


普通高等教育“十二五”规划教材

遥感原理与应用

主编 苏 涛



 煤炭工业出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

遥感原理与应用

主 编 苏 涛

副主编 王世航 赵明松 徐良骥

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

遥感原理与应用 / 苏涛主编. -- 北京: 煤炭工业出版社, 2015

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5020 - 4861 - 7

I. ①遥… II. ①苏… III. ①遥感技术—高等学校—教材 IV. ①TP7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 086880 号

遥感原理与应用 (普通高等教育“十二五”规划教材)

主 编 苏 涛

责任编辑 闫 非

编 辑 田小琴

责任校对 姜惠萍

封面设计 晓 杰

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

电 话 010 - 84657898 (总编室)

010 - 64018321 (发行部) 010 - 84657880 (读者服务部)

电子信箱 cciph612@126.com

网 址 www.cciph.com.cn

印 刷 北京市建宏印刷有限公司

经 销 全国新华书店

开 本 787mm × 1092mm¹/₁₆ 印张 12¹/₄ 字数 283 千字

版 次 2015 年 9 月第 1 版 2015 年 9 月第 1 次印刷

社内编号 7394

定价 28.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换,电话:010 - 84657880

内 容 提 要

本书以遥感影像的获取、处理以及应用作为主线，逐步系统地阐述了遥感技术的基础与原理、图像处理方法和应用技术等内容。重点阐述了遥感技术的物理原理、成像原理和图像解译方法；较详细地介绍了遥感技术在森林、农业和地质等方面的应用，特别是结合作者多年的研究成果和实践案例，为读者提供实用的应用实例。

本书既可作为高等学校遥感科学与技术、地理信息系统、环境科学、土地管理、城市规划、测绘工程等相关专业本科生的教材，也可作为从事遥感应用研究及相关工程应用科学技术工作者的参考用书。

前 言

遥感是 20 世纪 60 年代兴起并飞速发展的对地综合性探测技术。随着空间技术、电子、计算机技术等现代科技的迅速发展以及地理学、环境学等学科发展的需要, 现已发展形成一门新兴技术学科。进入 21 世纪, 对地观测技术具有很大的跃进, 高空间分辨率同时宽覆盖、高时间分辨率、高光谱多角度观测等新技术为遥感展现了广阔的应用前景。

本书在综合国内外大量资料的基础上, 吸取了有关遥感方面的相关内容, 结合作者多年在教学、科研中的经验, 经过反复酝酿进行编写, 力求理论具有系统性、内容具有前瞻性和实践性, 特别在遥感应用方面, 融入了作者近年来的最新研究成果, 在农业作物估产、干旱监测和蒸散等应用方面为读者提供实用性较强、内容新颖的应用实例。

本书编写分工如下: 第一章、第二章、第三章由王世航编写; 第四章、第五章由赵明松编写; 第六章由郭伟玲编写; 第七章由陈志刚、王楠编写; 第八章由王楠编写; 第九章、第十章由苏涛、徐良骥编写。本书参编人员均为安徽理工大学具有博士学位且长期从事遥感技术教学和研究的教师, 部分章节初稿已在教学中进行了试用, 并进行了多次修改。全书由主编苏涛统稿并定稿, 汪桂生负责全书审校工作。此外, 研究生秦礼明、吴鹏亮在稿件整理方面做了大量工作, 在此表示衷心感谢。

由于作者知识水平有限, 时间仓促, 不足之处在所难免, 敬请各位读者批评指正。

编 者

2015 年 2 月

目 次

| | |
|-----------------|----|
| 第一章 绪论 | 1 |
| 第一节 遥感概述 | 1 |
| 第二节 遥感技术的发展 | 4 |
| 第二章 遥感物理基础 | 7 |
| 第一节 电磁波与电磁波谱 | 7 |
| 第二节 物体的发射辐射 | 10 |
| 第三节 地物的反射辐射 | 19 |
| 第三章 遥感成像原理 | 24 |
| 第一节 遥感平台 | 24 |
| 第二节 遥感传感器 | 34 |
| 第四章 可见光—反射红外遥感 | 40 |
| 第一节 概述 | 40 |
| 第二节 光学—机械扫描成像系统 | 43 |
| 第三节 推扫式扫描系统 | 47 |
| 第四节 成像光谱仪 | 50 |
| 第五章 热红外遥感 | 54 |
| 第一节 概述 | 54 |
| 第二节 热红外遥感的基本原理 | 55 |
| 第三节 热红外传感器与辐射定标 | 64 |
| 第四节 热红外图像的特点与解译 | 65 |
| 第五节 热红外遥感应用 | 67 |
| 第六章 遥感数字图像预处理 | 72 |
| 第一节 遥感数字图像概述 | 72 |
| 第二节 遥感数字图像的辐射校正 | 75 |
| 第三节 遥感数字图像的几何校正 | 81 |

| | |
|-----------------------|-----|
| 第七章 遥感数据解译 | 86 |
| 第一节 典型地物特征分析 | 86 |
| 第二节 地物特征定量化 | 107 |
| 第三节 遥感数据的人工解译 | 114 |
| 第四节 遥感数据的自动解译 | 115 |
| 第八章 遥感技术在森林中的应用 | 130 |
| 第一节 森林的现状 | 130 |
| 第二节 森林的物理量 | 130 |
| 第三节 树高 | 133 |
| 第四节 植被指数 | 135 |
| 第五节 叶面积指数 | 138 |
| 第六节 森林生物量 | 139 |
| 第九章 遥感技术在农业中的应用 | 143 |
| 第一节 作物估产方面的应用 | 143 |
| 第二节 农业干旱监测方面的应用 | 153 |
| 第三节 作物生长状态监测 | 158 |
| 第四节 区域蒸散监测 | 162 |
| 第十章 遥感技术在地质中的应用 | 167 |
| 第一节 岩性识别方面的应用 | 167 |
| 第二节 地质灾害方面的应用 | 173 |
| 第三节 矿藏调查方面的应用 | 185 |
| 参考文献 | 186 |

第一章 绪 论

第一节 遥 感 概 述

遥感是20世纪60年代兴起并飞速发展的对地综合性探测技术。它是在航空摄影测量的基础上,随着空间技术、电子计算机技术等现代科技的迅速发展以及地理学、环境学等学科发展的需要,发展形成的一门新兴技术学科。

一、遥感的概念

遥感一词来自英语 Remote Sensing,即“遥远的感知”。从字面上理解,就是远距离不接触“物体”而获得其信息。它通过遥感器“遥远”地采集目标对象的数据,并通过对该数据的分析来获取有关地物目标、地区或现象信息的一门科学技术。

遥感采集的数据可以有多种形式,包括电磁波(光、热、无线电等)、力(重力、磁力等)和机械波(声波、地震波等)等。实际工作中,重力、磁力、声波及地震波等的探测被划分为物探的范畴。本书的内容涉及电磁波遥感的范畴,即应用探测仪器不与探测目标相接触,从远处把目标的电磁波特性记录下来,通过分析揭示出物体的特征性质及其变化的综合性探测技术。

实际研究中,一般把地球作为遥感的研究对象,即利用航天、航空和地面平台上的遥感传感器,获取地球表层(包括大气圈、水圈、生物圈、岩石圈、土壤圈)特征的反射或发射电磁辐射能的数据,通过对数据的处理和分析,定性、定量地研究地球表层各要素的空间分布特征及时空变化规律,为资源调查及环境监测等服务。

二、遥感的类型

遥感分类方法较多,依据不同分类标志进行分类,主要有下列5种分类方法。

(一) 按遥感平台分类

按遥感平台分类包括近地遥感、航空遥感和航天遥感三种。

(1) 近地遥感。传感器安置在近地平台上,如车载、船载、三脚架、固定或活动高架平台等,其高度一般在一米至数十米。

(2) 航空遥感。传感器安置在航空器上,如气球、飞机、飞艇等,其高度一般在几千米至数十千米。

(3) 航天遥感。传感器安置于环地球的航天器上,如人造地球卫星、航天飞机、空间站、火箭等,其高度一般为数百千米至数万千米。

(二) 按遥感电磁波的探测波段分类

按遥感电磁波的探测波段分类包括紫外遥感、可见光遥感、红外遥感和微波遥感4种。

(1) 紫外遥感。其探测波段为 $0.05 \sim 0.38 \mu\text{m}$ 。

(2) 可见光遥感。其探测波段为 $0.38 \sim 0.76 \mu\text{m}$ 。

(3) 红外遥感。其探测波段为 $0.76 \sim 1000 \mu\text{m}$ 。

(4) 微波遥感。其探测波段为 $1 \sim 10000 \text{ mm}$ 。

(三) 按遥感资料的记录方式分类

按遥感资料的记录方式分类包括成像遥感和非成像遥感两种。

(1) 成像遥感。传感器将所探测到的强弱不同的地物电磁波辐射（发射或反射），转换成深浅不同的色调构成直观图像的遥感资料形式，如航空像片、卫星图像等。

(2) 非成像遥感。传感器将探测到的地物电磁波辐射（发射或反射），转换成相应的模拟信号（如电压或电流信号）或数字化输出，或者记录在磁带上而构成非成像方式的遥感资料，如陆地卫星 CCT 数字磁带等。

(四) 按传感器工作方式分类

按传感器工作方式分类包括主动遥感和被动遥感两种。

(1) 主动遥感。它是指传感器带有能发射讯号（电磁波）的辐射源工作时向目标物发射，同时接收目标物反射或散射回来的电磁波而进行的探测。

(2) 被动遥感。它是指利用传感器直接接收来自地物反射自然辐射源（如太阳）的电磁辐射或自身发出的电磁辐射而进行的探测。

(五) 按遥感的应用目的分类

按遥感应用目的的不同，可以分为资源遥感、环境遥感、农业遥感、林业遥感、渔业遥感、地质遥感、海洋遥感、水文遥感、气象遥感、土壤遥感、工程遥感及灾害遥感、军事遥感等，还可以划分为更细的研究对象进行各种专题应用。

三、遥感特点

遥感作为一门对地观测综合性技术，它的出现和发展不仅是人们认识和探索自然界的客观需要，而且有其他技术手段与之无法比拟的优点，主要有大面积观测、时效性强、数据综合性和数据获取便捷 4 个方面。

(1) 大面积观测。在地球上进行资源和环境调查时，依靠传统的地面调查实施起来非常困难，而遥感探测能在较短的时间内从空中乃至宇宙空间对大范围地区进行对地观测，并从中获取有价值的遥感数据，拓展了人们的视觉空间。例如，一张陆地卫星图像，其覆盖面积超过 $3 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，这种展示宏观景象的图像，可在大范围实现对地球资源和环境分析。

(2) 时效性强。获取信息的速度快，周期短。由于卫星围绕地球运转，从而能及时获取所经地区的各种自然现象的最新资料，这是人工实地测量和航空摄影测量所无法比拟的。例如，Landsat-8，每 16 d 可覆盖地球一遍；NOAA 气象卫星每天能收到两次图像；Meteosat 每 3 min 就能获得同一地区的图像。较短的周期有助于人们通过所获取的遥感数据发现并动态地跟踪地球上许多事物的变化。同时，在研究自然界的变化规律，尤其是在监测天气状况、自然灾害、环境污染甚至军事目标等方面，遥感的运用使得能迅速获得目标信息。

(3) 数据综合性。遥感探测所获取的是同一时段、覆盖大范围地区的遥感数据，这些数据综合地展现了地球上许多自然与人文现象，宏观地反映了地球上各种事物的形态与

分布，真实地体现了地质、地貌、土壤、植被、水文、人工构筑物等地物的特征，全面地揭示了地理事物之间的关联性，并且这些数据在时间上具有相同的现势性。

根据不同的任务，遥感技术可选用不同波段和遥感仪器来获取信息。例如，可采用可见光探测物体，也可采用紫外线、红外线和微波探测物体。利用不同波段对物体不同的穿透性，可获取地物内部信息。

(4) 数据获取便捷，获取信息受条件限制少。在地球上有很多地方的自然条件极为恶劣，人类难以到达，如沙漠、沼泽、高山峻岭等。采用不受地面条件限制的遥感技术，特别是航天遥感可方便及时地获取各种宝贵资料。

四、遥感系统

遥感实现既需要一整套的技术装备，又需要多种学科的参与和配合，因此实施遥感是一项复杂的系统工程。根据遥感的定义，遥感系统是实现遥感目的的方法论、设备和技术的总称，现已成为一个从地面到高空的多维、多层次的立体化观测系统。

遥感系统主要由信息源、信息获取、信息传输、信息接收与处理和信息应用5个部分组成，如图1-1所示。

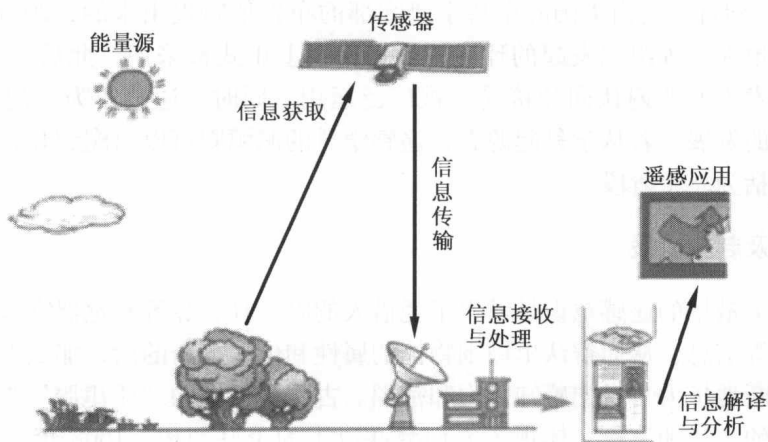


图1-1 遥感系统的组成

(一) 信息源

信息源是遥感需要对其进行探测的目标物。任何目标物都具有反射、吸收、透射及辐射电磁波的特性，当目标物与电磁波发生相互作用时会形成目标物的电磁波特性，这就为遥感探测提供了获取信息的依据。

(二) 信息获取

信息获取是指运用遥感技术装备接收、记录目标物电磁波特性的探测过程。信息获取所采用的遥感技术装备主要包括遥感平台和传感器。遥感平台是用来搭载传感器的运载工具，常用的有气球、飞机和人造卫星等；传感器是用来探测目标物电磁波特性的仪器设备，常用的有照相机、扫描仪和成像雷达等。

(三) 信息传输

传感器将接收到目标地物的电磁波信息记录在数字磁介质或胶片上。胶片是由人或回

收舱送至地面回收，而数字磁介质上记录的信息则可以通过卫星上的微波天线传输给地面的接收站。

(四) 信息接收与处理

地面站接收到遥感卫星发送来的数字信息，运用光学仪器和计算机设备对所获取的遥感信息进行校正、分析和解译处理。信息处理的作用是通过通过对遥感信息的校正、分析和解译处理，掌握或清除遥感原始信息的误差，梳理、归纳出被探测目标物的影像特征，然后依据特征从遥感信息中识别并提取所需的有用信息。

(五) 信息应用

信息应用是指专业人员按不同的目的将遥感信息应用于各业务领域的使用过程。信息应用的基本方法是将遥感信息作为地理信息系统的数据库，供人们对其进行查询、统计和分析利用。遥感的应用领域十分广泛，最主要的应用有军事、地质矿产勘探、自然资源调查、地图测绘、环境监测以及城市建设和管理等。

第二节 遥感技术的发展

“遥感”一词首先是由美国海军科学研究部的布鲁依特提出来的，20世纪60年代初在由美国密歇根大学等组织发起的环境科学讨论会上正式被采用，此后“遥感”这一术语得到科学技术界的普遍认同和接受并被广泛运用。同时，遥感作为一门新兴的独立学科，获得飞速的发展。若从学科起源看，遥感学科的渊源则可以追溯到几百年以前，其发展大致可以概括为三个阶段。

一、萌芽及起步阶段

如果说人类最早的遥感意识是懂得了凭借人的眼、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的话，那么人类自古以来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。1608年，汉斯·李波尔赛制造了世界第一架望远镜。1610年意大利科学家伽利略研制的望远镜及其对月球的首次观测以及1794年气球首次升空侦察，可视为是遥感的最初尝试和实践。而1839年达格雷和尼普斯的第一张摄影像片的发表则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、气球等简陋平台的应用，构成了初期遥感技术系统的雏形。空中像片的魅力，得到更多人的首肯和赞许。如1858年，G·F·唐纳乔用系留气球拍摄了法国巴黎的“鸟瞰”像片；1860年，J·布莱克乘气球升空至630m，成功地拍摄了美国波士顿的照片；1903年，J·纽布朗纳设计了一种捆绑在飞鸽身上的微型相机。这些试验性的空间摄影，为后来的实用化航空摄影打下了基础。

二、航空遥感阶段

航空遥感是从航空摄影开始的，它与摄影技术和飞机等技术的发展密切相关。1903年，莱特兄弟发明了飞机，创造了航空摄影的条件。随后，1909年怀特第一次从飞机上拍摄意大利西恩多西利地区的空中像片，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年开普敦·塔迪沃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。其后，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，特别是军事上能扩大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的发展，遥感探测手段取得了显著的进步，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范围。同时，运载工具以及判读成图设备等也都得到相应的完善和发展。

三、航天遥感阶段

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”拍摄了第一批月球像片。20世纪60年代初，人类第一次实现了从太空观察地球的壮举，并获取了第一批从宇宙空间拍摄的地球卫星图像。这些图像大大地开阔了人们的视野，引起了广泛关注。随着新型传感器的研制成功和应用以及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20世纪70年代初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”（即陆地卫星-1），为航天遥感的发展及广泛应用开创了一个新局面，这一阶段的发展主要表现在以下4个方面。

（一）遥感平台方面

除了航空遥感已成业务运行之外，航天平台也已成系列。有飞出太阳系的“旅行者”1号、2号等的航宇平台；也有以空间轨道卫星为主的航天平台，包括载人空间站、空间实验室以及返回式卫星；还有穿梭于空间与地球间的航天飞机。在空间轨道卫星中有地球同步轨道、太阳同步轨道卫星，还有一些低轨和高轨卫星。有综合目标的较大型卫星，也有专题目标明确的小卫星群。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，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。不同高度，不同用途的卫星构成了对地球和宇宙空间的多角度、多周期的观测。

（二）传感器方面

探测的波段覆盖范围不断延伸，波段的分割越来越精细，从单一谱段向多谱段发展；成像光谱技术的出现把探测波段从几百个推向上千个谱段以上，所能探测目标的电磁波特性更全面地反映出物体特性；成像雷达所获取的信息也向多频率、多角度、多极化方式、多分辨率的方向发展；激光测距与遥感成像的结合使得三维实时成像成为可能；各种传感器空间分辨率的提高，特别是亚米级分辨率航天图像的出现使航天遥感与航空遥感的界线变得不清晰；数字成像技术的发展，打破了传统摄影与扫描成像的界线。此外，多种探测技术的集成日趋成熟，如雷达、多光谱成像与激光测高、全球定位系统的集成可以实时测图，随着遥感技术的发展，此类集成度将会更高。

（三）遥感信息处理方面

数字成像技术的发展推动了计算机图像处理的迅速发展。众多的传感器和日益增长的

大量探测数据使得信息处理显得更为重要，大容量、高速度运行的计算机与功能强大的专业图像处理软件的结合成为主流。PCI、ERDAS、ENVI、ER-MAPPER 和 eCognition 等商业化软件已为广大用户所熟识，这些软件本身也在不断完善以适应遥感事业的发展。在信息提取、模式识别等方面，相邻科学信息处理方法的不断引入丰富了遥感图像处理内容，如分形理论、小波变换、人工神经网络等方法逐步融入人的知识，使遥感信息处理更趋智能化。此外，为适应高分辨率遥感图像和雷达图像处理的要求，除了在光谱分类方面改善图像处理方法之外，结构信息的处理和多源遥感数据及遥感与非遥感数据的融合也得到重视和发展。

（四）遥感应用方面

经过了近 50 多年的发展，遥感应用的领域及应用的深度在不断扩大和延伸，取得了丰硕的成果和显著的经济效益，对于推动经济建设、社会进步、环境改善和国防建设方面都起到积极的作用。在外层空间的探测方面，从轨道卫星和宇宙飞船的传感器上所能获取的信息是地球上观测不能取得的。空间遥感对地球观测得到全球变化的信息已被证明是不可替代的，由遥感观测到的全球气候变化、厄尔尼诺现象及其影响、全球沙漠化问题、绿波的推移及海洋冰山的漂流等的动态变化已经引起人们广泛的重视；对于海洋渔业、海上交通、海洋生态等方面的研究，遥感都已成为重要角色；矿产资源、土地资源、森林、草场资源、野生动物资源、水资源的调查和农作物的估产都少不了遥感技术的应用。遥感在解决各种环境变化，如城市化、沙漠化、土地退化、盐渍化、环境污染等问题有其独特的作用。此外，在灾害的监测，如水灾、火灾、震灾、各种气象灾害和农作物病虫害的预测、预报与灾情评估等方面，遥感都发挥了显著的作用；在各种工程建设中，不同尺度、不同类型的遥感都在不同层次上发挥了作用，如重大的水利工程、港口工程、核电站、路网、机场建设、城市规划与绿化建设等需要从遥感图像上取得了重要的数据。必须指出的是，近十多年来发生的国际上几次重大的军事行动都综合地运用了遥感获取的重要信息。

纵观遥感 50 多年来的发展，总的来看，尽管遥感技术取得了显著进步，但当前仍处于从实验阶段向生产型和商业化过渡的阶段，在其实时监测处理能力、观测精度及定量化水平、遥感信息机理及应用模型建立等方面仍不能或不能完全满足实际应用要求。因此，今后遥感的发展将进入一个更为艰巨的发展历程，为此需要各个学科领域的科技人员协同努力，深入研究和实践，共同促进遥感的更大发展。

第二章 遥感物理基础

遥感技术是建立在物体电磁波辐射理论基础上的，遥感图像则是电磁波辐射与地表相互作用的一种记录。不同物体具有各自的电磁波辐射特性，才有可能应用遥感技术通过传感器来接收不同物体所发射的电磁波，形成磁带或影像。为了更好地认识与理解遥感，我们首先要了解电磁辐射原理以及它通过大气层再被地表反射的过程，这是遥感的物理基础。

第一节 电磁波与电磁波谱

一、电磁波及其特性

根据麦克斯韦电磁场理论，变化的电场能够在它周围引起变化的磁场，这一变化的磁场又在较远的区域内引起新的变化电场，并在更远的区域内引起新的变化磁场。这种变化的电场和磁场交替产生，以有限的速度由近及远在空间内传播的过程称为电磁波（图 2-1）。 γ 射线、X 射线、紫外线、可见光、红外线、微波、无线电波等都是电磁波。电磁波首先由詹姆斯·麦克斯韦于 1865 年预测出来，而后由德国物理学家海因里希·赫兹于 1887—1888 年间在实验中证实存在。

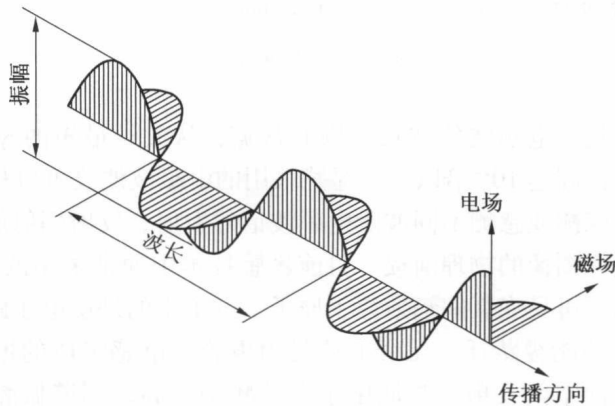


图 2-1 电磁波

电磁波具有以下几个特性：

(1) 电磁波为横波。电磁波的磁场、电场及其行进方向三者互相垂直。振幅沿传播方向的垂直方向作周期性交变，其强度与距离的平方成反比，波本身带能量，任何位置的能量功率与振幅的平方成正比。

(2) 其速度等于光速 $c(3 \times 10^8 \text{ m/s})$ 。在空间传播的电磁波，距离最近电场（磁

场) 强度方向相同, 其量值最大两点之间的距离就是电磁波的波长 λ , 电磁每秒钟变动的次数便是频率 f 。三者之间的关系式为 $c = \lambda f$ 。

(3) 电磁波具有波粒二象性, 即波动性与粒子性。波动性是指电磁波传播到气体、液体、固体介质时, 会发生反射、折射、吸收、透射等现象。在辐射传输过程中, 若碰到粒子还会发生散射现象, 从而引起电磁波的强度、方向等发生变化。这种变化随波长而改变, 因此电磁辐射是波长的函数。粒子性是指电磁波是由密集的光子微粒流有规律地运动。

二、电磁波谱

γ 射线、X 射线、紫外线、可见光、红外线和无线电波在真空中按照波长或频率递增或递减的顺序排列, 构成了电磁波谱 (图 2-2)。电磁波谱范围及对应的种类划分见表 2-1。

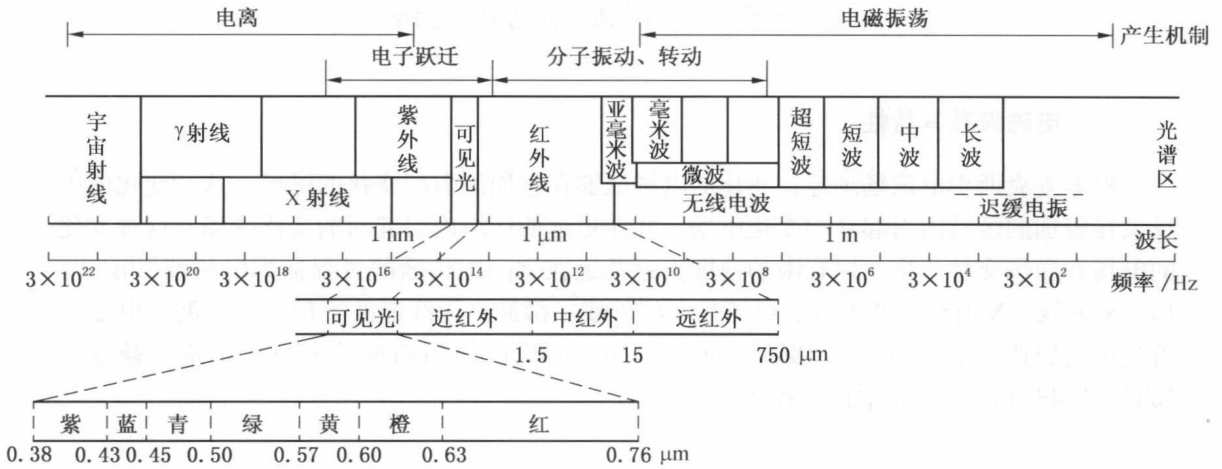


图 2-2 电磁波谱

从电磁波谱图可见, 电磁波的波长范围非常宽, 从波长最短的 γ 射线到最长的无线电波, 他们的波长之比高达 10^{22} 倍以上。遥感采用的电磁波波段可以从紫外一直到微波波段。遥感就是通过探测或感测不同波段电磁波谱的发射、反射辐射能级而成像的, 可以说电磁波的存在是获取图像的物理前提。目前遥感技术中通常采用的电磁波位于可见光、红外和微波波谱区间。可见光区间辐射源于原子、分子中的外层电子跃迁。红外辐射则产生于分子的振动和转动能级跃迁。无线电波是由电容、电感组成的振荡回路产生电磁辐射, 通过偶极子天线向空间发射。微波由于振荡频率较高, 用谐振腔及波导管激励与传输, 通过微波天线向空间发射。由于它们的波长或频率不同, 不同电磁波又表现出各自的特点。电磁波与地物相互作用的特点与过程是遥感成像机理探讨的主要内容。

表 2-1 电磁波谱范围及对应的种类划分

| 波 段 | 波 长 |
|-------|-------------|
| 长波 | > 3000 m |
| 中波和短波 | 10 ~ 3000 m |

表 2-1 (续)

| 波 段 | | 波 长 | |
|-------------|------------------|---|---------------------------|
| 超短波 | | 1 ~ 10 m | |
| 微波 | | 1 ~ 1000 mm | |
| 红外波段 | 超远红外 | 0.76 ~ 1000 μm | 15 ~ 1000 μm |
| | 远红外 ^① | | 6 ~ 15 μm |
| | 中红外 | | 3 ~ 6 μm |
| | 近红外 | | 0.76 ~ 3 μm |
| 可见光 | 红 | 0.38 ~ 0.76 μm | 0.62 ~ 0.76 μm |
| | 橙 | | 0.59 ~ 0.62 μm |
| | 黄 | | 0.56 ~ 0.59 μm |
| | 绿 | | 0.50 ~ 0.56 μm |
| | 青 | | 0.47 ~ 0.50 μm |
| | 蓝 | | 0.43 ~ 0.47 μm |
| | 紫 | | 0.38 ~ 0.43 μm |
| 紫外线 | | $10^{-3} \sim 3.8 \times 10^{-1} \mu\text{m}$ | |
| X 射线 | | $10^{-6} \sim 10^{-3} \mu\text{m}$ | |
| γ 射线 | | $< 10^{-6} \mu\text{m}$ | |

注：①也有人将 0.76 ~ 15 μm 看做近红外，将 15 ~ 1000 μm 看做远红外。

三、电磁辐射的度量

任何物体都是辐射源，不仅能够吸收其他物体对它的辐射，也能够向外辐射。电磁波传递其实就是电磁能量的传递。因此，遥感探测实际上是辐射能量的测定。电磁辐射的度量常用指标如下：

(1) 辐射能量 (W)。电磁辐射的能量，单位为 J。

(2) 辐射通量 (φ)。单位时间内通过某一面积的辐射能量， $\varphi = dW/dt$ ，单位是 W。辐射通量是波长的函数，总辐射通量应该是各波段辐射通量之和或辐射通量的积分值。

(3) 辐射通量密度 (E)。单位时间内通过单位面积的辐射通量， $E = d\varphi/dS$ ，单位为 W/m^2 ， S 为面积。

(4) 辐照度 (I)。被辐射的物体表面单位面积上的辐射通量， $I = d\varphi/dS$ ，单位为 W/m^2 ， S 为面积。

(5) 辐射出射度 (M)。辐射源物体表面单位面积上的辐射通量， $M = d\varphi/dS$ ，单位为 W/m^2 ， S 为面积。辐照度 (I) 与辐射出射度 (M) 都是辐射通量密度的概念，不过 I 为物体接收的辐射， M 为物体发出的辐射，它们都与波长 λ 有关。

(6) 辐射亮度 (L)。假定有一辐射源呈面状，向外辐射的强度随辐射方向而不同，则 L 定义为辐射源在某一方向的单位投影表面在单位立体角内的辐射通量，即

$$L = \frac{\varphi}{\Omega(A \cos\theta)} \quad (2-1)$$

式中 L ——辐射亮度。

第二节 物体的发射辐射

一、黑体辐射

(一) 绝对黑体

如果一个物体对于任何波长的电磁辐射都全部吸收, 则这个物体是绝对黑体。绝对黑体不仅具有最大的吸收率, 也具有最大的发射率, 却丝毫不存在反射。

实验表明, 一个不透明的物体对入射到它上面的电磁波只有吸收和反射作用, 且此物体的光谱吸收率 $\alpha(\lambda, T)$ 与光谱反射率 $\rho(\lambda, T)$ 之和恒等于 1, 实际上对于一般物体而言, 上述系数都与波长和温度有关, 但绝对黑体的吸收率 $\alpha(\lambda, T) \equiv 1$ 、反射率 $\rho(\lambda, T) \equiv 0$; 与之相反的绝对白体则能反射所有的入射光, 即反射率 $\rho(\lambda, T) \equiv 1$ 、吸收率 $\alpha(\lambda, T) \equiv 0$, 系数与物体的温度和波长无关。

理想的绝对黑体在实验上是用一个带有小孔的空腔做成的 (图 2-3)。空腔壁由不透明的材料制成, 空腔器壁对辐射只有吸收和反射作用, 当从小孔进入的辐射照射器壁上时大部分辐射被吸收, 仅有 5% 或更少的辐射被反射, 经过 n 次反射后, 如果有通过小孔射出能量的话, 也只有 (5%) n , 当 n 大于 10 时, 认为此空腔符合绝对黑体的要求。黑色的烟煤, 因其吸收系数接近 99%, 被认为是最接近绝对黑体的自然物体。恒星和太阳的辐射也被看做是接近黑体辐射的辐射源。

(二) 黑体辐射特性

1900 年, 普朗克用量子理论概念推导黑体辐射通量密度 E_λ 和其温度的关系以及按波长 λ 分布的辐射定律:

$$E_\lambda(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{ch}{\lambda kT}} - 1} \quad (2-2)$$

式中 E_λ ——波谱辐射通量密度, $W/(cm^2 \cdot \mu m)$;

λ ——波长, μm ;

h ——普朗克常数, $h = 6.6256 \times 10^{-34} J \cdot s$;

c ——光速, $c = 3 \times 10^{10} cm/s$;

k ——玻耳兹曼常数, $k = 1.38 \times 10^{-23} J/K$;

T ——绝对温度, K 。

图 2-4 所示为几种温度下用普朗克公式绘制的黑体辐射波谱曲线, 从图中可直观地看出黑体辐射的三个特性:

(1) 与曲线下的面积成正比的总辐射通量密度 W 是随温度 T 的增加而迅速增加。总辐射通量密度在从零到无穷大的波长范围内, 对普朗克公式进行积分得

$$W = \int_0^\infty \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{ch}{\lambda kT}} - 1} d\lambda \quad (2-3)$$

可得到从 $1 cm^2$ 面积的黑体辐射到半球空间里的总辐射通量密度的表达式为

$$M = \sigma T^4 \quad (2-4)$$