

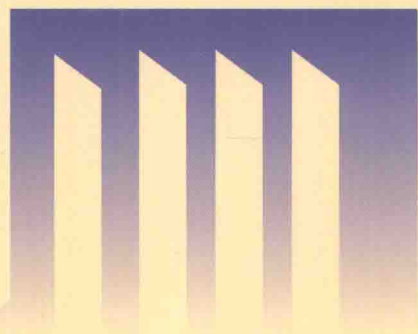


军队“2110工程”建设项目 信息安全技术

军用光学遥感

JUNYONG GUANGXUE YAOGAN

陈向宁 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

军队“2110 工程”建设项目 信息安全技术

军用光学遥感

陈向宁 姜明勇 喻夏琼 阮小燕 主编
陈向宁 姜明勇 喻夏琼 阮小燕 编著
郭宇 陈颖

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书是军队“2110 工程”规划教材,注重光学遥感技术基本理论和方法及其军事应用,结合编者的教学与科研成果,立足前沿反映光学遥感技术的最新动态和进展以及描述在当前高技术条件下信息化局部战争中空间感知能力的重要性,详细介绍了光学遥感中数据获取、处理的解决问题的实践方法。

本书可作为军事遥感专业本科教材,也可作为从事光学遥感专业研究生、工程技术人员和教师的教学及科研参考书。

图书在版编目(CIP)数据

军用光学遥感 / 陈向宁主编. —北京:国防
工业出版社,2010. 10
军队“2110 工程”建设项目. 信息安全技术
ISBN 978 - 7 - 118 - 07258 - 7

I. ①军… II. ①陈… III. ①光学遥感 -
应用 - 军事 IV. ①E912

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 264941 号

※

国防工业出版社出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)
北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
新华书店经售

*

开本 710 × 960 1/16 印张 15 $\frac{3}{4}$ 字数 296 千字
2010 年 10 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 38.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422
发行传真:(010)68411535

发行邮购:(010)68414474
发行业务:(010)68472764

装备指挥技术学院“2110 工程”教材(著作)

编审委员会

主任	曲 炜			
副主任	冯书兴	张 炜	蔡远文	潘 清
委员	(按姓氏笔画排序)			
	于小红	王 宇	白海威	由凤宇
	李希民	沈怀荣	张宝玲	陈庆华
	陈向宁	陈新华	郑绍钰	赵伟峰
	赵继广	郭世贞	耿艳栋	贾 鑫
	桑爱群	阎 慧	谢文秀	熊龙飞

装备指挥技术学院信息安全技术教材(著作)

编 委 会

主 编 潘 清

副主编 阎 慧 王 宇

编 委 王明俊 韦 群 周 辉 胡欣杰

赵立军

序

计算机技术、通信技术、网络技术的发展,给军队指挥自动化系统、综合电子信息系统的建设与发展带来了深刻的影响。未来以电子战、网络战和作战保密等为主要作战样式的信息化战争,离不开信息技术的支撑。武器装备的信息化、网络化加快了信息技术在装备的研制、试验、采购、指挥、管理、保障和使用全过程中的渗透与应用。因此,在军队深入开展军事信息技术学科的建设,加强军事人才信息化素质与能力的培养,是继往开来的一件大事,也是对军事装备学、作战指挥学等学科建设的有力支持。

为了总结梳理装备指挥技术学院军事信息技术学科的建设成果,提升学科建设水平和装备人才培养质量,在军队“2110工程”专项经费支持下,在装备指挥技术学院“2110工程”教材(著作)编审委员会统一组织指导下,军事信息技术学科领域的专家学者编著了一批适应装备人才培养需求,对我军装备信息化和装备信息安全工作具有主要指导作用的系列丛书。

编辑这套丛书是我院军事信息技术学科建设的重要内容,也是体现军事信息技术学科建设水平的重要标志。通过系统、全面地梳理,将军队开展信息化建设的实践经验进一步理论化、科学化,形成具有军事装备特色的军事信息技术知识体系。

本套丛书定位准确、内容创新、结构合理、针对性强,一方面总结了

我院军事信息技术学科建设和装备信息化人才培养的理论研究与实践探索的重要成果和宝贵经验;另一方面紧紧围绕我军武器装备信息化建设的需要,以装备全寿命管理的信息化和装备信息保障为主要内容,着重基本概念、原理的论述和技术方法的应用,其编著出版对于推进军事信息技术学科的建设,提高装备人才的培养质量,加快装备信息化建设和军事斗争准备具有十分重要的现实意义和深远的历史意义。

装备指挥技术学院
信息安全技术教材(著作)编委会
2009年12月

前 言

本着突出军事应用的原则,在内容上吸收和采纳国内以往教学经验的基础上,融进了近年来国内外遥感技术发展的一些新成果和新成就,以反映军用光学遥感技术的最新发展水平,更好地适应当前教学的需要。

光学遥感是一门综合性的高技术交叉学科,很难用一本书来概述其所有内容。本书力求把基本原理讲透,将光学遥感中关键技术的实践方法阐述清楚。全书共5章:第一章绪论;第二章光学遥感基础;第三章 CCD 相机设计原理;第四章无人机遥感平台设计原理;第五章光学遥感图像处理。分工如下:第一章和第二章由陈向宁编写;第三章由姜明勇、陈颖、喻夏琼编写;第四章由陈向宁、姜明勇编写;第五章由郭宇、喻夏琼、阮小燕编写。全书由陈向宁统稿、定稿。

参加本书审稿的有孙华燕、李学军,他们为本书提出了许多宝贵意见,同时由凤宇、陈海莲也给予了热情支持和帮助,在此一并表示感谢。

由于编者水平所限,书中难免存在不妥之处,恳切希望同行和读者指正。

编 者

2010年9月于北京

目 录

第一章 绪论	1
1.1 遥感的含义与分类	1
1.2 遥感发展的历史	4
1.3 光学遥感及特点	6
1.4 光学遥感在军事中的作用和意义	8
思考题	20
第二章 光学遥感基础	21
2.1 电磁波与电磁波谱	21
2.2 地物的光谱特性	29
2.3 大气和环境对遥感的影响	41
2.4 多光谱仪成像原理	49
2.5 红外热成像原理	53
2.6 紫外成像原理	57
2.7 微光成像原理	60
思考题	62
第三章 CCD 相机设计原理	63
3.1 CCD 概述	63
3.2 空间遥感线阵 CCD 相机	69
3.3 遥感相机光学系统设计	71
3.4 线阵 CCD 相机驱动放大电子系统设计	82
3.5 面阵 CCD 相机电子系统设计	88
3.6 数字相机标定	99
3.7 数字相机的像质评价	106
思考题	110
第四章 无人机遥感平台设计原理	111
4.1 低空无人遥感平台的发展概况	111
4.2 遥感稳定平台控制理论	130
4.3 遥感稳定平台设计	151

思考题.....	178
第五章 光学遥感影像处理	179
5.1 卫星遥感影像定位模型概述	179
5.2 基于严密成像模型的立体定位模型	184
5.3 通用有理函数成像模型	195
5.4 光学遥感影像立体匹配	208
5.5 光学遥感图像目标检测	222
5.6 序列光学侦察图像的超分辨率重建	231
思考题.....	237
参考文献.....	238

第一章 绪 论

遥感技术是 20 世纪 60 年代兴起并迅速发展起来的一门综合性探测技术。它是由光电子学、空间科学和地球科学等现代学科交叉发展而来,是一门新兴的应用型学科。伴随着科技发展、社会进步、资源开发和军事对抗,人类赖以生存的地球正面临严峻的挑战,具体表现在灾害频繁、资源耗失、环境污染、全球变暖以及军事冲突等问题已摆在人类面前。遥感技术可以对地球的环境、生态资源、自然灾害以及军事对抗等领域做出实时准确监测、观察和预报,智能地回答在地球上何时、何地、发生何种事件以及事态的变化过程。它对地球资源的可持续性发展和现代高技术条件下的军事对抗起到了越来越重要的作用。遥感技术包含面广,本书旨在探讨光学遥感技术,特别是它在军事上的应用。

1.1 遥感的含义与分类

“遥感”一词来源于英语“Remote Sensing”,最早使用“遥感”一词的是美国海军研究所的艾弗林·普鲁伊特(Evelyn Pruitt, 1960)。1961年,在美国国家科学院(National Academy of Science)和国家研究理事会(National Research Council)的资助下,于密执安大学(University of Michigan)的威罗兰(Willow Run)实验室召开了“环境遥感国际讨论会”之后,在世界范围内遥感作为一门新兴的独立学科,获得了飞速发展。其直译为“非接触的感知”、“遥远的感知”,时间久了人们将它简译为遥感。关于遥感的含义目前有许多理解,例如,“遥”是空间概念,“感”是信息系统,遥感技术是指一种非接触的测量和识别技术,是一个空间信息系统;遥感是指利用航空航天技术宏观的研究地球、综合评价地球环境、进行资源调查与开发及管理的一种特定技术;遥感是不与特定对象(目标)直接接触而收集关于该对象的某种或某些特定的信息,从而了解(识别、判断和掌握)其特性的综合探测技术;遥感是使用传感器在空中远距离探测地面物体特征,从而进行识别和分类的技术;遥感是指利用飞机、卫星或其他飞行器作运载工具,用传感器收集目标物电磁波信息,运用物理手段、数学方法和地学规律来揭示目标物性质、形状、分布和动态变化的现代探测技术;遥感是指利用目标物的电磁辐射信息识别目标物及其性质的探测技术,电磁辐射的基本原理是遥感技术的理论基础;遥感是指以现代化的运载工具,即气球、飞机、火箭、卫星、仪器设备等,在一定的距离对地球表面电磁波辐射特

征进行接收、处理、解释、应用的全过程;遥感是指以现代工具(仪器、设备)为技术手段对目标物进行遥远感知的整个过程。随着空间技术的发展,遥感技术已经成为宇宙空间、地球资源和环境监测等一种高性能的探测手段;通常把接收、传输、处理和判读遥感信息的全过程,称为遥感技术;通常把通过某种传感器,在不与被研究对象直接接触的情况下,去感测获取其特征信息,并对这些信息进行提取、加工、表达和应用的科学与技术称为遥感技术。遥感技术是新兴综合性科学技术,它集中了空间、电子、光学、计算机、生物学和地学等科学的最新成就,是现代高新技术领域的重要组成部分;通常,在不同高度的平台使用传感器收集地物的电磁波信息,再将这些信息传输到地面并加以处理,从而达到对地物的识别与监测的全过程称为遥感技术。以上含义是从不同的角度去理解遥感,本书认为遥感的含义有广义和狭义两种解释。广义的解释:对兴趣目标的非接触的空间感知。狭义的解释:以非接触的方式,由传感器记录兴趣目标的电磁波特性,经处理后获得目标的空间特征、理化性质及其变化规律。

按不同的方式遥感有多种分类,典型的有按遥感对象分类、按应用空间尺度分类、按遥感平台分类、按电磁波波谱分类、按传感器接收信号的来源和方式分类、按应用专业分类、按遥感资料形式分类。

一、按遥感对象分类

按遥感对象分为对空监测和对地观测。对空监测的对象是宇宙中的天体和其他空间目标的监测,获取空间目标的运动轨迹,识别目标的特性;对地观测是对地球本身和地球上的地物的观测,获取地物的地理空间位置和属性。

二、按应用空间尺度分类

按应用空间尺度分为全球遥感和区域遥感。全球遥感是全面系统地研究全球性资源与环境问题的遥感的统称。区域遥感是以区域资源开发和环境保护为目的的遥感信息工程,它通常按行政区划(国家、省区等)和自然区划(如流域)或经济区进行。

三、按遥感工作平台分类

遥感工作平台可分为近地遥感、航空遥感、航天遥感等。对航天遥感而言,它位于大气层外的卫星、宇宙飞船等,高度在20km以上,可获得比例尺最小,覆盖率最大,概括性强,具有宏观特点;多为多波段的影像,动态性好,适合对某地区连续观察,周期性好。对航空遥感而言,它位于大气层内的各类飞机、飞艇,高度在20km以下,可获得比例尺中等,画面清晰,分辨率高,可以对垂直点地物清晰成像;多为单一波段的影像,动态性差,适合做长周期(几个月及更长)观察。对近地遥

感而言,它利用三角架、遥感塔、遥感车(船)建筑物的顶部等平台,可获得比例尺最大,覆盖率最小,画面最清晰;多为单一波段的影像,动态性好,灵活机动,费用较低,适合小范围探测。具体按遥感平台分类见表1-1。

表1-1 遥感平台分类

遥感平台	高度/km	目的和用途	其他
静止卫星	36000	定点地球观测	气象、通信卫星
圆轨道卫星(地球观测卫星)	500~1000	定期地球观测	Landsat SPOT等
小卫星	400左右	各种侦察、调查	
航天飞机	240~350	不定期地球观测、空间试验	
天线探空仪	0.1~100	各种侦察、调查(气象等)	
高空喷气机	10~12	侦察、大范围调查	
中低高度飞机	0.5~8	各种侦察、调查航空摄影测量	
飞艇	0.5~3	空中侦察,各种调查	
直升机	0.1~2	各种侦察、调查摄影测量	
无线遥控飞机	0.5以下	各种侦察、调查摄影测量	飞机直升机
牵引飞机	0.05~0.5	各种侦察、调查摄影测量	牵引滑翔机
系留气球	0.8以下	各种侦察、调查	
索道	0.01~0.04	遗址调查	
吊车	0.005~0.05	近距离摄影测量	
地面测量车	0~0.03	地面实况调查	车载升降台

四、按电磁波波谱分类

按电磁波波谱可分为可见光遥感、红外遥感、紫外遥感、热红外遥感、微波遥感等。对于光学遥感主要覆盖了可见光、红外和紫外三个谱段,常用的有以下三种:

1. 可见光遥感

可见光遥感的工作波长为 $0.4\mu\text{m} \sim 0.76\mu\text{m}$,一般采用感光胶片或光电探测器作为感测元件,属于摄影成像遥感。它主要使用可见光远摄镜头照相和可变焦距电视摄像等,感测的是目标及背景反射或自身发出的可见光,记录的信息或拍摄的图像是物体反射光或发光强度的空间分布。可见光遥感是光学遥感中历史最长的一种,是对地观测和军事侦察的主要手段之一。摄影成像的分辨率(G)很高,可以近似地表示为

$$G = f \times R/H$$

式中: f 为镜头焦距; R 为镜头与底片的综合分辨率; H 为高度(或距离)。

2. 红外遥感

红外遥感主要包括红外扫描仪、红外辐射仪等。红外遥感通过探测红外辐射获取目标和背景的辐射温度或热成像。其探测能力取决于目标、背景与周围环境的温度差。红外遥感的最大优点是可获得无光照或薄云下目标和背景图像。

3. 紫外遥感

紫外遥感通过探测紫外线反射和辐射,获取目标和背景图像。由于紫外线比一般的可见光更具有穿透能力,所以科学家也常以紫外线来进行透视或鉴定的工作(就好像用 X 光来进行健康检查一样)和海洋紫外遥感等。例如,利用紫外线来检查金属上细微的裂缝、图画的真伪、食品安全,甚至在探索太空时,紫外线都可以派上用场,例如,在臭氧层位于地球上空 25km ~ 30km 的平流层中,对 0.3 μm 以下紫外区的电磁波有较大吸收,可用紫外波段来测定臭氧层的变化。紫外遥感应用前景广阔。

五、按传感器接收信号的来源和方式分类

按传感器接收信号的来源和方式可分为主动遥感(Active RS)和被动遥感(Passive RS)。主动遥感也称有源遥感,是指从遥感平台上的人工辐射源向目标发射一定形式的电磁波,再由传感器接收和记录其反射波的遥感系统。被动遥感也称无源遥感,是指用传感器从远距离接收和记录物体自身发射或反射太阳辐射的电磁波信息的遥感系统。

六、按遥感应用专业分类

按遥感应用专业可分为军事遥感、环境遥感、农业遥感、林业遥感、地质遥感、海洋遥感等。

七、按遥感资料形式分类

按遥感资料形式可分为成像方式和非成像方式。成像方式(或称图像方式)就是将所探测到的强弱不同的地物电磁波辐射(反射或发射),转换成深浅不同的(黑白)色调构成直观图像的遥感资料形式,如航空相片、卫星图像等。非成像方式(或非图像方式)则是将探测到的电磁辐射(反射或发射),转换成相应的模拟信号(如电压或电流信号)或数字化输出,或记录在磁带上而构成非成像方式的遥感资料。

1.2 遥感发展的历史

人类最早的遥感意识是凭借人的眼、耳、鼻等感觉器官来感知周围环境的形、

声、味等信息,从而辨认出周围物体的属性和位置分布。自古以来,人类就在想方设法不断地扩大自身的感知能力和范围,古代神话中的“千里眼”、“顺风耳”即是人类这种意识的表达和流露,体现了人们梦寐以求的美好幻想。遥感学科的技术积累和发展经历了较长的过程。

一、无图像记录的地面遥感阶段(1608年—1838年)

1608年,汉斯·李波尔赛制造了世界第一架望远镜,1609年意大利科学家伽利略研制了放大3倍数的科学望远镜,为观察远距离目标提供了条件,促进了天文学的发展,开创了地面遥感的历史。仅依靠望远镜观察的缺点是,不能把观察到的事物以图像的方式记录下来。

二、有图像记录的地面遥感阶段(1839年—1857年)

1839年达盖尔(Daguerre)和尼普斯(Niepce)的第一张摄影相片的发表是遥感成果的首次展示。随着摄影术的诞生和照相机的使用,以及信鸽、风筝及气球等简陋平台的应用,构成了初期遥感技术系统的雏形。1849年,法国人艾米·劳塞达特(Amie Laussedat)制定了摄影测量计划,成为有目的的、有记录的地面遥感发展阶段的标志。

三、空中摄影遥感阶段(1858年—1956年)

空中相片的魅力得到更多人的首肯和赞许。1858年,G. F. Tournachon用系留气球拍摄了法国巴黎的鸟相片。1860年,J. W. Black与S. King乘气球升空至630m,成功地拍摄了美国波士顿市的照片。1903年,J. Nienbrunner设计了一种捆绑在鸽子身上的微型照相机。这些空中摄影为后来航空遥感打下了基础。同年,W. Wright发明了飞机,以及1909年W. Wright第一次从飞机上拍摄意大利西恩多西利地区空中相片,从此揭开了航空摄影测量——遥感初期发展的序幕。在第一次进行航空摄影以后,1913年,C. Tardivo发表论文首次描述了用飞机摄影绘制地图的问题。第一次世界大战的爆发,使航空摄影因军事上的需要而得到迅速的发展,并逐渐发展形成了独立的航空摄影测量学的学科体系。其应用进一步扩大到森林、土地利用调查及地质勘探等方面。随着航空摄影测量学的发展及其应用领域的扩展,1924年出现了彩色胶片,1935年投放市场,使记录更加丰富。特别是第二次世界大战爆发军事上的需要,以及科学技术的不断进展,使彩色摄影、红外摄影、雷达技术及多光谱摄影和扫描技术相继问世,传感器的研制得到迅速发展,遥感探测手段取得了显著进步。从而超越了航空摄影测量只记录可见光谱段的局限,向紫外和红外扩展,并扩大到微波。同时,运载工具以及判读成图设备等也得到了相应的完善和发展。随着科学技术的飞跃发展,遥感迎来了一个全新的现代

遥感的发展时期。

四、航天遥感阶段(1957 年至今)

1957 年 10 月 4 日苏联发射了人类第一颗人造地球卫星,标志着遥感新时期的开始。1959 年苏联宇宙飞船“月球”3 号拍摄了第一批月球相片,之后人类第一次实现了从太空观察地球的壮举,并取得了第一批从宇宙空间拍摄的地球卫星图像。这些图像大大地开扩了人们的视野,引起了广泛关注。随着新型传感器的研制成功和应用、信息传输与处理技术的发展,美国在一系列试验的基础上,于 1972 年 7 月 23 日发射了用于探测地球资源和环境的地球资源技术卫星 ERTS-1(陆地卫星-1),为航天遥感的发展及广泛应用,开创了一个新局面。至今世界各国共发射了各种人造地球卫星已超过 3000 颗,其中大部分为军事侦察卫星(约占 60%),用于科学研究及地球资源探测和环境监测的有气象卫星系列、陆地卫星系列、海洋卫星系列、测地卫星系列、天文观测卫星系列和通信卫星系列等。通过不同高度的卫星及其载有的不同类型的传感器,不间断地获得地球上的各种信息。现代遥感充分发挥航空遥感和航天遥感的各自优势,并融合为一个整体,构成了现代遥感技术系统。为进一步认识和研究地球,合理开发地球资源和环境,提供了强有力的现代化手段。现代遥感技术的发展引起了世界各国的普遍重视,遥感应用的领域及应用的深度在不断地扩大和延伸,取得了丰硕的成果和显著的经济及军事效益。

1.3 光学遥感及特点

光学遥感指利用光学设备探测和记录被测物体辐射、反射和散射的相应谱段电磁波,并分析、研究其特性及变化的技术。

一、光学遥感的特点

光学遥感特点明显,从投影方式来说,光学遥感获得的图像有单中心投影和多中心投影两种方式。中心投影的图形,光源为一点时图形在平面上的投影就是通过点光源与图形上各点的射线与平面上的交点所组成的图形。平面为投影面,各射线为投影线,这种由一点出发的投影线在投影面上的投影叫做中心投影。如航摄相片是航摄仪在空中对地面根据中心投影原理摄成的相片,就是空间任一点(物点)与固定点(投影中心)连成一直线,被一平面(投影面)所截,则此直线与投影面的交点(像点)叫做该空间点的中心投影。多中心投影是一种投影方式,用以表示具有多个投影中心的遥感影像的几何特征,如陆地卫星多波段扫描影像(MSS)或 TM 影像。这类卫星影像的构像过程是采用光学机械扫描,在传感器位

置和姿态随时间不断变化的情况下完成的。这种动态扫描成像方式获得的影像,投影方式较单中心投影复杂,属于全景投影类型。动态扫描的特点是,影像中每一个像元都有各自不同的传感器位置和姿态与之对应,即每个像元均有各自的投影中心。光学遥感特点如下:

(1) 遥感图像清晰度高,信息真实直观。光学遥感图像是目前遥感影像中分辨率最高的图像,如美国侦察卫星光学图像分辨率达到 0.1m ,而且色彩逼真、真实直观,与人眼观察效果一致,适合人类观察和判读。

(2) 光学遥感图像视域范围大,可宏观观察。光学遥感从飞机上或人造地球卫星上,居高临下获取的航空相片或卫星图像,比在地面上观察视域范围大得多。而且不受地形地物的影响,为人们研究地面各种自然、社会现象及其分布规律提供了便利的条件。例如,航空相片可提供不同比例尺的地面连续景观相片,并可供像对的立体观测。图像清晰逼真,信息丰富。一张比例尺 $1:35000$ 的 $23\text{cm}\times 23\text{cm}$ 的航空相片,可展示出地面 60km^2 左右范围的地面景观实况,并且可将连续的相片镶嵌成更大区域的相片图,以便总观全区进行分析和研究。卫星图像的感测范围更大,一幅陆地卫星 TM 图像可反映出 34225km^2 的景观实况。我国全境仅需 500 余张这种图像,就可拼接成全国卫星影像图。因此,遥感技术为宏观研究各种现象及其相互关系,如区域地质构造和全球环境等问题,提供了有利条件。

(3) 信息量大,手段多,技术先进。光学遥感影像不仅能获得地物可见光波段的信息,而且能获得紫外、可见光、近红外、热红外波段的信息。不但能用摄影方式获得信息,而且可以用扫描方式获得信息。遥感所获得的信息量远远超过了用常规传统方法所获得的信息量。这无疑扩大了人们的观测范围和感知领域,加深了对事物和现象的认识。

(4) 获取信息快,更新周期短,能进行动态监测。遥感通常为瞬时成像,可获得同一瞬间大面积区域的景观实况,现实性好;而且可通过不同时相取得的资料及相片进行对比、分析和研究地物动态变化的情况,为环境监测以及研究分析地物发展演化规律提供了基础。

(5) 光学遥感图像几何关系稳定,易于处理。光学遥感图像几何关系简单,满足中心投影或多中心投影,这保证了图像的几何关系,使后期处理简单实用。

二、光学遥感系统组成

光学遥感系统由遥感信息的获取、传输、处理以及应用组成。它包括遥感信息来源(或地物)的物理性质、分布及其运动状态,环境背景以及电磁波光谱特性,大气的干扰和大气窗口,传感器的分辨能力、性能和信噪比,图像处理及识别,以及专题应用等。具体主要包括以下四个部分。