

# 中国微波遥感发展的新阶段新任务

姜景山<sup>1</sup>, 吴一戎<sup>2</sup>, 刘和光<sup>1</sup>, 董晓龙<sup>1</sup>

(1. 中国科学院空间科学与应用研究中心, 北京 100190

2. 中国科学院电子学研究所, 北京 100080)

[摘要] 在回顾和总结国际微波遥感发展 40 余年和我国微波遥感发展 30 余年的基础上, 着重分析我国微波遥感技术发展现状, 分析了我国在未来几十年对微波遥感发展的广泛要求。文章提出适应这些需求并进一步提高微波遥感发展水平的若干战略设想和一些值得重视研究的前沿技术领域, 指出了我国在发展微波遥感中值得重视的几个问题。

[关键词] 微波遥感; 对地观测; 空间探测; 信息处理

[中图分类号] TP722.6 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2008)06-0010-06

## 1 前言

国际上微波遥感发展的历史已有 40 余年, 我国微波遥感发展也有 30 余年<sup>[1]</sup>。在这 30 至 40 年里, 随着航天技术、电子技术和信息技术的发展, 无论国外和国内, 微波遥感技术, 特别是星载微波遥感技术都得到了迅速的发展, 已成为对地观测和空间探测的重要手段。随着相关理论及技术的发展, 微波遥感技术及其应用已形成较完整的技术和理论体系, 成为一个重要的科学技术领域。微波遥感的需求越来越广泛, 它带动了一些前沿科技领域的发展, 产生了重大的社会、经济效益。从 1970 年开始, 经过概念研究、地基设备研制与观测的机载设备研制与试验, 我国在 2002 年成功发射神舟 4 号多模态微波遥感系统并获得有效在轨运行探测数据, 实现了我国星载微波遥感零的突破。以此为开端, 我国相继立项启动了风云 3 号、海洋 2 号、探月工程等载有微波遥感器的轨道飞行任务。随着 2006 年中国遥感卫星 1 号的成功发射和运行, 我国已实现了包括各种主、被动探测手段的星载微波遥感的全模态航天飞行, 我国的微波遥感已开始跻身国际先进行列。

中国政府在 2006 年 10 月发布了“2006 年中国

航天白皮书”。在白皮书中, 明确地提出要建立长期稳定运行的对地观测体系, 协调配套的全国卫星遥感应应用体系, 初步实现空间技术和空间应用由试验应用型向业务服务型转变。根据这一目标, 我国微波遥感的发展面临形成业务化运行卫星体系和向业务服务型转向的问题。

在 2006 年制定的国家科技发展中长期规划中, 包括微波遥感在内的对地观测技术占有相当的分量, 足以说明我国政府对这一技术发展的重视。回顾微波遥感科学技术的发展过程, 几十年来提出并实现了多项新的机理、概念和理论, 与 40 余年前相比已形成一个新的“现代”微波遥感体系。因此, 在考虑未来发展时, 必须以传统技术为借鉴, 重视创新思维, 不断提出新的先进的理论、概念、机理和技术, 要十分重视先进处理方法和技术的研究, 要向先进处理方法要高精度、高效益, 要重视研究全电磁波参量作为信息载体的全电磁波参量探测技术, 不断拓展工作频率, 积极开辟太赫兹探测与成像技术。应用领域主题由地球应用发展到深空探测, 使微波遥感在国民经济建设、国家安全及科学研究中发挥更大的作用。

[收稿日期] 2008-03-21

[作者简介] 姜景山(1936-), 男, 朝鲜族, 吉林龙井市人, 中国工程院院士, 中国科学院空间科学与应用研究中心国家“八六三”计划微波遥感技术实验室研究员, 中国探月工程副总设计师

## 2 微波遥感快速发展的原因及成果

### 2.1 微波遥感快速发展的原因

回顾与总结国际、国内微波遥感的发展过程,微波遥感之所以具有很强的生命力,发展迅速,不断提出创新的理论与技术,其原因主要有如下几点。

1) 微波遥感的发展适应了时代的发展需求,紧密地结合广泛的需求,坚持走需求牵引、技术驱动之路。美、俄、欧空局等发展微波遥感都是从本国或全球的需求出发的,而军民两方面的需求,特别是军事需求仍是驱动其发展的动力。

2) 技术的发展带动了应用的深入。在微波遥感领域,一项新技术的出现马上会产生应用领域的开拓和应用的深化。

3) 全球环境的变化以及这种变化对人类生存和发展所造成的威胁促进了微波遥感的全球化、定量化和高频度观测及其分析技术的发展。

4) 军事应用及城市、工程等方面的需求带动了高空间分辨率、高光谱分辨率及高时间分辨率技术的发展,特别是快速全球覆盖和全天时、全天候观测需求对微波遥感发展提出了新的要求。为适应这一需求,几十年来微波遥感在理论、机理、信息获取及先进的处理方法等方面都有了长足的发展。

5) 微波遥感从不同的应用空间和应用深度出发,其频率已逐步拓展到亚毫米波段。微波遥感已经从特指微波波段发展到包括微波、毫米波及亚毫米波的“广义微波遥感”。

6) 微波遥感的发展常与航天使命结合,通过一系列重大的全球性和区域性计划(在这些计划中微波遥感占有很大的比重),强有力的推动微波遥感技术的发展和應用。如美国宇航局(NASA)推行的行星地球使命(mission to planet earth, MTPE),国际全球变化计划(changing earth),美国的新盛世计划(new millennium program, NMP)等。

### 2.2 现代微波遥感发展的显著成果

在40余年的发展过程中,微波遥感以若干现代理论、现代技术及实验手段为基础,形成了新的、成熟的技术、理论及应用的学科体系。这期间提出并形成了若干代表性概念、理论和技术突破,成果主要有如下几方面。

#### 2.2.1 主要代表性概念、理论和技术突破成果

1) 提出了归一化雷达散射截面、 $\sigma^{\circ}$ (散射系数)的概念,定义了与测试仪器无关的扩展目标微

波散射特性参数,奠定了量化雷达遥感的基础。在此基础上,微波散射计测量海面风场、气象雷达测量降水等量化雷达遥感设备得到发展和应用。

2) 提出了亮度温度的概念,定义了目标的微波辐射特性,奠定了量化被动微波遥感的基础。在此基础上,用于海洋、大气和陆地表面定量观测的微波辐射计得到发展和应用。

3) 孔径合成概念的提出及其技术的发展,为微波遥感的应用拓展带来革命性的变化。在当代微波遥感中,孔径合成技术不仅用于合成孔径雷达及其多模态的工作模式,而且发展和应用于被动遥感孔径合成技术(合成孔径辐射计)。

4) 提出和发展了多通道微波辐射测量和反演的技术。此技术在大气温度和湿度廓线探测中发挥重要作用,成为微波遥感技术的主要应用方向之一。

5) 在海面高度测量中采用线性调频技术和全去斜脉冲压缩技术,大大提高了星载雷达高度计的测量精度,在全球环境变化中发挥了重要作用。

6) 提出了干涉成像高度计的概念。这一技术的提出使传统高度计能给出海面平均高度、有效波高及风速的同时,也可在较宽的足迹上成像且海陆兼容,其高程分辨率与传统合成孔径雷达(synthetic aperture radar, SAR)可比,二维分辨率虽低于SAR,但整个系统简单。近几年又提出了高性能、高精度、高度计的概念(HiPA或DDA),用更小功率、更简化的系统通过信号处理方法的改进达到更高的测量精度。

7) 提出并形成笔型波束扫描型散射计和扇形波束扫描型散射计概念,为在保持高测量精度条件下简化系统引进了新的机理。

8) 发展了多模态综合探测机理、技术及处理的探测体制。

9) 全电磁波参量作为信息载体。遥感信源深入到全电磁波各参量中,使目标的信息更加全面、丰富、精确,大大推进了遥感量化。

10) 发展了新的信息处理方法及技术,逐步推进了“向先进处理技术要精度、要效益”。

11) 以小卫星、临近空间飞行器作为平台的遥感技术正在成为空间探测的重要手段,特别是以小卫星编队飞行技术为基础的空间虚拟平台、虚拟探测技术、虚拟载荷等空间探测技术将在未来空间探测中具有重要位置。

#### 2.2.2 具有代表性的微波遥感卫星及其前沿研究

在过去的几十年中,我国发射了大量载有微波

遥感器的航天器,主要包括气象卫星、海洋卫星、陆卫星和军用卫星,以及负有专门使命的地球环境探测卫星。具有代表性的卫星系列或专门卫星有:美国 LANDSAT 系列;美国 NOAA 系列;美国 SEASAT 卫星和 QUICKSCAT 卫星;欧洲 ERS - 1/2 卫星和 ENVISAT 卫星;加拿大 RADARSAT 卫星系列;美国航天飞机的 SIR - A/B/X, SRTM 等任务;日本 ADEOS 系列和 JERS 系列;中国载人航天工程 SZ - 3/4/5, FY 和 HY 系列等。

微波遥感技术从探测机理和功能包括 4 个基本模态:成像雷达(主要是 SAR)、雷达散射计、雷达高度计,微波辐射计。前 3 个为主动模态,第 4 个属被动模态。星载微波发展在发展初期进行了一系列星载验证性实验,具有代表性的卫星是 SEASAT - A,在这颗星上微波遥感的 4 个基本模态都得到了验证,并且为发展数据处理、定标等技术提供了星载数据,有些数据至今还用于研究和发展新的处理方法。几十年来,以 4 个基本模态为基础,各个模态技术都有了新的发展,形成了一系列前沿性先进技术。

1) 成像雷达。SAR 技术是当代成像雷达中最具代表性的技术,也是应用广泛、功能强大的遥感技术。经几十年的发展,已派生出各种类型的工作模式:条带式 SAR,能满足宽覆盖的扫描式工作模式;高精度的聚束式 SAR 工作模式;逆合成孔径技术(inverse synthetic aperture radar, ISAR);圆迹合成孔径雷达(circular synthetic aperture radar, CSAR);干涉成像式模式(interferometric synthetic aperture radar, ISAR);全极化及干涉式全极化成像雷达等。

2) 雷达散射计。主要用于目标后向散射特性研究和海洋风场测量。雷达散射计是海洋风场遥感的主要手段,几十年来作为遥感技术广泛用于海洋探测和陆地散射特性测量中,并发展出了扇型波束的杆状天线阵技术。20 世纪 80 年代, R K 莫尔和姜景山发展了笔型波束扫描技术,近年来一些专家正在发展扇型波束扫描技术以适应各种平台和对系统简化的要求。

3) 雷达高度计。主要功能是测量海面平均高度、有效波高和风向。几十年来已发射了专用高度计卫星,典型的如 TOPEX/POSEIDON, JASON 等。近年来为满足更高测量精度的要求又发展了几种新型雷达高度计,其中成像雷达高度计是中国专家在 1988 年提出,在 2003 年完成其初次飞行的新技术。这一技术也可适用于陆地和冰的探测中。20 世纪

90 年代,美国专家发展了一种新的探测仪器——延时多普勒高度计(DDA),随后中国专家也发展了高性能高度计(HIPA),这些技术不仅大大提高了高度计探测精度,也简化了系统。

4) 微波辐射计。该辐射计属被动探测微波遥感器,已广泛用于气象、海洋探测等,其主要局限是空间分辨率较低。针对这一问题,人们在提高其分辨率方面进行了大量研究,包括加大天线孔径(巨大展开式天线)。值得注意的是,美国、欧洲、中国等国家和地区已掌握了利用孔径合成技术提高微波辐射计分辨率的方法。此外发展了全极化辐射计和雷达散射计以外新的海洋风场探测技术。

5) 微波遥感探测频率已拓展到亚毫米波段,特别是被动式工作的太赫兹探测与成像技术的发展尤其引人注目。

6) 新型遥感机理。小卫星组网和编队飞行技术是美国在其新盛事计划(NMP)中提出并积极推动发展的技术。随后中国、欧空局等国家和国际组织都在发展这一技术。

7) 积极发展先进的数据处理技术“向先进的处理技术要高精度、高效益”已成为重要的前沿性技术。

### 3 中国微波遥感发展现状及能力分析

#### 3.1 中国微波遥感发展简要回顾

中国的微波遥感技术与遥感技术几乎是同步发展的。但其技术基础相对薄弱。在中国的遥感技术发展中,1975 年“通县会议”具有起步性的意义。1975 年 8 至 10 月在原国防科工委钱学森副主任主持下召开了全国第一次遥感规划筹备会,从此我国遥感技术正式纳入到国家重点发展项目中。在国家“六五”至“九五”科技攻关中,遥感技术都作为重要项目列入。经 4 个发展阶段,取得了技术、理论及应用研究的全面发展。目前,已成为国家中长期科技发展规划中的重要内容,而微波遥感也得到了迅速发展。2002 年神舟 4 号多模态微波遥感系统的在轨飞行成功实现了我国航天微波遥感零的突破,使我国进入航天微波遥感时代。而 2006 年中国遥感卫星 1 号的成功发射,实现了我国航天微波遥感全模态工作(多模态微波遥感高度、散射、辐射 3 个模态和中国遥感卫星 1 号)。其中多模态微波遥感器上天,推动了我国包括风云 2 号、海洋 2 号等以微波遥感器为主要载荷的一系列应用卫星的立项和发展。

### 3.2 中国微波遥感技术取得迅速发展

1)我国微波遥感经30余年的发展,已形成了信息获取手段较全、学科和技术及应用门类较完整的技术体系,并逐步发展卫星和机载微波遥感系统,在一些应用领域显现出不可替代的作用。

2)我国发射了具有3个模态的星载系统——多模态微波遥感器,实现了星载雷达高度计、微波散射计和微波辐射计的突破;发射了中国遥感卫星1号,实现了星载合成孔径雷达技术的突破。显示了我国星载全模态微波遥感系统的能力,以此为技术支撑正在研制以微波遥感为主要载荷的海洋2号(HY-2),以月壤探测为主要目标的月球轨道微波探测仪,包括微波/毫米波辐射计(其工作频率已达183 GHz)的气象卫星(FY-3)。我国还以多模态微波遥感器的技术基础为支撑为韩国科学卫星研制了双频微波探测仪,这是我国星载遥感器技术第一次出口。与此同时,正在研制以SAR为主载荷的环境小卫星及其他雷达卫星等。在未来十几年中,我国将发射多颗微波遥感卫星,使星载全天候观测能力大大提高。

3)我国微波遥感应有了显著的发展。利用我国卫星数据和国外相关数据开展了大气、海洋及环境、农业、资源、灾害监测等方面的应用,取得了一批重要成果,包括:为重大自然灾害的遥感监测及评价提供技术和信息;重点产粮区主要农作物(特别是南方多云多雨地区)遥感估产应用;资源环境和区域经济空间信息共享、信息网络提供技术及其他应用。

### 3.3 中国微波遥感能力分析

经过30多年的发展,中国的微波遥感有了迅速发展。在理论基础、技术实现和工程的层面上已形成实用而且可持续发展的技术、科学与应用体系。

1)我国已具备了星载全模态探测的能力。由于神舟4号多模态微波遥感器的成功飞行,实现了星载高度计、散射计和多谱段辐射计的探测,继而以上述3个模态为主要载荷的海洋2号(HY-2)已正式起动研制。中国遥感卫星1号的在轨运行实现了星载雷达成像探测。至今,我国航天微波遥感已具备进行全模态探测的能力。

2)随着航天微波遥感系统的发展,建立了一套定标与真实性检验系统。正在建设包括海洋在内的较完整的定标系统,以满足今后微波遥感卫星及不同领域的广泛需求。

与其他遥感手段相辅相成可进行综合观测的同时,在全天候、全天时、全电磁波参量作为信息载体

的观测等方面有其独特性。在快速全球观测、环境灾害探测,特别是在海洋和大气探测方面具有不可替代的作用。

3)在我国探月工程中,在国际上首次选用微波探测仪从月球轨道上对月面进行探测,从而微波遥感进一步用于深空探测中。

4)在国家重大项目、“八六三”计划及其他计划的支持下,开展了一系列前瞻性研究,取得可喜的成果,使得我国微波遥感技术水平有了很大的提高。成像雷达的分辨率达几十厘米,星载高度计精度优于5 cm,具备了全极化探测和三维干涉成像探测的能力。

5)遥感探测的频率拓展到亚毫米波段,有能力进行空间太赫兹探测与成像的能力。

6)多模态体制及信息融合与先进处理技术得到发展与广泛应用,大大提高了信息的深层次分析及信息的增强。

7)应用需求与技术发展出现良性互动,探测技术的发展更有针对性,逐步增强了“需求牵引、技术驱动”的发展思路。

## 4 中国微波遥感发展面临的新机遇新任务

### 4.1 中国微波遥感发展面临新的机遇

1)我国政府十分重视微波遥感在内的遥感技术的发展。在“国家科技发展中长期规划纲要”中11个国民经济和社会发展重点领域及68项优先主题中,与遥感技术发展有密切关系的占了相当的比重。在重点领域及优先主题中与遥感有关或遥感可以发挥重要作用的几乎涉及全部领域和主题,其中关系最为紧密的有:能源、水和矿产资源、环境、农业、交通运输业、信息产业及现代服务业、城镇化与城市发展、公共安全和国防。这说明我国政府十分重视发展微波遥感在内的遥感技术,今后十几年微波遥感的发展将处于最好时机。

2)微波遥感面临旺盛的需求。微波遥感技术在今后我国发展中要满足多方面的迫切需求,特别是要满足国家的多方面需求,这些需求主要表现在下列方面:关键土地资源天天监测;主要农作物长势动态监测;城市状态精确监测;重要事件定量监测;重大灾害应急和跟踪监测;环境生态长期监测;阴雨地区全天候监测;困难地区有效监测;周边国家和地区不间断监测;全球环境重点监测及国防安全方面的迫切需求。要满足这些需求,微波遥感任重道远。

3)在广泛的应用中全天候的对地观测受到很

大的重视,这是提高对地球信息获取能力的重要技术进步。

4) 不断提高的用户需求对遥感系统的智能化、小型化及低功耗化提出更高的要求。根据“规划”,我国将在“十一五”和“十二五”期间计划发射一系列微波遥感卫星以满足“白皮书”中提出的业务化的需要。这就要求微波遥感水平要有大幅度的提高。为此,在“十一五”我国重大科技计划(如“八六三”、“九七三”及中长期规划)中都加强了相关研究,增加了投入,改进了管理和评估制度等。

#### 4.2 我国微波遥感技术与国际先进水平的主要差距

- 1) 缺乏长远的统筹协调发展的规划;
- 2) 微波遥感科学基础和基础技术能力薄弱;
- 3) 高分辨率空间遥感数据缺乏,无法摆脱对国外的依赖;
- 4) 覆盖全球和全国及时的数据缺乏——无法满足国家经济社会发展重大问题对遥感的需求;
- 5) 定量监测与人类生存休戚相关的遥感数据缺乏——无法在全球环境变化及其区域响应方面在环境外交上与人对话;
- 6) 先进空间遥感数据获取、分析、提取能力缺乏——难以进一步在深层次上加深对地球系统过程的认识。

我国要正视差距,努力缩短差距,提高微波遥感的能力,最大限度地满足需求的同时提高国际竞争力是今后若干年我国的主要任务。其发展原则是:需求牵引,技术驱动,创新发展,重点支持国民经济和国防急需的项目及国际前沿领域。

### 5 中国微波遥感发展中需要认真思考的问题和建议

随着我国微波遥感及其应用技术新的发展阶段的到来和我国国民经济与社会发展,特别是可持续发展所面临的环境、资源问题对于微波遥感技术所提出的需求,提出以下问题和建议。

1) 要全面地、科学地认识微波遥感技术,全面认识和配套发展技术、应用及基础理论研究工作。微波遥感是一个包括信息获取、星上处理、传输、地面处理及应用处理的全过程。从学科层面,包括基础研究、应用研究、技术研究等方面。从基础技术体系上考虑,包括微波辐射计、微波散射计、微波高度计、微波雷达(合成孔径雷达)。它们各自成为独立

的遥感体系,应用机理及领域各不相同,多数在应用中要互相补充,协调工作。目前,由于各种原因,有时把合成孔径雷达作为微波遥感的全部,这对发展微波遥感技术不利。

2) 关于成像和非成像信息的应用问题。在微波遥感中非成像应用是多数(事后处理多数可以图像形式给出结果),而且成像和非成像遥感各有不同应用。微波遥感从某种意义上来说是统计性信息,主要依靠深层次信息分析来进行目标特性研究。因此,应根据不同应用选择载荷技术以满足应用需求。

3) 关于空间分辨率的问题。对成像遥感而言(特别是军事应用),空间分辨率无可置疑是相当重要的。因此,设法提高分辨率、增加覆盖宽度是十分重要的研究领域。但在对地观测、空间观测和应用中并非总需要高空间分辨率。因此应根据具体应用提出有科学根据的正确的分辨力要求,不必一味追求高分辨力,以免系统复杂化。

4) 发展先进数据处理技术。由于各种原因,目前在微波遥感研究中信息浪费现象较普遍,满足于简单分析,“看图识字”。因此必须加强先进的处理技术研究,因为这可以达到事半功倍的作用。如通过采样数据的超分辨力分析及相干处理、利用相位信息,可实现高分辨力图像;通过定标和验证,提高量化水平等。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,可获得目标本证信息等。对数据处理的深入研究可以促进新机理和新型传感器系统的产生。

5) 关于增强微波遥感科学基础及技术基础设施建设。我国微波遥感乃至整个空间应用的科学基础研究很薄弱,空间科学基础设施建设及配套设施较差。特别要加强基础器件及频段器件(特别是毫米波、亚毫米波器件)的自主研发能力。要重视先进材料研究,使星载系统轻型化、小型化和低耗功化。

6) 重视海洋、陆地及空间的定标、校准场建设,加强真实性检验工作。我国已有光学遥感定标场和为 SAR 卫星服务的陆地定标场。从我国航天发展规划看,仅有上述两个定标场是不够的。应重视建设布局合理的海上定标场及高度计卫星定标场,建立集中的为应用服务的定标场及辐射、散射测量实验室,开展热带雨林定标场研究与应用。

7) 深入开发全电磁参量作为信息载体的信息获取技术及全电磁波综合探测技术。要全面提倡创

新,力争推出新机理、新体制。

8)重视智能处理技术和系统小型化,加强科学与技术储备,增强配套投资。

9)开展有效的国际合作,特别是以中国为主体(提出研究项目)的国际合作。

近年来,国际对地观测领域的一个重要发展是政府间对地观测组织(group on earth observation, GEO)的成立和地球观测系统的系统(global earth observation system of systems, GEOSS)提出,针对人类社会发展中面临的灾害、健康、能源、气候、水、天气、生态系统、农业和生物多样性9个方面的重大问题,通过对重要问题的梳理,整合国际上对地观测系统的能力,实现观测目标。我国目前在 GEOSS 中发挥的作用与我国对地观测系统的能力所能发挥的作用极不相称。积极开展以我国为主的国际合作,提出并实施我国科学家主持、对区域或全球环境变化研究有重要意义的项目,对于提高我国的国际地位、提高包括微波遥感在内对地观测的水平和能力,具有重要的意义。

总之,经过几十年的发展,今后应该建立“科学型”、“和谐型”(即融合型)、“先进型”及“节约型”微波遥感体系。

## 6 结语

航天微波观测技术已经取得了很大发展,成为一个包括基础理论研究、工程技术发展及广泛应用领域的完整科学技术体系,为经济建设和国家安全提供了先进的科技手段。该技术的发展,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,其航天运行模式正在向空间分布式系统、特别是以编队飞行为核心的空间虚拟探测体系发展。空间微波观测将在未来的地球观测、深空探测中发挥重大作用。我国还存在对微波遥感认识不够全面,基础器件及材料对外依赖性大,基础设施不完善,基础理论(含基础技术)研究不够深入等问题,微波遥感任重道远,广大科技工作者要继续努力工作,使我国微波遥感的发展在较短时间内有大的改善,成为微波遥感大国,为国民经济建设和国家安全作出更大的贡献。

## 参考文献

- [1] 姜景山. 面向 21 世纪的中国微波遥感技术发展[J]. 中国工程科学, 1999, 1(2): 78 - 82
- [2] 姜景山, 张云华, 董晓龙. 微波遥感若干技术及新一代空间遥感方法探讨[J]. 中国工程科学, 2000, 2(8): 76 - 82
- [3] 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[J]. 中国工程科学, 2006, 8(11): 19 - 24
- [4] 童庆禧. 空间信息技术发展与思考[R]. 银川: 2006 年环境遥感学术年会, 2006
- [5] 姜景山. 对中国微波遥感信息技术发展新阶段、新任务的几点认识[R]. 银川: 2006 年环境遥感学术年会, 2006
- [6] 姜景山. 微波遥感信息技术发展若干问题的讨论[J]. 遥感技术与应用, 2005, 20(1): 1 - 5
- [7] Jiang J S, Liu H. A brief introduction to the earth observation activities in China[R]. Canada: CEOS WGCV - 19 Meeting, 2002
- [8] Jiang J S, Liu H, Dong X. Technology progress report for space-borne microwave remote sensing [R]. Beijing: 36<sup>th</sup> COSPAR Meeting, 2006

(下转 22 页)