

综合述评

面向21世纪的 中国微波遥感技术发展

姜景山

(中国科学院空间科学与应用研究中心, 北京 100080)

[摘要] 综论了中国微波遥感的发展过程、取得的成绩、总体技术现状, 并为未来的发展提出了战略性设想及建议; 讨论了航天微波遥感若干技术, 从新的角度分析了特点, 力求搞清当前在微波遥感发展中的一些问题; 提出全面正确认识微波遥感和充分开发深层次信息, 讨论了各种遥感手段的综合探测问题; 提出建立目前用于遥感的全电磁波综合探测系统的问题。

[关键词] 微波遥感; 航天技术; 电磁波; 雷达; 散射计; 高度计; 辐射计

1 前言

人类正处在世纪之交的重要时刻。我们在 21 世纪将继续面对资源、环境、灾害、能源及国家安全等一系列问题。如何解决这些问题, 以求得人类的持续发展是面向 21 世纪的一项重要的课题。

空间对地观测已成为解决上述各种问题的有力手段。它能在全球尺度上提供地球资源、环境、灾害、生态、农作物生长情况及有关能源分布等方面快速、全面的信息, 也是在地球科学研究中用以了解全球过程和层圈间相互作用的主要信息支持手段。由于这些原因, 对地观测在近几年来愈来愈受到各国政府和人民的重视, 逐步成为空间应用中不可缺少的、优先发展的领域。特别是微波遥感技术成为我们把地球作为一个系统来研究并解决各种问题的有力武器。自遥感技术出现 30 多年以来, 在气象、海洋、固体地球研究中显示出强大的生命力, 提供了不可估量的社会效益, 微波遥感技术已成为这一时代的特点。到目前为止, 在可见光、红外及微波段上已成功地实现了遥感探测, 在广泛的应用同时, 每一个波段都暴露出了一定程度

的局限性。因此, 发展一种可见光、红外、微波遥感综合探测机理及综合传感器系统是十分必要的。

我国是一个发展中的大国。除了各国共同面临的问题外, 还面临严重的人口压力和人均耕地减少等严重问题。世界进入多极化的今天, 中国的地位十分特殊和重要, 亟待加速国民经济和国防的建设, 加强国力, 树立和保持大国的地位和形象。因此, 政府十分重视空间应用, 特别是包括微波遥感在内的对地观测技术的发展。

2 微波遥感及其发展情况

2.1 微波遥感——具有时代特征的遥感手段

微波遥感发展至今已近 30 年。从工作机理而言有四种基本模态: 散射测量模态 (SCAT)、高度测量模态 (ALT)、成像雷达 (合成孔径雷达) 模态 (SAR) 等三种主动式工作机理和一种被动式工作模态即辐射测量模态 (RAD)。自 20 世纪 70 年代初微波遥感上星以来已显示了其强大的生命力和广泛的应用价值。

2.2 国际上的发展概况

1978 年发射的美国海洋卫星 Seasat - A 是第一

个综合性微波遥感卫星，而先后发射的 NOAA 气象卫星系列上已搭载了微波辐射计。80 年代，美国提出行星地球使命计划 (MTPE)，对地观测系统 (EOS) 是 MTPE 的核心，其中很多平台上都有微波遥感任务。自 80 年代以来，美国、俄罗斯、欧空局、日本、印度等国家都在积极进行微波遥感卫星发射，欧洲遥感卫星 (ERS-1、ERS-2) 上的主动微波仪 (AMI) 系统、美法合作卫星 (TOPEX/POSEIDON) 的高度计 (ALT)、日本先进对地观测卫星 (ADEOS-II)、EOS PM-1 卫星、NOAA K-N 卫星及欧洲的环境卫星 (ENVISAT) 和 METOP 卫星、海洋卫星 OKEANO 及加拿大雷达卫星 (RADARSAT) 等的主要载荷都是微波遥感器^[1]。除此之外，在月球、火星、金星等探测中也用了微波遥感技术。

2.3 我国微波遥感发展回顾与现状

中国的微波遥感发展起步于 70 年代，与其它波段相比晚一段时间，但发展十分迅速。在国家科技攻关计划中一直成为重点研究领域，已研制成功合成孔径雷达 (SAR)、真实孔径雷达 (SLAR)、微波散射计 (SCAT)、机载微波高度计 (ALT) 等主动式微波遥感器和多种频率的微波辐射计 (RAD) 等硬件设备。1988 年起做了扫描型海陆兼容高度计 (即合成孔径成像高度计) 的研究工作。1987 年提出多模态综合功能微波遥感器的物理思想，经多年的概念性研究形成完整的系统方案，并已于 90 年代初转入工程型号研制阶段，目前正在进行初样研制^[2]。除此之外，正在进行星载合成孔径雷达研制工作和星载微波成像仪研制工作。从频段覆盖上看，在 X 波段上已形成了各种类型遥感硬件组合，辐射计的频段已覆盖由 L 波段到 3 mm 的频率区间。

在硬件研制同时，开展了一系列基础研究，测量了大量的地物散射、辐射特性，并建立了一定规模的特征库；研究了地物微波特征，介电特性；在不同应用领域，建立了分析和理论模型，开展了不同领域的应用研究；特别是这几年，在利用微波遥感进行对突发性灾害的实时监测方面取得了较明显的成果，获得了很大的社会经济效益*。

中国微波遥感的发展，目前处于研究和部分应用阶段，在有些应用中已初见成效。在仪器种类、性能指标方面还有待改进。而在地物微波谱特性研究、电磁波与地物相互作用及波在非均匀介质中传

播、建立各种应用研究的理论模型、定标、校准及微波图像处理等方面，尚需做大量的深入工作。

我国航天微波遥感目前处在发展阶段。自 90 年代初，我国加强了星载微波遥感器的研制工作。

尽管我国空间微波遥感技术起步较晚，但我们采用“跳跃”式发展战略，在某些方面拉近了与国际水平的距离，在个别技术上处于领先地位。多模态微波遥感器将三种模态集成于一体，用统一的数据管理系统管理全系统，大大提高了功能密度，减少了质量，缩小了体积，降低了功耗。并在国际上首次采用笔型波束扫描型散射测量技术，跻身这一领域的领先行列^[3]。我们还发展了模块化系统，把三个模态子系统以模块方式可集成也可独立成单一模态设备，适合于小卫星的发展。在“八六三”航天领域支持下，正在研究三维成像高度计，提出了新的工作机理**，在 20 世纪内把工作频率拓展到 200 GHz，同时，提高辐射计的空间分辨率。

3 微波遥感若干问题讨论

3.1 广义的微波遥感及其特点

随着科学技术的发展及应用需求的扩大，微波遥感在频率域已拓展到毫米波、亚毫米波。文中把这一领域统称为广义的微波遥感。

微波遥感的特点可从两个方面讨论。一是从波与介质相互作用考虑，具有受天气影响少，少依赖阳光，对表面及云具有一定的穿透能力，对表面结构特性敏感。另一方面从信息特征来看，具有信息载体多样性，其幅度、相位、频率、极化等要素都具有目标的信息。微波遥感产品具有多样性与综合性及统计特性。因此，其信息丰富，用途甚广。

3.2 日益扩大的应用领域

由于微波遥感具有上述特点，且具有迅速发展的相关技术的支持；所以，微波遥感已成为把地球作为一个系统来研究，提供快速、全面信息，了解全球过程和地球层圈间相互作用的主要信息支持的手段。微波遥感成为广泛用于研究人类活动对全球影响，探测非常事件，保卫国家安全的主导性遥感手段。其应用包括海洋、大气、陆地、冰雪、空间探测及军事等方面。

* 姜景山等，遥感图像的机-星-地实时传输系统研究，国家攻关报告，1990 年

** 张云华等，星载三维成像雷达高度计 (863-2-1-4) 报告，1998 年

3.3 航天微波遥感

航天微波遥感的若干特点：观测面积大，在特定的轨道上易于获取全球覆盖；工作环境特殊，处于恶劣的力学、辐射和温度等环境；可靠性要求高；要小型、轻量、低功耗。

航天微波遥感中关于工作频率的选择：主要取决于用户的要求，平台条件，遥感器水平及相应的基础研究和反演、处理能力。

3.4 关于成像和非成像产品及空间分辨率的讨论

由于机理的不同，微波遥感和可见光、红外遥感相比其产品形式也不同，后者主要是图像，而且，一般都是表面的物性组分信息。而微波主要是对目标表面结构信息敏感。其信息载体是多样的，不单纯是图像信息，而是要建立信息载体与目标信息的相关性，更多地提取深层次的信息。

对成像遥感来说，空间分辨率是很重要的指

标。一般来说用户都希望获取尽量高的分辨率，这对许多应用是必需的。但在很多应用中，分辨率并不是最重要的要求。因此，应对不同的应用提出不同的要求。这倒不完全是因为要达到高分辨率增加技术难度。其原因，一方面确有技术问题，另一方面，在一些应用中，高的分辨率不仅不需要，而是难以获得全面的统计信息。通常的地物目标特性多数体现为一定的统计特性，实际上对这些目标的单一样本的观测是不容易获得关于目标特性的测量结果。如对海洋观测、重力场分布的测量、对随机目标的观测、大气遥感等对分辨率要求不一样。

3.5 关于全电磁波综合探测问题

在全电磁波谱中（见图 1），至今用于遥感的主要是可见光波段、红外波段及微波波段（包括毫米波、亚毫米波）。这里讨论“全电磁波”综合探测是指上述已用于遥感的波段。

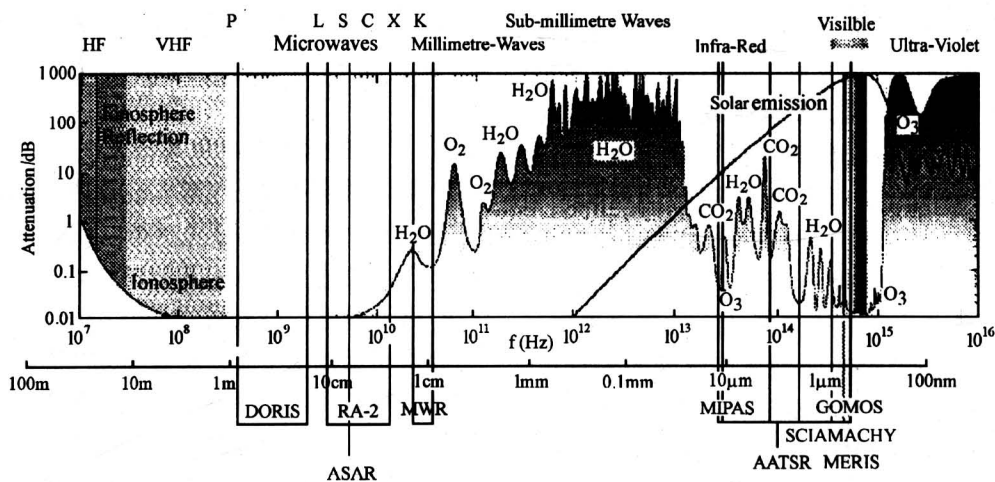


图 1 全电磁波谱示意图

Fig.1 Schematic diagram of electromagnetic spectrum

由于这三段电磁波的产生机理不同，用于遥感时，各自表现出了长处和局限性。可见光波段能获取高分辨率的图像和光谱信息，空间分辨率可达 0.2 m。但只能工作在光线（如日光）照射条件下，晴空天气才能工作。因此，获取全球观测数据及在指定区域、特定时间内观测数据困难。红外波段可不受昼夜的影响，且可获得相当高的空间分辨率，但仍然受云彩覆盖的影响。微波波段在 8 mm 波段以内一般可全天候、全天时工作，对大气、海洋观测十分有效，但除 SAR 以外，难以获取更高分辨率的图像。

目前，在不同的波段已研制出了几百种遥感

器，其主要目的是更快、更精确地获取信息，即提高空间分辨率、提高频谱分辨率、提高时间分辨率、提高功能密度。为此，提出不同遥感器综合观测及复合处理问题。在技术发展有限的情况下，这种“综合”只能在同一波段，在卫星平台级上才能实现。但随着技术的发展，在设备系统级上实现“全电磁波”综合观测成为可能，而且，技术上是可行的。

4 对我国发展航天微波遥感一些设想

为了使我国航天微波遥感健康快速地发展，必须重视发展战略的研究，并且结合我国国情及需

求，有重点有步骤地开展国际前沿领域的研究，在满足需求的前提下突出创新。

4.1 关于发展战略

在考虑我国航天微波遥感发展时必须充分重视我国的国情，发展现状及今后的需求和国际上的发展水平及动向。

首先，我国是一个发展中的大国，综合国力有限，不可能在遥感发展方面拿出很多经费，因此，在发展航天微波遥感时必须突出重点。

其次，从我国国民经济建设和国防的需求来看，必须发展航天微波遥感，因此，要有个发展规划，做纵深布局，以便做到有计划、有步骤地发展，提高产出投入比，花最少资源获得最大效益。

第三，目前我国与国际航天微波遥感的发展有差距，如果一步一步跟踪国外的发展，一来投资很大，二来速度太慢，因此，必须采取“跳跃”方式，在一些领域充分利用国际上的发展成果，一下跳到发展前沿的领域。有些现成技术可以“拿过来就用”。只有这样，才能尽快跻身国际先进行列，同时力争更多创新，以满足我国需求。

4.2 “十五”及 21 世纪初我国微波遥感发展设想

根据前节讨论的未来微波遥感发展战略设想，在 21 世纪初要配套进行以下几方面的工作。

4.2.1 提高遥感器性能及发展新机理 发展星载微波遥感器，包括星载合成孔径雷达、星载多模态微波遥感器和星载多波段微波辐射计；发展新型微波遥感器，包括扫描式微波高度计（成像雷达高度计）、小型微波遥感器、高空间分辨率微波辐射计、模块化先进微波遥感器，地面被动探测雷达等。

4.2.2 加强应用研究扩大应用成果 微波遥感的应用十分广泛，但由于其信息的特殊性，必须对不同应用（如：海洋、大气及陆地应用）都要做深入的应用研究，包括应用机理、信息处理、信息分析、介质影响的消除及应用模式等研究。紧密结合 21 世纪我国航天发展，要研究微波遥感在天基综合信息网中的应用，在数字地球、精准农业、全球变化、军事应用、灾害监测及预报（如地震预报）等方面的应用机理及基础研究。

4.2.3 开辟更高的频率域及全电磁波综合观测技术 用于微波遥感的微波频率包括厘米波、毫米波、亚毫米波，目前为止辐射计频率已覆盖至 200 GHz 以上，而且实用；高于 300 GHz 频率，主要由于技术条件的限制尚离真正实用有一段距离。据

报道美国等国已在 600 GHz 左右频段上做了接收器件而且在不久的将来要达到实用化^[4]。我国也是由于技术限制目前用于遥感的频率限在 90 GHz，远远不能满足用户要求，因此，要有计划地开展扩充频率域工作，争取在 20 世纪内达到 200 GHz。21 世纪初力争突破 400 GHz，争取赶上国际水平，逐步开展综合观测技术研究。

4.2.4 遥感器微型化工作 小卫星已成为当前和 21 世纪航天的重要组成部分，而有效载荷的微型化则是关键问题。因此，要重视微波遥感器的微型化。微波遥感器与光学系统相比，天线的小型化成为主要难题。因此从两个方面入手解决这一问题：要研究出新的工作原理，达到易于小型化的目的；用先进技术来解决天线系统小型化问题。

4.2.5 加强基础研究工作

(1) 微波遥感定量化研究：包括建立内外参考标准，建立经验模式，实地数据测量，地物散射源分析等。

(2) 微波遥感理论研究：包括建立海洋应用模式及反演，大气应用模式及反演，地面异常信息反演等。

(3) 电磁波和目标相互作用研究：包括介电特性研究；测量并建立吸收、散射、消光特性模型；面散射、体散射及去极化；毫米波，特别是大气窗口研究；信息提取及算法研究；多参量（多频率、多入射角、多极化）研究；多种数据（包括非遥感数据）复合分析……建立空间数据及信息系统。

(4) 建立功能较强的微波遥感信息库。

5 结语

微波遥感由于具有重要的特性，已取得迅速的发展，而且在未来的空间应用中将起到重要的作用。对一些全球尺度上的应用和高时间分辨率的应用具有不可替代的地位。因此，微波遥感将与可见光、红外等波段的遥感技术互相取长补短，将形成空间信息技术的核心部分，也是组成天基信息网不可缺少的内容。

我国正处在世纪之交的重要阶段，发展微波遥感，满足我国需求，占领航天应用制高点，机会和挑战并存，要不失时机地抓住机遇，将我国微波遥感技术水平推向新的台阶，为中国的强盛，为人类进步作出应有贡献。

参考文献

- [1] CEOS. Coordination for the next decade [M]. CEOS Years Book, 1995. 65~79
- [2] Jiang Jingshan, Zheng Zhenfan, Liu Huguang, et al. China advanced microwave remote sensor [J]. Space Technology, 1998, 18 (1): 57~63
- [3] Jiang Jingshan, Wang Xinzong, Zhang Yunhua, et al. A spaceborne scanning scatterometer for ocean surface wind vector detection [A]. Proc. CEOS Workshop [C], Noordwijk, the Netherlands, 1997. 169~173
- [4] Jacob W Kooi, Jérôme Pety, Bruce Bumble, et al. A 850 GHz waveguide receiver employing a niobium SIS junction fabricated on a 1 μm Si_3N_4 membrane [J]. IEEE Tr₁ on Microwave Theory and Techniques, 1998, 46 (2): 151~161

China Microwave Remote Sensing Technology Facing to 21st Century

Jiang Jingshan

(Center for Space Science and Applied Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

[Abstract] Microwave Remote Sensing has developed rapidly during last decades, and become a leading method in remote sensing techniques, since its unique features, capability to penetrate clouds and to some extent rain due to its independence from the sun as a source of illumination and other important properties different from visible and IR frequency bands. Microwave remote sensing became a key means for obtaining information from ocean, atmosphere and land in global scale. The frequency range using for microwave remote sensing is extending to millimeter and submillimeter bands.

To meet the wide requirements, China enhanced the microwave remote sensing research during last two decades and has got many achievements.

In this paper, the microwave remote sensing activities, its achievement, and the state of the arts are described, some strategic suggestions in future development given. Some concepts of space borne system are discussed, and the research areas to which should give priority to develop in national R&D plan suggested. A new concept of remote sensing—a comprehensive electromagnetic sensing system has been suggested to improve remote sensing capability.

[Key words] microwave remote sensing; space technology; electromagnetic wave; radar; scatterometer; altimeter; radiometer

两院院士就“‘十五’和 2015 年高新技术产业发展规划”进行咨询

【本刊讯】 高新技术产业发展规划是国民经济和社会发展的重点专项规划，“十五”是首次全面、系统对高新技术产业发展进行规划，意义重大。为此，国家计委高新技术产业发展司委托两院就此提供咨询。

本次咨询主要包括两个方面，一是 6 个高新技术产业领域，即信息产业、生物技术产业、先进制造技术产业、新材料产业、新能源与能源新技术产业、先进环保技术产业；二是高新技术对传统产业的改造。咨询的内容包括发展重点、目标、和主要任务。

咨询报告要求包括：产业发展现状；技术发展趋势，国际国内前瞻性的预测；国内、国际市场规

模的分析；产业效益分析；“十五”期间产业发展的思路及目标；“十五”期间产业发展的主要任务及重点；对策及措施；2015 年长远发展的目标展望。

10 月 27 日，两院在京召开会议，安排布置有关工作，会议由中国科学院学部咨询委员会主任、中国工程院咨询工作委员会副主任师昌绪主持，中国工程院咨询委员会主任王淀佐向院士和专家介绍该项工作的背景和有关要求。国家计委高新技术产业发展司有关负责人向院士和专家报告了“‘十五’和 2015 年高新技术产业发展规划”制定的有关情况以及本次咨询工作的具体意见。