

获国家 863 计划课题“遥感数据处理商用软件”支持

遥感与地理信息系统 基本理论和实践

倪金生 李琦 曹学军 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书是结合 RS、GIS 及二次开发应用，面向实际应用项目的需求写作而成的，由遥感图像处理、地理信息系统及二次开发组件三大部分组成。第 1, 2 章介绍遥感图像成像原理，常用卫星信息，遥感数字图像处理的基本方法。第 3~5 章讲述地理信息系统的发展起源、基本内容及系统功能。第 6, 7 章阐述二次开发组件的基本原理及其应用。同时，书中以泰坦软件为背景，给出丰富的范例演示，并列出了翔实的二次开发实例。

本书可作为 3S 专业的本科生、研究生的辅助教材。同时，对从事地球科学领域的软件工作者和从事 3S 应用开发的技术人员，具有重要的参考价值。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

遥感与地理信息系统基本理论和实践/倪金生, 李琦, 曹学军编著. —北京: 电子工业出版社, 2004.9

ISBN 7-121-00257-4

. 遥... . 倪... 李... 曹... . 遥感技术 地理信息系统 . TP7 P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 084586 号

责任编辑：邓小瑜

印 刷：

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销：各地新华书店

开 本：787×1092 1/16 印张：22.25 字数：570 千字

印 次：2004 年 9 月第 1 次印刷

印 数：6 000 册 定价：36.00 元

凡购买电子工业出版社的图书，如有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系。联系电话：(010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

从 19 世纪 60 年代开始,随着传感器技术、微波技术及计算机技术的发展,遥感应用在技术上不断创新。其应用广度不断拓宽,应用深度不断加强。尤其是进入 21 世纪,随着航空航天技术的发展,从美国的“猎兔犬号”探测器登陆火星行动,到中国的“神舟五号”载人飞船的发射成功,使得遥感技术的应用成为新的热点。现代遥感技术是在传统遥感技术的基础上,随着计算机技术的发展,将地理信息系统、数据库与之融为一体的产物。与之相对应的是,社会对遥感技术人才的需求从单一型人才向复合型人才转变。

同样,在 20 世纪 60 年代初由加拿大科学家提出的地理信息系统科学发展至今,也与相关学科、相关应用合为一体,使得地理信息系统科学的外延扩大到图像处理等方面。地理信息系统逐渐成为新兴的、与各领域信息化假设密切相关的学科。基于此,愈来愈多的高校将地理信息系统与遥感图像处理相结合,作为一门重要学科开设专业。

作者从事遥感技术、地理信息系统技术的开发及相关项目的应用实践多年,愈加感觉到遥感与地理信息系统这两门互相独立又彼此关联的学科正在向集成化方向发展。从农业、林业、水利、国土、地质、环保、国防等实际应用情况来看,几乎所有大型的应用系统,都囊括了 GIS、RS、三维可视化、Web 应用、二次应用开发与维护等方面的内容。正是由于实际应用的需要,很多国内外应用系统的软件开发平台选用了集 RS、GIS、二次开发组件为一体的泰坦软件。国家科技部为了促进中国自主知识产权的 RS 与 GIS 软件的发展,专门设立了国家“863”计划“遥感数据处理商用软件”课题,大力支持了泰坦软件的研发。中国科学院、国家林业局、南京大学、国土资源部等机构,协助北京东方泰坦公司积极参与了此次“863”项目的实施,并获得了国家遥感中心的奖励。

根据目前技术的发展及实际应用的需要,我们认为有必要在高校中开设一门遥感科学与地理信息系统相结合的课程。同时,根据社会需要,应加强培养学生独自进行系统开发的技能。因此,我们编著本书,志在培养既具有遥感技术与地理信息系统综合理论知识,又能够进行遥感技术和地理信息系统开发的实用型人才。本书初步介绍了遥感基本理论和地理信息系统的基本知识。同时,加强了二次组件开发方面的内容和实际演练。本书的实习部分均采用泰坦图像处理、泰坦 GIS 及泰坦二次开发组件。如读者在实习中需要得到任何技术支持,请登录 www.otitan.com 或致电 010-82884071。

在编写本书的过程中,得到中科院童庆禧院士的热情鼓励,中科院资源与环境信息系统国家重点实验室周成虎教授和南京大学田庆久教授的大力协作。在此深表感谢。本书的文字编写还得到了北京东方泰坦科技有限公司同仁的支持,并且得到中国地质大学万世基教授和有关同学的热情帮助,在此一并感谢。

本书的出版是配合本科生和研究生的基本理论学习,对软件实践和具体开发进行辅助指导,在理论创新和算法描述方面难免不足。若研习人员对理论和算法有更深层次的要求,可参考其他有关遥感技术与地理信息系统的理论专著。

由于时间仓促，作者水平有限，书中难免存在不足。希望各位专家学者批评指正。同时，作者在此抛砖引玉，希望有更多更好的精品教材出版，使得遥感与地理信息系统的最新理论与技术不断面世，使得理论能够更好地结合实际应用，为中国的信息化建设尽绵薄之力。

倪金生

2004年8月8日

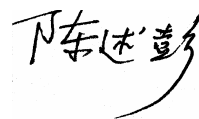
序 言

在邓小平同志“发展高科技，实现产业化”的思想指引下，近 20 多年来，我国遥感应用与地理信息系统产业化的浪潮，欣欣向荣，如日中天！遥感应用企、事业单位涌现 160 多家；地理信息系统企、事业单位已超过 400 家。高等院校创办和筹办中的相关专业将近 120 个。

与此同时，在科学发展观和五个“统筹”方针的指引下，“哪一个现代化也离不开信息化！”为了缩小“数字鸿沟”，对外加强与国际商贸、物流、能源、旅游产业接轨；为了开发西部、振兴东北、加强沿海与内地城市互动，促进长三角，泛珠三角的社会经济的持续、稳定发展，城乡兼顾，区域优势互补，全国半数以上的省区、五大江河流域和 200 多个大中城市都在推进数字化。电子政务、电子商务和规划、管理也都离不开对地观测空间数据、全球定位数据在地理信息系统和网络环境下的综合集成。

倪金生先生领导北京东方泰坦科技公司，面向国家现代化、信息化的重大需求。适应当代地理信息系统与遥感数据无缝隙衔接，多源融合，三维显示，并针对网络化、组件化、移动化的新形势，开发了基于不规则三角网（TIN）和栅格网的新型地理信息系统软件。其功能先进，算法新颖，使用方便，为社会提供“4A”信息服务。为我国地理信息系统软件二次开发，作了新贡献。在他们丰富的产业化实践的基础上，旁征博引，爱屋及乌，编著了《遥感与地理信息系统基本理论和实践》。该书从新的视角，阐述作者对遥感与地理信息系统科学和技术的深刻、独到的见解。来自实践而又高于实践。不仅作为教学与培训的专业参考读物大有帮助；而且对于从事空间信息基础平台研制与自主软件开发的同行们也大有启发，可作借鉴。

正当隆重纪念邓小平同志诞辰 100 周年活动的日子里，读到这部新著，看到我国遥感与地理信息系统产业化的蓬勃发展，不胜雀跃，欣然命笔为序，与读者同喜！



中国科学院遥感应用研究所名誉所长
2004 年 8 月 22 日

目 录

第 1 章 遥感信息获取	(1)
1.1 遥感物理基础.....	(1)
1.1.1 电磁理论.....	(1)
1.1.2 大气窗口.....	(2)
1.2 遥感光学基础.....	(4)
1.3 遥感分类.....	(4)
1.4 遥感成像原理.....	(5)
1.4.1 摄影成像.....	(5)
1.4.2 扫描成像.....	(5)
1.4.3 雷达成像.....	(7)
1.5 全球在轨遥感卫星介绍.....	(7)
1.5.1 Landsat.....	(8)
1.5.2 SPOT.....	(9)
1.5.3 IKONOS.....	(10)
1.5.4 QuickBird.....	(11)
1.5.5 中巴地球资源卫星 (CBERS).....	(11)
1.5.6 日本 JERS-1 卫星.....	(12)
1.5.7 ERS 卫星.....	(12)
1.5.8 RADARSAT-1.....	(12)
1.5.9 欧空局 ENVISAT-1 卫星.....	(12)
第 2 章 遥感数字图像处理	(13)
2.1 遥感数字图像处理简介.....	(13)
2.1.1 遥感数字图像处理概述.....	(13)
2.1.2 遥感数字图像处理系统简介.....	(13)
2.1.3 遥感数据的存储格式.....	(14)
2.1.4 遥感图像的特征.....	(15)
2.2 图像预处理.....	(16)
2.2.1 辐射校正.....	(16)
2.2.2 几何校正.....	(17)
2.2.3 遥感图像数字镶嵌.....	(20)
2.2.4 Titan Image 实习.....	(20)
范例一：辐射校正.....	(21)
范例二：几何校正.....	(22)
范例三：图像投影设置.....	(26)

范例四：影像镶嵌	(28)
2.3 图像增强	(34)
2.3.1 波谱信息增强	(34)
2.3.2 空间信息增强	(39)
2.3.3 Titan Image 实习	(42)
范例一：反差扩展	(42)
范例二：假彩色合成	(54)
范例三：空间滤波增强	(56)
范例四：频域滤波增强	(61)
范例五：主成分变换	(66)
范例六：图像融合	(70)
范例七：图像运算	(73)
2.4 图像分类	(80)
2.4.1 特征变换(特征提取)与特征选择	(80)
2.4.2 图像分类	(81)
2.4.3 Titan Image 实习	(83)
范例一：监督分类	(84)
范例二：非监督分类	(86)
范例三：分类后处理	(88)
2.5 雷达和高光谱遥感技术	(90)
2.5.1 雷达遥感	(90)
2.5.2 高光谱遥感	(95)
2.5.3 Titan Image 实习	(100)
范例一：雷达图像处理	(100)
范例二：高光谱图像处理	(109)
2.6 遥感前沿	(116)
2.6.1 遥感技术的发展趋势	(116)
2.6.2 遥感与地理信息系统、全球定位系统集成	(117)
第3章 地理信息系统概论	(118)
3.1 地理信息系统的概念	(118)
3.1.1 地理信息系统发展的历史背景和原因	(118)
3.1.2 地理信息系统与相关学科的关系	(119)
3.1.3 地理信息系统的定义	(120)
3.1.4 地理信息系统的组成	(121)
3.2 地理信息系统的发展	(122)
3.2.1 地理信息系统的发展过程	(122)
3.2.2 地理信息系统的应用	(122)
3.3 地理信息系统的研究内容	(123)
3.4 地理信息系统软件分类及 Titan GIS	(124)

3.4.1	地理信息系统软件分类	(124)
3.4.2	地理信息系统的发展趋势	(124)
3.4.3	Titan GIS 介绍	(126)
第 4 章	空间数据的输入、编辑与管理	(131)
4.1	地理空间的表达	(131)
4.1.1	矢量数据模型	(131)
4.1.2	栅格数据模型	(134)
4.1.3	TIN 模型	(135)
4.1.4	面向对象表达	(136)
4.1.5	Titan GIS 的数据组织	(137)
	练习：Titan GIS 软件入门	(139)
4.2	空间数据特征及表示方法	(142)
4.2.1	空间数据基本特征	(142)
4.2.2	空间数据的类型和表示方法	(143)
4.2.3	属性特征数据类型	(143)
	练习：地图数据的不同方式显示	(144)
4.3	空间数据的输入与编辑	(149)
4.3.1	坐标系统与地图投影	(149)
4.3.2	空间数据的输入与编辑	(154)
	练习一：创建新数据——屏幕扫描矢量化及编辑	(159)
	练习二：矢量化后图形的编辑	(162)
	练习三：地图投影设置与投影变换	(167)
4.3.3	空间数据的交换	(168)
	练习四：其他格式数据的导入与拓扑生成	(170)
4.4	空间数据的管理	(172)
4.4.1	地理空间数据库	(172)
4.4.2	空间数据模型	(173)
4.4.3	空间索引概念	(174)
	练习一：Titan GIS 数据库的设计	(175)
	练习二：操作远程数据库	(178)
第 5 章	空间数据分析与制图输出	(184)
5.1	空间数据的查询分析	(184)
5.1.1	空间查询	(184)
5.1.2	基于属性特征查询	(185)
5.1.3	基于空间关系和属性特征的查询 (SQL)	(186)
	练习：空间数据的查询	(186)
5.2	图形量算	(190)
5.2.1	质心量算	(191)

5.2.2	距离量算	(192)
	练习：数据的距离量算、角度量算和面积量算	(193)
5.3	缓冲区分析	(194)
	练习：缓冲区分析实例	(195)
5.4	网络分析	(197)
5.4.1	网络数据结构	(198)
5.4.2	主要网络分析功能	(198)
	练习一：最优路径分析	(199)
	练习二：可达区分析	(201)
5.5	空间叠加分析	(204)
5.5.1	视觉信息叠加	(204)
5.5.2	点与多边形叠加	(204)
5.5.3	线与多边形叠加	(204)
5.5.4	多边形叠加	(205)
	练习：图层间选择	(206)
5.6	DEM的建立与地形分析	(208)
5.6.1	概述	(208)
5.6.2	DEM模型的建立	(212)
5.6.3	DEM的分析和应用	(213)
	练习：应用 Titan GIS 软件进行有关 DEM 数据的各种分析操作	(216)
5.7	空间数据的制图输出	(227)
5.7.1	概述	(227)
5.7.2	专题地图制图	(228)
5.7.3	专题地图设计	(230)
5.7.4	制图综合	(231)
	练习：应用 Titan GIS 软件进行制图输出	(232)
5.8	3D GIS 及 Titan GIS 的三维模块 Titan VrMap	(243)
5.9	网路地理信息系统及 Titan GIS 的完整解决方案	(245)
第 6 章	二次开发组件概论	(247)
6.1	GIS 和 RS 的二次开发	(247)
6.1.1	二次开发的方式	(247)
6.1.2	数据管理方式	(248)
6.1.3	用户界面设计	(249)
6.2	基于组件的 GIS 二次开发	(250)
6.2.1	组件技术	(251)
6.2.2	GIS 组件的特点	(252)
6.2.3	组件式 GIS 开发平台的结构	(253)
6.3	实习	(254)
6.3.1	学习在 Windows 平台上如何注册开发组件	(254)

第 7 章 泰坦二次开发组件	(255)
7.1 泰坦地理信息和遥感组件介绍	(255)
7.1.1 泰坦地理信息和遥感组件的功能	(255)
7.1.2 泰坦地理信息和遥感组件的产品结构.....	(255)
7.1.3 Titan GIS 基本概念.....	(258)
7.1.4 Titan GIS 的数据模型.....	(259)
7.1.5 Titan GIS 组件的数据组织.....	(261)
7.1.6 架构 Titan GIS 组件的基本概念.....	(263)
7.1.7 使用 Titan GIS 组件的一般方式.....	(264)
7.1.8 图像处理.....	(265)
7.2 使用 Visual Basic 和泰坦组件进行开发.....	(266)
7.2.1 开发环境设置	(266)
7.2.2 在窗体中显示地图.....	(270)
7.2.3 地图的放大、缩小及漫游.....	(272)
7.2.4 数据层的符号化显示	(279)
7.2.5 图表互查	(283)
7.2.6 统计功能	(291)
7.2.7 显示栅格图层	(293)
7.2.8 toTLayoutX 控件	(296)
7.3 使用 Visual C++ 和泰坦组件进行开发.....	(301)
7.3.1 开发环境设置	(301)
7.3.2 在窗体中显示地图.....	(306)
7.3.3 地图的放大、缩小及漫游.....	(310)
7.3.4 数据层的符号化显示	(316)
7.3.5 图表互查	(321)
7.3.6 统计功能	(331)
7.3.7 显示栅格图层	(333)
7.3.8 toTLayoutX 控件	(336)
参考文献	(341)

第 1 章 遥感信息获取

遥感技术是 20 世纪 60 年代迅速发展起来的一门综合性探测技术。它建立在现代物理学,如光学技术、红外技术、微波技术、雷达技术、激光技术等,电子计算机技术,数学方法和地学规律的基础上。

遥感技术是指从不同高度的平台,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。

现代遥感技术组成了一个从地面到空间、从资料数据的收集处理到判读应用的体系,包括:(1)研究地物电磁波辐射的特性及信息的传输;(2)研究遥感信息探测手段,主要是研究传感器;(3)研究遥感信息的处理系统;(4)研究遥感信息的应用。

近年来,遥感技术迅速发展,其重要因素之一是遥感技术被广泛地应用于我们生活的环境。人们越来越需要更深刻、更全面地了解地球,了解它的资源,了解它的变化,以便更合理地安排自己的生产和活动。遥感技术应用很广,它可以用于农林业资源监测,估算农作物产量,监控农作物的生长情况,预报预测农林业灾害,全球天气预报,空气污染监测,海洋、地质、水资源、考古、土地领域及城市规划、交通、测绘、电信等方面。

1.1 遥感物理基础

1.1.1 电磁理论

1. 电磁波谱

1889 年赫兹用电磁振荡的方法产生了电磁波。经实验证明,电磁波的性质与光波的性质相同。随着对光本性认识的深化,光波和电磁波被统一起来。此后又发现更多形式的波也具有电磁波的性质,如 1891 年发现的 X 射线,1896 年发现的 γ 射线等。按电磁波在真空中传播的波长或频率,递增或递减排列,则构成了电磁波谱。该波谱以频率从高到低排列,可以划分为宇宙射线、 γ 射线、X 射线、紫外线、可见光、红外线、微波、无线电波,如图 1-1 所示。

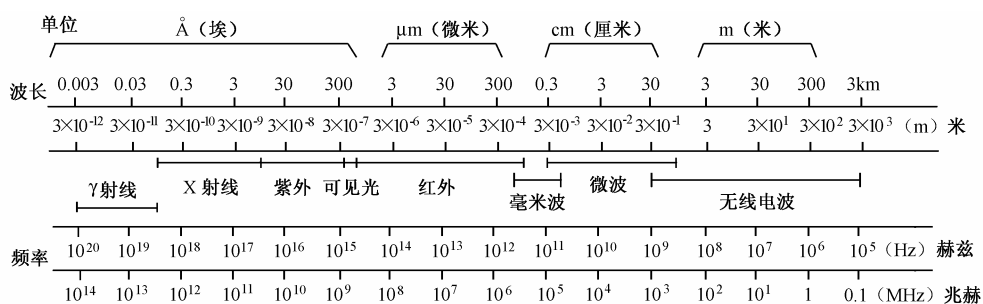


图 1-1 电磁波谱示意图

其中可见光、红外线、微波为遥感中最常用的三大波段。可见光是人眼可以看见的电磁

波，其波长是 $0.38 \sim 0.76\mu\text{m}$ 。它可以细分为 7 色——紫、蓝、青、绿、黄、橙、红，也可以粗分为蓝、绿、红 3 色，即 3 个光谱段：蓝色光为 $0.38 \sim 0.50\mu\text{m}$ ，绿色光为 $0.50 \sim 0.60\mu\text{m}$ ，红色光为 $0.60 \sim 0.70\mu\text{m}$ 。红外线的波长范围是 $0.76 \sim 1000\mu\text{m}$ ，其中 $0.76 \sim 3.0\mu\text{m}$ 范围叫反射红外，不包括地物的发射波谱信息（ $0.76 \sim 0.9\mu\text{m}$ 波段可以用摄影的方式记录在胶片上，所以又叫“摄影红外”）。微波指波长为 $0.1\text{mm} \sim 1\text{m}$ 的无线电波。它又可分为亚毫米波（丝米波）、毫米波、厘米波、分米波。

2. 物体的光谱特性

物质的运动形态是由特定的能量过程和状态决定的。它们表现为物体的各种特征。各种形式的能量都可以转换成电磁辐射形式。辐射的发射和吸收直接涉及物体的成分、结构、温度、形状和表面状态等。因此，电磁辐射是传递物体信息的基本媒介。

电磁辐射特性是物体的基本特性。任何物体根据自身的物理和化学性质而具有特定的辐射特征。表现在辐射的发射、反射、吸收、散射和偏振（或极化）等特性上。辐射自身的基本表征量是强度（或功率）和波长（或频率）。这样，人们可以利用这两个基本量来表征物体的上述五种基本的辐射特征。

物质的光谱特性即地物对电磁波响应特性，是遥感的理论基础。电磁能入射到地物时，对入射能量产生不同程度的反射、透射、吸收、散射和发射。电磁能与物体的相互作用是有选择的，它决定于物体的表面性质和内部的原子、分子结构。不同的物质反射、发射电磁波的能量随波长而不同。既有质的差异，又有量的变化。这种变化规律，就是地物的波谱特性。

现代遥感技术主要是建立在对地物光谱特性研究的基础上。因此，从仪器的设计、最佳工作波段的选择及遥感数据的分析处理都要充分考虑这一问题。

从紫外至可见光至近红外，遥感传感器接收的主要是来自地物反射太阳辐射的反射辐射电磁波。因此，在这一波长范围内的地物遥感研究，主要是研究地物的反射光谱特性。

物体温度在绝对零度以上均有发射辐射，也称热辐射，热辐射与物体温度直接相关，温度越高辐射越强。从辐射波长看，温度越高，短波成分越强；低温物体，长波成分强。可发出红外和微波辐射。当物体温度不变时，发射与吸收两者相等。一个好的辐射发射体必然也是一个良好的辐射吸收体（基尔霍夫黑体辐射定理）。此外，物体的热辐射还与其物质成分、表面状态、几何结构等因素有关。地球表面的温度在 $250 \sim 350\text{K}$ 范围内，故地球表面物体大都有发射电磁波的能量。此温度的物体发射的电磁能量大部分处于 $3 \sim 14\mu\text{m}$ 的远红外波段内，峰值大约在 $9.7\mu\text{m}$ 附近。这个波长范围也叫热红外，由于大气吸收的影响，目前热红外遥感所采用的波段为 $3 \sim 5\mu\text{m}$ 和 $8 \sim 14\mu\text{m}$ 。前者主要用于对热点地物的探测，较常采用的还是 $8 \sim 14\mu\text{m}$ ，由于大气中臭氧对 $9 \sim 10\mu\text{m}$ 波段电磁波的强吸收，所以航天遥感常采用 $10.5 \sim 12.5\mu\text{m}$ 进行探测，而航空遥感采用 $8 \sim 14\mu\text{m}$ 。影响物体发射辐射的因素有物体表面的粗糙度、颜色、温度和热惯性。

1.1.2 大气窗口

遥感是一种远距离信息获取与处理技术，必然会遇到电磁辐射在自然环境中的传输问题，电磁辐射必然要穿越地球大气。电磁辐射与地球大气相互作用中，所产生的吸收、反射、散射与发射效应，与大气物质的成分及形态有关。在大气遥感中气象卫星的主要探测目标，就是大气物质散射、反射和发射的电磁辐射信息。然而，大气效应对于遥感探测地球表

面地物的辐射信息，却是一种不利因素。它不仅使传向太空的地表辐射信息遭到衰减，而且由大气效应产生的天空光也一并进入遥感器，造成对地表辐射信息的干扰。

1. 电磁波与大气间的相互作用

一般来说，大气衰减作用的程度与大气成分及物理性质有关，与电磁波长有关，电磁波频率越高（即波长越短），大气衰减作用显著；相反，频率越低，大气衰减作用可忽略不计（如微波遥感）。电磁辐射在大气中传输，与大气中分子和粒子发生相互作用，主要是散射和吸收。

1) 大气的散射

电磁辐射在传播过程中遇到小微粒而使传播方向改变，并向各个方向散开，称散射。散射使原传播方向的辐射强度减弱，而增加向其他方向的辐射。大气散射有三种情况：当大气中粒子的直径比波长小得多时，发生的散射叫瑞利散射。这种散射主要由大气中的原子和分子引起。瑞利散射对可见光的影响很大。无云的晴空呈蓝色，就是因为蓝光波长短，散射较强的缘故。瑞利散射对于红外和微波，由于波长更长，散射强度较弱，可以认为几乎不受影响。当大气中粒子的直径与辐射的波长相当时，发生的散射叫米氏散射。它主要由大气中的微粒，如烟、尘、小水滴及气溶胶等引起。因为云雾的粒子大小与红外线的波长接近，所以云雾对红外线的散射主要是米氏散射。当大气中粒子的直径比波长大得多时，发生的散射叫无选择性散射。它的特点是散射强度与波长无关。^[1]

2) 大气的吸收

地球大气中 99% 的组分是 N_2 和 O_2 ，太阳辐射中的波长小于 $0.3\mu m$ 的短波辐射，基本上全被大气中的 O_3 和 O_2 所吸收。 CO_2 的强吸收带位于 $2.7\mu m$ ， $4.3\mu m$ 及 $14.5\mu m$ 处；在 $1.96\mu m$ ， $2.06\mu m$ ， $9.4\mu m$ ， $10.4\mu m$ 及 $12.0\mu m$ 处，还有一些弱吸收带。大气中的水蒸气对电磁辐射的吸收作用最为显著，波长范围从可见光段、红外段直至微波段。 H_2O 在 $2.5 \sim 3.0\mu m$ 及 $5.0 \sim 7.5\mu m$ 两处均有很强的吸收带，在 $0.94\mu m$ ， $1.13\mu m$ ， $1.38\mu m$ ， $1.86\mu m$ ， $3.2\mu m$ 处有中等强度的吸收带。在 $0.72\mu m$ ， $0.82\mu m$ ， $2.01\mu m$ ， $2.05\mu m$ 处尚有一些弱吸收带。在微波波段， H_2O 也有三个吸收带，分别位于 $0.94mm$ ， $1.63mm$ 和 $1.35cm$ 处，氧分子对微波的吸收作用更强，吸收中心波长位于 $2.253cm$ 和 $0.5cm$ 处。^[2]

2. 大气窗口

电磁辐射与大气相互作用产生的效应，使得能够穿透地球大气的电磁辐射局限在某些波长范围内，在大气中受到的衰减作用较轻，因而透射率较高的电磁波段叫做大气窗口。遥感可利用的作为工作波段的大气窗口主要有：

- $0.3 \sim 1.3\mu m$ ，即近紫外、可见光、近红外波段。这一波段包括摄影成像的最佳波段，也是许多卫星传感器扫描成像的常用波段。比如，Landsat 卫星的 TM1~4 波段，SPOT 卫星的 HRV 波段等。

- $1.5 \sim 1.8\mu m$ ， $2.0 \sim 3.5\mu m$ ，即近、中红外波段。

- $3 \sim 5\mu m$ ， $8 \sim 14\mu m$ ，属热红外波段，主要用于探测地物的发射波谱信息。

注：^[1] 梅安新，彭望祿，秦其明，刘慧平编. 遥感导论：29~30

^[2] 孙星和主编. 宇航遥感物理基础

- 0.8~2.5cm，即微波波段。主要是雷达成像，常用的波段为0.8cm，3cm，5cm，10cm。

1.2 遥感光学基础

电磁波谱中可见光（0.38~0.76 μm ）能被人眼所感觉而产生视觉，不同波长的光显出不同的颜色。自然界中的物体对于入射光有不同的选择性吸收和反射的能力，而显示出不同的色彩。故不同波长和强度的光进入眼睛，使人觉得周围景象五光十色。

彩色合成技术就是利用眼睛的视觉特性，以少数几种色光或染料合成出许多不同的颜色。彩色合成一般是用红、绿、蓝三种基本色调，按一定比例混合成各种颜色，任何两种基色均不能混合成另一种基色。彩色合成方法有两种，一种是加色法，一种是减色法。

加色法是以红、绿、蓝三基色中的两种以上色光按一定比例混合，产生其他色彩的彩色合成法。两种基色按等量叠加得到一种补色：红+绿=黄，红+蓝=品红，绿+蓝=青，其中黄与蓝、品红与绿、青与红为互补色。三基色按等量叠加得到的是消色（白、黑）：红+绿+蓝=白。RGB色彩模式是面向硬件的，电脑显示器和电视都采用这种加色法模式，它本质上是利用发射辐射产生颜色的。

与显示器基于发射辐射产生颜色不同，印刷行业采用的是反射辐射产生颜色效果，所以采用的是减色法系统原理。减色法是指从白光中减去其中一种或两种基色光而产生其他色彩的彩色合成法。减色法一般用于颜料配色，如彩色印刷、染印彩色像片等。减色法中黄色染料是由于吸收了白光中的蓝光，反射红光和绿光的结果：黄=白-蓝；品红染料是由于吸收了白光中的绿光，反射红光和蓝光的结果：品红=白-绿；青染料是由于吸收了白光中的红光，反射蓝光和绿光的结果：青=白-红。而品红与黄染料混合叠印时呈红色：品红+黄=白-(绿+蓝)=红；品红与青染料混合叠印时呈蓝色：品红+青=白-(绿+红)=蓝；黄与青染料混合叠印时呈绿色：黄+青=白-(蓝+红)=绿；品红、黄、青染料叠印时呈黑色：黄+青+红=黑。

以上所说是彩色合成和配制的基本原理，实际上我们并不知道任何一种颜色的红、绿、蓝三个分量各是多少，人能主观感受到的色彩是由色度（颜色种类）、亮度（色彩明亮度）和饱和度（色彩深浅）三个指标来衡量的，亮度与物体反射率成正比，色调是与混合光谱中主要波长相联系的，饱和度与一定色调的纯度有关，纯光谱是完全饱和的，如激光，随着白光的掺入饱和度降低。

1.3 遥感分类

遥感技术系统包括：空间信息采集系统（包括遥感平台和传感器），地面接收和预处理系统（包括辐射校正和几何校正），地面实况调查系统（如收集环境和气象数据），信息分析应用系统。

依据不同的标准有不同的分类方法，遥感的分类方法很多，简要分为以下几种：

- (1) 根据工作平台的不同，可分为地面遥感、航空遥感和航天遥感。
- (2) 根据电磁波的工作波段不同，可分为紫外遥感（0.05~0.38 μm ）、可见光遥感（0.38~0.76 μm ）、红外遥感（0.76~1000 μm ）和微波遥感（0.1mm~1m）
- (3) 根据传感器的工作原理，可分为主动遥感（有源遥感）和被动遥感（无源遥感）。

前者传感器本身发射人工探测信息，如雷达；后者传感器本身不发射任何人工探测信号，它只能被动地接收从对象那里来的信息进行遥感。

(4) 根据遥感资料的获取方式，可分为成像遥感和非成像遥感。前者将探测到的目标电磁辐射转换成可以显示的图像（包括摄影方式和扫描方式成像）；后者不能记录图像，如微波散射计、雷达高度计等。

(5) 根据波段宽度及波谱的连续性，可分为高光谱遥感和常规遥感。高光谱遥感是利用很多狭窄的电磁波波段（宽度通常小于 10nm）产生光谱连续的数据；常规遥感又称多波段遥感（波段宽度一般大于 100nm），且波段在波谱上不连续。

(6) 根据应用领域的不同，可分为资源与环境遥感、城市遥感、农业遥感、林业遥感、海洋遥感、地质遥感、气象遥感、军事遥感等，还可以把它们划分为更细的专题领域进行研究。

1.4 遥感成像原理

在科技发展历史上，人们对于电磁辐射的认识过程，是与对电磁辐射的敏感技术发展交织在一起的。最早人们认识的是电磁波谱中的可见光部分，并由它引发对电磁辐射本质规律的认识。最早的辐射敏感仪器是照相机，照相技术虽然古老，但它能力很强，随着技术不断进步，其实用价值至今不减。后来科学家发现了不可见的红外线，并一直寻求红外辐射的敏感技术，随着 20 世纪 50 年代半导体技术发展，利用半导体的光电效应制成固体辐射探测器件，才算完成了现代辐射探测方法的探索，建立了光电传感的基本技术。光电探测已经成为电磁波谱较短波长辐射的基本敏感方法。在此基础上形成的扫描成像和凝视成像技术，把信息获取技术提高到新的水平。与此同时，人类也发展了对无线电波的认识，1925 年首次实现雷达原理，用无线电测量电离层的高度，标志着人类利用电磁波传递信息的重大进展。20 世纪 30 年代，雷达正式用于军事侦察，并将雷达波扩展到微波频率。50 年代发展成像雷达，同时出现真实孔径侧视雷达。雷达全天候操作，穿透能力强，不仅在军事上而且在环境与资源遥感上均有重要用途。高分辨率成像雷达成为信息获取技术发展的前沿。至今，合成孔径雷达已成为现代信息获取的基本技术之一。

遥感是利用电磁辐射来获取信息，形式多种多样。遥感传感器是获取遥感数据的关键设备，由于设计和获取数据的特点不同，传感器的种类也比较多，这里主要讨论成像方式的传感技术。

1.4.1 摄影成像

摄影是通过成像设备获取物体影像的技术。传统摄影依靠光学镜头及放置在焦平面的感光胶片来记录物体影像。数字摄影则通过放置在焦平面的光敏元件，经光电转换，以数字信号来记录物体的影像。受胶片感光能力局限的影响，摄影成像的工作波段为 $0.29 \sim 1.40\mu\text{m}$ 。不同的应用目的可以采用不同的胶片，可以有黑白的或彩色的。摄影成像采用的是中心投影。摄影机按工作方式和记录方式不同，又可分为分幅式摄影机、全景摄影机、多光谱摄影机、数码摄影机等。

1.4.2 扫描成像

扫描成像是依靠探测元件和扫描镜对目标地物以瞬时视场为单位进行的逐点、逐行取

样，以得到目标地物电磁辐射特性信息，形成一定谱段的图像。扫描成像的探测范围比摄影机宽得多，包括紫外、可见光、红外和微波波段。按扫描方式不同有舷向扫描、环形扫描、航向扫描（类似于用扫帚扫地，所以又叫推帚式扫描）、侧视扫描等。成像方式大致可分为以下三种。

1. 光学机械扫描成像

光学机械扫描成像系统主要由光学机械扫描系统、检测系统（进行光电转换）、信号处理系统（电子放大和电光转换）及信号记录系统组成。依靠机械传动装置使镜头摆动，形成对目标地物的逐点逐行扫描。利用光学接收系统将一个场元（瞬时视场）发出来的辐射会聚在探测器的敏感面上。经光电转换，探测器的输出代表该场元的电学信号。通过机械运动的方法使光具顺次地接收每个场元的辐射，结果探测器便输出整个场景的时序信号。它代表了场景辐射强度分布的图像数据。这种视频的图像数据可以像电视信号在屏幕上显示，也可以去控制发光装置按原顺序在感光胶片上逐点曝光，制成图像。

2. 固体自扫描成像

提高扫描成像系统的性能，最现实的方法是增加探测器的个数，这样扫描机械速度减慢，在每个敏感元上辐射积分时间增加，信噪比提高，因而地面分辨率也能提高。固体自扫描成像是用固定的探测元件，每个探测元件对应地面的一个瞬时像元，通过遥感平台的航向运动对目标地物进行扫描的一种成像方式。目前常用的探测元件是电荷耦合器件 CCD，电荷耦合的原理使得制成大型面阵或线阵探测器件成为可能。

3. 高光谱成像光谱扫描

通常的多波段扫描仪将可见光和红外波段分割成几个或十几个波段。对遥感而言，在一定波长范围内，被分割的波段数愈多，即波谱取样点愈多，愈接近于地物连续波谱曲线，因此可以使得扫描仪在取得目标地物图像的同时也能获取该地物的光谱组成。这种既能成像又能获取目标光谱曲线的“谱像合一”技术，称为成像光谱技术。成像光谱技术将成像技术与光谱技术结合在一起，对目标对象的空间特征成像的同时，对每个空间像元，经过色散形成几十个乃至几百个窄波段以进行连续光谱覆盖。

按该原理制成的扫描仪称为成像光谱仪。高光谱成像光谱仪是遥感进展中的新技术，其光谱分辨率较多光谱有很大的提高，实现了遥感定量研究。

成像光谱仪基本上属于多光谱扫描仪，它是在扫描成像的基础上加了一个色散装置。根据实施扫描成像的方式和光电探测器种类，成像光谱仪系统大致可划分成两种。第一种是扫描方式，采用机械扫描反射镜成像和线列阵探测器元件接收各波段像元辐射。它利用点探测器收集光谱信息，经色散元件后分成不同的波段，分别在线阵列探测器的不同元件上，通过点扫描镜在垂直于轨道方向（舷向）的面内摆及沿航向的运动完成空间扫描成像，而利用线探测器完成光谱扫描，线阵中探测器件的个数与光谱数相同。第二种采用推帚式扫描方式，由面阵探测器加推帚式扫描仪构成，它利用线阵列探测器进行空间扫描，利用色散元件和面阵探测器完成光谱扫描，这种空间扫描类似于 SPOT 卫星的 HRV，没有舷向扫描，只有航向扫描，所以也是一种推帚式扫描。

1.4.3 雷达成像

雷达，意为无线电测距和定位。一个雷达系统由发射机、接收机、发射天线、接收天线、处理器及显示器几部分组成。雷达系统的工作波段大都在微波范围内，航天遥感常用的有 C 波（3.8~7.5cm）和 L 波（15~30cm）。成像雷达有全景雷达和侧视雷达两大类，前者地面分辨率和几何精度低，用得少，我们主要介绍侧视雷达。侧视雷达按天线工作方式的不同可分为真实孔径和合成孔径的侧视雷达。基本的工作原理是，雷达发射器通过天线在很短的时间（微秒级）内发射一束能量很强的脉冲信号，当遇到地面物体时，反射回来的信号再被天线接收。由于系统与地物距离不同，同时发出的脉冲冲，接收的时间也不同，因而在一条扫描线上成像的位置也不同。假设每一行中光点从左向右扫描，那么距离雷达较近的目标的回波较早返回到雷达天线，其对应的光点较早产生，因而处于扫描行中的较左位置。光点的亮度与其对应目标的回波信号强度有关。

1.5 全球在轨遥感卫星介绍

20 世纪 50 年代，前苏联第一颗人造地球卫星的发射成功，标志着遥感技术从航空遥感进入航天遥感阶段。自从 1960 年发射第一颗气象卫星以来，人类的空对地观测活动一直是以信息获取技术的发展为主线，满足地球资源和环境应用领域，以及军事侦察和预警应用领域的信息需求，从而建立相应的信息获取技术方法和遥感卫星系统。在大力开拓经济、国防和社会等领域遥感应用的同时，空间遥感技术得到不断改进和提高。目前，在地球体系的大气、陆地和海洋三大领域，各自形成了特定的信息获取与处理应用技术。

目前美国的陆地卫星计划和法国的 SPOT 计划在世界卫星对地遥感事业中，仍占据主导地位。而其他国家，如俄、中、日、加、印度、巴西、韩国、以色列等国也纷纷研究自己的遥感卫星，以期在国际航天遥感俱乐部中占据一席之地。

气象卫星按轨道不同分为太阳同步气象卫星（极轨卫星）和地球同步气象卫星两类，前者每天定时飞经同一地区上空两次，可获两次观测资料。如果同时有两颗气象卫星在轨道上运行，则对同一地区每天可定时取得 4 次观测资料。这类卫星以美国的 NOAA 卫星为主，我国的风云一号也属于极轨气象卫星。第二类卫星静止在地球赤道上空约 36000km 高度处，能观测地球 1/4 的区域，每隔二十多分钟就可获得一次卫星资料，我国的风云二号卫星属于这一类。

进入 20 世纪 90 年代，人类认识到地球环境问题的重要性，必须了解地球的变化，为此要把地球作为一个复杂而完整的体系来看待。不仅认识陆地、水、大气、生物和冰冻等具有独立特征的组成部分，而且着重认识各部分之间的相互作用关系。从而提出对地球体系进行全面而系统地长期观测计划，建立地球观测系统（EOS）。1989 年由美国等 24 国共同发起“行星地球计划”（Mission to Planet Earth），开展地球变化的研究。包括：（1）建立地球观测系统（EOS）；（2）系列小型飞行器；（3）空间站有效载荷；（4）系列环境同步卫星等 4 部分内容。其中以 EOS 为核心，到 2005 年建立 4 个对地观测极轨平台。包括美国两个 EOS 极轨平台（EOS AM-1 和 EOS-PM-1）、欧洲极轨平台（环境卫星，Envisat-1）和日本对地观测卫星（ADEOS）

小卫星技术是 20 世纪 80 年代末期发展起来的一种新型空间技术。这种卫星风险小，投