

# 今后十年的国外微波遥感计划 及新技术概况

蒋泽明

(中国电波传播研究所)

1986年3月10日收到

1985年前,微波遥感借助 Mariner2, Cosmos243, Nimbus-5、6、7, Skylab EREP, Seasa 及 STS-2, STS-17 等卫星或航天飞机平台,在行星天文、大气层、地质和考古、水文、植被特性、极区冰层以及海洋等研究方面,已取得很大成绩<sup>[1]</sup>。微波遥感所用的频段,目前已从 L 波段的 1.3GHz (Seasat 卫星上的合成孔径雷达及航天成像雷达 SIR-A/B) 延伸至 Q 波段的 58 GHz (Nimbus-5 上的 NEMS 辐射计),预计将向更长的 P 波段和更短的 W 波段发展。

1986—1995 年,是微波遥感的重要过渡时期,即由对星载微波传感器的实验研究阶段,过渡到按地球科学研究的要求进入常规观察的阶段。在这十年中,遥感技术和观察方法将会有很迅速的发展。本文拟对今后十年国外最重要的微波遥感计划和可能采用的新技术作一概括介绍<sup>[1-3]</sup>。

## 一、国外今后十年的微波遥感计划

1986—1995 年,国外的主要微波遥感计划(表 1)包括下列几个方面。

### 1. 遥感平台

大多数微波遥感应用都需要平台,并希望具有较长寿命、过极轨道的卫星平台。但卫星平台的成本越来越高(已达 3 亿美元),因此,转而利用航天飞机平台(当然需有航天成像雷达,如近年研制成功的 SIR-A、B、C 等予以保证),以这种平台为基础的典型的遥感计划连续运行一周,成本约 1 千万至 3 千万美元,计划的目的在于了解最佳仪器参数,并确定何种传感器及传感技术最适于在研究地球的较长时间极地轨道卫星中使用。美国国家航空和航天管理局(NASA)还计划发射“黎明神”号地球观察卫星(EOS),其空间站至少包含两颗极地轨道卫星,载有包括雷达和辐射计的两种仪器群。

### 2. 辐射计遥感

九十年代初,美国国家海洋和大气局的第二代低轨气象卫星将投入运用,包括一个高级微波探测单元(AMSU)和一个多通道被动式微波成像器。后者在 23—183GHz 间将占用 20 个成像频道,各频道都能覆盖整个地球,空间分辨率高达 15 公里,可对水汽及温度成像。在计划中的还有高空大气研究卫星(UARS),不仅可测量 O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, ClO 及 H<sub>2</sub>O 等成分,还可遥感平流层、中层及热层下部的微波发射情况,并可以相当高的分辨率研究几十种大气分子的结构。这种对地球高层大气分子组成的系统测量,结合测风、地磁场及温

表 1 今后十年国外的微波遥感计划一览表  
Tab.1 The Brief Table of Microwave Remote Sensing Plans in Next Ten Years Abroad

项目	国别机构名	运载工具 或卫星名称 (遥感计划名)	设备代号 (设备类型)	研究对象	平台高度 (公里)	频段 (频率, 吉赫)	分辨率	测高精度	波束扫描 宽度 (公里)	波束扫描 方式	入射角 (度)	极化方式
预计发射年代	欧洲空间机构 (ESA)	资源卫星 1 号 ERS-1	SCATT (双频散射计)	全球海面 风向、风速		C (~5.3)	50公里		500			HH
			(合成孔径 雷达)			775	C	30米		100	电扫	
1988			IMR (微波成像 辐射计)		(不详)	有 6 个频道				电子扫描		
1987~1988	日本宇宙开发 事业团 (NASDA)	FRS-1	(合成孔径 雷达) (SAR)	地质绘图 地形形态学	(不详)	L	2公里		75			
1988	美	(雷达研究金 星) VRM	(SIR)	金星全球成像	航天飞机 飞行高度		150米			电扫		
1988~1989	美	(航天机)	SIR-C (航天 成像雷达-C, 分布式 SAR)	(不详)	250	L/C/X	20米		50	电扫	15~60	HH/VV/HV
1990	美, 国家航空 与航天局 (NASA)	海軍大洋 遥感系统 NROSS	NSCAT (散射计)	全球海洋 精确测风	830 (极地轨道)	Ku (13.995)	25公里		600			HH/VV
			(多路成像辐 射计)	大气水汽及 温度成像	(不详)		23~183 (20个频道)	15公里				
1990	美	低轨气象卫星 (海洋形态研 究系统 TOPEX)	(双频高度计, 辐射计辅助修 正)	海洋环流 潮汐变化	1300 65°倾角							
			(SAR)	极区冰源 (动力性成因)	不详	C	150米			200	电扫	
1990	加拿大	Canadian Radarsat 卫星	(SAR)									
1991	美	(航天机)	SIR-D (分布式 SAR)	海面风	250	L/C/X/K	20米			电扫	15~60	HH/VV/HV
1993~1994	美	“黎明神”地球 观察卫星 EOS	SAM (1. SIR-D)	陆、海、冰面多 角成像	710							
			(2. 雷达高 度计) ALT	洋面、水面形 态研究, 主波 高研究	710	L/C/X/K	20及30米			50及200	电扫	15~60
九十年代初	美	金星轨道 飞行器	(3. 散射计)	海面风	710	Ku						
			SISP (HMIR 高分 辨率多频成像 辐射计)	地面成像 (长时多次) 生物层研究 生态学等	710	L~W (1~94)	1公里 (36.5吉赫 时)					
九十年代初	美	金星轨道 飞行器	SSRA (航天扫描雷 达高度计)	金星地面 局部地区地 形细分析,	金星轨道	Ka (37)	2公里					15米
			SSRA	地球陆地 形态分析	250	Ka (37)	几百米					

度等,将极大地帮助我们了解高层大气的迁移过程及化学过程。

### 3. 主动式遥感

美国的主动式微波遥感计划,以航天飞机机载成像雷达(SIR)系列为核心。目前,已胜利完成了SIR-A(1981年发射)及SIR-B(1984年发射)任务,预计在1988年发射SIR-C,1991年发射SIR-D。SIR-C至少有L和C波段的两个频率。据称还可能采用德国研制的X波段成像雷达,实现三频率成像,构成真正的“彩色”雷达。SIR-D则多达L/C/X/K四频成像。两种雷达均有HH/VV/HV的几乎全部极化状态工作方式,均采用电子波束扫描,并可对回波强度进行校准定标。计划在90年代初(1993—1994)发射的地球观察卫星EOS,预计将采用上述的SIR-C及SIR-D作各种各样的地球科学研究,还将研究适合长时间在卫星轨道上工作的技术保证措施。

九十年代,欧洲空间机构(ESA)、日本和加拿大都计划继续发射星载合成孔径雷达进行专用科研和对地球多种参数进行观察。ESA的资源卫星1号(ERS-1)将带有C波段的合成孔径雷达,分辨力高达30米,与航迹垂直的水平向扫描宽度100公里,主要针对长时间的海洋观察。ERS-1上还带有6个频道的微波成像辐射计(IMR)、一个测海风风向风速的双频散射计及一个专门观察海面状况的高度计。日本宇宙开发事业团(NASDA)正筹划在1987—1988年间发射日本地球资源卫星(ERS-1),装有L波段的合成孔径雷达,分辨力25米,垂直航迹方向的扫描宽度75公里。日本的ERS-1(和欧洲空间机构准备发射的ERS-1同名,注意别混淆)。主要目的是地质绘图,尤其对地面的地貌形态特征感兴趣。加拿大计划在1990年发射带有C波段合成孔径雷达的Canadian Radarsat卫星,主要目的是对极区冰的动力学成因进行监测,以服务于航班,扫描宽度约200公里。

在行星探测方面,尤其对太阳系内颗始终有浓云覆盖的金星和泰坦星(土星的卫星)而言,微波成像雷达将是至关重要的探测手段。70年代后期先锋号金星轨道卫星(PVO)已对金星进行过粗分辨力(40—100公里)的成像;最近,苏联的金星探测计划又对其北半球的若干部分作过分辨力为几公里的成像。1988年,美国的金星雷达研究计划(VRM)还将把更好的成像雷达送入金星外围轨道,可作分辨力高达150米的全球成像。泰坦星由于距地球太远,数传率受到限制,从而限制了成像覆盖区及分辨力。使送入预选好的土星外围轨道的宇宙飞船,靠近泰坦星飞行。每次靠近泰坦星时只使该星的一部分地表成像,初步预计将有20次对泰坦星成像。为了能得到泰坦星全球的图片,用真实孔径雷达提供较宽的扫描区(600—800公里),分辨力自然要求较低(6—40公里)。个别感兴趣的区域也将加用合成孔径方式以便获得200米的分辨力。泰坦星成像将作为Cassini计划的一部分,在九十年代中期送入轨道。

海洋的散射计研究计划,九十年代初,将有两个系统投入运行。一是美国国家航空和航天局K波段的散射计(NSCAT)将作为美国海军大洋遥感系统(NROSS)的一部分投入运转。NROSS为极地轨道飞行,高度830公里,上面除装有上述NSCAT外,还有专用微波传感成像器(SSM/1)以及低频的微波辐射计。NSCAT采用Seasat卫星上用过的散射计,目的在于精确测量全球各大洋的海洋风,为海洋与气象学研究服务。它可对全球未冻海洋的至少90%实施精确测风,每两天测一次,总共三年时期。测风范围可高达

100 米/秒,当风速在 3—30 米/秒时,测量精度为 2 米/秒<sup>[2]</sup>;二是双频 C 波段散射计,它是 ERS-1 仪器舱的一部分。K 和 C 波段散射计都可用于测绘全球的风速向量图。90 年代中期,EOS 上将使用更先进的系统。

主动式遥感的最后一种重要系统为高度计。1990 年,美国计划发射 TOPEX 海洋形态研究系统,以对全球的海洋环流及潮汐变化作出判断。TOPEX 以 65° 的轨道倾角被送往 1300 公里高空,它的轨道高度采用专用的无线电和激光跟踪系统,可测准到 5 厘米。微波高度计在双频下工作,以修正电离层的误差。TOPEX 上还装有辐射计,以修正大气水汽造成的测高误差。TOPEX 计划至少连续工作 3—5 年。

九十年代初将要发射的金星轨道飞行器,计划携带 37 GHz 的高度计对金星地表的高度起伏进行地形测绘,照射区分辨单元为 2 公里,测高精度 15 米,这对金星局部地区地形研究已足够。九十年代初,还计划采用 37 GHz 电子扫描的合成孔径高度计——航天扫描雷达高度计(SSRA),对全球陆地形态进行测绘,高度分辨力为几米,图形分辨力可达几百米。

## 二、新技术展望

微波遥感面临的形势是,①由于微波遥感独特的优点,它在地球资源遥感中,已不隶属于光遥感,而且也不处于实验研究阶段。在重大的地球遥感项目中,主动式微波遥感和被动式遥感都成了常规观察项目必不可少的一部分。微波遥感仪器应能工作在各种各样的平台上,如极地轨道飞行器、近赤道轨道飞行器以及同步地球轨道卫星,工作寿命也应提高到“数年”。②要求获得的信息不再是局部、孤立的某一项目、某一地区的特征,而是作为对地球系统研究的一个环节。雷达也好,辐射计也好,获得的图像需要准确及时,强度可严格定标,工作参数能根据情况适当变化,取得的信息应尽可能丰富完整。③微波遥感不能仅限于观察系统的一部分(即仪器加传感器输出数据),而应是信息系统的一部分。换言之飞行器获得的资料,必须能够通过某一方式迅速传送至“信息网络”中去,该网络不仅搜集飞行器传感器的数据,还搜集地面数据、用户要求,并可按预置程序作数据处理(如先进的“黎明神”信息系统<sup>[3]</sup>)。

为了适应这样的形势,微波遥感技术应在下列诸方面进行发展。

### 1. 校准定标

定标包括绝对定标和相对定标两方面,这是遥感精度的核心。合成孔径雷达的相对定标(包括短时和长时稳定度的总影响)应能达到十分之几分贝,绝对定标精度应为 1 分贝左右。散射计(测量厘米波长海洋重力波、海水表面张力波布拉格散射用)绝对定标精度也需优于 1 分贝。测海水盐度的 L 波段辐射计,绝对精度 1K,灵敏度与稳定度近似为 0.05K。这样的精度水平,在短于数月的时间内可做到,但在长达数年的长寿命卫星工作条件下尚无把握,应予以解决。

### 2. 辐射计

辐射计方面面临的新技术问题,相对而言比合成孔径雷达少些。新技术包括宽带、多频道成像,采用低噪声器件,高效折叠天线等。气象方面将优先研制 20 信道星载成像辐

射计,用以给出大气层的垂直水汽剖面 and 温度剖面. 其覆盖的频宽应从 6 到 200GHz,以便观察不同大气层的分子成份. 所以,将来会出现更高频段、天线效率更高的低噪辐射计. 已提出过航天飞机机载多路微波辐射计 (SLAMMR),使用装置在航天机上的 4 米直径、偏置馈电抛物面天线,该天线能在进入太空后呈伞状撑开,并以每秒 1 转的速率作机械扫描,从而沿着地面迹线扫出一入射角恒定的锥状面. 还计划采用多波束 L 波段辐射计进行海面测绘,但据透露该项研究还有一些未予报道的问题未曾解决.

辐射计虽有分辨率差的缺点,但有电池功率要求小、数据传送率要求低(每秒仅千比特量),并且不要求复杂的图像处理器等优点. 难点有: ①天线. 在微波段低端,天线尺寸要求太大,如 400 公里要求 1 公里分辨率的 L 波段成像辐射计,天线口面直径要求大到 90 米,这个问题目前尚无法解决. 频率往上到 7—19GHz,难点则变为同相阵列馈元的校准问题. 但此问题已能解决. ②灵敏度. 它是辐射计检测大气、地面、海洋亮度温度变化能力的度量,随着辐射计系统温度的增高而变劣. 降低系统温度的方法,一是采用低的工作频率,二是采用致冷技术. 目前未予致冷的场效应管辐射计,其噪声温度在 L 波段可做到 100K,(在 30GHz 则为 500 K). 星载辐射计由于太空环境难于用致冷剂,通常都不致冷. 不过多数应用场合,其灵敏度还能达到要求. 提高灵敏度的希望在于新一代低噪声固态放大器件,估计能将未致冷辐射计的灵敏度提高 2 倍.

### 3. 成像雷达

要求成像雷达具有的新技术是:①可靠性至少三年,以适应卫星平台长时间工作的要求;②天线波束能给出不同几何形状的照射区和扫描宽度,以适应不同种类工作的要求;③多种极化并行地同时成像,以提高图像得到的目标信息能力;④多频道(多谱)工作能力,从 500MHz 直至 90GHz,以进行目标识别或真正的“彩色”成像;⑤具备对高分辨率、多参数传感器产生的庞大数据,进行处理、发送或记录的本领. ⑥体积小、效率高的大功率发射器.

固态放大器近年取得的技术进展,已可将它用于 L 波段及 X 波段作合成孔径雷达大功率信号源,九十年代可望用于 K 波段以上的高频段. 有一种能获得大功率辐射的高效方案,采用图 1 的分布式系统:各个放大单元分布式地遍布天线口面,与辐射元相接. 此

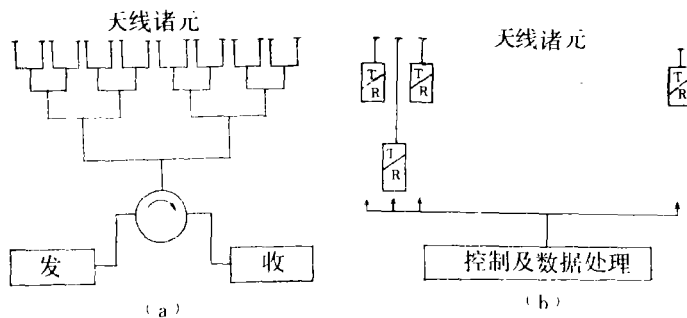


图 1 普通雷达 (a) 与分布式雷达 (b) 的基本差别示意图

Fig. 1 The Sketch Scheme of Basic Difference Between General Radar

(a) and the Radar in Distributing Form (b)

方案有下列重大进步: ①放大器数量很大(多达数百),每一放大器要求的功率可以很小,于是可用固态器件;②去掉了损耗大、效率低的环行器、大功率电缆等,提高了效率;又因总功率是多个部件并联的贡献,即使有若干个放大部件故障,系统总性能的降低仍不大,从而大大提高了可靠性。③便于在波束电扫描或畸变补偿中作移相器用。近年,美国喷气推进实验室以及 Ball 宇航系统研究部研制成了一种空载分布式合成孔径雷达传感器<sup>[4]</sup>。该传感器为工作于 C 波段的 16 元分布式机载合成孔径雷达。目前正在调试。具有全部分布式特性的双频、多极化航天成像雷达 (SIR-C),也正在研制中。

还有一种适于合成孔径雷达用的电扫描,可按要求对地面提供不同角度的波束照射,结合恰当的卫星轨道变化,就可得到立体成像图片。这种电扫描还能在相当大的卫星高度范围内自动控制地面照射区的范围,从而大大扩展了可扫宽度;特别适用于观察诸如飓风、锋面、冰基质等动力成因现象。

合成孔径雷达能对每一图像单元同时取得全套极化数据 (HH/VV/HV),从而可得到每一图像单元极化矩阵的各个 Stokes 参数,这在图像识别中具有重要意义。为此,天线要既能接收水平的又能接收垂直的电矢量。而发射机光耦合到 H 通道、接着再将脉冲串耦合到 V 通道。天线应有双极化能力,同一辐射元对两条通道来的激励均可发射而不应用两个天线来获得双极化。这样大体同时获取到多极化数据使图像易于记录,并可逐个比较像素的相对相位。据称相位信息在成像技术中的引进,大大增强了微波遥感识别目标的本领<sup>[4]</sup>。

在较宽频带内遥感,能较完整地表示地面的微波特性。电磁波与地表的相互作用和波长的关系非常密切,几十厘米波长的波可探测几米深的干土或植被,而几厘米长的波则主要探测空气-地表或空气-地面覆盖物构成的界面。星载合成孔径雷达用 500MHz 至 90GHz 的频段(不包括 20GHz 及 60GHz 附近水汽和 O<sub>2</sub> 的吸收谐振带)。频率低端受限于国际规定的频段分配以及电离层效应,高端的问题主要是难于获得大功率以及大气吸收。需要的典型峰值发射功率约为 1—10 千瓦,这个要求在 L 波段及 C 波段现在就可作到,即用 200—300 个元件作分布式发射配置,每个元件发射 10—40 瓦就行了。1988—1989 年间将在航天飞机上使用的 SIR-C 就是这样作的。频率达到 X 波段—Ka 波段,现有技术下每个元件只能产生几瓦的最大功率,要几千个固态元件分布放大才能满足上述功率要求,实现起来不很理想。

星载雷达系统产生的数据率约为每秒 100—300 兆比特(或二进制位),SIR-B 产生的数据率为 50 兆位/秒, SIR-C 则至少 150 兆位/秒。九十年代 EOS 系统则要高达 300 兆位/秒。因此,未来必定要求反应极快的数据处理系统或高速数传电路。飞行器上要作一部分硬件处理,还要有高密度的存储媒体。仍以 EOS 为例,每天产生的数据总量约为  $2.5 \times 10^{13}$  位,等效于约 25 万盘计算机兼容磁带 (CCT)。

#### 4. “遥感信息网络”的建立

九十年代的遥感系统不再是“观察系统”。以 EOS 为例,它的系统是“遥感信息系统”。该系统不仅包含 EOS 的系统和实时输出数据,还包含别的遥感系统提供的数据(历史的或同时的,甚至可容纳将发射的)。此外,该系统还纳入各种以地面为基地的数据及其系统。有科学分析方案,可实现用户之间以及用户与遥感系统之间的对话(通过信息网络完

成)。该系统使科学家或用户对自己感兴趣的那部分遥感资料的定位、存取以及处理得以方便的完成,使得遥感数据的利用率大为提高,并便于与实况数据进行比照分析,使地球资源遥感的各个领域,由分散研究变为统筹兼顾,促进了应用和研究相结合,预计可大大加速复杂地球物理现象,特别是大尺度现象研究的进程。

按“EOS 科学与遥感工作组 (SMRWG)”的建议,一个信息系统应有:

(1) 高效的数据库;包括可存放很长时间的数据中心,存放实时 EOS 遥感数据的 EOS 数据库,存放非 EOS 数据的其它遥感数据库,科学上或实用中频繁使用的“主动数据分库集”,等等。

(2) 有能力对不同来源的数据标准化、分类编目、插入更新,按预置或更新后的程序对数据加工。

(3) 完善的可实行对话及管理的“信息网络”;不仅能适应图像传送等等数据率极高的信息传送(通信),还能对感兴趣的特定数据实时跟踪,除此之外,还能实现各用户之间以及用户与遥感控制中心的信息传送。

图 2 即为 EOS 信息系统的一种。

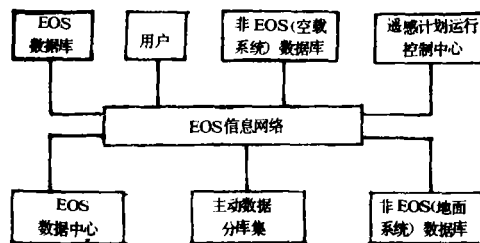


图 2 EOS 信息系统的典型结构

Fig. 2 The Typical Structure of EOS Information System

### 三、结 论

从今后十年国外的微波遥感计划中,可以看出主动式遥感比被动式遥感处于优势地位。而主动式遥感最重要的仍是合成孔径雷达,其次是散射计与高度计。

先进的合成孔径雷达将包含 4 个频道(从 30cm 的 L 波段,到 1cm 的 K 波段),3 种极化方式(HH,VV,HV)与可変人射角电子波束扫描(15°—60°)。这就使 80 年代一个频段、一种极化方式、固定人射角照射的 SAR 有了重大进步,所获得的遥感信息,将是包含相位信息在内的目标相当完整的信息。由于定标校准使精度高于约 1 分贝,又由于可从传感器推得散射波极化矩阵的各斯托克斯参数(由此理论就可推出散射目标的相位矩阵各元),使得目标识别条件更为成熟。遥感信息网络的出现是一新生事物,可以预料必将蓬勃发展。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] K.R. Carver et al., "Microwave Remote Sensing from Space", *PIEEE*, Vol. 73, No. 6, 970—996, June 1985.
- [ 2 ] R.F. Arvidson et al., "Eos: The Earth Observing System of the 1990S", *PIEEE*, Vol. 73, No. 6, 1025—1030, June 1985.
- [ 3 ] J. E. Estes, "Geographic Applications of Remotely Sensed Data", *PIEEE*, Vol. 73, No. 6 1097—1107, June 1985.