

应国玲 周长宝 陈怀迁 编

微波辐射计

海洋出版社

微波辐射计

应国玲 周长宝 陈怀迁 编



海洋出版社

1992年 北京

9210079

DS89/27
内 容 简 介

本书介绍了海洋遥感技术的一个重要内容——微波辐射计,包括微波噪声辐射的基本概念、噪声辐射度量、微波辐射计系统组成和设计原则、及其噪声频谱的测定,空间平台微波辐射计的历史和发展,并专立章节叙述微波辐射计在海洋及其他方面的应用。本书可使读者对微波辐射计有系统的了解。适合海洋遥感技术应用部门、水文气象、环保、地质、农林渔、地理、军事及电子技术等部门的有关科研工程技术人员和大专院校有关专业的师生参考。

(京)新登字087号

责任编辑 王 松

责任校对 金玉筠

微 波 辐 射 计

应国玲 周长宝 陈怀迁 编

*

海洋出版社出版(北京市复兴门外大街1号)

新华书店北京发行所发行 建华印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 8.125 字数: 170千字

1992年3月第一版 1992年3月第一次印刷

印数: 1—600

*

ISBN 7-5027-0122-2/TN·2 定价: 9.00元

前 言

海洋遥感主要解决海洋学方面的应用问题，是一种现代化的海洋调查技术。海洋遥感能在整个电磁波谱上进行，包括微波遥感技术，红外遥感技术和可见光遥感技术等等。微波遥感技术作为一门新的学科，随着科学技术的发展，获得了越来越广泛的应用，它对国民经济发展和国防建设具有很大的作用。无源微波遥感技术是微波遥感技术的重要组成部分，微波辐射计则是无源微波遥感的传感器，它是研究空间物理现象和地球表面情况的重要工具。1978年美国发射的海洋卫星上载有四台微波传感器，其中就有多频道扫描微波辐射计。目前，微波辐射计在海洋环境调查、预报气象、监测环境污染、识别和测绘地形地貌、开发森林、开发地球矿藏资源及军事等方面都显示了很大的潜力，受到国内外各部门的重视。为配合海洋科研、教育和生产各部门的工作需要，我们综合参阅了国内外的有关文献，编译了《微波辐射计》一书，供有关人员参考。

本书共分七章。第一章介绍了微波辐射的有关概念；第二章叙述各种微波辐射计的组成和特点，导出了微波辐射计系统灵敏度的表达式；第三章详细叙述了微波辐射计设计，并着重于获得高灵敏度的微波辐射计；第四章介绍了测量辐射噪声频谱的两种方法——自相关法和滤波器法；第五章介绍两种实际辐射计，即卫星上用于测量海洋表面温度的高绝对精度微波辐射计和用于射电观测的微波辐射计；第六章介绍

空间平台微波辐射计的历史和现状，空间平台微波辐射计的系统及它的发展前景；第七章介绍微波辐射计在海洋及其他方面的应用。

由于海洋遥感技术涉及的概念较多，我们的业务水平也有限，因此错误和不妥之处在所难免，恳切希望广大读者批评指正。在本书编写过程中，沈成耀副教授审阅了全稿，周学松老师对部分章节进行了审阅，邱剑正同志作了全书的校阅工作，他们提出了不少宝贵意见，在此表示衷心感谢。

编 者

1986年8月

目 录

概论	(1)
第一章 微波辐射及其度量	(5)
1.1 微波噪声辐射测量过程的方框图	(5)
1.2 微波噪声辐射功率的表示方法	(6)
1.2.1 普朗克黑体辐射定律	(6)
1.2.2 功率-温度对应关系	(9)
1.2.3 亮度温度	(11)
1.2.4 视在温度	(12)
1.3 微波辐射计天线对微波噪声辐射测量的 影响	(13)
1.3.1 天线主波瓣的贡献	(13)
1.3.2 天线传递函数	(14)
1.3.3 天线温度	(15)
1.3.4 接收机信号温度	(17)
1.3.5 旁瓣的贡献	(18)
1.4 微波辐射计接收机对微波噪声辐射测量 的影响	(19)
1.4.1 接收机内部噪声的度量	(20)
1.4.2 有耗输入线的噪声效应	(26)
1.4.3 多路输入时接收机的噪声温度	(28)
1.5 大气的影响	(30)
参考文献	(33)

第二章 辐射计系统..... (34)

2.1 理想系统的灵敏度 (34)

2.2 全功率辐射计 (37)

2.3 迪克型辐射计 (41)

2.3.1 格雷厄姆型辐射计..... (45)

2.3.2 零平衡迪克型辐射计..... (46)

2.3.3 自动增益控制迪克型辐射计..... (55)

2.4 噪声相加型辐射计 (62)

2.5 单天线相关辐射计 (63)

2.6 各种辐射计灵敏度比较 (66)

参考文献 (67)

第三章 辐射计设计..... (68)

3.1 参考负载..... (68)

3.2 迪克开关 (70)

3.3 平衡噪声和校准噪声 (72)

3.4 高灵敏度辐射计中第一射频级 (74)

3.5 射频检波..... (75)

3.6 同步检波..... (77)

3.7 同步检波器后面的低通滤波器 (79)

3.8 辐射计天线 (79)

3.9 辐射计的绝对精度 (80)

3.10 辐射计的校准 (82)

3.10.1 天线校准 (82)

3.10.2 接收机的校准 (86)

参考文献 (89)

第四章 频谱测定法..... (90)

4.1 频率分辨力 (91)

4.2	频谱的温度换算	(93)
4.3	自相关频谱测定法	(97)
4.3.1	分辨力	(99)
4.3.2	等效滤波器	(99)
4.3.3	Hann窗口	(101)
4.3.4	延迟步进	(102)
4.3.5	积分时间	(103)
4.3.6	模拟相关或数字相关	(104)
4.3.7	数字相关器	(106)
4.3.8	温度换算	(108)
4.4	滤波器频谱测定法	(111)
4.4.1	寄生混频响应	(113)
4.4.2	功率检测	(114)
4.4.3	积分	(118)
4.4.4	迪克平衡方法	(121)
4.4.5	频率转换	(122)
4.4.6	全功率运用	(122)
	参考文献	(126)

第五章 实际辐射计

5.1	卫星上用于测量海面温度的高精度微波 辐射计	(127)
5.1.1	频率的选择	(127)
5.1.2	传输线	(128)
5.1.3	噪声源	(133)
5.1.4	卫星辐射计的设计和校准	(134)
5.1.5	实际设计	(139)
5.1.6	辐射计天线	(142)
5.2	一种用于射电观测的微波辐射计	(151)
	参考文献	(157)

第六章 空间平台微波辐射计	(158)
6.1 历史和现状	(158)
6.2 空间平台微波辐射计系统简介	(158)
6.2.1 微波辐射计系统的一般特征	(158)
6.2.2 空间平台的一般特征	(162)
6.3 空间平台上的一些微波辐射计实例	(163)
6.4 未来空间平台微波辐射计系统的技术 发展	(171)
参考文献	(178)
第七章 微波辐射计的应用	(181)
7.1 微波辐射计在地质科学中的应用	(181)
7.2 微波辐射计在农业、渔业和林业遥感中 的应用	(183)
7.2.1 微波辐射计在农业上的应用	(183)
7.2.2 渔业的微波辐射遥感	(187)
7.2.3 微波辐射计在森林遥感中的应用	(188)
7.3 微波辐射计在水文学及冰雪探测中的 应用	(188)
7.3.1 微波辐射计在水文学中的应用	(188)
7.3.2 在冰雪探测中的应用	(189)
7.4 微波辐射计在海洋学中的应用	(193)
7.4.1 微波辐射计测量海面温度	(193)
7.4.2 微波辐射计测量海面盐度	(195)
7.4.3 微波辐射计测量海面风速	(197)
7.4.4 微波辐射计在海洋学中其他方面的应用	(200)
7.5 微波辐射计在气象学和大气科学中的 应用	(201)
7.5.1 微波辐射计在气象学中的应用	(201)

7.5.2	微波辐射计用于大气科学研究	(203)
7.6	微波辐射计在环境污染监测中的应用	(205)
7.6.1	海洋石油污染的监测	(205)
7.6.2	监测大气污染	(207)
7.7	微波辐射计在军事科学中的应用	(207)
7.7.1	侦察海上潜艇活动	(209)
7.7.2	用于跟踪和探测导弹中段飞行和测绘其运行 轨迹	(210)
7.7.3	用于侦察地下工程、导弹基地、地下机场 等	(210)
7.8	微波辐射计在天文学及其他方面的应用	(211)
7.9	结语	(212)
	参考文献	(213)
附 录		(217)
A	辐射计灵敏度	(217)
B	带宽的定义	(224)
C	噪声温度测量中的误差	(227)
D	连续校准辐射计	(233)
E	统计估算	(239)
F	滤波器形状对输出频谱的影响	(247)

概 论

微波辐射计是工作在微波波段的无源遥感传感器，是微波遥感中最基本的传感器之一。微波辐射计本身不发射微波信号，只是被动地接收目标及环境发射的随机微波噪声。实际目标发射的微波噪声功率是相当微弱的，一般在 10^{-20} — 10^{-9} 瓦/米²量级，它甚至比辐射计的本机噪声还要小一至几个数量级，因此，微波辐射计是用来接收和记录微弱随机微波噪声的高灵敏度接收机。

微波辐射计与各种微波传感器一样，与可见光传感器和红外传感器相比，具有自己的特点。微波辐射计的第一个特点是可以全天时全天候地进行遥感工作。地球表面经常有很大一部分地区或者处于黑夜，或者为厚云、雾、雨等所覆盖，在这种情况下，可见光传感器就无法获得信息，红外传感器尽管能在黑夜工作，但对云雨覆盖的环境也无能为力。微波辐射计却不受昼夜和气象条件的限制，这在资源勘探、环境监测、科学研究以及军事侦察方面都有重大意义。微波辐射计的第二个特点是有一定探测浅表层特性的能力。微波能穿透一定深度的植被、土壤以及其他目标，这对于农业、林业、土地利用、地下工程、寻找地下矿藏、发现地下军事设施等方面都显示了它的优点。然而，微波辐射计与可见光和红外传感器相比，它的空间分辨力比较低。

微波辐射计一般由三部分组成，即天线系统、超外差式高灵敏度接收机和数据处理系统。微波辐射计的主要技术指标

9210079

1

是温度分辨力和空间分辨力,温度分辨力也称灵敏度,在本书中将对它作较详细的叙述。空间分辨力取决于天线口径 D 、工作波长 λ 以及观测距离 H ,空间分辨力可以写成 $W =$

$\frac{\lambda}{D}H$ 。由于波长 λ 不能很小,天线口径又不能做得太大,

所以限制了空间分辨力的提高。由于微波辐射计具有较高的温度分辨力,在某些实际应用中,可以弥补其空间分辨力低的缺点。微波辐射计接收的噪声信号与距离的平方成反比,而有源微波传感器接收的信号与距离的四次方成反比,因此,微波辐射计探测的距离变化动态范围比有源微波传感器大。与有源微波传感器相比,微波辐射计还具有体积小、重量轻、功耗省、成本低、信息量丰富等优点,而且由于微波辐射计不发射信号,因此易于隐蔽。

自1946年迪克提出第一个实用的开关式辐射计以来,其发展速度是迅速的,现在所用的微波辐射计基本上都是在迪克式辐射计的基础上加以改进的。从最初的迪克开关辐射计发展到噪声注入控制零平衡反馈辐射计、双参考温度自动增益控制辐射计和成像辐射计等;从单频段的简单辐射计发展到两频段、四频段、五频段乃至更多频段的多频段辐射计;从单一用途的微波辐射计发展到当代的多用途辐射计。从天线类型来看,从一般固定的抛物面天线发展到目前先进的扫描式相控阵天线。就接收机系统而言,由于新器件的研制成功,由原来体积和重量都很大的电子管辐射计发展到目前的微型化集成式辐射计。由于采用大容量、高速度计算机,使数据处理数字化、模式化。辐射计探测目标的精度也不断地提高,温度分辨力从开始的几开发展到目前的0.02开。

从本世纪四十年代开始,由于开展了射电天文学的研

究，大大促进了微波辐射计的研制工作。五十年代开始了地表特性的研究。随着微波器件性能的提高和技术的进步，辐射计的基本性能也得到了很大的改善。六十年代开展了用于地球环境遥感的微波辐射计研制工作，七十年代以来，微波辐射计更频繁地用于海洋、陆地以及冰雪等表面特征的研究。目前微波辐射计已发展成为环境卫星遥感技术系统的组成部分。与此同时，地面微波遥感和航空微波遥感的试验及应用研究都得到了相应的发展。为配合陆地、海洋以及大气等各个领域遥感的需要，分别研制了各种类型和各种波长的微波辐射计。许多国家研制了在地面的固定平台或移动式平台（如遥感专用试验车等）上的微波辐射计，它对进行波谱特性的研究及其他有关辐射特性的基础研究起了重要作用，这些研究是机载和星载遥感研究的前提，各国对此非常重视。机载平台微波辐射计是星载微波辐射计的过渡阶段，1964—1965年美国装备了两架遥感飞机均载有微波辐射计。机载平台的微波辐射计对于环境污染监测是十分重要的，目前已成为监测油污染、热污染以及其他环境污染的重要工具。随着空间技术的迅速发展，研制了星载辐射计，美国相继发射的雨云系列卫星、海洋卫星、泰勒斯系列卫星、天空实验室以及苏联发射的宇宙243、宇宙384等也分别载有各种微波辐射计。海洋卫星上微波传感器占80%。在未来的研究规划中，微波传感器将占有更大的比重，微波辐射计的应用也将显示出更大的潜力。

微波辐射计在射电天文、环境监测、气象、海洋、水文、农业、林业等学科以及军事侦察中正在或将要获得广泛的应用。在实际应用中，微波辐射计是在一定的距离上测量被观测目标本身发射（或反射）的非相关电磁波能量，目标

本身发射的辐射强度和波长特性与目标的物理和化学特性、温度及表面状态有关，如果我们事先知道这种关系，就可以从微波辐射计所搜集到的数据资料反演出目标的有关信息，最终获得所需的目标辐射特性，进而识别不同类型的目标。微波辐射计与被测目标之间有大气、地层或水等介质存在，介质对遥感信息的传输产生一定的影响，就是说由于介质的插入而衰减了目标的实际信号强度，同时它又提供了自己的信息，因此，在设计辐射计系统、选择工作波长以及解译遥感数据时都必须考虑这些影响。微波辐射计通过探测目标本身发射噪声信号的大小和变化来识别目标的某种性质，因此，对于目标周围的其他物体和传播介质等发射的背景噪声影响必须在数据处理中消除。

随着电子技术、微波技术、计算机技术、自动化技术以及其他新技术、新工艺和新设备的发展，为微波辐射计的设计、研制和试验研究展现了广阔的前景。航空和航天的微波辐射计越来越多，微波辐射计的结构类型不断地更新，并朝着高绝对精度、高灵敏度、多用途、多极化、全频段覆盖和提高空间分辨力的方向发展。在空间技术不断发展的年代里，微波辐射计在提高国民经济效益中的意义是毋庸置疑的。

第一章 微波辐射及其度量

任何物质都存在着大量的带电粒子，它们之间不断地碰撞，引起了带电粒子运动状态的变化，这种变化，使物质辐射出电磁波。辐射的电磁波由不同频率的非相关波组成，它们是随机的，并具有很宽的频谱和不同的极化方向，我们把这种电磁波辐射称为噪声辐射。在电磁波谱中，把频率1000兆赫—300吉赫范围内的电磁波称做微波，在这个频段内的噪声辐射称为微波噪声辐射。微波噪声辐射功率是很微弱的，一般在 10^{-20} — 10^{-9} 瓦/米²量级。应用专门的设备能检出这种微弱的微波噪声辐射。微波辐射计用于记录和测量由定向天线接收到的微弱的微波噪声辐射的变化，依据测得的微波噪声辐射的变化，经过分析、处理和判读，能认识目标的性质及其变化规律。

本章首先介绍微波噪声辐射的测量过程，然后讨论影响微波噪声辐射测量的各种因素，包括微波辐射计天线的影响，接收机的影响和大气的影响等。

1.1 微波噪声辐射测量过程的方框图

图1.1画出了无源微波遥感的过程。微波辐射计天线指向观测的目标，它把被遥感的对象与辐射计接收机联系起来，目的是接收和测量天线主波瓣覆盖的区域所发射的微波噪声辐射，并建立辐射计输出电压 V 。或者图象亮度与目标

发射的微波噪声功率的关系。图1.1考虑了影响微波噪声辐射测量的各种因素。

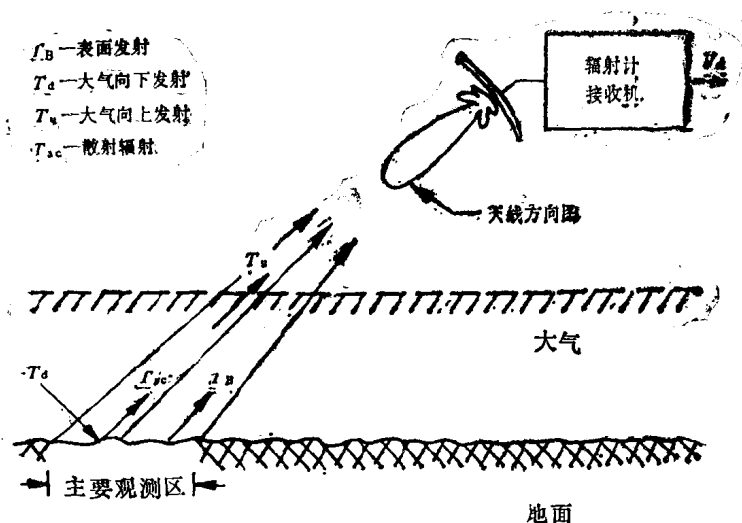


图 1.1 影响辐射计天线接收微波噪声辐射的各种因素

图1.2是微波噪声辐射测量过程的方框图。图中有四个虚线画出的方框，即（1）主波瓣的贡献；（2）旁瓣的贡献；（3）天线传递函数；（4）接收机的传递函数。在后面的各节中，将对它们进行详细的讨论。

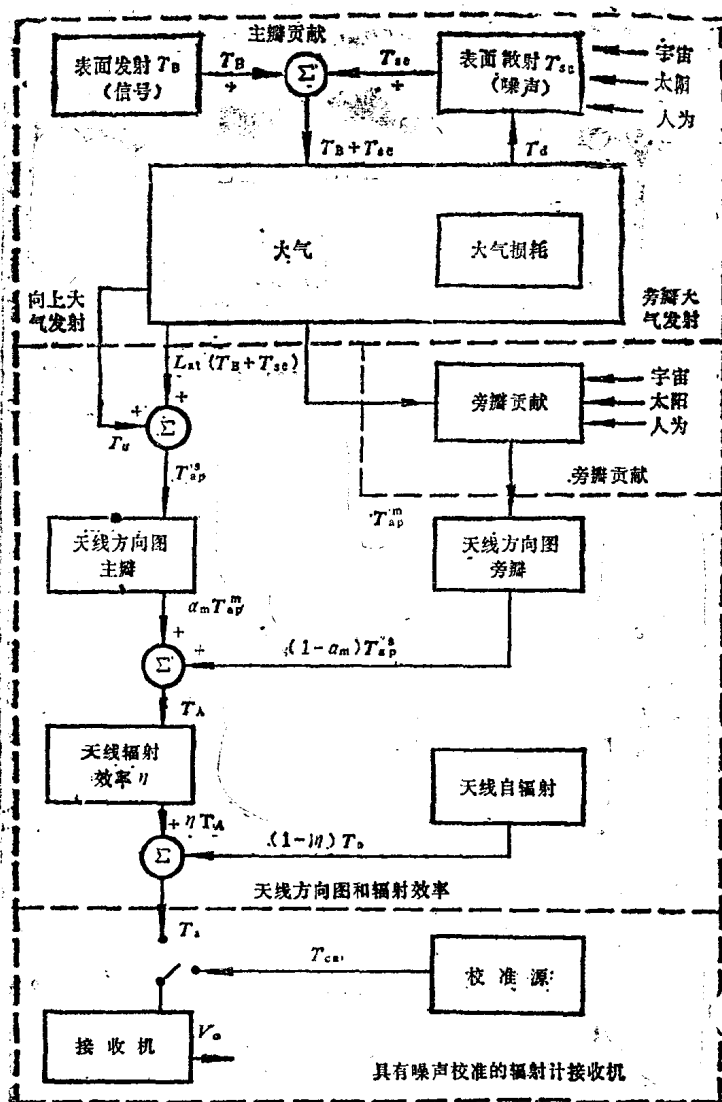


图1.2 微波噪声辐射测量过程的方框图