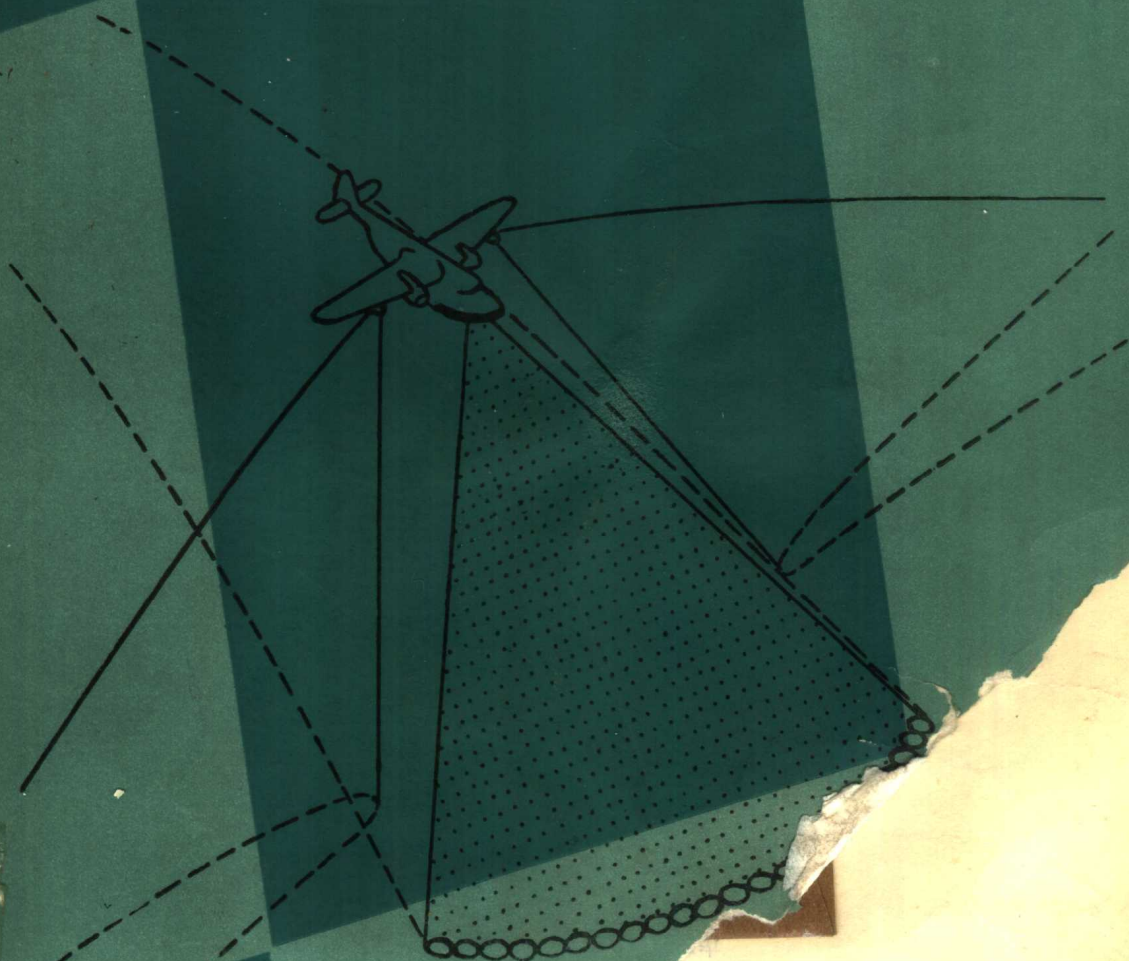


微波遥感

孟侃 主编



华中工学院出版社

华中工学院出版社

1981年 第一版第一次印刷
787×1092 1/32 110千字 1.10元

微波遥感

孟侃 主编

华中工学院出版社

内 容 简 介

本书介绍微波遥感的理论和仪器设备,及其在陆地、海洋和大气方面的重要应用;还报道了我国微波遥感技术的发展情况,较全面地对读者提供了微波遥感的知识。可供各微波遥感应用部门(如地质、水利、水文、气象、海洋、土壤、农林、矿冶、交通、环保、渔业、地理、军事等)和微波理论及研究设计制造部门的研究人员和工程技术人员,以及大专院校的有关教学和科研人员参考。

微 波 遥 感

孟 佩 主 编

责任编辑 雷震东

华中工学院出版社出版

(武昌喻家山)

湖北省新华书店发行 各地新华书店经售

咸宁县印刷厂印装

开本787×1092毫米1/16 印张21 $\frac{3}{8}$ 字数530千字

印数1—5000册

1982年10月第一版 1982年10月第一次印刷

统一书号: 15255—003 定价: 3.35元

序 言

遥感技术利用遥远目标对电磁波的反射、散射、透射、吸收和辐射等机理，识别其情况，取得其数据。这是一门新兴的多科性学科，其发展迅速，已在军事、陆地、海洋、大气等各方面广泛应用。过去主要研究可见光和红外遥感器，目前微波遥感器如异军突起，有与可见光和红外遥感器并驾齐驱之势。微波遥感不受天气和时间限制，能全天候应用，对军事应用很适合，有很大发展潜能；在民用方面也应用到许多重要领域，如地形勘测、地质研究、资源勘探、海洋观察、大气测量、环境保护、灾害预报、收成预计等等。对于我国实现四个现代化，微波遥感将起极重要的作用；但这方面国内报导不多，我们现根据1975年美国出版的微波遥感报告“Active Microwave Workshop Report”，结合我国微波遥感事业的发展情况，补充删减，编译成《微波遥感》一书，对微波遥感的原理、应用和设备，作较全面的介绍，以供各方面参考。

本书共分五章，第一章引论，作一般介绍；第二章陆地微波遥感、第三章海洋微波遥感、第四章大气微波遥感，主要介绍理论、方法和结果；第五章微波遥感器主要介绍各种有源及无源微波遥感系统、信号处理和图象识别。微波遥感的内容极其丰富，尚有待研究和发展，希望本书能对此起桥梁作用，有助于国内微波遥感事业的发展。

本书第二章由上海交大杨传厚同志供稿，第三章由南京“现代雷达”编辑室曾俭恭同志、南京电子工业局鲍厚俊同志供稿，第四章由北京邮电科学院技术情报所汤国权、缪瑞芬同志供稿，第五章大部分由华中工学院林士杰、韩青、刘圣明、乔超贤同志供稿，其中我国对综合孔径成像雷达的研制和试验部分由中国科学院电子学研究所陈宗鹭、谢寿生同志供稿，微波辐射计及微波辐射测量技术部分由上海微波研究所曾乃瑜，华中工学院雷震东、韩青，中国科学院长春物理所张俊荣、滕叙尧等同志供稿。上海交大黎滨洪、顾瑞龙同志曾相助初校四、五两章部分稿件，全书经本人整理编辑，并承地质部地质遥感中心崔承禹同志及北京大学赵柏林同志审阅部分书稿，提出宝贵意见，最后由华中工学院林士杰、雷震东同志对全书校核定稿。由于本书牵涉范围很广，我们的知识有限，错误难免，深望各方面的专家多多指正。本书在编写过程中得到上海交大电子工程系和华工中学院的热情支持，并承华中工学院出版社克服诸多困难出版，编译同人衷心感激，谨致谢忱！

孟 侃

1982年8月

目 录

序 言

第一章 引 论..... (1)

第二章 陆地微波遥感..... (7)

引 言..... (7)

第一部分 矿物资源和地质应用..... (10)

一、一般目标..... (10)

二、已进行过的遥感观察与所希望的目标的比较..... (10)

1、地球资源技术卫星..... (10)

2、天空实验室..... (11)

3、阿波罗月球探测器..... (12)

4、具有成像微波系统的现代机载系统..... (12)

三、微波遥感对矿物资源及地质调查的主要应用..... (13)

1、矿物勘探..... (13)

2、石油勘探..... (13)

3、地下水勘探..... (14)

4、土木工程..... (15)

5、地质填图..... (16)

6、地形识别及地体分析..... (18)

7、地震机理及地壳移动..... (20)

四、一般功能要求..... (21)

1、频率..... (21)

2、分辨力..... (21)

3、频带概述..... (22)

4、时间性..... (23)

5、动态范围..... (23)

6、极化..... (23)

7、俯角..... (24)

8、视向..... (24)

9、雷达立体照相术..... (25)

第二部分 水资源..... (25)

一、表面水..... (25)

1、流量预测、模型及河流网络..... (25)

2、洪水测绘..... (28)

3、湖泊测绘..... (29)

4、岸边湿地..... (33)

二、固态水的水文学研究..... (35)

1、永冻土..... (36)

2、冰川探测..... (37)

3、雪的覆盖..... (38)

4、淡水冰..... (39)

三、水的污染..... (41)

1、一般目标..... (41)

2、已进行过的遥感观察..... (41)

3、有源微波测量的功能要求..... (42)

第三部分 农业、林业、放牧业及

土壤..... (42)

一、总的目标..... (42)

二、作物、森林及放牧区..... (44)

1、已进行过的作物、森林及放牧资源的遥感观测..... (44)

2、在作物、森林及放牧区应用中，微波遥感的功能要求..... (47)

3、预期的微波遥感结果..... (48)

4、主要的应用领域..... (48)

三、利用有源微波传感器进行土壤测绘..... (48)

1、概述..... (48)

2、有源微波遥感的功能要求..... (49)

3、结论..... (52)

四、土壤湿度测量..... (52)

1、概述..... (52)

2、已进行过的遥感观察..... (52)

3、功能要求..... (53)

4、预期的微波遥感结果..... (54)

第四部分 土地利用、灾害监视、城市与

环境..... (55)

一、土地利用、灾害及环境监视..... (55)

二、城市及运输应用..... (57)

第五部分 侧视机载雷达飞行试验结果及

其分析..... (60)

一、真实孔径侧视机载雷达的应用..... (60)

二、死谷地区综合孔径侧视机载雷达图象的分析..... (63)

1、概述..... (63)

2、实验介绍..... (63)

3、雷达图象上的地质单元特征..... (63)

4、表面粗糙度及其与雷达反向散射的相 关性.....	(64)
5、复介电常数和雷达穿透性.....	(71)
6、结论.....	(72)
参考文献.....	(72)
第三章 海洋微波遥感	(88)
引言	(88)
第一部分 技术背景	(90)
一、雷达回波的物理基础	(90)
二、微波波段热辐射的物理性质	(94)
1、辐射的热动力学.....	(94)
2、镜面海面的辐射.....	(95)
3、微波辐射、海面状况和风三者间的 关系.....	(95)
三、大气衰减和天空噪声	(97)
四、水的物理特性	(97)
五、物理学在雷达遥感技术中的应用	(98)
1、散射测量.....	(98)
2、高度测量.....	(99)
3、成像雷达.....	(101)
六、微波辐射测量的应用	(103)
第二部分 局部现象	(104)
一、波浪	(105)
二、风速	(108)
三、内波	(111)
四、陆地和海洋的相互影响	(111)
第三部分 大规模现象	(113)
一、海洋测地学	(113)
1、背景.....	(113)
2、应用.....	(116)
二、海洋潮汐	(117)
1、目前技术水平.....	(118)
2、要求.....	(119)
3、技术方法.....	(119)
4、应用.....	(120)
三、风暴潮和风增水	(121)
1、现代技术水平.....	(121)
2、技术要求.....	(122)
3、应用.....	(122)
四、海流	(123)
1、遥感法的优点.....	(124)
2、技术要求.....	(125)
3、技术途径.....	(125)
4、应用.....	(127)
五、全球波的统计特性	(127)
1、现代技术水平.....	(127)

2、技术要求.....	(128)
3、技术途径.....	(128)
4、应用范围.....	(129)
六、极区冰原	(130)
1、范围.....	(130)
2、海冰.....	(130)
3、冰帽和冰川.....	(133)
4、湖冰和河冰.....	(134)
5、结论.....	(135)
第四部分 技术途径	(136)
一、仪器设备	(136)
1、高度计.....	(136)
2、散射计.....	(138)
3、成像雷达.....	(149)
4、表面分析高度计.....	(152)
5、雷达波谱仪和双频干涉仪.....	(155)
6、双频波高传感器.....	(155)
7、收发分置的高频局部波方向传感器.....	(156)
8、微波辐射测量技术.....	(157)
9、太阳微波干涉仪.....	(159)
10、其他有源微波传感器.....	(162)
二、平台	(168)
1、卫星.....	(168)
2、飞机.....	(173)
3、轻型空中飞艇.....	(174)
4、数据收集平台.....	(174)
参考文献	(175)
第四章 大气微波遥感	(185)
引言	(185)
第一部分 测量技术及主要应用 领域	(188)
一、普通脉冲雷达系统在气象观测上的 应用	(188)
1、普通脉冲天气雷达的特点.....	(189)
2、从轨道卫星平台进行天气雷达观测.....	(190)
3、卫星天气雷达观测的应用.....	(193)
4、卫星气象观测雷达.....	(194)
5、衰减考虑.....	(196)
6、地球静止卫星作气象雷达平台.....	(196)
二、多波长、双极化卫星气象探测雷达	(197)
1、反向散射、衰减、滴谱和误差分析.....	(197)
2、最佳波长的确定.....	(200)
3、校正.....	(203)
4、用交叉极化确定滴谱和溶层高度.....	(206)
5、采用多普勒技术从地球静止卫星测量 滴谱.....	(208)

6、卷云的探测.....	(208)	2、系统设计要点.....	(262)
三、具有多普勒能力的星载雷达.....	(209)	3、折衷考虑.....	(266)
1、多普勒雷达方法.....	(210)	4、我国对综合孔径雷达的研制和试验.....	(267)
2、多普勒雷达的信号处理.....	(211)	5、相干接收系统.....	(270)
3、星载雷达.....	(211)	二、航天飞机雷达的微波分系统.....	(272)
4、多普勒雷达的波长选择.....	(212)	1、概述.....	(272)
5、低轨道卫星.....	(214)	2、系统的折衷考虑及其性能.....	(274)
6、地球同步卫星.....	(219)	3、硬件的讨论.....	(278)
7、二氧化碳脉冲多普勒雷达.....	(220)	三、RAR及SAR组合成像.....	(287)
四、双分微波系统对大气研究的应用.....	(221)	四、雷达散射计.....	(289)
第二部分 附加应用和有关课题.....	(223)	1、雷达散射计的设计考虑.....	(289)
一、用有源微波技术从卫星上测量表面		2、雷达散射计测量技术的应用.....	(291)
气压.....	(223)	五、地下探测器.....	(296)
1、5毫米氧气吸收带附近的大气传输和海面		1、无线电波法.....	(297)
反射率.....	(224)	2、两天线法.....	(297)
2、关于测量仪器.....	(227)	3、无线电回波探测法.....	(298)
二、大洋上表面风的气象应用.....	(228)	4、地下探测器的实验应用.....	(300)
1、从反向散射推算表面风.....	(228)	六、多普勒滤波和动目标显示.....	(303)
2、用星载微波系统探测洋面上风的气象计		七、天线和天线阵列.....	(305)
划的要求.....	(228)	1、技术现状.....	(305)
3、预期的结果.....	(230)	2、不重复阵列在真实孔径雷达和综合孔径	
参考文献.....	(230)	雷达系统中的应用.....	(307)
第五章 微波遥感技术.....	(237)	3、用天线零点控制来扩展气象卫星雷达的	
引言.....	(237)	视野.....	(314)
1、科学及应用指导.....	(237)	第四部分 数据处理和图象识别.....	(317)
2、总体系统考虑.....	(238)	一、概述.....	(317)
第一部分 微波系统的功能介绍.....	(240)	1、部分在运载器上处理的系统.....	(317)
一、系统的主要类型.....	(241)	2、端对端数据系统.....	(318)
二、各类系统功能的介绍.....	(241)	二、成像雷达数据简化.....	(319)
1、雷达散射计.....	(241)	1、综合孔径雷达数据的取得.....	(319)
2、雷达高度计.....	(242)	2、数据简化的过程.....	(319)
3、无线电地下探测器.....	(243)	三、成像雷达端对端数据系统.....	(322)
4、成像雷达.....	(243)	1、SEASAT-A的端对端数据系统.....	(322)
5、微波辐射计.....	(246)	2、其它型式雷达的端对端数据系统.....	(324)
第二部分 微波辐射计技术.....	(248)	四、图象识别的研究.....	(325)
一、全功率辐射计.....	(249)	1、雷达图象处理的主要方法.....	(325)
二、比较式辐射计.....	(251)	2、自动图象识别的研究.....	(325)
1、零平衡反馈辐射计.....	(252)	3、数据格式.....	(326)
2、双参考温度自动增益控制辐射计.....	(254)	4、数据的获得和识别精度.....	(326)
三、星载多波段扫描微波辐射计.....	(257)	5、预处理和特征提取技术.....	(327)
第三部分 雷达技术.....	(260)	6、非监督的分类和组合.....	(327)
一、侧视机载雷达在测绘地球资		源方面的技术.....	(327)
源方面的技术.....	(260)	在运载器上分类.....	(327)
1、基本原理.....	(260)	参考文献.....	(328)
		附录 本书采用的缩写词.....	(332)

第一章 引 论

早期的遥感系统主要采用可见光传感器，如照相机、光导摄像管和多光谱扫描系统，这些传感器已广泛地应用于空间计划的地球资源勘测飞机和宇宙飞船上，如Apollo, Nimbus, ERTS, Skylab等。类似系统也计划用于将来的宇宙飞船上，如EOS系列。这些应用以及有关的研究，如大型多光谱数据处理中心的发展，积累了大量的经验数据和数据分析结果，这就有利于进一步发展可见光传感器的应用范围。与此相比，微波传感器的应用尚有限，经验数据亦不充分，所以微波遥感的潜在能力尚未充分发挥。但微波传感器有它的有利方面，它有更广泛的理论基础，可供分析的模型研究得也较深入，所提出的许多应用，都是基于可以在微波区域测量的物理现象的基本研究，而不单纯是运用实验结果。1978年发射的Nimbus-G和Seasat-A卫星表明，有源和无源微波遥感技术进入了一个新的发展阶段，这些星载传感器反映出遥感组织对微波遥感的广泛潜力的新认识，以及在克服可见光和红外遥感设备的缺点方面所取得的新成就。

集合微波遥感的几种要素，来说明这种技术的许多应用，就可令人信服地表明：应用微波传感器来观察地球是客观上的需要，而且也是可以实现的。

微波遥感的最大用途，就是在有云或黑暗的情况下观察地形，这也是早期机载轰炸雷达（机载成象雷达的前身）发展的主要原因。

微波有穿透植被和土壤的能力，虽然较短波长的微波不能穿透极茂密的植被到达地面，微波也不能透入土壤到几分米或几米以下，但即使这微弱的微波穿透能力，也使用普通传感器不能观察到的现象能由微波传感器显示出来。应用波长较长的无线电波，可得更深的穿透，50厘米波长可用于卫星高度，100厘米波长可用于机载系统，这些波长的信号能穿透大多数自然植被和深入到土壤内，适于地质应用的需要。

利用照相着色或借多光谱技术扩展频谱到红外区域，有助于空中照相的解释，是人所共知的事实。微波遥感增加约两个十频程的微波频谱，就能大大扩展色彩概念，这意味着微波传感器在可见光—红外多光谱扫描所取得的信息之外，还能增加信息，使地面目标识别更容易。当有云存在，可见光照相看不清楚，可用微波“色调”代替可见光和红外“色调”，作为地面性质差异的判别依据。

还有一些与云和植被穿透无关的应用，可见光和红外遥感都无能为力，而只有依靠微波遥感才行。例如微波遥感可借海洋表面的微波散射作用对风遥感；根据土壤中水分由液体变为固体时其介电常数的改变，微波遥感还能区别冰冻地与不冻地。

与湖冰和河冰边缘相伴的强烈微波效应，使冰结构在雷达图象上比在可见光照相上更易看出，微波传感器对于监视大湖和大河中的冰结构特别有用。

有细致分辨能力的传感器（如成象雷达）由于具有能穿透土壤的观测能力，特别适宜于监视土壤水分。当土壤的毫米厚度表面变为较干或较湿时，其他传感器只能辨别颜色的改变，不能显示内部情况。但由于土壤的介电性质受所含的水分影响，干土的电容率与水的电容率相差很大，干土和湿土对微波信号也就有不同的反应，所以微波传感器能有效地探测土壤湿度。这对水灾预报、农业产量估计和水域管理等有许多用途。

微波遥感所具有的这些优点，有时很重要，例如当工作情报必须即时收集，不能等待云开日出，云穿透能力就特别重要。即时监视洪水范围，对于下游报警和调度救援物资到淹没地区，以及预报水灾对农业收成的影响，都是很重要的。其他如湖上冰的分布对船舶航道预报有关，土壤水分测量对水文学研究和农业很重要。但是，冰的分布是随时变动的，土壤水分情况也改变很快，不管有云无云，都需要频繁观察，这就必须利用微波遥感器。再就植被穿透而言，许多遥感应用要求能得到植被遮盖之下或薄土层之下的一些情况，假如能穿透植被遮盖，不同土壤类型和表面岩石之间的边界，就能直接观察出来，适当地选择微波遥感器的波长和入射角，除极茂密的森林之外，大多数植被都能被穿透。洪水常发生于森林区，由于树叶植被遮盖，很难借照相观察洪水的范围，一片树叶也能挡住照相机向地面观察，可是借改变微波入射角和波长，雷达能正常地穿透大部分遮盖，清楚地观察到地面情况。

有源微波遥感器能控制微波入射角，用比较浅的掠射角照射，在小起伏区域观察到阴影，能使无源微波遥感器不能观察到的结构特征分辨出来，这效应广泛地应用于矿业和地质方面。

微波遥感在海洋方面应用的范围很广，由于海洋的范围广大，试图在全球规模测量海洋现象，那是所费太大而很难进行。当飞机和卫星遥感出现以后，允许作完全的顺次序覆盖，能使每一数据点的费用，比用普通技术低几个数量级。遥感技术大大增加了海洋知识和海洋利用。微波遥感可以在海洋方面应用的内容，包括改进保护生命财产的警报系统，更准确地预报天气，更好地监视环境质量，更有效地管理海洋资源，改进渔业和航运，提高航行安全，取得船舶和海岸结构设计的更好情报，更多了解偏离大地水准面的信息。应用微波遥感的利益是多方面的，但一般可归入上列八种范畴。生命财产的安全主要与附近海水的动向有关，潮汐、风暴巨浪、激流都有很大影响。这些现象都可用有源微波系统检查出来，这些系统能提供适当的预警情报，特别是波向、波谱和波的绕射数据，只有用微波遥感系统才能经济地检查出来。

天气预报与上述海岸现象密切相关。沿海经济区需要监视的范围日渐扩大，更多的人民将生活在沿海区域。这就对沿海区域的观察监视要求更为迫切。10到50米空间分辨能力和200公里观察宽度的星载微波系统，能用于监视沿海经济区，检查油溢，管理海洋资源，加强渔业观察船的活动，警报风暴巨浪，指示鱼群，监视湖上、极区冰情。

预测海洋环境的重要性可从三方面来说明：第一，近海岸区波候的确定，对于进行海岸活动，如建筑和设计，将提供极大的支持；第二，更好地理解热交换现象的影响对长期天气模型化是很重要的；第三，监视不冻水区域对航运是很重要的。对局部和大规模海洋现象进行遥感普查，机载特别是星载有源微波系统是主要的。局部现象是尺度在100公里内的海洋和沿海现象，它包括表面波和风、内部波、陆海交互作用、内陆水和河口江湾水的性质。人在海上的活动受重力波的影响很多，这些波一般归类为波长2厘米到500米和波高到30米的波，它们会改变海岸线，损坏建筑和船货、减慢船只前进。波浪预报是海岸管理的一项重要内容，更好地理解这些波的结构、绕射、能量交换机理和作出预报将有利于航海事业。

在大陆架和岛屿附近，陆、海相互作用最显著，估计人的海上活动大约有百分之九十是在不到30米的水深处。在此深度预报波浪的影响是很重要的，但由于与鱼群折射、海底摩擦和海底开发等许多因素有关，这类研究还只是处在萌芽阶段。

大规模现象包括海洋表面地形学，这是由潮汐和气象力引起的大地水准面的变动和准静

态空间变动的复杂集合体。地转风气流和极冰覆盖也是大规模现象。海洋的物理表面常常改变，并受潮汐、空气压力、风、盐分、温度、密度或压力梯度和与冰川溶化相连的地质改变所影响。为计算大规模地转风气流，确定海洋表面对大地水准面的偏离（5至20厘米）是重要的，因为这些气流在全球规模上运输大量热能，因此改进它们的测量方法对改进天气预报方法是很重要的。这对于监视海洋潮汐，应用潮汐能量发电和较好地估计地球潮汐（即沿海区域的海洋载荷，因其与地震研究的地球动力学有关），也是同样重要的。风暴波涛和风的兴起是相同效应的进一步动态显示，二者都有引起低海岸区域洪水的危险。

为了给计划船舶航道和设计船舶及近海建筑确立参考条件，另一种要考虑的大规模海洋现象是全球波浪统计学。在极冰区域内的大气和可通行水域之间的热交换信息，对于长期天气预报和船舶航道确定是重要的。

根据以上考虑，得结论如下：

1. 某些全天候高分辨力观察最好能由星载微波系统提供。这些观察包括波浪高度、波谱、波的绕射、海上和湖上冰的分布及其间的不冻区域、冰川冰的表层下结构、海洋大地水准面、海洋表面的静态和动态地形。

2. 在轨道上最早指向地面的星载有源微波系统是在天空实验室上。S193高度计试验所取得的情报大大超出预期，并提供了独一无二的海洋学数据。已检查出的表面变动的准确性在局部规模为1至2米，在全球规模为5至20米。S193辐射计、散射计系统表明高至20米/秒的风速可从宇宙飞船上测量。

3. 许多重要海洋情况与时间有关，并且时间很短，需要专用海洋飞机，及时取得适当数据。

4. 雷达图象和海洋学地球物理参数之间的定量关系，必须确定。

5. 海洋观察所用有源微波遥感系统的发展计划应统一安排。

微波遥感在大气学科方面有较长的历史，地面气象雷达已有三十余年的经验，卫星计划已经执行了二十多年，在这期间发射了三十颗以上的试验和运用卫星进入近地球和同步轨道，卫星携带了各种仪器作紫外、红外和微波辐射的无源遥感，集以上的运用经验和学科工作者的反复讨论，订出发展大气微波遥感的指导原则如下：

1. 支持气象卫星系统的发展。

2. 改进天气预报，发展能确定全球大气垂直结构的太空技术，并辅以模拟技术、模型和普通观察，这种技术将重点提供大规模长期天气预报的必要数据。

3. 遥感大气污染，发展空间遥感能力，在全球或局部鉴定和定量地监视较低和较高大气中的自然的和人为的污染。

4. 为研究改造气候提供依据，应用从遥感器、数据收集系统和（或）要求特殊轨道情况（如失重）的飞行试验中取得的太空数据，为研究改造气候的精粗核算法，发展模型和建立结构。

5. 及早发出危险天气和灾害警告。发展和建立一种连续观察大气特征的体系，允许及早鉴定和定量地测量导致形成严重大气现象（如雷雨、龙卷风、飓风等等）的天气情况，作为及时向公众警告的基础。

6. 研究大气过程和相互作用。通过观察大气的结构、组成和能态，研究大气中和空气地面交界处，响应太阳能输入的各种规模的基本大气过程和相互作用，有效地应用空间潜在

能力。

根据上述各项指导原则，提出微波遥感在大气学科研究中的各项应用如下：

1. 测绘雨云中最大回波高度，提供风暴强度和降雨量指示。
2. 测量雨云中273K等温线高度，作为数字天气预测模型的输入和作为估计热带风暴强度的依据。
3. 在全球范围测绘降雨强度，作为长期预报数字模型的输入。
4. 在全球规模定量地测量液体水含量、水滴尺寸谱和降雨率，作为大气动态过程中热和水预算的关键分量，用于局部天气短期预报和洪水预测。
5. 测绘云体系的水平方向移动。水平方向风的测量对天气预报有用。目前无线电高空测候仪对风的测量是用人工方法，并且主要是点测量。卫星多普勒雷达的风测量是在整个风暴中以连续方式测绘风的运动，也可以有效地获得大体系的风场收敛性质。
6. 沿星下航迹测量全球表面压力，这些测量可能使气象学表面分析和天气预报取得重要突破。假如成功的话，就无须每天作无数全球表面压力测量。更重要的是扩展地面观察至海洋和其他不能合适覆盖的区域，这些测量将增加预报的准确性，并可作运用卫星上大气探测器所获得的温度断面图的参考等温线，因而显著地增加断面图的准确性，使预报模型现代化。
7. 测量海洋上的表面风，这些测量将提供一套改进天气尺度天气预报的初态参数和有价值的天气危险警报，这些测量还有助于改进对热带大气的理解。
8. 测绘极区海上的冰覆盖，以便测量极区大气热平衡。这种测量也将作为一般环流的数字模型的一项输入，供天气预测之用。
9. 将收发分置测量法应用于通信需要，如无线电通信线路的衰减和衰落统计，与去极化测量相结合，收发分置测量能提供关于雨滴和冰结晶尺寸、形状和数量密度的情报。前向散射几何学特别适于检查清晰空气的扰动。因为从地球静止通信卫星得到的数据包含气象情报（在通信系统中一般认为是“噪声”），而气象学者不需费用或化很少费用就能利用。应该用这些数据作大气研究。
10. 从地球静止卫星连续监视最大回波高度，假如能作这种监视，对于监视严重风暴的发展和移动是极其重要的，将导致改进短期预报和灾害警报。

最需要的微波传感器是成象雷达，所要求的综合孔径技术、雷达的性能和规格，多数能从现有雷达技术得到满足，某些方面如数据处理容量和空间大天线的可展开性，需要进一步研究。

陆地和海洋遥感器的要求绝大部分可由星载雷达系统满足。为航天飞机所考虑的多频率（Ka、X、L波段）、多极化成象雷达结构，应能满足各方面的多数需要。与普通传感器（例如照相机）可在地面或飞机上测量其性能不同，有源微波传感器的性能仅能在实际飞行中准确估价，系统的最早实际试验是在雷达送上轨道后进行。

其他类型的微波传感器只在少数特殊应用中需要。如散射计主要用于测量海洋上的表面风速，高度计用于测量大地水准面的形状。由于缺少表面性质和回波特性之间的相互关系的知识，使雷达技术的发展常受阻碍。海洋学和一些农业应用的研究计划正趋成熟，但这些计划的成功还依靠合适的数据库，如在这关键方面有进一步的研究成果，将有助于微波遥感系统所需先进技术的发展和满足其性能要求。

微波能量的高分辨力发射和接收技术已很成熟。这类设备的功率和重量要求已不再妨碍它们在宇宙飞船上应用。例如从186公里高度，提供100公里观察宽度和30米空间分辨力的L波段综合孔径成像雷达所要求的功率的平均值少于350瓦，而重量轻于159公斤，所需天线是8米长。但在宇宙飞船上用过的有源微波系统不多，宇宙飞船的天线设计，经验很少。对于刚性天线结构，如为航天飞机所考虑的天线，普通飞机的天线技术应能支持其发展。可是宽的观察幅宽成像或窄波束运用所要求的较大天线结构，还有待发展。

有源微波遥感器的数据处理问题的严重程度，与其他遥感器相似。数据处理问题是将有源微波遥感器用于卫星遥感的一大障碍。要使轨道遥感系统的潜力能够充分实现，就要求数据处理技术进一步发展。

目前固态电子学的发展趋势将使微波系统继续降低功率、尺寸和重量。天线设计也将改进，但较慢。与微波遥感技术发展有关的最有希望的方面是数据处理技术和硬件的发展。预计不久多频谱成像微波系统可与目前地球资源技术卫星(ERTS)所用的多光谱扫描系统(MSS)在功率、尺寸、重量和价格方面相竞争，而数据处理能力将能达到10~30米空间分辨力而不致使设备过载。

综上所述，微波遥感器可对所研究的现象，提供用其他遥感方法所不能提供的情报；或作为辅助遥感器，对所研究的现象，提供频谱扩展的描述；也可作补充遥感器，对所研究的现象，扩展观察范围。所以微波遥感器对地球观察能有很大贡献。

微波遥感当然也不是十全十美的，其优点和弱点总结如下：

1. 优点：

(1) 能记录其他遥感器所不能观察到的现象：

(a) 能透过植被和浅表面材料；(b) 回波信号与表面组成及粗糙度有关；(c) 对植被、土壤和雪的潮湿性敏感；(d) 可控制视角，增强特征；(e) 能提供宽频谱范围的信息。

(2) 对许多应用，与可见光遥感器有相同的能力：

(a) 提供二维图象数据；(b) 有宽的面积覆盖，中到高的空间分辨力；(c) 记录土地利用图和变迁；(d) 有计算机兼容信息；(e) 对植被类型和情况敏感。

(3) 提供日、夜和几乎全天候服务。

2. 弱点：

(1) 不能记录与颜色有关的现象。

(2) 与其他遥感器数据不能空间一致。

(3) 地球静止卫星对成像运用不符合实际。

有源微波遥感器作为可见光和红外遥感器的辅助或补充设备的能力是很重要的，也许就是因为这些能力而要将微波遥感引入卫星遥感计划，但对微波遥感研究者而言，主要还是鉴定微波遥感的独特能力，明白地确立其有利条件，下面列出有源微波遥感器能提供的最实际、最有利或独一无二的获取信息方法的遥感应用。

1. 地球、陆地方面：

(1) 确定土壤水分，供农作物收成预测；

(2) 测绘雪地和冰川；

(3) 监视湖冰；

- (4) 查定自然灾害;
- (5) 作地形识别和地势分析;
- (6) 进行洪水预报和水域管理。

2. 海洋方面:

- (1) 确定海面状态和表面风;
- (2) 测绘海冰和冰山位置;
- (3) 监视海岸作用过程;
- (4) 监视风暴区波浪的生成;
- (5) 测量大地水准面的波动。

3. 大气方面:

- (1) 测绘雨云中冰冻等温线高度;
- (2) 测绘降雨强度;
- (3) 测量液体水含量;
- (4) 测绘云体系水平移动;
- (5) 测量海洋表面风;
- (6) 测绘极区海冰覆盖;
- (7) 监视风暴的最大回波高度。

微波遥感器发展计划的主要部分是训练、研究和发展。许多地球陆地方面的应用依靠图象判读技术,这就迫切地需要训练已熟悉判读空中照相的人员,使他们能判读雷达图象。脉络形状、时间关系、纹理常是判读图象的依据。相同的参数可用于分析空中照相和扫描图象,要打破这些判读人员因为对雷达图象不熟悉所产生的迟疑和顾虑,勇于做雷达图象的判读工作。

还有,图象判读人员总倾向于要求比实际需要更高的图象分辨能力。可是事实证明即使较差的分辨力,也能应用于解决许多问题,而过细的分辨力实际上常妨碍适当判读,应克服他们的偏见。

雷达图象的几何效应不同于照相和扫描图象。对某些应用,特别是对山区地形,理解这些差异也是重要的。

微波遥感有一些应用与频率有关,有一些与频率无关。有一些依靠几何结构纹理的脉络和时间的因素,但要采用低频成象雷达。与频率有关的应用,可能存在能区别边界和结构纹理的最佳频率,但是现在尚未能确定出这最佳频率,原因之一是多频率图象很少,难以进行比较。

选择极化所进行的研究工作比选择频率做得多,但决定性的最佳单极化的研究是没有的,因多数多极化研究的目的是确定极化组合的价值。对许多应用需要做确定其最佳波长一极化组合的研究工作。

许多应用要求采用多频率、多极化产生图象特征,借之能仔细分清目标类别,这在植被成象特别重要,其他如不同的频率有不同的穿透深度,结合应用,比单独一个频率能知道更多的表面情况,只在很特殊的情况下,对极少数材料进行了频谱特征研究,这方面的研究需要加强。

特征和响应的暂时变动是重要的,对基本散射过程的理解,大大有助于改进系统设计和识别微波遥感大有希望或更受限制的方面。可是,有些应用(如依赖识别水和陆地边界的那些应用)从散射的物理观点已很好理解,这类基本过程的研究,也就似乎不能对它们有所贡献。

第二章 陆地微波遥感

引言

美国航宇局 (NASA) “应用飞机研究计划”使遥感发展为重要的学科和许多用途的工具。根据这计划研制出地球资源技术卫星和天空实验室地球资源试验装置 (EREP) 遥感器,也促进了民用雷达测绘业务的发展。这计划开始于1964年,目的是研究从轨道上测绘月球表面的传感器。这些仪器主要是照相、红外、雷达、无源微波系统,将雷达包括在其中是因为预计月球表面材料中不含水分,吸收微波能量很少,可以得到月球表层下各种情报。这个设想后来在Apollo 17号宇宙飞船任务中得到证实。在1965~1966年用 Westinghouse APQ-97真实孔径多极化雷达执行了广泛的飞行计划,对500000平方公里的面积照了相。这些雷达图象应用于许多研究项目,包括地质、自然植被、农业、土地应用、水理学和海岸研究。

密执安环境研究所 (ERIM) 的高分辨力、X波段、综合孔径雷达系统曾用于地球资源飞机计划 (ERAP) 的飞行,获得了农业和地质方面的有用情报,之后增加了L波段,显示了多频雷达的潜力。也曾用于研究大湖里的冰。为此目的,在1973~1974年冰季还用过一个真实孔径X波段雷达,也获得了良好结果。

在航宇局计划开始阶段,美国海军研究实验室 (NRL) 曾用4频率雷达作散射测量,后改进成能产生综合孔径图象。这些图象最早显示多频雷达的用途。

另一种二频率雷达是为研究金星所发展的L波段系统和为月球探测所发展的较低频率系统的发展的结果。这系统曾专用于海洋和地质成象,有直接在图象上提供高度的独特性能。

在计划中飞行的雷达散射计对于发展海洋风测量技术有贡献。这技术在天空实验室上试验过,是为海洋卫星所设计的。曾用13.3千兆赫散射计在北大西洋上空飞行(6次),试验其测量风的能力,所得结果为S193微波设备证实。

当地球资源技术卫星的准备工作变得更重要时,地球资源飞机计划任务的重点就从有源微波遥感器转移。可是在此期间ERIM的二频率侧视机载雷达 (SLAR) 有了改进。美国喷气推进实验室 (JPL) 的侧视机载雷达也增加了X波段,还制造了高级应用飞行试验 (AAFE) 所用的辐射计/散射计 (RADSCAT)。在此期间微波方面的许多研究是集中于海洋风和波浪的测量,部分地支持了天空实验室的S193试验。AAFE的辐射计/散射计曾在海洋上多次飞行,也提供了一些陆上飞行数据。

用星载有源微波系统,从太空观看地球的第一次试验,是在天空实验室上用EREP的S-193试验仪器进行的。其结果将在以后讨论。

用散射计作地形测量的主要目的是了解散射系数的可能范围,已准备好了这方面的直方图,正在分析。在试验中所取得的设计情报有助于解答有关星载成象雷达所需功率的问题。

一号地球资源技术卫星的成功,清楚地向全世界表明了轨道遥感方法的实用价值和与当前许多迫切问题的关系。现正准备发射系列ERTS卫星。

与地球、陆地应用直接有关的系列卫星体系正在研究。最重要的是地球观察卫星系列

(EOS)。EOS系统的主要目标就是提供基于组装标准部件的低价格设计。这种途径使得有可能将基本卫星对不同的遥感器组合重新构形,也有可能借航天飞机作轨道修理或回收。目前为EOS—A任务所计划的主遥感器是专题测绘仪和高分辨力点成象器。EOS系列较后的卫星预期将包括综合孔径雷达系统,作有关地质调查、土地应用监视和水、冰监视等应用。

由于要求对动态现象作连续或近乎连续的观察,和需要通过云覆盖中的间隙或在一天中的规定时间作测量,导致研究从同步高度获得高分辨力图象。已排定日程,在八十年代早期发射同步地球观察卫星(SEOS),考察美国大陆和沿海区域的地球资源和中级气候现象,提供及时警报和预防(例如,洪水和风暴)。同步地球观察卫星的主要遥感器将是大型地面测量望远镜(LEST),它能在可见光和红外波段成象。预计星下点地面图象数据的分辨力在可见光波段是100米,在热红外波段是800米。除LEST仪器之外,其他备用的遥感器包括大气探测器、成象微波辐射计、微波探测器和帧摄像机。

除建议的大设备如EOS和SEOS系统之外,也研究了低费用的勘探宇宙飞船,这些飞船能借侦察火箭发射到广泛轨道范围。系统的灵活性很大,无须大改附属系统,就能适应各种要求。主要遥感器将是冷却二通道成象辐射计,提供0.8~1.1微米和10.5~12.5微米波段的数据。将作热发射和表面反照率测量,发展以热测量所得遥感数据来确定表面组成的模型。预期的应用包括表面地质学,土壤湿度和暂态热效应的调查。

七十年代末期引进的空间运输系统(航天飞机,空间实验室和空间拖船)预期对试验和运用地球观察卫星将有很大影响。如EOS的自动化宇宙飞船能借航天飞机送入轨道,可就地修理恢复,或送回地面重新装备,再行发射。在科学和技术应用的许多方面,对空间实验室计划了八十年代后期的许多任务。空间实验室也是一种组装系统,安装在航天飞机上带入轨道,执行7天到30天的任务。对地球资源勘探方面,它可作为实验飞机计划和将来的自动运用卫星计划的联系桥梁,起到灵活的轨道试验室的作用。也可在遥感器未结合进自动卫星之前或在要求天气尺度高分辨力数据的应用场合,在天空实验室进行试验和鉴定。

微波遥感器在矿业资源和地质方面的应用比其他方面都来得快。因为许多应用于照相地质学的判读技术也很容易扩展到雷达地质学。微波遥感器在许多环境中显示出了绘制地质构造和填图或推断岩性的能力。许多国家在这方面正进行广泛的活动。美国在巴拿马和巴西进行了广泛的雷达测绘。苏联自1968年就应用这种新技术。在巴拿马和其他地方显示了微波遥感器鉴定陆地形状和分析地形的能力,也显示可能识别建筑材料的能力。这方面还要进行许多研究,但是这种应用已经肯定是成功的。

在水资源的应用方面,美国Lewis研究中心于1973~1974年的冰季,用低分辨力X波段雷达系统飞行,显示了监视大湖上冰和冰移动的能力。用ERIM的X波段系统显示了较细致的分辨力的效用,在1973~1974年也显示过中等分辨力的组合X波段L波段系统的效用。

监视土壤水分对预报洪水和农业应用是很重要的。这方面的重要基本研究工作包括土壤承受强度方面的应用,在美国已经进行过许多年。土壤水分和介质性质之间的关系已恰当地确立,特别是在L波段。美国航宇局机载散射计的测量表明,当入射角小于 40° 时,不管有无植被覆盖,新灌溉的农田能清楚地与干燥地区区别开来。用微波波谱仪进行的研究表明,在合适的表面层,土壤水分指示值和观察到的雷达信号之间,存在一种直接关系。可是这些研究也表明由于按不同犁法造成的土壤表面层有不同的响应,而造成一些复杂性。

已进行过沿海潮湿地的研究,这些研究表明了Ka波段成象雷达的效用,而交叉极化回波特别有助于作出区别,也得到了证明。沿海岸湿地多频率测量证实了K和L波段频率组合的价值。

美国海军实验室和其他单位研究了盐水环境中的石油污染,结果是很成功的,已准备应用微波系统遥感污染。未试验过是否这技术能应用于内陆水,但根据物理学原理,在水受风或湍流扰动的情况下是可能的。

能确定雪的湿气含量将有很大的经济利益。还未作定量测量证实雷达有进行这类测量的能力,但定性的工作表明,潮湿的积雪可能在Ka波段图象上清楚地表现出来,回波性质显示体积散射现象。

六十年代后期对冰河进行了少量工作,指出覆盖冰河及其附近的干雪能被雷达信号穿透。于是即使在冬天,也能确定冰河边界位置。苏联也用有源微波遥感器对冰河进行了研究。

在农业、林业、牧地和土壤应用方面,俄亥俄州立大学用装在卡车上的散射计,进行过一些农作物识别,但观察的面积是有限的。从1965年开始用成象雷达和散射计进行研究。此外,用微波波谱仪也进行过大量的农作物测量。Ka波段图象表明交叉极化回波有助于区别8和9月份作物的能力。但用这种单频系统作7月份作物识别,并不令人满意。可是,由约翰逊空间中心(JSC)飞行的单频率、Ku波段、DPD—2雷达表明对小麦能清楚地识别出来,并能给出有95%准确性的收成模型。

用微波波谱仪进行过多频率作物识别试验,虽然数据分析不完全,但初步结果表明,适当选择频率,能准确地识别几种作物。最佳频率尚未查明,一个频率应比较高,可能高出X波段,最佳结果是用14千兆赫与7或4千兆赫相结合获得的。未试过用第三个频率的价值,也未试过其他高频率,但从所得的数据作初步研究,显示出两频率数据中任何实际(或可能)存在的模糊点,很容易借采用第三频率来消除。

另一种二频率试验是在堪萨斯州Garden城用ERIM的X和L波段系统进行的,借照相判读技术分析这些数据,表明能达到相当好的区分能力,但L波段不如4千兆赫效果好,这种差异或许是因为L波段能透入一些有作物的土壤,而在适宜的入射角,较高的频率对于成熟作物并非如此。

1972年夏天用堪萨斯大学的频谱仪观察到一小畦玉米的枯萎病,观察到能将这畦有病的玉米与健康的玉米清楚地区分开来的显著标志。这个别例子并无统计的重要性,只是作为一个建议来报道。还有,检查雷达图象一致地表现出田中的图案变化只能由植物长势差异引起,但过去试验飞行之后,没有能很快地得到这些图象来进行地面校验。

类似地从雷达图象中可定性地观察到放牧地的情况,有几次图象判读人员观察到篱笆两侧的放牧地在X和Ka波段雷达图象上表现出显著的色调差异,它只能由牧地情况不同引起(几乎肯定是由于牲畜吃草的情况不同)。

预报各流域的径流是管理农业水资源的重要因素,既能保持水量供将来应用,也防止洪水发生。McCoy在研究三十多个不同环境的盆地得到的结论表明^[1],借人工判读雷达图象,能得出恰当的溪流长度和斜率参数,他也表示有希望能自动地分析这些盆地。

Morain和Simonett在俄勒冈州比较干燥的山区,用相同和交叉极化Ka波段图象组合,很好地测绘了某些植被种类。同样技术曾用于美国黄石公园和犹他州测绘茂盛的植被类型。

与中、南美洲雷达测绘计划中各部分相结合，准备进行更广泛的植被测绘。

在土地利用问题方面，各调查者利用雷达图象，按区域准备了各种土地利用图。虽然这些图相当成功，但所用的那些雷达图象的分辨力不够高，不能作详细测绘，所以这些图是有点一般性的，不能像空中照相那样详细。

在相同极化的雷达图象上，汽车有很强的回波，但在交叉极化图象上只有很弱的回波，建筑物对两种极化波都有很强的回波，但仅相同极化图象有从充满汽车的停车区来的强回波，于是这现象表明存在可以应用的潜力。

在某些情况下用雷达监视洪水是显然可能的。1973年美国密西西比河洪水期间产生的图象勾画了水灾区的边界。这些图象是在乡村得到的，在城市和郊区有树木和建筑存在，未试验过这项应用。

除前面讨论的美国活动之外，许多国家对微波遥感也开展了研究，例如欧洲空间研究组织(ESRO)最近完成综合孔径雷达卫星系统可能性的研究。这项研究的主要目标之一，是证明微波传感器能满足许多运用性要求，其主要结果表明，需要能提供80公里观察幅宽、50米空间分辨力的10千兆赫聚焦综合孔径雷达，基于ESRO的研究结果，正对用于天空实验室任务的雷达系统作更仔细的研究。欧洲的科学家清楚地认识到应用地面仪器设备和机载测量，能取得很大的进展，正努力增加目前在荷兰进行的那些基本测量的项目。

第一部分 矿物资源和地质应用

一、一般目标

第一部分叙述有源微波系统在地球科学上的应用。在矿物资源、石油、地下水的探测及云层覆盖的热带地区的地貌分析中，成象雷达已经显示了独特的贡献。在土木工程方面，在选择和评价建筑(如核电站、水坝、管道、学校、医院等)的位置上可获得应用。在固态地球(Solid Earth)研究中(包括地球物理学)，也似乎有可能应用有源微波传感器在地震前检测微小的地壳运动。

有源微波传感器能提供独特的地面数据，便于进行地学的解释。当植被或薄土层覆盖遮蔽了露头的型式时，要求信号能穿透植被和薄土层。多频率微波系统能提供这种能力。此外，当采用现有的机载系统，利用微波遥感可以获得多极化地体参数及其介电性质的透视，以提供用其他方法不能取得的数据，作地体分析。

各种不同的遥感系统所希望达到的目标是相似的。遥感技术应在理论上能提供有关地球表面快速的、经济的及准确的数据，这种要求在需要重复观察和当传统的地面观察价格太贵及不实际时，是更为合理的。

二、已进行过的遥感观察与所希望的目标的比较

1. 地球资源技术卫星

地球资源技术卫星调查研究的主要地质目标是勾画出大型构造，识别新的金属矿床及石油矿床(或至少对地面勘探有希望的区域)，对于了解得很少的地区进行填图，以及监视危