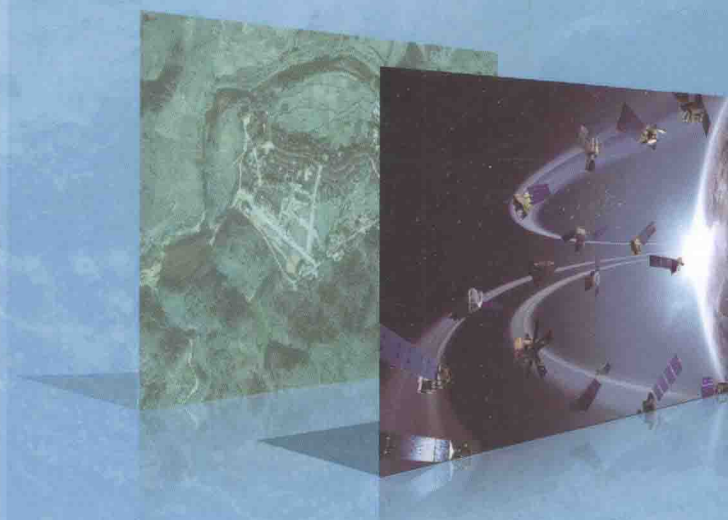




普通高等教育“十二五”规划教材

遥感卫星导论

蒋卫国 王文杰 李京 国巧真 主编



普通高等教育“十二五”规划教材

遥感卫星导论

蒋卫国 王文杰 李京 国巧真 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书根据“遥感科学与技术”对本科专业的教学需求,较系统地介绍了遥感卫星技术的基本理论、技术方法及其应用。全书分为五部分,共8章。第一部分(第1章)为绪论,介绍遥感卫星的基本概念和基本原理;第二部分(第2~3章)为遥感卫星技术基础,主要介绍遥感卫星轨道和系统;第三部分(第4~6章)主要介绍三类遥感卫星的特点、种类、性能、发展和应用;第四部分(第7章)主要介绍卫星遥感原理;第五部分(第8章)为遥感卫星应用,主要介绍了七个案例。

本书可作为普通高校遥感科学与技术、地理信息科学、测绘工程、人文地理与城乡规划等专业本科生教材,也可作为研究生参考书,还可作为相关专业教师及相关科研和产业部门科技人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

遥感卫星导论/蒋卫国等主编. —北京:科学出版社,2015.3

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-03-043730-3

I. ①遥… II. ①蒋… III. ①遥感卫星 IV. ①V474.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第049838号

责任编辑:杨红/责任校对:赵桂芬

责任印制:徐晓晨/封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京厚诚则铭印刷科技有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年3月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015年3月第一次印刷 印张:14 5/8

字数:360 000

定价:49.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《遥感卫星导论》编写委员会

主 编：蒋卫国 王文杰 李 京 国巧真

编 委：李小娟 何福红 武永峰 陈 强 黄 山

李 雪 曹 冉 陈 征 贾 凯 张云飞

前 言

遥感卫星是用作外层空间遥感平台的人造卫星，能在规定的时间内覆盖整个地球或指定的任何区域，能连续地对地球表面某指定地域进行遥感观测。1957年10月4日，随着第一颗人造地球卫星“斯普特尼克一号”在苏联拜科努尔发射中心的成功发射，人类便掀起了人造地球卫星发展的序幕。遥感卫星技术是采集地球数据及其变化信息的重要手段，在政府部门、科研单位和企业得到广泛的应用。

近年来国内外出版了一些有关遥感技术及卫星应用方面的优秀著作，但是将两者结合起来并用于本科生教学的教材十分缺乏。由于卫星技术发展迅速，知识更新快，亟须把卫星最新的发展涵盖进来。因此编写出具有时代特色的教材十分必要，并且是一项复杂、艰巨的任务。为了适应遥感卫星技术的新发展，本书力求采用新思路、新体系、新内容。在编写过程中，参考并吸收了有关教材的部分内容，但在体系上作了一些调整，以尽可能地适应遥感技术的迅速发展。编写本书的主要目的是通过学习使学生掌握遥感卫星的基础知识，了解遥感卫星发展的最新动态，扩大学生的知识面。

全书由蒋卫国、王文杰、李京拟定编写大纲。由蒋卫国、国巧真进行统稿，国巧真进行修订。各章具体编写分工为：第1章由蒋卫国、陈强编写；第2章由蒋卫国、何福红、贾凯编写；第3章由蒋卫国、国巧真、张云飞编写；第4章由蒋卫国、武永峰、国巧真编写；第5章由李京、李小娟、蒋卫国编写；第6章由国巧真、蒋卫国、李雪、曹冉编写；第7章由王文杰、国巧真、蒋卫国、黄山编写；第8章由蒋卫国、国巧真、陈征编写。

本书在编写过程中参考了国内外大量优秀教材、研究论文和相关网站资料，在此我们表示衷心感谢。虽然作者试图在参考文献中全部列出并在文中标明出处，但难免有疏漏之处。本书虽几易其稿，但不足之处仍在所难免，我们诚挚希望各位同行专家和读者提出宝贵意见。

本书由国家自然科学基金（41171318和41471223）、国家科技支撑课题（2012BAH32B03和2012BAH33B05）、天津市自然科学基金（13JCQNJC08600）支持完成。感谢王代堃、潘应阳、张帆等同学在研究和书稿编写工作中的帮助和贡献。

本书的出版得到了北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室、首都师范大学三维信息获取与应用教育部重点实验室和资源环境与地理信息系统北京市重点实验室的大力支持和帮助，在此一并表示感谢。

《遥感卫星导论》教材编写组

2014年12月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1	2.4.3 卫星星下点轨迹	30
1.1 卫星简介	1	2.5 卫星轨道	31
1.1.1 卫星定义	1	2.5.1 范·艾伦带	31
1.1.2 卫星组成	2	2.5.2 轨道分类	32
1.1.3 卫星工作原理	2	2.5.3 典型卫星轨道	33
1.1.4 卫星的特点与作用	2	2.6 卫星星座	35
1.2 遥感简介	3	2.6.1 卫星星座设计要求与参数	35
1.2.1 遥感定义	3	2.6.2 卫星星座设计方法	37
1.2.2 遥感对象	3	2.6.3 卫星星座设计应用	39
1.2.3 遥感技术系统	3	复习思考题	42
1.2.4 遥感的学科体系	4	第 3 章 遥感卫星系统	43
1.2.5 遥感监测特点	4	3.1 有效载荷系统	43
1.3 遥感卫星概况	5	3.2 支撑系统	45
1.3.1 卫星发展阶段	5	3.3 卫星发射与接收系统	48
1.3.2 在轨卫星概况	6	3.3.1 卫星发射场	48
1.3.3 遥感卫星技术发展概况	10	3.3.2 发射火箭	51
1.4 遥感卫星应用技术概况	11	3.3.3 卫星接收站	55
1.4.1 遥感卫星观测系统的组成	11	3.3.4 接收天线	58
1.4.2 遥感卫星的分类及应用	11	3.4 卫星运行与管理系统	59
1.4.3 中国遥感卫星技术发展	18	3.4.1 任务编排	59
1.5 遥感卫星的发展趋势	20	3.4.2 姿态监控	60
复习思考题	23	3.4.3 轨道调整	61
第 2 章 遥感卫星轨道	24	3.4.4 卫星的回收	62
2.1 卫星运行定律	24	复习思考题	62
2.1.1 牛顿万有引力定律	24	第 4 章 陆地资源卫星	63
2.1.2 开普勒三定律	24	4.1 陆地资源卫星的特点	63
2.2 卫星时空坐标系统	25	4.2 陆地资源卫星的种类	64
2.2.1 时间系统	25	4.2.1 低分辨率陆地资源卫星	64
2.2.2 空间系统	26	4.2.2 中等分辨率陆地资源卫星	65
2.3 卫星轨道参数	28	4.2.3 高分辨率陆地资源卫星	66
2.4 星下点及覆盖	29	4.2.4 甚高分辨率陆地资源卫星	69
2.4.1 卫星观测范围	29	4.3 主要陆地卫星性能	70
2.4.2 卫星重访周期	30		

4.3.1 美国陆地资源卫星 (Landsat) 系列	70	5.5.2 海岸带监测	98
4.3.2 法国 SPOT 卫星系列	72	5.5.3 海洋水温观测	98
4.3.3 中巴资源卫星	74	5.5.4 海洋水色遥感	99
4.3.4 环境卫星	76	5.5.5 海洋水质监测	99
4.3.5 高分一号卫星	77	5.5.6 海洋灾害监测	99
4.3.6 北京一号卫星	78	5.5.7 海冰监测	101
4.3.7 天绘一号卫星	79	5.5.8 海洋军事	101
4.4 陆地资源卫星的发展	79	复习思考题	101
4.5 陆地资源卫星的应用	81	第 6 章 气象卫星	102
4.5.1 土地利用与土地覆盖变化	81	6.1 气象卫星的特点	102
4.5.2 国土资源调查	81	6.2 气象卫星的种类	102
4.5.3 城市规划	81	6.2.1 极轨卫星和静止卫星	102
4.5.4 城市扩张	82	6.2.2 实验卫星和业务卫星	103
4.5.5 农业监测与估产	82	6.3 主要气象卫星性能	103
4.5.6 湿地监测	83	6.3.1 极轨卫星——NOAA 系列卫星	105
4.5.7 森林资源监测	83	6.3.2 极轨卫星——EOS 卫星	106
4.5.8 草地监测	83	6.3.3 中国的极轨卫星——风云三号	108
4.5.9 水资源监测	84	6.3.4 中国的静止卫星——风云二号	109
4.5.10 重大自然灾害监测	84	6.4 气象卫星的发展	110
复习思考题	85	6.5 气象卫星应用	112
第 5 章 海洋卫星	86	6.5.1 天气预报	113
5.1 海洋卫星的种类	86	6.5.2 大气环境监测	113
5.1.1 海洋水色卫星	86	6.5.3 灾害监测	115
5.1.2 海洋地形卫星	88	复习思考题	118
5.1.3 海洋动力环境卫星	88	第 7 章 卫星遥感原理	119
5.2 海洋卫星的特点	89	7.1 卫星遥感的物理基础	119
5.3 主要海洋遥感卫星性能	90	7.1.1 电磁波谱	119
5.3.1 Seasat 卫星	90	7.1.2 电磁辐射的本质	120
5.3.2 SeaStar 卫星	90	7.1.3 电磁辐射定律	121
5.3.3 Jason-1 卫星	91	7.1.4 电磁辐射的类型	122
5.3.4 ADEOS 卫星	91	7.1.5 卫星遥感的五个过程	123
5.3.5 Radarsat 雷达卫星系列	92	7.1.6 卫星遥感的四种分辨率	133
5.3.6 海洋一号 A 卫星	92	7.2 卫星遥感的传感器分类与组成	136
5.3.7 海洋一号 B 卫星	93	7.2.1 卫星遥感传感器的分类	136
5.3.8 海洋二号卫星	93	7.2.2 卫星遥感传感器的组成	137
5.4 海洋卫星的发展	93	7.3 卫星遥感的成像原理	138
5.5 海洋卫星应用	97	7.3.1 摄影成像原理	138
5.5.1 海洋渔业	97		

7.3.2 扫描成像原理	139	第8章 遥感卫星应用	199
7.4 卫星遥感图像处理	147	8.1 大气降水遥感估算	199
7.4.1 遥感图像校正	147	8.2 地表温度遥感反演	200
7.4.2 遥感图像处理	156	8.3 植被变化遥感监测	202
7.5 遥感信息提取	169	8.4 水质遥感反演	205
7.5.1 目视解译信息提取	169	8.5 海冰遥感监测	207
7.5.2 专题分类信息提取	173	8.6 土地利用遥感分类	207
7.5.3 知识发现获取	177	8.7 洪水灾害遥感监测	210
7.5.4 遥感卫星信息定量反演	180	复习思考题	211
7.5.5 遥感图像信息提取实例	193	主要参考文献	212
复习思考题	197	附录	217

第 1 章 绪 论

1.1 卫星简介

1.1.1 卫星定义

卫星是指在宇宙中所有围绕行星轨道上运行的天体，环绕哪一颗行星运转，就把它叫做那一颗行星的卫星，比如月亮环绕着地球旋转，它就是地球的卫星。“人造卫星”就是我们人类“人工制造的卫星”。科学家用火箭或其他运载工具把它发射到预定的轨道，使它环绕着地球或其他行星运转，以便进行探测或科学研究。地球对周围的物体有引力作用，因而抛出的物体要落回地面，但是抛出的初速度越大，物体就会飞得越远。牛顿在思考万有引力定律时就曾设想过，从高山上用不同的水平速度抛出物体，速度一次比一次大，落地点也就一次比一次离山脚远。如果没有空气阻力，当速度足够大时物体就永远不会落到地面上来，它将围绕地球旋转成为一颗绕地球运动的人造地球卫星，简称人造卫星。人造卫星是发射数量最多、用途最广、发展最快的航天器。人造卫星的优点在于能同时处理大量的资料并能传送到世界任何角落，使用三颗卫星即能涵盖全球各地。根据使用目的，人造卫星大致可分为：①科学卫星，送入太空轨道进行大气物理、天文物理、地球物理等实验或测试的卫星如中华卫星一号、哈伯等；②通信卫星：作为电信中继站的卫星，如亚卫一号；③军事卫星，作为军事照相、侦察的卫星；④气象卫星：摄取云层图和有关气象资料的卫星；⑤资源卫星：摄取地表或深层组成的图像，作为地球资源探勘的卫星；⑥星际卫星：可航行至其他行星进行探测照相的卫星一般称为行星探测器，如先锋号、火星号、探路者号等。

人造地球卫星指用运载火箭发射到高空并使其沿着一定轨道环绕地球运行的宇宙飞行器。卫星的外貌千姿百态，有球形、多面形、圆柱形、棱柱形，还有像哑铃、皇冠、蝴蝶和大鹏等形状的。人造地球卫星用途广、种类繁多，有太空“信使”—通信卫星、太空“遥感器”—地球资源卫星、太空“气象站”—气象卫星、太空“向导”—导航卫星、太空“间谍”—侦察卫星、太空“广播员”—广播卫星、太空“测绘员”—测地卫星、太空“千里眼”—天文卫星等，组成一个庞大的“卫星世家”。人造地球卫星具有对地球进行全方位观测的能力，其最大特点是居高临下，俯视面大。一颗运行在赤道上空轨道的卫星可以覆盖地球表面 1.63 亿 km^2 的面积，比一架 8000m 高空侦察机所覆盖的面积多 5600 多倍。因此，对完成通信、侦察、导航等任务来说，它具有其他手段无法比拟的优势。

人造卫星是个兴旺的家族，按用途可分为三大类：科学卫星、技术试验卫星和应用卫星。科学卫星是用于科学探测和研究的卫星，主要包括空间物理探测卫星和天文卫星，用来研究某星球的大气、辐射带、磁层、宇宙线、太阳辐射等，并可以观测其他星体。目前世界上大多数的人造卫星为人造地球卫星，另外有人造火星卫星等。1957 年 10 月 4 日，苏联成功发射了世界上第一个人造地球卫星，随后美国、法国、日本都相继发射了人造地球卫星。1970 年 4 月 24 日，中国自行设计、制造的第一颗人造地球卫星“东方红

一号”，由“长征一号”运载火箭一次发射成功。“东方红一号”卫星运行轨道距地球最近点 439km，最远点 2384km，轨道平面和地球赤道平面的夹角为 68.5° ，绕地球一周 114min；卫星重 173kg。

1.1.2 卫星组成

人造卫星一般由专用系统和保障系统组成。专用系统是指与卫星所执行的任务直接有关的系统，也称为有效载荷。应用卫星的专用系统按卫星的各种用途包括：通信转发器、遥感器、导航设备等。科学卫星的专用系统则是用于各种空间物理探测、天文探测等的仪器。技术试验卫星的专用系统则是各种新原理、新技术、新方案、新仪器设备和新材料的试验设备。保障系统是指保障卫星和专用系统在空间正常工作的系统，也称为服务系统，主要有结构系统、电源系统、热控制系统、姿态控制和轨道控制系统、无线电测控系统等，对于返回卫星，则还有返回着陆系统。

1.1.3 卫星工作原理

人造卫星的工作主要由轨道参数来确定。卫星轨道参数主要包括近地点、远地点、周期和倾角。近地点和远地点限定卫星的轨道高度。卫星轨道高度又表明卫星的使命。20 世纪 60 年代发射的核爆炸探测卫星的轨道高度为 6 万 mi^①（地球至月球距离的四分之一），可获得对地面观察的最大视界。通信卫星被置于 22300mi，即地球同步高度。气象卫星的轨道高度为 600~800mi，以求得对地面的大范围覆盖。而为了近距离观察，间谍卫星则采用 100~300mi 的轨道高度。近地点与远地点的差也表明卫星的任务，如典型的间谍卫星的近地点低至 80mi，以便尽可能低地对地面进行观察。

除了明显的特例，所有通信卫星都运行在 22300mi 的轨道上，因为在那个高度上，它以每小时 1.8 万 mi 的速度绕地球一圈，所需的时间恰好等于地球自转的周期——约 24h。如果卫星与赤道成一线运动，它将与地球同步，或称相对静止——“固定”于地球上某一点的上空。明显的特例是原苏联“闪电”卫星的轨道，只有当卫星运行在赤道上方，它才可能与地球同步，然而原苏联大部分地区处高纬度，落在赤道上空的同步卫星的视界之外，为其通信需要，原苏联设计了远地点为 2.5 万 mi、近地点为 300mi 的大椭圆轨道。卫星不与赤道成一线运动面时与赤道构成夹角，以使卫星在北半球飞越原苏联，在南半球飞越南极洲。“闪电”的轨道周期是 12h。

1.1.4 卫星的特点与作用

卫星的特点是不会发光、围绕行星运转、随行星围绕恒星运转。天然卫星是宇宙中自然形成的，月亮就是地球的天然卫星，它可以平衡地球自转、稳定地轴、控制潮汐，还可以用来观察时间等。人造卫星的用途很广泛，有的装有照相设备，用来对地面进行照相、侦察，调查资源，监测地球气候和污染等；有的装有天文观测设备，用来进行天文观测；有的装有通信转播设备，用来转播广播、电视、数据通信、电话等通信信号；有的装有科学研究设备，可以用来进行科研及空间无重力条件下的特殊生产。

^① mi，英里，1mi=1.609344km，后同

1.2 遥感简介

1.2.1 遥感定义

遥感 (remote sensing, RS), 即遥远的感知, 是一种远离目标, 在不与目标对象直接接触的情况下, 通过某种平台上装载的传感器获取目标对象的特征信息, 然后对所获取的信息进行提取、判定、加工处理及应用分析的综合性技术 (彭望球等, 2002)。

1.2.2 遥感对象

1. 对地遥感

遥感对地观测技术, 是从空中 (或宇宙空间) 对地球进行观测的技术, 包括大气空间及地球体。现以地球体作为观测目标 (大气作为传输路径空间), 讲述信息的特征及种类。地球体上具有反射、辐射波谱能量的目标均为遥感对地观测技术的观测对象。遥感能够获取地球表层 (包括陆圈、水圈、生物圈、大气圈) 的反射或发射电磁辐射能的数据, 通过数据处理和分析, 定性、定量地研究地球表层的物理过程、化学过程、生物过程、地学过程, 为资源调查、环境监测服务。

2. 月球遥感

月球是距离地球最近的天然卫星, 近年来各国的探月计划相继实施, 又一次掀起了探月高潮。中国于 2007 年发射了第一颗探月卫星——嫦娥一号 (CE-1), 测绘月面地形是其首要任务之一 (张继贤等, 2010)。月球探测是众多高技术的高度综合, 将带动和促进航天技术和中国基础科学等其他高新技术的发展。月球遥感能够获取月球表面的三维立体影像, 分析月球表面有用元素的含量和物质类型的分布特点, 探测月壤厚度和地球至月亮的空间环境。

3. 行星遥感

空间探测卫星所携带的传感器, 提供了大量有关行星大气、表面特征的图像和数据, 可以研究行星大气组成、大气层结构、行星表面温度、地表形态、土壤成分与结构、岩石矿物组成、地质构造及行星内部结构等特征。

1.2.3 遥感技术系统

1. 遥感平台

遥感平台是装载传感器进行遥感探测的运载工具, 如飞机、卫星、飞船等。按其飞行高度的不同可分为地面平台、航空平台、航天平台和航宇平台 (梅安新等, 2001)。

地面平台: 传感器设置在地面平台上, 如车载、船载、手提、固定或活动高架平台等。

航空平台: 传感器设置于航空器上, 主要包括飞机、气球、汽艇等。

航天平台: 传感器设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。

航宇平台: 传感器设置于星际飞船上, 主要对地月系统外的目标进行探测。

不同平台各有其特点和用途，依据需要可单独使用，也可配合启用，组成多层次立体观测系统（沙晋明等，2012）。

2. 传感器

传感器是遥感技术的核心组成部分，是收集和记录地物电磁辐射能量信息的装置，如光学摄影机、多光谱扫描仪等，是获取遥感信息的关键设备。它搭载在遥感平台上，在飞行时运转对目标进行扫描成像，获得遥感信息。传感器的性能决定了遥感监测识别能力。传感器的性能包括传感器对电磁波波段的响应能力（如探测灵敏度和波谱分辨率）、传感器的空间分辨率及图像的几何特征、传感器获取地物电磁波信息量的大小和可靠程度等。目前广泛使用的传感器为：美国的陆地卫星系列（Landsat）、法国的斯波特卫星系列（SPOT）、印度的遥感卫星系列（IRS）、加拿大的雷达卫星（Radarsat）和中巴地球资源卫星（CBERS）等（沙晋明等，2012）。

3. 遥感信息五大过程

遥感卫星包括电磁波辐射过程、传感器与观测目标作用过程、电磁波辐射到电子信号作用过程、遥感图像生成过程和遥感图像信息处理与解译过程。

1.2.4 遥感的学科体系

遥感是技术服务型学科。它依赖其他学科和技术为其提供学科理论技术支持；同时，它又为其他研究应用提供技术支撑服务。遥感科学与技术涉及的一级学科有地理学、测绘科学与技术、地质资源与地质工程、资源科学等；二级学科有地图学与地理信息系统、大地测量学与测量工程、摄影测量与遥感，以及地质资源与地质工程中的地球探测与信息技术等。因此，遥感是一门由卫星技术、传感器技术、计算机科学、资源环境科学等多学科交叉渗透、互为支持的新兴交叉学科。

1.2.5 遥感监测特点

1. 探测距离远，获取远距离的目标信息

遥感是远距离的探测技术，它可以获得地球、月球、行星的信息。1957年，苏联发射第一颗地球卫星，标志人类空间探测时代的开始。在50多年的发展历程中，空间探测技术突飞猛进，日新月异。空间飞行由绕地球、月球到向星际空间发展。

2. 探测范围广，获取信息的范围大

从飞机或人造地球卫星上获取的航空像片或卫星图像，比地面上观察监测的范围大得多，且不受地形地貌的影响。在地球上有很多地方，自然地理条件极为恶劣，难以实施地面调查，如荒漠、沼泽、崇山峻岭等。遥感技术可以不受地面条件的限制，方便及时地获取多种宝贵的资源环境信息，为人们研究地面各种自然、社会现象及其分布规律提供客观真实的信息。

3. 探测速度快，获取连续动态监测的数据，反映动态变化信息

遥感卫星影像具有视点高、视域广、数据采集快、重复周期短、连续观察的特点，能适时获取所经区域的各种自然现象，便于更新资料，通过分析新旧两种资料的变化，实施动态监测，这是实地测量和航空摄影测量所无法比拟的。例如，陆地卫星 Landsat，每16~18天可覆盖地球一遍；MODIS（moderate resolution imaging spectroradiometer，中分辨率成

像光谱仪)气象卫星每天能收到两个时相的图像; NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, (美国)国家海洋大气管理局)气象卫星每 30 分钟获得同一地区的图像。遥感周期性地重复对同一地区进行扫描观测的能力,有助于利用遥感数据监测地球上事物的动态变化,研究自然界的规律。尤其是在监视气象、洪涝灾害、资源环境乃至军事目标方面,遥感显得必不可少。

4. 探测手段多,可获取海量信息

遥感技术所应用的波段从紫外线、可见光、红外线、远红外线、微波到激光等,涵盖了主要的电磁波。不同传感器光谱分辨率不同,形成了丰富的电磁信息。电磁信息的记录可以成像,也可以不成像;可以是直接数据形式,也可以是像片形式,还可以是影像方式。总之,遥感获取信息的波段多,信息量巨大。针对不同的工作目的,可选用不同波段信息来提取相应的地物信息。此外,还可以利用特殊波段对物体的穿透性,获取地物内部结构信息,如微波可以进行全天候的监测。遥感信息获取的信息量极大,包含了丰富的资源环境信息。例如, Landsat 卫星 TM (thematic mapper, 专题制图仪) 图像,一幅覆盖 $185\text{km}\times 185\text{km}$ 地面面积、像元空间分辨率为 30m 的 TM 图像,其数据量约为 $6000\times 6000=36\text{Mbit}$ 。若将 6 个波段全部输入计算机,其数据量为 $36\text{Mb}\times 6=216\text{Mbit}$,大大超过了传统方法所获取的信息量。所以,遥感技术为研究各种宏观现象及其相互关系,如区域地质构造和全球环境等问题,提供了便捷的条件。

5. 应用领域广,经济效益高

遥感获得的地物电磁波特性数据综合反映了地球上许多自然、人文信息。红外遥感昼夜均可探测,微波遥感可全天候探测,人们可以从中有选择地获取所需的信息。地球资源卫星 Landsat 和 CBERS 等所获得的地物电磁波特性均可以较综合地反映地质、地貌、土壤、植被、水文等特征,因而具有广阔的应用领域。遥感的费用投入与所获取的效益,与传统的方法相比,可以大大地节省人力、物力、财力和时间,具有很高的经济效益和社会效益。有人估计, Landsat 卫星的经济投入与取得的效益比为 $1:80$ 甚至更大。地球上资源短缺、环境恶化以及呈几何级数膨胀的人口压力,迫使人类着眼于未来太空移民及宇宙资源和能源的开发和利用。宇宙开发离不开对行星表面岩石矿物组成、化学成分及构造特征的研究,行星遥感探测为获取行星表面有关矿产资源等方面信息,提供了快速而有效的手段。

1.3 遥感卫星概况

1957 年 10 月 4 日,随着第一颗人造地球卫星“斯普特尼克一号”在苏联拜科努尔发射中心的成功发射,人类便掀起了人造地球卫星发展的序幕。此后的 50 多年里,全球 10 多个发射场共发射了 5000 多颗人造地球卫星(以下简称卫星),而拥有卫星的国家也达到了 43 个,在轨运行的卫星也多达 1167 颗(截至 2014 年 1 月 31 日),可见卫星技术发展之迅速。

1.3.1 卫星发展阶段

(1) 摸索和试验阶段,20 世纪 50 年代至 60 年代。苏联和美国在这一阶段开展了大量

卫星有效载荷对地观测仪器技术的探索和研究工作，以及大规模的机载对地观测技术的飞行试验活动。继苏联的第一颗卫星发射后，美国在 1958 年 1 月 31 日发射了人类第二颗卫星“探索者一号”。在这一阶段，美国国家航空航天局（National Aeronautics and Space Administration, NASA，以下简称美国宇航局）在全美展开了有史以来规模最大的机载飞行试验活动，历时 3 年。他们动用了当时能够提供的所有遥感仪器，包括微波雷达、红外扫描仪和各种照相机设备，开辟了近 400 个试验场和典型地物场地，进行了各项太空模拟和飞行试验。随着卫星技术的不断成熟和卫星成功升天掀起的热潮，卫星技术开始逐步地应用在各领域，进入了第二阶段。

(2) 应用阶段，20 世纪 70 年代至 80 年代。这一阶段，主要是卫星在各领域的初步应用，卫星的用途逐渐清晰并出现不同的类别，除了最初的科学研究和技术试验用途的卫星外，通信、遥感和导航用途的卫星也逐渐出现。根据其用途的不同，卫星的设计也出现了多种样式，传感器的分辨率及观测光谱范围都得到了进一步的提高和扩展。在这一阶段，越来越多的国家发射了本国的第一颗卫星，使卫星技术的发展范围进一步扩展。中国于 1970 年 4 月 24 日在酒泉卫星发射中心成功发射了“东方红一号”，揭开了中国卫星发展的序幕。此外，出现了针对大气层研究的气象卫星和针对地球陆地地区资源探索的陆地资源卫星。

(3) 快速发展阶段，20 世纪 90 年代至今。这一阶段，卫星技术逐渐成熟，发射成功率逐渐提高；应用范围也逐渐扩大，不再单单是军用，民用和商用卫星也逐渐增加；用途也更加多样化，出现了更多侦察、监视及测绘等用途的卫星。这个阶段是卫星发展最为迅速的阶段，尤其是通信卫星的发展极为迅速。掌握卫星技术的国家越来越多，而且卫星事业开始步入商业化，部分公司推出了各类高空间分辨率和高光谱分辨率的小卫星。卫星应用从最初的单一走向综合应用，而且根据不同的用途还发展出了各类专题应用的卫星。基于卫星的遥感学科在这一阶段也开始发展，遥感卫星也进一步发展，出现了应用于海洋研究领域的海洋卫星。

1.3.2 在轨卫星概况

基于美国宇航局的卫星数据库的统计分析，可以进一步分析目前在轨卫星的数量、用途和轨道类型。

1. 在轨卫星数量分析

1957 年至今，全球在轨卫星的数量为 1167 颗（表 1.1），分属于六大洲，其中亚洲 17 个，欧洲 14 个，非洲 5 个，北美洲 3 人，南美洲 6 个，大洋洲 1 个。此外，还有欧洲空间局（European Space Agency, ESA，简称欧空局）作为独立的机构也有自己的卫星，还有一些属于各国合作的卫星。但就卫星发射数量来说，北美洲发射了 454 颗卫星，占全部卫星的 49%；欧洲共发射了 192 颗卫星，占 21%；亚洲发射了 182 颗卫星，占 20%；其余的各洲一共发射了 26 颗卫星，占 3%；欧空局发射了 14 颗卫星；其余为国际合作发射的，共 50 颗，共占 7%。

表 1.1 各大洲在轨卫星所属国家、地区或机构及卫星数量 (单位: 颗)

亚洲				欧洲				南美洲		大洋洲	
中国	116	马来西亚	5	俄罗斯	118	丹麦	3	巴西	9	澳大利亚	5
日本	45	土耳其	5	英国	26	挪威	4	阿根廷	7	合作	
印度	33	阿联酋	6	德国	24	希腊	1	委内瑞拉	2	欧空局	20
韩国	8	越南	4	爱沙尼亚	1	匈牙利	1	玻利维亚	1	国际合作	55
泰国	4	巴基斯坦	3	乌克兰	1	西班牙	13	秘鲁	1	其他	5
新加坡	3	伊朗	1	奥地利	1	瑞士	2	智利	1		
沙特阿拉伯	10			法国	17			非洲			
印度尼西亚	6			卢森堡	17			埃及	2		
以色列	10			意大利	11	北美洲		阿尔及利亚	1		
中国台湾	6			荷兰	13	美国	502	摩洛哥	1		
阿塞拜疆	1			白俄罗斯	1	加拿大	22	尼日利亚	3		
哈萨克斯坦	1			瑞典	2	墨西哥	6	南非	1		

2. 在轨卫星用途分析

人造卫星有许多用途, 根据用途可以将卫星分为三大类: 科学研究卫星、技术试验卫星和应用卫星, 其中应用卫星主要分为通信卫星、遥感卫星、导航卫星和侦察卫星四类, 在轨卫星用途分类如表 1.2 所示。用于科学研究的卫星有 106 颗, 占卫星总数的 9%; 用于技术试验的卫星有 146 颗, 占卫星总数的 12%; 用于通信的卫星有 617 颗, 占卫星总数的 53%; 用于遥感的卫星有 127 颗, 占卫星总数的 11%; 用于导航的卫星有 94 颗, 占卫星总数的 8%; 用于侦察的卫星有 77 颗, 占卫星总数的 7%。

表 1.2 在轨卫星用途分类

用途	具体应用	在轨卫星
科学研究	空间物理探测、测定各项地球参数等	Coriolis, MIDStar, GeneSat-1
技术试验	技术试验、材料检验、性能检测等	Hawksat-1, STPSat-1, Genesis-1
应用卫星	通信	实现各地球站之间以及地球站与航天器的联络
	遥感	地物识别、获取影像、对地观测, 环境减灾, 测绘成图等
	导航	地球点位的方向判读以及全球定位和引导等
	侦察	窃取军事情报、搜集地面目标的电磁波信息, 监视预警等
		Iridium, DSCS III, Rodnik, Chinastar-1
		Landsat-5, Radarsat-1, NOAA, Oceansat
		GPS, GLONASS, Beidou, Galileo
		Keyhole, ESSAIM, Trumpet, SAR-Lupe

科学研究卫星是用于科学探测和研究的卫星, 主要包括空间物理探测卫星和天文卫星, 用来研究高层大气、地球辐射带、地球磁层、太阳辐射等 (张更新, 2009); 技术试验卫星是进行新技术试验或为应用卫星进行试验的卫星, 主要是针对航天技术中的很多新原理、新材料、新仪器在天上进行试验或者是针对一种新卫星的性能进行试验; 应用卫星是直接为人类服务的卫星。

通信卫星是世界上应用最早、最广的卫星之一, 通信卫星反射或转发无线电信号, 实现卫星通信各地球站之间或地球站与航天器之间的通信, 它是各类卫星通信系统或卫星广播系

统的空间部分。

遥感卫星是在搭载有遥感传感器，并且可以在太空对地球或者其他星球进行拍摄，从而获取遥感影像的一类卫星。遥感卫星的关键在于其遥感传感器，主要有可见光遥感、雷达遥感、红外遥感等各类传感器，不同的传感器所获取的遥感影像也不一样。根据遥感影像可以对地物进行识别分析，从宏观角度对地物进行全新认识并且可以模拟反演相关模型。同时，根据观测领域的不同还可以将遥感卫星分为陆地资源、气象和海洋三类卫星。

导航卫星是对地球或外星球所处位置进行方向判读和定位，通过导航卫星，可以得到所处位置在导航系统中的坐标，从而进行定位和引导。目前常用的导航系统是全球定位系统(global positioning systems, GPS)，它主要包括三个部分：空间部分、地面控制系统、用户接收部分。GPS可以全球、全天候、实时、准确地判读用户所处位置的坐标，并可以计算方位角和距离等参数，也可用于各类运输的调度导航及辅助各类测量工作。北斗卫星导航系统是中国自行研制的全球卫星定位与通信系统(BDS)，是继美国GPS和俄罗斯GLONASS之后第三个成熟的卫星导航系统。系统由空间端、地面端和用户端组成，可在全球范围内全天候、全天时为各类用户提供高精度、高可靠定位、导航、授时服务，并具短报文通信能力；已经初步具备区域导航、定位和授时能力，定位精度优于20m，授时精度优于100ns。2012年12月27日，北斗卫星导航系统空间信号接口控制文件正式版正式公布，北斗导航业务正式对亚太地区提供无源定位、导航、授时服务。

侦察卫星，就是窃取军事情报的卫星，它利用光电传感器或无线电接收机，搜集地面目标的电磁波信息，用胶卷或磁带记录下来后存储在卫星返回舱里，待卫星返回时，由地面人员回收，或者通过无线电传输的方法，随时或在某个适当的时候传输给地面的接收站，经光学、电子计算机处理后，人们就可以看到有关目标的信息。侦察卫星是名副其实的间谍卫星，主要分为照相侦察卫星、电子侦察卫星、海洋监视卫星和预警卫星。

卫星的用途主要有军用、民用、商用和政府使用，不同用途的卫星针对的用户也不相同，所以，应结合其用户特点对卫星用途进行分析。各种用途在轨卫星与其用户如表1.3所示。

表 1.3 各种用途在轨卫星与其用户

用户 卫星用途		民间	商业	政府	军队	数量
		科学研究	16	0	81	9
技术试验		50	17	49	30	146
应用卫星	通信	6	391	119	101	617
	遥感	5	13	79	30	127
	导航	0	4	2	88	94
	侦察	0	1	10	66	77
总计		77	426	340	324	1167

三类卫星中，应用卫星占主要部分，科学研究卫星和技术试验卫星比例较小。而在用户方面，民用卫星还处于萌芽状态，大部分卫星的用户还是商业用户、政府机构和军队。不过商用卫星基本上都是通信卫星，而政府和军用卫星的种类就比较多样化，每种用途都有涉及。

通信卫星所占比例最大，达到53%，而且通信卫星用户也来自各个层次，军用、民用、

商用及政府都有涉及，不过由于其具有一定的保密性，主要还是商用和政府使用。

遥感卫星和导航卫星所占比例分别为 11% 和 8%，这说明遥感技术发展迅速而且应用广泛，这将有损于 3S 技术的进一步发展。而遥感卫星和导航卫星的特殊用途，尤其是其强大的定位功能和搭载传感器的探测功能使它不能完全对民用开放，虽然现在遥感和导航技术在民用方面应用广泛，但这类卫星的用户主要还是政府科研机构和军队。

侦察卫星的“间谍作用”主要用于军队，应用范围有限，所以这类卫星所占的比例较小，而且用户单一。科学研究卫星和技术试验卫星虽然不如应用卫星那样应用范围广，但其为卫星技术的发展奠定了基础，为各类应用卫星的发展提供了支持，所以虽然数量较少，但作用不可忽视。

3. 在轨卫星轨道分析

卫星轨道是指卫星质心运动的轨迹，主要轨道参数包括轨道倾斜角、近地点高度、远地点高度、轨道偏心率、升交点赤经等。轨道倾斜角是指由升交点位置测量到的向北方向赤道平面与轨道面的夹角，用于确定轨道面的位置。升交点是指卫星由南向北穿过赤道时卫星轨道与赤道面的交点。轨道偏心率是指椭圆轨道半焦距与轨道半长轴之比，用于确定轨道的形状。

根据不同的分类标准可以得到不同类型的轨道，按轨道偏心率可以分为圆轨道、近圆轨道、椭圆轨道和大椭圆轨道，而目前主要的卫星轨道大都是椭圆轨道和大椭圆轨道；按轨道倾斜角可以分为赤道轨道、顺行轨道、极地轨道和逆行轨道；按轨道高度可以分为低轨道、中轨道和高轨道。

根据卫星轨道类型可以将卫星分为以下四类：低轨道卫星（LEO）、中轨道卫星（MEO）、地球同步轨道卫星（GEO）、大椭圆轨道卫星（Elliptical）。其中，地球同步轨道卫星是指卫星轨道周期与地球自转周期相同的顺行轨道卫星。低轨道卫星为 605 颗，占 52%；中轨道卫星为 77 颗，占 7%；地球同步轨道卫星为 447 颗，占 38%；大椭圆轨道卫星为 38 颗，占 3%。

目前，大部分在轨卫星都是基于低轨道或者地球同步轨道运行的，两者占到 90% 的比例。低轨道卫星的用途多种多样，每种用途都有涉及；中轨道和地球同步轨道卫星的用途较单一，中轨道卫星一般是导航卫星，地球同步轨道卫星大部分是通信卫星；大椭圆轨道卫星数量很少。轨道类型与卫星用途关系如表 1.4 所示。

表 1.4 轨道类型与卫星用途关系

轨道类型 卫星用途	低轨道	中轨道	地球同步轨道	大椭圆轨道	数量
科学研究	76		11	19	106
技术试验	133		9	4	146
通信	205	5	398	9	617
遥感	126		1		127
导航定位	10	72	12		94
侦察	55		16	6	77
总计	605	77	447	38	1167