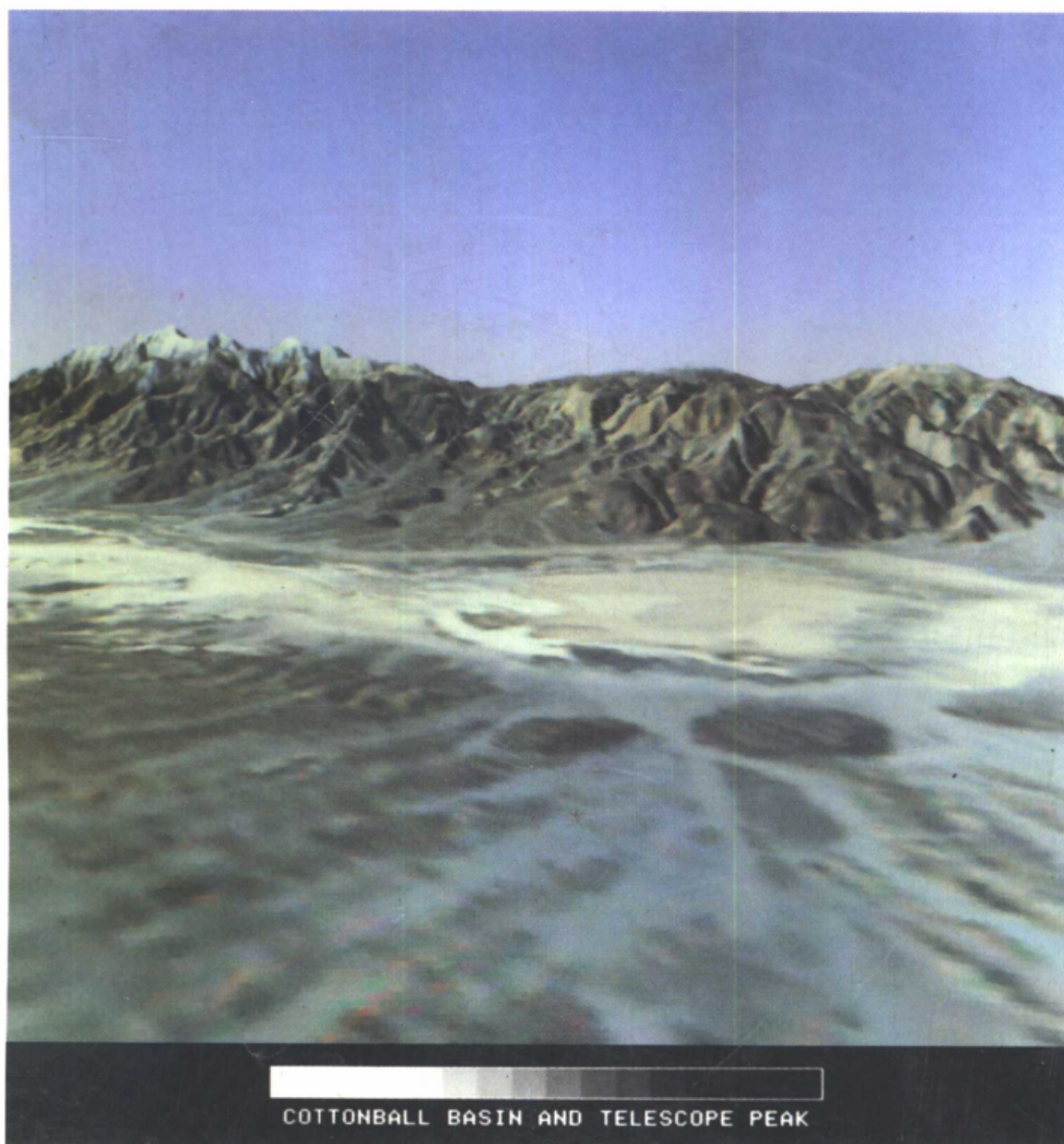


美国 J. 威廉父子公司遥感系列专著

遥感的物理学和技术概论

[美] C.Elachi 著



气象出版社

A volume in the Wiley Series in Remote Sensing

遥感的物理学和技术概论

Introduction to the
PHYSICS AND TECHNIQUES OF
REMOTE SENSING

Charles Elachi

王松皋 胡筱欣 王维和 刘虹 译
黎光清 许健民 审校

本书得到美国 J. 威廉父子出版公司惠许而在中国境内翻译出版

Copyright © 1987 by John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved. Authorized translation from English language edition published by John Wiley & Sons, Inc.

气象出版社

(京)新登字 046 号

内容简介

遥感是探索空间最重要的技术手段之一。它使我们能够以各种尺度全球地、连续地观测与监视地球表面及大气,从而改变了我们对世界及其环境的理解,也首次使我们能到邻近的行星周围去进行观察,从而对其环境的本质有了新的认识。

《遥感的物理学和技术概论》对遥感的物理学、技术及工艺基础作了全面透彻的评述,详细地讨论了电磁波与物质相互作用的物理基础,整个电磁波段(紫外、可见光、红外、毫米波与微波)的遥感技术,以及近年来刚刚建立并正在发展中的遥感技术所包含的概念。本书还广泛地描述了遥感在地球和行星的大气以及表面科学领域中的应用,包括地质学、海洋学、资源勘探、大气科学及电离层研究等。

本书讨论了整个电磁波谱段对固体表面的遥感、海面的遥感、大气遥感和大气辐射传递的基本原理,以及微波、毫米波、亚毫米波及红外波段的大气遥感问题。还列举了从卫星探测器得到的彩色照片,特别报道了已经研制或正在研制中的仪器。

Introduction to the
PHYSICS AND TECHNIQUES OF
REMOTE SENSING

Charles Elachi

遥感的物理学和技术概论

王松皋 胡筱欣 王维和 刘虹 译著

责任编辑:杨玉华 终审:周诗健 纪乃晋

封面设计:杨玉华 责任技编:周培 责任校对:黎光清 许健民

气象出版社出版

(北京海淀区白石桥路 46 号 100081)

中外合资北京富瓷快速印务有限公司印刷

* * *

开本:787×1092 1/16 印张:22.5 字数:570 千字

1995 年 8 月第一版 1995 年 8 月第一次印刷

印数:1—1000 册

ISBN 7-5029-2023-4/P·0766

定价:35 元

译校者的话

国家卫星气象中心准备在近期内,翻译几本关于气象卫星和卫星气象基本原理、技术和应用方面的优秀著作,以促进气象卫星应用水平在我国的进一步提高。本书是其中的第三本。这本书与已经翻译出版的两本书:《气象卫星—系统、资料及其在环境中的应用》以及《水汽图像在天气分析和天气预报中的解译与应用》相比较,其内容更偏重于遥感的物理学原理和获得遥感数据的技术方法。透彻地了解这些原理和方法实在是对遥感数据进行合理解释和应用的前提条件。

本书的作者 C. Elachi 是加利福尼亚喷气推进实验室(JPL)地球与空间科学部主任,也是加利福尼亚技术学院授课教授。Elachi 博士在加利福尼亚技术学院获得应用物理学博士学位。在职业生涯中,他是首席研究员、项目研究科学家及多项空间任务(包括星载成像雷达及麦哲伦金星飞行计划)的顾问成员。Elachi 教授是《星载成像雷达:应用与技术》一书的作者,1982 年获得了美国国家航空航天局(NASA)的特殊科技成果奖,1985 年获得 W. T. Pecora 奖,1987 年获得美国电气电子工程师学会(IEEE)的地球科学与遥感突出成就奖。在本书中,作者以不大的篇幅,较少的公式深入浅出地讲述了遥感的基本原理和技术方法,是一本较好的入门读物。

美国 J. 威廉父子出版公司(John Wiley and Sons. In C)善意地同意中国气象出版社将本书译成中文并在中国国内出版发行。美国气象学会前主席 Engene W. Bierly 博士为促进该书获得在中国出版的许可做了工作,我们在此一并表示谢意。

本书的翻译工作由 4 位同事完成。参加翻译工作的有:王松皋(序言以及第 1、8、9、11 章);胡筱欣(第 2、3、4 章以及附录 C);王维和(第 5 和第 6 章);刘虹(第 7、10、12 章以及附录 A、B)。王松皋同志对全书作了初校,黎光清和许健民同志对全书作了最后审校。杨玉华同志作为本书的责任编辑做了认真细致的工作。由于大家的努力,使本书尽早地和读者见面。我们感谢所有为本书的出版做了工作的同事们。

译校者

1995. 5. 20.

作者序言

太空时代的来临为我们能够以全球尺度连续地观测、研究和监视行星(包括地球)表面和大气开创了新的天地,也导致了遥感科技领域的大发展。此外,近年来探测器与数字电子学技术的发展开拓了整个电磁波谱用以探测、测量发射波与反射波的精细细节,包括与电磁波相互作用的介质的微结构。正在开发从可见光到远红外波段的星载成像光谱仪,用来得到被测表面像元或大气区域的实验室质量水准的光谱,从而直接识别地物表面或大气成分。多通道偏振成像雷达将提供大气中降水区域的三维图像、地表地貌和次表层(接近表面的地下层)结构的细致图像。主动式微波探测器将用来监测全球海洋动力学,包括海洋地形、海洋环流、近海表面风及极冰。被动式和主动式大气遥感提供了大气与电离层特性的细致垂直结构,包括温度、气压、风速与电子含量。大尺度多通道成像仪提供了全球性地表生物覆盖的动态演变图像,监测了自然与人类文明冲击所造成的地球环境变迁。

这些对地观测功能正通过以一定轨道飞近天体进行观测的宇宙飞船的发展更广泛地用于探索太阳系中的行星。到1990年,在距第一次行星探测相遇不到30年的时间内,我们将“访问”除冥王星外所有太阳系中的大天体,采用技术先进的传感器来遥感它们的特性。到2000年,将会有轨道平台对这些天体中的大多数进行细致观测。

90年代,用星载遥感探测技术观测、监测地球方面将会有重大进展。一系列大型、永久性卫星将组成技术先进的传感器阵列平台,以监测全球变化为目标,长期、连续地观测地球。这些平台上的传感器将定期更换,用更先进的传感器以充分利用新的技术。

遥感是一门年轻的学科,它涉及广泛的专业,跨越传统的科学和技术行业。多学科性要求从事遥感的科学工作者具有多门科学领域的良好基础,并与各个科技领域的研究工作者相互交流,这些领域包括:电磁理论、光谱学、应用物理、地质学、大气科学、农业土壤学、海洋学、等离子体物理学、电子工程及光学工程等。

本教科书的目的是向对遥感及其应用有兴趣的学生及研究生提供基本的科学和工程背景知识。它涉及:(1)基础物理学,包括电磁波与物质的相互作用,这是合理解释资料的基础;(2)用来收集资料的技术;(3)最成功的遥感应用。我们认为感兴趣的读者已具备广泛的教育背景。这本教科书内容丰富,要求读者有大学物理学水平,尤其是电磁理论和量子理论的初步知识。

本教科书分3大部分。在概述(第1章)之后,第2章是电磁波的基本特性及其与物体的相互作用,第3章到第7章是遥感在固体(包括海洋)表面研究中的应用。每章覆盖电磁波的一个主要波段(对应可见光/近红外、热红外、被动式微波、主动式微波)。第8章到第12章是遥感在大气层及电离层研究中的应用。每章都以电磁波与介质相互作用的基本机理开始,接着是用来截获、测量及研究信息(波)的技术,这些信息是从被研究介质发出的。在大多数情况下,列举一种具体的先进的传感器来解释上述技术,该传感器也许正在飞行器上使用,或者正在开发。

这本教科书一般是举例说明的,包括了许多星载传感器得到的资料。书中特别把16幅

彩色图集中放在一起刊印。

这本教科书是以高年级大学生及一年级研究生的课程为基础写成的,这是我在加州技术学院教一个班用的教材。这个班学生所学的专业包括电子工程、应用物理、地质学、行星科学、天文学及航空学。该教材计划用两学期(一年4学期),它也适用于遥感及其应用领域的工程师与科学家。

本书是作者多年来在加州技术学院及喷气推进实验室(JPL)研究、教学与学习的结晶。这些年来,我与大量科学家、工程师和学生共事。他们对本书的素材积累都有帮助。我对他们全体表示谢意,感谢他们创造了最愉快的工作气氛及科学“乐趣”。要把他们的名字列出来将是一份长长的表格。这里,我特别要感谢 J. Vanzyl 博士有益的注释,在这本教材写作的主要期间,他是我在加州技术学院的助教。我要对 JPL 许多研究人员表示谢意,他们友好地阅读了这本教材,提出改进意见。他们是 M. Abrams, M. Chahine, J. Curlander, M. Freilich, D. McCleese 及 J. Waters。我还要感谢加州技术学院的全体学生,希望他们有兴趣在此领域一直工作到下一个世纪。

我要对秘书和技士表示感谢,特别是 Clara Sneed, Susan Salas 及 Sylvia Munoz,感谢他们打印教材,改进语法及绘图工作。

Charles Elachi

1987 年 4 月于加利福尼亚 Pasadena

目 录

译校者的话

作者序言

第 1 章 概述	1
1-1 遥感资料的类型和分类	1
1-2 遥感简史	6
1-3 空间遥感平台	16
1-4 电磁波透过地球大气与行星大气的传递	17
参考文献及进一步读物	18
第 2 章 电磁波的本质和特性	19
2-1 电磁波的基本性质	19
2-1-1 电磁波谱	19
2-1-2 Maxwell 方程组	20
2-1-3 波动方程及其解	20
2-1-4 电磁辐射的量子性质	20
2-1-5 极化	21
2-1-6 相干性	22
2-1-7 群速度和相速度	23
2-1-8 Doppler 效应	24
2-2 辐射量的术语和定义	25
2-2-1 辐射量	25
2-2-2 波谱量	26
2-2-3 光度量	26
2-3 电磁辐射的产生	27
2-4 电磁辐射的探测	29
2-5 电磁波与物质的相互作用简述	29
2-6 电磁波谱区的各种相互作用	32
参考文献及进一步读物	34
第 3 章 可见光与近红外波段的固态表面遥感	35
3-1 辐射源的谱特征	35
3-2 电磁波与表面的相互作用	37
3-2-1 反射、透射和散射	38
3-2-2 振动过程	41

3-2-3 电子过程·····	44
3-2-4 荧光效应·····	48
3-3 固体表面物质的光谱特征 ·····	49
3-3-1 地质物质的光谱特征·····	49
3-3-2 生物物质的光谱特征·····	51
3-3-3 穿透深度·····	56
3-4 表面研究中光谱和辐射度特征的应用 ·····	58
3-4-1 探测和划分·····	58
3-4-2 分类·····	59
3-4-3 识别·····	60
3-4-4 多光谱分析·····	62
3-4-5 地质学中的简例·····	64
3-4-6 植被研究中的简例·····	64
3-5 表面研究中几何特性的使用 ·····	65
3-5-1 形状、形态和分布型的使用 ·····	65
3-5-2 表面纹理的使用·····	72
3-6 被动式成像仪 ·····	74
3-6-1 成像系统的种类·····	75
3-6-2 传感器的元部件·····	76
3-7 光电探测器和感光胶片 ·····	77
3-8 部分可见光/红外成像仪介绍·····	80
3-8-1 陆地卫星 TM 和 MSS ·····	81
3-8-2 成像光谱仪·····	84
3-9 主动式传感器 ·····	86
3-10 甚短波表面遥感·····	87
3-10-1 辐射源 ·····	87
3-10-2 探测 ·····	87
参考文献及进一步读物 ·····	88
 第 4 章 固态表面遥感:热红外 ·····	 90
4-1 热辐射定律 ·····	90
4-1-1 自然地表发射率·····	91
4-1-2 太阳和行星表面的发射率·····	92
4-2 热导理论 ·····	93
4-3 周期性加热效应 ·····	95
4-4 表面遥感中热发射的使用 ·····	97
4-4-1 太阳对地表的加热·····	97
4-4-2 表面覆盖效应 ·····	101
4-4-3 用热学特性对表面单元分类 ·····	101
4-4-4 地质学中的应用举例 ·····	101

4-5 遥感中热红外光谱特性的应用	104
4-6 热红外传感器	108
4-6-1 热容量成像辐射计	108
4-6-2 热红外多光谱扫描仪	110
参考文献及进一步读物	112

第5章 固态表面遥感:微波发射

5-1 能量与温度的对应关系	113
5-2 简单的微波辐射测量模型	114
5-2-1 极化效应	116
5-2-2 观测角效应	116
5-2-3 大气效应	116
5-2-4 表面粗糙度效应	117
5-3 在表面遥感中的应用	117
5-3-1 在极冰测绘中的应用	118
5-3-2 在观测土壤湿度中的应用	120
5-3-3 测量的模糊性	122
5-4 微波辐射计描述	122
5-4-1 天线及扫描方式	123
5-4-2 接收机子系统	124
5-4-3 数据处理	124
5-4-4 已研制出的微波辐射计范例	125
参考文献及进一步读物	127

第6章 固态表面遥感:微波与射频

6-1 表面相互作用机理	129
6-1-1 表面散射模型	129
6-1-2 吸收损失与体散射	133
6-1-3 极化效应	134
6-1-4 频率效应	136
6-1-5 入射角的影响	139
6-1-6 自然地表的散射	140
6-2 雷达传感器基本原理	141
6-2-1 天线波束特性	141
6-2-2 信号特性:波谱	144
6-2-3 信号特性:调制	147
6-2-4 距离的测量和识别	150
6-2-5 Doppler(速度)测量和识别	152
6-2-6 高频信号的产生	152
6-3 成像传感器:真实孔径雷达	153

6-3-1	成像的几何原理	153
6-3-2	距离分辨率	155
6-3-3	方位分辨率	155
6-3-4	雷达方程	156
6-3-5	信号衰减	157
6-3-6	衰减统计	158
6-3-7	几何畸变	161
6-4	成像传感器:合成孔径雷达(SAR)	162
6-4-1	合成列阵法	162
6-4-2	聚焦与未聚焦 SAR	163
6-4-3	Doppler 合成法	165
6-4-4	SAR 成像坐标系统	166
6-4-5	模糊	167
6-4-6	点目标的响应	168
6-4-7	点目标响应的相互关系	170
6-4-8	SAR 传感器描述	171
6-4-9	成像雷达的应用	174
6-5	非成像雷达传感器:散射计	178
6-5-1	海洋卫星散射计	180
6-5-2	SASS 数据举例	183
6-6	非成像雷达传感器:高度计	185
6-6-1	海洋卫星高度计描述	186
6-6-2	海洋卫星高度计应用	186
6-6-3	成像测高法	189
6-7	非常规雷达传感器	191
6-8	次表层的探测	192
	参考文献及进一步读物	193

第 7 章	海洋表面遥感	196
7-1	海洋表面的物理特性	196
7-1-1	潮汐和环流	197
7-1-2	表面波	197
7-2	海洋地貌的测绘	199
7-2-1	大地水准面的测量	199
7-2-2	表面波效应	202
7-2-3	海面风效应	204
7-3	海面风的测绘	204
7-3-1	观测需求	206
7-3-2	天底观测	206
7-4	海洋表面成像	209

7-4-1 雷达成像机理	209
7-4-2 海洋特征雷达成像的例子	210
7-4-3 海冰成像	213
7-4-4 海色测绘	217
7-4-5 洋面温度测绘	217
参考文献及进一步读物	220

第8章 大气探测与辐射传递的基本原理 223

8-1 大气的物理特性	223
8-2 大气成分	225
8-3 悬浮粒子与云	227
8-4 行星大气中电磁波与大气相互作用的机理	228
8-4-1 共振相互作用	228
8-4-2 线型	231
8-4-3 非共振吸收	233
8-4-4 非共振发射	234
8-4-5 波与粒子相互作用:散射	236
8-4-6 波的折射	236
8-5 光学厚度	237
8-6 辐射传递方程	238
8-7 非散射平行平面大气	239
8-8 大气遥感的基本概念	240
8-8-1 温度探测的基本概念	241
8-8-2 成分探测的基本概念	242
8-8-3 气压探测的基本概念	242
8-8-4 密度测量的基本概念	242
8-8-5 测风的基本概念	242
参考文献及进一步读物	243

第9章 大气微波遥感 244

9-1 微波与大气气体的相互作用	244
9-2 下视传感器的基本概念	244
9-2-1 温度探测	247
9-2-2 成分密度廓线:水汽	250
9-3 上视传感器的基本概念	253
9-4 临边探测传感器的基本概念	253
9-5 反演概念	257
9-6 被动式微波传感器的基本器件	257
9-7 表面气压探测	258
9-8 用掩星法探测大气	259

9-9 大气粒子的微波散射·····	260
9-10 雷达测雨·····	262
9-11 测量降水的雷达方程·····	264
参考文献及进一步读物·····	265
第 10 章 毫米波和亚毫米波的大气探测·····	269
10-1 波与大气成分的相互作用·····	269
10-2 下视探测·····	270
10-3 临边探测·····	273
10-4 毫米波探测器的元部件·····	277
参考文献及进一步读物·····	281
第 11 章 可见光与红外大气遥感·····	282
11-1 可见光与红外辐射同大气的相互作用·····	282
11-1-1 可见光与近红外辐射·····	283
11-1-2 热红外辐射·····	285
11-1-3 共振相互作用·····	286
11-1-4 粒子散射效应·····	288
11-2 下视探测·····	289
11-2-1 发射辐射的一般公式·····	289
11-2-2 温度廓线探测·····	290
11-2-3 简化的权重函数·····	291
11-2-4 非天底观测时的权重函数·····	293
11-2-5 成分廓线的探测·····	293
11-3 临边探测·····	294
11-3-1 发射辐射的临边探测·····	294
11-3-2 吸收辐射的临边探测·····	296
11-3-3 举例:气压调制辐射计·····	296
11-3-4 举例:Fourier 变换光谱学·····	296
11-4 大气运动探测·····	300
11-4-1 被动式技术·····	301
11-4-2 速度场被动式成像:日震·····	304
11-4-3 主动式技术·····	305
11-5 甚短波大气遥感·····	305
参考文献及进一步读物·····	306
第 12 章 电离层遥感·····	311
12-1 行星电离层特性·····	311
12-2 电离介质中波的传播·····	311
12-3 用顶边和底边探测技术遥感电离层廓线·····	315

12-4 用无线电掩星法测量电离层廓线	317
参考文献及进一步读物	318
附录 A 使用多种传感器进行表面观测	319
附录 B 与遥感有关的轨道特性摘要	323
B-1 圆轨道	323
B-1-1 基本特性	323
B-1-2 地球同步轨道	325
B-1-3 太阳同步轨道	325
B-1-4 覆盖	329
B-2 椭圆轨道	329
B-3 轨道选择	332
附录 C 简化的权重函数	334
C-1 向下观测传感器情况(指数大气)	334
C-2 向下观测传感器情况(线性大气)	334
C-3 向上观测传感器情况	335
词汇表	336

第 1 章 概述

遥感是指用非接触方式获得物体的有关信息。物体作用于周围的电磁场、声场或位势场,使它们发生变化,通过探测和测量这种变化得到遥感信息。它包括物体发射或反射的电磁场、物体反射或扰动的声波或由于物体存在而引起的周围引力场或磁位势场的扰动。

“遥感”这个词最广泛地应用于获得信息的电磁技术。这些技术覆盖了整个电磁波范围:低频无线电波、微波、亚毫米波、远红外、近红外、可见光、紫外、X 射线与 γ 射线。

卫星用作观测平台的优点在于能够获得包括地球在内的行星及其环境详细的全球性综观资料。地球卫星星载传感器可以提供的信息包括全球云的分布及其动态变化、地面植被覆盖及其季节变化、地貌结构、洋面温度以及洋面附近的风。卫星平台快速而广阔的覆盖能力使我们可以监测迅速变化的各种现象,特别是大气中发生的变化。其运行的长期性和重复性使我们可以观测到诸如极冰覆盖、沙漠延伸及热带雨林毁损等季节、年度及更长期的变化。遥感的综观性和大尺度覆盖还使我们可以观测诸如板块边界和山脉链等区域性及大陆尺度的特征。

行星探测器(轨道及绕行飞行器)一直在提供有关太阳系中行星和天体的类似信息。截止到 80 年代后期,除冥王星外,太阳系所有的行星都曾用宇宙飞船探测过。行星特性的比较研究提供了太阳系形成和发展的新观点。

1—1 遥感资料的类型和分类

遥感资料的类型取决于被测信息的类型及被研究物体或现象的尺度与动态特性。在表 1—1 中综述了遥感的不同类型及其特征,对应的传感器及其在不同类型资料获取中所起的作用则在图 1—1 中解释。

表 1—1 遥感资料类型

重要需求信息类型	传感器类型	传感器举例
高空间分辨率,宽覆盖	成像传感器,照像机	大型照像机(1984),海洋卫星成像雷达(1978),金星雷达测绘仪(1989)
有限地区或沿卫星轨迹,高光谱分辨率	分光计,光谱辐射计	航天飞机多通道成像辐射计(1981)
有限光谱分辨率,高空间分辨率	多通道测绘仪	陆地卫星多通道测绘仪及热测绘仪(1972—1984),SPOT(1984),Galileo NIMS(1989)
高光谱、空间分辨率	成像光谱仪	星载成像光谱仪(1991)
沿卫星轨迹或宽扫描带的高精度强度测量	辐射计,散射计	海洋卫星散射计(1978)
具有中等成像分辨率及宽覆盖的高精度强度测量	成像辐射计	电子扫描微波辐射计(1975)
位置及廓线的高精度测量	高度计,探测仪	海洋卫星高度计(1978),先驱号金星轨道飞行器雷达(1979),火星轨道飞行器高度计(1990)
三维地形测绘	扫描高度计	航天飞机扫描高分辨率高度计(90 年代初期)

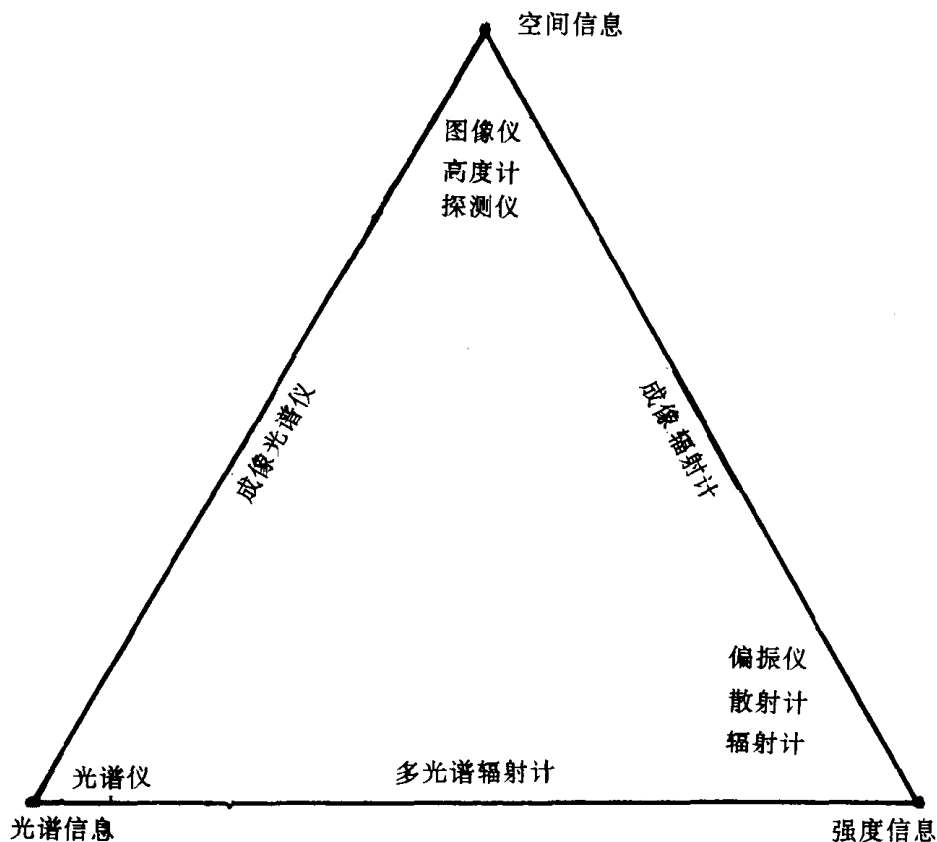


图 1-1 各种信息以及用于获得这些信息所用的传感器示意图

例如：用光谱仪得到光谱信息；用诸如照相机的成像仪获得二维表面信息；用成像光谱仪获得图像中每个像元的光谱信息

在需要高空间分辨率的信息及瞬时性的全球综观时，通常要求二维图像，前者例如地面覆盖及结构制图(图 1-2, 图 1-3)，后者如气象与天气观测(图 1-4)。二维图像可以在宽阔的电磁波段上得到，也可以在某些特定波段内得到(图 1-5)。在微波、红外、可见光与紫外波段所用的成像传感器是电子与摄影的传感器，在获得图像时所用的辐射源有主动源，如雷达或激光器；太阳光照，如紫外、可见光与近红外；或地物表面发射，如热红外、微波(图 1-6)、X 射线与 γ 射线。

光谱仪用来探测、测量入射电磁场的光谱信息，并将其绘成图(图 1-7, 图 1-8)。如果被测对象是行星表面或行星大气，在鉴定其化学组成时，这类信息起着关键作用。在研究行星大气时，由于其化学组成的空间变化平缓，空间信息不如光谱信息重要；在研究地物表面特征时，空间与光谱信息同样重要，这就需要用成像光谱仪(图 1-9, 图 1-10)。在选择观测波段的位置和数目、波段的宽度、图像的空间分辨率和瞬时视场时，不得不在考虑被测对象，传感器数据处理能力及探测器技术性能等条件的基础上，作出取舍的抉择。



图 1-2 加利福尼亚 Imperial Valley 区域的陆地卫星 MSS 可见光/近红外图

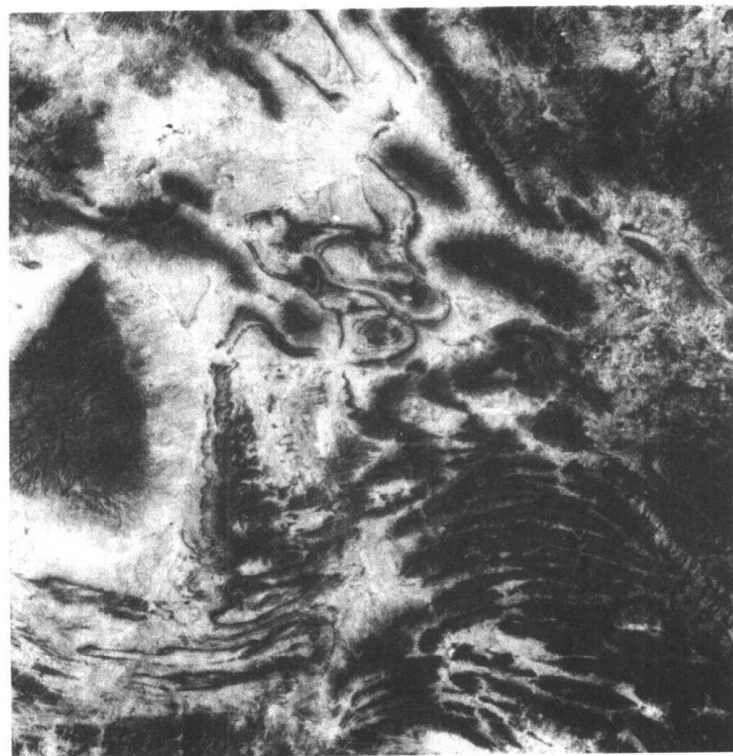


图 1-3 墨西哥 Sierra Madre 区域的褶皱山系(陆地卫星 MSS)

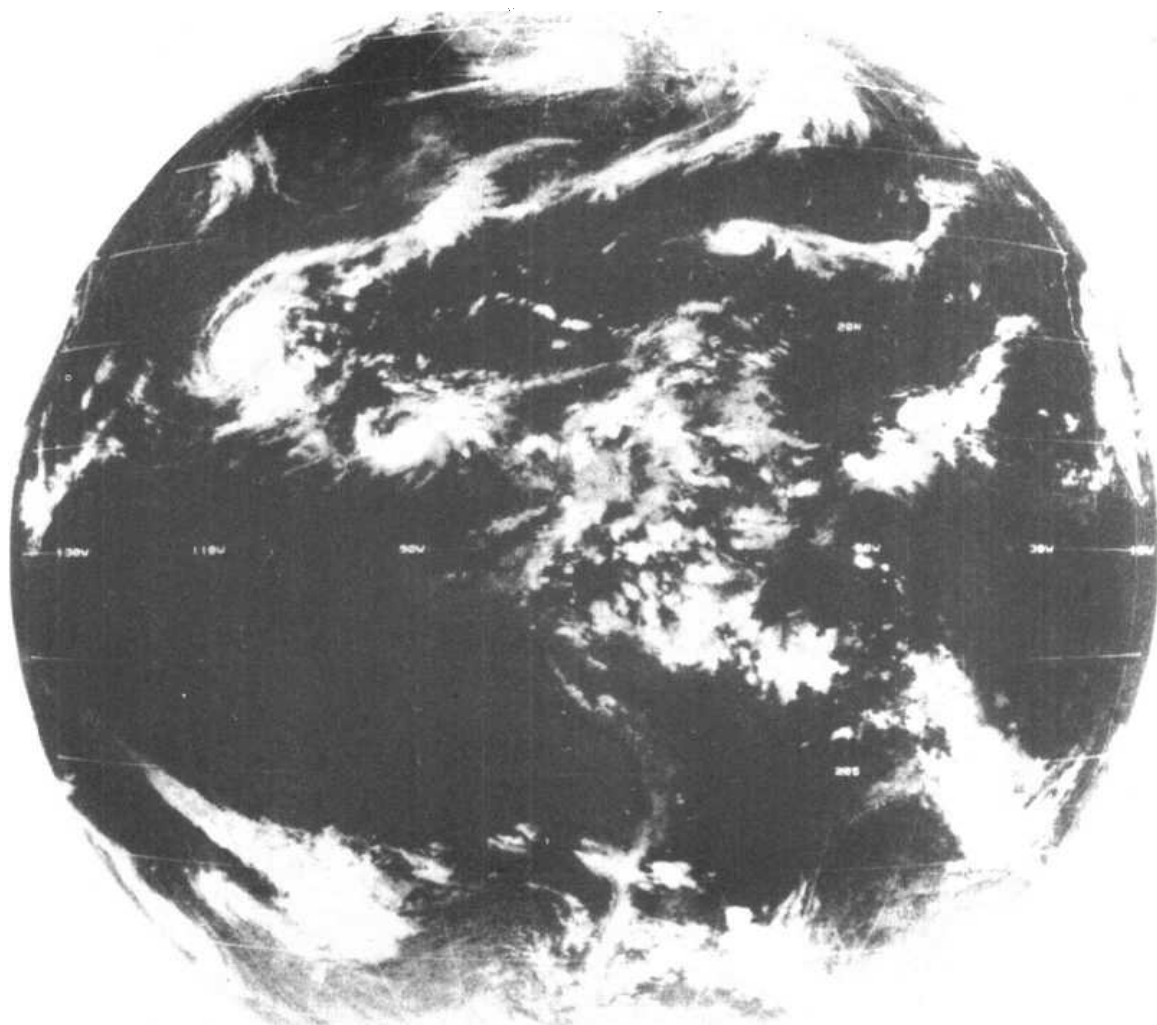


图 1-4 从气象卫星得到的西半球红外云图

在许多应用中,光谱与空间信息都是次要的,所需要的是精确测量某一宽波段上的电磁波强度。对应的传感器称为辐射计,用来测定大气温度廓线^①及洋面温度。成像辐射计则用来对这些参数的空间变化制图(图 1-11)。在主动式微波遥感中,用狭窄波段信号照明表面,用散射计精确测定后向散射场(图 1-12)。偏振仪是一种特殊的辐射计,关键信息包含在透射、反射或散射波的偏振状态之中。反射或散射太阳光的偏振特性可以提供有关行星大气物理特性的信息。

^① 必须指出,多年来的红外遥感反演实践表明:对大气温度廓线间接遥感的探测器而言,则要求实现高光谱分辨率和高精度遥感技术,而且光谱分辨率必须满足 $\frac{\lambda}{\Delta\lambda} \geq 1200$ 的要求,否则不可能解决三维定量遥感垂直分辨率差和反演精度不高的困难——审校者注。