

高等学校教材

微波遥感

汪国铎 金佩玉 编

电子工业出版社

高 等 学 校 教 材

微 波 遥 感

汪国铎 金佩玉 编

電 子 工 業 出 版 社

内 容 简 介

微波遥感是一门多学科交叉和互相渗透的边缘学科,具有广阔的应用前景。本书系统、全面地论述微波遥感的理论基础、微波遥感器和应用。全书共四章,第一章综述了微波遥感基本概念、特点和发展概况;第二章阐述了微波与物质相互作用的机理,电磁波的传播特性、物质的电磁辐射、热辐射的基本定律,微波与地物、大气的相互作用等;第三章介绍了各类微波遥感器,诸如微波辐射计、微波散射计和侧视雷达等;第四章简要介绍了微波遥感的数学模型以及在海洋、陆地、大气探测中的应用。

本书适于电磁场微波技术专业的大学生和研究生阅读,也可供有关专业的工程技术人员参考。

高等学校教材

微波遥感

汪国铎 金佩玉 编

责任编辑 龚兰方

电子工业出版社 出版(北京万寿路)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

山东电子工业印刷厂印刷

(淄博市周村)

开本: 787×1092毫米1/16 印张: 12.125 字数: 310千字

1989年8月第一版 1989年8月第一次印刷

印数: 1—1200册 定价: 2.50元

ISBN7-5053-0584-0/TN·212

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定,我部承担了全国高等学校、中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力,有关出版社的紧密配合,从1978年至1985年,已编审、出版了两轮教材,正在陆续供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要,贯彻“努力提高教材质量,逐步实现教材多样化,增加不同品种、不同层次、不同学术观点、不同风格、不同改革试验的教材”的精神,我部所属的七个高等学校教材编审委员会和两个中等专业学校教材编审委员会,在总结前两轮教材工作的基础上,结合教育形势的发展和教学改革的需要,制订了1986~1990年的“七五”(第三轮)教材编审出版规划。列入规划的教材、实验教材、教学参考书等近400种选题。这批教材的评选推荐和编写工作由各编委会直接组织进行。

这批教材的书稿,是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐,由编审委员会(小组)评选择优产生出来的。广大编审者、各编审委员会和有关出版社为保证教材的出版和提高教材的质量,作出了不懈的努力。

限于水平和经验,这批教材的编审、出版工作还会有缺点和不足之处,希望使用教材的单位,广大教师和学生积极提出批评建议,共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

机械电子工业部教材办公室

前 言

本教材系按电子工业部的工科类专业教材1986~1990年编审出版规划,由电磁场与微波技术教材编审委员会微波技术教材编审小组征稿,推荐出版,责任编委林德云。

本教材由上海科学技术大学汪国铎担任主编,浙江大学王湖庄担任主审。

本课程的参考学时数为60学时,其主要内容由概论,微波遥感的基本原理,微波遥感器和微波遥感的应用等四章组成。第一章综述了遥感的基本概念,研究内容,空间遥感的优越性,以及微波遥感的特点与发展概况。第二章讲述了电磁辐射的基本特征,微波与物质相互作用的机理,微波遥感的技术基础等,着重讨论了电磁波的传播特性,物质的电磁辐射,热辐射的基本定律,微波与地物的相互作用,微波与大气的相互作用,还简要地介绍了微波遥感用的各种天线及其基本参数,阐明了基于雷达探测原理的微波遥感探测的基本概念,特别是分辨率,信号衰落原理,功率—温度对应关系,辐射传递方程等进行了较详细的讨论。主要从物理和雷达技术的角度,比较全面深入地讲清楚微波遥感的基本原理。第三章从微波系统的观点出发介绍了微波辐射计,微波散射计和侧视雷达等各种微波遥感器的用途,特点,设计思想,工作原理和测量方法,特别对辐射计和散射计的校准以及合成孔径雷达的基本原理进行了较深入的讨论。第二、三两章是全书的核心和重点,是本教材的主体。第四章简要介绍了微波遥感的各种数学模型及其作用,以及微波遥感在海洋,陆地和大气探测中的一些重要应用。

本教材是学习微波遥感技术的导论性课程,鉴于它是一门多学科交叉和相互渗透的边缘学科,综合性强,涉及面广,要求读者具有相当广泛的知识基础。但是,本教材的主体内容仍属微波技术应用的范畴,建立在电磁场理论和雷达技术基础之上,因此,学习本教材的先修课程是《电磁场与电磁波》,《微波技术》和《模拟电子线路》等。这是使用本教材时应注意的。

本教材适合高等学校工科电子类电磁场与微波技术专业本科高年级学生和研究生选修,亦可供从事遥感技术工作的科研和工程技术人员参考。

本教材由汪国铎编写第一,二,三章,金佩玉编写第四章,汪国铎统编全稿。参加审阅工作的还有沈文达,徐得名等同志,他们都为本书提出许多宝贵意见。吴国忠、高水娟、盖星一、奚文新、许新民和季洁等同志也为本书的出版付出了辛勤的劳动,这里一并表示诚挚的感谢。由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 概论.....(1)

1.1 遥感的基本概念.....(1)

1.2 遥感技术的研究内容.....(5)

1.3 航天遥感的优越性及其 应用.....(11)

1.4 微波遥感的特点及发展 概况.....(13)

习题.....(17)

第二章 微波遥感的基本原理.....(18)

2.1 电磁辐射及其性质.....(18)

一、电磁波的基本特征.....(18)

(一) 叠加原理.....(18)

(二) 相干性和非相干性.....(19)

(三) 衍射.....(20)

(四) 极化.....(20)

(五) 多普勒效应.....(21)

二、物质的电磁辐射.....(22)

三、黑体和黑体辐射定律.....(23)

(一) 黑体和黑体辐射.....(23)

(二) 辐射量.....(24)

(三) 黑体辐射定律.....(28)

四、黑体的辐射效率.....(32)

五、非黑体辐射.....(32)

2.2 微波与物质相互作用的机理(35)

一、微波与地物的相互作用.....(35)

(一) 地球表面对入射电磁波的反射, 散射和透射.....(35)

(二) 地球表面的热辐射.....(48)

二、微波与大气的相互作用.....(49)

(一) 微波与气体分子的相互作用.....(50)

(二) 微波与云雾和降水微粒之间的 相互作用.....(54)

2.3 微波遥感的技术基础.....(56)

一、微波遥感用的天线.....(57)

(一) 天线的基本参数.....(58)

(二) 辐射源.....(62)

(三) 非均匀照射.....(65)

二、微波遥感探测的基本概念.....(67)

(一) 雷达方程和散射系数.....(68)

(二) 分辨率.....(69)

(三) 模糊度和模糊函数.....(74)

(四) 信号衰落及其统计特性.....(79)

三、微波辐射测量的原理.....(83)

(一) 功率—温度的对应关系.....(83)

(二) 天线的辐射温度及其接收到的能 量组成.....(84)

(三) 辐射传递方程及其通解.....(87)

(四) 温度均匀分布的均质媒质的表现 温度.....(91)

习题.....(93)

第三章 微波遥感器.....(95)

3.1 微波辐射计.....(95)

一、概述.....(95)

二、全功率辐射计.....(97)

三、Dicke型比较辐射计.....(98)

(一) 非平衡式Dicke型辐射计.....(98)

(二) 平衡式Dicke型比较辐射计.....(100)

四、Graham型辐射计.....(100)

五、提高温度分辨率灵敏度的 方法.....(101)

(一) 零平衡技术.....(101)

(二) 自动增益控制技术.....(104)

六、噪声相加型辐射计.....(108)

七、相关辐射计.....(109)

八、辐射计的校准.....(109)

(一) 接收机的校准.....(110)

(二) 天线的校准.....(114)

九、微波辐射计的成象方法.....(117)

(一) 天线扫描波束的获得.....(117)

(二) 天线的机械扫描.....(118)

(三) 机械扫描成象微波辐射计的几何 关系.....(118)

3.2 雷达高度计.....(119)

一、高度计的种类.....(119)

二、高度计的回波功率谱.....(119)

三、典型的脉冲高度计.....(120)

3.3 微波散射计	(121)
一、概述	(121)
二、散射特性的测量	(122)
(一) 目标与传感器相互作用的过程	(122)
(二) 雷达图象信息的处理	(122)
(三) 系统常数 k 和 σ^0 的确定	(123)
(四) 散射测量中的三个基本问题	(123)
三、测角—测距系统	(124)
(一) 概述	(124)
(二) 机载扇形波束脉冲散射计	(125)
(三) 调频散射计	(128)
四、测角—测速系统	(130)
(一) 概述	(130)
(二) 零拍连续波多普勒散射计	(131)
(三) 超外差连续波多普勒散射计	(132)
(四) 多普勒散射计几何关系的讨论	(132)
五、地面波谱仪系统	(134)
(一) 概述	(134)
(二) 连续波调频地面散射计的工作原理	(134)
六、散射系数的测量	(136)
(一) 散射计系统的校准与 σ^0 的测量	(136)
(二) 标准反射体	(136)
3.4 侧视雷达	(137)
一、概述	(137)
二、侧视天线雷达系统	(139)
三、合成孔径侧视雷达	(140)
(一) 关于“合成孔径”的几种观点	(140)
(二) 合成孔径的原理	(140)
3.5 微波全息雷达简介	(144)
3.6 微波遥感仪器的发展方向	

习题	(147)
第四章 微波遥感的应用	(149)
4.1 微波遥感模型	(149)
一、粗糙表面散射模型	(150)
(一) Chu-Stratton积分方程和几种近似解法	(150)
(二) Twersky 的二维粗糙面散射模型	(151)
(三) Twersky 的三维面散射模型	(153)
(四) 统计稍粗糙面散射模型	(154)
(五) 复合粗糙面散射—二尺度散射模型	(155)
二、体散射的统计模型	(157)
三、混合物介电常数的经验模型	(159)
4.2 海洋和陆地的微波遥感	(161)
一、海洋遥感的现实意义	(161)
二、海浪谱和布喇格谐振条件	(161)
三、陆地回波的一般性质	(165)
四、微波遥感在海洋和陆地探测中的一些应用	(166)
4.3 大气微波遥感	(178)
一、大气微波遥感的意义	(178)
二、大气微波辐射模式	(179)
三、空间微波遥感在大气研究中的作用	(181)
四、大气和气象要素的地面微波遥感	(182)
习题	(186)
主要参考资料	(187)

第一章 概 论

近三十年来,由于生产力的高速发展,使得有限的地球资源与生产对自然资源需求不断增长之间的矛盾日趋尖锐,以及由于生态环境不断地遭到人为污染和自然灾害的破坏,使人类的生存面临着严重的挑战,这就促使人们不得不考虑如何更有效地开发利用地球资源和保护生态环境,因此,调查和管理地球资源,实时监测和预报人为环境污染与自然灾害就成为非常迫切需要解决的问题,而要解决这些问题,使用直接现场观测的传统方法已远远不够,必须寻求能获得大范围实时动态信息,大大提高资源调查管理和环境监测预报能力与水平的新技术,这种新技术就是遥感技术。于是,各种方式的遥感便应运而生,而物理学,空间科学,信息科学和计算机科学等科学技术和相应工业的发展又为它们的迅猛发展提供了理论技术和物质的坚实基础。目前,遥感技术正在成为世界各国十分重视的一门科学技术。

1.1 遥感的基本概念

遥感技术属于空间科学的范畴,它是一门新兴的,多学科交叉的,综合性的科学技术,是空间技术与电子技术相结合的产物。

‘遥感’一词源于美国,原文是Remote Sensing,由美国人 Evelyn L. Pruitt 于 1960 年首先提出,在 1962 年美国召开的第一次环境科学讨论会上被正式采用,以后便广为传播。

顾名思义,所谓遥感就是‘遥远感知’的意思,即在一定距离以外感受,探测和识别所需要研究的对象,广义地说,凡是不直接接触被探测的目标而能收集,记录其信息,并把它们转换成人们可以识别和分析的信号或图象的技术,统称为遥感。例如,人通过眼,耳,鼻、脑等器官感测声,光、味,热等物理现象而识别各种事物,响尾蛇对红外线的敏感性,蝙蝠探测回声定位等,就是自然界中动物所具有的本能性的遥感,再如,日常生活中司空见惯的照相也是一种遥感,因此,遥感并不是什么新鲜的东西而是现实生活中早已存在的客观现象。

然而,我们所要介绍和讨论的遥感,其含义当然要比上面所讲的狭窄得多,仅限于电磁波遥感,它指的是,以地球为研究对象,通过电磁波传感器,收集地面目标辐射或反射的电磁波,获得其特征信息,经过接收记录,数据传输和加工处理,变成人们可以直接识别的信号或图象,从而揭示出被测目标的性质和变化规律,具体地说,电磁波遥感就是根据电磁场理论,将光学的,红外的或微波的遥感器装在固定工作平台或飞行器上,从几米,几十米,几百米,几千米甚至几百公里,几千公里之外探测和鉴别地面上的物体,它不仅能感知实际存在的物体,而且亦能探测曾经在某处停留过的东西,例如,飞机场上的飞机虽已高飞,但在一定的时间内还可以用红外热像仪摄下飞机在原来停留之处的影子,并重现在仪器的屏幕上。

电磁波遥感是建立在现代科学技术基础上的一种新技术，它的实现有赖于采用先进的技术手段，一个完整的电磁波遥感系统完全类似于人的视觉系统，由下列三大部分组成：

(1) 传感器 它好比人眼，能感受目标物体所辐射或再辐射（反射和散射）的电磁波，记录与目标特性有关的信息；

(2) 信息传输系统 它好比人的视觉神经系统，能把传感器获得的目标信息传送给信息处理设备；

(3) 信息处理设备 它好比人的大脑，能识别目标究竟是什么。

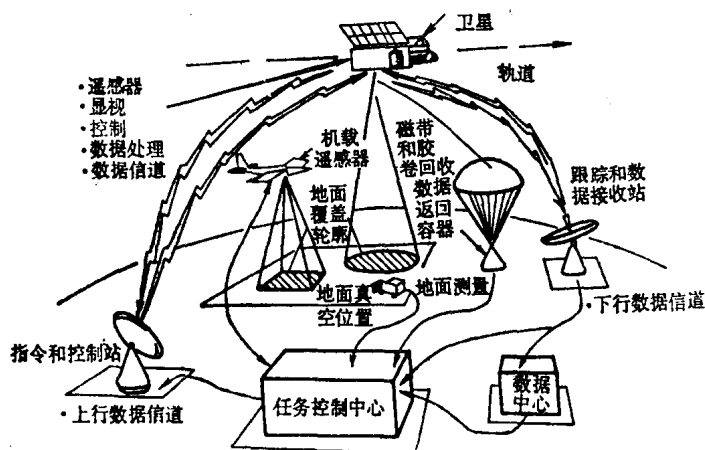


图 1.1 遥感技术系统

图1.1是遥感技术系统的示意图，由图可以看出，一个现代遥感系统的组成必须包括：(1) 安装遥感仪器的运载工具（亦称遥感工作平台，英文是Platform），如车辆，飞机，卫星等；(2) 传感器（英文是Remote Sensor），是用来接收，记录被测目标电磁辐射的传感器，如照相机，扫描仪，雷达等；(3) 无线电通信系统，

用来控制，跟踪遥感仪器设备和传输传感器所获得的目标信息；(4) 信息处理系统，用来处理，分析，解译各种遥感信息。

从遥感技术系统的组成可以知道，遥感实现的一般过程是：首先，目标的电磁辐射通过周围环境（如大气）进入传感器；传感器将目标的特征信息加以接收，记录和处理后再以一定的方式（如无线电通信）传送给信息处理系统（如电子计算机）；信息处理系统将遥感信息进行加工处理，变成人们能够识别和分析的信号或图象；最后，将遥感资料供用户研究和实际应用。因此，设计一个遥感系统必须考虑下列因素：

(1) 电磁辐射源的特性 如波段、入射角、强度、极化（亦称偏振，下同）方式等；

(2) 目标的物理特性 如形状、大小、表面粗糙度、发射率、反射系数、介电常数、电导率等；

(3) 目标与传感器之间的媒质对电磁辐射传输的影响 如大气对电磁辐射的吸收、散射、透射等

(4) 传感器的性能 如灵敏度、分辨率、视场大小、高度等；

(5) 信息处理和识别的方式 如光学处理、计算机处理、光电混合处理、目视判读、计算机识别等。

遥感之所以能够根据收集到的电磁辐射信息来识别地面目标和现象，是基于电磁波与物质的相互作用。一切物体，由于其种类（性质，形状，结构等）和环境条件的不同，它就具有完全不同的电磁辐射特性。当电磁波与物体（不论是固体，液体，气体，还是等离子体）相遇时，会发生各种相互作用，并服从动量和能量守恒定律。在物体表面发

生的相互作用称为面效应，电磁波透入物体表面以下一定距离发生的相互作用称为体效应，相互作用的结果会使入射电磁波的振幅，方向，波长，相位和极化等发生变化，从而产生各种有用的特征信息，由此便能识别不同的物体，相互作用主要有：

- (1) 入射电磁波被物体散射或反射，亦称为再辐射或二次辐射；
- (2) 入射电磁波透入物体内部，产生折射；
- (3) 入射电磁波被物体吸收并失去大部分能量，这部分能量使物体发热，称为热效应；
- (4) 物体本身由于发热可以发射电磁波，称为热辐射，它是物质结构和温度的函数。

遥感有各种不同的类型，从不同的角度，可有不同的分类方法，习惯上，可按遥感器的工作波段，遥感器的工作方式，运载工具，遥感信息的形式以及遥感的应用领域来划分。

按工作波段划分

电磁波的范围很宽，实验证明，波长从 1×10^{-11} 厘米开始的 γ 射线，x 射线，紫外线，可见光，红外线直到无线电波(包括微波)都是电磁波。图 1.2 就是各种电磁波按波长(或频率)大小依次排列的电磁波谱图，它们遵从 $\lambda f = c$ 的基本关系式(λ 为波长， f 为频率， c 为光速)，但是，各种类型的电磁波，由于波长(或频率)范围的不同，它们的辐射

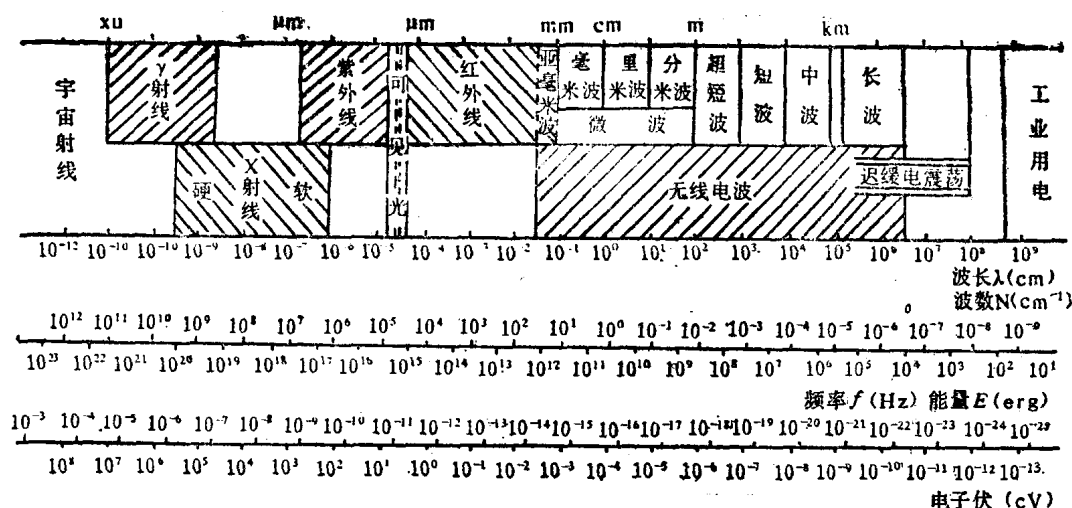


图 1.2 电磁波谱

特性(反射，折射，极化等)和传播特性(方向性，穿透性，衰减等)也有很大的差别，这种质的差别正是波长在量上的渐变引起质的飞跃的结果，由于电磁辐射特性和大气传播特性的限制，遥感器选用的波段主要限于可见光，红外线和微波波段，紫外波段中只有波长为 $0.3 \sim 0.4$ 微米的电磁波能够穿过大气层传播，可用照相机和光电探测器进行探测，被称为摄影紫外，已开始用于环境遥感，波长为 $0.4 \sim 0.7 \mu\text{m}$ 的波段，称为可见光波段，波长为 $0.7 \sim 1000 \mu\text{m}$ 的波段，称为红外波段。其中又可细分为近红外($0.7 \sim 3 \mu\text{m}$)，中红外($3 \sim 6 \mu\text{m}$)，远红外($6 \sim 14 \mu\text{m}$)超远红外($14 \sim 1000 \mu\text{m}$)，波长为 $1 \sim 1000 \text{mm}$ 的波段，称为微波波段。其中又可细分为毫米波($1 \sim 10 \text{mm}$)，厘米波($1 \sim 10 \text{cm}$)和分米波

(10~100cm)。按工作波段划分,可将遥感分为可见光遥感,红外遥感和微波遥感三大类,适应各种遥感器的不同波段见表1.1。

表1.1 各种遥感器使用的波段

波 段	波 长(μm)	遥 感 器
紫 外 线	0.3—0.38	摄影照相机 } 电 视 摄影机 } 扫描仪
可 见 光	0.38—0.78	
近 红 外	$\begin{cases} 0.78—0.9 \\ 0.9—1.1 \end{cases}$	
中 红 外	3.5—5.5	
远 红 外	8.0—14.0	雷 达
超远红外-微波	14—1000	
微波-无线电波	$10^3—10^6$	

按工作方式划分

因遥感器工作方式不同,可将遥感分为被动遥感和主动遥感两大类。

凡是利用遥感器直接接收和记录目标物体所反射的太阳辐射或物体自身辐射的电磁波的遥感方式,称为被动遥感或无源遥感(Passive Remote Sensing)。反之,如果利用人工辐射源从固定工作平台或飞行器上向目标物体发射电磁波,然后再由遥感器接收和记录被目标物体反射回来的电磁波,那么,这种遥感方式就称为主动遥感或有源遥感(Active Remote Sensing),它既不依赖于太阳辐射,也不依赖于目标的自身辐射。

按运载工具划分

若按遥感器的运载工具划分,又可将遥感分为地面遥感,航空遥感和航天遥感三大类:

一般地说,凡是在地面上以高层建筑,铁塔或汽吊车作为感遥工作平台的探测方法,称为地面遥感;凡是在大气层下界利用飞机,气球或火箭作为感遥工作平台的探测方法,称为航空遥或空感中遥感;凡是在地球外层空间以人造地球卫星或宇宙飞行器作为遥感工作平台的探测方法,称为航天遥感或空间遥感。

按遥感信息的形式划分

根据获得的遥感信息的不同表现形式,可将遥感分为成象方式遥感和非成象方式遥感两大类:

凡是能够获得图象结果的遥感,称为成象方式遥感,其中,按不同的成象原理又可分为摄影方式成象遥感和非摄影方式成象遥感。前者通常指的是用光学原理获得遥感图象信息的摄影成象遥感,如使用多光谱相机进行探测的遥感;后者指的是用光—电转换原理获得遥感图象信息的扫描成象遥感,如使用红外扫描仪,多光谱扫描仪,微波扫描仪和侧视雷达等进行探测的遥感。

凡是只能获得数据或曲线而不能最终获得图象信息的遥感,称为非成象方式遥感,如使用红外辐射计和微波辐射计等进行探测的遥感。

按遥感的应用领域划分

遥感技术目前已广泛地在地质、地理、农林、水文、气象、渔业和环境保护等方面获得了较好的应用,按不同的应用领域,可以将遥感分为地质遥感、农业遥感、森林遥

感、气象遥感、渔业遥感和环境遥感等等、以此类推、还可以有其它各种各样的遥感。但是,按照应用的空间领域来说,一般将遥感分为陆地遥感、海洋遥感和大气遥感三大类。

1.2 遥感技术的研究内容

以电磁波谱为基础的电磁辐射是传输信息的无限能源,它是传感器和目标之间高速联系的纽带,传感器所获取的目标信息,实质上是目标辐射的电磁波能量,电磁波的波长不同,其相应的能量也不同,遥感技术的研究,很大程度上就是研究人们如何利用这一能源的有效方法,一般地说,遥感技术的研究内容主要包括地物波谱特征的测量,电磁辐射与物质相互作用机理的研究,遥感信息的获取,遥感信息的压缩与传输,以及遥感信息的处理,分析和解译技术等。

所谓地物的波谱特征,是指电磁波与物质相互作用的结果及其变化规律,即地面,海面目标和大气辐射,反射(散射),透射和吸收等波谱特征以及这种特征信息的传输规律,遥感就是根据这些物理特性变化的信息来识别目标的,因此,地物波谱特征的观测和研究是应用和发展遥感技术不可缺少的基础工作。

例如,微波遥感中经常测量的物理量是发射率,亮度温度(表观温度),反射系数和散射系数等。目标不同,这些物理量的变化规律也不同;即使同一个目标,由于它和微波的相互作用方式不同,这些物理量的变化规律也不一样。实现微波遥感的前提,就是要获得目标的准确的微波波谱特征。这种研究是实践和理论紧密结合的。它既包括在实验室,实验场或者现场的观测,将获得的资料经过分析整理,绘制成图表;也包括从实验观测得到的数据中发现规律,应用物理学中的基本定律和数学方法,建立数理模型,研究各变量间的相互关系,推断物理量变化的趋势或规律,为数据库提供有效的曲线,图表和计算机程序。这就是正在方兴未艾地进行研究的微波遥感的模型理论,简称微波遥感理论。所以,微波波谱特征的研究不但是十分繁重的实验工作,而且是相当复杂的理论工作,但是,一旦将理论和实践有机地结合起来并不断改进遥感的数理模型,使之更符合实际,就会具有很大的指导意义。

微波地物特征的理论研究对解释遥感信息具有重要意义,是当前微波遥感的主要研究课题之一、因为微波遥感与可见光,红外遥感的主要区别之一,就是微波遥感得到的图象和人眼通常所观察到的,无论在灰度,色度,纹理和走向等方面都不尽一致甚至很不一致,为了弥补人眼不能用微波电磁波直接观察和认识世界之不足,开展微波地物特征的研究也许是唯一有效的办法,这是微波遥感的基础,是使微波遥感真正发挥作用的关键所在。

微波遥感的模型理论,实质上是研究电磁波与物质的相互作用问题。它依赖于数学,物理以至化学,地学等方面的知识,研究模型理论的目的,一是根据已知的目标特性,解释获得的遥感数据;二是根据获得的遥感数据,推知目标特性,习惯上,把前者称为正问题,一般困难不大;后者称为反问题或电磁反演问题,难度较高,目前尚未很好地解决。

由基本物理规律导出的数理模型已逐步成为微波遥感数据处理中的一种有力工具。

它可用来研究几个选定变量之间的相互关系，检验所假设的有关主要因素。发现和分析尚未考虑到的因素，发展数理模型的行之有效的办法是：先测量一些简单的场区，再用简单的模型分析所得到的具体结果，然后系统地逐渐增加场区和模型的复杂性，即由简单到复杂，由特殊到一般。建立一种微波遥感的理论模型，应从下列三方面着手：

(1) 选择适当的几何结构 按照不同情况，一般把目标看成各种规则的几何形状，如半空间平面或平面分层结构，球面或球面分层结构等。

(2) 假设目标的媒质特性 通常，遥感目标都是不均匀媒质，其中可能是介电常数不均匀，也可能是温度不均匀，或者两者都不均匀，这种不均匀分布基本上是随机的。

(3) 边界条件 模型理论中处理的媒质之间总是有界面的，即使是半无限空间也应该有一个界面。按照瑞利准则，若界面起伏小于 $\lambda/(8\cos\theta)$ ，属镜面或光滑面，通常的Fresnel定律，Snell定理都可使用；若界面起伏大于 $\lambda/(8\cos\theta)$ ，属粗糙界面，要用另外的方法处理。

还要指出的是，辐射传递方程是研究微波遥感特征理论的重要基础。无论是被动微波遥感还是主动微波遥感，只要使用相应的辐射传递方程和边界条件，原则上都可求解。但是，实际上由于辐射传递方程通常是微分-积分方程组，难以获得解析解，一般要用数值方法近似求解。

此外，并矢格林函数也是求解电磁问题的有力工具。在地球微波遥感理论中，借助于并矢格林函数能方便地求解散射场，从而求得亮度温度。这种方法的优点在于：一旦得到并矢格林函数后，就可用散射波迭加法求出散射场，再由散射场求出亮度温度，而不用求解复杂的微分-积分方程组。其困难是，寻找并矢格林函数并不容易。

所谓遥感信息的获取技术，是指将遥感器载于工作平台对目标进行探测，以收集，检测和处理从目标获得的信息，并转变成可供人们识别和分析处理的信号。因此，遥感工作平台和遥感器的研制是进行遥感研究的先决条件，也是发展遥感技术的重要内容。

遥感工作平台可以是简单的铁塔，高层建筑和机动车辆，也可以是气球，飞机等航空飞行器以及复杂的火箭，人造卫星和航天飞机等宇宙航行器，特别是遥感用的飞行器。其运行特征和姿态稳定性等，会直接影响遥感器性能的正常发挥及遥感数据的质量，必须予以关注和重视。关于运载遥感器的工作平台的性能，设计等，因超出本课程的范围，这里不予介绍。

遥感器也是一种传感器，它是将电量转换成非电量的一种测量装置，是遥感技术系

表1.2 遥感器--览表

被 动 方 式				主 动 方 式	
紫 外 线	可 见 光	红 外 线	微 波	紫外、可见光、红外	微 波
分 光 计 照 相 机	高分辨率照相机	红外扫描仪	微波辐射计 微波扫描仪	激光高度计	高 度 计
	全色照相机	红外辐射计		激光散射计	散 射 计
	多谱段照相机	红外成像仪		喇曼散射计	侧视雷达
	电视系统	近红外照相机		荧光散射计	全息雷达
	图象增强器 多光谱扫描仪				

统组成中的核心部分。由于工作波段和获取信息的方式不同，遥感器的形式，种类也各种各样，可以说是五花八门，层出不穷。因此，不可能一一予以介绍，目前已有的各种遥感器大致如表1.2。

尽管遥感器的种类繁多，形式不一，但从工作原理来看，它们在结构上都有共同之处。被动式遥感器一般由电磁能量收集器，能量检测器，信号处理器和信号输出装置等四大基本功能部件组成；而主动式遥感器，还应包括一个发射系统，其基本组成的方框图如图1.3所示。

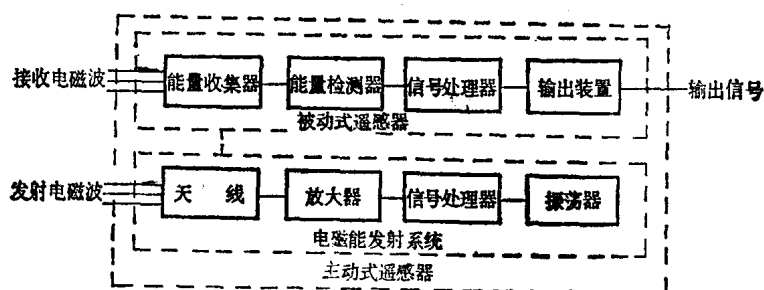


图 1.3 遥感器基本组成方框图

能量收集器用来汇集来自目标的部分电磁辐射能。在可见光和红外波段它是一组光学透镜或由反射镜组成的光学系统，在微波波段它是天线。

能量检测器的作用是，将收集到的电磁辐射转变成其它形式的信号。它可以是感光胶片，光敏元件，热敏元件，电荷耦合器件以及微波谐振腔等。

信号处理器用来放大，增强或调制检测过的信号。它一般是负载电阻或放大器，调制器。

信号输出装置的作用是，提供原始的遥感数据，如各种摄影负片和正片、曲线、带状图或编码的视频电信号，也可以记录在磁带上或直接显示在荧光屏上。

电磁波发射系统是主动式遥感器必须具有的装置。它包括电磁波振荡器（波形发生器），信号处理器，功率放大器和发射天线等部分。发射天线的作用是将振荡器产生的电磁波汇聚后对准目标发射。它可以与能量收集器分置，也可以共用（这时，能量收集器也是天线），兼有收发功能。

遥感器主要性能指标有：工作波段、分辨率、灵敏度或信噪比、动态范围等，特别是分辨率和灵敏度，是衡量一个遥感器性能优劣的最重要的指标。

遥感信息的特点是信息量大，频带宽，特别是航天遥感所获得的数据，其信息量之大，频带之宽是惊人的。如‘地球资源技术卫星’（ERTS），绕地球一周所探测到的数据率竟可达 10^4 Mb/s，信息带宽为46MHz；海洋卫星 Seasat-A 上合成孔径雷达（SAR）的数据率高达120Mb/s，而星上的磁带记录仪的能力却只有400Mb/s，以致只能记录除SAR以外的四种遥感器的数据。

从卫星向地面传输的遥感数据可分为两类：一类是目标数据，即遥感器探测到的各种目标信息；另一类是星上设备和环境数据，如姿态控制参数，电流，电压，温度，气压等。星对地传输数据的方法一般有两种：一是直接回收记录遥感数据的摄影胶卷和磁

带的方法；一是无线电通信的方法，即通过无线电信道将遥感数据传送到地面。无线电通信方法又可分为实时传输和非实时传输两种。所谓实时传输是指星上的遥感器获得目标数据后立即通过无线电波发送到地面，地面站收到数据的时间比星上输出数据的时间只相差卫星到地面的电波传播时间加上星上电子设备处理、调制、发射数据所需要的时延时间。所谓非实时传输是指通过星上的记录设备先将遥感器探测到的信息用视频信号记录在宽频带磁带上并将它转变成数字信号(PAM)，而当卫星经过能与地面站进行通信的上空时使它按照地面站的指令再把记录的信号回放后发送到地面接收站。显然，直接回收记录遥感数据的胶卷和磁带的方式也是一种非实时传输。这种直接回收方式的优点是保密性较强，缺点是数据容量小，成本高，不能满足多用途的要求。

随着航天遥感技术的发展，大量数据流的传输问题已成为人们十分关注的研究课题。特别是采用数字通信技术后，数字信号要求更宽的传输带宽，数据拥挤的问题便更加突出。为了解决星对地传输数据拥挤的问题，一般可以采用下列几种途径：

(1) 开辟新的通信波段 例如采用毫米波、亚毫米波(超远红外)以至光通信等新手段。这样就可成百成千倍地扩展通信带宽及信道容量，问题是要有效地解决大功率信号源和克服大气传输衰减等困难。

(2) 延长卫星与地面站的通信时间 这有赖于增设地面接收站和测量船以组成地面接收网。但是，低轨道卫星与地面接收网的直接通信时间也只能占到轨道周期的20%左右，而且地面站和测量船的设置很大程度上受到地理条件和国界的限制。比较理想的也许是最佳的办法是建立全球性的空间探测跟踪网，如发射和跟踪数据中继卫星，使低轨道卫星获得的遥感数据通过中继卫星网进行中继接力传送。这样就有可能实现一个地面站实时地接收飞行在任何地球轨道位置上的低轨道卫星发送的遥感数据。

(3) 采用星上频带压缩技术 由于卫星经过地面站上空的时间很短，而要传送的信息量却很大。因此必须采用星上频带压缩预处理技术，即把卫星遥感器获得的全部遥感数据进行压缩，使其中真正有用的那一部分信息在有限的带宽中传输，以达到有效地利用已有的带宽，功率和设备，减少无用的或‘冗余’的数据量的传输。对于精度要求高的图象信号，用数字传输；对于精度不高的一般信号，用模拟传输。数字传输本质上是抽样值传输。

因此，数字传输中的信号频带压缩要比模拟传输容易。但是，压缩图象数据是比较复杂的，要求星上有专门的压缩处理设备。这种星上频带压缩技术，目前可能是解决星对地传输数据拥挤问题的最重要最有效的方法，已引起人们广泛的注意和重视。

关于数据压缩的方法已有数十种之多，如差分脉码调制(DPCM)、预测或内插算法、自适应抽样、傅里叶分析和复盖全部频谱的多路滤波、卡亨南-罗甫展开等。可以预料，高效率编码的数字传输方法今后在航天遥感的信息传输中必将占有重要的位置。

由以上介绍可知，遥感信息能否及时有效地传输到地面是衡量一项航天遥感计划成败的标准，而数据压缩和传输问题则是遥感技术研究中的一项重要内容。

遥感器尤其是航天遥感器所获得的目标信息，必须经过适当的处理，包括图象复原，图象增强，以及对图象信息进行分析和抽取，最终才能供实际应用。为了达到上述目的，就需要建立相应的遥感图象信息处理系统。将遥感器接收到的原始遥感信息加工制成可供人们观察的图象资料的过程，称为遥感信息处理。从处理后得到的图象资料中分

析, 抽取人们所感兴趣的有关地面目标的特征状态或数据, 从而识别目标的过程称为遥感信息的解译(亦称判读, 下同)。

1. 遥感信息的处理

信息处理的基本任务是: (1) 对原始遥感图象进行复原, 即进行遥感信息的预处理, 以消除仪器性能, 飞行器姿态和高度变化, 大气干扰等引起的几何误差和辐射误差, 称为几何校正和辐射校正; (2) 根据需要, 在已处理过的图象中突出某些信息, 消除某些信息, 甚至人为地加入某些信息, 使人们需要的特征被强调出来以利于解译, 称之为图象增强; (3) 将图象数据通过专门装置制成象片供解译或使用, 称之为图象分析。

遥感信息处理的方式一般分为模拟处理和数字处理二种, 如图1.4所示。

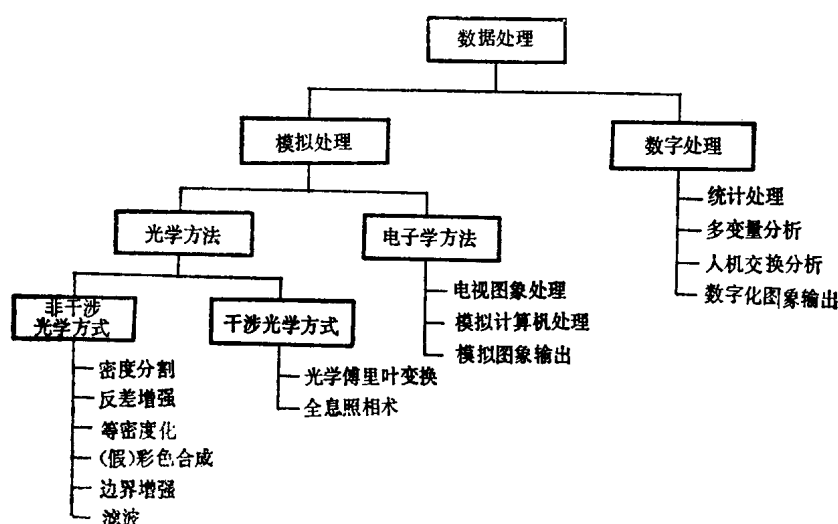


图 1.4 遥感信息处理的方式

模拟处理是对各种点面或各种扫描线作快速处理的方式。数字处理则是一种逐点地进行数字图象数据处理的方式。它与模拟处理不同之处是, 可以使用非线性函数进行处理, 也可以对多元图象空间作高级处理。采用数字处理的目的是, 通常是为了了解图象数据特性而进行统计处理。在数字处理中, 胶片通过飞点扫描仪或鼓形数字转换器等实现密度数字化, 模拟磁带通过A/D变换器, 高密度数字磁带通过D/D变换器变换成CCT计算机磁带。

那么, 模拟处理和数字处理究竟哪种优越呢? 比较普遍的看法是, 二种方法各有千秋, 很难简单地作出定论。一般来说, 前者处理速度快, 精度低(50~60%)。后者处理速度快, 精度高(70~80%)。以“地球资源技术卫星”为例, 地面分辨率是50米, 象元数是 $2000 \times 2000 = 4 \times 10^6$ 个, 每个象元的信量为8bit/s, 四个波段为一组, 每幅图象的总信息量则为 $4 \times 10^6 \times 8 \times 4 = 128 \text{ Mb/s}$ 。当所测对象为25种, 要求精度为80%时, 用大型计算机处理需要8小时, 因此, 即使今后实现了计算机的高速化和低成本, 也难以估计其使用价值。如果要求分辨率更高, 则需要处理的信息量也更大。然而, 全数字化的处理能力总是有限的, 不可能完全取代模拟处理。为了便于比较, 列出表1.3供参考。

表1.3 数据处理方式比较

比较项目			数 据	演 算	处理时间	几何校正	费 用
数据处理方式							
模 拟 处 理	光 学 方 法	非干涉光学方式	胶 片	加减运算	短	比例尺, 旋转, 投影变换	低
		干涉光学方式	胶 片	傅里叶变换	短	傅里叶变换	低
	电 学 方 法	电视图象处理	胶 片	加减乘除运算	短	一次校正	低
		模拟计算机处理	模拟磁带	一次式, 分数式	短	一次校正	高
数 字 化 处 理			数字磁带	高 次 式	长	多次校正	高

几何校正

几何校正的任务, 主要是消除成象过程中光学系统产生的误差, 扫描仪的机械非线性以及由运载工具的姿态所产生的空间失真, 对图象的几何畸变进行订正。

遥感图象中存在的几何畸变主要包括以下二类:

(1) 由遥感器性能引起的内部畸变, 歪斜畸变, 中心偏移畸变, 扫描非线性畸变, 辐射状畸变和正交扭曲畸变等。

(2) 由运载工具的姿态和地面目标引起的外部畸变。如由倾斜引起的投影畸变, 由高度变化引起的比例尺误差, 由地形起伏引起的畸变以及由地球曲率引起的畸变。

如果同一地面目标有几个波段的遥感图象时, 几幅图象中相同的部分还要对准重合, 称为图象配准。对多光谱底片进行彩色合成时, 图象配准是一个先决条件。

几何校正的一般方法, 如图1.5所示。

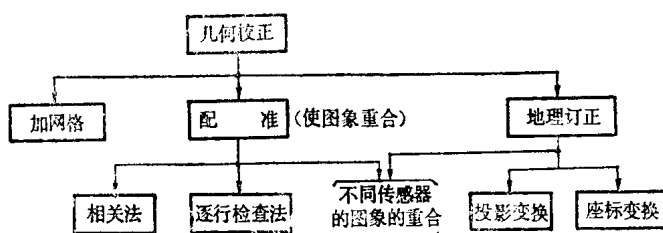


图 1.5 遥感图象几何校准的一般方法

总之, 在按地图形状绘制遥感图象的工作中, 在使不同波段的遥感图象进行重合对准的工作中, 以及在使不同时间不同遥感器的遥感图象重合对准的工作中, 几何校正都是必不可少的重要作业。

辐射校正

辐射校正的任务是, 消除遥感图象灰度的失真或干扰。它以事先确定的参考物体的校正信息为依据, 对遥感器获取的原始影象色调, 色彩或者电信号, 数字信号等的辐射畸变进行校正和订正。

辐射畸变在遥感影象上的表现主要是灰度失真斑点, 离散的灰点, 条状或环状干扰。引起辐射畸变的主要原因是电磁波穿过大气层产生的散射和折射, 太阳光照射地面物体的高度和角度的变化, 以及云, 霾的影响。辐射畸变与遥感图象的空间频率有关, 空间频率愈高, 辐射畸变就愈严重。除了用校正表中相应于一定补偿作用的灰度值代替