中国空间天文展望

吴伯冰^{①②*}, 张双南^{①②}^① 中国科学院高能物理研究所, 北京 100049;^② 中国科学院粒子天体物理重点实验室, 北京 100049

* E-mail: wubb@ihep.ac.cn

收稿日期: 2015-01-06; 接受日期: 2015-04-18

国家重点基础研究发展计划(编号: 2014CB845800)、国家自然科学基金(批准号: 11327303HE, 11473028, 11403028)、海外高层次人才引进计划(编号: 292012312D117210)和中国科学院科技创新交叉与合作团队(空间高能宇宙辐射的探测与研究团队)资助项目

摘要 在过去的几十年中, 人类对宇宙和自然规律的认识不断取得新的突破. 伴随着人类认识宇宙的巨大进步, 国际空间天文学蓬勃发展. 本文阐述了空间天文学的研究背景和发展历程, 对比我国和国际上主要国家空间天文学的现状, 指出了我国空间天文学的不足和今后的重点研究方向. 结合我国当前空间天文规划, 重点介绍了我国拟开展的一系列空间天文探测计划, 并对相关在研项目和预先研究项目做了简要介绍, 最后对我国空间天文学未来发展进行了展望.

关键词空间天文学
空间探测
规划研究

1 引言

空间天文学是利用空间平台, 在空间进行天体观测和研究天体的形态、结构、组成、运动、物理状态、演化规律的学科. 在天文学发展史上, 空间天文学的兴起是天文观测继可见光和射电观测的第三个里程碑, 是人类认识宇宙的重大飞跃. 自从人类进入太空时代以来, 空间天文观测就开始成为天文学观测的重要组成部分. 由于克服了地球大气对地面天文观测的影响, 空间天文开拓了全电磁波段天文、粒子天文和引力波天文观测的多信使新时代.

空间天文的发展极大地拓展了人类对于宇宙和自然规律的认识, 观测到了宇宙最早的星系, 不断发现各种黑洞/中子星等致密天体, 确定了类星体性质以及对于宇宙演化的作用, 发现了宇宙 γ 射线暴的多样性, 发现了大批系外行星, 精细测定了宇宙微波背景辐射和宇宙年龄, 对发现宇宙加速膨胀起了关键

作用, 以前所未有的深度和广度迅速地拓展着人类对于宇宙和自然规律的认识.

本文简要回顾国际上空间天文探测历史、现状和未来发展趋势, 对比我国空间天文探测发展的现状, 重点探讨我国空间天文发展战略规划, 简要介绍规划中提出的一些空间天文探测项目.

2 空间天文探测的发展历程^[1]

1946 年美国海军研究实验室的科学家利用 V-2 火箭在 80 km 高空进行了第一次空间探测, 2 年后, 伯尼特(Burnight)在 96 km 高空对太阳 X 射线辐射进行了测量. 这些测量揭开了空间天文学的序幕. 自那以后, 广泛应用飞机、探空火箭和气球进行了很多空间天文观测.

1957 年人造地球卫星上天以后, 人造卫星很快成为天文观测运载工具. 人造卫星的应用使空间天

引用格式: 吴伯冰, 张双南. 中国空间天文展望. 中国科学: 技术科学, 2015, 45: 779–795

Wu B B, Zhang S N. The outlook of China's space astronomy (in Chinese). Sci Sin Tech, 2015, 45: 779–795, doi: 10.1360/N092014-00332

文学得到迅猛发展.

空间天文的发展大致经历了三个阶段.

1) 探索试验阶段. 从用 V-2 火箭首次探测到 20 世纪 60 年代初期, 空间天文学处在探索试验阶段. 这时, 观测对象主要是离地球最近的太阳和地球大气中的高能辐射本底. 这个阶段主要致力于探明地球的辐射环境和地球外层空间的静态结构. 这个时期的主要工作是发展空间科学技术.

2) 早起发展阶段. 经过十多年的探索试验, 到了 1960 年代, 空间天文学的潜力已经显露出来. 这时, 人造气球卫星已经上天, 月球探测器已经能环绕月球运行. 因此, 科学家的目光瞄向了近地空间、行星际空间、月球和行星. 这些区域的考察在 1960 年代异常活跃. 在对上述区域进行考察的同时, 空间天文学也得到较大的发展. 在这期间, 一方面继续使用气球和火箭做空间探测的运载工具, 另一方面使用卫星探测的已越来越多. 人造卫星飞行时间长, 飞行高度高, 完全摆脱了地球大气的影响, 使它逐渐取代了探空火箭和气球. 但是, 在 1960 年代, 空间天文观测还没有或很少有专用的天文卫星, 大多数卫星观测是搭载别的卫星进行的, 这显然限制了空间天文学潜力的发挥.

3) 全面发展阶段. 从 20 世纪 70 年代起, 空间天文学获得全面发展, 开始探索银河辐射源, 并向河外源过渡.

在 1960 年代, 空间探测主要是搭载别的科学卫星, 从 1970 年代起, 相继发射了各类天文观测卫星, 其中包括 X 射线观测专用卫星、伽玛射线观测专用卫星、紫外观测专用卫星、红外观测专用卫星和光学观测专用卫星等. 表 1 列出了以美国国家航空航天局(national aeronautics and space administration, NASA)为主, 包括日本、英国、欧空局(european space agency, ESA)等自 1970 年代以来发射的已经结束运行的主要天文卫星.

3 国际空间天文现状

半个多世纪以来, 空间天文的发展从 X 射线波段扩展到了几乎所有的电磁波段, 大大拓展了人类对于宇宙和宇宙中的天体的认识.

表 2 列出了以美国为主, 包括日本、欧洲等国发

射, 目前还在运行的天文卫星. 由美国 NASA 建造发射或者参加的目前仍然在轨运行的约 80 个执行空间科学任务的飞行器中, 约 1/6 是空间天文卫星, 其中大部分是美国 NASA 建造、发射和运行的, 美国继续主导国际空间天文领域. 空间高能天文(X 射线和伽玛射线)卫星约占总空间天文卫星的一半左右, 说明这个领域仍然主导空间天文卫星.

目前运行的比较重要的空间天文卫星包括美国的 Hubble 空间望远镜(近紫外/可见光/近红外)、Spitzer 红外天文卫星、Kepler 天文卫星(系外行星探测)、Chandra X 射线天文台(软 X 射线)、Fermi 伽玛射线天文台、Swift 多波段伽玛射线暴卫星、首个聚焦型硬 X 射线天文卫星 NuSTAR 和置于国际空间站的 AMS 阿尔法磁谱仪, 欧洲的 Herschel 红外天文台、Planck 宇宙微波背景天文卫星、XMM-Newton X 射线天文台、Integral 国际伽玛射线天文台和 Gaia 高精度天体测量卫星, 日本的 Suzaku X 射线卫星和置于国际空间站的 MAXI X 射线仪器, 俄罗斯的 Radioastron 空间长基线射电干涉成像卫星, 这些观测设备很完整地覆盖了整个电磁波段^[2].

未来国际上还陆续有几个重要的空间天文卫星发射运行, 基本上保持每年发射运行 2~3 颗空间天文卫星, 如下表所列. 由于国外空间天文卫星的寿命一般都在 5~10 年, 甚至很多都能够达到 20 年, 所以今后若干年太空中将继续维持大约 20 颗空间天文卫星的运行. 除美国继续在空间天文领域起领导作用之外, 国际空间天文的发展逐渐呈现多元化的格局, 美国一家独大的局面可能会有所改变, 日本和俄罗斯的重要性越来越突出, 印度也可能成为发展中国家中首个拥有国际水平的空间天文卫星的国家(印度曾经发射过一个空间天文卫星, 但是由于运行寿命很短, 科学成就不突出), 中国可能首次跻身于国际上拥有空间天文卫星的国家行列. 此外空间高能天文(X 射线和伽玛射线)卫星将继续约占总空间天文卫星的一半左右, 说明这个领域将继续主导国际空间天文卫星计划.

2014 年 1 月后国际上(包括中国)已经立项或规划的主要空间天文项目(含暗物质、宇宙线、引力波实验)见表 3(数据主要来源: <http://science.nasa.gov/astrophysics/documents/>; http://www.jaxa.jp/projects/index_e.html; http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Mission_navigator).

表 1 已结束使命的主要天文卫星^{a)}

序号	卫星名称	发射时间	说明
1	OSO-3	1967 年 3 月	50~1000 MeV, 银盘宇宙伽玛射线观测
2	Uhuru	1970 年 12 月	第一颗 X 射线专用卫星
3	SAS-2	1972 年 11 月	伽玛射线观测
4	ANS	1974 年 8 月	荷兰, 软 X, UV
5	Ariel-5	1974 年 10 月	英国, X 射线
6	SAS-3	1975 年 5 月	英国, X 射线
7	KAO	1975 年 5 月	红外
8	COS-B	1975 年 8 月	ESA 第一颗伽玛射线卫星
9	HEAO-1	1977 年 8 月	第一个大型 X&伽玛射线天文卫星
10	IUE	1978 年 1 月	美欧合作, 紫外
11	Einstein	1978 年 11 月	HEAO-2, 第一个使用聚焦光学、成像探测器的 X 射线卫星, 灵敏度提高 2 个量级
12	HAKUCHO	1979 年 2 月	日本, 准直器调制 X 射线计数器
13	HEAO-3	1979 年 9 月	宇宙线和伽玛射线(50 keV~10 MeV)
14	TENMA(ASTRO-B)	1983 年 2 月	日本, X 射线天文卫星
15	Exosat	1983 年 5 月	ESA 第一颗 X 射线天文卫星
16	Ginga(ASTRO-C)	1988 年 12 月	日本, 高分辨 X 射线谱仪, 以及伽玛暴观测
17	AKARI(ASTRO-F)	1988 年 12 月	日本第一颗红外天文卫星
18	Hipparcos	1989 年 8 月	ESA 卫星, 主要测量恒星的位置, 运动
19	COBE	1989 年 11 月	测量早期宇宙弥漫红外和微波辐射
20	Granat	1989 年 12 月	前苏联, 低能伽玛
21	ROSAT	1990 年 6 月	德国、美国和英国联合研制, X 射线
22	ASTRO 1& 2	1990 年 12 月	航天飞行搭载, 可重复飞行主要在紫外波段
23	BBXRT	1990 年 12 月	搭载航天飞机, 第一台空间聚焦望远镜, 能区 0.3~12 keV
24	CGRO	1991 年 4 月	高能伽玛射线天文台
25	EUVE	1992 年 6 月	极紫外, 70~760 Å
26	DXS	1993 年 1 月	主要测量银河系弥漫 X 射线谱
27	ASAC(ASTRO-D)	1993 年 2 月	日本, 空间 X 射线天文首次使用 CCD; 首台具有宽波段成像、能谱能力的天文卫星
28	ISO	1995 年 11 月	ESA 卫星, 红外
29	RXTE	1995 年 12 月	X 射线时变天文卫星
30	BeppoSAX	1996 年 4 月	意大利等, 0.1~200 keV
31	HETE-1	1996 年 11 月	多波段伽玛暴天文小卫星, 失败
32	SAC-B	1996 年 11 月	阿根廷与美国合作卫星, X 射线, 失败
33	ORFEUS-SPAS II	1996 年 11 月	远和极紫外
34	HALCA	1997 年 2 月	日本, 空间射电, 与地面射电配合
35	IEH-3	1998 年 10 月	国际合作, 7 个搭载仪器, 极紫外
36	Leonid MAC	1998 年 11 月	多飞行器仪器联合观测流星
37	SWAS	1998 年 12 月	亚毫米波天文卫星
38	WIRE	1999 年 3 月	宽视场红外
39	FUSE	1999 年 6 月	远紫外谱仪
40	HETE-2	2000 年 10 月	探测伽玛暴小卫星
41	WMAP	2001 年 6 月	微波背景各项异性探测, 宇宙学
42	CHIPS	2003 年 1 月	宇宙热星际等离子谱仪, 90~260 Å
43	GALEX	2003 年 4 月	星系演化, 紫外
44	GP-B	2004 年 4 月	检验爱因斯坦广义相对论
45	Kepler	2009 年 3 月	系外行星
46	WISE	2009 年 12 月	宽视场中红外巡天

a) 除特别注明外, 都是 NASA 的项目. 数据主要来源: <http://science.nasa.gov/astrophysics/documents/>.

表 2 还在运行的主要天文卫星^{a)}

序号	卫星名称	发射日期	说明
1	HST	1990 年 4 月	携带紫外、可见光、红外的大型空间望远镜
2	Chandra	1999 年 7 月	软 X 聚焦大型望远镜
3	XMM-Newton	1999 年 12 月	ESA, X 射线聚焦, 大型望远镜
4	INTEGRAL	2002 年 10 月	美欧多国联合研制, 伽玛射线天文台
5	Spitzer	2003 年 8 月	红外天文望远镜
6	Swift	2004 年 12 月	多波段伽玛暴观测
7	Suzaku(Astro E2)	2005 年 7 月	日美合作, 0.2~600 KeV
8	AGILE	2007 年 4 月	意大利高能伽玛射线天文卫星
9	Fermi	2008 年 6 月	伽玛天文台
10	Herschel	2009 年 5 月	远红外和亚毫米波段, 早期、最遥远恒星和星系
11	Planck	2009 年 5 月	宇宙背景辐射
12	MAXI	2009 年 7 月	日本, 国际空间站 X 射线巡天实验
13	RadioAstron	2011 年 7 月	俄罗斯, 欧洲多国、美国, 空间射电 VLBI
14	NuSTAR	2012 年 6 月	高能 X 射线, 核谱仪
15	Gaia	2013 年 12 月	ESA 卫星, 精确测量恒星位置与速度, 绘制三维星图
16	LOT	2013 年 12 月	中国, 月基望远镜

a) 除特别注明外, 都是 NASA 的项目, 数据主要来源: <http://science.nasa.gov/astrophysics/documents/>; http://www.jaxa.jp/projects/index_e.html; http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Mission_navigator

表 3 2014 年 1 月以后空间天文领域拟发射的卫星/空间站计划

序号	卫星/飞行器	预计发射年代	建造国家/组织	参加国家/组织	波段/目的
1	CALET	2015	日本		空间站, 间接探测暗物质
2	CREAM	2015	美国	法、墨西哥、韩等	空间站, 宇宙线/暗物质
3	DAMPE	2015	中国		暗物质、宇宙线
4	ASTROSAT	2015	印度	英国、加拿大	宽波段 X 射线天文卫星
5	HXMT	2016	中国		宽波段 X 射线天文卫星
6	Astro-H	2015	日本	美国	软 X 射线
7	ST-7/LISA pathfinder	2015	美国	ESA	LISA 探路者
8	POLAR	2016	中国	瑞士等欧洲多国	中国空间实验室项目, 国际首个高灵敏度伽玛暴伽玛射线偏振测量实验
9	Spectrum-Roentgen-Gamma	2016.3	俄罗斯	德国	X 射线巡天望远镜
10	NICER	2017	美国		X 射线/中子星
11	TESS	2017	美国		系外行星
12	CHEOPS	2017	ESA		系外行星
13	JEM-EUSO	2017	日本	国际	宇宙线
14	SOFIA	TBD	美国	德国	飞机搭载, 光学到远红外(在研)
15	LBTI	TBD	美国	美国	系外星系(在研)
16	JWST	2018	美国	ESA	空间大型红外天文台, 哈勃空间望远镜的继承者, 0.1 角秒角分辨率
17	WSO-UV	2019	俄罗斯	欧洲多国	紫外天文台
18	Euclid	2020	ESA	美国	光学和近红外/暗宇宙
19	SVOM	2021	中国	法国	多波段伽玛暴观测天文卫星
20	CSST	2022	中国		中国空间站, 多色成像与无缝光谱巡天
21	HERD	2022	中国		中国空间站, 暗物质与宇宙线
22	JUICE	2022	ESA		木星探测
23	PLATO	2024	ESA		寻找类地行星
24	WFIRST-AFTA	2025(待定)	美国		近红外, 系外行星, 暗能量
25	ATLAST	TBD, 概念	美国		光学, 系外生命, 暗物质等
26	ATHENA	2028	ESA	美国	X 射线天文台
27	NGO	2034	ESA	美国	引力波、广义相对论

4 国际空间天文战略规划

在空间天文领域,美国、欧洲是超级大国,日本是强国,其他一些具有代表性的国家如法国、德国、意大利和俄罗斯等也具有相当的实力,巴西和印度可以认为是发展中国家的代表.

在 2010 年左右,世界各主要国家都纷纷提出新的空间天文发展战略规划,其中对 2020 年前的规划较为具体,各自都提出了一系列的空间探测计划,并对每一个探测计划都提出了比较明确的科学目标;对 2020 后的规划一般是给出大的概念框架.

下面主要介绍美国和欧洲(ESA)的空间天文战略规划.

在 2010 年 8 月美国发布的《天文学和天体物理学的新世界和新视野》^[3]的报告中,选择的 2012~2021 年优先发展的科学目标是:①探寻第一代恒星、星系和黑洞;②寻找太阳系外宜居类地行星;③了解宇宙的基本物理规律.为实现上述科学目标,平衡了地面和空间的大型、中型和小型项目,给出了发展的优先级.三个大型空间项目(耗资超过 10 亿美元)按优先级排列分别是:“宽视场红外巡天望远镜”(WFIRST),“激光干涉仪空间天线”(LISA)和“国际 X 射线天文台”(IXO).目前,LISA 项目和 IXO 项目都已经被 ESA 规划项目下一代引力波天文台(NGO)和高能天体物理先进望远镜(ATHENA)替代.

《天文学与天体物理学的新世界和新视野》报告描绘了美国 2012~2021 年地基和天基天文学和天体物理学的发展前景,但在此次调查研究的后期,NASA 预算与其当初向调查委员会提供的指导预算相比已经严重缩水.报告发布后,新的 NASA 天体物理学研究活动可用预算进一步减少,主要缘于 JWST 发射时间的推迟以及任务成本的大幅提高.作为对这种情况的反映,NASA 建议国家考虑以 20%的成本份额参加 ESA 的“欧几里德”(Euclid)任务.2013 年 1 月,NASA 正式加入 Euclid 任务,将为近红外探测仪

提供 20 个探测器.

2013 年 12 月,NASA 发布了“Enduring Quests Daring Vision -NASA Astrophysics in the Next three Decades”(http://science.nasa.gov/media/medialibrary/2013/12/20/secure-Astrophysics_Roadmap_2013.pdf),给出 NASA 未来几十年的天体物理的路线图.这个路线图试图回答下面几个永恒的问题.

- 1) 我们在宇宙中是孤独的吗?研究系外行星的多样性,寻找系外类地行星.
- 2) 我们如何来到今天?研究恒星的轮回和元素的演化,对银河系和宇宙结构进行考古.
- 3) 我们的宇宙如何工作?研究自然的奇点(如黑洞)和极端(如极端引力、极端速度、极端密度和极端磁场);研究宇宙的起源和命运.

ESA 自 2005 年开始发布宇宙愿景计划,所关注的关键科学问题和美国 NASA 类似.2010 年 ESA 发布了宇宙愿景 2015~2025^[4].表 4 是 ESA 宇宙愿景目前入选的大中型项目表.

从战略规划内容上看,美国(NASA)和欧洲(ESA)的规划最为宏大,几乎涉及了天文学和天体物理中所有的前沿领域,代表着空间天文领域未来的发展方向,其他国家(如俄罗斯、日本、印度、巴西、韩国等)一般都只是在上述大框架下的局部强调和延伸.概括起来,未来空间天文领域探测和研究的主要热点是:宇宙的起源、结构和演化;类地太阳系外行星系统的搜寻.其中宇宙的起源、结构和演化包括的内容广泛,从黑洞、活动星系核到第一代恒星的形成、暗物质与暗能量的物理本质和在宇宙中的分布等;值得注意的是,类地太阳系外行星系统的搜寻变得很热,这反映了人们对发现除地球上以外的地外生命有着一种超常的欲望和好奇心.

从实现战略规划的途径上看,一般前十年都非常具体.从 2020 到 2030 年及之后,战略规划更多地是给出发展方向,而非具体的项目.值得一提的是,NASA 和 ESA 在规划后十年时的提法有些类似,都

表 4 ESA 宇宙愿景目前入选的大中型项目

领域	S 级(5 千万欧元)	M 级(5 亿欧元)	L 级(10 亿欧元)	机会项目
太阳系		Solar Orbiter(M1)	JUICE (L1) (木星系统)	
天体及 基础物理	CHEOPS(2017 发射, 系外行星) (S1)	Euclid (M2, ~2022 年发射)	ATHENA (L2, ~2028 年发射)	SPICA(TBC) (IR 天文)
		PLATO(M3, ~2024 年发射) (系外行星/星震学)	NGO (L3, ~2034 年发射)	

强调了深入的 X 射线、 γ 射线、红外观测以及太阳系外行星系统的探测。

从探测手段上看,除了 X 射线、 γ 射线、紫外和红外观测外,利用干涉仪观测是一个新的手段。此外,引力波探测又开辟了一个新的窗口。编队飞行卫星探测将变得越来越普遍。针对科学上的新概念,如暗物质和暗能量,需要在空间探测上做出快速反应,这里小卫星计划体现出相当的灵活性,可望短时间内得到期望的结果,或为需要长时间研制的大卫星计划提供必要的先期探测研究。

从层次上看,美国(NASA)和欧洲(ESA)追求全面的领先地位,在突出重点的同时,强调各个方面均衡发展。日本则强调其谋求世界空间科学中心的同时,要力促尖端技术的发展。俄罗斯更多的是强调保持作为空间大国应有的贡献和地位。法国、意大利等国家在参加 ESA 大的科学计划的同时,还有一系列自己的计划。值得注意的是,在发展中国家中,巴西和印度都朝着独立开展空间计划的方向迈进,巴西选择有限目标,而印度占着与美国合作的优势,计划显得雄心勃勃。

5 我国空间天文研究现状

毫无疑问,中国已经成为了世界上的航天和空间技术大国。但是中国的空间科学则处于刚刚起步的阶段,在空间科学的重要方向空间天文领域,中国至今还没有发射过一颗专门的天文卫星。

国内空间天文探测技术的发展主要是在高能天文探测领域。中国的高能天文观测起步于 1970 年代,和大的科学装置的发展紧密相连。

自 1978 年开始,我国开展了应用高空气球开展空间科学研究的工作,形成了具有国际竞争力的高空科学气球能力,对我国空间天文技术尤其是高能天体物理实验技术的发展做出了不可替代的贡献。但是由于种种原因,近十年来该能力没有继续为空间天文的发展服务。

我国于 1992 年开始实施载人航天工程。载人航天工程设立了载人航天应用系统,开展空间科学研究及实验。2001 年,高能物理研究所和紫金山天文台在“神舟 2 号”上搭载了超软 X 射线、X 射线和 γ 射线探测器,成功地观测到近 30 个宇宙 γ 射线暴和近百例太阳耀斑的 X 射线和 γ 射线爆发。这是我国空间天

文观测跨出的重要一步。

我国在未来几年空间天文有可能取得突破,主要体现在围绕“黑洞探针”计划,目前已经有三个空间天文项目处于研制阶段。另外,由空间先导专项支持的暗物质粒子卫星也正在研制。

空间硬 X 射线调制望远镜(HXMT)项目被遴选为国家“十一五”空间科学卫星项目。HXMT 包括软 X 射线望远镜、中能 X 射线望远镜和高能 X 射线望远镜。HXMT 将完成宽波段 X 射线巡天,已于 2011 年完成立项工作,计划于 2016 年左右发射升空,预期寿命 4 年。中欧合作伽玛射线暴偏振测量仪器(POLAR),计划搭载天宫-2 号于 2016 年发射运行,将是国际上首个高灵敏度专用测量伽玛暴伽玛射线偏振的科学仪器。中法合作空间高能天文小卫星空间变源监视器(SVOM)卫星,已经被批准正式立项,计划 2021 年左右上天,其主要科学目标是研究 γ 暴的多波段辐射性质。

空间科学先导专项是 2011 年 1 月中国科学院首批启动的战略性先导科技专项之一。“十二五”期间,空间科学先导专项部署了 7 个研究项目。其中,空间天文项目有: HXMT(HXMT 的软 X 射线望远镜、中能 X 射线望远镜的研制由先导专项经费支持, HXMT 预期 2016 年发射)和暗物质粒子探测卫星(预期 2015 年发射)。

“十二五”期间,空间科学先导专项还部署了“天体号脉”方向的“X 射线时变和偏振(XTP)”项目、“空间毫米波长基线干涉阵列(SMVLBI)”,“爱因斯坦探针(EP)”和“系外类地行星探测计划(STEP)”等 4 个空间天文项目的背景型号研究。其中, XTP 得到了欧洲几个空间天文强国科学家的响应和支持,有望发展成为中国主导的大型国际合作空间科学项目。

此外,空间科学先导专项已经启动了一批未来空间天文项目的概念研究,包括中国引力波探测计划,为中国空间天文的持续发展奠定了良好的基础。

在上述探测项目中,涉及的主要技术包括: 空间 X 射线探测技术、空间 γ 射线探测技术、空间光学望远镜技术、空间紫外探测技术等。其中空间 X 射线探测技术和空间伽玛射线探测技术具有空间探测成功的经历,有相对的优势。我国在空间天文探测方面其它优势还体现在: 1) 我国掌握先进的航天技术,能够为空间天文提供适当的平台,这是世界上只有少数国家才具有的能力; 2) 在 HXMT 和暗物质粒子探

测卫星(DAMPE)上,经过多年的预研,在项目的科学思想和技术实现方面具有独到的创新之处,是我国空间天文探测全面落后的情况下不多的亮点,为我国进一步的空间天文探测积累了经验,奠定了坚实的基础.

6 我国的空间天文重点研究方向

空间天文领域核心科学问题是宇宙是如何起源和演化的?包括:宇宙是由什么构成及如何演化的?宇宙中不同尺度的结构和天体是如何起源和演化的?是否存在超越现有基本物理理论的新物理规律?大多数天文卫星都是围绕这些核心科学问题.

我们把当前天文学和天体物理学的前沿科学问题简要地归纳为“一黑、两暗、三起源”,也就是“黑洞”、“暗物质/暗能量”、“宇宙/天体/系外生命起源”的研究.围绕这些基本问题,今后我国的空间天文研究发展重点是:

瞄准一黑(黑洞)、两暗(暗物质、暗能量)前沿重大基础科学问题,为揭示三起源(宇宙起源和演化、天体起源和演化、地外生命起源)和发展物理科学做出创新贡献.“一黑”主要研究从恒星级质量到星系中央超大质量黑洞的形成、物质吸积、喷流、外流物理过程和物质循环,在极强引力场中严格检验引力理论;“两暗”指通过对超新星、星系、星系团、星系际介质、宇宙背景辐射等宇宙探针的观测和统计,研究挑战近代物理基本框架的宇宙暗能量、暗物质的(表观)物理本质,进而深入理解星系及可观测宇宙的起源、演

化历史和物理规律.此外,在星系、恒星和行星层次,研究重点为银河系结构、子结构和形成历史,大质量恒星的形成,超新星爆发、伽马射线暴、中等质量黑洞以及致密天体,搜寻系外类地行星和生命存在的可能性;引力波是广义相对论的最重要预言之一,时空结构剧烈改变会产生相应的几何曲率振荡即引力波,是空间天文学重要的新观测手段.

7 我国空间天文发展规划

2000 年以来,国防科工(委)局、中国科学院、国家自然科学基金委等部门多次组织有关专家编写我国空间科学中长期规划,空间天文规划是空间科学规划的重要组成部分^[5-14].

我国空间天文领域中长期科学发展目标是:有选择地开展针对重大科学问题的前沿探索与研究,在黑洞、暗物质和暗能量以及地外生命的探索等方面取得突破性进展.

为实现上述目标,从现在至 2030 年的时间框架里,结合我国空间科学的发展基础和技术条件,提出了 2016~2030 空间天文发展规划路线(图 1).对上述科学问题及为每一问题寻找答案所采取的研究手段(空间科学计划)如表 5 所示,对应这些计划的空间项目及其状态如表 6 所示.

以空间高能天文作为突破点并逐渐发展成为优势领域,从“黑洞探针”的主题出发,通过“天体号脉”计划,揭示各种天体的内部结构及其和周围物质的相互作用过程;通过“天体肖像”计划,拍摄到各种

表 5 科学问题与实施计划对应表

主题	问题	子问题	实施计划
物质是如何起源、发展和运动的？	宇宙是如何起源和演化的？	宇宙是由什么构成及如何演化的？	“天体肖像”计划
			“天体光谱”计划
			“暗物质”探测计划
			“宇宙灯塔”计划
		宇宙中不同尺度的结构和天体是如何起源和演化的？	“黑洞探针”计划
			“天体光谱”计划
			“暗物质”探测计划
			“宇宙灯塔”计划
	是否存在超越现有基本物理理论的新物理规律？	“黑洞探针”计划	
		“天体号脉”计划	
		“暗物质探测”计划	
		“宇宙灯塔”计划	
生命是如何起源和演化的？	生命是如何起源和演化的？	“系外行星探测”计划	
	获取地球以外存在生命的证据	“系外行星探测”计划	

表 6 2015–2030 空间天文项目评估表

所属计划	项目名称	科学主题	目前状态	技术风险	规模	发射时间 ^{a)}	优先级	备注
黑洞探针	HXMT	致密天体巡天	在研	低	中	2016	高	
	SVOM	伽玛暴多波段	在研	中	中	2021	高	
	POLAR	伽玛暴偏振	在研	中	小	2016	高	
天体号脉	XTP	致密天体物理	背景	中	大	2020?	高	
	EP	天体剧烈活动	背景	中	中	2020?	高	
	Nearth	系外行星光变	概念	大	大	2030?	中	
天体肖像	SMVLBI	相对论喷流	背景	大	大	2020?	高	
	STEP	系外行星位置	背景	中	中	2020?	高	
	JEEEDIS	系外行星成像	概念	中	大	2025?	高	
	SULFRO	21 cm 成像	概念	低	中	2025?	中	阵列
天体光谱	SMAM	星系介质	概念	低	小	2020?	中	
	UVEM	重子丢失	概念	中	中	2025?	高	
	COME	21 cm 谱线	概念	低	中	2025?	中	月球轨道
暗物质计划	DAMPE	暗物质	在研	低	中	2015	高	
	HERD	暗物质	预研	中	中	2022?	高	
宇宙灯塔	CSSOS	暗能量	在研	高	大	2022?	高	
	HERD	暗物质	预研	中	中	2020?	高	规划
	LAGSA	天体剧烈活动	概念	中	中	2022?	高	规划
	NEATER	中子星物理	概念	低	小	2020?	高	规划

a) ? 表示发射时间为大致年份, 不确定

天体及活动的照片; 通过天体光谱计划, 对天体的各种波段(主要频段: 光学、射电和 X 射线)的光谱进行高分辨的测量.

另外, 还将通过“暗物质探测”计划确定暗物质的性质; 通过中国引力波计划直接探测引力波, 并将黑洞天文学的触角延伸至高红移的早期宇宙($z\sim 10$), 并更好覆盖天文学中最神秘的中等质量黑洞波源. “宇宙灯塔”计划拟使用中国的空间站作为天文观测和物理实验平台, 探索 X 射线脉冲星导航, 捕捉宇宙中各种天体的快速变化的信号, 研究宇宙中剧烈和极端物理过程, 研究暗物质、暗能量、宇宙起源和演化等.

下面简要介绍这些计划.

“黑洞探针”计划: 通过观测宇宙中的各种黑洞等致密天体以及伽玛射线暴, 研究宇宙天体的高能过程和黑洞物理, 以黑洞等极端天体作为恒星和星系演化的探针, 理解宇宙极端物理过程和规律. “黑洞探针”计划主要包括三个项目: HXMT, SVOM 和 POLAR.

“天体号脉”计划: 对天体的各种波段的电磁波辐射进行高测光精度和高定时精度的探测, 理解各种天体的内部结构和各种剧烈活动过程. 主要项目包括: XTP 卫星, EP 卫星.

“天体肖像”计划: 获得太阳系外的恒星、行星、白矮星、中子星、黑洞等天体以及星系和宇宙大尺度的直接和精确照片, 对理解宇宙的构成等科学问题起重要关键作用. 主要项目包括: SMVLBI, 空间甚低频射电天文台(SULFRO).

“天体光谱”计划就是对天体的各种波段(主要频段: 光学、射电和 X 射线)的光谱进行高分辨的测量. 主要项目包括: 银河系温热气体光谱绘图仪(SMAM), “宇宙网”紫外发射线探测器(UVEM), 宇宙分子探测器(COME).

“系外行星”计划: 主要搜寻太阳系外类地、类木行星, 精确测定行星的质量、轨道、可见光和红外光谱以及上述物理参数随时间的变化情况, 并建立上述行星半径、密度、有效温度、反照率、大气环境、温室气体、表面重力等重要物理参数的数据库. 初步对宇宙中是否存在另一个“地球”这一基本科学问题做出回答. 主要项目包括“STEP”、“外星黄道尘盘成像和系外类木/类地行星谱征研究(JEEEDIS)”和“寻找宜居地球-新地球(Nearth)”等三个项目.

“暗物质探测”计划: 利用空间平台, 探测各种理论模型预言的暗物质湮灭的产物. 主要项目包括“DAMPE”和在我国空间站上实施的高能空间辐射探测设施(HERD).

“宇宙灯塔”计划: 拟使用中国的空间站作为天文观测和物理实验平台, 探索 X 射线脉冲星导航, 捕捉宇宙中各种天体的快速变化的信号研究宇宙中剧烈和极端物理过程, 搜寻暗物质湮灭所产生的伽玛射线或其它次级粒子, 并通过普查巡天和长期监视等手段探测多种天体的各种信号研究宇宙的起源和演化, 测量暗能量的属性. 该计划包括如下项目: 中国空间站大规模光学巡天(CSSOS)、HERD、X 射线-紫外全天监视器、大面积太阳伽玛射线探测器(LAGSA)、中子星极端天体物理和新技术探索(NEATER).

8 在研项目简介

1) DAMPE

DAMPE 的主要科学目标: (1) 通过在空间高分

辨、宽波段观测高能电子和伽玛射线寻找和研究暗物质粒子, 在暗物质研究这一前沿科学领域取得重大突破; (2) 通过观测 TeV 以上的高能电子及重核, 在宇宙射线起源方面取得突破; (3) 通过观测高能伽玛射线, 在伽玛天文方面取得重要成果.

暗物质粒子探测卫星采用卫星平台与载荷一体化设计, 卫星轨道为太阳同步轨道, 轨道高度约 600 km, 三轴稳定, 拟于 2015 年发射. 有效载荷重约 1400 kg, 功耗约 350 W. 主载荷由硅阵列探测器、塑料闪烁体探测器、锗酸铋(BGO)晶体量能器和中子探测器组成(图 2).

2) HXMT

HXMT 的主要科学目标是: (1) 通过在硬 X 射线波段的全天普查发现大批被尘埃遮挡的、处于剧烈活动和增长中的超大质量黑洞, 从而理解宇宙中超大质量黑洞的增长、星系的形成和演化; (2) 通过对重

图 1 2016-2030 空间天文发展规划路线图

图 2 中国暗物质粒子探测卫星

(a) 卫星示意图; (b) 载荷示意图

要黑洞双星、中子星双星等天体的宽波段能谱测量和高精度时变测量, 理解黑洞、中子星等致密天体附近的极端动力学、高能粒子加速和高能辐射过程。

HXMT 卫星(图 3)采用资源二号卫星平台, 卫星总重约 2700 kg, 在高度 550 km、倾角 43° 的圆轨道上实现巡天和定点观测, 卫星设计寿命 4 年, 拟采用 CZ-4B 火箭于 2016 年发射. HXMT 主要载荷为高能 X 射线探测器、中能 X 射线探测器和低能 X 射线探测器。

3) POLAR

POLAR 是世界上首台高灵敏度专门探测伽玛暴偏振的实验装置, 它的主要科学目标是: 通过偏振伽玛暴的观测, 开辟一个空间天文的新窗口, 理解伽玛暴的爆发和喷流机制, 并有可能检验某些量子理论模型。

POLAR(图 4)将随我国空间实验室天宫 2 号发射升空. POLAR 载荷重约 30 kg. 空间实验室的轨道为高度约 350 km, 倾角约 43° 的圆轨道, 计划在 2016 年下半年发射升空. POLAR 是由多个塑料闪烁体棒簇

图 3 HXMT 在空间运行的示意图

图 4 POLAR 示意图

组成的一个科学仪器, 利用康普顿散射原理测量入射伽玛射线的偏振。

4) SVOM

SVOM 项目是中法合作多波段伽玛暴探测天文卫星, 其主要科学目标是: (1) 发现和快速定位各种伽玛射线暴, 引领国际伽玛暴研究; (2) 全面测量伽玛暴的电磁辐射性质, 提供伽玛暴的基本参数, 从而理解大质量恒星的演化、伽玛暴的爆发机制、以及极端相对论喷流的产生和输运过程; (3) 探测离我们最远、产生最早的天体, 利用伽玛暴研究宇宙的早期演化、暗物质和暗能量的宏观性质。

SVOM 卫星(图 5)采用卫星平台与载荷一体化设计, 卫星轨道为近地圆轨道, 轨道高度约 600 km, 倾角 20° , 三轴稳定, 拟于 2021 年发射. 有效载荷重约 500 kg, 功耗约 500 W. SVOM 主要载荷为可见光望远镜(中国)、软 X 射线望远镜(中国和法国)、硬 X 射线成像仪(法国)、伽玛射线监视器(中国)等多波段科学仪器。

5) CSSOS

计划 2020 年前后安装在中国空间站的大型项目“中国空间站光学巡天”的主要科学目标是研究宇宙学. 它的观测能力将超过目前影响力最大的 Sloan 数

图 5 中法合作天文卫星-SVOM 示意图

字巡天(SDSS)几个数量级,与国外同期的大规模巡天项目相比,也将具有很强的科学竞争力.这个巡天计划完成 25000 平方度深度多色成像观测、800 平方度极深度多色成像观测、以及 10000 平方度中高银纬无缝光谱观测.其相机方案初步设计和多色巡天编排的模拟结果如图 6 和 7 所示.

9 预研项目简介

空间科学先导专项是 2011 年 1 月中国科学院首

图 6 空间站多色成像与无缝光谱巡天相机初步设计
(a) 焦面布局; (b) 方案初步设计

图 7 多色成像巡天编排模拟

面积 25000 平方度.蓝色区域为中高银纬、中高黄纬覆盖天区,紫色区域为黄道和银盘附近观测天区,绿色区域为极深度多色成像观测天区,白色区域未观测

批启动的战略性先导科技专项之一.该先导专项遴选了若干项目进行背景型号研究,其中 XTP, EP, SMVLBI 和 STEP 等四个项目属于空间天文项目.空间天文背景型号项目旨在通过背景型号研究,为未来天文卫星的工程研制、发射做准备.

另外,中国空间站入选规划项目之一的暗物质与宇宙线探测设施 HERD 项目获得国家自然科学基金委员会专项基金项目和面上基金项目支持,正在进行原理样机研制.

1) XTP 卫星

XTP 的主要科学目标是:研究“一奇”(黑洞,测量上百个黑洞的自转参数)、“二星”(中子星和夸克星,研究极高密度下的物质状态方程)、“三极端”(极端引力、极端密度、极端磁场下的物理过程).

XTP(图 8)有效载荷包括:高能 X 射线聚焦望远镜 5 组,焦距 5.5 m(固定式焦距);低能 X 射线聚焦望远镜 10 组,焦距 4.5 m(固定式焦距);高能 X 射线准直望远镜 2 组,有效面积 $>2500 \text{ cm}^2$;广角龙虾眼相机 1 组,有效面积 $>200 \text{ cm}^2$.

2) EP

EP 卫星的主要科学目标是围绕爱因斯坦广义相对论的两个预言——黑洞和引力波.通过捕捉 X 射线

图 8 XTP 卫星示意图

XTP 有效载荷四种:高能 X 射线聚焦望远镜阵列、低能 X 射线聚焦望远镜阵列、高能 X 射线准直型望远镜、宽视场相机

暂现信号,发现和探测作为宇宙黑洞主要存在形式的沉寂黑洞,旨在探究黑洞在宇宙中是否普遍存在这一基本天体物理学问题. EP 着眼于国际上第二代引力波探测设备即将投入运行,旨在发现和研究引力波暴的电磁波对应体,测量宇宙学红移并证认引力波暴的天体物理起源;开展深度的大视场时域监测巡天,发现和探测宇宙中各种已知和未知的突发性的暂现/爆发天体和事件;获得大样本宇宙 X 射线源的辐射变化数据,绘制全天 X 射线时序全景图像.

EP 卫星(图9)的有效载荷包括一台大视场($60^\circ \times 60^\circ$, 立体角约为 1 球面度,即全天 1/12)的软 X 射线($0.5 \sim 4$ keV)宽视场 X 射线望远镜(WXT)和一台视场约为 $1^\circ \times 1^\circ$ 的深度后随 X 射线望远镜(FXT).

3) SMVLBI

SMVLBI 项目的主要科学目标是:通过长毫米波长 VLBI 技术进行黑洞周边区域成像,精确测量中央超大黑洞的质量,揭示活动星系核巨大能源之谜,解密大质量恒星诞生和演化过程. 该项目计划发射 2 颗椭圆轨道卫星(图 10),远地点约 60000 km,每个卫星携带一台 10 m 口径的射电望远镜,与地面望远镜配合,达到 ~ 20 微角秒的分辨(~ 43 GHz). 系统由 2 颗卫星组成,卫星质量 1800 kg,远地点轨道高度 60000 km,近地点高度 1200 km,轨道倾角 28.5° ,由 CZ-3C 火箭发射,寿命 3 年. 载荷包括射电望远镜(10 m 口径)、天文数据采集处理器、星载致冷接收机、基准频率源、激光反射器,载荷(含数传)质量 636 kg.

4) STEP

STEP 的主要科学目标为: (1) 搜寻太阳系附近

图9 EP卫星示意图

图10 空间长毫米波 VLBI 阵示意图

的类地行星. 专门针对位于宜居带的类地行星开展高精度探测; 探测对象为太阳系附近的 F, G, K 恒星. (2) 太阳系附近行星系统的精确探测研究. 更加全面地获取行星系统特别是低质量的行星样本和更精确的三维轨道和动力学特征研究; (3) 宇宙距离尺度定标. 通过 STEP 的亚微角秒测量能力, 开展对太空中距离尺度的标准烛光-“造父变星”的精确测量和定标.

STEP 的视场角为 0.44° , 主镜口径 1.2 m, 焦距为 50 m. 光学结构拟采用 TMA 光学设计, 焦平面使用 MOSAIC 拼接并且采用外差式激光干涉定标技术以保证大视场和高精度定位测量的要求. 由于观测模式、平台稳定性和温控稳定度等方面的需求, 轨道选用拉格朗日 L2 点. STEP 设计定位测量精度 $0.5 \sim 1$ 微角秒, 是目前国际上定位测量精度最高的空间探测计划.

STEP 卫星(图 11)总重 1450 kg, 运行于日地系统 L2 点 Halo 轨道, 倾角 28.5° , 寿命 5 年, 运载火箭 CZ-3C. 载荷质量 500 kg, 是一台大口径、长焦距、工作在可见光波段的望远镜系统, 主要由光学系统和焦平面及电控系统两部分构成, 有效口径 1.2 m, 有效焦距 50 m, 视场角 0.44° , 定位精度 0.5 微角秒.

5) 中国空间站暗物质与宇宙线探测设施 HERD

HERD 为未来中国空间站上规划中的科学载荷之一, 预计 2020 年左右发射. HERD 的主要科学目标是: (1) 通过对 100 MeV $\sim$ 10 TeV 能区电子以及伽玛射线的能谱观测寻找暗物质粒子; (2) 对 10 GeV $\sim$ 1 PeV 能区原初宇宙射线各成分能谱直接精细测量; (3) 伽玛射线巡天观测, 主要包括伽玛射线暴、活动星系核等其他天体物理过程的监测.

HERD(图 12)主载荷由中心 LYSO 量能器和五面包络的硅微条径迹探测器组成, 重量约 3000 kg, 功

图 11 STEP 卫星示意图

耗约 2000 W. LYSO 量能器的纵向深度达到 3 核作用长度, 对宇宙线有较好的探测能力; 对光子电子探测的几何因子达到了现有实验的 10 倍以上, 对核子的几何因子达到了现有实验的近 10 倍, 在探测性能上, 实现了量级上的突破.

考虑该项目将于 2020 年发射安装在中国空间站, 届时 AMS02 已经运行了 9 年, DAPME 运行了 5 年, CREAM 运行了 5 年. 对于光子电子的探测, LYSO 方案运行一年之后, 将全面超越这些实验, 并有可能在

暗物质的探测取得突破; 对宇宙线核子的探测, 将在运行两年之后全面超越现有实验, 且将探测能区延伸到膝区, 解开高能宇宙线的起源、传播之谜.

10 部分规划项目简介

1) SULFRO

SULFRO(图 13)旨在建设世界上首个工作在 0.1~30 MHz 频段具备多项科学探索用途的空间望远镜阵列, 由 1 颗母卫星和 10 颗子卫星(搭载正交振子天线)构成, 运行在日地拉格朗日点 L2 稳定轨道, 远离地球上的射频干扰. SULFRO 独有的工作频段将填补无线电波谱的最后一段空白, 它前所未有的高分辨率高灵敏度成像能力有望在宇宙黑暗时期探测、系外行星搜寻、太阳日冕抛射、星系形成等多个天体物理和基础物理前沿领域取得重大发现.

2) SMAM

SMAM 通过 SMAM 的巡天观测, 研究银河系弥

图 12 中国空间站高能宇宙辐射探测设施

(a) 概念示意图; (b) 初步方案示意图

图 13 SULFRO 卫星星座示意图

散 X 射线辐射性质, 包括银河系温热气体的密度、温度和金属丰度等特性并绘制相应的空间分布, 这将有助于研究银河系温热气体的起源, 形成和演化, 以及与银河系内其它天体的相互作用. 另外, 星系也存在类似于恒星星风的系风, 研究星系系风的损失及损失机制, 将有助于理解“重子丢失”问题, 这将对暗物质和暗能量的研究产生影响.

SMAM(图 14)基本系统主要由准直器系统、异面光栅和探测系统三部分组成. 前三部分组成一个基本探测单元, 其视场是 $3.25^\circ \times 3.25^\circ$, 有效探测面积是 0.12 cm^2 . 本项目计划用 12 个单元阵列(分成两组)提高有效探测面积到 1.4 cm^2 (@50 Å).

3) UVEM

UVEM 拟对邻近 300 个星系周边的 HI 和 OVI 发射进行探测. 对星系际介质中 Ly α 和 OVI 发射线三维成图可以揭示在细条状结构(filament)相交处(吸积和星系风主导), 星系晕、星系组(group)和星系团中延展的气体.

“宇宙网”发射线探测器卫星(图 15)由至少 4 个强大的窄波段成像相机组成, 其中两个成像仪允许同时对 OVI 1032 Å, 1038 Å, 和 Ly β 成图, 另外两个成像仪可对氢的被红移的 Ly β (波长 $\geq 1240 \text{ Å}$). 相机调节到适合观测目标星系红移处的氧和氢的发射线.

4) COME

COME 有两个各自极为重要, 并且互补的科学目标: (1) 探索宇宙由暗转明的演化; (2) 搜寻气体宇宙的新成分.

COME 利用低频超宽带接收机覆盖 40~400 MHz, 实现相对简单轻便的载荷. 由于需要精确测量, COME 准备采用特制的高动态范围模数转换器和高动态范围的超导放大器. 卫星的电子学系统安置在

图 14 SMAM 结构示意图

图 15 UVEM 卫星示意图

电磁屏蔽室(等效法拉第笼)中, 并与天线视线隔离, 确保大于 50 dB 的对于自身电磁干扰的防护.

COME(图 16)将包括高低增益天线、探测的仪器天线、天线支撑系统、接收机、太阳能电池板、重力梯度稳定系统等结构. 卫星设计的有效载荷为 150 kg, 整体重量为 260 kg, 功率为 70 W.

5) JEEEDIS

“JEEEDIS”项目的科学目标是: (1) 对 20 pc 以内恒星黄道尘盘(ED)的成像观测和定量分析研究; (2) 对类木行星(轨道半长径 0.4~5 AU, 有效温度几十至几百开尔文的成熟行星)以及宜居带内类地行星成像观测和光谱分析研究.

JEEEDIS 卫星(图 17)初步方案是发射 1.5 m 空间离轴望远镜, 并配备高对比度成像星冕仪(HCIC)科学仪器, 采用单向透过率调制滤光片(STF)技术和可变形镜(DM)相位精确控制技术.

6) NEarth

NEarth 是 Nearby Earth 的缩写, 是一个以寻找宜

图 16 COME 卫星的概念设计图

图 17 JEEEDIS 卫星示意图, 其核心是 1.5 m 空间离轴望远镜

居带类地行星为目标的大天区亮星巡天空间计划。

NEarth 的主要科学目标是: (1) 全天一半亮星的系外行星搜寻(尤其是宜居带类地行星), 完备太阳系近邻的亮星系外行星的样本, 为未来大望远镜进行宜居行星的大气刻画和生命起源研究选取样本; (2) 全天一半亮星的光变与星震学研究. 此外, 还可能发现全天区内亮于 14 等的机会源和变源. 根据 Kepler 的统计, 经过 6 年的探测, NEarth 能够发现超过三万颗行星候选体, 其中约 1400 颗类地行星, 包括有超过 1/6 的类地行星位于宜居带, 包括 100 颗左右, 主星亮于 9 等的类太阳恒星(G, K, M 型)周围的宜居行星, 是欧洲计划中的 PLATO 的 4.4 倍.

NEarth 主要载荷由若干有效口径 12.5 cm 望远镜组成球面阵列, 采用国际上最先进的球镜技术(图 18), 以达到同时观测 120° 直径天区的要求(图 19).

11 展望

总体而言, 在空间天文甚至整个空间科学领域, 我国都没有国家统一规划, 并且科研资源分配渠道分散, 研究内容和支撑条件布局既不系统, 也不集中, 缺乏预见性和长期准备.

空间科学先导专项是 2011 年 1 月中国科学院首批启动的战略性先导科技专项之一. 在目前情况下,

图 18 球镜系统示意图

图 19 NEarth 光路和结构示意图

空间天文规划的实施应该在空间科学先导专项的框架下采用三类项目进行实施, 即: 空间天文卫星任务、空间天文背景型号项目和空间天文预先研究项目.

通过空间科学专项任务的实施, 可望在恒星与星系的起源和演化、暗物质的性质、空间环境下的物

质运动规律和生命活动规律, 深化人类对宇宙和自然规律的认识. 同时未来空间天文的发展作好技术准备、奠定发展基础. 同时, 通过空间科学先导专项还将培养起一支达到国际水平的科学研究队伍和先进探测仪器的研制队伍, 建立起我国空间科学及卫星工程项目的技术支撑和管理体系, 建成支撑我国空间科学发展的国家级高水平空间科学中心, 为空间科学今后的持续发展奠定坚实的基础.

空间站作为独特的空间实验室和长期(预期至少 10 年)观测平台, 为天文观测、宇宙学研究和基础物理实验提供了空间平台. 目前阶段我国载人航天工程是一个被证明行之有效的空间科学项目的支持和支撑体系. 我国空间天文的发展现状表明, 在我国空间科学尤其是空间天文的起步阶段, 依靠载人航天提供的空间平台能够开创中国的空间天文, 并领导中国天文学在 21 世纪的迅速发展.

我们应该充分利用空间站的有利空间天文观测条件和资源, 使之成为今后一段时期我国空间天文能够继续得到发展并做出重大科学成果的最重要途径之一.

国外的空间天文发展的经验和教训都表明, 仅仅通过实验室研发和环模实验并不能全部和彻底解决所有的关键技术和最大限度地降低卫星和其它空间平台的科学仪器失败的风险, 而基于高空气球和探空火箭等亚轨道空间科学天文实验和验证能力是一个关键. 在空间亚轨道进行低成本的技术验证的同时, 有些实验还能够取得重大的科学发现, 凝练和提升正式的空间天文项目的科学思想, 最终形成最佳空间天文项目.

中国的空间天文卫星仍然处于零的突破的前夜. 近些年来, 国家对于空间天文研究日益重视, 投入不断增加, 已经有几个具有重要科学发现能力的空间天文项目具有了良好的科学和技术基础, 有望在今后几年陆续发射运行, 还有更多的候选项目在进行概念研究和关键技术攻关. 但是正像任何科学研究的前沿和制高点一样, 这些项目同时也面临着激烈和严峻的国际挤压、竞争和挑战. 我们必须能够抓住机遇, 从而在竞争中生存并取得成功.

参考文献

- 1 张和祺, 徐永煊. 空间天文学. 北京: 国防工业出版社, 1998
- 2 Ubertini P, Gehrels N, Corbett I, et al. Future of space astronomy: A global road map for the next decades. *Adv Space Res*, 2012, 50: 1–55
- 3 NRC. *New Worlds, New Horizons in Astronomy and Astrophysics*, Report of the Committee for a Decadal Survey of Astronomy and Astrophysics. Washington DC: The National Academy Press, 2010
- 4 Clavel J. ESA's space science programme: Cosmic vision 2015–2025: ESA's long term programme in space sciences. *Mem Soc Astron Ital*, 2010, 81, 467–474
- 5 张双南. 世界空间高能天文发展展望. *国际太空*, 2009, 12: 6–12
- 6 张双南. 空间时代的天文学研究. *中国科学院院刊*, 2014, 5: 590–602
- 7 张双南. 我国空间天文发展的现状和展望. *中国科学: 物理学 力学 天文学*, 2012, 42: 1308–1320
- 8 中国科学院空间科学项目中长期发展规划研究课题组. *中国空间科学项目中长期发展规划(2010–2025)*. 2008
- 9 中国科学院空间领域战略研究组. *太空之路——2050 年空间科技领域发展路线图*. 北京: 中国科学技术出版社, 2009
- 10 吴季, 张双南, 王赤. 中国空间科学中长期发展规划设想. *国际太空*, 2009, 12: 1–5
- 11 国家自然科学基金委员会和中国科学院. *未来 10 年中国学科发展战略——天文学*. 北京: 科学出版社, 2012
- 12 甘为群, 张双南, 颜毅华, 等. *空间天文与太阳物理领域. 空间科学项目发展规划战略研究报告*. 2011
- 13 张双南. 高能天体物理学研究与发展. *中国科学院院刊*, 2012, 27: 504–514
- 14 中国科学院空间科学项目中长期发展规划研究课题组. *中国空间科学项目中长期发展规划(2010–2025)*. 2008

The outlook of China's space astronomy

WU BoBing^{1,2} & ZHANG ShuangNan^{1,2}

¹ Key Laboratory of Particle Astrophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

² Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

In this paper an overview of the background and progress in space astronomy is presented, a brief review on the history of international space astronomy is reviewed, the current status and the development strategy in international space astronomy are introduced. With outlining the current status in China and key scientific question in space astronomy, we elaborate in particular the recent strategic study on China's space astronomy. Current research programs and some space astronomy projects and missions are introduced briefly. The outlook of the development of China's space Astronomy is offered in the end.

space astronomy, space observation, strategic study

doi: 10.1360/N092014-00332