮汐作用，碰撞和并合过程的细致研究将提供星系动力学演化的线索。

② 类星体和活动星系核的性质

ROSAT 和新一代更灵敏的X—射线望远镜如钱德拉和XMM 将发现更多的活动星系和类星体；大型地面望远镜和哈勃空间望远镜将进一步揭示类



星体宿主星系的性质；星系核周围气体和恒星的运动研究将提供超大质量黑洞存在的更直接的证据；新一代X射线卫星也可能解开困惑了天文学家25年之久的“X射线背景”之谜；多波段国际联测将通过监视连续谱和发射线的变化弄清宽线区的结构；新一代空间VLBI射电干涉仪ARISE将以15微角秒的分辨率揭示活动星系核的喷流及中心源的结构和性质。高红移类星体吸收线的研究有可能揭示星系和类星体之间是否有演化上的联系。

③星系群与星系团

主要包括：本星系群和其他星系群质量与质光比的测定；X射线辐射与热气体的分布；室女团和其他星系团中气体和星系的分布及亚结构；椭圆星系和旋涡星系的光度函数；星系团中气体的来源以及星系际介质再加热过程；团星系的演化等。

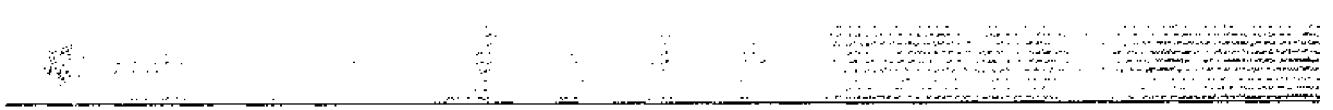
④宇宙大尺度结构

深度达19.5等的全天星系红移巡天完备样本的获得将澄清星系分布中的纤维和空洞等大尺度结构，以及大尺度本动速度是否超过微波背景辐射均匀性的约束；COBE卫星逐年积累的资料分析将把微波背景均匀性的精度提高到百万分之一！新一代微波背景卫星PLANCK，MAP将对宇宙学参数的精确测定做出贡献。引力透镜效应将进一步成为探测宇宙中物质分布，特别是了解星系、星系团以至更广阔的宇宙空间暗物质分布及其性质的有力手段。

新一代地面和空间望远镜将发现更远的星系中的造父变星和超新星，改善距离测量的精度到百分之十以内，从而将哈勃常数的测定精度提高；用与距离测定无关的物理方法，如引力透镜类星体光变时延等测定哈勃常数将得到发展。一般地说，其他宇宙学参数如减速参数、密度参数、宇宙时标等等也将用若干独立方法得到更令人信服的测定。

理论方面，宇宙极早期粒子产生、正反物质不对称性起源，宇宙大尺度结构的形成与演化以及暗物质等重大问题有可能由于天体物理学与粒子物理学等学科的共同努力而得到长足进展。

通过上述这些前沿领域和课题的研究，预计在未来的10年时间内，天体物理学可能在以下五个主要方面取得重要进展：A. 确定宇宙的大尺度特



性；年龄、暗物质的本质和能量，以及宇宙的膨胀史；B. 了解第一颗恒星和第一批星系诞生的时期；C. 了解各种尺度黑洞的形成和演化；D. 研究恒星及其行星系统的形成，以及行星的形成和演化；E. 了解太阳剧烈扰动对地球的影响。

(4) 基本天文学

近年来，太阳系天体动力学是国际天文学研究中活跃的方向之一。高精度的 DE405/LE405 历表是其最近的重要成就。非线性天体力学和天文地球动力学领域也有重要的进展。前者如：证明了天体运动中非碰撞奇点的存在性，解决了一百多年来未解决的问题；证明了三体和限制性三体问题中混沌轨道的存在性等。后者如：基于 GPS、SLR 的观测确定了地球质心相对地固参考架原点有 7 毫米左右的周年变化等。未来的发展趋势是：A. 非线性天体力学将蓬勃发展；B. 天体力学、天体测量与其他学科之间相互渗透成为新的发展方向；C. 应用天体力学，特别是卫星动力学成为研究重点之一；D. 亚毫米级和微角秒级的天体测量工作成为新的研究热点和前沿。主要研究方向：

① 太阳系天体动力学

理论研究内容主要包括：大行星和自然卫星轨道演化和精密历表，以及它们的自转运动；小行星的探测和轨道演化，其中外太阳系和近地小行星是目前主要的研究对象；彗星和流星的观测和轨道演化；太阳系的长期稳定性，该系统具有混沌性是重要的发现之一；行星环成因和稳定性；一般理论问题，如动力系统中扩散现象、相对论天体力学的基本理论研究等；数值探索方法（如辛算法、频率分析方法等）的进一步探讨。

② 空间目标监测与卫星动力学

目前在空间飞行的空间目标约有 8 000 个，其中许多是空间碎片。空间目标的监测和相应的工作是卫星动力学的学科前沿之一。高层大气实时监测问题虽然有许多途径，但通过空间目标长期监测的方法来逐步解决高层大气实时监测问题是一个有效的好办法。空间防御对高精度预报提出了更高的要求。空间目标监测中的精密定轨和精密预报成为重要的研究课题。

③ 天文地球动力学



空间测量新技术 VLBI、SLR 和 GPS 等相继发展和完善开辟了监测和研究地球运动的新途径。空间技术目前以厘米级的精度测定着现代地球的整体运动（自转速率和极移）和局部运动（大气、海洋、板块运动等）。目前主要研究方向有：一阶后牛顿框架下天文参考系和毫米级地球参考架的建立和维持；地球自转变化与地球外部圈层相互作用的研究；地球内部动力学研究；地球各圈层变化的高精度监测研究等。

④暗天体参考系

近几年来参考系最大的成就是依巴谷星表问世。它包含了十万多颗恒星的毫角秒精度的五个天体测量参数。然而当代天体物理和空间科学的发展要求更高的精度、更暗的星等、更密的网络，多波段。在计划空间天体测量的同时，天文学家并没有放松地面天体测量工作。以美国海军天文台（USNO）的工作为例，传统的亮星子午星表（北天极至南天极计划，华盛顿基本星表）的编制工作仍在按计划进行。在归算北天照相仪星表（极限星等 11.5）的同时，又开始执行南天的 CCD 天体照相仪（安装在智利 Cerro Tololo 天文台，极限星等 16.0）观测计划。在完成目前星等最暗（至 21 等）、星数最多（5 亿颗）的照相星表 USNO-A1.0 后，又开始了它的第二版本的改进工作。USNO 是 Sloan 数字巡天（SDSS）计划的参加者，利用它的子午望远镜为 SDSS 建立了 16 个天体测量标准天区（极限星等 17.8，位置精度 ± 0.02 角秒，星等精度 ± 0.01 等）。USNO 近几年又在创建红外参考系做带头的工作。USNO 的双星、视差、自行和太阳系的天体测量观测工作仍然是天文学发展不可缺少的基础。

⑤时间频率研究和服务

近年在时间尺度和原子频率标准方面、毫秒脉冲星定时和铯原子喷泉的研究取得了长足的进展。毫秒脉冲星观测周期不确定性为 $\pm 0.05\text{fs}$ ，周期变化率为 2×10^{-19} ，频率长期稳定度为（4 个月以上）为 10^{-15} 量级；铯原子喷泉的准确度和长期稳定度也已分别达到 2×10^{-15} 和 10^{-16} 量级；在时间传递手段和比对方面，卫星、光纤、低频时码、电话、计算机网络授时已广泛应用，满足了不同精度用户的需求。其最高传递精度已达纳秒量级。频率准确度也达 10^{-15} 量级；国际间远距离传递比对也由测距方法扩展到载波相位



干涉测量方法；全球的卫星双向时间比对（TWSTT）网络正在完成链接，其比对精度可达 $0.1\text{--}0.2$ 纳秒，频率比对精度达 10^{-15} 量级。

三、国内天文学研究的现状、优势和特色

1. 研究现状

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、观测和理论研究到应用服务的较完整的体系。在国际核心杂志上发表的论文大大增加，有些成果在国际上有较高的显示度和影响。我国天文学家还担任了国际天文学联合会副主席和专业委员会主席等重要职务。我国天文学研究的总体水平在发展中国家中位居前茅，在国际上也成了一支不可忽视的力量。

· (1) 实测基础初步形成。

几个中型观测设备的建成标志着我国初步形成了天文学研究的实测基础。它们是：2.16米、1.56米、1.26米和1米反光望远镜，太阳磁场望远镜，60厘米塔式太阳望远镜，米波综合孔径射电望远镜，13.7米毫米波射电望远镜以及VLBI网等，其中有一些设备达到了国际先进水平。这些设备的使用相当程度地改善了观测天体的能力，开拓了新的研究领域。此外，还开展了气球X射线和远红外观测。目前国家天文台的怀柔太阳观测站已成为国际上太阳物理界的主要观测站之一；国家天文台兴隆观测站已成为北半球夏威夷以西、中亚以东这一广阔经度范围内主要的夜间光学和红外天文台之一。上海天文台和乌鲁木齐天文站的VLBI站已成为亚洲、欧洲和国际VLBI网中的重要成员。

· (2) 科技队伍成长起来，形成了一批优秀的研究群体。

目前我国从事天文学研究的主要单位有十余个。从事天文研究的高级科研人员约300余人，其中45岁以下的青年人近 $1/2$ 。从事天文技术工作的高级工程师约百余人。经过多年的科研实践和国际合作研究，形成了一批在国内外有影响的学术带头人及相对稳定的科研群体。青年人中不少已崭露头角。有3人获中国青年科学家奖和提名奖，13人获国家杰出青年科学基金。

· (3) 取得了一批国际上有显示度的重要成果。

近年来利用我国自己的观测设备，取得了成批的天文发现。例如：智能化的超新星巡天系统自1996年投入运行以来，已发现近40颗河外超新星，其中不少是在它们极大亮度前发现的，位居世界前列；已发现了包括类星体、BL Lac天体和塞弗特星系等在内的600余个剧烈活动天体、1000多个新的米波射电源和一批水脉泽源，以及400余颗已得到正式编号的小行星等。理论研究方面，在恒星对流和脉动理论、星系相互作用对恒星暴发形成的影响、BL Lac天体短时标光变、SN1993J超新星研究、超新星遗迹、星系团引力透镜和微引力透镜理论、宇宙大尺度结构、 γ 暴余辉和脉冲星代参数、类星体辐射机制、星团成员与银河系结构、太阳磁场和速度场、耀斑大气结构和动力学研究，以及高能数据处理方法等方面都取得了重要进展，得到国际同行的重视和好评。

在基本天文方面，证明了不具有Hamilton结构的保守系统也存在充分多的余维一的不变环面，否定了两个著名的猜测：将保守系统中的映射方法推广至近保守系统，并应用于行星环的研究等。在地球自转变化与海气活动相互作用的关系、卫星的精密定轨在天文地球动力学的应用、失控卫星陨落期预报的研究以及白天卫星激光测距等方面也有重要的研究或应用成果。此外，还建立了我国的世界时和原子时基准系统以及短波和长波授时系统，为我国国防和国民经济建设做出了贡献。

值得提到的是，在整理我国古代天象记录、证认超新星和研究地球自转，以及开展断代工程的有关研究等方面也取得了很好的成果，为现代天文学和中华文明史研究做出了重要贡献。

2. 优势、特色和差距

(1) 优势和特色

①地域的优势。由于地球上特定的地点只有一定时间才能观测到一定范围的天区，气象条件也会影响观测，所以许多天文观测需要全球合作。我国地处亚洲，幅员辽阔。对于许多需要长时间观测的研究课题，诸如太阳的研究、变星和超新星的监测、活动星系的监测和VLBI网等，我国是不可替代的国际合作伙伴，具有独特的地位。

②仪器的特色。现有的观测设备中有一些在国际上具有一定的特色，例



如：太阳磁场和多通道望远镜可测太阳大气不同层次的磁场；CCD 大样本多色巡天可做大样本的多色测光，效率很高；智能化超新星巡天系统效率高，成果大，别具特色；太阳双波段二维成像光谱仪和时间分辨率达 1~10 毫秒的太阳射电快速频谱仪的某些指标属国际先进等。

③LAMOST 的优势。已立项的大科学工程《大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜》(LAMOST) 采用我国独特的设计，可在几年的时间内提供百万类星体、千万星系和恒星的光谱，如能按期按质建成，将使我国在宇宙天体的大样本光谱和银河系结构研究领域取得很大的优势。

④在课题研究方面，我国也有一些相对较强且活跃的领域。在这些领域，如前所述，已取得一批国际上有显示度的重要成果。

(2) 差距

应当指出，尽管我国天文学研究已取得了显著的进步和发展，但同世界先进水平相比，差距仍然很大。这表现在：虽然我国已有一定的实测基础，但主要是中小型观测设备，无地面大型观测设备，天文卫星一颗也没有，与国际上先进水平相差极大；我国天文研究的投资虽逐年增加，但经费仍相当有限，一般的课题经费仅及国外同类课题经费的 $1/10 \sim 1/100$ ；优秀拔尖的年轻学科带头人数量不足；真正在国际上有重要影响的研究成果还很少。这些都有待今后花大力气努力加以改变。

3. 国家在天文学领域的相关计划和经费投入

我国自“八五”以来在天文学领域先后安排了一系列重要的研究项目和计划，有效地推动和促进了我国天文学的发展。“八五”和“九五”期间这些项目、计划和经费投入情况大体如下：

课题研究经费：实际已拨出经费约 9 850 万元，其中科技部 3 900 万元，基金委 3 650 万元，科学院 1 700 万元，教育部 600 万元。具体有：

(1) 国家重点基础研究规划 (973)

《21 世纪天体物理重大问题：星系形成和演化》	五年总经费 2 000 万元
《天体高能辐射的空间观测与研究》	五年总经费 2 000 万元
《太阳剧烈活动与空间灾害天气》(交叉项目)	五年总经费 2 300 万元

(2) 攀登计划



“八五”、“九五”攀登计划

《天体剧烈活动的多波段观测和研究》 1 250万元

《现代地壳运动和地球动力学研究》(交叉项目) 1 480万元

(3) 基金委项目

“八五”重大项目《日地系统能量传输过程研究》(交叉项目) 250万元

“九五”重大项目

《太阳磁场、速度场和空间太阳望远镜方案》 400万元

《日地空间灾害性扰动过程及其对人类活动的影响》 500万元

“八五”、“九五”基金委重点项目 18项 约1 200万元

“八五”、“九五”基金委杰出青年基金 13项、面上项目 200项

约1 500万元

(4) 教育部985、211工程、重点实验室、博士点基金等 约600万元

(5) 科学院安排重大和重点项目 约500万元

(6) 科学院创新工程课题研究费 1 200万元

设备经费：实际已拨出经费约2.04亿元，其中：

(1) 国家大科学工程 LAMOST 2.35亿元，已到位9 600万元

(2) 科学院开放实验室和基地运转费 1 700万元

(3) 科学院设备更新费 800万元

(4) 科学院创新工程基地和实验室经费 3 500万元

(5) 球载和空间太阳望远镜预研 3 000万元

(6) FAST (500米口径球面射电望远镜) 预研 600万元

(7) 近地小行星监测望远镜研制 1 200万元

四、未来我国天文学发展建议

1. 发展目标

根据上述对国内外天文学研究现状和发展趋势的分析，建议到2015年我国天文学领域的发展目标是：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。

2. 重要研究方向和前沿

根据上述我国天文学研究到 2015 年的发展目标，应贯彻有所为和有所不为的原则，确定我国天文学中、长期的重要研究方向和前沿，有计划地配置资源，集中力量，形成优势，以实现总体发展目标。应当抓住当代天文学研究的前沿领域和重大课题深入研究，特别是加强理论研究，提出创新思想、观点和理论，力争突破，做出国际上有重大影响的工作。建议我国天文学研究的重要研究方向和前沿是：

(1) 太阳和太阳系

太阳和太阳系是宇宙中人类目前唯一能进行详细研究的一个恒星—行星系统，而且与人类的活动息息相关。太阳和太阳系的研究主要包括太阳物理及行星科学的研究。

太阳物理学是用物理方法研究太阳的物理性质和演化的一门学科。应着重研究太阳大气的磁流体力学，耀斑机制及动力学过程，活动区和各类活动体的三维结构和演化，太阳内部结构，日冕物质抛射及各种太阳活动对日地空间环境和地球的影响等。也要重视对太阳表面和太阳活动的基本磁元及其物理过程的研究。

行星科学是研究除太阳之外太阳系各类天体的性质、构造、运动过程及其起源和演化的学科。应主要研究大行星（及其卫星和环系）、小行星和彗星的性质和演化，还要致力于搜寻近地小行星和日外行星系统，并研究其特性。

(2) 恒星、星际介质和银河系

恒星和星际介质的研究主要是利用现代物理、化学、力学的方法研究恒星的形成、结构和演化。恒星是宇宙的基本单元。天体物理学中的许多关键问题涉及到恒星层次，它们是天体物理研究的热点。应主要研究分子云和恒星形成；超新星及其产物与前身星；致密星；恒星的结构、演化和脉动；恒

星化学丰度的研究等。还应开展恒星和恒星系统的基本参数包括位置、自行、视向速度、光度、光谱分类和化学丰度等的测量，开展银河系结构的研究。

(3) 星系和宇宙学

星系是由数百万至数千亿颗恒星、气体、尘埃和暗物质构成的、空间尺度达数千至数十万光年的天体系统，分布于百亿光年空间中的数以百亿计的星系以及星系际物质构成了目前可观测的宇宙。星系物理和宇宙学以各种天文观测方法获取的信息为基础，利用现代物理学提供的理论工具，以及天文学其他分支特别是恒星物理的成果，研究各类星系和星系集团的空间分布、形态结构、物理性质、化学组成、活动特征、产能机理，并进而研究星系以至整个可观测宇宙的起源和演化。应集中研究星系的结构、活动和演化，包括类星体和活动星系核；星系群与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。

(4) 基本天文学

天文学的两个分支，天体力学和天体测量学（包括天文地球动力学），国际上常称为基本天文学。天体力学是天文学中研究天体和天体系统的运动和形状的一门分支科学。天体测量学是测定天体的位置、运动和距离的学科，它是现代天文学发展的基础之一。在基本天文学领域，应主要研究非线性天体力学；太阳系天体，特别是外太阳系天体和近地天体动力学；空间目标监测和卫星动力学；暗天球参考系；地球自转变化监测及其动力学；天体测量参数在银河系结构、运动中的应用；时间频率及其服务。

(5) 天文技术和方法

天文学是一门以实际观测为主的科学，天体的观测不仅需要大口径望远镜，灵敏高效的探测器，同时还需要使用特殊的方法，因而天文学历来重视新技术和新方法的研究。由于天文技术和方法的不断创新和发展，天文学已经进入了通过整个电磁波谱观测和认识宇宙的时代。

现代天文技术的发展追求更深空间的探测、更高的空间分辨率、更宽的探测波段（包括 γ 射线、X射线、UV、光学、红外、射电波段、甚至中微子和引力波）、更高的观测效率、更高的谱分辨率。应集中研究射电天文技



术和方法、光学与红外天文技术和方法、空间天文技术和方法（包括高能波段），其中核心问题是研究大望远镜和空间天文探测所需要的技术和方法。

此外，我国古代有丰富的天象记录，它们是我国天文学的宝贵财富。应继续积极开展我国古天文和古历法的研究，为现代天文学和精神文明建设服务。

3. “十五”期间优先发展领域

根据上述我国天文学研究到2015年的发展目标和研究方向，应当选择一些有限而重要的“十五”优先发展领域，集中力量，增强投资强度，加强理论研究，力争取得国际上有显示度的重要成果。这些优先发展领域的遴选原则是：

- (1) 当前天文学科发展的主流和重要前沿；
- (2) 能充分利用国内设备和国际开放数据库或使用国外大、中型设备取得观测数据；
- (3) 课题重要，有重要发展前景，可能获得较大进展，在国际上占有一席之地；
- (4) 已有很好的基础，包括可利用的设备资源、人员队伍（特别是优秀的年轻人才）、良好的国际合作基础和一定的工作积累。

根据以上遴选原则，建议我国天文学“十五”期间优先发展领域是：

- (1) 太阳活动三维结构、演化及其对空间和地球环境的影响；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) 非线性天体力学和近地空间目标（人造卫星和近地小行星等）监测及其动力学。

(10) 新一代地面和空间天文技术和方法。

五、政策措施建议

1. 必须使全国规划成为规范我国天文学发展的国家行为

全国一盘棋，避免长官意志和本位主义。重大设备的建造和重大计划的立项必须经过严格的科学论证，防止用造成“既成事实”来仓促上马。必须把有限的资金用于全国规划所安排的项目上，切忌分散力量、各行其是。

建议由国家科技部委托国家自然科学基金委和其他单位联合建立科学、公正和独立的评估体系，对设备效益和研究成果进行评估和检查，以作为经费支持和奖惩的依据。

2. 建设新一代设备，发挥现有设备作用

(1) 确保 LAMOST 按期按质建成。这对开拓一大批国际先进水平的研究课题，吸引和培养一批优秀的学术带头人，具有深远的战略意义；当前应注意充分发挥各单位研究人员的积极性，给予必要的经费支持，加强课题预研。

(2) 大力推进空间天文研究，争取发射我国第一颗天文卫星。以高能波段和太阳观测为优先，特别要争取搭载或发射若干颗小卫星，投资较少，研制周期较短，但影响和成果则很大。

(3) 要大力加强大型观测设备的预研究，包括对科学目标的课题研究，以及天文技术和方法的研究；要建设好若干个新技术实验室，做好技术储备工作；在充分论证的基础上，至少再上一个地面大科学工程项目。

(4) 充分发挥现有有优势的仪器和专用望远镜的作用，使它们高效地运行在同类仪器的国际先进水平上。这包括更新和扩展后端设备、改进望远镜性能和提高自动化程度，以及改善台站通讯联网和后勤支撑等。此外，还应重视建造与大科学工程配套和为重点优先发展领域研究所必需的一些中小型设备，如在南方观测基地建造 2 米级望远镜和口径 1 米的光学/红外太阳真空望远镜，在盱眙安置近地小行星监测望远镜，在合适地点安置口径 1 米的测光一定位专用望远镜等。应改造或关闭那些成果少、效益低的设备。

(5) 在条件具备时，建立一个卫星动力学实测基地。

(6) 重视和积极进行青藏高原优秀天文台址的选址工作。青藏高原是我国潜在的天文宝贵资源，对安置我国未来的大型地面红外/光学和亚毫米观测设备、使我国跻身世界天文强国具有重大的战略意义。

3. 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，在人才培养上探索新的模式；要在择优遴选的基础上，通过有关的重大和重点项目，重点支持一批优秀的研究群体；要广泛吸引和组织海外学子和优秀的科学家参与发展我国的天文学科，包括合作研究、举办各类学术讨论会和讲习班等；要积极鼓励多种形式的人才交流；注意老中青结合，在大力扶持和重用年轻学术骨干的同时，也要注意发挥年长者甚至退休科技人员的作用，加快实现新老队伍健康合理的更迭；要努力营造宽松的研究环境，大力贯彻双百方针，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。

4. 大力发展和加强高校的天文研究力量

高校具有学科齐全、人才集中的优势，是培养优秀年轻学术骨干的主要基地，也是开展天文理论研究的重要力量。国际上许多一流大学都有一批优秀的天文研究人员，承担着许多重要的研究课题，也培养了各方面所需要的人才，使天文学研究得以蓬勃发展。我国应重点支持南京大学、中国科技大学、北京大学和北京师范大学等已有天文研究基础的高校。同时，应努力在其他有条件的高校加强天文教育、扶持天文研究队伍、适当增加天文教育和研究经费。应充分发挥高校研究队伍的作用，吸收他们参与重大项目的决策和管理。

5. 大力推进国际交流与合作

在我国目前情况下，大力加强和发展国际交流和合作，对于发展我国天文学有着特别重要的意义。国际上重要的天文观测设备大多对全世界开放；耗资巨大的卫星观测资料大多可以取得；应积极参加重要的国际联测；通过较少的投资参与国际上大型天文观测设备的建设，可以分享宝贵的观测时间。



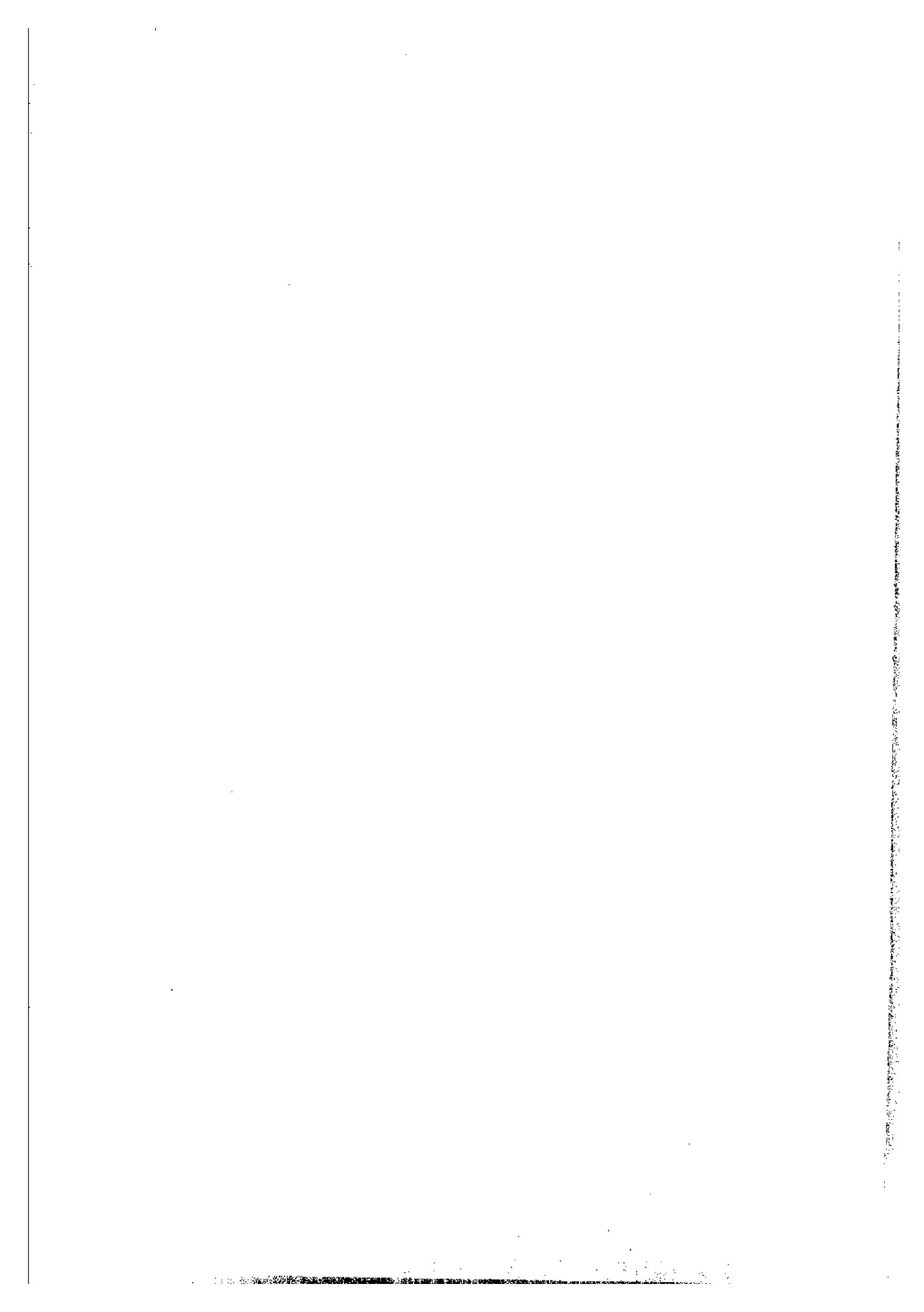
及特优台址资源；通过派出去和请进来的方式，可以很有成效地培养年轻人。所有这些都是花钱较少、效益显著的发展我国天文学研究的重要途径。对那些由我国科学家担任主要研究员的国际观测项目以及以我国为主的国际合作项目，应给予更多的支持。

6. 重视学科交叉，发挥集团优势

天文学与自然科学各学科，特别是与物理学科和地球科学的交叉和渗透将大大促进学科的发展。近年来我国粒子物理、核物理、原子和分子物理和等离子体物理界等对天文学表现出越来越大的兴趣，地球科学界与天文界也已建立了密切的联系。应通过组织大的交叉项目把研究人员有机地组织起来，发挥综合优势，可望取得突出的成果。

参考文献

- [1] 国家自然科学基金委员会. 天文学. 自然科学学科发展战略调研报告. 北京: 科学出版社, 1997
- [2] 天文学学科调研专题组. 全国基础研究联合调查学科调研专题报告. 天文学, 1987
- [3] Astronomy and Astrophysics Survey Committee et al. Working Papers Astronomy and Astrophysics Panel Reports. National Academy Press, 1991, 2001
- [4] 21世纪100个科学难题编写组. 21世纪100个科学难题. 长春: 吉林人民出版社, 1999





附录 1 太阳和太阳系

太阳和太阳系是宇宙中唯一能进行详细研究的一个恒星-行星系统，它与人类的活动息息相关。对太阳和太阳系的研究历来是天文学中受到很大重视的一个领域。为了叙述方便起见，分别就太阳物理与太阳系这两部分作一论述。

太 阳 物 理

一、太阳物理研究的重要意义

太阳物理学是用物理方法研究太阳的物理性质和演化的一门学科。它在天体物理学中占有特殊的地位。太阳物理研究有着重要的学术意义和应用意义。

(1) 对了解恒星世界的物理规律，发展物理学等基础学科有重要意义。恒星世界是一个有各种极端物理条件的天然实验室，其中人们能进行高分辨详细观测和研究的恒星，唯一只有太阳！因此，对太阳物理的研究将极大地丰富人们对恒星世界规律的认识。核能源的发现、等离子体物理的发展，以及中微子亏损之谜对粒子物理研究的重大影响等都是很好的例证。

(2) 对研究太阳系（包括地球）及恒星的结构和演化具有重大意义。太阳的活动和演化是决定太阳系物理状态和演化的根本因素；太阳又是典型恒星的代表，许多太阳上的活动现象（如黑子、耀斑和太阳风等）也同样发生在一些恒星上。但是，观测太阳的分辨率却要比观测恒星高千万倍。因此，详细研究太阳不仅对了解包括地球在内的太阳系具有重要意义，而且对研究恒星上的活动和恒星演化也至关重要。

(3) 对研究日地空间环境和太阳对地球的影响有重大的实际意义。太阳主宰着日地空间环境和地球上的生命。太阳活动强烈地影响着地球上的气候变异、短波通讯、地球磁场、电离层和地球大气，也对宇宙飞行和卫星的安全造成直接威胁（图 1）。因此，太阳物理研究有重大的应用意义。

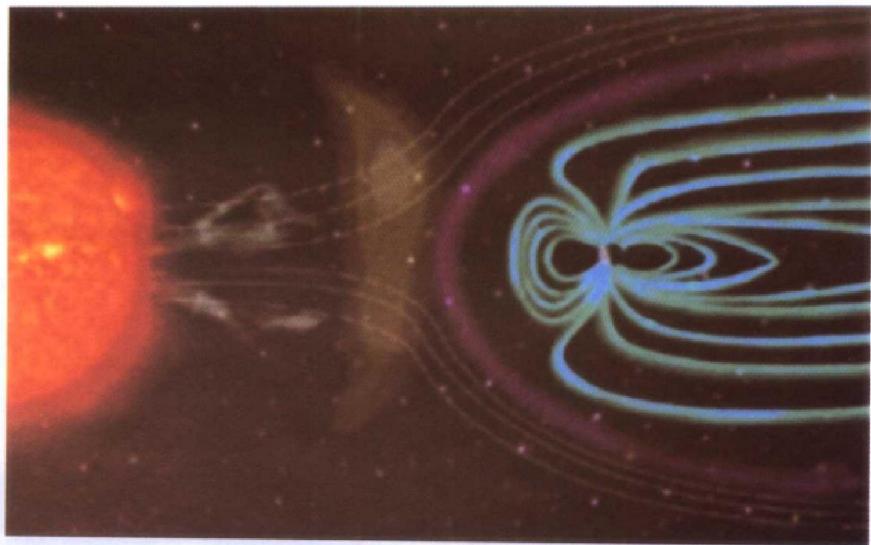


图 1 示意图：太阳活动抛出大量物质和高能粒子经行星际空间到达地球，影响地球周围的空间环境，影响地球磁层、电离层和中高层大气，也对宇宙飞行和卫星的安全造成直接威胁。

二、国外太阳物理的发展现状

1. 概况

目前全世界（不包括中国，以下同）从事太阳物理观测和研究的主要天文单位有 40 余个，其中约 1/3 属于大学的系或天文机构。这些单位有约 2/5 集中在美国；约 3/5 拥有较大的或专用的观测设备，其余单位主要从事理论研究。目前，全世界主要从事太阳物理研究的人员（不包括技术人员）估计为 300—400 人。每年新增加的具有博士学位的年轻研究人员估计为 20—30 人左右。每年在国际学术刊物上发表的太阳物理论文约 500—600 篇。近年来，国际上联合观测、交换资料和合作研究迅速发展，已成为当今太阳物理研究的重要特色。

2. 观测设备和技术的发展

近年来，太阳物理观测设备有很大的发展。投资达 15 亿美元的“太阳和日球天文台”（SOHO）已于 1995 年 12 月 2 日发射上天（图 2）。美国极紫外高分辨率成像卫星 TRACE 于 1998 年 4 月发射成功，取得一大批高分

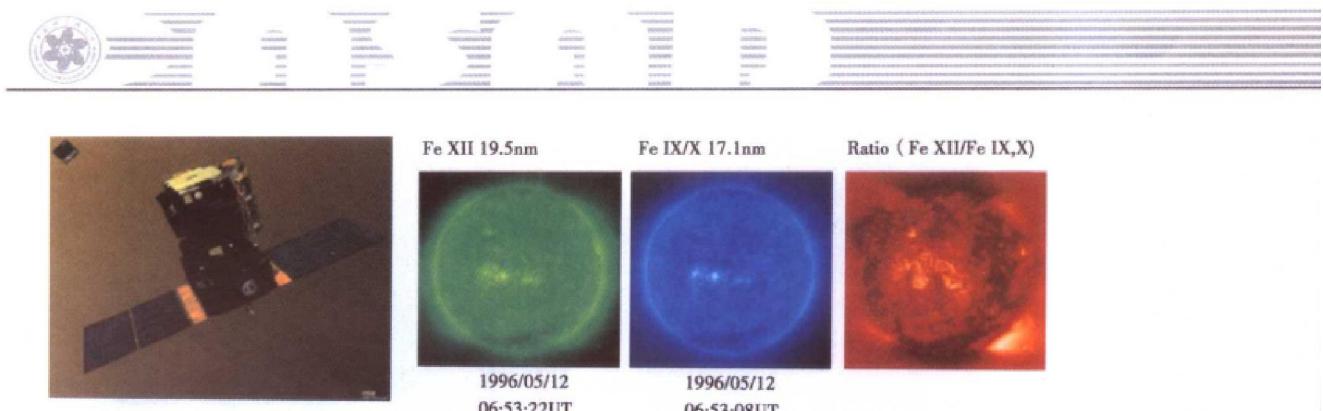


图2 “太阳和日球天文台”(SOHO)(图左)于1995年12月2日发射上天。图右给出它所观测到的不同波段的太阳极紫外像。

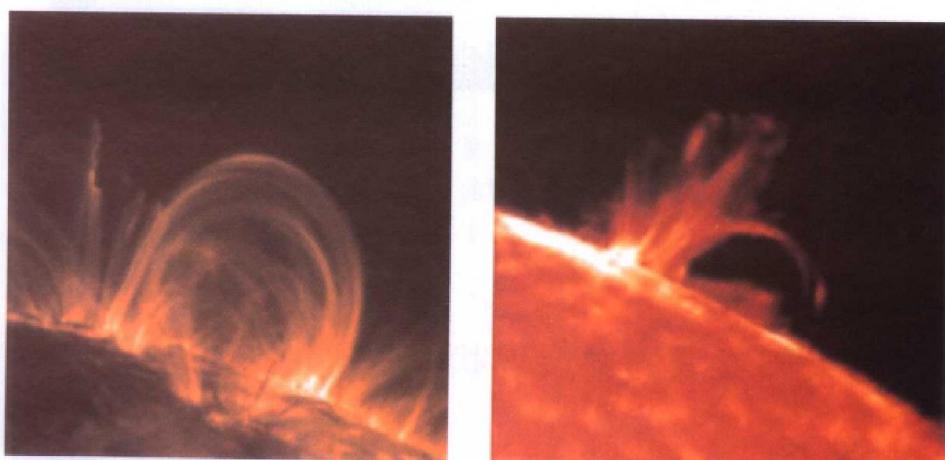


图3 TRACE 卫星观测到的高分辨率太阳极紫外像，显示出太阳活动区丰富多彩的冕环结构(图左)和一次爆发日珥的情况(图右)。

分辨率的太阳极紫外像(图3)。目前最先进的美国太阳高能探测卫星HESSI已于2002年2月5日发射上天。法国和意大利联合投资5000万美元的90厘米真空望远镜THEMIS也于1999年投入观测。它采用自适应光学、真空、相关导行等最新技术，建造在世界最佳观测地西班牙卡纳里群岛上(图4)。日震学国际观测网(GONG等)已投入使用。特别是，近年来采用各种先进技术和方法，使时间和空间分辨率大大提高。硬X射线望远镜的空间分辨率已达 $5''$ ，时间分辨率为0.5秒。布喇格晶体分光仪灵敏度提高了约一个量级。在软X波段已开始采用正入射光学代替掠射光学，把分辨率提高到 $1''$ 左右。自适应光学系统已成功地应用于太阳的观测。美国国立太阳



天文台采用 97 个单元的变形镜和 11×11 单元的 Hartmann 波前传感器，除了能校正波前整体倾斜外，还可以对前 20 阶低阶模式进行校正，得到空间分辨率非常高的米粒图像（图 5）。目前，地面光学观测的空间分辨率最佳已达 $0''.2$ 左右。空间和时间分辨率更高的二维光谱观测已经实现。新的万能窄带滤光器可工作在 3 800—7 000 埃，带宽为 15—100 毫埃。刻划面积达 36.8×47 平方厘米的特大光栅已可用于波长达 12 微米的红外光谱工作。美国高山天文台的先进斯托克斯偏振计可对小磁流管磁场进行定量分析。夏威夷大学的成像白光磁像仪利用步长精度达 $1/2\,000$ 波长的 Fabry-Perot 标准器，可在 5 000—7 000 埃内得到斯托克斯参数图。射电观测方面，BIMA 天线阵工作在毫米波段，灵敏度达 0.01 太阳流量单位，比以前提高了 1 000 倍，空间分辨率可达 $1''$ ；日本野边山观测站的射电日像仪工作在 17 和 34 吉赫，角分辨率达 $8'' \sim 10''$ ，时间分辨率达 50 毫秒。

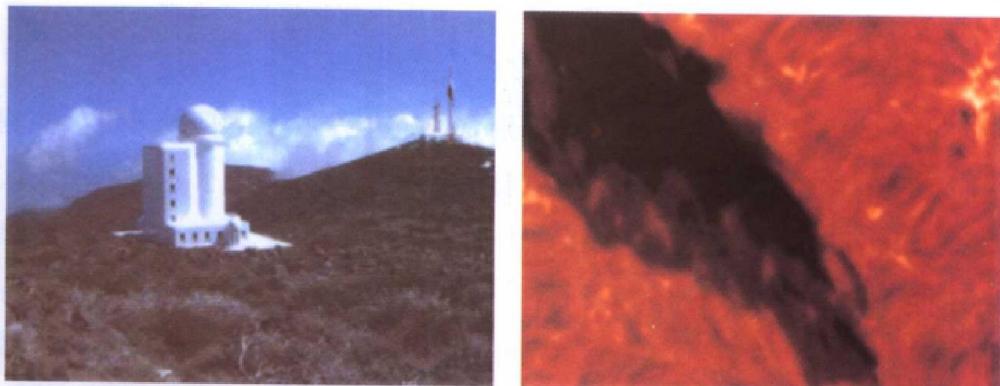


图 4 法国和意大利联合建造在世界最佳观测地之一的西班牙卡纳里群岛上的 90 厘米真空望远镜 THEMIS（图左），于 1999 年投入观测。它采用自适应光学、真空、相关导行等最新技术，可进行高分辨率的光谱和成像观测。图右给出使用 MSDP 二维光谱仪资料处理得到的高分辨率的 $H\alpha$ 暗条像。

3. 近年内取得重大成就的主要领域

(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 1/1000。根据 P 模振荡观测反演太阳内

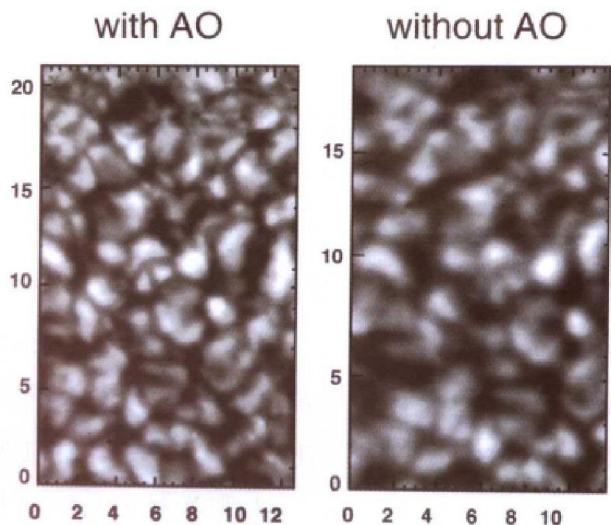


图 5 美国国立太阳天文台采用 97 个单元的变形镜和 11×11 单元的 Hartmann 波前传感器，除了能校正波前整体倾斜外，还可以对前 20 阶低阶模式进行校正，得到非常清晰的米粒图像。

部物理状态的方法有了许多发展。特别是，近年发展了由日震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（图 6）。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。

（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。已提出了一个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，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

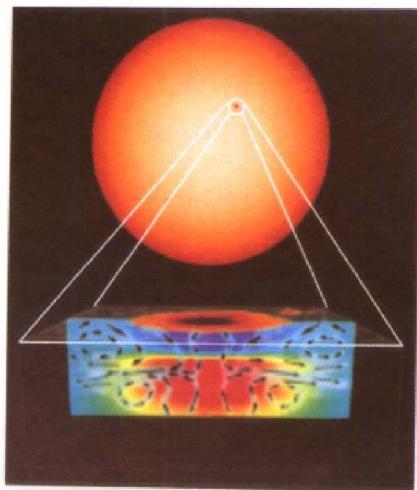


图 6 美国史坦福大学利用日震学技术首次获得黑子在光球下的动力学结构，显示出黑子下面的环流（箭头）和温度（红色表示高温，蓝色表示低温）分布。

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。近年来数值模拟了质子束和多个电子束轰击下的耀斑大气动力学过程，但仅限于一维或准二维的，尚不能从定量上同观测作比较。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。数值模拟和简化的解析解表明，低层大气的磁重联有可能解释 II 类白光耀斑的产生。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，因为它们比较简单，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。

耀斑的精细结构成为当前耀斑研究的一个热点。已发现耀斑 H α 核块由一系列先后增亮的亮点所组成。它们的亮度变化同硬 X 射线和射电爆发的变化有密切的联系。对耀斑的高分辨率光谱和磁场的观测可能更好地揭示出耀斑的物理过程和本质。

（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作了研究。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；对太阳大尺度和活动区磁螺度和电流的研究为太阳活动周和活动区演化的过程和机理带来了新的认识。对小磁流管的研究表明，大多数磁流管内磁场为 $0.1-0.2$ T，但也有一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。已提出了一些间接的方法，并开始尝试用红外谱线直接进行测量。通过射电资料和由光球磁场外推日冕磁场结构和分布的方法有了相当大的进展，仍然是当前分析日冕磁场的主要手段。

(4) 日冕和日冕活动

近年来，对日冕研究最重要的进展是对日冕物质抛射（CME）的新认识。一次 CME 事件可释放出多达 10^{25} 焦耳的能量，并把 10^{16} 克的物质抛入行星际空间（图 7）。观测表明，CME 同日冕大尺度磁结构的活动有关，且多数同耀斑关联。已提出了若干模型。日冕中小尺度活动现象（如冕羽、EUV 和 X 射线亮点等）以及它们对日冕加热的贡献是重要的研究课题。

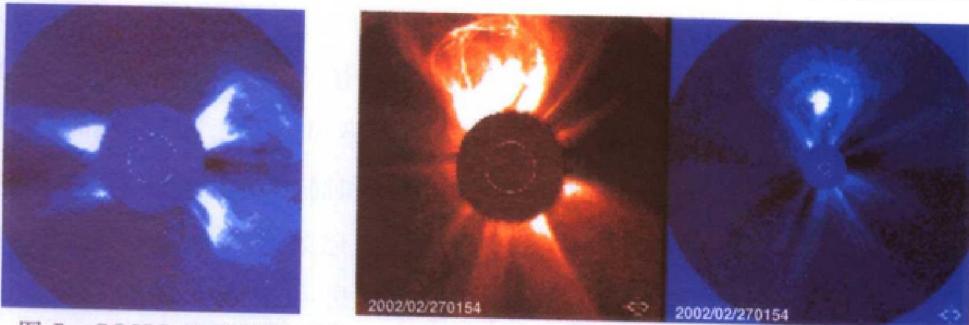


图 7 SOHO 卫星观测到的 2000 年 11 月 8 日双日冕物质抛射事件（右图）和 1997 年 11 月 6 日日冕物质抛射事件（左图，两图对应不同的视场大小）。

除了以上这四个方面以外，近年来对太阳活动体和太阳大气结构的特性和演化、太阳活动周期性、太阳各种波段辐射和总辐射的变化、太阳扰动在行星际空间的传播，以及日地关系等方面也取得了一些重要进展。限于篇幅，这里不再赘述。



4. 国际发展趋势

从观测技术和设备上看，主要发展趋势是：

(1) 大力发展关键技术。主要有：自适应光学；高精度偏振测量技术，使向量磁场的测量精度提高一个量级，并能测量小于 $1''$ 的向量磁场；红外成像技术，以获得高质量的红外图像；高分辨图像处理技术，以及大规模数据处理技术等。

(2) 空间探测仍然是极受重视的优先领域。日本“阳光”卫星、美国 TRACE 卫星和欧洲 SOHO 卫星已经并将带来一系列重要发现。2002 年 2 月 5 日已成功发射的美国 HESSI 卫星将带来对太阳高能辐射的全新认识。日本于 2005 年发射的 Solar-B 卫星等将以更高的空间和时间分辨率观测从小尺度到大尺度的各种太阳活动和现象。以美国为主将于 2005 年左右发射的 STEREO 卫星将对太阳活动和 CME 进行三维观测，并带来突破性的进展。

(3) 从观测角度看，太阳大气各层次高分辨率磁场和速度场的测量，快速二维光谱观测，太阳振荡的高精度测量，红外和远红外观测，以及高空间分辨率和时间分辨率的射电观测都将优先得到重视。

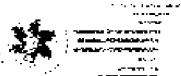
从课题研究上看，21 世纪初最活跃、并有可能取得重要成就的领域是：

(1) 太阳大气的磁流体动力学研究。将集中研究太阳磁场的精细结构(小磁流管)、磁场和流场的相互作用，以及磁场演化和太阳大气加热机制等基本问题。

(2) 耀斑机制和动力学过程研究。将深入研究耀斑发生前后的环境、耀斑储能和释能的基本过程和机制、高能粒子加速机制，以及耀斑大气的动力学过程等。

(3) 活动区和各类活动体的三维结构和演化。局域震荡成图技术的发展对了解活动区和活动体在对流区中的结构将发挥重大作用，而对活动区和活动体三维结构和演化的研究将导致对它们认识上的飞跃。

(4) 日冕物质抛射及各种太阳活动对日地空间环境和地球的影响。将更全面地研究日冕物质抛射的特性、规律和机制，研究太阳活动的能量和动量输出，以及它们对日地环境和地球的影响。空间天气学这一门交叉学科将蓬



勃发展。此外，还将对太阳活动周期同大尺度流场和磁场的关系进行探讨，了解太阳活动周的本质和机理。

(5) 太阳内部结构的研究。将致力于探测不同能量的中微子通量及其时变，准确测定整个 P 模的频谱并证认 g 模，以得到能解释观测结果的新的太阳模型，改进现有的恒星结构和演化理论。

三、国内太阳物理研究现状

1. 概况

目前我国从事太阳物理研究的主要单位有：国家天文台（包括云南天文台和乌鲁木齐天文站）、紫金山天文台、南京大学、北京大学、北京师范大学、中国科技大学和空间科学与应用研究中心等。我国太阳物理研究已从积累资料巡视观测为主进入了课题研究为主的阶段，已建成了包括总体性能达到国际先进水平的磁场望远镜在内的一批专题研究型设备。此外，主要为太阳活动预报和日地资料服务的太阳活动巡视网仍继续在工作。从规模和水平看，我国太阳物理研究在发展中国家里居于首位。目前具有高级职称的研究人员约 40 人，占全国天文高级职称人数的 13%。他们主要集中在科学院的天文台站（占 70%）和教育部所属高校（占 20%）内。全国在读的太阳物理研究生共三十余人。近几年内国内投入太阳物理研究的经费每年平均约 500 万，占全国天文总经费的 16%。特别是，近年来空间太阳望远镜（SST）预研经费已达 3 000 万元，921 项目等对太阳观测设备的投资也在千万元以上。

2. 观测设备的现状和特色

目前国内投入观测的各类太阳仪器有 10 余台，形成了一个全国的观测网。国家天文台的 35 厘米磁场望远镜，紫台和国家天文台云台的 26 厘米精细结构望远镜，南大的 60 厘米太阳塔，南大、紫台的二维多波段光谱仪，以及 2001 年全面投入观测的 0.7—7.6 GHz 太阳射电宽带动态频谱仪（图 8）和云台 50 厘米斯托克斯光谱望远镜等一批专题型设备都各具特色。在“风云二号”卫星和“神舟二号”飞船上搭载的太阳高能辐射探测器取得了很好的观测资料（图 9），标志着我国太阳的卫星观测已经开始。虽然我国



图 8 2001 年全面投入观测的 0.7—7.6 GHz 太阳射电宽动态频谱仪（左图显示其中的三个射电望远镜）。右图给出该仪器观测到的一次太阳射电快速爆发事件，显示有两束高能电子分别从日冕向外和向内抛射出去。

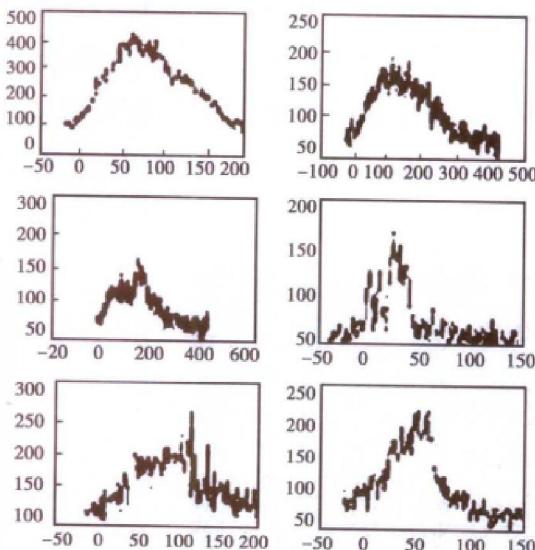
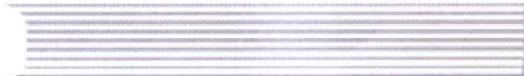


图 9 搭载“神舟二号”的紫金山天文台伽玛射线探测器观测到的 6 个耀斑 γ 射线爆发事件。

太阳仪器总体水平还较差，分辨率较低（这和台址有很大关系），但我国仍然拥有一些特色，例如：太阳磁场望远镜时间分辨率高，且可观测光球和色球的磁场；多波段二维光谱仪可在不同波段内同时观测太阳二维光谱，这在



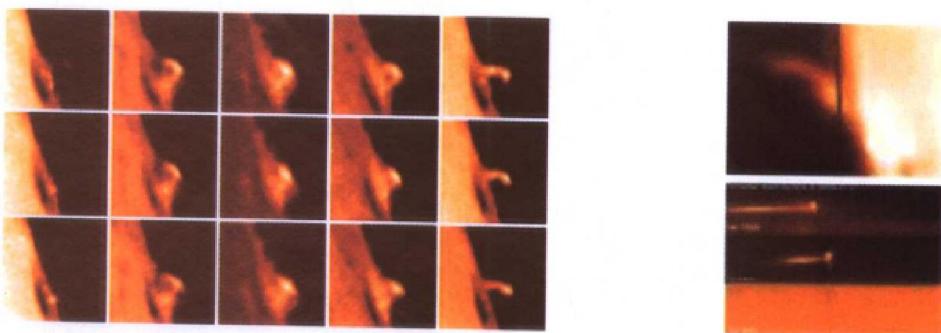
世界上是很少的；宽带射电频谱仪可进行从毫秒级到秒级的高时间分辨率射电频谱观测等。

3. 已取得的若干重要成果

(1) 太阳磁场和速度场观测取得了一些新的发现。例如发现有些耀斑出现在 H_{β} 多普勒速度图上靠反变线的红移一侧，观测到色球磁场的反变结构，发现了一些 CME 源区磁场的可能特征，研究了磁螺度的太阳周变化，对磁对消、磁挤压和磁剪切等作了较深入的研究。

(2) 取得了一批高时间分辨率的太阳射电爆发资料，包括异地异频和异地同频的爆发资料，发现厘米波段的快速爆发精细结构，并揭示了准周期震荡、谐波结构和频漂等重要特性；发现漂移脉动结构及迄今射电最高频段 (5.2—7.6 GHz) 上的一系列精细结构，其中微 U 型爆发群和微波“项链”结构均属首次发现。

(3) 取得了一批有重要价值的耀斑光谱资料，包括多波段耀斑脉冲相光谱、白光耀斑光谱、宽波段单色像、耀斑 10 830 埃光谱、耀斑不对称光谱时间演化资料（图 10），以及耀斑 X 和 γ 射线爆发资料等。研究揭示了耀斑谱线不对称性规律及快速的时空变化，并在耀斑动力学过程研究中取得较大进展。



10 左图给出利用南京大学太阳塔二维成像光谱仪资料得到的 1998 年 11 月 11 日边缘耀斑在不同时刻、 H_{α} 的不同波长处的单色像。右图为紫金山天文台二维光谱仪观测到的一个边缘耀斑的 He I 10 830 埃光谱。

(4) 在耀斑与电流和耀斑与暗条的关系，耀斑储能和触发机制，耀斑、日珥和黑子等的大气模型，耀斑环释能和演化，白光耀斑机制，耀斑磁重联的数值模拟，磁场中谱线形成理论，以及活动区结构和演化的研究等方面取



得了一批成果。

(5) 在太阳活动预报方面也取得了一些进展，特别是为宇宙飞行和科学实验、电离层突然骚扰等提供了较准确的预报，取得了重要的应用成果。

此外，在日地关系、日震学和太阳内部结构，以及日珥等活动体的磁流体动力学等方面也开展了不少研究工作，取得了可喜的进展。

四、发展方向和优先领域

1. 我国太阳物理发展的方向和目标

考虑到我国太阳物理研究的实际情况以及与国际先进水平的不小差距，建议我国太阳物理研究到 2015 年的发展方向和目标是：以发展空间探测技术和设备为重心，以建造地面大型太阳望远镜为配合，以完善现有主干设备为基础，选择有限的、既重要又有较好研究基础的领域，发挥全国联测和合作研究的优势，在二三个具有特色的专题上取得有重要国际影响的成果，在个别领域内进入国际先进甚至领先的行列。

2. 优先发展方向和领域

考虑到近年内太阳物理的前沿领域和 21 世纪的发展趋势，结合我国的现实条件和基础，建议选择以下 4 个重点研究方向和领域予以优先支持：

(1) 太阳活动区磁场和速度场的精细结构和演化。着重研究太阳活动区的三维磁场和纤维磁场结构，耀斑前储能和触发的磁场和流场条件，以及各种尺度磁结构的演化规律等。太阳大气各层次中磁场测量和定标方法，以及磁场中辐射转移理论等基础研究工作也应得到重视和鼓励。

(2) 耀斑机制和动力学过程。着重研究耀斑的三维结构和动力学演化过程；研究耀斑与电流、耀斑与暗条的关系，结合耀斑磁重联的数值模拟，对耀斑机制提出创见；系统观测和研究射电快速爆发的特性和规律，在理论解释上求得突破；深入研究白光耀斑以及它的传能过程和机制等。

(3) 日冕物质抛射、太阳风及其他太阳活动对日地环境和地球的影响。着重研究日冕物质抛射和太阳风的特性、机制和源区特征，研究太阳扰动能量的输出及其在行星际空间的传输，以及它们与地球的耦合作用，提高预测太阳扰动对日地系统环境影响的能力。

(4) 太阳振荡的测量技术和太阳内部结构。由于我国在这个课题上研究基础较差，但本课题又具有重要意义，因此仍然要大力支持有关的研究工作，至少也要跟踪国际上的进展，与国际合作，并争取在个别理论课题上取得重要成果。

为了更快地推动我国太阳物理的发展，建议今后应采取的措施是：由于空间探测是我国太阳物理在 21 世纪取得世界瞩目的突破性进展的主力军，建议积极研制球载和空间太阳望远镜设备，也要积极开发投资较少、见效较快的小卫星。首先是 X 射线和 γ 射线波段，以及可见光和 EUV 波段，力求有技术上的创新和突破。除了改进和完善已有的重要设备外，还建议在昆明附近的抚仙湖畔积极建设新一代的 1 米级新技术光学/红外太阳望远镜。此外，还要尽一切可能扩大国际合作和交流，特别重视年轻科研骨干的培养，继续重视太阳活动预报和日地资料服务工作等。

太 阳 系

一、学科研究的地位和重要意义

行星科学是研究除太阳之外太阳系各类天体的性质、构造、运动过程及其起源和演化的学科。行星物理学研究大行星（及其卫星和环系）、小行星、流星和彗星的性质和演化，还致力于搜寻日外行星系统和描述其特征。一个世纪前，行星科学曾经是世界上大多数天文台的主攻观测研究对象，后来某些天文学家和历史学家关于火星运河的争论导致该学科几十年的沉寂。50 年代中期，美国从军事和民用目的出发，对月球和行星研究的兴趣陡然增长，并从人造卫星 1957 年上天获得了强大动力。美国宇航局和欧洲空间局先后投入巨资发展行星和行星际空间探测。行星科学研究以空前的速度蓬勃发展。太阳系演化是自然科学中最基础的问题之一。它不仅在基础理论上很重要，而且由于和地球形成与演化、生命起源与演化密切联系，也具有重要的实际意义。



二、国际上研究现状和趋势

从 60 年代开始，美国宇航局为了得到有关月球和行星的充分情报，决定在亚利桑那、德克萨斯和夏威夷建造三架大望远镜，用来研究月球和行星的基本性质。30 多年来，美、俄等国对太阳系内除冥王星以外的所有大行星完成了近距探测，其目的是研究太阳系各类行星和卫星的物理特征、物理化学环境及其起源和演化，进而认识地球及其周围空间环境的过去、现在和未来。美国宇航局已拥有大约 50 万张照片以及其他探测器（如磁强计、等离子体实验装置、高能粒子计数器、射电测量仪）所获得的资料。新的发现大大超过几个世纪的地面望远镜观测，提出的问题数目又大大超过了已经解决了的问题数目。目前已发现的天然卫星总数近 70 颗。与空间探测同时，美国也加强了地面观测。多波段观测所获的资料，既用于行星物理本身的基本研究，亦用于支持设计太阳系空间探测器。美国的地面行星科学研究经费主要由美国宇航局（每年约 1 千万美元）和美国国家基金委员会（每年约 100 万美元）拨款。美国各大望远镜用于行星观测的占时情况为：亚利桑那：20%，德克萨斯：20%，夏威夷：20%，红外望远镜：50%，基特峰：30%，cerro Tololo：30%，Keck II（10 米望远镜）：1/3。相应地，美国从事行星科学的队伍随着宇航事业的发展而迅速壮大。美国行星科学委员会是美国天文学会下属各委员会中最大的一个，拥有会员 750 人（60 年代刚成立时，只有 5 人）。除美国以外，俄罗斯对金星、火星和哈雷彗星亦进行了探测，并准备近年再探火星；欧洲空间局探测了哈雷彗星，并正在执行以探测土星及其卫星为主要目的的 cassini 计划，还提出了两个探月计划（MORO 和 LEDA）。日本已经探测过哈雷彗星，还提出了探测火星的计划。显然，在 21 世纪，太阳系天体的空间探测和研究仍然是天文学的重点研究方向之一，并将投入更多的经费和人力。近年来，探月活动在停顿了 20 年后再次复苏。美、俄、日和欧洲都积极参与。俄罗斯明确表示其目的是在月球上开采同位素氮—3。

近年来，探测宇宙中的生命成为重要而活跃的研究领域。60 年代以来已向火星发射了近 40 个航天器，近半数成功地对火星进行了近距探测。美



国“火星环球观测者”于1997年9月进入环火星轨道。它的观测发现火星极区覆盖着冰层，地表下面可能有水流过（图11）。美国“火星极地登陆者”原定1999年12月登陆火星，但未能成功。但是，美国于2001年4月发射升空的环绕火星的卫星“奥德赛”（Odyssey）于2002年2月成功地开始测绘火星。初步结果表明，火星极地存在大量氢原子（图12），其最可能的解释是火星上存在冰冻水。如果这一结果是正确的话，则生命出现的可能性就很大。1995年12月到达木星周围的伽利略探测器观测到木卫二表面冰层由潮汐力产生的许多裂纹（图13），表明木卫二冰冻表面下可能存在液态水的海洋。如果这能最终证实的话，则海洋中有可能存在生命。

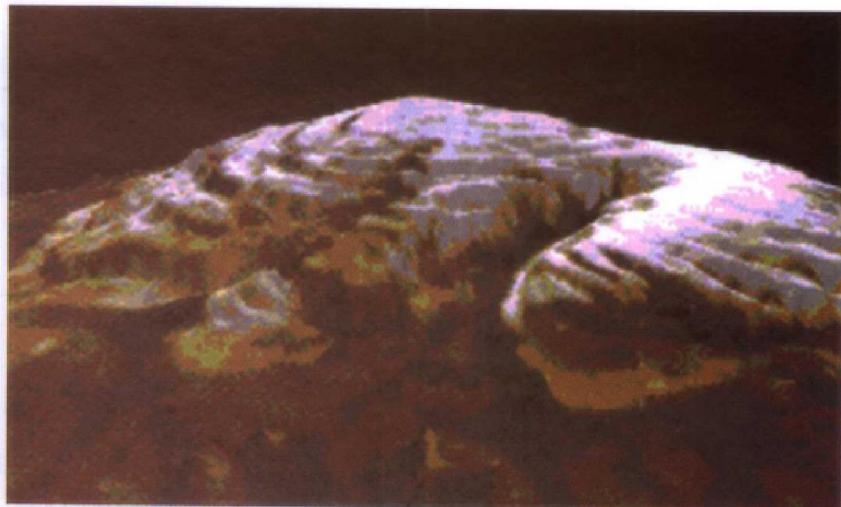


图11 卫星观测发现火星极区覆盖着冰层，地表下面可能有水流过。

几十年来，由于空间探测的成果，同时结合地面观测和实验室模拟（包括计算机数值模拟），行星物理已发展成一门以多学科（天文，空间科学，地质，地球物理，地球化学，大气科学，生命科学等）的综合研究为特征的、内容更广泛的行星科学（或者，像有的文献那样，称之为太阳系研究），它包括下列主要分支：

1. 行星物理学

对九大行星及其卫星和环系进行观测和研究，除测定其大小、质量和自转等基本性质外，对行星的表面、大气、内部结构和磁场已进行了广泛研究，主要课题有：

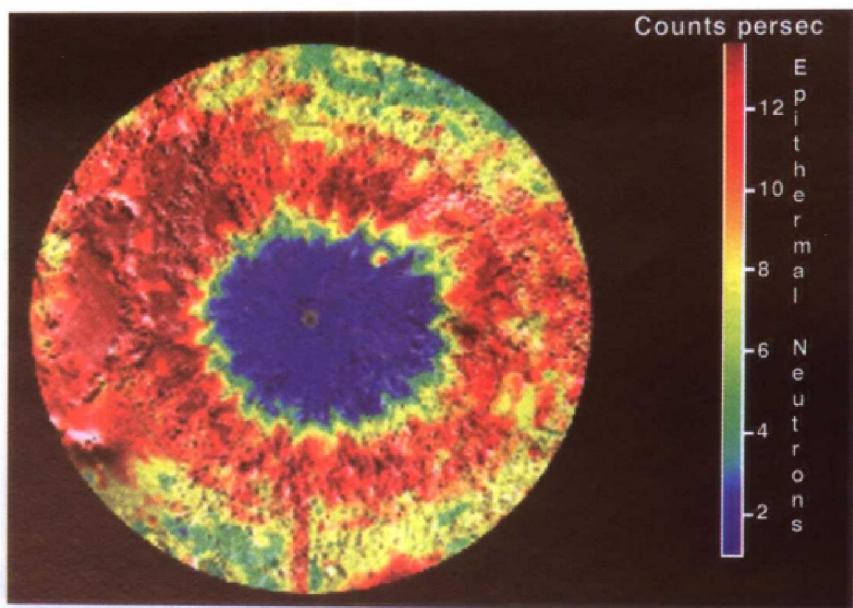
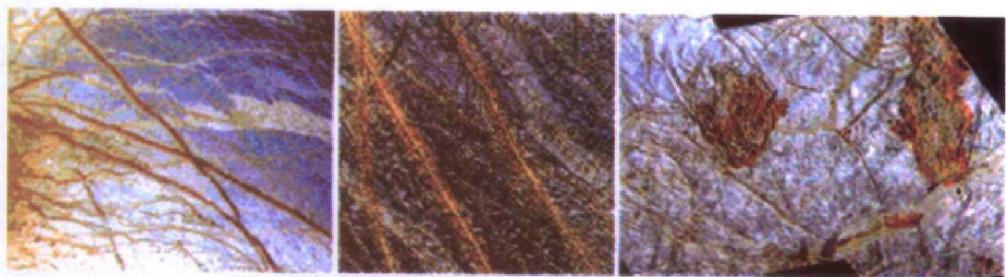


图 12 火星探测卫星“奥德赛”(Odyssey)于 2002 年 2 月观测到的火星南极区的氢元素分布图，深蓝色区域意味着有丰富氢元素的区域，那里有可能存在冰冻水。



“伽利略”号拍摄的木卫二表面的冰壳以及冰壳上密密麻麻纵横交错的裂缝。

图 13 1995 年 12 月到达木星周围的伽利略探测器观测到木卫二表面冰层由潮汐力产生的许多裂纹，表明木卫二冰冻表面下可能存在液态水的海洋。

(1) 行星表面形态分析和表面过程物理学。主要研究行星和卫星表面的陨击坑、多环盆地、线状构造以及以木卫一为代表的卫星表面火山活动。对这一课题的研究，实际上已形成一门新的分支学科——行星地质学。它通过对资料的综合和比较研究，增进对行星地质和地球物理过程的理解，了解这些过程的范围以及相互作用的结果。

(2) 行星大气研究。主要研究大气的化学成分、物理状态、构造和运动。有的行星还有特殊的有趣问题：例如木星大气化学成分及其变异性；火星的尘暴以及火星挥发物质的时空分布、半度等随季节变化；行星波以孤立波形式发展为某些土卫极区的正多角形构造等；木星上的闪电。

(3) 行星磁层物理学，以及行星和天然卫星磁场的比较研究。空间探测发现木星、土星等大行星拥有比地球磁层规模大得多的磁层，有些天然卫星也有磁场。这为研究地磁层带来重要的信息。像木星系的等离子体环云(torus)与磁层的耦合，木星极光的研究等都是富有趣的。

(4) 行星动力学特性研究。主要是理论工作，涉及行星形状和重力场、行星内部结构和动力学参数，以及潮汐演化等。

(5) 行星的环系。木星、土星、天王星和海王星都拥有环系，这些环系的动力学成因、稳定性以及同牧羊卫星的关系是研究的热门课题。它们的存在对大行星形成乃至太阳系演化的意义都是很值得研究的。

2. 彗星物理学

国际哈雷彗星联测已为彗星物理研究提供了大量的实测资料。关于等离子体彗尾现象的若干关键问题，例如彗尾中等离子体能量的储存和输运，射线的构造和运动等都未解决。至于彗星爆发的机制和巨大能源更是探求的焦点。

3. 小行星物理学

随着美国宇航局发射专用于探测小行星的探测器，研究已相应加强。亚利桑那大学使用 Spacewatch 望远镜并采用新的 CCD 系统，专用于搜寻近地小行星，功效大增。发现的 1991BA 直径只有 9 米（离地球 17 万公里）。有些 M 型小行星（富金属）亦为研究热点。至今已发现的小行星数目超过 20 万个，其中正式编号的小行星达 13 000 余个。2001 年 2 月美国“苏梅克”卫星成功地在“爱神”星着陆开创了探测小行星的新纪元（图 14）。近年来对近地小行星的探索和研究引起了很大的重视，因为它们之中有一些可能与地球相撞，威胁人类的安全。估计近地小行星的数目可能超过 1 000 颗。各国纷纷研制专用的望远镜来监测它们。

4. 流星天文学

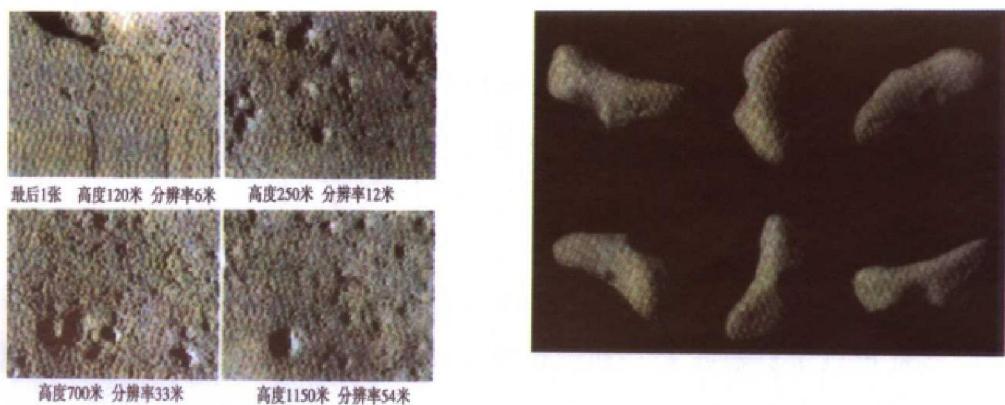


图 14 由“苏梅克”卫星在登陆“爱神星”过程中拍摄的“爱神星”表面细节。

观测研究流星现象，了解流星体大小、质量、成分、分布和运动以及对地球的影响；研究流星雨和彗星的相关。

5. 行星际空间物理

观测研究行星际物质分布、密度、化学成分及磁场等，包括黄道光与对日照观测。近年来发展了一系列空间手段进行观测。

6. 陨石学与宇宙尘研究

分析陨石和宇宙尘的化学、矿物成分，物理状态及形成演化。

目前对太阳系起源的研究也获得了很多重要进展：

(1) 太阳系外恒星—行星系的探测。由太阳系现状逆推其 46 亿年前的复杂形成过程是困难的。近年，对年轻恒星及恒星形成区的观测研究取得了可喜的进展。例如，红外天文卫星发现某些恒星周围有尘埃环；某些恒星可能有褐矮星伴星。毫米波射电、红外和光学观测都找到许多新形成的太阳型恒星周围有星云盘。目前已观测到 80 余个具有行星系统的恒星，引起了国内外的广泛重视。

(2) 以哈雷彗星回归的观测研究为里程碑，得到了太阳系原始小天体的许多信息。1986 年飞船对哈雷彗星的近距探测揭示了它的奇特暗黑彗核，并有许多活动现象。还发现它有丰富的碳、氢、氧、氮尘粒，这对认识早期太阳系的生命成因化合物是很有意义的。还发现 CH_4/CO 比值远大于星际物质中及对太阳星云的预计值。彗星与小行星的空间探测及取样也在着手进行。



(3) 陨石的分析研究也提供了许多早期太阳系的信息。例如，从放射核素分析得出陨石及其母体的形成演化时标及形成时的具体环境条件；发现了前太阳系的同位素异常，可能是来自超新星和红巨星的物质进入太阳星云。通过来自火星和月球的陨石与地球样品的对比分析可估算吸积过程，解释类地行星的总体化学性质和动力学特征。

(4) 九大行星及其卫星系的观测资料为了解行星系总的形成过程及各自形成的条件提供了有益线索。利用超级计算机对太阳系形成过程进行数值模拟已成为研究的重要手段。

(5) 生命起源的研究。生命成因的化合物起源于核合成，通过星际环境转化，结合到太阳星云，最终在地球上演化为生命。近年来已在 70 多个恒星周围发现了行星或行星系，更引起了社会和公众对探索地外文明的极大关注。

三、国内研究现状

我国在行星物理与太阳系起源演化领域的研究队伍很少。这些少量科研人员的研究工作和分布也是分散的。在经费少、困难大的条件下，我国的研究人员（天文界、地学界、空间物理界等）仍作出了一些较好成果。例如，哈雷彗星的联测、比较行星学、彗星物理、木彗相撞、流星雨和陨石研究等。有些还取得了很大的社会反响，引起人们广泛的关注和兴趣。但太阳系起源演化研究缺乏年轻人继承与发展；流星观测研究则刚刚起步；空间观测更是空白。这种状态显然不适应我国及世界上的发展情况。近年来情况有所好转。经国家科技部和科学院批准，紫金山天文台已决定在江苏盱眙县建立观测基地，正在研制 1.2 米口径的搜索近地小行星专用望远镜，可望在短期内安装并投入使用。此外，在小行星观测和研究、行星自转动力学和行星物理等研究领域也都取得了很好的进展。

四、发展战略和优先领域

从国内天文学诸分支发展来说，我国在行星物理与太阳系演化方面的研究队伍最小，且严重缺乏年轻的研究人员。这种情况与国外差距太大。国外



有许多行星科学系与专业，有很大的研究队伍和雄厚的经费与设备。但是，另一方面，我国的航天技术已达世界先进水平，发射空间舱、环月球探测器，以及行星探测也指日可待。因此，应当特别重点考虑发展我国的行星物理与太阳系演化研究，至少在某些课题上应打开局面。建议采取有效措施，组织科研队伍，加大经费投入，培养年轻一代的科研人员，落实计划，加强国内协作（尤其是与空间部门的协作）和国际协作。在国家自然科学基金及天文规划中把行星物理与太阳系演化作为重要而又最薄弱的学科予以重点支持。



附录 2 恒星、星际介 质和银河系

一、学科的地位、作用，国际发展的特点、趋势及前沿

恒星是宇宙的基本单元，在当今天文学的研究中，它起着“承上启下”的作用。银河系中有千亿颗类似于太阳的恒星，它们的差别只在于它们的质量、化学丰度和年龄。距离我们最近的恒星是太阳，它养育着整个地球上的生命，但要完整地了解太阳，尤其是演化历史，我们只能借助于对大量恒星的研究，才能知道它的过去及将来，以及对人类的影响。恒星又是组成星系的主要成分，宇宙演化初期形成星系，其标志应该是其中出现恒星，恒星又是目前已知的唯一能合成氦以后元素的“机构”，宇宙演化一个重要内容是元素演化，其关键就在于不同质量的恒星在不同时期的形成、演化到“死亡”的过程。恒星层次的天体还包含着众多的极端物理条件和物理过程，例如致密星中的高密度、Polar 的强磁场、超新星、 γ 暴等有极强的高能物理过程，是高能物理的极好实验室。在 20 世纪由于天文观测的走向成熟，和核聚变理论的发展，对于恒星演化的课题已经能比较系统地给出答案，而被认为 20 世纪天文学的最大成就之一。但是对恒星层次包括对它们演化的研究远远没有结束。目前，天体物理学的一批关键问题涉及到恒星层次，它们是目前天体物理研究的热点。例如：(1) 恒星形成过程（包括行星系统）；对最早期恒星的研究，包括所出现的坍缩和吸积以及在其周围所出现的光学喷流、HH 天体和由激波激发的水脉泽等是目前包括大型毫米波及亚毫米波和红外天文研究的重点，并为光学天文研究所关注。(2) 虽然我们已较系统地能描绘出恒星演化的整体图像，但是仍然具有相当大的不确定性。其原因是对恒星内部物理过程认识仍不完备，而且对具有大的质量流失的大质量恒星了解得还不够。一方面我们在理论上要进一步发展有关理论，另一方面是从观测恒星的脉动、星震及从物理学知识得到更好的恒星内部物理状态及过程。(3) 双星的研究包括利用双星动力学计算它们的轨道曾为我们提供了重要的恒星基本参数如它们的质量、半径等。超过一半的恒星认为在双星和聚尾系统之中，但是由于它们在演化过程中会相互影响，已有的恒星演化理论并不完全适用于它们，特别是具有物质交换的密近双星。对它们的研究，尤其是当其中之一是处于致密星时，产生的吸积现象和爆发过程（从矮新星、



新星到 Ia 型超新星) 以及伴随的高能物理过程, 更是当今国际天文学研究所关注(目前相当多的 γ 暴模型也牵涉到包括中子星的双星系统)。当然中子星(包括脉冲星), 以及尚未发现的奇异星不仅吸引天文学家的关注也吸引着物理学家的兴趣。目前恒星领域的研究还有一个主要内容就是在太阳系以外的恒星周围寻找行星系统, 利用视向速度的测量, 目前已知大约 80 颗恒星可能存在行星系统, 而“凌星”观测肯定了 HD209458 有一个较木星略大的行星存在。但要找到地球大小的有可能存在生命的行星仍需努力。

* 注: 除图 6 外, 图 1—图 8 均摘自 *Astronomy Today* 一书, 作者: E. Chaisson, S. McMillan, Prentice Hall, Inc., 1999

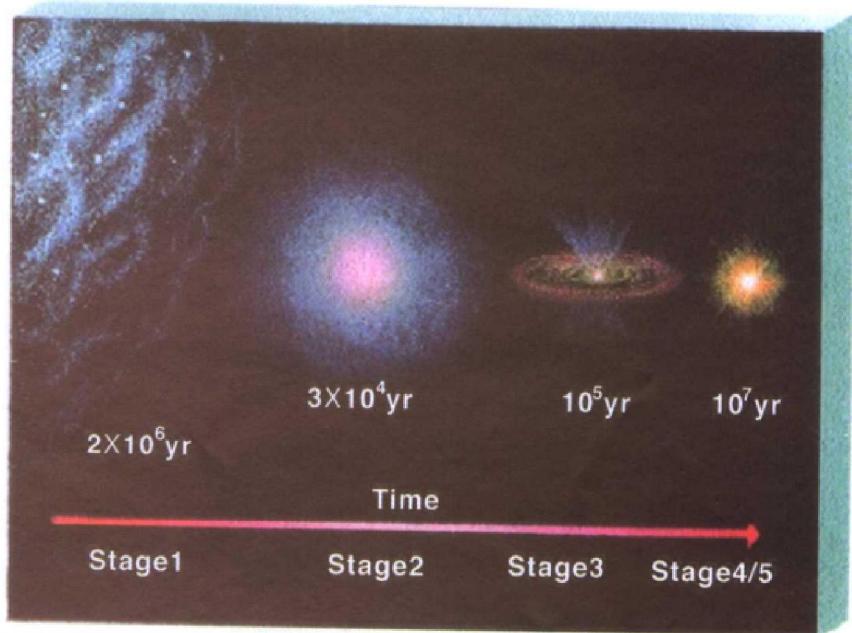


图 1 恒星早期演化阶段的示意图。Stage1 为恒星际星云; Stage2 为恒星际星云开始收缩为大小约为太阳系 100 倍的原恒星星云; 在 Stage3 中星云进一步收缩, 尺寸已经接近太阳系, 中心温度达 10 000K; Stage4/5 为原恒星。图中的时标单位为年。

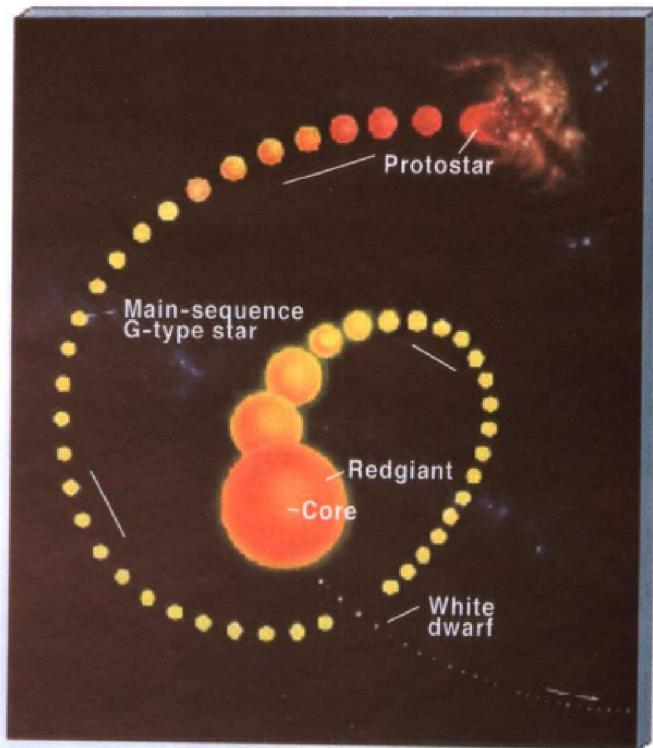


图 2 一颗普通的 G 型星的演化示意图，图中标出了相对的大小和颜色。

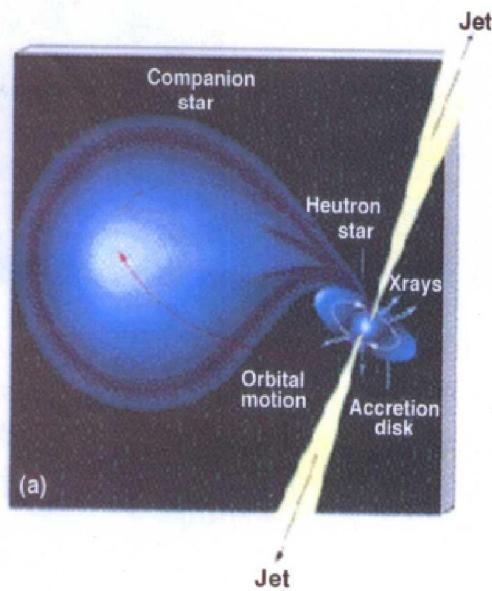


图 3 物质由一颗普通恒星流向它的中子星伴星，并形成吸积盘，此时落入中子星的气体非常炙热，会发出 X 射线辐射。

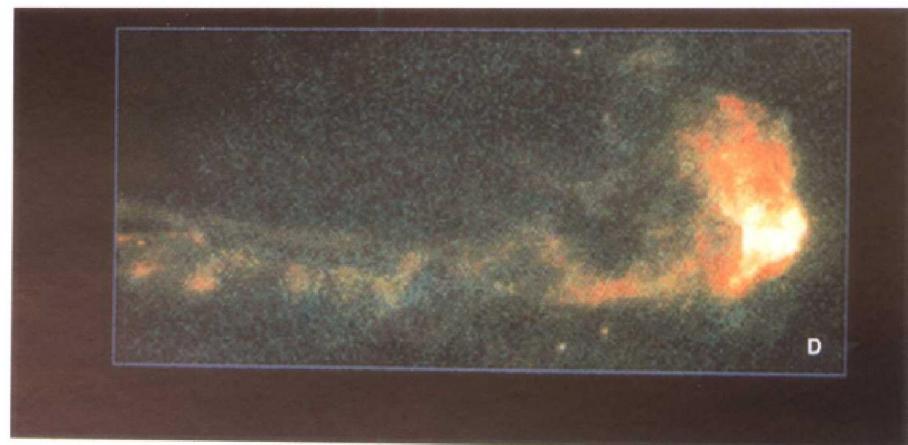


图 4 由非常年轻的恒星发出的恒星喷流的照片 (HH47)，其尺度达 0.1pc，图中可见喷流在恒星际空间前进形成的弓形激波。

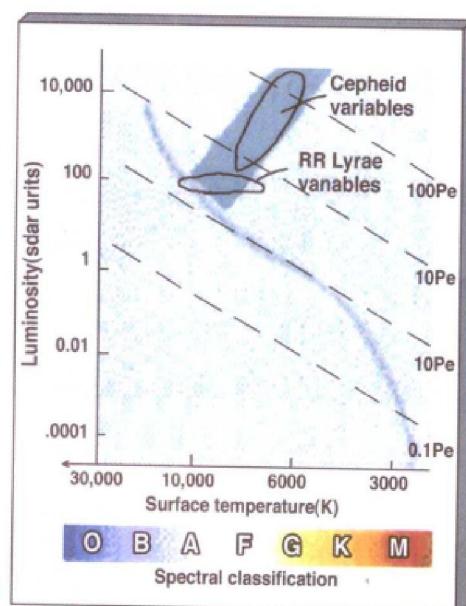


图 5 H-R 图中脉动变星的分布。

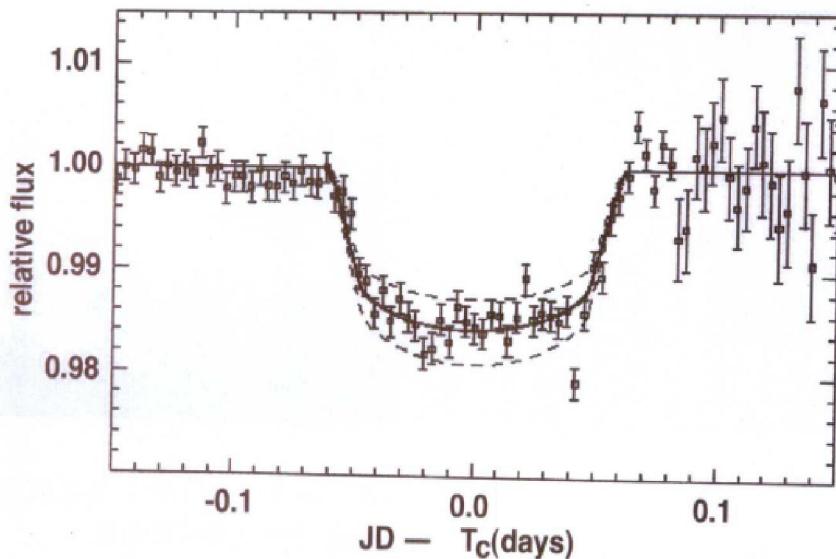


图 6 HD209458 中的行星“凌星”的光变曲线。(图片来源：
<http://www.hao.ucar.edu/public/research/stare/hd209458.html>)

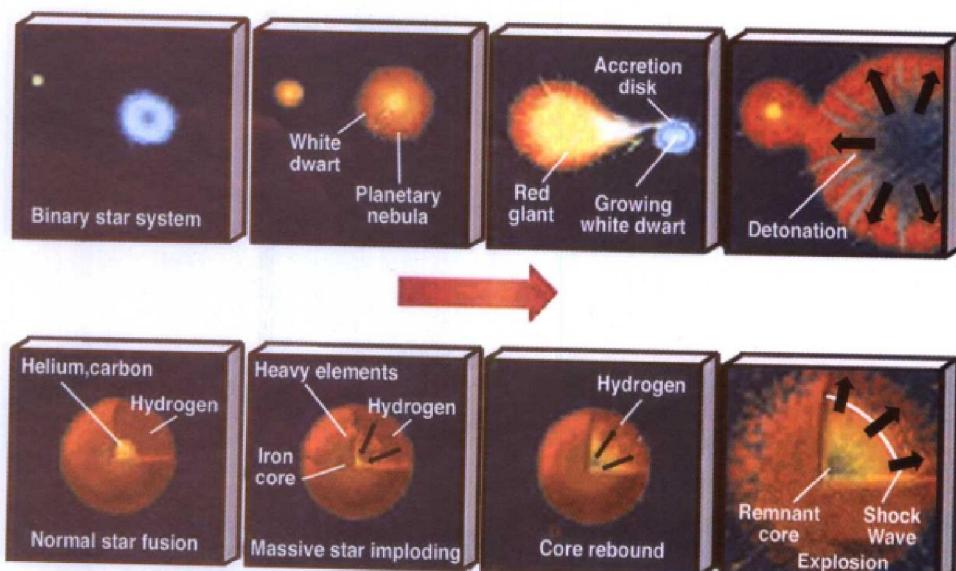


图 7 I型和II型超新星的成因示意图。I型超新星的成因是双星系统中富碳的白矮星从红巨星伴星中吸积物质；II型超新星形成于大质量恒星核心的坍缩。

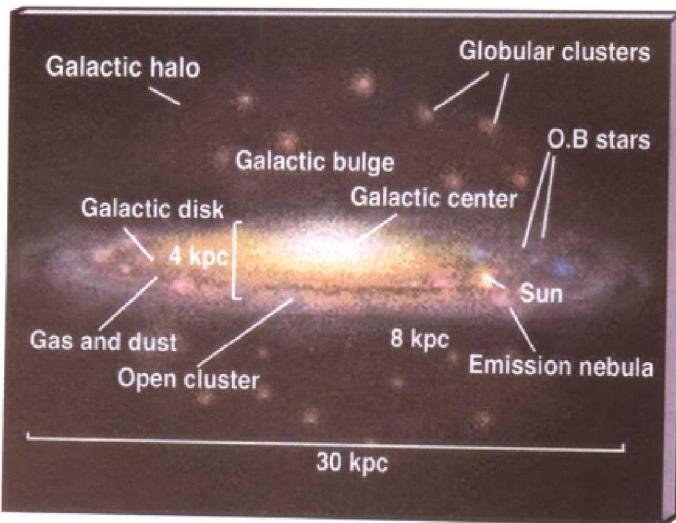


图 8 侧向读者的银河系的示意图。图中给出了年轻恒星（蓝色）、疏散星团、老年恒星（红色）和球状星团的分布

对星际介质的研究是从改正由于星际尘埃对恒星颜色引起的红化开始的。第二次世界大战后，它逐步成为天文学研究的重要对象。究其原因是：(1) 星际分子/尘埃云是恒星形成的诞生地，对星际介质，特别是对分子/尘埃云的研究成为毫米波和红外天文学研究的重点。而有机分子谱线的研究则成为分子天文学和射电频谱学研究的主要课题。(2) 分子/尘埃云中恒星形成效率、恒星寿命和质量流失率是研究宇宙中元素演化的基本资料。(3) 星际介质中存在的有机分子（包括彗星中存在的，有一部分彗星被认为是从太阳系外来的），关系到生命的起源。(4) 而且星际物质的组成和存在形式和银河系的起源和演化有着密切关系；同时又是研究银河系结构的主要工具，例如 HI 和它的 21 厘米谱线。

对银河系的研究曾是 20 世纪初的重要课题，如 Kapteyn 曾倡议对全天均匀分布的选区作测光、光谱分类和可能的视差和自行测量。但由于当时仪器的落后、处理的困难，他的构想没有实现。但在第二次世界大战后，射电天文的发展和利用 21 厘米 HI 谱线研究银河系的旋臂结构和旋转曲线，POSS 的完成，高精度的测光取得了不同天区消光的资料，IRAS 巡天结果，COBE 用近红外得到了银河系存在核球的证据，却使得对银河系的研究有了



重大进展。相信，目前在进行中的 2MASS 和 DENIS 的完成也将为银河系研究有重大促进。特别是一些大的科学计划如 SLOAN, GAIA 和 LAMOST 都把银河系结构的研究作为它们的关键计划。对银河系研究目前最关注的课题是：(1) 它的结构，(包括旋臂结构) 其中特别关注的是 a. 其核心是否存在黑洞；b. 它是典型的旋臂星系还是棒旋星系；c. 厚盘的成分及其稳定性问题；d. 以何种成分存在的暗物质及其分布。(2) 恒星的化学丰度和它们在银河系内的分布；这关系到银河系和化学元素的演化的基本问题。(3) 星际物质的分布、循环以及大尺度能量交换。(4) 银河系和暗伴星系的关系。现在发现有一批暗伴星系其质量甚至小过大的球状星团，且在 100kpc 之内。它们的存在肯定会影响到银河系的演化，并通过对它们的研究有可能解释一些目前不能解释的问题，如逆转恒星群、高速星等。

二、我国研究的现状

恒星物理的研究在我国不论从观测还是理论研究都是我国天体物理的强项。由于望远镜口径的限制，在 1993 年 2.16 米望远镜投入正常运行以前，我国天体物理观测基本上（甚至可以说全部）是限制在恒星层次的。利用小口径的望远镜和测光手段，在密近双星、脉动变星和类太阳活动星等方面都有很好的结果。国际一些重要的联合观测项目如 MUSCOS, STEPHI 和 WET 等，我国都是主要成员。在用 IRAS 选的演化晚期恒星研究方面和主序前恒星研究方面也有不俗的成绩。近年来，利用小口径望远镜改造成的超新星智能化的巡天系统发现了一系列的超新星，更受到国际同行的注目。有关贫金属星重元素的丰度研究因为涉及到元素和星系的演化也取得良好的结果。在理论研究方面突出地表现在恒星的对流和脉动理论；恒星的内部结构和演化，双星的演化理论；致密星的研究如中子星（包括脉冲星）、奇异星的研究，以及近年来关于 γ 暴模型的研究都有突出的成果。

应该指出，在恒星物理的理论研究方面已经有一批年轻学者成为相关领域的学术带头人，所以在上述理论研究领域预期可以得到继续并加强。但是应该同时指出，恒星物理观测研究有良好基础的密近双星、脉动变星、Be 星和类太阳活动星等领域，老一代的学术带头人大多退休，少数亦因年龄的



限制不能进入创新工程，而跟随他们的年轻人由于缺少学术带头人而队伍正在消失。实际上我国拥有的观测设备口径都很小，利用它们做上述工作是具有相当竞争力的，这一状况在新的五年计划中应有所改变。尤其是在脉动变星和星震的观测研究可以和相关的理论研究结合，并会有很好的前景。

对于星际介质的研究，国内主要集中在与恒星形成区成协的分子云研究上。一个由年轻学者组成的研究集体利用国内和国外的毫米波设备和红外设备在星际分子云和恒星形成区研究上卓有成就。这一集体从仪器制造、观测、数据分析都有强的力量，是我国在恒星和星际介质研究领域中值得重视的力量。国内在超新星遗迹的研究（包括中心的中子星）也有较好的结果。在行星状星云的研究上也有一些工作，但后者尚未形成集体。我国已批准的 LAMOST 工程的关键课题之一是研究银河系结构，它将获得的海量数据，将可以推得大尺度的星际介质的分布、性质等。但这类工作在我国只有少数人在年轻银河星团研究中有些经验，利用得到的成员星的光谱和多色测光来判定银河星团的尘埃含量和性质。

真正对银河系的研究，除了少数学者在国外有过较好的工作外，在国内几乎是空白。只有少数人利用 IRAS 资料作过有关结构方面的工作。而能够提到的是和银河系研究有关的是银河星团的工作，利用佘山所保存的长期的底片对一批银河星团测量自行并计算它们的成员性。这一工作在目前是有一定国际地位的，但随着一系列的天体测量卫星的发射，这一领域将会完全被空间资料所取代。所以我们必须寻找新的生长点。而 LAMOST 的保质按期完成，将使我国在这一领域有很好的观测条件而关键将在于研究队伍了。

三、未来发展的建议

根据研究的基础和观测条件，恒星物理的研究应该作为“十五”期间优先发展的领域，尤其是下列领域。

1. 恒星形成过程的研究。

这一领域的研究应包括：a. 申请国外毫米波望远镜时间研究致密分子云的坍缩和极早期原恒星，用多谱线对比的方法研究致密核坍缩的物理条件；b. 研究年轻星、分子外流、光学喷流和 HH 天体的大尺度结构和分

第三章 天文学研究

布，揭示年轻星外流和 HH 天体与大尺度恒星形成的关系，判别传播型恒星形成假设的正误；c. 研究包含大质量恒星的年轻星团的形成过程，包括热核坍缩形成恒星的过程、星团形成的同时性、效率和初始质量函数；d. 对于我国的 13.7 米毫米波望远镜应让它稳定，作为变源监视之用。

2. 超新星和超新星遗迹的研究。

它将包括 a. 对近距星系作地毯式的超新星搜索（与美国 Berkeley 大学合作），争取得到较完备的结果，用于研究不同类型超新星在不同类型的星系中的产率，在星系中的出现位置等统计结果；b. 研究 II 型、Ib 和 Ic 超新星的光度和光谱演变研究超新星爆发的物理过程和前身星；c. 研究 Ia 型超新星极大时刻的绝对星等和光变曲线及光谱的关系，为 Ia 型超新星作为标准烛光研究宇宙结构奠定良好的基础；d. 研究超新星遗迹的形态、结构和它们的非热辐射和演化。

3. 致密星研究。

它将集中研究中子星和奇异星物理，以及可能基于它们的 γ 暴的物理模型的研究。脉冲星的射电观测及统计研究。

4. 恒星的结构、演化和脉动的研究。

包括 a. 恒星对流理论的研究，深入了解对流理论的规律与振动的相互作用以及讨论对恒星结构、演化的影响，并结合对星震和脉动观测的结果；b. 恒星内部物质物态方程的研究与不透明度的研究，例如研究压强电离效应对物态方程的影响，并用小质量恒星演化来检测。

5. 具有物质交换的密近双星或相互影响触发类太阳活动星的研究。

它包括：a. 相接和半相接密近双星的观测和轨道解以求得恒星参数和了解相互影响的密近双星对演化的作用；b. 当一个子星是致密星时的吸积过程，它的吸积盘的稳定性，其上的高能过程和伴随着的激变变星和新星的爆发现象；c. 对一批类太阳恒星活动作研究，包括它们的 X-射线、射电流量、磁场和光度及光谱变化之间的关系。

6. 恒星化学丰度的研究。

它将包括 a. 研究一批贫金属星（银河系中较早形成的恒星）中的重元素如锶、钇、铕的丰度研究，检验恒星核合成理论和星系化学演化模型；



b. 分析不同化学丰度的恒星（包括球状星团）在银河系中的分布，研究银河系的化学丰度的分布和元素演化规律。

7. 利用现有设备开展恒星和恒星系统的包括位置、自行、视向速度、光度、光谱分类和化学丰度等基本参数的测量，开展银河系结构的研究。

在考虑我国的中长期计划时，我们必须考虑我国“九五”已经立项的 LAMOST 计划。LAMOST 在有月夜（约占 1/3 的时间）将不能用于作河外星系的工作，但是可以作恒星（例如 $V \leq 16$ ）的光谱工作。若 LAMOST 能在 2004 年完成，预期在 2007 年可正常工作。那么在“十一·五”计划中它将起重大作用。由于它可得到大量的恒星光谱，若它的光谱分辨率为 $1.0 - 1.5 \text{ \AA}$ ，那么我们将能得到：a. 分类精度为一个次型的光谱型，精度为 5 km/s 的视向速度（指晚型星，早型星为 $10 - 20 \text{ km/s}$ ）和有一定精度的化学丰度（例如化学丰度 $[\text{Fe}/\text{H}]$ 的精度到 0.1）。那么，从它的海量的数据中，我们将可以发现一大批光谱特殊星（包括不同类型的发射线星、高速星、化学特殊星等），对它们的统计研究以及利用其他望远镜作后随的更进一步的观测研究，将为我国的恒星物理奠定极好的基础。但这都要求 LAMOST 能保质按期完成，并有相应的光谱设备，否则国外类似的计划将会走在我们前面而失去这一极好机会。

当然，LAMOST 建成和投入运行更使得我们在银河系和星际介质研究方面提供了极好的机会。我们可以利用对 $V \leq 16$ 等的恒星对北银区的观测结果研究如 a. 不同星族的标高，尤其是用来确定厚盘和晕族恒星的成分、它们的化学组成和运动速度；b. 若和 GAIA 计划结合，我们将可以得到高精度的恒星的位置（空间分布）和速度，我们将可以根据对太阳系附近恒星的动力学计算来确定太阳系附近暗物质的存在与否。而对低银纬恒星的观测研究将使我们可以得到银河系的旋转曲线，太阳系附近旋臂和旋臂间恒星的分布和成分（包括对 Gould 带的研究），恒星的化学成分和离银心距离的关系等，来研究包括银河系动力学在内的银河系的结构和演化。对于 $V > 16$ 等的恒星的研究有可能找到吸积伴星系的遗迹。

LAMOST 计划若有多色测光资料配合将是研究星际介质的极好工具。对于低银纬的 OB 星观测我们不仅可以得到旋臂结构，而且可以得到星际消

光 A_v 的空间分布，即 $A_v(l, b, r)$ （其中 r 为离太阳系的距离）和 $R = E(B-V)/A_v$ 的空间分布，它是星际尘埃特性的一个重要参数。由于有大量的光谱，在OB星中我们可以得到弥漫星际带(DIB)的空间分布的性质，这对推断DIB的起因是非常重要的。同样也是获得星际钙、钠的分布和 A_v 等关系的一个极好机遇。对年轻星的空间分布和混合形成历史，Lindblad环的结构和运动，用 LAMOST 和 GAIA 资料进行充分研究。

但是，如上所述，我国在这一方面的研究经验、人员不足，所以在“十五”期间应该把上述课题的预研究作为重点来抓。利用 2.16 米望远镜的 BFOSC 或将完成的多目标光纤光谱仪对高银纬和低银纬的一些有限天区作选择观测。一方面我们将得到“铅笔束”的取样结果，得到有关银河系结构和星际介质的研究结果，而更重要的将得到实际经验为 LAMOST 的附属仪器设计提供重要依据，并培养和形成一支从事这一领域研究的年轻学者。

当然，中长期计划还应包括在“十五”期间有良好基础和取得成绩的领域。我们预期在下述领域将会在“十五”期间取得良好成绩而在中长期计划中应予以重视。如恒星形成区，超新星和致密星等研究领域。

四、建议采取的措施

科学计划的实施应该是以促进该领域的近期和中长期的发展为唯一目的，要求有统一的全盘考虑。在恒星、星际介质和银河系研究这几个研究领域，我们建议在今后的近期应考虑：

1. 充分发挥现有设备的作用。

我们国家所拥有的观测设备不多，但考究其中仍有相当比重的望远镜没有发挥作用。究其原因主要有：a. 由于地方保护主义，台址选择不当（或由于我国经济发展，原有台址环境变坏），仪器不能发挥作用；b. 即使如此，仔细分析各种条件，有些设备应该仍能作出一定成绩，但由于指导思想不符合客观实际而长期闲置。在近期发展计划中应该对它们的条件仔细分析，作出科学判断，使它们在一定的条件下能充分发挥作用。尤其是对恒星物理研究，有些情况下对观测环境要求相对是比较低的。所以建议在近期对一些现有设备的运行情况、适用的课题范围作充分的调整研究，提出应改进



的或更新的附属设备，给予必要的支持。

由于“十五”期间，国内真正能用于恒星、星际介质和银河系研究的只可能是目前现存的设备，所以应对它们加强管理、增加投入。

兴隆基地是目前观测条件和运行状况比较好的能从事恒星、星际介质和银河系研究的基地，在“十五”期间应加强对它的支持：例如为扩充波段应尽快装备近红外成像装备（在 2.16 米望远镜上使用，当 2.16 米望远镜用其他波段观测时它用于 1.26 红外望远镜）；BFOSC 和折轴光谱仪尽快配备大面积高效的 CCD 相机；85 厘米望远镜是目前专用于恒星物理观测的设备，应根据它的性能，明确适用范围，改善它的条件使它在恒星物理研究方面充分发挥作用。德令哈的 13.7 米毫米波望远镜应使它投入稳定的运行，集中进行某一类监视性的观测。上海和乌鲁木齐的 25 米射电望远镜应配备相应的频谱仪和脉冲星接收机。使它们在非 VLBI 观测期间（不超过 1/3 的时间）时可用于脉冲星和厘米波段分子谱线单天线的观测。

2. 必须按期保质完成 LAMOST 工程并加强课题预研究。

LAMOST 工程将是我国天文学在 21 世纪初发展的关键工程。但是由于国际的竞争，它有一定的“时效性”。我们必须使它按计划保证质量地完成，这样才能在它所提出的银河系研究的关键课题上有杰出的表现。在“十五”期间，围绕着 LAMOST 工程应考虑：（1）LAMOST 工程只提出了光谱巡天，在银河系和星际介质研究中要求（在宇宙学的研究和输入星表的工作中亦同样有些要求）有多色测光（包括位置和形态）。所以在“十五”期间应配置一台一米级的测光/位置测量望远镜，在先于 LAMOST 投入运行前投入使用。（2）需配备研究银河系结构所要求的光谱分辨本领的设备。（3）在“十五”期间开展恒星和恒星系统的基本参数测定，银河系结构和大样本恒星演化课题的研究，为 LAMOST 作好预研究。

3. 开拓新的研究领域和基地。

随着我国国力的增强，对天文研究的投入亦将增加。而我国天文研究尤其在观测设备上有许多领域是空缺的，基地分布亦偏沿海。所以在有条件的情况下开拓新的领域和基地建设。如：（1）南方观测基地。丽江基地在各方支持下应尽早实现建设一台两米级的望远镜，使它能开展南天天体的观测，

弥补兴隆基地的不足。同时将根据观测结果考察安置更大口径望远镜的可能性。(2) 空间观测的优点在于不仅可以扩充波段，提高空间分辨率，还可以提高观测精度和变化频率的覆盖范围。对我们国家来讲要发射大口径的空间设备去与发达国家比赛更深的探测和更高的空间分辨本领是不现实的。利用微小卫星技术针对某一特定课题，如星震、年轻星变化及光学/UV 和 X 射线联合监视变源的计划应该是有竞争力并适合我国国情的。(3) 毫米波段的研究目前国际上走向大合作以取得更大的接收面积和更高的分辨本领。我们最好的策略可能是参加国际俱乐部，并且争取利用我国青藏高原观测毫米波与亚毫米波的有利条件，作为参加俱乐部的“资本”。

4. 为长远发展打基础。

长远地考虑我们应该有八米级以上的光学/红外普适型望远镜。而这样的设备要求有更高的台址要求。目前它们集中在夏威夷和智利等地。北天的夏威夷已声称不能新添设备。而潜在的可能的台址只有西藏地区，尤其考虑到亚毫米观测要求5 000米以上的高度。而台址的选择不能作严格的时间限制。在“十五”期间我们应尽快组织力量开展对西藏台址的考察。在有正面结论（即有多的晴夜，优秀的视宁度等）后，待国力许可开始大口径光学/红外望远镜和毫米波/亚毫米波望远镜的建造计划。



附录3 星系和宇宙

中国科学院植物研究所

一、星系与宇宙研究的地位和作用

1. 研究对象和内容

星系是由数百万至数千亿颗恒星、气体、尘埃和暗物质构成，空间尺度达数千至数十万光年的天体系统，分布于百亿光年空间中的数以百亿计的星系以及星系际物质构成了目前可观测的宇宙。

星系物理和宇宙学以各种天文观测方法获取的信息为基础，利用现代物理学提供的理论工具，以及天文学其他分支特别是恒星物理的成果，研究各类星系和星系集团的空间分布、形态结构、物理性质、化学组成、活动特征、产能机理，并进而研究星系以至整个可观测宇宙的起源和演化历史。

2. 研究意义

(1) 星系和宇宙研究处在现代自然科学的宏观前沿。

它涉及的空间和时间尺度分别从普朗克尺度和普朗克时间到百亿光年和百亿年，跨度均达 60 个量级。能量尺度从微波背景到普朗克能量，跨度亦超过 30 个量级。这样巨大的时空和能量跨度不仅远远超出了地球上的实验室，甚至远远超出了天体物理其他学科领域（如太阳系和银河系）所涉及的范围，从而使该领域的研究处于天文学、物理学以至整个自然科学的前沿。它一方面从这些兄弟学科吸取最新的方法和成果，另一方面又反过来从更广阔的视野上为这些学科的发展找到新的突破口。有理由预期，极早期宇宙中的极高能量可能蕴含着使自然界四种基本相互作用，即强作用、弱作用、电磁作用和引力作用归于一统的线索。

(2) 帮助人们树立正确的宇宙观。

人类在宇宙中究竟处在什么地位，我们周围的宇宙环境究竟是永恒不变，还是处在不断的演化过程中？这是有史以来人类就在不倦探索的基本问题。16 世纪哥白尼提出的日心说，第一次动摇了人类居住的地球处于宇宙中心的传统思想，为近代自然科学的诞生铺平了道路。到本世纪初，人们进一步认识到：太阳也不过是处在一个被称为银河系的巨大恒星系统边缘的一颗普通恒星，银河系则是一个大星系团（称为室女团）外的一个松散星系群（称为本群）的一员，甚至这个室女团同我们在宇宙中观测到的其他巨大星



系团相比，也不过是一个毫不出众的角色而已。和人类中心论者的信念相反，人类在宇宙中的地位可以说是到了不能再平凡的地步。然而，同样令人吃惊的是，如此平凡的人类能在不到一百年的时间内对孕育自己的宇宙长达一百亿年的历史勾画出了一幅鲜明的图像：从大爆炸后的粒子产生，到头几分钟的元素合成，再到以后星系、恒星、行星的形成，最后是地球上生命的出现。如果考虑到达尔文的进化论对生物学乃至人类自然观念带来的革命性影响，那么对于宇宙演化图景会给人类自然观带来何等深刻的冲击，怎么估计都不会过分的。

(3) 推动高技术的发展。

星系和宇宙学的研究对象大多是极其遥远的天体，只有大口径望远镜加上高灵敏度的探测器才能捕捉到它们发出的信息；星系作为面光源要求望远镜及探测器具备一定视场的二维成像能力和尽可能高的空间分辨本领；对象高的能量跨度要求观测尽可能覆盖从射电波经红外、光学、X射线到 γ 射线的全电磁波段，而处于大气窗口之外的探测器必须进入空间。正是这些需求不断推动人们发展工作于各波段的大型地面和空间天文设备。为建造这些设备而发展的各种高新技术方法如主动光学、自适应光学、微弱信号检测处理等等反过来也将对国民经济和国防事业的发展做出贡献。

二、国际发展动向和趋势

1. 概况

根据国际天文联合会 1979 年第 17 次大会的统计，4 538 名会员中参加星系和宇宙学两组的共 425 人，占 9.5%，到 1988 年第 20 次大会时，两组合计 850 人，占 12.8%。1997 年第 23 次大会时增至 1 259 人，占会员总数 8 300 人的 15.2%。

据“天文学和天体物理学文摘”资料统计，1980 年全世界发表的有关星系和宇宙学论文共 1 229 篇，占总数 7.6%，1990 年达 3 565 篇，占总数 16.3%。1997 年共 5 183 篇，占总数 22.9%，1999 年共计 7 622 篇，占总数 31.2%。

美国国家研究院组织的天文学和天体物理学调研委员会 1992 年发表的

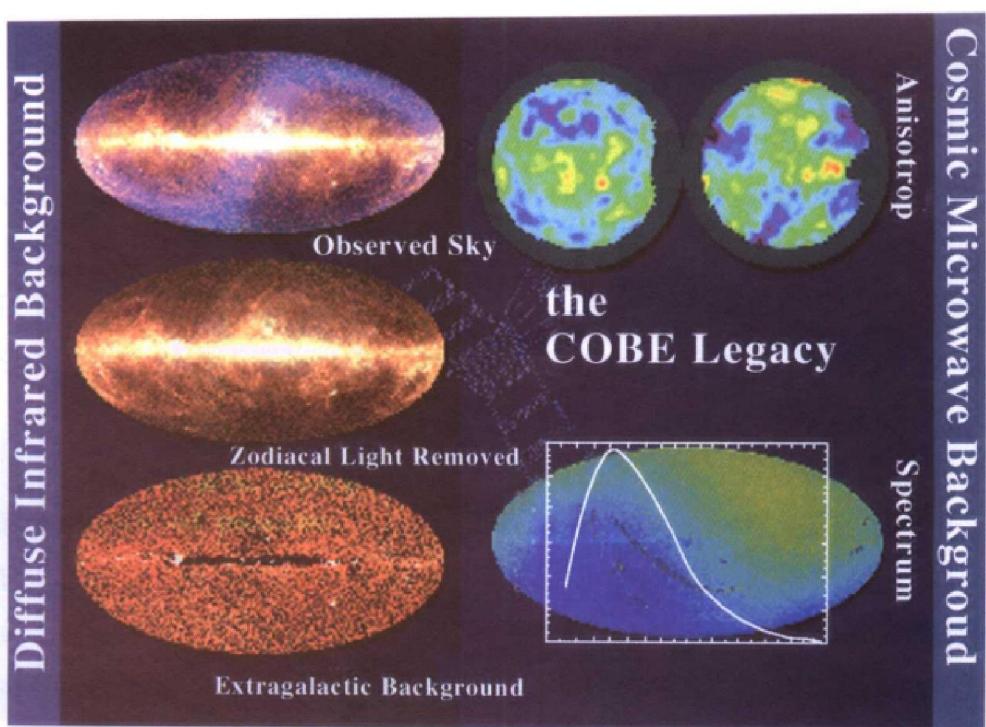


图 1 COBE 卫星观测到的微波背景辐射。右上为各向异性分布,右下为普朗克黑体谱。

报告列举 20 世纪 80 年代天文学 14 项重大发现中, 属于星系和宇宙学领域的有 8 项, 占 50% 以上。其中包括: (1) “大爆炸” 宇宙模型中元素起源的理论得到了天文观测和粒子物理中灵敏实验的支持。(2) 1989 年发射的天文卫星 COBE 不仅以前所未有的精度证实了宇宙微波背景的黑体谱, 从而对大爆炸模型提供了新的有力的支持, 而且首次在 10^{-5} 的水平上发现了这种辐射的不均匀性, 对星系和星系团形成的理论给出了很强的约束(图 1)。(3) 星系自转曲线变平等一系列天文发现表明宇宙中约有 90% 的物质是不发光的“暗物质”。(4)发现了一批红移为 4 至 5 的类星体, 从而把它们形成的时代推到距今 100 亿~120 亿年以前。(5)发现了爱因斯坦广义相对论预言的引力透镜效应。对研究星系结构、测定宇宙参数 H_0 , q_0 等提供了有力的工具(图 2)。(6)大量星系的红移巡天揭示出宇宙中存在着数亿光年以上的大尺度结构。(7)愈来愈多的证据表明在星系和类星体中心可能存在巨大的黑洞。(8)红外天文卫星 IRAS 发现了一批在红外波段发射其总能量的 90%, 而光度可与类星体相比的极亮星系, 为研究星系的演化提供了新的线索。



图 2 星系团 Abell 2218 引力透镜效应产生的巨型光弧。照片由 NASA 提供。

同一委员会最近发表的新千年报告列举 90 年代的 12 项重大成果中，属于星系和宇宙学领域的有 6 项，亦占 50%。其中包括：(1) 有力的证据表明 γ 暴及其余辉产生于非常遥远的宇宙；(2) 更多的迹象说明星系中存在大质量黑洞是很普遍的；(3) 一批高红移星系的发现揭示出从早期宇宙到现在星系发生了明显演化（图 3）；(4) 发现了理论上预言大爆炸留下的背景辐射小起伏是各种尺度结构形成的种子；(5) 宇宙膨胀速率测量的精度接近 10%，确定没有足够的物质能停止宇宙的膨胀；(6) 微波背景的气球观测表明宇宙是平坦的，高红移超新星的观测发现宇宙在加速膨胀（图 4），支持宇宙常数不等于零的模型。它对于粒子物理的真空能量有重大意义。

由以上研究人员，科学论文，特别是重大成果几方面的统计不难看出，近二十年来星系和宇宙学研究有了明显增长，在整个天文学中所占的比重也在稳步提高。随着一系列大型地面和空间设备陆续投入运行，这种增长势头无疑将进一步保持下去。

2. 趋势

本世纪初活跃的课题将是：

- (1) 星系的形成和演化



图3 哈勃深场中发现的高红移星系（箭头所指红色天体）。照片由 NASA 提供。

毫米波和亚毫米波观测将进一步揭示银河系和河外星系中星际物质特别是分子云的分布，探讨什么物理过程决定着星系中的恒星形成率，以及恒星形成对星际物质的反馈机制；高精度面源测光和分光有可能发现椭圆星系中心的物理本质；演化的星族合成法将广泛用于研究各类星系的恒星形成史；高红移星系的观测有可能查明第一批恒星和星系形成的时代，揭示年轻星系的面貌，追踪星系的形态、颜色、金属丰度等随时间的变化；星系与周围物质的相互作用以及星系之间的潮汐作用，碰撞和并合过程的细致研究将提供星系动力学演化的线索。

（2）活动星系核的性质

新一代更灵敏的 X—射线望远镜如 CHANDRA，XMM 将发现更多的活动星系和类星体；大型地面望远镜和哈勃空间望远镜将更进一步揭示类星体宿主星系的性质；星系核周围气体和恒星的运动研究将提供超大质量黑洞存在的更直接的证据，了解各种尺度黑洞的形成和演化；新一代 X—射线卫星也可能解开困惑了天文学家 25 年之久的“X—射线背景”之谜；多波段国际联测将通过监视连续谱和发射线的变化弄清宽线区的结构；新一代空间

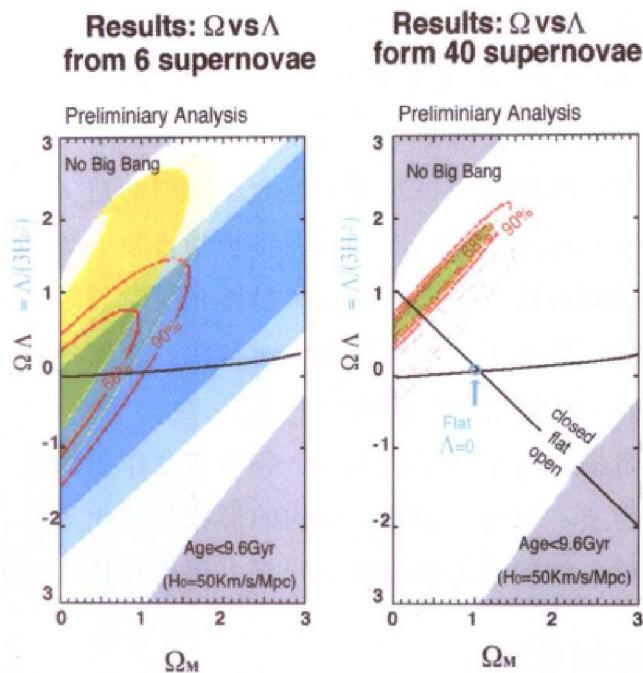


图 4 由高红移 Ia 型超新星的哈勃图估计物质和宇宙学常数对宇宙能量密度的贡献。

VLBI 射电干涉仪 ARISE 将以 15 微角秒的分辨率揭示活动星系核的喷流及中心源的结构和性质；高红移类星体吸收线的研究有可能揭示星系和类星体之间是否有演化上的联系。

(3) 星系群与星系团

本星系群和其他星系群质量与质光比的测定，X—射线辐射与热气体的分布；室女团和其他星系团中气体和星系的分布和亚结构；椭圆星系和旋涡星系的光度函数；星系团中气体的来源以及星系际介质再加热过程；团的环境对星系演化的影响等。

(4) 宇宙大尺度结构

深度达 19.5 等的全天星系红移巡天完备样本的获得将澄清星系分布中的纤维、空洞等大尺度结构，以及大尺度本动速度是否超过微波背景辐射均匀性的约束；COBE 卫星逐年积累的资料分析将把测量微波背景的精度提高到百万分之一！灵敏度和角分辨率更高的新一代微波背景卫星 Planck，MAP 将对宇宙学参数的精确测定做出贡献。这些设备还将用于研究大爆炸

之初激发的引力波对背景辐射产生的偏振，直接检验暴胀宇宙学模型。

引力透镜效应将进一步成为探测宇宙中物质分布，特别是了解星系、星系团以至更广阔的宇宙空间暗物质分布及其性质的有力手段。

新一代地面和空间望远镜将发现更远的星系中的造父变星和超新星，改善距离测量的精度到百分之十以内，从而将哈勃常数的测定精度提高；用与距离测定无关的物理方法，如引力透镜类星体光变时延等测定哈勃常数将得到发展。一般地说，其他宇宙学参数如减速参数、密度参数、宇宙时标等等也将用若干独立方法得到更令人信服的测定。

理论方面，暗物质与暗能量的本质、各种相互作用的统一、宇宙极早期粒子产生、正反物质不对称性起源，结构的形成与演化等重大问题有可能由于天体物理学与粒子物理学等学科的共同努力而得到长足进展。

三、国内现状和优势

1. 现有设备

我国已拥有一批功能同国际同类设备相当的中小型望远镜：

- 2.16米望远镜于90年代初投入运行，配有折轴摄谱仪可进行银河系化学演化的研究；卡焦低色散光谱仪可进行河外天体的分类和红移测定、光谱诊断、星族分析，发射线区结构等课题。
- 60/90厘米施密特望远镜配 2048×2048 象元CCD加15个滤光片的BATC巡天系统，以其1度的大视场和多色测光能力可在大样本天体光谱能量分布(SED)、高红移天体搜寻、近邻星系深度面源测光、星系团结构研究、 γ 爆光学余辉监测等方面将做出高水平的工作。
- 经技术改造的兴隆60厘米望远镜在近星系超新星巡天和光变曲线研究中已经并将继续作出贡献。
- 2.16米望远镜和1.26米红外望远镜配备红外阵列相机后将使我国天文学家拥有对河内和河外天体近红外成像的能力。
- 云台1米镜和经技术改造的60厘米镜可在观测南天天体和AGN监测等方面发挥作用。
- 德令哈13.7毫米波望远镜适宜研究银河系分子云，在配备适当宽带设备



后可用于研究河外星系。

- 上海佘山 VLBI 站和乌鲁木齐南山 VLBI 站各有一台口径 25 米的厘米波多波段射电天线，并已成为国际 VLBI 网的重要成员，可用于研究活动星系核的结构。
- 密云米波综合孔径望远镜已完成的 232 兆赫射电源巡天为银河系结构和河外星系研究提供了有价值的资料。

2. 国际合作

中国天文界同国际著名天文数据中心已建立广泛的合作关系，可获得 IUE、IRAS、ROSAT、ASCA、HST 等国际先进设备释放数据及其处理软件，具有可与国际同行几乎同步进行研究的能力。我国天文学家已具备作为首席科学家或主要合作者，利用国际大型先进设备，例如：VLBI、AT、ROSAT、CHANDRA、ASCA、WHT、俄罗斯 6 米镜等等进行观测研究并取得重要成果的能力。中国科学院上海天文台和德国马普天体物理所共建的星系宇宙学研究伙伴小组，以及中国科学院国家天文台和德国马普射电天文所共建的星系磁场研究伙伴小组已经启动。

3. 经费支持

在“八五”攀登计划《天体剧烈活动的多波段观测研究》及其“九五”续项研究中，与本项目相关课题人员约占二分之一（即 30 人），“八五”期间人均经费每年 2 万元，“九五”期间人均经费 4 万元，此外，“八五”期间，国家基金委重点课题“星系形成与宇宙大尺度结构”研究获得经费 65 万元，“九五”期间与本项目有关的“BATC 巡天”获得国家自然科学基金重点项目支持 90 万元（1997—2000 年），“BL Lac 天体短时标光变的观测理论研究”获国家自然科学基金重点项目支持 60 万元（1997—2000 年）；“活动星系核和星系团研究”获得国家自然科学基金重点项目支持 100 万元（1998—2001 年）。中国科学院“八五”重点和“九五”重点（150 万）。国家重点基础研究发展规划“973”项目星系形成与演化已获科技部支持 960 万（2000—2001 年）。

4. 已获成果

近 10 年来，本领域内以我国单位为第一单位，我国作者为第一作者发



表的 SCI 论文约 250 篇，许多论文得到国际同行广泛引用。现将若干重要成果摘要列举如下：

(1) 活动星系核辐射机制与中央能源

- 与美日天文学家合作对 NGC 4258 水脉泽的 VLBI 观测研究发现以开普勒速度旋转的亚秒差距气体盘，提供了活动星系核中央存在超大质量黑洞的有力证据（图 5）。

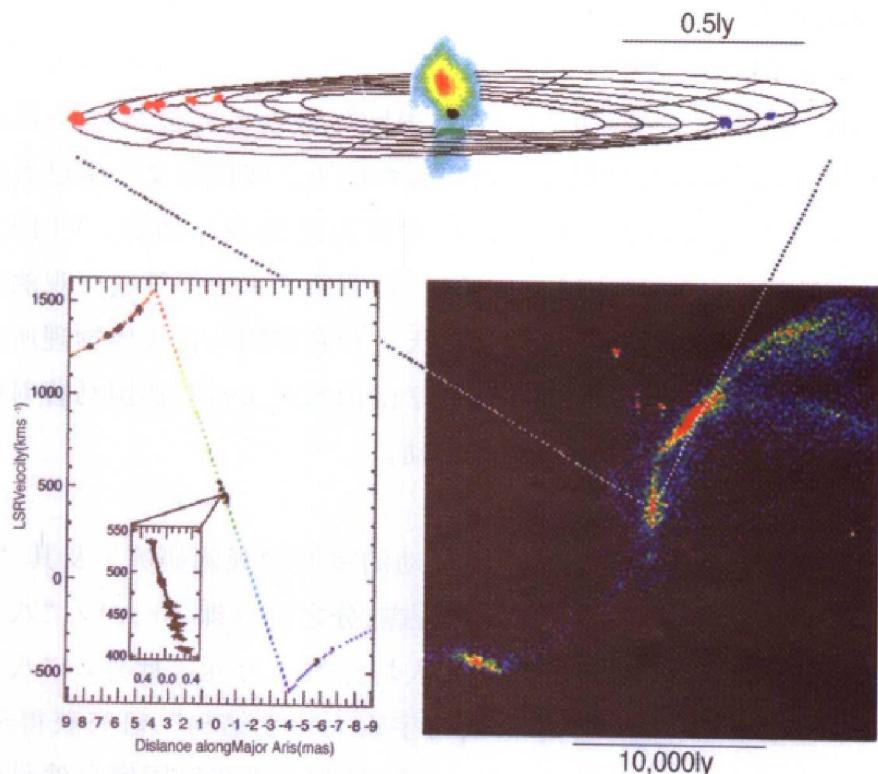


图 5 NGC4258 水脉泽的 VLBI 观测揭示其核心亚 pc 范围内存在超大质量黑洞。

- 发现 AGN 中宽发射线轮廓和 X—射线能谱相关，并证实软 X—射线能谱和 FeII 线的关联。
- 发现一批 BL Lac 天体具有小时时标的快速光变，提出 Blazar 天体伽玛辐射的逆康普顿散射模型。
- 发现了一批窄线 Seyfert I 型星系，并指出它们的 X 射线性质没有通常认为的那么软。



(2) 星系形成与宇宙大尺度结构研究

- 完成了多达一亿四千万个粒子的目前国际上最高分辨率的 N 体数值模拟，对星系形成研究具有重要意义（图 6）。

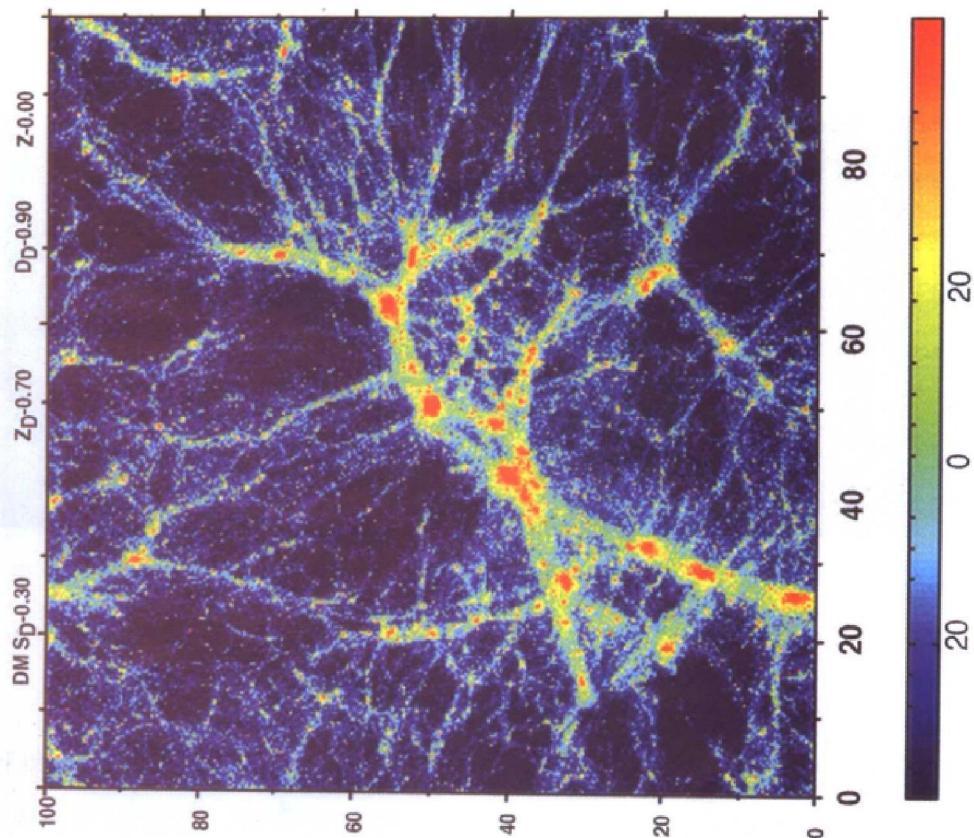


图 6 一亿四千万个粒子的高分辨率 N 体数值模拟。图片由上海天文台提供。

- 用体积限定模型对不同光度星系的分布进行分析，证明了星系大尺度结构存在光度分层。
- 发现星系分布中普遍存在着 60Mpc 和 130Mpc 的结构，提出这可能是宇宙大尺度结构中的某种特征尺度。

(3) 宇宙中暗物质分布

- 建立了星系团引力透镜的统计特性，首次提出星系团中心存在暗物质核。
- 建立 LMC 微引力透镜理论框架，成功解释暗物质寻找实验（MACHOs）的成因。

(4) 星系环境与其活动性的关系



- 发现大样本极亮红外星系中强相互作用和并合系统占很高比例。
- 对大样本亮红外星系进行分光观测和形态研究，为探讨并合过程对星系演化的影响提供了线索。
- Mrk273 的钱德拉成像研究揭示了延展的 X 射线热气体产生于并合过程的有力证据（图 7）。

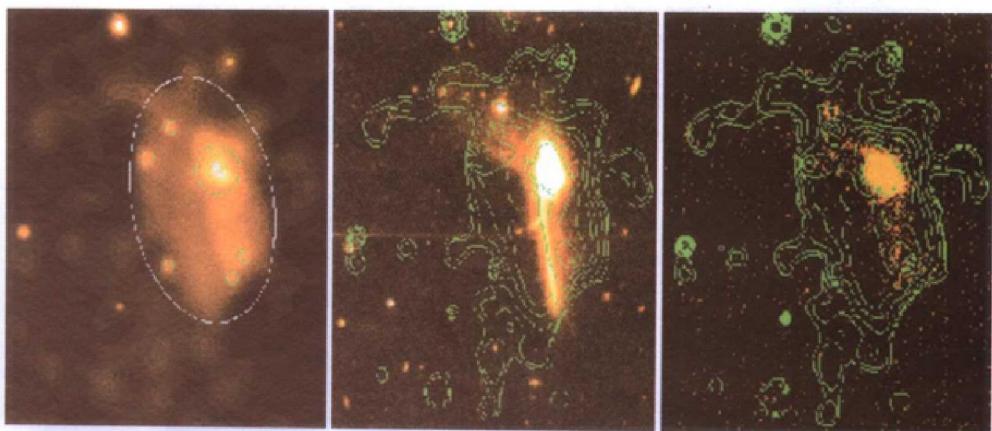


图 7 Mrk273 的钱德拉成像研究揭示了延展的 X 射线热气体产生于并合过程的有力证据。

(5) 正常星系的结构

- 60/90 厘米施密特 CCD 系统，对侧向星系 NGC5907 进行每平方角秒 29 等的面源测光，获得从盘到晕的高精度光度和颜色分布，并发现与之成协的“环状星系”（图 8）。
- 发现一批新的 W-R 星系，为研究星系中恒星形成的初始质量函数提供了重要资料。
- 用星族合成方法获得了巨椭星系的恒星组成。

(6) 星系的化学演化

- 对一批贫金属矮星的多种元素丰度进行了系统的定量分析，为研究星系化学演化规律提供了极有价值的资料。
- 研究了高红移星系的恒星形成和化学演化，提出冷流效应和恒星形成达到平衡的模型。

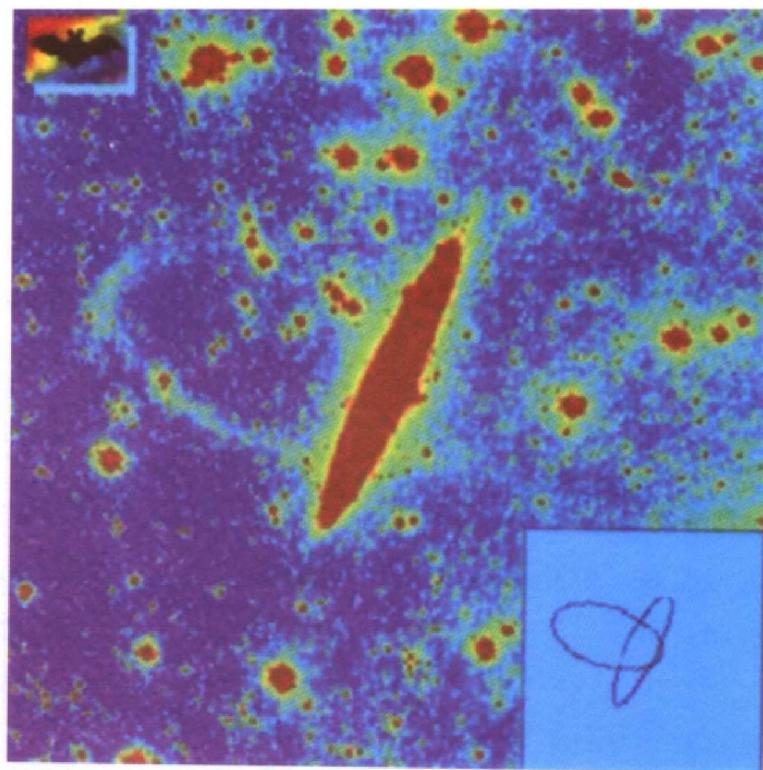


图 8 国家天文台兴隆观测基地 60/90 公分施密特望远镜 CCD 测光系统对近邻侧向星系 NGC5907 的深度面源测光清楚地揭示出成协的光环，它可能是星系相互作用的遗迹。照片由 BATC 组提供。

四、优先领域和发展方向

根据国内现状和发展趋势，我们建议的战略目标是：以我国现有的中小望远镜为基础，培养年轻力量，加强国际合作，充分利用国际大型地面和空间设备提供的数据，在已有研究基础的若干课题方向做出一批系统的、有影响的工作。按时按质完成大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜（LAMOST）的研制，使我国在本世纪初拥有在该领域处于国际领先地位的设备，为我国以及世界天文事业做出应有的贡献。

我们建议本世纪初在星系与宇宙学领域优先发展的方向包括：

1. 宇宙学研究

用国内外资料包括 BATC 多色测光, SDSS, 2dF 特别是 LAMOST 资料建立星系红移大样本, 发展测光红移及更灵敏的统计方法, 对各类星系、星系团和其他高红移天体大于 10Mpc 以上尺度的结构进行分析, 研究其空间分布和速度分布特征及其演化; 发展计算机数值模拟方法和半解析方法对宇宙中结构形成的各种理论预言进行观测对证; 研究暗物质的存在对星系形成过程的影响; 精确定宇宙学参数, 与物理界合作研究早期宇宙中的物理过程等。

2. 活动星系核与活动星系

对由各种方法选出的类星体和其他活动星系核候选体进行光学证认, 发现一批新的特别是高红移的类星体; 研究光度函数及其演化, 对选出的一些活动星系核进行监测, 研究其光变和谱变特征与发射区结构的关系, 探讨其能源和辐射机制; 研究黑洞及周围吸积盘性质和结构; 考察各类活动星系的环境以及具有相互作用特征的星系的活动性来研究活动的触发机理及本质; 探讨活动星系核演化与星系演化的关系。

3. 星系团研究

利用国内外设备获得的 X-射线资料、多色测光、视向速度资料和射电光弧资料, 研究星系团的结构和动力学, 测定气体物质特别是暗物质的分布; 寻找更遥远的星系团, 测定其成员星系的光度、形态、颜色、金属丰度等性质随时间(即红移)的变化。

4. 正常星系的结构和演化

用近星系多色测光和其他观测资料测定其分光能量分布(SED), 用演化的星族合成法研究星系的恒星形成史, 通过与大型地面和空间设备取得的遥远星系结果的比较, 来研究星系性质随时间的演化。



附录 4 基本天文学在天文学中的地位和作用

天文学的两个分支，天体力学和天体测量学（包括天文地球动力学），国际上有时称为基本天文学，因为它提供了人类认识宇宙的最基本的知识和方法，同时派生了影响广泛的应用和服务项目。下面仅就本文涉及的内容分叙如下：

1. 太阳系天体的动力学研究

(1) 它的研究成果具有精密和确定的特点，从而在许多天文学基本理论和前沿课题的定量研究中发挥着重要作用。(2) 它的理论和方法对一般行星系统的研究至关重要。空间天文学的发展极大程度地依赖于精确的太阳系动力学模型。(3) 自转动力学的研究对了解有关天体的内部结构有着重要意义。

2. 卫星动力学研究

有强烈的国家需求。科学意义：在不断提高卫星历表精度的同时，通过反演得到近地空间环境参数，促进空间科学和地球科学的发展。其研究成果，如国外军事秘密卫星的监测和空间碎片的研究，可以为国家安全、空间对抗和航天器的安全提供保障；为我国执行空间法提供依据。卫星历表的精度提高和有效期延长有助于提高卫星设计总体水平。

3. 天文地球动力学研究

人类居住的地球无疑是太阳系行星系统中最重要的一颗。地球的自转运动受到大气、海洋和地下水以及地壳形变、核幔耦合、地核较差自转等地球物理因素的影响呈极端不规则状态，由此产生的动力学问题需要天文学和地球科学的交叉发展才能得以深入研究。此即天文地球动力学兴起的意义所在。本领域的研究对人类认识、利用全球环境变化有重要的科学意义。

4. 参考架的观测与研究

建立高精度的准惯性天文参考系一直是天文学发展进程中的前沿课题之一。一部用来体现高网络密度的天球参考架的大型天体测量基本星表，同时是研究银河系结构和运动学的数据库。空间科学和地球科学的发展需要高精度的准惯性的天文参考系，同时它们又有力地推动了高精度的天文参考系研究的发展。

5. 应用和服务项目



国家创新体系基础的一部分。在进入 21 世纪之际，历书编制面临更高的要求，包括更新内容和改版的课题。在服务内容和形式上，要着眼于全球华人的需要，并适应信息、网络时代的要求，同时满足各横向协作单位的特殊要求。继续古天文、占历法研究，为现代天文研究和精神文明建设服务。时间服务工作，传统上隶属天文学，是一个大国不可缺少的基础和公益设施。随着国家建设的发展，时间工作面临多手段、全方位、不同精度，特别是 ns 级高精度的需求，为保证国家安全，需要有我国自主、相对独立的时间服务系统。

下面就上述五个专题进行介绍。

一、太阳系天体的动力学研究

1. 国际国内的发展状况

近年来，国际上太阳系天体的动力学研究比较活跃。地面和空间观测研究的成果颇丰，由此引起了理论研究的长足进步。理论研究内容主要包括：大行星和自然卫星轨道演化和精密历表，自转运动也是近来的研究热点；小行星的探测和轨道演化，其中近地小行星是目前主要的研究对象；彗星和流星的观测和轨道演化；太阳系长期稳定性研究，该系统具有混沌性是重要的发现之一；行星环成因和稳定性研究；一般理论问题的研究，如动力系统中扩散现象、相对论天体力学的基本理论研究等；数值探索方法（如辛算法、频谱分析方法等）的进一步探讨。

国内近年来研究的主要内容是：太阳系稳定性、各类天体轨道演化和稳定性、地球和月球自转运动、动力系统中的扩散现象、相对论天体力学基本理论、数值方法等等。

2. 前沿领域

太阳系天体动力学研究的前沿领域主要有：太阳系主体的稳定性、各类天体的轨道演化和稳定性、近地小天体探测等。

3. 国内的优势

南京大学关于太阳系动力学一般理论问题的研究在国际上具有较高的地位；上海天文台在地球和月球自转动力学研究、紫金山天文台和国家天文台

在小行星探测等方面都具有较大的国际影响；还值得指出的是，我国已着手研制口径 1.2 米的近地天体探测望远镜，它将安置于江苏省盱眙，预计 2002 年即可投入试观测。

4. 优先领域

根据课题本身的重要程度和我国的优势所在，今后应注重开展近地小天体动力学研究和大天体自转动力学研究；同时应大力支持有太阳系动力学背景的一般理论问题的研究：

(1) 太阳系主体（太阳和大行星）的稳定性。太阳系主体的稳定性至今仍是一个没有解决的难题。对此问题可以开展多方面的研究，比如：进一步揭示动力系统中混沌扩散的规律；探讨如何降低小李雅普诺夫时间给数值研究带来的不利影响；在 50 亿年量级上数值探索太阳系主体稳定性；研究小天体摄动、相对论效应、非引力效应以及太阳质量变化对太阳系主体稳定性的影响。上述工作受观测条件的限制较少，只要有雄厚的理论基础和良好的计算条件就可以做出高水平的工作，因而给予优先支持是符合我国国情的。

(2) 太阳系天体的轨道演化及稳定性问题。形式多样的轨道演化的研究是太阳系天体动力学的重要内容。包括：小天体的来源分布、轨道演化和稳定性问题；大天体的轨道演化和自转动力学（与天体的内部结构密切相关）问题；行星环的形成机制和稳定性。这些问题既有明确的天文背景，又涉及到应用数学上尚未解决的问题，因此一直为研究的热点。

(3) 太阳系行星动力学特性的研究。主要内容有：①行星形状、重力场和磁场研究；②类地行星偏离静力学平衡状态成因的探讨；③类木行星内部结构模型的比较研究；④木卫及其他天然卫星潮汐演化研究。

5. 措施

- (1) 建立以南京大学为主的太阳系动力学的基本理论研究基地；
- (2) 建立以紫金山天文台为主的太阳系小天体的观测和理论研究基地；支持上海天文台、南京大学和紫金山天文台联合开展太阳系大天体自转动力学的系统性研究。



二、空间目标监测与卫星动力学研究

1. 国内外发展状况

目前在空间飞行，直径大于 10 厘米的空间目标有 8 000 多个。其中许多是空间碎片。有些目标在陨落时，可能对人类社会造成破坏；在各国上空进行监视的国外军用侦察卫星，一旦战争爆发，随时成为向对方进攻的“卫星杀手”。因此在海湾战争和北约空袭南斯拉夫之后，各国对空间目标监视更加重视。美国在有了强大的相控阵雷达和 GEODSS（地基光电深空监视系统）设备之后，还提出了许多计划，如空间光电系统、毫米波雷达等，以便能对空间目标进行实时的监视。独联体也有强大的相控阵雷达和类似于 GEODSS 的光电设备。印度和巴基斯坦两国 1998 年的核试验均避开了秘密军用卫星的监视，看来他们空间目标的监测方面取得了很好的进展。

我国对空间监视也十分重视。但是，由于空间监视设备没有落实，目前全面的空间监视尚没有开展。在“863”和总装的支持下，利用小型的光电望远镜以及一些无线电设备开展了一些课题研究。

2. 学科前沿

国际天文学会前主席、美国海军天文台台长 P. K. Seidelmann 于 1993 年在论述卫星动力学的未来时指出：“能否研究一种更好的方法，即使在有阻力存在的情况下，也能算出较长时间有效的卫星星历表？能否发展一种实时预报阻力或监测阻力的方法？我们确实需要大大改进精密卫星预报的方法。”这表明空间目标的监测和相应的工作是卫星动力学的学科前沿之一。

高层大气实时监测问题虽然有许多途径，但通过空间目标长期监测的方法来逐步解决这一问题却是一个有效的好办法。空间目标的长期监测，特别是卫星陨落期的观测，通过轨道反演的方法，可监测空间环境；空间环境参数的精度提高，反过来，也促进了空间目标的监测精度。实现了这一良性循环，P. K. Seidelmann 提出的挑战性的问题可望得到较好的解决。

需指出的是：空间防御对高精度预报提出了更高的要求。这也依赖于大气动态测定研究取得的进步。在空间目标监测范畴内，精密定轨和精密预报所用的资料，只有光学和雷达资料。它们的精度远比激光等资料要低，因

此，空间目标监测中的精密定轨和精密预报的难度要大得多。如果考虑到空间目标监视的目标数非常巨大，我们无法使用数值积分的算法，问题就更突出了。

3. 优势

自第一颗人造卫星上天之后，中国科学院的紫金山天文台及其人造卫星观测系统，就开始研究卫星动力学，取得了包括国家科技一等奖在内的许多成果，为国家解决了许多问题。天文台在卫星动力学和空间目标监视方面在国内有明显优势。

4. 优先领域

- (1) 建立高精度的空间目标的实时天文定位观测系统。
- (2) 精密定轨方法的研究，主要是稳健估计定轨方法研究。
- (3) 高层大气动态测定研究。提高空间目标的定轨和预报精度，提高空间目标星历表的有效寿命。

5. 措施

(1) 卫星动力学研究的是真实的卫星世界，要求的精度也是非常高的。当务之急是建立实测研究基地。建议在紫金山天文台盱眙观测站建立一个卫星动力学的实测研究基地，研制 2 台 1.2 米的光电望远镜（1 台放在江苏，1 台放在丽江），定位精度达到 1—2 角秒，观测星等达到 21 等。主要任务是解决我国空间碎片的观测，填补我国在高轨卫星监视方面的空白，并支撑高精度的卫星动力学研究。

- (2) 建立我国高精度低轨卫星的精密定轨系统，用来解决低轨卫星的精密定轨和预报问题，为我国空间防御提供精密的卫星轨道。
- (3) 建议对空间目标长期监测给予稳定的 support；为了能吸引年轻人，建议将卫星动力学和空间目标监测研究（包括研究人员、设备研制人员和观测人员），纳入国家计划内予以支持。

三、天文地球动力学研究

1. 国内外发展状况

70 年代以来，空间测量新技术 VLBI、SLR 和 GPS 等相继发展和完善，

开辟了监测和研究地球运动的新途径。空间技术目前以优于厘米级的精度测定着现代地球的整体运动（自转速率和极移）和局部运动（大气、海洋、极块运动等），目前已基本揭示了地球自转速率变化的周年和半年分量与大气、海洋运动的关系；测定了地球质量中心的周年变化；给出了长期极移与冰期后地壳反弹的关系等。目前国际上涉及上述研究的相关科学计划和机构有：美国 NASA 的固体地球与自然灾害计划（SENH）、地球自转的连续观测计划（CORE），国际地球自转服务局（IERS）等。1995 年，IUGG/IAG 为推动这方面的研究专门设立了海洋、大气与地球自转相互作用特别研究小组（SSG-5, 173）。我国从 80 年代起相继建成了 VLBI、SLR、GPS 等现代空间观测技术设备，已形成观测网，并一直参与全球性观测计划。上海天文台是国际上拥有多种现代空间技术、全球少数的重要测站之一，而且还是全球空间观测资料分析处理中心之一。我国在天文地球动力研究的某些工作已进入世界先进行列。例如地球自转的五十天波动的发现；地球自转速率的年际变化与海气活动中南方涛动的关系的研究；为监测区域性大气变化，提出了使 GPS 无线电掩星点基本不变的小卫星轨道设计思想等。由上海天文台倡议并主持的亚太空间地球动力学（APSG）国际合作计划也为本学科在我国的发展创造了良好的条件。

2. 前沿领域

- (1) 一阶后牛顿框架下天文参考架和毫米级地球参考架的建立和维持。
- (2) 地球自转变化与地球外部圈层相互作用的研究：地球自由摆动的维持机制，地球自转变化与海气相互作用等。
- (3) 地球内部动力学研究。研究地球磁场变化对地球自转变化在中长期时间尺度上的影响和地球内部圈层间角动量交换规律，特别注意核幔耦合动力学对地球自转十年波动的影响。
- (4) 地球各圈层变化的高精度监测研究：毫米级精度下各空间技术的观测、力学模型和计算方法的研究，各圈层变化的高精度、高分辨率测定。地球外层和内部的物质异常运动和自然灾害关系的研究。

3. 优势

上海天文台建立了 VLBI、SLR、GPS 等空间测地系统，参加了多项国

际合作计划，包括一项主持的国际合作计划。天文地球动力学研究的不少工作在国际上享有一定的声誉，取得了包括国家自然科学三等奖、国家科技进步二等奖在内的多项科研成果，是国内的天文地球动力学研究基地。

4. 优先支持领域

根据我国具体的情况，前沿领域中的（1）、（3）、（4）列入优先支持领域。

5. 措施

上海天文台、武汉测地所和同济大学测量系已联合组成天文地球动力学研究中心。建议国家给予稳定的支持，使我国的天文地球动力学的研究进入世界先进行列。

四、暗天体的参考系的观测与研究

1. 国内外发展状况

近几年来天文参考系研究最大的成就是依巴谷星表问世。它包含了十万多颗恒星的毫角秒精度的五个天体测量参数。然而当代天体物理和空间科学的发展不断地提出了新的要求：更高的精度、更暗的星等、更密的网络，多波段。在计划空间天体测量的同时，天文学家并没有放松地面天体测量工作。以美国海军天文台（USNO）的工作为例。传统的亮星子午星表（北天极至南天极计划，华盛顿基本星表）的编制工作仍在按计划进行。在归算北天照相仪星表（极限星等 11.5）的同时，又开始执行南天的 CCD 天体照相仪（安装在智利 Cerro Tololo 天文台，极限星等 16.0）观测计划，导致 UCAC 星表的发表。在完成目前星等最暗（至 21 等），星数最多（5 亿颗）的照相星表 USNO—AI.0 后，又进行了它的第二版本的改进工作。USNO 是 Sloan 数字巡天（SDSS）计划的参加者，利用它的子午望远镜为 SDSS 建立了 16 个天体测量标准天区（极限星 17.8，位置精度±0.02 角秒，星等精度±0.01 等）。USNO 在建立国际天球参考架中的重要作用已众所周知。近几年它又在创建红外参考架做带头的工作。USNO 的双星、视差、自行和太阳系的天体测量观测工作仍然是天文学发展不可缺少的基础。

我国的基本天体测量工作台在 70 年代中至 80 年代中，曾经完成过在国

际上有相当影响的工作（如对 FK5 基本星表编制的贡献）。但在 80 年代后期，当国际上天体测量工作普遍采用 CCD 观测技术后，我们缺乏类似的仪器，就显得很不活跃了。

2. 前沿领域

本领域内最前沿的工作无疑属亚毫角秒，乃至微角秒精度的天体测量。一般地说，微角秒的精度的天体测量工作只能在空间实现。但是空间天体测量计划的实施需要长时间才能完成。如第二个依巴谷卫星，预计 2004 年发射的 USNO 的 FAME 计划，在 2010 年后才有可能给出结果。一般地说，地面天体测量观测的主要作用是对空间天体测量计划作重要的补充。在今后十年内，它的意义显得更为突出。将依巴谷参考架向暗星方面（15 等或更暗）扩充的地面天体测量工作，关系到各种大科学工程和银河系结构研究的需要，也应当视为前沿领域范畴。

国际上提出的亚毫角秒，乃至微角秒精度的天体测量的空间计划不少于 6 项，其中 SIM 计划（预计 2005 年发射）和 GAIA 计划（预计 2009 年发射）最引人注目。

SIM 是美国 JPL 提出的空间光干涉仪。它工作在 0.4—1.0 nm 波段，由 7 个望远镜排在长 10 米基线上组成三个独立的干涉仪。在大角度测量时，星对间的角距测量精度为 4 微角秒，小视场中位置测量精度至 1 微角秒。观测 25KPC 范围内暗至 20 等的 1 至 3 万颗各类天体，用于太阳系外行星检测，宇宙距离尺度、黑洞和星际暗物质的检测等。

3. 优先领域

暗天体的参考系的观测研究和大样本天体测量参数在天体物理工作中应用的研究应是两项优先发展的领域。我国大科学工程 LAMOST 正式投入观测前有一关键的工作，即大视场中 4 千根光纤位置的计量系统的天文校准工作。SDSS 的标准天区不能满足 LAMOST 工程的需要；LAMOST 的课题目标包括银河系结构的研究。这两项工作都要求我国独立地开展暗天体参考系的观测与研究。LAMOST 的观测可获得大量、最新的恒星光谱、视向速度资料。我们有选择地进行大量暗星的天体测量参数的测定工作和上述资料结合，不仅可以对光学参考架向暗星方向的扩充做出贡献，还有可能根据新

的观测资料开展银河系结构和运动学的研究，得到最新的成果。

2001 年发表的 GSC-2 (HST 导星星表 2) 将包括暗至 18 等星的位置、自行和两个波段的光度测量资料。自行精度：12.5 星等至 17.5 星等的内部误差约 3mas。星等误差约 0.1 等。不同恒星的样本的完整性较 GSC-1 有明显改进。但是严格地说，GSC-2 相对依巴谷星表，主要是暗星方面，还存在系统差。建议尽快给云南台子午环配备 CCD 终端，组织专门的观测来研究 GSC-2 星表中暗星的系统差，再结合国外已有或即将有的天体测量资料，可以在依巴谷参考系向暗星方面扩充及其应用、天体物理研究等领域内做出在国际上有影响的工作。

暗天体的参考系的观测与研究对于我国开展实测天体力学（空间目标和太阳系天体的观测与研究）工作也是不可缺少的基础。

4. 政策和措施

在 2003 年前后，最好还有一台口径一米级，CCD 大视场的望远镜投入暗至于 20 星等的测光和定位的观测与研究工作。为了高效率、高质量地完成上述工作，开展国际合作是必需的。同时需要制定能吸引青年人，稳定研究队伍的政策。

五、时间频率研究和服务

1. 国内外发展状况

国际上，近年在时间尺度和原子频率标准方面、毫秒脉冲星定时和铯原子喷泉的研究取得了长足的进展。毫秒脉冲星观测周期不确定度为士 0.05fs，周期变化率为 2×10^{-19} ，频率长期稳定度为（4 个月以上）为 10^{-14} 量级；铯原子喷泉的准确度和长期稳定度也已分别达到 2×10^{-15} 和 10^{-16} 量级；在时间传递手段和比对方面，卫星、光纤、低频时码、电话、计算机网络授时已广泛应用，满足了不同精度用户的需求。其最高传递精度已达纳秒 (ns) 量级。频率准确度也达 10^{-15} 量级；国际间远距离传递比对也由测距方法扩展到载波相位干涉测量方法；全球的卫星双向时间比对 (TWSTT) 网络正在完成链接，其比对精度可达 0.1~0.2ns，频率比对精度达 10^{-16} 量级。

国内近年在此领域也有了长足进展。如：(1) 工程用氢原子频率基准已投入使用；(2) 毫秒脉冲星时间尺度的定义、算法与原子时的关系、计时模型、物理参数测定、星际介质对空间传播修正等的研究也已展开；(3) 双星快速定位系统（北斗一号）导航定位授时系统即将投入使用；(4) “以原子喷泉为基础的新型铯原子钟的研究”已取得阶段性成果；(5) 长波授时和导航一体化的发播系统正在形成；(6) 中日 TWSTT 已正式投入使用，中（国）欧（洲）的链接尚待开展；(7) 电话及计算机网络授时实验系统已基本建成；(8) 低频时码发播试验台已建成；(9) 高精度原子时研究，包括算法理论、原子钟噪声模型分析结果已在国际上得到认可；高精度实时 UTC 和实时原子时研究拟进入实施阶段，中国科学院国家授时中心参加国际度量衡局计算国际原子时的五台铯原子钟已取得满权，达到国际先进水平。

2. 优先领域

(1) 进一步提高现有频标的精度及新频标（如铯原子喷泉频标、脉冲星定时）的研究；在守时方面开展钟的联合守时（如中科院、总参、海军“长河二号”、信息产业部等），最大限度地发挥我国现有各种频标的作用与效益。建立我国实时 UTC 系统并投入使用。

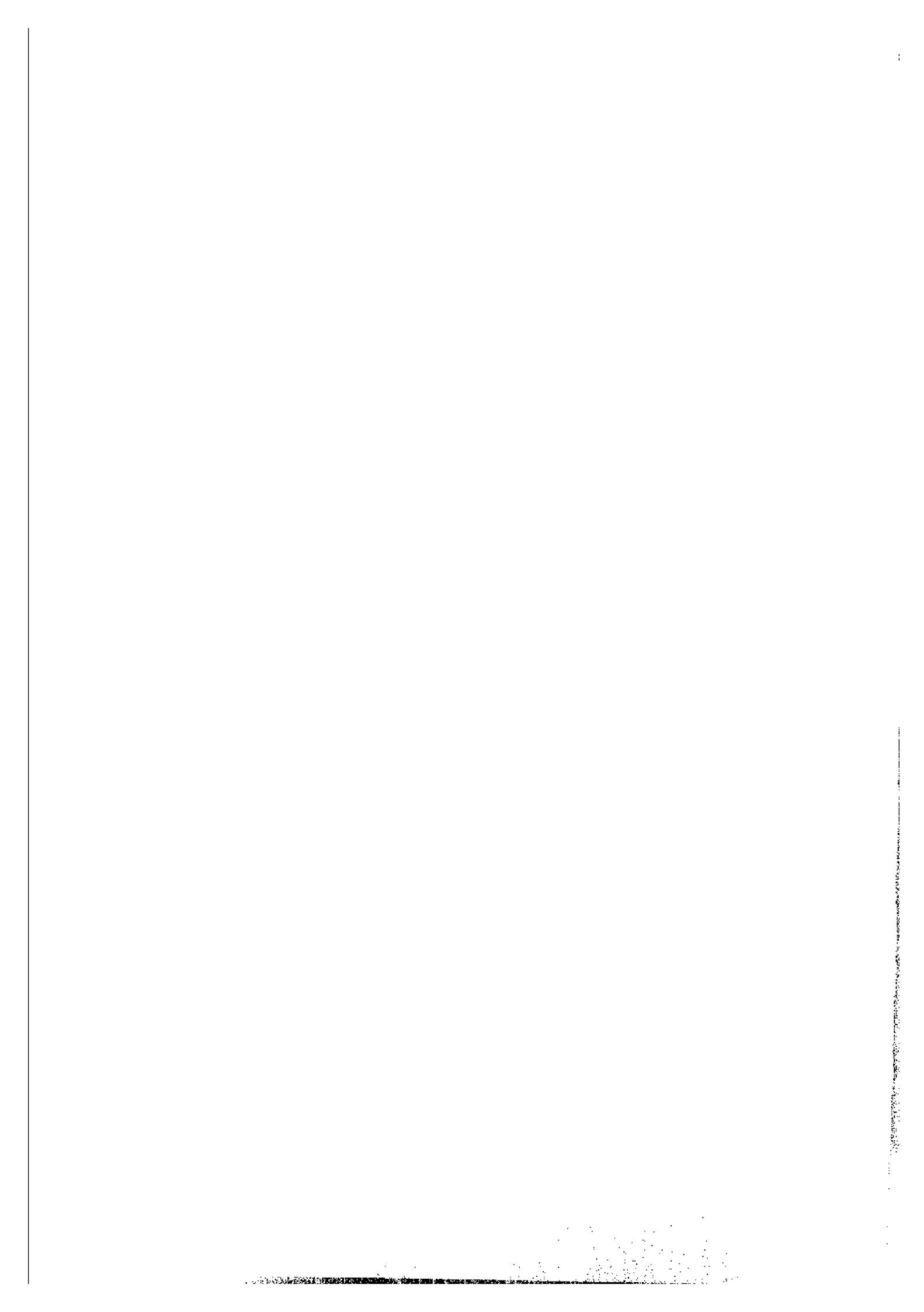
(2) 完善改造现有发播系统，增加长波、短波授时台发播时码功能；建成我国完整的长波导航授时体系；增加诸如低频时码、电话、计算机网络等授时手段，满足不同精度用户的需求。

(3) 建立中欧间 TWSTT 系统，完成全球 TWSTT 链接，提高我国时间和国际时间的同步精度。

(4) 开创我国卫星授时工作，第一步将“北斗一号”中的授时系统与中国科学院国家授时中心保持的 UTC (CSAO) 同步在 $\pm 0.5\mu\text{s}$ 以内，进一步同步在 $\pm 10\text{ns}$ 以内。同时积极促进与参与中国全球卫星导航、定位、授时系统的建设。

3. 政策和措施

为了建立我国完备的时间研究、服务体系，需要国家统一规划、制定政策，必要时以立法形式确立各有关部门（如中科院、总参、海军“长河二号”、信息产业部等）职责、权利和义务。





附录 5 天文技术和方法

天文学是一门观测的科学，由于天文技术和方法的不断创新和发展，天文学已经进入了通过整个电磁波谱观测和认识宇宙的时代。

天文技术的发展始终追求：(1) 更深的空间探测，这就要求有更大口径的望远镜和更灵敏的探测器；(2) 更高的空间分辨率，这除了发展更大口径的望远镜和采用干涉技术以外，还要求能克服大气的影响（例如采用在大气外的空间观测，或采用某种克服大气影响的技术）；(3) 更宽的探测波段，即要全面了解天体的本质，则要求有更多波段的观测资料，包括从 γ -射线、X-射线、UV、光学、红外、亚毫米和毫米波、射电波等，甚至中微子和引力波的探测；(4) 更高的观测效率，这就要求有更大观测视场的望远镜和多路的接收系统；(5) 更高的谱分辨率（例如为了探测太阳系外行星系统的存在，要求有更高的光谱分辨率以得到由于行星系统存在引起的微小的视向速度变化）或其他（如还希望有例如偏振等资料，它对于了解天体的形状、磁场等有很大的帮助）；(6) 更高的观测精度，如能够测出行星凌星；(7) 变化的更宽的频率覆盖范围。

天文技术的发展是基于整体技术的发展之上。例如，只有空间技术的发展才有可能使空间天文技术有发展的可能，从而诞生了 γ -射线、X-射线等只有在大气外才能完成的观测技术。又如半导体技术的发展，使得天文探测器从光化学反应的底片过渡到光敏器件—CCD，而它的量子效率提高了一个量级，且有线性等优良性能。当然，天文技术的发展也同样地能应用于军事和经济，例如自适应光学技术、综合孔径技术等。所以发展天文技术也将同时为国民经济和军事的发展作贡献。

目前由于天文观测已经覆盖了整个电磁波段（对于引力波和中微子探测暂且不讨论），又由于观测设备的基地分地面和空间，为此，我们按下列三个部分分别来叙述，即：(1) 射电天文技术（包括毫米波与亚毫米波）；(2) 光学与红外天文技术；(3) 空间天文技术（包括高能波段： γ -射线、X-射线与 EUV）。

一、射电天文技术和方法

射电天文学是利用无线电技术探索宇宙天体辐射的一门科学，从它诞生以来几十年间，射电天文技术和方法有了迅速的发展，观测波段从米波和厘



米波向毫米波延伸，并正在向亚毫米波前进，天文观测的角分辨率从单天线的角分量级发展到甚长基线干涉测量（VLBI）的亚毫角秒量级，观测灵敏度也有了极大的提高。

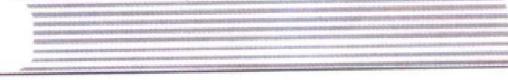
射电天文学在天文学研究中的一系列的重大发现：银河系及河外星系的旋臂结构，类星体，分子谱线和天文脉泽，脉冲星，宇宙微波背景，活动星系核的喷流和视超光速运动，年轻星的双极外流等，大大扩展了人类对宇宙的认识。

1. 国际上发展的特点、趋势及前沿

天文观测研究的前沿领域主要取决于观测设备的能力，尽可能地利用各种现代技术的发展，提高人类通过无线电波段进行天文观测的能力，包括不断提高射电望远镜的灵敏度、分辨率，并扩展新的观测波段。80至90年代欧洲VLBI网(EVN)、美国VLBA阵、日本空间VLBI(VSOP)相继投入工作，美国的毫米波干涉阵OVRO、BIMA，欧洲的短毫米波望远镜IRAM和PdB1毫米波阵，日本的毫米波望远镜等取得了很大的成功。目前国际上的主要发展特点和趋势是：充分发挥现有设备的科学效益；对某些射电望远镜进行升级改造，提高性能；建造新一代的大型射电天文观测设备，由于这些设备的研制涉及大量的高新技术和大的经费投入，国际合作是一重要的发展趋势。

在提高射电观测灵敏度方面，如欧洲VLBI网将在明年完成全部台站的MKIV记录终端的升级，新的MKIV相关处理机已于1999年投入工作，并计划增加几个新的射电望远镜，进一步提高VLBI观测的灵敏度。美国的VLA升级计划已经开始，包括覆盖200MHz到50GHz的低噪声宽频带接收机，数据的光纤传输，并增加几个新的天线将VLA和VLBA联系起来等。美国NRAO研制的100米单天线望远镜(GBT)，采用无遮挡(偏馈)、主动光学等设计，该天线目前正在安装中，明年有可能投入工作。国际上将联合发展接收面积为1平方公里的低频射电望远镜阵(SKA)，该计划将使低频射电观测的灵敏度有约二个量级的提高，有关各国正在进行各种预研究。

在增加射电观测波段覆盖方面，美国Smithsonian天体物理天文台和中国台湾天文与天体物理研究院合作正在夏威夷建造国际上第一个亚毫米波干



涉阵 (SMA)，由 8 个 6 米的天线组成，工作频率从 190GHz 到 850GHz，部分设备已经安装。美国的毫米波阵 (MMA) 和欧洲大南天阵 (LSA) 将合并为一个新的毫米波阵计划 (ALMA)，ALMA 将有 64 个 12 米天线组成，最长基线 10 公里以上，工作频率 70 到 950GHz，放在智利 Atacama 附近，此项工作已于 2001 年开始建造，日本方面也正在探讨参加该计划的可能性。

在提高射电观测的角分辨率方面，新一代的大型设备大多考虑干涉阵的方案。为了进一步提高空间 VLBI 观测的角分辨率和灵敏度，第二代空间 VLBI 计划 ARISE (25 米口径) 已经提出，该计划尚未正式启动。

这些新设备的建成并投入运行，将使射电天文成为各种天文研究对象的重要研究手段之一，并给天文学带来难以预测的机遇。

2. 我国的研究现状

我国自 70 年代开始建造的射电天文设备，米波综合孔径（图 1）（国家天文台），甚长基线干涉仪（VLBI）（上海天文台（图 2 左），乌鲁木齐天文站（图 2 右）），毫米波射电望远镜（图 3）（紫金山天文台）先后投入观测。使我国的射电天文实测能力进入了国际水平，推动了相关学科的研究发展。

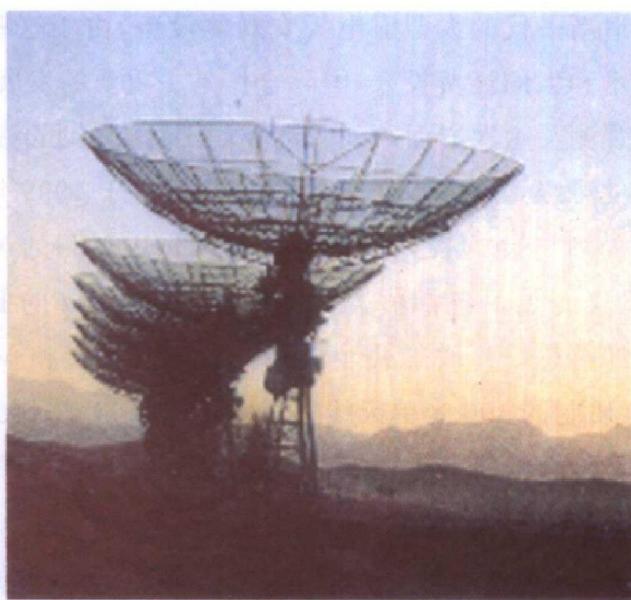


图 1 位于北京市密云的国家天文台米波综合孔径望远镜

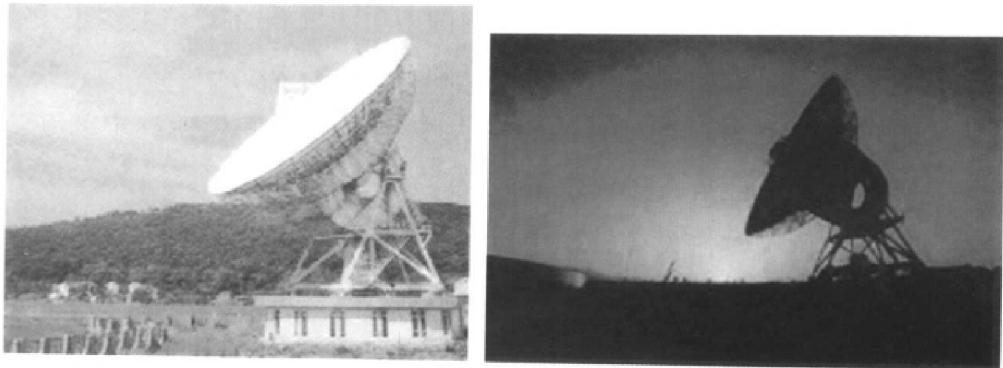


图 2 分别安置于上海天文台（左图）和乌鲁木齐天文站（右图）的 VIBI 网站的 25 米射电望远镜



图 3 位于青海省德令哈的紫金山天文台 13.7 米毫米波望远镜

米波综合孔径编制完成了“密云 232MHz 射电源表”，包括了 34 000 个低频射电源，目前已完成了相加模式计划，使米波综合孔径可作为直径 47 米的单天线工作。上海和乌鲁木齐 VLBI 站先后投入了天文地球动力学和天体物理的各种国际 VLBI 观测，于 1994 年先后成为欧洲 VLBI 网 (EVN) 的正式成员，上海 VLBI 站近年来还参加了大量空间 VLBI (HALCA) 的观测。13.7 米毫米波射电望远镜在河内水脉泽观测方面发现了一批新源，在 CO 谱线、原恒星的发现等领域也取得了新的进展，新的超导接收机的研制成功将进一步提高我国毫米波射电天文的实测能力。我国现有的射电天文



观测设备在世界上属中小设备，目前国内的射电天文研究工作主要集中在恒星形成和星际介质、活动星系核、脉冲星和天文地球动力学等方面。我国的研究人员已经通过竞争，在国外的一些大中型设备上争取到一定的观测时间，某些研究领域已经进入国际水平。

在发展射电天文观测设备过程中，形成了一支射电天文技术队伍，在低噪声接收机、干涉测量、数据相关、毫米波技术等方面积累了经验。

3. 未来发展建议

依据我国射电天文的设备和研究实际情况及国际上的发展趋势，建议在“十五”期间，对我国现有的射电天文设备加大投入，继续改进和提高这些设备的性能，特别是提高观测设备的稳定性和自动化程度，使这些设备能够在国际上同类仪器的先进水平上运行。13.7米毫米波射电望远镜应进一步提高灵敏度并发展新的终端设备，扩展对河外星系的天文观测能力。VLBI站是国际VLBI网中的成员，是我国对国外开放度最高的天文观测设备，技术上必需保持与国际上同步发展才能在国际VLBI网中积极发挥作用，同时这两个VLBI站应积极发展脉冲星和天文谱线等观测设备，以满足单天线观测研究课题的需要。这些设备要高效率地运转，充分发挥科学效益，增加科学产出。对已经发展起来的有基础的天文研究领域加强支持，积极争取国外大中型射电望远镜的观测时间和利用开放的观测资料，提高研究水平。

为了提高我国射电天文的实测能力，应该在2015年之前及时建造我国新一代的射电望远镜，这些设备的建造应立足于能够参加国际竞争，并能迅速带动国内天文研究水平走上国际前沿。原则上，大型地面设备以高灵敏度和空间分辨率为重点，空间设备以扩展亚毫米波段为重点，在具备合适的台址条件下亦可考虑发展地面毫米波和亚毫米波阵。

4. 政策措施

建立合理的评估体系，加强对设备运行和科学产出良好的天文观测基地的扶持。

加强射电天文研究和技术人才的培养，积极鼓励和支持利用国外大中型射电天文设备进行观测研究的项目。

射电天文的特点之一是学科发展和技术发展有着紧密的联系，建议加强



学科队伍、技术队伍和观测基地的结合。

新一代大型射电望远镜的研制涉及大量的高新技术和大的经费投入，需要列入重大科学工程考虑。目前已经提出的我国新一代射电望远镜的建议项目有“500米口径球面望远镜”(FAST)、地面大型亚毫米波干涉阵、65米射电望远镜等。“500米口径球面望远镜”(FAST)，进行了台址及某些关键技术的预研究。建议对这些项目的预研究给予一定的支持，在时机成熟时经充分论证，争取列入重大科学工程项目。

在考虑重大项目的同时，要根据科学目标，加强课题研究人才的培养和训练，加快利用新设备产出科学成果的速度。

二、光学与红外天文技术和方法

迄今为止，光学波段的观测仍然是天文观测的基础。其原因是它有最悠久的历史，一套成熟的观测和处理方法，另外光学波段所包括的信息由于有光谱等手段要丰富得多。所以其他波段所发现的新源都希望有光学证认和得到它们的光谱，然后去确定它们的本质。例如近年来对 γ -射线暴的研究，由于若干源得到光学证认，确认了它们是河外源的性质。红外波段的辐射，最早是由天文学家 W. 赫歇尔在 1800 年所发现的。但是第二次世界大战前，由于探测器灵敏度的限制使它不能成为主要的观测波段。而“二战”以后红外探测器的发展，尤其是 90 年代红外成像器件的发展使得红外天文观测成为天文观测的非常重要的部分。特别是在恒星形成区和对宇宙学研究有重大意义的大红移星系和类星体研究领域。

1. 国际发展的特点

国外大口径望远镜 (≥ 3 米) 从 1949 年 Mt. Palomar 的 5 米望远镜投入使用后，在 60—80 年代主要发展了一批 3—4 米级的望远镜。原苏联在 1976 年完成了一台六米级的望远镜，而且是地平式装置。进入 90 年代则开始飞跃，美国 Keck I 10 米口径的望远镜及随后的 Keck II 已投入使用，ESO 的 4×8.2 米的 VLT，日本的 8.2 米的 Subaru，美、英、加等南北各一台的 8.3 米口径的 GEMINI，美国/意大利合作的两台 8.4 米望远镜装在一个机架上的 LBT，美国德克萨斯的 9.2 米口径的 HET，以及美国几个大学



合作的两个 6.5 米望远镜的 MAGELLAN 计划。它们将陆续在本世纪初投入使用，将大大地提高天文探测极限。例如 Keck I 和 Keck II 在 γ 暴的光学余晖的光谱观测、高红移 Ia 超新星的证认和褐矮星的确认上都起了决定性的作用。而与这些同时应该提到的是在 80、90 年代发展了一批 4 米级的新技术望远镜，如 ESO 的 3.5 米 NTT，意大利的 3.5 米伽俐略望远镜，以及美国的 3.5 米 WIYN，它们以造价低、工期短和成像质量高而得到人们广泛的注意，它们大量的时间用于成像观测，为 10 米级望远镜选择观测对象。

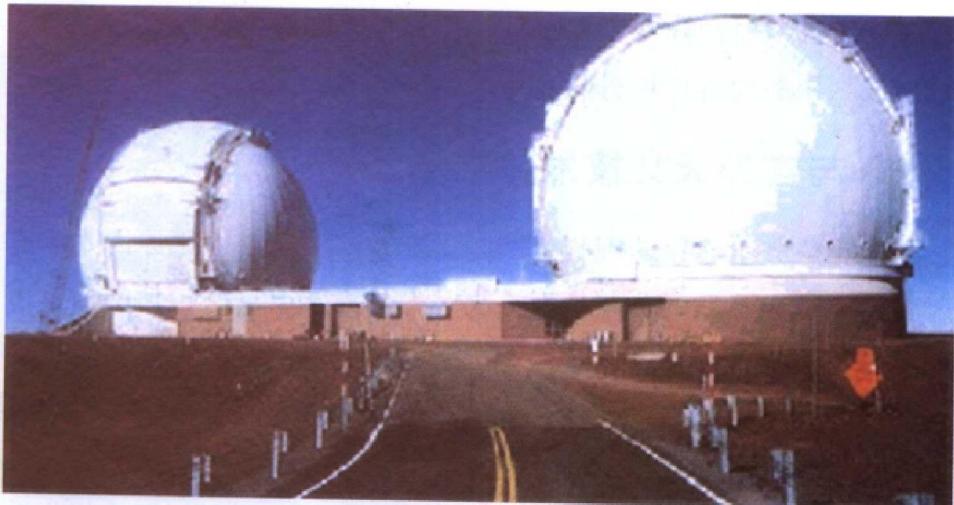


图 4 Keck1 和 Keck2 望远镜的圆顶室。图片来源：<http://huey.jpl.nasa.gov/keck/>

这些大望远镜计划的特点是：

- (1) 它们都是光学和红外兼用；
- (2) 普遍采用了主动光学技术，从而使大口径能够实现，并且使望远镜本身的成像质量提高到 80% 的能量集中在 0.3 角秒左右；
- (3) 将应用光学干涉成像技术，以追求更高的空间分辨本领；
- (4) 普遍配备了自适应光学系统校正大气扰动，使望远镜的近轴光成像质量接近衍射极限；
- (5) 普遍采用多目标光纤技术；
- (6) 发展和使用大尺寸、低噪声和高量子效率的 CCD 探测器和红外阵列器件；



图 5 GSMT 30m 光学望远镜结构示意图。

图片来源: <http://www.aura-nio.noao.edu/>

(7) 配备了各种有特色的光学和红外成像仪和高、中、低色散光谱仪，包括可以迅速地在成像和光谱两种模式间转换的光谱仪；

(8) 普遍采用通风很好且可调通风的观测室，包括望远镜的局部通风或制冷，从而使观测室和镜面的大气扰动影响以及望远镜主镜的变形减小到最小。

除了发展和研制新的大口径望远镜，改造已建成的望远镜也同样被重视。美国的 MMT 作为开路先锋在新一代大望远镜的发展中起了不可磨灭的作用，现正在被改造成一台单块主镜直径为 6.5 米的望远镜；美国 Kitt Peak 的 4 米望远镜和美国在 Cerro Tololo 的 4 米望远镜以及圆顶的改造大大地提高了成像质量。通过改造，这些老望远镜的性能和像质都进一步提高，再配上不断更新的附属仪器，可很好地发挥作用。

国际发展的趋势和前沿是：



- (1) 正在建议和预研采用主动光学技术，特别是拼镜面主动光学技术的更大口径（如 30 米，甚至 100 米口径）的光学红外望远镜；
- (2) 将普遍采用光学干涉成像技术等高分辨成像技术；
- (3) 通过拼接的方法以及特别的技术得到更大尺寸和更高灵敏度的 CCD 探测器。

应该指出在过去几年国际上利用 1—2 米级的望远镜完成了 2MASS、DENIS 等全天红外巡天和 SLOAN 的可见区 5 色巡天，特别是后者利用特别选出的 5 个波段，在选择高红移星系、褐矮星、RR Lyr 等特殊天体上作出了卓有成效的结果。为此一批后随的口径为 8 米级的成像望远镜的计划已经提出。

2. 我国研究现状

我国天文界经过多年努力，自力更生建成了以 2.16 米（图 6）、1.56 米光学望远镜（图 7）、1.26 米红外望远镜、太阳磁场望远镜（图 8）、60 厘米口径太阳塔（图 9）和 II 型等高仪为代表的一大批光学红外天文观测设备。特别是 1989 年安装完成并投入运行的 2.16 米望远镜，使得我国的天体物理观测有了两个突破，即：(1) 突破了银河系的限制，开始了河外天体的观测；(2) 开始了系统的光谱观测研究，在此之前天体物理主要观测手段是测光。与此同时，也完全依靠自己的力量研制出双光束的高效的 2.16 米望远镜的折轴光谱仪系统。

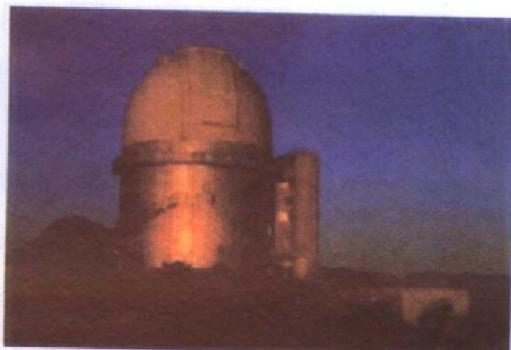


图 6 国家天文台 2.16 米望远镜（右）及其圆顶（左）

最近十年，在发展新技术方面，薄镜面主动光学技术和拼镜面主动光学技术均在实验室预研成功，为新一代大望远镜（如大天区面积多目标光纤光

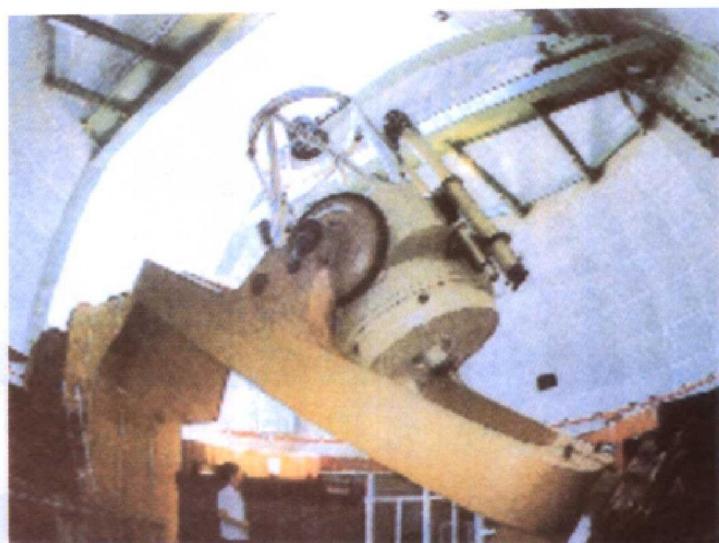


图 7 上海天文台 1.56 米望远镜



图 8 国家天文台太阳磁场望远镜

谱望远镜 (LAMOST, 图 10) 的立项和研制打下了很好的基础；完成了 21 单元近红外自适应光学系统；高灵敏的 CCD 探测器已广泛地在我国的天文望远镜上使用。

预研和建议了像 LAMOST 这样的新概念的新技术望远镜。LAMOST 将为世界上最大口径的大视场望远镜。这不仅使我国在大视场大样本天文学

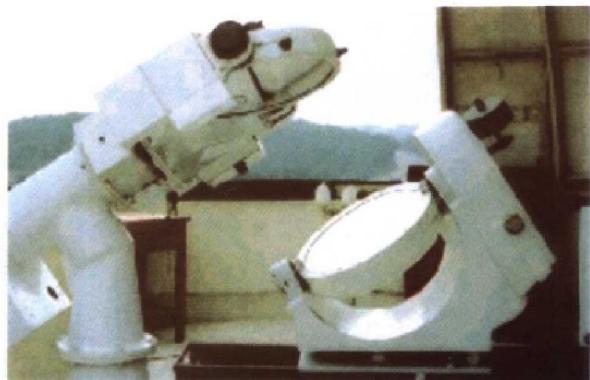
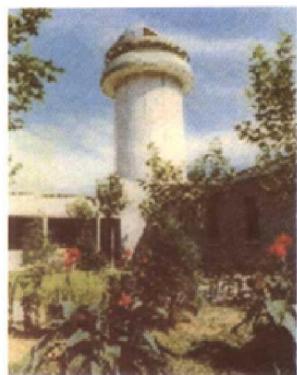


图 9 南京大学太阳塔（左）及其 60 厘米口径定天镜（右）



图 10 大天区面积多目标光纤光谱望远镜（LAMOST）示意图

上将走到国际前沿，同时在天文技术方面在国际上也将做出一流的贡献。

应该提到在最近十年我们还关注着天文台址的选择，在云南丽江选出了一个较好的台址。但应该注意到我国晴天日数（根据卫星云图统计）最高的西藏西部地区和新疆奎先大坂还没有作详细的考察，这两个地区可能是潜在的发展光学/红外和亚毫米波段观测的优秀的候选地。

3. 未来发展战略和措施

(1) 国家已经批准了 LAMOST 计划，在今后若干年内它将作为我国天文观测设备发展的主战场。随着 LAMOST 工程的进展，我国在薄镜面主动



光学技术、拼镜面主动光学技术、薄镜面加工技术、光纤定位、光纤导光技术、高效光谱仪、海量数据处理等方面将有大发展。LAMOST 工程应吸引更多天文界有识之士来关心，共同努力使这一工程按质按期完成。

(2) 应重视大型光学红外望远镜所需的更深入、更进一步的技术预研究，如：拼镜面主动光学技术，镜面加工的新技术。

(3) 云南天文台提供的资料表明，在云南丽江高美古地区配置一台 2 米级的通用望远镜是合适的。应该对它的配置作全面安排使它为我国实测天体物理的发展起重要作用。

(4) 由于对地球安全的关注，我们应加强对近地太阳系内小天体的研究，为此应尽快考虑建设一台为探索和跟踪近地小行星和彗星的望远镜系统。

(5) 包括 2.16 米望远镜的折轴光谱仪、BFOSC 等设备在内，若干套高效（背照）的 $2\ 048 \times 2\ 048$ 象元的 CCD 系统尽量配齐，使它们能发挥更大的作用。

(6) 包括上海台 1.56 米，云台 1 米，陕台的 1 米等望远镜由于观测环境的限制，和配置的不完备，目前的效益受到了限制，应该统盘地考虑它们的课题、配置，使得尽量能发挥作用。

(7) 红外波段是发展我国天文观测的重要步骤。建议尽快为 1 米以上的望远镜配置高效的红外相机，有选择地配备红外光谱仪。

(8) 光学、红外和亚毫米波观测要求有优秀的台址去适应 4 米以上口径的望远镜和少水汽含量的台址适应亚毫米波观测。据对卫星云图的分析西藏西部地区是一个可能潜在的优秀台址。这不仅对我国到 2015 年天文发展决策有重大意义，而且关系到北半球的光学/红外亚毫米波的观测布局。所以应开始对该地区的观测条件作细致的调查。如该地区的确是一世界级的优秀台址，应尽早开始筹划 8—10 米级的光学/红外望远镜，若在我国难以找到适合放置 8—10 米的望远镜的台址，应考虑参加国际合作并加强空间天文的投入。



三、空间天文技术和方法

1. 国际上发展的特点、趋势及前沿

空间天文（高空与大气外天文观测）的发展是以空间技术的进步为前提的，发展过程是从气球、火箭乃至机载等观测平台开始，从 60 年代进入卫星时代，但前者仍有一定使用价值。如果说 60、70 年代空间天文在发展的早期主要热衷于开拓新的观测窗口，发现新的天体，80 年代后，特别是进入 90 年代则随着技术的进步，空间天文已进入全面发展的成熟阶段。这阶段地面可进行的光学和射电波段也开始利用空间观测的优越性，如天体测量卫星依巴谷（Hipparcos）、哈勃空间望远镜（HST）（美国四大空间天文台之一）和空间 VLBI 卫星 HALCA 的纷纷上天并取得了预期的成功； γ 射线、X 射线、紫外、红外等新的观测波段技术日趋成熟，开始着重于结合天文课题的实际，进行有效的、多波段相互配合的天文研究，使天文学研究的广度和深度产生了突飞猛进的发展。

空间科学技术领域（空间天文占有最大的比重）美国（NASA）无疑占领导地位；欧洲（欧空局 ESA）发展很快，逐渐崭露头角；日本（宇宙科学研究所 ISAS）以小而快的特点有它不可忽略的一席之地；俄国在卫星发射技术上仍保持先进，但探测技术较落后；印度、巴西等发展中国家也有所表现；我国是能发射卫星的少数几个国家之一，但至今还没有放过天文卫星。发展空间科学技术是难度大、花钱多的事业，有鉴于此，近年来各国间相互合作日趋增多。当前反映空间天文技术水平的最具代表性的项目当是美国的四大空间天文台，它们的重量都超过 10 吨，属特大型（通常把重量超一吨的卫星定为大型，500kg 左右的为中型，小于 250kg 的为小型，主要以所花经费和所用运载的类型来划分），以 HST 为例，总重量 11.6 吨，主镜直径 2.4 米，角分辨率 0.1 角秒（70% 光能落入 0.1 角秒半径），指向稳定度 0.007 角秒（rms），充分显示其高、精、尖、大的特点。但从天文学和技术发展的要求考虑，应大、中、小配合发展为佳，这已被经验所证明，NASA、ESA 等都已有所体会。尤其是美国，80 年代它埋头于四大空间天文台的研制，忽视中小型卫星的开发，但日本利用这一空挡，从 1979 年起

每两年一颗小天文卫星，在 X 射线天文学、太阳高能辐射方面取得了不少重要成果。特别是大项目研制周期长，通常要十年以上，现在技术进步很快，往往到实现时其方案已显得落后，而小卫星研制周期短，能及时对新思想作出反应，对大卫星作出弥补，起到相辅相成的作用。所以 1995 年美国对它的 Explorer 卫星计划作了调整，把它们分为四级：（1）大学型探索者 UNEX，卫星费用不超过 500 万美元（94 财政年度）（不包括发射和运转费用），用 UASA Ultra-Lite 运载，每年计划二颗；（2）小型探索者 SMEX，研制费不超过 3500 万美元用 Pegasus 运载，每年一颗；（3）中型探索者 MIDEX，研制费不超过 7 000 万美元，用 NASA Med-Lite 运载；（4）Delta 型探索者，用 Delta 火箭发射，如近年来已发射的 RXTE，FUSE，今后这一型的卫星另立计划，因此该计划强调了对中小型卫星的重视，数量上有了保证，现正顺利实施，已有 9 颗上天，这里不一一列举。

正在研制之中不久将发放的大型卫星有：X 波段的有美国的 Astro-E，和欧洲的 XMM；SIRTF（亚毫米波、红外望远镜）是美国四大空间望远镜之四；INTEGRAL（国际 γ 射线天体物理实验室）；SXG（X、 γ 射线谱研究）；Radio Astron（空间 VLBI）等。

1995 年美国规划了 2005 年后运作的若干大项目，现处于定义阶段的有：

Constellation-x（X 射线望远镜群），GLAST（ γ 射线大面积空间望远镜），NGST（下一代空间望远镜），SIM（大型空间 VLBI）。

ESA 计划的有：

FIRST（红外与亚毫米波望远镜，CS-4），Planck（毫米波望远镜，M-3），FIRST/Planck 计划 2007 年左右发射。

随着空间天文台的规模越来越大，空间站的利用越显重要，可把大的项目分成数个组件，放到空间站组装。目前国际联合的“国际空间站”（ISS）正在建立中，对未来空间天文的发展有重要意义。

2. 我国的研究现状

国内发展空间天文的重要条件—运载工具是具备的（卫星运载、探空火箭和气球），但至今主要是气球观测，进行过软 γ 射线，硬 X 射线和红外波



段的观测，有些项目取得了初步成功，但目前缺少一固定的放球场所，处境有待改善。2001年初曾在“神舟2号”上搭载了超软X射线、X射线和 γ 射线探测器，成功地观测到一些 γ 暴和太阳耀斑的X射线和 γ 射线爆发，记录了它们的流量变化曲线。这是我国空间天文观测跨出的重要一步。应该指出，各种运载工具在空间天文发展早期开拓新窗口的过程中都曾起过重要作用，但发展到现在，天文卫星的作用显得更为重要了，气球和探空火箭主要是承担某些上天项目的预试验和某些带有机遇性的观测。

遗憾的是作为空间大国的中国迄今仍无一天文卫星上天。虽然对空间太阳望远镜(SST)(图11)、调制式X射线望远镜和 γ 射线探测器有一定的预研究。

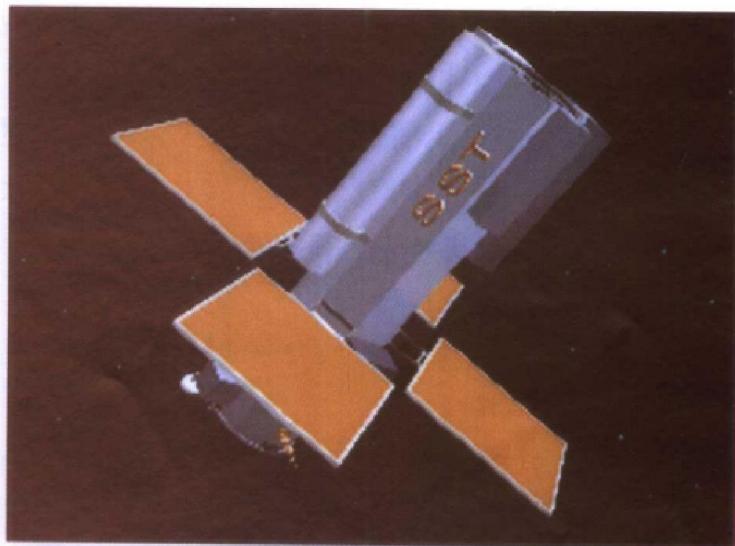


图11 正在研制中的太阳空间望远镜(SST)示意图

3. 未来发展战略和措施

空间天文的发展使得天文学可从全波段得到观测信息，在多数观测领域它都有创新性的发现，突破了原有的对一些天体的认识。我们必须在“十五”期间开始在空间天文研究领域有零的突破。研究重点首先应以太阳和高能波段为主。

(1) 立即制定一个符合我国实际的空间天文规划，并在组织上加以落实。

(2) 大力开展国内和国际合作，明确目标开展空间天文技术研究。根据



我国国情应注意利用小卫星开展空间天文观测研究。

(3) 到 2015 年要使我国空间天文具备一定的规模并缩小与发达国家的差距。

