



蓬勃发展的中国空间微波遥感技术*

姜景山

(中国科学院微波遥感重点实验室 国家八六三微波遥感技术实验室 北京 100190)

摘要 2012年是中国空间微波遥感首飞成功10周年。以载人航天“多模态”成果为起点,我国已发射了多颗微波遥感卫星,同时多颗规划中的微波遥感卫星已进入型号背景预研中。文章回顾了中国微波遥感发展的40年,重点介绍了空间微波遥感发展10余年的经历和成果,讨论了中国微波遥感发展思路、前景和目前存在的若干问题,并提出了若干创新思维和建议。

关键词 微波遥感,多模态,微波散射计,高度计,辐射计,微波月亮

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3045.2013.Z01.004



姜景山院士

1 引言

2012年是中国空间微波遥感首飞成功10周年。首个空间微波遥感系统——“多模态微波遥感器”以载人航天工程“神舟”四号飞船为平台,于2002年12月30日成功进入轨道,从而使

我国成为具有空间微波综合探测能力的国家。以载人航天“多模态”成果为起点,我国已发射了“嫦娥一号”(CE-1)、“嫦娥二号”(CE-2)探月卫星、“风云三号”(FY-3)气象卫星、“海洋二号”(HY-2)卫星、“环境一号”(HJ-1C)等多颗微波遥感卫星,同时多颗规划中的微波遥感卫星已进入型号背景预研中。我国空间微波遥感技术已成为一个具有理论研究、工程技术发展及广泛应用领域的完整的科学

技术体系,为经济建设和国家安全提供了先进的科技手段。空间微波遥感技术的发展,带动了一系列科技领域的发展,其频率已经扩展到亚毫米波段,其信息载体包括了电磁波的所有基本参量,其空间运行模式正在向空间分布式系统、特别是以分离式重组平台为核心的空间虚拟探测体系发展。空间微波探测将在未来的地球观测、深空探测中发挥重大作用。

2 中国微波遥感发展的简要回顾

中国微波遥感发展已走过近40年艰难而辉煌的发展历程,可分为4个阶段;

2.1 概念研究及基础建设阶段

中国微波遥感起步于20世纪70年代初,自1975年全国遥感规划会议(筹)后正式成为国家研发项目。这一阶段以国家“七五”、“八五”科技攻关等项目作为牵引,进行了基础研究、基本型遥感器研制和若干应用研究。

2.2 全部基本型遥感器研发阶段

国家“六五”、“七五”、“八五”、“九五”国家科技

* 收稿日期:2013年3月20日



攻关计划,建立了全部基本型遥感器,包括:陆基散射计、机载散射计、机载高度计、陆基散射/辐射计、机载多波段辐射计、星载多模态微波遥感器、合成孔径雷达等,并进行了若干应用研究和基础研究。

2.3 空间微波遥感发展阶段

多模态微波遥感器于2002年12月30日由“神舟四号”飞船成功送入轨道,开启了我国空间微波遥感新世纪。这一阶段进行了星载设备研制,发展新型遥感器,数据处理和全面应用研究。

2.4 全面发展阶段

以载人航天“多模态”成果为起点,我国已发射了多颗微波遥感卫星。同时,为适应多方面的需求,国家推出了多项举措,微波遥感技术得到迅速发展。国家相关部门已制定或正在制定长远的遥感发展计划,大力推动遥感技术的发展。

中国遥感技术发展已成为国际需求的重要组成部分,多方面实质性国际合作正在形成,国际上迫切需要中国微波遥感的参与和贡献。

3 中国微波遥感发展主要活动及成果概述

3.1 我国微波遥感研究涉及的几个前沿问题

进行了扇型波束杆状天线阵、笔型波束扫描型、扇型波束扫描型及全极化微波散射计及相关问题研究;研究了脉冲有限、波束有限体制、时域/频域转换等机理并研发了星载高度计,推动了成像高度计,延时多普勒体制等新型高度计研发;研发了星载微波辐射计,研究了综合孔径、全极化、高分辨率辐射计,开辟了毫米波、亚毫米波频段;研发了条带、扫描、聚束、InSAR、ISAR、CrSAR、Pol-InSAR等所有合成孔径雷达体制;提出了包括毫米波、亚毫米波遥感的“广义”微波遥感概念;研究了先进的创新型微波探测机理;推动了轻型、低功耗有效载荷机理及体制研究;深入研究了编队飞行,分离式可重构平台等;研究了先进的信息处理方法及技术;特别是SAR图像的光学视角处理方法研究;研发了海洋、大气探测的多种、新

型先进数据获取技术。开展了微波遥感探月研究,推动国际探月及深空探测。

3.2 对世界微波遥感发展的贡献

中国根据自身的国情和需求,在发展微波遥感的过程中为世界微波遥感的发展做出了应有的贡献。

在国际上首次用微波探测器从月球轨道上获取了全月微波亮温图,绘制了首个“微波月亮”,是月球研究中的开创性工作;提出并工程实现了笔型波束扫描型散射计测海洋风场;首次实现了成像微波高度计研制,并获取成像数据;首次实现了扇形波束扫描型散射计研制并成功进行航空校飞,验证了机理。据了解,至少今后几年,国际上没有发射新的散射计卫星计划。中法海洋卫星(CFOSAT)的中方载荷扇形波束扫描型散射计可能填补这一空白;推动了地球静止轨道毫米波/亚毫米波辐射计探测技术的研究;FY-3号卫星纳入世界气象卫星运行中,其数据已为国际用户服务;HY-2号卫星为国际用户提供海洋探测数据,获得好评。HY-2卫星是目前世界上最主要的一颗在轨运行的综合性海洋动力环境卫星,备受法国空间中心、欧洲气象卫星开发组织、澳大利亚气象局等相关国家和国际组织的关注。首次提出在小型飞机上实现遥感信息的“机-星-地”实时传输并用于灾害监测等应用中。率先提出无人机信息的“机-机-地”实时传输方法并技术实现。

3.3 中国微波遥感卫星简介

(1)多模态微波遥感——中国空间微波遥感从这里腾飞(图1)。多模态微波遥感系统成功发射已

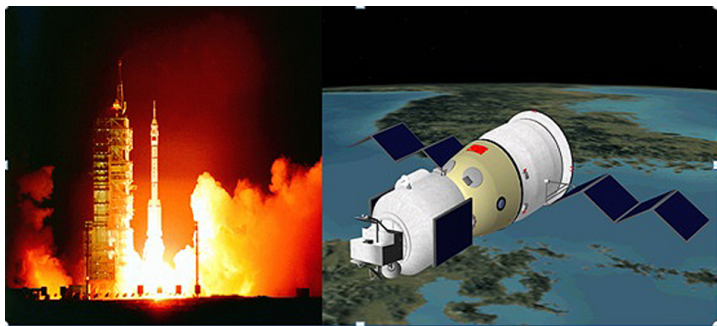


图1 中国第一个在太空使用的微波遥感器——“多模态微波遥感器”

10年。这10年中,“多模态”成为中国空间微波遥感的先驱。

多模态微波遥感器在轨运行4个多月,累计工作600多个小时,仪器设备工作正常,传回了大量的海面辐射数据、散射数据和海面高度数据等。利用这些数据,研究人员反演出海面平均高度和有效波高,海洋风场和海面温度。在轨飞行期间,国家海洋局在南海布局了测量船和平台同步测量,验证多模态工作状态及数据的有效性。多模态微波遥感器为我国星载微波遥感器的研发奠定了基石,在微波遥感技术发展史上具有标志性意义。多模态微波遥感器的成功发射,结束了我国没有空间微波遥感的历史,大大提升了我国对地观测的能力,使我国微波遥感跻身世界先进行列。

(2)嫦娥探月卫星。“嫦娥一号”(CE-1)、“嫦娥二号”(CE-2)探月卫星在国际上首次用微波探测仪从月球轨道上获取了全月微波亮温图,绘制了首个“微波月亮”(图2—4)。

(3)“海洋二号”(HY-2)卫星。2011年8月16日,HY-2卫星在太原卫星发射中心成功发射(图5)。HY-2卫星是我国第三颗海洋卫星,也是我国首颗海洋动力环境卫星,能够全天候、全天时进行

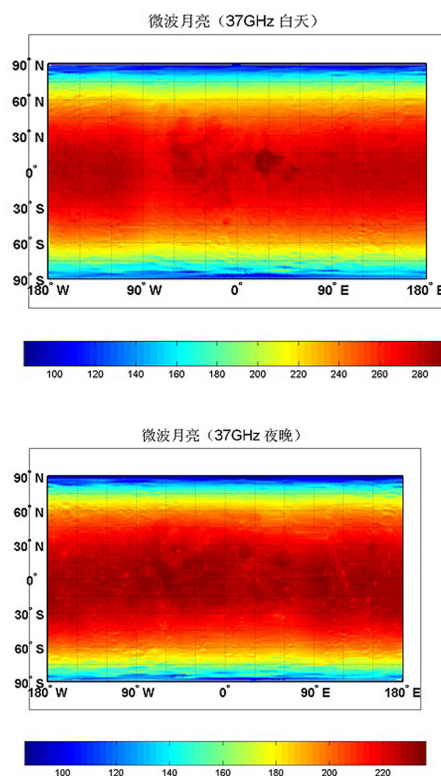


图4“微波月亮”

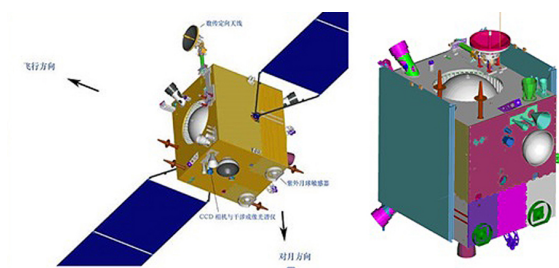
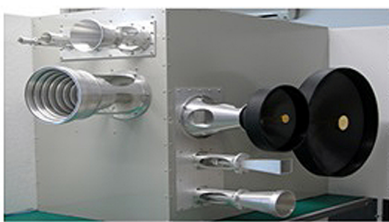


图2“嫦娥一号”、“嫦娥二号”卫星模拟图



CELMS的主要技术指标

频率 (GHz)	3.0	7.8	19.35	37
带宽 (MHz)	100	200	500	500
积分时间 (ms)	200	200	200	200
灵敏度 (K)	0.5	0.5	0.5	0.5
线性度	0.99	0.99	0.99	0.99
空间分辨率 (km)	50	35	35	35

图3“嫦娥一号”、“嫦娥二号”微波探测仪实物图及技术指标

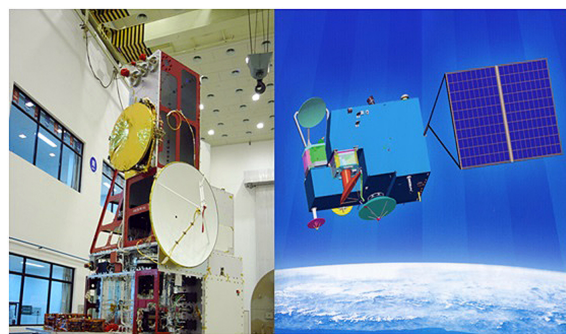


图5 海洋二号(HY-2)卫星在轨模拟图

全球探测,获取包括海面风场、浪高、海流、海温等多种海洋动力环境参数,直接为灾害性海况预警预报提供实测数据,并为海洋防灾减灾、海洋权益维护、海洋资源开发、海洋环境保护、海洋科学研究以及国防建设等提供支撑服务(图6)。

(4)“风云三号”(FY-3)卫星——我国新一代极轨气象卫

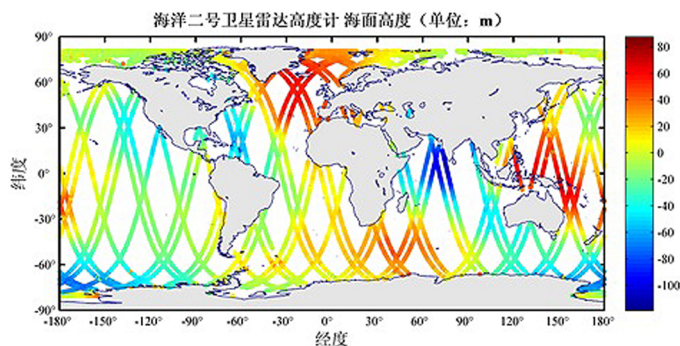


图6 HY-2卫星雷达高度计海面高度图

星。2008年5月27日,“风云三号”A(FY-3A)星在太原卫星发射基地发射升空,2010年11月5日,“风云三号”B(FY-3B)星成功发射(图7—8)。

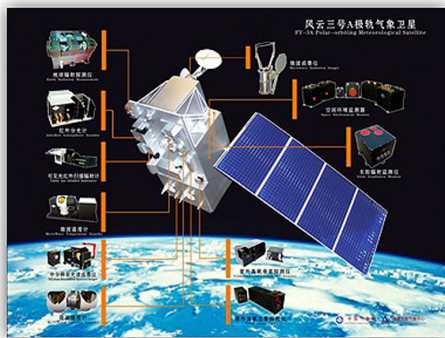


图7 FY-3A气象卫星

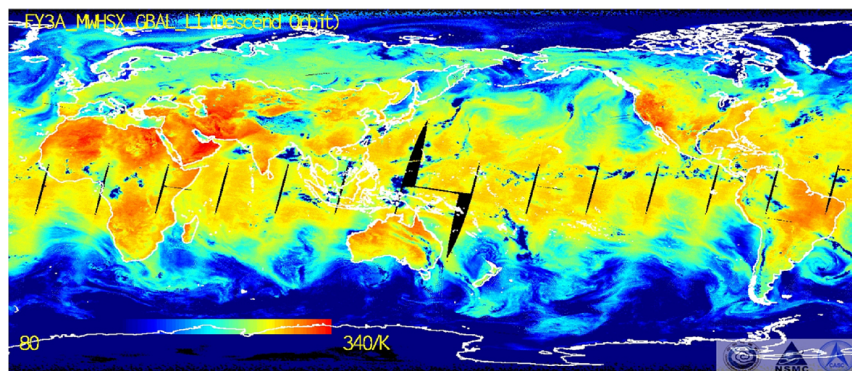


图8 FY-3A卫星微波湿度计全球亮温图

(5)环境探测卫星(HJ-1C)。HJ-1C星是一颗合成孔径雷达卫星,将与2008年9月成功发射的“环境一号”A、B卫星组成环境与灾害监测预报小卫星星座,形成对我国大部分地区灾害与环境情况的动态监测预报能力(图9)。

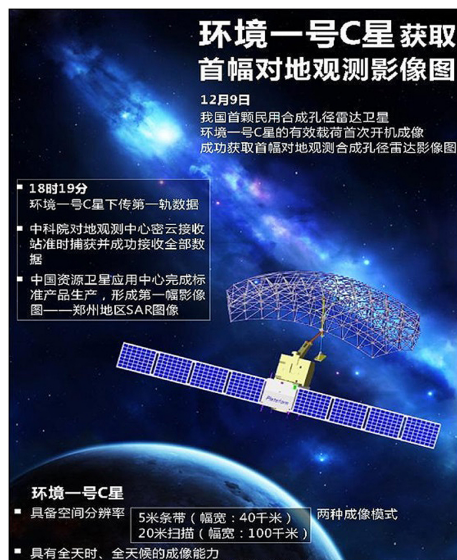


图9 HJ-1C星在轨模拟图

4 中国微波遥感未来发展的构思

4.1 探索中国的发展模式

中国微波遥感发展的实践提示我们,在考虑中国空间微波遥感技术发展时必须注意国家的国策和需求、国家的技术发展现状以及国际发展水平。

我国在相当一段时间内,空间微波遥感发展的研究重点仍是地球及其空间,同时适当发展深空及

太阳系行星的探测与研究,其发展应坚持“四性”、“三个面向”的原则。“四性”既是指战略性、前瞻性、创新性、适用性。“三个面向”指面向国家需求、面向国际前沿、面向全球动向。科研工作者要转变观念,转变发展模式,以动态的思维考虑问题,坚持需求牵引,以最大程度的满足需求为前提,力争在理论、技术和工程设计方面有较大的突破。

4.2 应从战略上考虑问题

(1)面向国家需求。胡锦涛总书记2008年在中国科学院第十四次和中国工程院第十一次院士大会上指出:“我们必须把自然灾害预测预报、防灾

减灾工作作为关系经济社会发展全局的一项重大工作进一步抓紧抓好。从长远看,要加快遥感、地理信息系统、全球定位系统、网络通信技术的应用以及防灾减灾高技术成果转化和综合集成,建立国家综合减灾和风险管理信息共享平台,完善国家和地方灾情监测、预警、评估、应急救援指挥体系。”

(2)从战略层面考虑。首先,确立重点和有限的目标。中国是发展中国家,综合国力有限,因此我们发展空间微波遥感必须强调重点和有限的目标。第二,提高投入产出比。国民经济发展和国家安全对空间微波遥感有着广泛的需求,我们应当制定出深层次的发展计划,这样才能提高投入产出比,用有限的投入获得最大的输出。第三,跨越式发展。在空间微波遥感技术的发展方面,中国和世界水平仍有一定差距,我们必须采取在某些领域利用现有成果,“跨越式”发展的方针。第四,自主创新 and 国产化。要重视自主创新能力建设和主要技术的国产化。第五,注重创新和特色。重视基础性创新,形成自己的特色。

4.3 中国微波遥感未来发展的一些设想

根据发展战略设想,我们需要在以下几个方面做工作:

(1)提高现有遥感器的性能水平,同时发展具有新机理的遥感器。发展星载高分辨率成像技术,包括与传统 SAR 可比拟的新型星载高分辨率成像技术,星载小型多模态微波遥感器以及星载高频段(至 1 000THz)微波辐射计,提高空间分辨率。发展新型微波遥感器,包括成像雷达高度计、微型微波遥感器、高空间分辨率微波辐射计,发展能适应模块化平台(Fractionated)的微波遥感器等等。如全极化微波辐射计,深空探测仪,多频或扫描无源雷达和微波摄像机。

(2)扩展更高的应用频率并实现基本国产化,力争在近 20 年突破 400GHz—1 000GHz 频段,特别是在天线、前端准光学、被动基本电路设计、集成化及包装工艺等技术领域。

(3)遥感器微小型化。在目前和将来的对地观

测计划中,微小卫星或自主组合型卫星阵将起非常重要的作用。有效载荷的微小型化是关键问题,解决的途径主要为:一是从遥感器微小型化的机理方面入手,另一个是从解决天线的微小型化入手。

(4)加强基础研究。微波遥感理论研究:从当代科技水平和能力出发,考虑理论问题和技术可行性;微波遥感信息定量化研究。毫米波、亚毫米波段电磁波与目标相互作用的研究,尤其在大气窗口频率;信息提取方法和算法,多参数信息的融合处理(多频段、多入射角、多极化);多遥感器数据以及其他非遥感数据融合。建立全球微波遥感信息库,建立空间信息系统数据库。微波遥感图像(SAR)似光学图像化处理方法研究。

4.4 转变思维方式,建立当代广义微波遥感概念

中国的微波遥感已站在世界的前列,但与世界先进国家相比尚存在差距,还不能充分地满足广大用户的需求,我们的思维和概念仍停留在发展的初期阶段,创新能力、前瞻思维不足,特别是多数人忙于当前的工程任务,无暇考虑如何持续发展,如何创新,如何好、快、省地发展,这将带来不好的后果。

微波遥感在国际上发展已 50 余年。1978 年,美国发射的海洋卫星 SEASAT 显示了当时国际微波遥感的水平,是之前近 20 年研发的结果。50 多年来,社会、科技、经济及人们的思想、整个地球环境等,与微波遥感开始出现时相比发生了根本性的变化。因此,现在考虑问题不能仍停留在几十年前,要以“当代”的眼光看问题,思考问题。几十年前形成微波遥感时,以当时的技术水平,对谱段有较明确的范围界定,即主要指厘米波长和毫米波长。随着应用的拓展和技术的发展,遥感谱段已涵盖了包括短毫米、亚毫米谱段在内的更宽的范围,因此近年说微波遥感时,往往包括了更短波长。“广义”不是严格科学意义上的定义,而是指在习惯理解上的范围,主要指频段拓展、信息载体拓展、应用拓展及信息的融合处理等。

4.5 加强遥感应用研究

为实现“十八大”报告中提出的建设“美丽中



国”、“海洋强国”的思想并加强在南海维权中的应用,为中国的“海空一体系列海洋卫星”做好准备;加强灾害性气象研究,加强与民生相关的探测及全球变化相关的遥感研究。加强研制先进的气象卫星有效载荷;从“灾害信息学”的角度,深入研究地震预报的理论和科学技术问题;积极参与国际合作研究,重点放在中国的资源和环境问题,尤其是灾害监测,成为“灾害信息学”的重要组成部分;加强海量数据的高速处理,尤其是SAR数据的优化处理和分析;天基观测及监视网应加强目标识别技术的发展;加强遥感技术在西部开发和生态文明建设中的应用。

4.6 发展更强功能的先进信号处理技术

向先进数据处理技术要高精度、高效益的遥感信息;通过对采样数据的超分辨率分析及相干处理、利用相位信息,可实现高分辨率图像。通过定标和验证,提高定量化水平等。

采用压缩感知等先进处理方法对数据的深入挖掘可以提升遥感系统的应用能力;通过极化、相位干涉处理可获得高程信息;利用极化散射矩阵特征分解或处理,可获得目标本征信息等。

对数据处理的深入研究可以促进新机理和新型遥感器系统的产生;利用低分辨率散射计和辐射计信息通过超分辨率分析,可获得更高分辨率的地面特性等。

4.7 可考虑的处理方法及研究领域

星上自主、自适应处理;针对分布式系统、离散重构平台信息的处理;动目标监测;在轨目标识别、捕获、跟踪;软件无线电技术的应用;压缩感知处理技术的发展及应用;混沌理论的利用及信号处理方法论研究;多种类信息的融合处理。

4.8 加强基础研究

加强目标特性及电磁波与介质相互作用研究,开展空间微波背景研究,开辟更高频率技术,短毫米波技术及相关研究,亚毫米波技术及相关研究,全电磁波综合探测,提高空间分辨率及时间分辨率,星载技术微小型化研究,强功能信息处理方法

及理论研究等。

5 结束语

从1975年通县会议正式在国家层面上讨论遥感规划算起中国的微波遥感发展已走过近40年,初步建立了理论、技术及基础设施的科学技术体系并正在推进其应用。自“多模态”成功遨游太空以来,我国空间微波遥感已经取得了令人瞩目的进步,但我们要清醒地认识到,我国微波遥感发展任重道远。我们要继续努力工作,使我国微波遥感发展在较短时间内有大的创新和发展,使我国早日成为微波遥感强国,为国民经济建设和国家安全做出更大的贡献。

参考文献

- 姜景山. 中国对地观测技术发展现状及未来发展的若干思考. 中国工程科学, 2006, 11: 19-24.
- 姜景山. 微波遥感信息技术发展若干问题的讨论. 遥感技术与应用, 2005, 1: 1-5.
- 姜景山, 吴一戎, 刘和光等. 中国微波遥感发展的新阶段新任务. 中国工程科学, 2008, 6: 10-15.
- 姜景山. 面向21世纪的中国微波遥感技术发展. 中国工程科学, 1999, 2: 78-82.
- Jiang J S. The China Multimode Microwave Remote Sensor (CMMRS) onboard the SZ-4 Spaceship. Chinese Journal of Space Sciences, 2004, 24: 26-31.
- Jiang J S, Zhang Y H, Dong X L. A Chinese Spaceborne Scanning Scatterometer (CNSSCAT) Design. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2000, 66(5): 599-604.
- Jiang J S. Progress for Spaceborne Microwave Remote Sensing in China. Chinese Journal of Space Sciences, 2008, 5: 370-373.
- Jiang J S. Technology Progress Report for Microwave Remote Sensing. Chinese Journal of Space Sciences, 2004, 24: 1-4.
- 姜景山, 王振占, 张晓辉. 微波月亮——人类对月球的全新视角. 遥感技术与应用, 2009, 24(4): 409-422.
- 姜景山, 孙辉先. 中国首次月球探测工程科学探测系统

- 及信息的初步分析. 中国科学技术前沿(中国工程院版), 2008, 11: 41-99.
- 11 姜景山, 金亚秋. 中国微波探月研究. 北京: 科学出版社, 2011.
- 12 姜景山, 王振占, 李芸. 嫦娥1号卫星微波探月技术机理

- 和应用研究. 中国工程科学, 2008, 6: 16: 22.
- 13 Jiang J S, Wang Z Z. The Microwave Moon—Microwave Sounding the Lunar Surface from China Lunar Orbiter CE-1 Satellite. 37th COSPAR meeting, 2008, Montreal, Canada.

姜景山 中国工程院院士, 微波遥感及空间信息科学专家, 中科院空间科学研究中心研究员。我国航天遥感技术的倡导者之一, 微波遥感技术的主要开创者。先后参与我国首颗卫星的研制及之后多颗应用卫星探测系统研制工作, 曾任载人航天工程应用系统副总指挥, “神舟四号”主载荷——多模态微波遥感系统主任设计师, 是我国探月工程主要推动者之一, 曾担任探月工程副总设计师, 在我国卫星、载人航天、探月工程三大里程碑意义的工作中均做出了多方面的贡献。E-mail: wangxuefei@mirslab.cn

The Vigorous Development of Space Microwave Remote Sensing Technology in China

Jiang Jingshan

(Key Laboratory of Microwave Remote Sensing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

National Microwave Remote Sensing Laboratory, Beijing 100190, China)

Abstract 2012 is the ten years anniversary of the first launch of microwave remote sensor of China. Since with the “multi-mode remote sensor” onboard of Shenzhou IV spacecraft, China has launched several microwave remote sensing satellites, including Lunar Exploring satellites Chang’E-1 and Chang’E-2, meteorological satellites FY-3 serials, oceanic dynamical environment satellite HY-2, SAR satellite HJ-1C, etc. Besides those, several microwave remote sensing satellites have been set into pre-launch research. We have made great development in space microwave remote sensing technology with a completed system composed of theoretical research, project engineering, and comprehensive applications, which serves as an advanced technological method for economical construction and national security of China.

This article reviews the forty years development of microwave remote sensing in China, especially the experiences and achievements acquired in recent ten years in space microwave remote sensing, and discusses the development routine, future directions, and some problems existed now, further more, it gives some innovative ideas and suggestions for future development.

Keywords Microwave remote sensing, Multimode remote sensor, Microwave scatterometer, Microwave altimeter, Microwave radiometer, Microwave moon

Jiang Jingshan, a member of Chinese Academy of Engineering, expert of microwave remote sensing technology and space information. He is one of the main promoters of space remote sensing technology, and the primary inaugurator of microwave remote sensing technology in China. He has ever engaged in the development of China’s first satellite and exploring systems of the sequent application satellites. After then, he took the post of deputy commander of application system in the China Manned Space Flight Project, as well as the designer of the main payload of Shenzhou IV spacecraft. He is also a propellant for China’s Lunar Probe Project, has ever assumed the role of vice general designer of the project. Therefore, he has made great contributions to the three milestones of China’s aerospace activities. E-mail: wangxuefei@mirslab.cn