



普通高等教育地质矿产类规划教材

遥感成像原理 及图像特征

张 庸 主 编

地 质 出 版 社

普通高等教育地质矿产类规划教材

遥感成像原理及图像特征

张 庸 主编

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

(京)新登字 085 号

内 容 简 介

本书系统地介绍了遥感成像的物理基础和摄影、光学机械扫描、电子束扫描、固体自扫描、天线扫描等各种遥感成像方法的基本原理以及世界著名的遥感技术系统及其图像。

本书可供高等学校遥感应用专业学生使用,也可供从事遥感应用技术的教学、科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

遥感成像原理及图像特征/张庸主编. —北京:地质出版社, 1994. 10

普通高等教育地质矿产类规划教材

ISBN 7-116-01622-8

I. 遥… I. 张… II. ①遥感成像-理论②遥感成像-图像-特征
N. TP70

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 12862 号

地质出版社出版

(100013 北京和平里七区十楼)

责任编辑:刘亚军

*

北京地质印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所发行

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 12 字数: 283000

1994 年 10 月北京第一版·1994 年 10 月北京第一次印刷

印数: 1—1000 册 定价: 7.20 元

ISBN7-116-01622-8

P·1312

前 言

如果把人类发现小孔成像的现象看做人类无意识地进行遥感技术探索的话,至今已有二千多年了。但是遥感真正成为一种系统的、全面和完整的技术方法并在全球范围得到应用还是近几十年的事情。在这几十年里遥感所使用的电磁波段由近紫外线、可见光、红外线波段扩展到微波波段,也把传感器从地面送到空中,随后又送到空间。随着遥感技术的发展,遥感图像种类不断增加,遥感应用范围也不断扩大。气象、海洋、农业、林业、地质、矿产、环境、水文、天文、军事等领域都争相应用遥感解决自己的难题。但并不是每一种遥感图像都是万能的。它们都有自己形成的原理、自己的特点和适用范围。为了提高对遥感图像的应用效果,必须对成像的原理有所了解,掌握各种图像的特征。为此,给遥感应用专业的学生编写这本教材。

由于遥感成像原理内容相当广泛、复杂,涉及学科很多,而且也很新,被认为是 20 世纪的高新技术。因此在短短的教材中不可能介绍得很细、很全、很深,只是对各种遥感成像原理和重要的遥感技术系统做概略的介绍。

也还是由于上述原因,在本教材编写过程中,参考了大量的文献、资料,有些地方甚至直接引用了原文,对那些付出艰辛劳动的原作者表示我们的敬意和感谢,并将主要参考文献列于书后。

从 1987 年开始,朱亮璞、俞浩清、刘纪远、赵华昌、刘洪学、欧梓新、甘竹生、付春久、薛国梁等教授、专家先后为我们提供了大量宝贵的资料,对本教材的编写工作予以了极大的支持;赵华昌研究员、陈文升教授审阅了初稿;杨洪钧、王璞、陈明远、陈炳伟同志对本教材的出版工作给予了积极的支持,责任编辑刘亚军同志付出了辛勤的劳动。在此一并向他们表示衷心的感谢。

本教材由张庸主编。参加本教材各章编写的人员分工是:第一章,张庸、高全胜;第二章,刘嘉宜;第三章,蒋引珊、刘嘉宜;第四章,张庸;第五章,陈圣波;第六章,王以铭、张庸;第七章,张庸、李钧钢;第八章,张庸、陈圣波、高全胜;王廷兴、柏青山、潘丽春、薛国梁等参加第二章初稿的编写。

虽然得到各方面的帮助,但由于本人水平有限,书中误谬之处一定不少,恳请专家、读者指正。

张 庸

1994 年 8 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 遥感图像成像的一般概念.....	1
第二节 遥感图像成像原理及图像特征研究内容.....	2
第三节 影响遥感图像成像的主要因素.....	3
第四节 遥感成像技术发展简史及我国遥感成像技术发展概况.....	7
第五节 遥感技术系统的展望.....	9
第二章 遥感成像的物理基础	12
第一节 电磁波成像特征概述	12
第二节 与成像有关的几何光学基础	13
第三节 与成像有关的波动光学基础	32
第四节 成像量子光学和半导体基础	51
第三章 摄影成像的基本原理	64
第一节 概述	64
第二节 成像设备与感光材料	65
第三节 光化学成像基本原理	71
第四节 全息摄影基本原理	81
第四章 光学机械扫描成像基本原理	85
第一节 概述	85
第二节 扫描系统	85
第三节 聚焦系统	90
第四节 波谱分割系统	92
第五节 探测系统及波谱响应材料	93
第六节 辐射标定	96
第七节 光学机械扫描成像系统的分类	96
第八节 光学机械扫描图像基本特征	96
第五章 电子束扫描成像基本原理	99
第一节 概述	99
第二节 电子束扫描成像过程	99
第三节 电子束扫描图像主要特征.....	105
第六章 固体自扫描成像基本原理	107
第一节 概述.....	107
第二节 光学-电荷耦合器件成像基本原理.....	107
第三节 CCD 像机图像主要特征	118
第七章 天线扫描成像基本原理	119
第一节 概述.....	119
第二节 雷达基本结构和雷达方程.....	120

第三节	天线.....	125
第四节	微波辐射成像计和雷达散射计简介.....	129
第五节	真实孔径侧视雷达.....	131
第六节	合成孔径雷达.....	133
第七节	合成孔径雷达图像的基本特征.....	139
第八章	世界主要遥感技术系统及其图像特征.....	142
第一节	气象卫星类.....	142
第二节	“水星”系列—“双子星座”系列—“阿波罗”系列—天空实验室.....	152
第三节	地球资源卫星类(一)——美国陆地卫星系列.....	155
第四节	地球资源卫星类(二)——法国斯波特卫星系列.....	162
第五节	地球资源卫星类(三)——日本、印度地球资源卫星简介	169
第六节	海洋卫星类.....	173
第七节	美国航天飞机及其重要遥感试验系统.....	179
主要参考文献.....		185

第一章 绪 论

第一节 遥感图像成像的一般概念

一、遥感图像的概念

遥感在各个学科的应用是以图像为研究对象。所以遥感技术的主要任务是获得目标物的图像。在此,我们应该搞清楚图像、成像等一些基本概念。

所谓图像是在电磁波(主要是紫外线—微波)范围内,利用传感器直接或间接(即通过转换装置)得到与目标物电磁辐射强弱相对应的形象图像和能够转化为形象图件的数据资料的统称。比如航摄影摄制的各种照片、陆地卫星 MSS 图像、RBV 图像、航天飞机和航空侧视雷达图像以及众多的数字图像等。不论是紫外线,可见光,红外线,微波的哪个波段范围,也不论是哪种成像方式,凡是所得到的直观图像或能转换为直观图像的资料都统称为图像。

影像曾指“光化学而组成物体有形象的画面”。这里除去光化学的含义外,还有两个意思:一个是物体,一个是画面。考虑到遥感已超越了画面,如果扩展到遥感范围用于具体的画面上也是很好的。如某某物体在图像中的影像特征。而现在也有人把它做为图像同义语,还有一些人把它做为像片的同义语,这些都有待商榷。

像片是摄影方式得到的物体影像及其载体之和。如黑白航空像片,彩色航空像片等等。像片是最早出现的一种遥感图像,当开始有其它遥感方式的图像时,也有人把这些新图像称为像片,当时是延用了像片的概念。现在看来,莫如把像片(照片)这一概念限定在摄影方式得到的图像中。

二、遥感图像的分类与图像命名

遥感图像的划分,从不同角度出发有不同的分类方法。按平台高度划分的,有按电磁波段进行划分的,也可以按成像方式进行划分,现在常用的还是按成像方式结合波段进行划分可见光摄影图像、彩红外摄影图像、热红外光机扫描图像等等。因为目前不同高度平台上可有相同传感器,单纯以平台高度不能表达波谱和成像特点,单纯用波段分类体现不了成像方式和几何特征,所以许多学者采用综合分类方法。对一个图像的命名,要表明分类位置又要体现该图像的具体特点。我们建议采用下面命名的式子:平台名称+成像传感器名称(或类别)+波段名称(或代号)+图像处理方式。如陆地卫星 MSS_{4,5,7} 标准假彩色合成图像,SPOT,HRV₂SX₁ 拉伸处理图像等等。另外,我们在此提出的一种按图像表达方式进行划分的方法(表 1-1),对于表述图像转换等场合是比较方便的。

三、遥感图像成像

所有通过传感器得到目标物遥感图像的过程都是遥感图像成像过程(下简称遥感成像或成像)。与成像活动有直接关系的技术称为成像技术。它包括传感器、资料回收、图像恢复等部分。其核心是传感器。

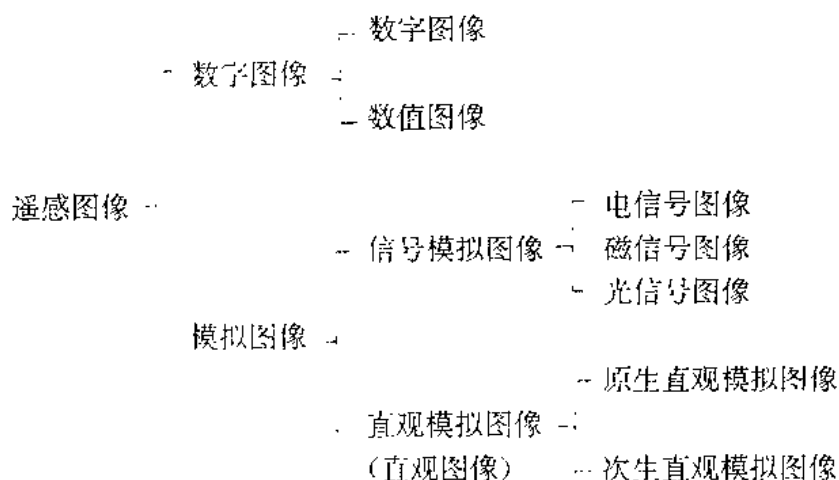


表 1-1 按表达方式的图像分类

过去在遥感分类中划分有成像方式和非成像方式。现在这种分法仍然可用,但两者之间的界限越来越模糊。主要是因为二者有内在联系而且非成像传感器测得的数据可以转换为图像。近来成像传感器得到的数据又可以相比于直接测量的数值。成像与非成像传感器也是有联系的,有的成像传感器就是在非成像传感器上发展起来的,如微波辐射成像计就是由微波辐射计发展起来的。现在还有把成像与光谱测量融合在一起,称为成像光谱技术,就更深刻地表现了二者的紧密关系。非成像遥感、成像遥感有差别也有联系,随着时间的推移,联系就更加紧密,区别就更减少了。

第二节 遥感图像成像原理及图像特征研究内容

遥感图像成像技术是遥感研究工作的一部分。遥感图像成像原理(以下简称:“成像原理”)主要是研究各种遥感成像条件、成像器材、成像机理、成像过程及有关系统。这是一个涉及学科范围广泛、技术新的学科。所说的成像条件诸如成像高度,允许能量积累时间,成像接收能量及来源、成像角度、成像时刻……。比如遥感平台是一个重要的成像条件,不同高度、不同速度、不同轨道、不同倾角、不同运动方式等,我们现在可以选用的各种传感器在性能上有很大差别,这些成像器材的作用过程、原理不尽相同,收集到信息后采取的记录方式不一样,形成的图像不一样,发回到地面的手段也不一样。因此,研究成像原理就是研究从平台、传感器到地面站的整个内容。

既然成像原理的核心部分是传感器,那么就要研究其能量来源、所收集电磁波的范围、能量接收聚集、波谱分割、波谱响应、能量的记录、图像或数据的形成、图像数据的传递、图像的恢复、所用的器件、设备及原理、过程等问题。

图像特征包括三个方面:几何特征、波谱特征和干扰因素在图像中的表现。

几何特征有:图形,投影性质,畸变,校正,配准,几何分辨率,比例尺,重叠及与正射投影图的比较等等。波谱特征有:波谱位置带宽,精度,波谱分辨率。对于应用遥感图像的专业人

员来说,掌握成像原理是必不可少的。然而成像原理范围广,专门化程度高,所以我们在这里只涉及有关的和基本的部分。

第三节 影响遥感图像成像的主要因素

遥感图像的获得是非常复杂的,从利用传感器获取所需数据、数据的传送与接收、数据信息处理到最后整理出所需的遥感图像,这中间有各种各样的影响因素。大致来说,主要有平台因素、大气因素、光照因素等。

一、遥感平台因素

在获取遥感图像的过程中,遥感平台起着非常重要的作用。除了装载传感器等仪器外,遥感平台的高度、速度、轨道偏航、滚动等情况,对遥感图像的几何特征有着很大的影响。在图像的获取过程中,影响传感器获取信息的因素是多方面的,而且是不均衡、不稳定的,各种影响因素随传感器所在地点、高度等变化而变化,有些因素(如高度)的变化,还会引起光谱特征方面的变化,因此研究平台方面的差异对研究成像原理是非常必要的。

(一) 气球

气球是人们最早用来使用的摄影平台,它成本低,很少有机械振动,便于操纵,可变性好。但气球有体积大、机动性差、速度慢、受气象条件影响大的缺陷,使利用气球成像受到了限制。另外气球的种类也是影响成像的一个因素,因为不同种类的气球可以分别使用不同的传感器,因而所获得的图像也不同。飞机的发明使气球曾一度退出历史的舞台,但由于它有方便、价廉等其它飞行器所不具有的优点,在气象研究、高空摄影方面有其它飞行器所无法代替的功能,所以从七十年代末开始,气球又重新引起人们的兴趣。我国近来也开始用气球进行遥感试验,目的是试验以平流层气球为平台用于资源调查、扫描成像以及大像幅多光谱摄影可行性的研究,获得了令人满意的效果。拟在今后几年,还要配合陆地卫星资料进行试验,对进行大气辐射校正将有很大作用。

(二) 飞机

飞机的机动性强,速度快,高度的可变性强,对传感器的适应能力也很强。航天传感器(或其模拟型)几乎都是先在飞机上试验过后再装配于航天器上。飞机作为遥感平台有着很大的潜力。

在航空遥感中,遥感对飞机的性能是有一定要求的。主要是在飞行高度、续航能力、有效载荷、飞行的稳定性及飞机的可改装程度等方面。现在飞机的型号很多,其功能和特性完全可以满足遥感仪器对它的选择。但飞机的航偏、仰俯、颠簸、起伏都影响成像质量,飞机的高度、速度等影响传感器的选择和利用。

在航空遥感中,飞行费用是比较高的,约占总投资的75%—80%,因此,在选择所使用的飞机类型时要考虑到这一点,尽量降低费用。相比之下,气球在这方面具有很大的优越性。

(三) 人造地球卫星

人造地球卫星的升空给遥感带来了一场新的革命。现在卫星已成为遥感的主要航天平台。下面简要介绍一下人造地球卫星的情况。

1. 卫星运动的基本规律

卫星运动的基本规律是由地球、星体二者关系决定的。根据开普勒定律导出：

①卫星是以地球中心为焦点作二次曲线运动，运动轨迹为圆或椭圆；星际间飞船则作抛物线或双曲线运动；

②卫星运动扫过的面积速度一定；

③卫星公转周期的平方与轨道长半径的立方成比例。

2. 卫星的主要参数

卫星轨道的设计可分为两步，首先是初轨设计，然后求精确轨道。在初轨设计中，只考虑地球和卫星之间的引力，忽略日月引力、地球扁率、地球大气等其它次要因素。确定出的初轨

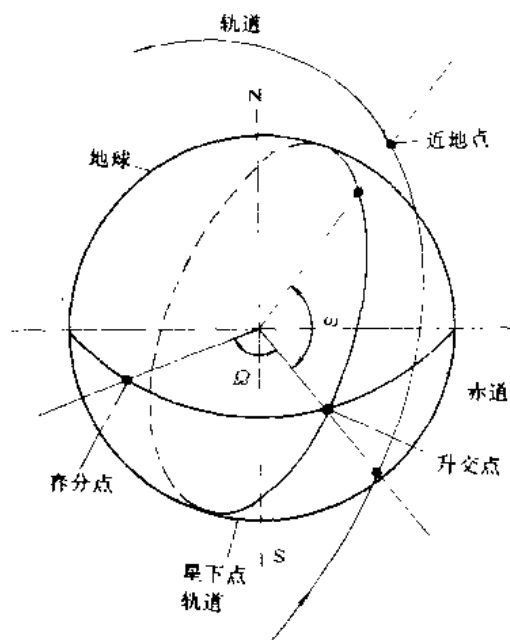


图 1-1 卫星几个轨道要素示意图

的数据就是卫星的主要参数。卫星的主要参数有以下六个(图 1-1)：

(1)轨道长半径(a)及短半径(b)：是卫星绕地球旋转的椭圆轨道的长半径和短半径，如果旋转轨道为圆形，则长、短半径相等。

(2)偏心率(e)偏心率决定轨道运行的形状，其计算公式为：

$$e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$$

偏心率为 0 时，卫星轨道为一个理想的圆形轨道。不同的遥感应用，对轨道的形状要求是不一样的。

(3)轨道倾角(i)：是卫星轨道平面与赤道平面的夹角。在降交点一侧是从赤道平面顺时针向轨道平面度量。当卫星绕地球转动，在东西方向分量的运动方向与地球自转方向一致时，轨道倾角在 0° 到 90° 之间变动；当卫星绕地球转动，在东西向分量的运动方向与地球自转方向相反时，轨道倾角在 90° 到 180° 之间变动。

(4)升交点赤经(Ω):指春分点时升交点地球向径与地球春分点向径的交角。有了升交点赤经,则可以确定太阳入射角,主要可确定卫星在天体中的方位。

(5)近地点角距(或称幅角)(ω):是近地点向径和升交点向径间的夹角。二者都在轨道平面上,说明(确定)升交点在轨道中的位置。当 $\omega=0^\circ$ 时,升交点即为近地点的星下点;当 $\omega=180^\circ$ 时,升交点为远地点的星下点。

(6)过近地点时刻(t):是卫星时间定位的要素。

以上六个参数可以确定出轨道的轨迹和任意时刻的位置。当然,我们只是考虑了在理想情况下的初轨参数,没有考虑到其它因素的,但能表达卫星轨道的基本特征。轨道特征影响着传感器的使用和图像特征。

习惯常用轨道周期、轨点倾角、近地点高度、远地点高度来表述。

轨道周期(T):是卫星围绕地球旋转一圈所需要的时间。对它的选取必须满足传感器工作的要求,即传感器获得数据的必要的能量积累时间。轨道周期还确定了轨道间距,间距过小,图像重叠太大,底片不能充分利用;间距太大,可能会造成图像不重叠。

3. 卫星轨道的分类

卫星轨道可从不同角度进行划分,综合起来可以划分如下:

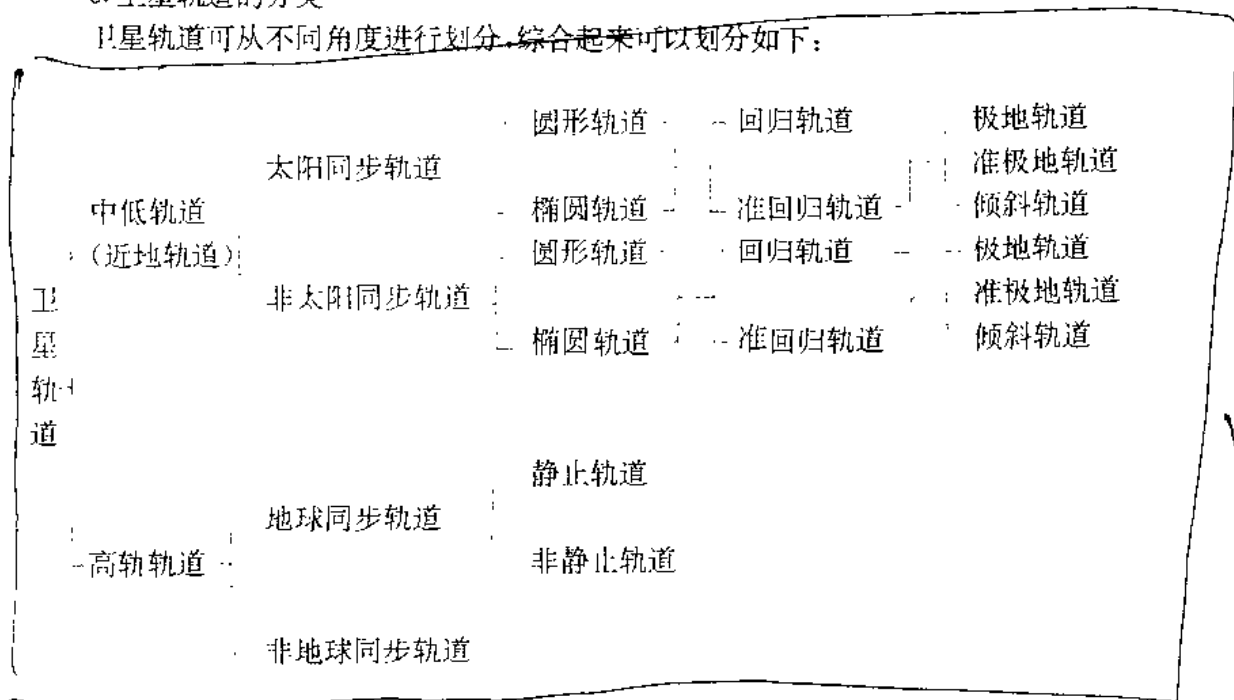


表 1-2 卫星轨道分类表

4. 卫星姿态的控制

卫星在空间飞行时是处于失重状态的,在这种状态下,在没有阻力的空间飞行,如果没有一种力控制就很容易随机摆动、旋转、翻滚。卫星上面的传感器其镜头和天线必须对准地面或某一部分有一固定的方向,才能准确地接收和探测地球的信息。为此,必须准确地控制卫星在空间的姿态。

几十年来,科学家们经过不断的努力和探索,采取了很多控制卫星姿态的方式,保持卫星不随机摆动、旋转和翻滚。如螺旋式自旋稳定方式、滚动式自旋稳定方式、立轴自旋稳定方式、双自旋稳定方式、飞轮稳定方式、重力梯度稳定方式和三轴控制稳定方式。

以上的各种稳定方式都有各自的优缺点,目前三轴控制稳定是使用最多的控制稳定方式。它可以确保卫星姿态能满足任何一种要求,对定位要求越来越高的遥感,也能达到要求的精度。它靠星内控制姿态的微型火箭喷出气体的反作用保持姿态三轴稳定,是一种受控于人的稳定方式,可随时修正轨道。但由于设备和燃料增加卫星发射时的重量,成本提高,并限制了寿命。

重力梯度稳定方式是卫星姿态控制的一个发展方向,是一种利用自然力的被动式稳定方式。由于距地心越远重力越小,离心力越大。如果卫星体制成一种差距,则可以维持其某一面永远向着地球。月球就是这种原理形成一个面永远朝着地面的。多年来,卫星利用重力梯度还没有较成熟的经验,屡遭失败,但近一两年来有了一些新进展。

姿态控制是独成一体的系统,尤其喷气控制系统相当复杂。未来还可能研制成动量互换、磁矩稳定方式。卫星除姿态控制系统外,还有其他系统。如结构系统、遥控系统、程序控制系统、遥测系统、传输系统、温度系统、供配电系统等等。这些与成像关系不大,在此略去。

卫星的轨道种类、轨道参数、稳定方式不同,适用的传感器不尽相同。就是说各种成像方式不一定适用于所有的卫星。例如光机扫描仪在滚动式自旋稳定的卫星上就不能使用。

5. 航天飞机和空间站

航天飞机是一种能起飞,象卫星一样进入轨道进行航天飞行,能改变轨道,又能象飞机那样返回地面,兼有航天、航空飞行能力并且可以重复使用的航天器。这种航天器的设想和试验早在1927年就已开始,直到1982年4月12日美国“哥伦比亚”号航天飞机升空才真正达到实用。

航天飞机有以下特点:

- (1)有效载荷大,可进行多种科学试验;
- (2)工作实验设备齐全,还可以载人飞行,用途特别广泛;
- (3)所有部件都可回收(有的燃料箱除外),多次使用可降低成本;
- (4)飞行高度可随时改变;
- (5)试验周期可以变短,尤其对传感器而言;
- (6)遥感设备可以回收。

但航天飞机造价昂贵,工艺复杂,容易出现故障,飞行预备期长,而且容易受到攻击。尽管如此,航天飞机仍是一种很有价值的航天遥感平台。

近几年来,美国、英国、日本等发达国家已经开始研制“空天飞机”。“空天飞机”可以看作是航天飞机的一种改进和提高,其功能与航天飞机一样,所不同之处在于“空天飞机”可以象普通飞机那样起飞,不需要火箭的助推而依靠自身的发动机加速进行航天飞行,进入太空轨道。它比航天飞机的显著优点在于:它不需要火箭助推器,节省了飞行费用;飞行周期短。

空间站可以看做是一种长寿命的大卫星。其运行轨道和卫星相同,但比卫星有更优越的条件。它可随时维修仪器设备,不会因小的毛病停止工作。可随时补给、更换照像机中的胶片,回收、处理资料、实验遥感设备等,是一种理想的遥感平台。

由于目前各种高度的平台已趋于完善,其发展趋势是向立体结构发展,即地面平台、空中平台、空间平台结合试验与应用。

二、大气条件

大气对遥感的影响主要体现在大气对电磁波辐射的各种影响上。因为遥感传感器接收

的是地物反射或辐射的电磁波。各种波段的电磁波在穿过大气层时,由于大气对电磁波的吸收、反射、散射和衰减,使传感器接收到的地物反射或辐射的电磁波信息产生噪声,影响遥感图像的真实性。

在大气中,水汽、臭氧、二氧化碳主要吸收太阳辐射。太阳辐射被吸收后,在太阳的连续光谱上产生很多暗带。其他的成分对太阳电磁波也有吸收作用,但不是主要的。水汽吸收波长的范围很广,在 $0.7-3.0\mu\text{m}$ 内最强。

大气对太阳电磁辐射的散射作用主要有两种方式。引起散射的粒子尺度远小于入射电磁波波长的散射称瑞利散射;引起散射的粒子尺度相近于入射电磁波波长的散射称米氏散射。瑞利散射主要对可见光波段影响较大。

太阳电磁辐射与大气相互作用的结果,使能量不断减弱,其中反射作用影响最大,由于云层反射对电磁波各波段都有强烈的影响,同时大气本身的向上反射及向上发射的辐射,都能使传感器接收的能量(主要是地物反射和发射的能量)产生噪声,对遥感造成严重障碍。

电磁波透过大气时,其衰减强度随波长而异,电磁波的某些波段,大气对它们的衰减作用较小,这些电磁波波段称为大气窗口,研究和选择有利的大气窗口,对最大限度地接收有用信息是非常重要的。

第四节 遥感成像技术发展简史及 我国遥感成像技术发展概况

一、遥感成像技术发展简史

遥感成像技术的发展概括了遥感技术的绝大部分历史,同时也体现了遥感理论和应用技术的发展。遥感成像的发展包括平台、传感器、成像材料、图像传输和回收的技术及理论的发展。我们根据事物发展的规律,把遥感成像的发展归纳为四个阶段。

(一)萌芽阶段(——1915)

在公元前四世纪就有人发现小孔可以成像,但在近二千年一直没有重要突破。在 1553 年,意大利人薄塔发明了小孔暗箱成像,到 1568 年意大利人巴巴罗制成了透镜暗箱,可以说是照像机的雏形。之后人们又发现了银盐感光的现象,随后进行了银盐纸成像试验,但当时没有定影术,图像不能保存。到十九世纪上半叶,摄影术研究发生了质的变化。1820 年法国人研究出沥青法摄影,可以保存并将此法用于印刷,这种方法又很快为银盐感光法所代替。1839 年达格雷用硫代硫酸钠定影,公开了第一张银板照片。至此,照像机、感光材料、显影、定影药品都已出现,摄影术真正成形。

19 年后法国人利用气球得到第一张空中像片,相继又有人用风筝、鸽子进行空中摄影。莫尔于 1907 年用比较简陋的低空火箭和陀螺稳定相机进行空中摄影试验,到 1909 年才有了第一张以飞机为平台的航空像片。虽然在此前后已经有了(地面)三镜头相机、全景相机和空中侦察相机,但直到第一次世界大战初也没有把航片用于军事侦察,所以说这一阶段以试验性空中摄影为多,没有真正投入使用。

这一阶段的特点是:摄影方法初成,平台简单,很少应用。

(二)航空遥感发展阶段(1915—1957)

1915年有了航空专用侦察相机。由于第一次世界大战。英国皇家空军劳斯少校首次拍摄德军区航空像片而得到官方支持,航空摄影有了发展。由于战争加剧,英军每天冲洗航片上千张,战争后期德军投入2000余台航空相机,法军每天要冲洗航片上万张。不久又研究出彩色胶片(1924年),红外航空胶片(1931年)、彩色电影胶片(1931年)和手提式双镜头航空相机,更增加了航空遥感的范围。在二次大战期间和战后又相继出现了彩红外反转片(1942年)和机载侧视雷达和相干光学处理方法(1953年—1954年),使得航空遥感发展得更为全面。但由于雷达技术的严格保密,彩色摄影成本过高,这一阶段仍以黑白航空像片为主。

这个阶段的特点是:航空摄影技术趋于成熟且较多范围的应用;向多波段和多种手段发展;开展了零星的空间成像的研究,遥感平台变化不大。

(三)航天遥感试验阶段(1957—1972)

虽然从1907年莫尔试验到1954年美国利用改进的德国V-2火箭拍摄像片经过了几十年的努力,人类仍不能在空间较高空间取得长时间的地面图像。1957年苏联发射地球卫星成功,给人们带来了希望。苏美互相竞争,军事侦察卫星的大量涌现,使得航天遥感试验加快了步伐。美国水星号、双子座号、阿波罗号、泰罗斯号、艾萨号、雨云号等飞船、卫星和苏联的月球号、金星号、东方号、宇宙号、火星号、上升号、闪电号、流星号等卫星系列的出现,把多种样式照像机、电视摄像机、光学机械扫描仪等传感器送到了空间。并在此阶段研制成了九镜头航空相机和机载合成孔径雷达。这一时期取得不少令人兴奋的图像,但是比较零散,分辨率也低。

这一阶段特点是:航天平台的出现,取得空间对地多而不连续的图像;无论是平台还是传感器,很多都是试验性、探索性的;卫星、传感器数量大、变化快、花样多。如在美国从开始发射到现在的已用卫星系列总数中,这一阶段占60%。

(四)多种遥感手段综合发展和应用阶段(1972—现在)

以陆地卫星系列的发射和应用为标志,遥感技术已趋于成熟。航天遥感中有高轨、中轨、低轨,航空遥感中有高、中、低空,传感器在紫外线、可见光、红外线、微波各波段都可成像,应用领域也非常广泛,说明遥感技术已进入一个崭新的阶段。

这个阶段重要的卫星系列有美国陆地卫星、天空实验室、海洋动力卫星、海洋卫星、航天飞机,欧洲的太空实验室,苏联连续发射的宇宙系列、联盟系列、礼炮系列,新发射的进步系列、联盟T-1系列、和平号轨道站、法国发射的斯波特卫星、日本桃花海洋卫星等。进入空间的传感器也是样式新颖名目繁多,如多波段扫描仪,返束光导管电视摄像机,合成孔径雷达,大像幅像机,电荷耦合像机等等。

总的来说这一时期的特点是:航天平台技术已成熟;成像传感器系统化;图像可以覆盖全球,被广泛应用,而且继续向精、深方向发展。

二、我国遥感成像技术发展概况

我国的遥感成像技术发展相比于西方国家起步较晚,差距比较大。在五、六十年代主要是依靠从苏联进口设备进行黑白航空摄影。从七十年代才进入发展时期,有了自己的高空摄影仪、多波段扫描仪,并拥有自己研制的达到国际水平的遥感平台。从八十年代到现在,已经发射了多颗通讯卫星、气象卫星、国土卫星及科学探测卫星。在国土卫星上使用了CCD像机等先进技术,并有自己的地面站。我国自行研制的机载合成孔径雷达等已投入使用。这些成

果引起了国际上的普遍关注,说明我国正向着遥感技术先进国家行列迈进。

第五节 遥感技术系统的展望

遥感技术在近几年间有了飞速的发展,遥感应用方面也取得了显著的成就。随着科学技术的进一步发展,遥感技术还会有更大的进展。综合发展现状及趋势,对其前景归纳如下:

一、不断提高航天遥感的几何分辨率

中轨卫星在60年代的几何分辨率是以km计算的,70年代突破100m,80年代初达到30m,80年代中期达到20~10m。侦察卫星(低轨)可达0.15m。

预计今后几年在资源卫星方面,将普遍发展分辨率为10m的传感仪器。由于商业、科技上的竞争,有可能突破10m大关。侦察卫星可能发展0.1m分辨率的传感器。

二、观测波段的细分

1973年天空实验室分出13个波段用于实验(波段有重叠)。1972年陆地卫星MSS 0.5 μ m—1.1 μ m为4个波段。1982年TM虽为4个波段,但观测波段带宽度由70年代的100nm发展到80年代的几十个nm。

近几年来,在遥感波段方面又取得一些新的进展:

1983年美国喷气推进实验室航空成像光谱计AIS在1.2 μ m—2.4 μ m(1200nm间),范围分为128个波段,各波段稍有重叠,每个波段宽度仅10nm,光谱分辨率小于10nm。

1984年航空可见光—红外成像光谱测量仪AVRIS把0.4 μ m—2.4 μ m分成224个波段,平均还不足10nm。

1985年加拿大荧光线性成像仪PLI在0.42~0.81 μ m间,有256个波段可供选择(有重叠,每个波段约为1.94nm),其分辨率是目前最高的。我国室内研究成果也可达几个nm。虽然对如此细分光谱成像测量的意义目前有争论,但明显的效果会促使其更快地发展。

三、由相对波谱图像向绝对波谱图像转变

过去我们由宽波段的单一波段照片发展到多波段图像,已经向定量迈进一步,但不能由成像的过程直接得到地物波谱数值。若概括为一个公式则为:

$$P = K \cdot H$$

其中 P 为光谱辐射率(反射、发射、散射); K 为系数; H 为图像中的灰度。其中的 K 是一个不定因子,过去 P 值是从成像过程中测不出“绝对值”的。从目前的科研成果资料来看,成像光谱仪的研制成功并已经取得令人振奋的结果。在成像的同时,可以得到与地面测得的辐射率值相等的数据。

由上面的介绍可以看出:(1)非成像与成像关系趋向于融合;(2)波谱研究有可能进入新的轮回。

四、热红外及微波遥感将会得到较大发展

我们统计国际上近期研制比较著名的52个系统中,有19个是有热红外成像系统,约占40%,说明热红外系统是比较受到重视的。比较有名的机载系统有SUP(4个波段),TERS(6个波段),STIMS(美国6波段热红外多波段扫描仪)。

从SEIMS波段上看分为如下波段:8.2—8.6 μ m,8.6—9.2 μ m,9.2—9.4 μ m,9.4—

10. $2\mu\text{m}$, 10.2—11. $2\mu\text{m}$, 11.2—12. $2\mu\text{m}$ 。这种扫描仪是专门的热红外成像设备,说明其更加专门化。

航天微波遥感,除已经上天的多个合成孔径侧视雷达系统外,还有专门的雷达卫星,说明微波遥感也明显地受到重视。

热红外及微波遥感的特殊效果在遥感应用上也确是不容忽视的。

五、发展多角度成像器件

多角度成像有以下几个优点:

1. 不同角度收集数据;
2. 可以进行立体观察;
3. 可以进行多次覆盖;
4. 可以及时地对某个地区进行覆盖。

所以可以对不同的工作任务进行不同的设计。

单纯用于收集不同角度数据的仪器如: SIR-B 系统有六个档次,可以满足平原、丘陵、低山、高山等不同地形类型最佳视角的选择。

由于多角度,可以在两个相邻轨道上对同一目标进行覆盖(如 SPOT 卫星)。多角度还有一个目的,是随时对关心的地区进行观测。由于卫星轨道固定,无法随时移动到某一目标的上空。由于多角度,则可以及时指令改变传感器的角度,对某一地区进行观测,或在多个轨道上,对某一地区进行重复观测并可立体成像,如 SPOT 卫星的 HRV,反射镜向左右两侧离开天底的垂直观察,有 90 个档可供选择。有很多国家都在研制这种工作方式的仪器。

六、传感器件的固体化

电荷耦合器件(Charge Couple Device),简称 CCD,是 70 年代以来发展起来的一种新的遥感仪器。它采用半导体系统非平衡态理论作为理论基础,工艺上采用了业已成熟的 LSI 和 VLSI 工艺,发展很快。与传统的摄像管相比较,CCD 除集成度高,成本低,电性能好以外,还具有以下优点:

1. 不再需要机械转动的扫描镜,可靠性、稳定性都得到了保证;
2. 坚固耐用,寿命长;
3. 累积时间长,可提高分辨率;
4. 信噪比、辐射测量灵敏度都高于光机扫描仪;
5. 图像畸变小,容易纠正。
6. 不受电磁场影响;
7. 反应快,工作效率高。

法国的 SPOT 卫星、美国原计划发射的 AEROSA 系统、航天飞机 EILE 系统及加拿大 ELI 系统都属于这类。

法国的 SPOT-1 是美国产元器件,自己组装成机。预计 SPOT-3 可能制成全部由自己研制的 CCD 器件,性能远要优于现在的 HRV 像机。

预计 CCD 将逐渐取代光学机械扫描仪成为遥感成像的主要传感器。

七、航天平台的航空化及航天摄影术的再起

航天飞机的出现,使得遥感平台家族中又增添了一个新的成员。航天飞机作为一种可随时升空和回落的空间飞行器,可以多次使用,不仅降低了成本。而且克服了卫星受轨道严格

控制的缺陷,机动性、灵活性大为提高,早已引起了各国的普遍关注。虽然美国“挑战者”号航天飞机的爆炸给航天平台的航空化带来了阴影,但没能阻挡对航天飞机的研制。继“挑战者”号航天飞机之后,美国已相继多次发射航天飞机,进行了一系列的科学试验,取得了重要的科研成果,并利用航天飞机成功地修复了“哈勃”太空望远镜。

目前,法、英、俄、日等国也在积极研制自己的航天飞机,并取得了一定的进展。值得注意的是,英国研制的 HOTOL 号航天飞机可水平起飞、降落,没有助推火箭,采用大气助燃,一级动力升空,整体全部回收,设备重复使用,打破了一级火箭不能升空的旧理论。相比之下,英国 HOTOL 号航天飞机采用新的理论和技术,将使航天成本大为降低。

随着非摄影传感器的问世,航天摄影似有被趋于淡漠的势头,但非摄影传感器在分辨率、资料的传输,图像的处理等方面也存在一定的缺陷和不足,所以,航天摄影没有被完全取代。自 1984 年航天飞机 LFC 系统试验以来,航天摄影又再度引起人们的兴趣,其原因有以下几点:

1. 航天飞机的使用能轻而易举地解决资料回收的问题;
2. LFC 分辨率高,可达 10—15m;
3. 可以形成立体像对;
4. 图像校正处理方便;
5. 已有完备的仪器和成熟的经验用于成像;
6. 成本较航空摄影低得多;
7. 可以充分发挥已有的解译经验(即航片的解译经验)。航天飞机 LFC 的成功使得航天摄影有可能进入一个新的发展高潮。

八、气球平台的复活

在前面我们已介绍的气球平台的一些特性及优点。近年来,各国以一些现代技术增加了气球平台的机动性和稳定性,大大降低了成本。在我国已有几个研究单位研制并利用了气球做平台(如我国空间遥感中心和光机所等),其摄制的图像效果优于 1:5 万航空摄影。

九、遥感飞行综合成像

在一次飞行中选用的波段范围可以横跨可见光、红外线、微波,采用的传感器可以包括多种成像方式。这样进行综合成像的目的是一次飞行可以获取多种信息,降低飞行成本,减少浪费。

总的归纳起来,遥感技术系统在今后的若干年内将在以下几个方面有所突破:

1. 波谱和几何分辨率的提高及成像光谱技术广泛应用;
2. 地面覆盖特性向多功能转化;
3. 波谱覆盖向综合性发展;
4. 平台成本降低,应用更加方便。