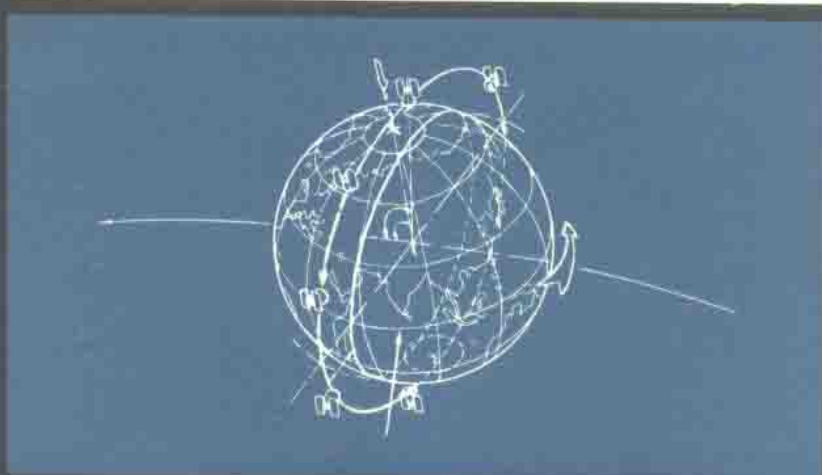
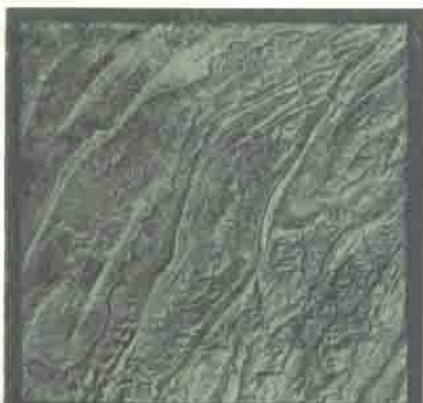


地球资源卫星象片的地质解译

北京大学地理系地貌专业遥感研究组 编



地球资源卫星象片的地质解译

北京大学地理系地貌专业遥感研究组编

地质出版社

2100/61

地球资源卫星象片的地质解译
北京大学地理系地貌专业遥感研究组编
(另附图一袋三十幅)

国家地质总局书刊编辑室编辑
地质出版社出版
地质印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

1978年8月北京第一版·1978年8月北京第一次印刷
统一书号：15038·新308·定价1.80元

前 言

遥感技术及其具体应用的一个方面——地球资源技术卫星象片的地质解译，是最近发展起来的科学技术，是当前地学科学技术现代化的主要方向之一。在地质工作中遥感技术及卫星象片的解译，对区域地质调查、矿产普查、石油勘探、水文地质研究、地震地质调查、浅海地质和地貌第四纪地质研究等，都能发挥较好的作用。因为它运用了现代物理的电磁波理论，电子光学技术、电子计算机技术，所以它具有效率高、速度快、精度好、成本低等多快好省的特点，深受国内外地质工作者的重视。

本书介绍了美国第一、第二颗地球资源技术卫星的基本情况，它们的象片特征及其在地质中的应用。重点介绍卫星象片的地质解译，为使读者对卫星象片进行正确的解译，我们把卫星运行特征、卫星象片的产生过程、卫星象片的几何和物理特征，以及卫星象片在其他方面的应用也作了些扼要的介绍。

本书是根据我们近年来工作中的一些粗浅体会和一些外文资料编写的。由于我们刚刚接触这方面的工作，收集材料还不多，更缺乏实际经验，错误之处，一定很多，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 地球资源卫星及其地面系统	1
第一节 地球资源卫星	3
一、地球资源卫星概况	3
二、地球资源卫星的运行特征	3
第二节 地球资源卫星工作系统	7
一、遥感测试系统	7
二、星载系统	12
三、地面控制——处理系统	14
第二章 地球资源卫星象片和计算机用带	15
第一节 象片和计算机用带的一般处理过程	15
一、粗制处理分系统 (BPS)	15
二、精制处理分系统 (PPS)	18
三、特殊处理分系统 (SPS)	19
第二节 地球资源卫星象片	20
一、粗制处理产品	20
二、精制处理产品	20
第三节 地球资源卫星的计算机用数字磁带 (CCT)	21
一、粗制的MSS和RBV计算机用磁带	22
二、精制MSS和RBV计算机用数字磁带	22
第三章 地球资源卫星象片的特征	23
第一节 资源卫星象片的几何特征	23
一、卫星象片的经纬度	23
二、卫星象片的重叠	25
三、卫星象片的成像钟点	26
四、卫星象片的投影性质	27
五、卫星象片的比例尺和每张象片的面积	27
第二节 卫星象片的光学物理特征	27
一、卫星象片的灰阶	28
二、卫星象片的分辨力 (率)	28
三、不同波段象片的解象力及其光谱效应	30
四、不同季节所成象片的解象能力	31
第三节 卫星象片的质量评价	32
第四节 卫星象片的符号及注记	32
一、粗制象片的符号及注记	32
二、精制象片的注记	35
三、卫星象片的判读座标	37

第五节 卫星象片的优缺点	37
第四章 卫星象片的解译原理	39
第一节 地质体的电磁波辐射特征	39
第二节 大气对电磁波的干扰与大气窗口	42
第三节 卫星象片采用的电磁波段及其意义	44
第四节 卫星象片的解译标志	45
一、色调特征信息	47
二、形态特征信息	49
第五节 卫星象片解译方法概述	50
第五章 地球资源卫星象片的影象增强解译方法	51
第一节 假彩色合成方法	52
一、仪器合成方法	52
二、彩色透明片合成法	54
第二节 假彩色等密度分割方法	55
一、假彩色密度分割方法的原理	55
二、假彩色密度分割系统	55
三、假彩色密度分割方法的效果	56
第三节 影象边缘增强技术	57
第四节 空间滤波影象增强技术	58
第六章 地球资源卫星象片的电子计算机解译方法	60
第一节 图象运算方法	61
第二节 图象识别	63
一、先学习后分类方法	64
二、边学习边分类方法	66
第三节 电子计算机自动解译技术的工作系统	66
一、数字计算机系统	66
二、模拟计算机系统	67
三、混合式系统	67
第七章 卫星象片的目视解译方法	68
第一节 卫星象片的目视分析解译方法与程序	68
一、准备工作阶段	68
二、建立解译标志阶段	69
三、正式和详细解译阶段	69
四、野外检查验证阶段	72
五、成图和总结阶段	73
六、审查验收阶段	73
第二节 卫星象片的岩性地层、构造及矿产解译	73
一、岩性地层解译	73
二、构造解译	82
三、矿产解译	92
第三节 卫星象片的活构造解译	96

一、活构造解译	98
二、活断裂解译	98
三、新隆起解译	102
四、新凹陷解译	108
第四节 卫星象片的海洋地质解译	111
一、海洋遥感的光学特性	111
二、浅海、海岸地质地貌解译	112
三、海洋水文解译	113
第五节 卫星象片的地貌第四纪地质解译	114
一、地貌解译	114
二、第四纪地质解译	117
第八章 地球资源技术卫星象片的实际应用	121
第一节 从遥感技术的发展看卫星象片在各个领域的应用	121
第二节 卫星象片在地质研究中的应用	123
一、区域地质填图	123
二、地质构造的研究	124
三、找矿标志的研究	125
四、动态过程的研究	126
第三节 卫星象片在水文和海洋研究中的应用	126
一、水文方面	126
二、海洋方面	128
第四节 卫星象片在农业和林业中的应用	131
一、资源调查	131
二、农业生产经营管理	132
三、灾害探测	134
第五节 卫星象片在环境污染监测方面的应用	134
一、水的污染	134
二、大气污染	135
第六节 卫星象片在制图工作中的应用	136

第一章 地球资源卫星及其地面系统

地球资源卫星象片是一种遥感资料。“遥感”即遥远的感知。遥感技术，是根据电磁波理论，应用现代技术，不直接与研究对象接触，从高空或远距离，通过传感器对研究对象的特性进行量测的方法。遥感分为主动遥感和被动遥感。

1. 被动遥感：指利用传感器被动的接收地物反射和发射的电磁波，以了解物体性质的方法。有人仅把被动遥感称为“遥感”。

2. 主动遥感：指从卫星上或飞机上用仪器主动地对地物发射电磁波（脉冲），然后利用传感器接收地物反射回来的电磁波，以了解物体性质的方法。这种方法不依赖太阳作为辐射能源，可以昼夜工作，所以称主动遥感。有人称主动遥感为“遥测”。

按照国际上的习惯，我们把遥感遥测理解为摄影测量、电视测量、多光谱测量、红外测量、雷达测量、激光测量和全息摄影测量等，而不包括使用航空物探方法。地球资源卫星象片属于多光谱测量的资料，又称遥感影像。

由于运载工具不同又可分为：由飞机或气球作为运载工具的航空遥感；由卫星和火箭作为运载工具的航天遥感或航宇遥感。以汽车、船只作为运载工具的，或由人直接操作在地面上进行的量测，统称为地面遥感。

电磁辐射是自然界普遍存在着的物质运动形式，它不依赖于我们对光的感知而存在。无线电波、微波、红外线、可见光、紫外线、X射线和 γ 射线都是电磁辐射。电磁辐射的波长从最短的 γ 射线（近似的波长为0.001埃）连续的延伸到最长的无线电波（波长约为30公里），从而构成电磁波谱（图1—1）。

目前在遥感技术中能够应用电磁波的范围是：紫外波段、可见光波段、红外波段和微波波段的电磁辐射。

任何物体都以特定的频率（或波长）吸收、反射、发射或透射电磁辐射能量，产生与电磁辐射的波长和物体的特征相关的波谱信号。例如，物体能吸收和反射波长为0.38—0.76 μ 的可见光波段的电磁辐射能量，它把物体的大小、形状和颜色的视频信号传给我们的眼睛，引起我们的视觉，才能识别它的特征。不同的物体具有不同的反射（或吸收、发射）特征值和不同的反射（或吸收、发射）波谱曲线形态。人们可以根据这些不同的特征值和不同的波谱曲线形态的分析研究，确定物体的属性。

不同的电磁辐射波段需要用不同性能传感器或探测器才能将它们进行接收、量测和记录。因此，遥感工作一个重要任务是：根据生产和科研的要求，正确选择工作波段和传感器。例如，地球资源卫星是调查地球上的资源和对环境进行监测为目的，因此，选择工作波段和传感器必须能够显示出主要资源较多的波谱信息。正确选择工作波段和传感器，要求进行一系列的遥感的测试工作，提供设计参数。

为了能够正确对卫星象片进行地质解译，我们必须对地球资源卫星的运行特征、卫星资料的产生过程、卫星象片的几何特征和物理特征等有所了解。在地质解译之前，将扼要的介绍这些特征。

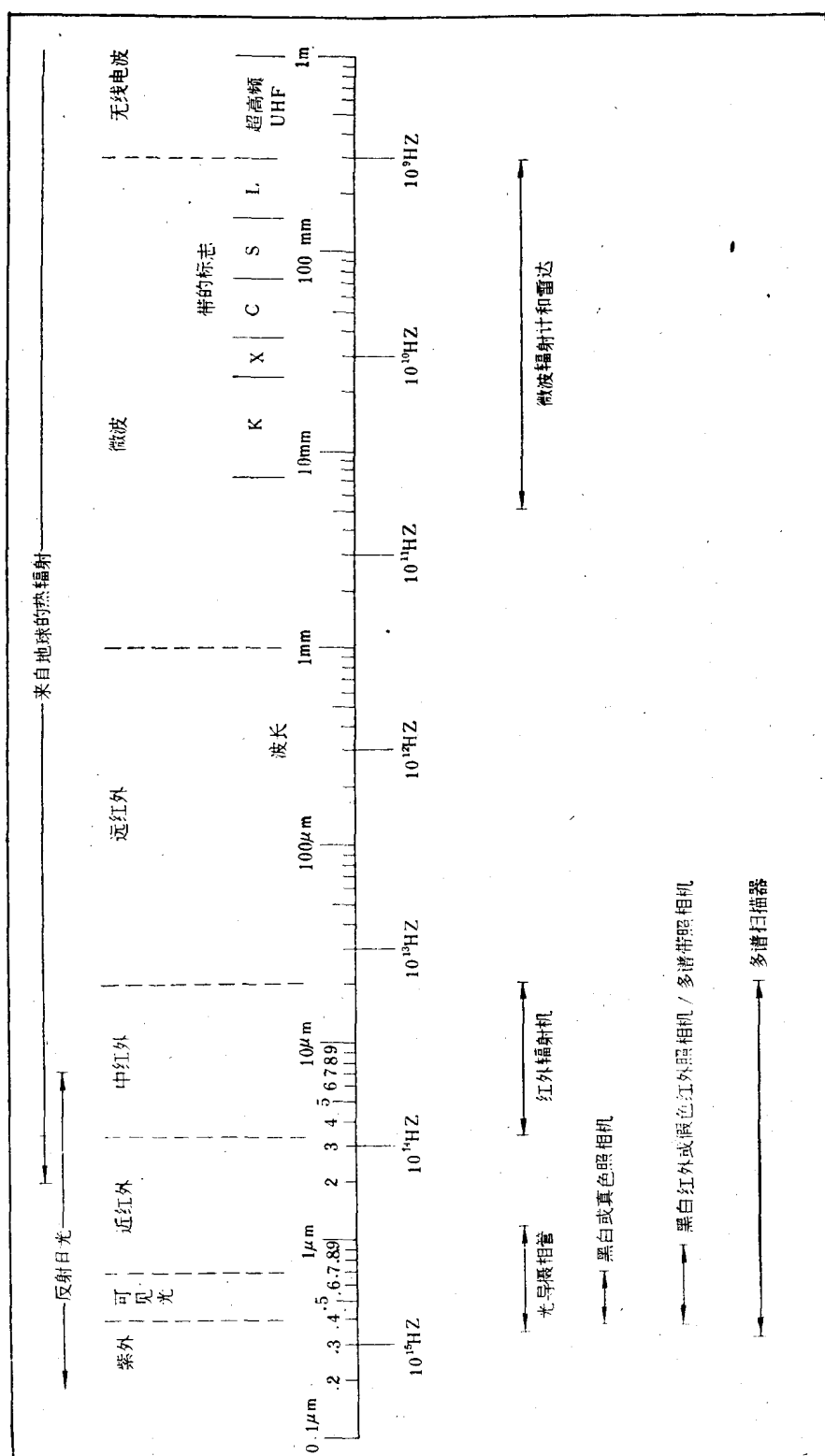


图 1-1 遥感所应用的电磁波及主要传感器
(根据 Handbook remote sensing techniques 1973年)

第一节 地球资源卫星

一、地球资源卫星概况

美国的地球资源卫星全名为地球资源技术卫星,英文缩写名称是 ERTS^①。由于已发射两颗地球资源卫星是以研究全球陆地资源为对象的,因此,最近将它改名为“陆地卫星”(Landsat)。但在习惯上和目前应用的卫星象片上都用地球资源卫星这个名称,所以我们仍沿用原来的名称。

到1977年10月为止,包括我国在内的一些国家,已经向宇宙发射了大约2400多颗人造卫星,其中大部是人造地球卫星,少数是其它星球的卫星,如火星卫星等。在人造地球卫星中,主要有以下几种类型:侦察卫星、空防预警卫星、通讯卫星、教育卫星(直播卫星)、天文观测卫星、测地卫星、导航卫星、气象卫星、地球资源卫星及其它专业用的卫星等。另外还有如载人宇宙飞船和天空实验室等宇宙飞行器。我们只介绍地球资源卫星。

美国国家宇航局(NASA)^②在正式发射地球资源卫星之前,进行了一系列的地面试验和空中试验工作。从1958—1966年间,发射了如“双子座”(GliminiN^③3—12)雨云号(Nimbis)和“阿波罗”(ApolloN^④1—17)等载人宇宙飞船,运用30mm,38mm和250mm等长短焦距的手持照相机拍摄了一些地球上的象片。经美国地质调查所等单位的分析后,认为这些象片对资源调查是十分有用的,这就成了第一批地球资源卫星象片,同时也决定了发射地球资源卫星的计划。于是在1972年7月23日,美国发射了第一号地球资源卫星(ERTS-1)。第二年,即1973年5月,又发射了载人的“天空实验室”(Skylab),也靠人工拍摄了一些地球资源象片。1975年1月22日,美国发射了第2号地球资源卫星(ERTS-2),在发射后的第三天就开始向地面传送图象。除了第1号和第2号地球资源卫星所拍摄的是连续的图象外,在此之前都是靠人用手持相机拍摄的,所以是不连续的,也不是大量的,总共只有1100多幅象片,它们的意义远不如地球资源卫星象片的作用大。

第一号地球资源卫星形如蝴蝶状,是由“雨云”气象卫星改制成的。第二号地球资源卫星也相似。第一号地球资源卫星共运转了五年半时间,每日成象共188幅,拍摄了世界陆地面积的85%而且是少云图象(云量小于30%的面积)。我国全部都已有少云的卫星象片,其中一部分属第一号地球资源卫星成的象,另一部分属第二号地球资源卫星所成的象。美国国家宇航局将这些地球资源卫星象片供美国和其它国家的研究人员进行分析研究,并要求他们提供各种资源方面的情报资料。它将这些地球资源卫星图象资料在内务部的地球资料观测资料中心公开发售。

二、地球资源卫星的运行特征

由于地球资源卫星的目的是要对全球资源进行调查和环境进行监测,所以对卫星象片就有一定的要求。例如,要精确的识别物体,使象片有较高的分辨力,就必须使卫星高度不能太大,传感器的分辨力要高;又如,为了对象片进行镶嵌和立体量测,或精确的定位和有一致的比例尺,必须使象片有一定的重叠和尽可能不发生变形;再如,要研究农作物的

① ERTS是Earth resources technology satellite的缩写

② NASA是National Aeronautics and Space Administration的缩写。全名为“国家航空和宇宙航行局”。习惯上省略称为:“国家宇宙航行局”。简称:“宇航局”

长势、旱涝变化与病虫害状况，要求进行重复成象的时间不能相隔太长，因此，对卫星的运行特征提出了严格的要求。在设计第1号地球资源卫星运行特征时，就规定了以下的技术指标：

1. 卫星的轨道高度：卫星轨道的高度应服从于卫星的目的。一般说来根据卫星的高度，可以划分为三种类型：

第一种，低高度短寿命卫星。它的高度为150—200公里，寿命只有1—3周。这种卫星多数是为军事目的服务的侦察卫星。由于它要求对地物具有很高的分辨力，因而图象的比例尺较大，轨道高度只能是低的。但是，卫星的高度低了，受地心引力就大，所受大气层的阻力也大，所以它的运行时间就短。

第二种，中高度长寿命卫星，它的高度为350—1500公里，寿命可达一年以上。地球资源卫星属于这种卫星。它对地面有较高的分辨力，同时又有较长的寿命，这样才能对农业资源进行调查。卫星的轨道高度要求适中。太高了所得的图象分辨力就低，太低了地心引力大、大气层阻力强，卫星的寿命就短，所以只能采用中等高度。

第三种，高高度、长寿命同步或静止轨道卫星，例如，通讯卫星等。它的高度一般在35800公里左右。由于它不要求对地面成象，只要求寿命尽可能长些。因此，轨道可以比较大，以减少地心引力和大气层阻力的影响，使卫星寿命比较长，在空中保留若干年。

美国第1号地球资源卫星的远地点轨道高度为918公里，近地点的高度为905公里。是属于中高度、长寿命和高分辨力卫星。第2号地球资源卫星也是如此。“天空实验室”宇宙飞船的高度为435公里，也是属于这类卫星。

2. 卫星的轨道形状：卫星轨道的长轴为7285.82公里，短轴为7272.82公里。长、短轴只相差13公里基本上为一个圆形。圆形轨道具有以下几个优点：

第一，易于操纵星载仪器，便于处理所得的遥感资料。如果轨道是椭圆形的，在以后的图象处理时，必须不断用激光测高数据来校正。这样在处理技术上就复杂得多了。

第二，圆形轨道有利于精确控制卫星的姿态，为了使星载仪器描准地面，对卫星姿态的控制要求很高，这样才能保证成象的精度。

3. 卫星轨道面与地球赤道面的夹角：地球资源卫星轨道面与地球赤道面的设计夹角为 99.125° ，实际为 99.088° 。这个角度在地球赤道地区可以直接测出。由于地球的自转运动，实测角大于此值。此角可以计算出，因为已知卫星绕地球运行一周为103.267分钟，地球向东旋转 25.8° ，在赤道面上向西移动2875公里（图1—2）。

4. 卫星的运行周期：卫星轨道绕地球一周需要103.267分钟。每天绕地球运行14圈。每隔18天，即绕行252圈，重复飞越某一地区上空，即252圈与第一圈轨道重合，每隔18天重复成象一次。这样基本上满足农林资源调查和环境监测的要求。

5. 卫星轨道的运行与太阳同步：轨道周期和高倾角（卫星轨道面与地球赤道面的夹角）组合，可以获得与太阳同步轨道。

同步卫星分为两种：一种是与地球同步，一种是与太阳同步。两种同步卫星都要考虑卫星轨道倾角与运行周期的互相配合。

所谓轨道倾角是轨道面与地球赤道面的夹角，如轨道倾角为0度时，即轨道面与赤道面重合，卫星便围绕赤道飞行。如再将运行周期设计为23时56分4秒，即正好等于地球自转一周的时间，这样这颗卫星的轨道便与地球同步，即地球赤道上的人们看到这颗卫星老

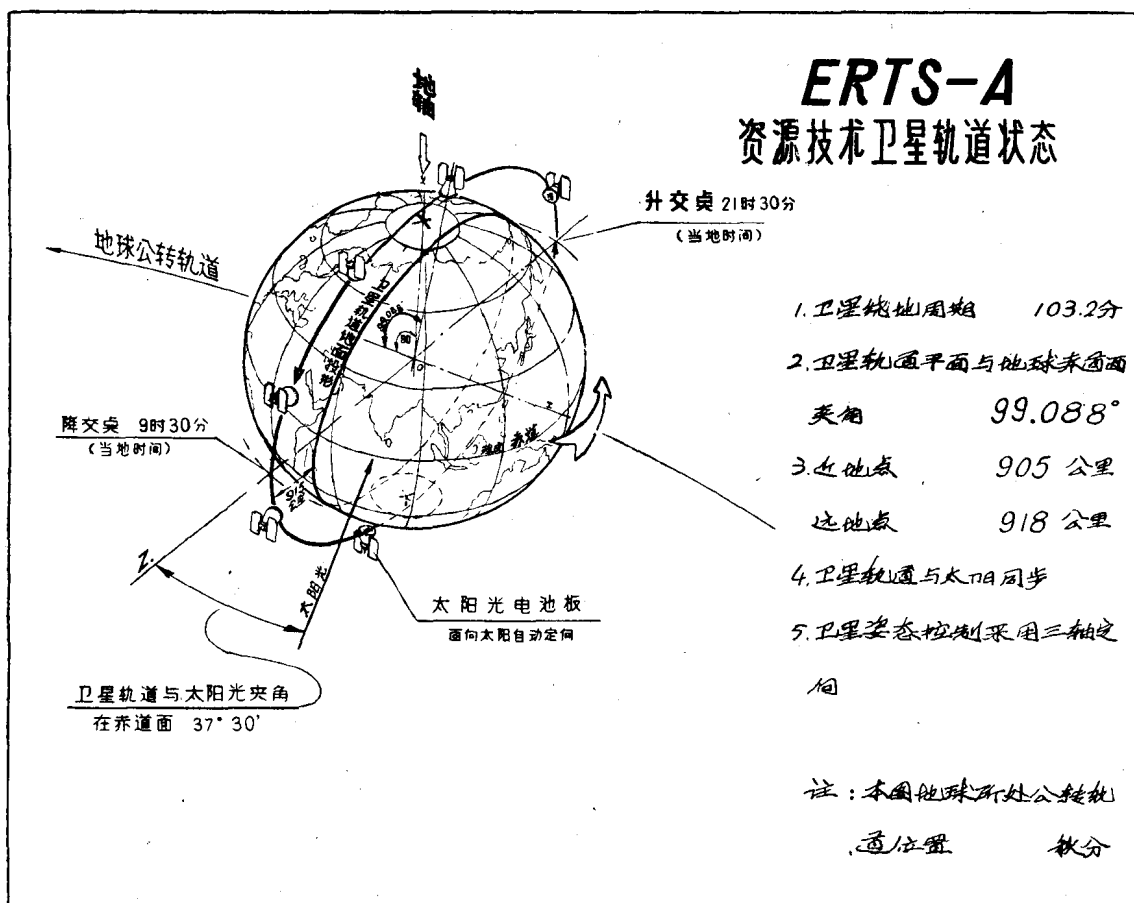


图 1—2 卫星运行特征

是停留在头顶上，所以与地球同步的卫星又叫“静止卫星”，如果轨道设计为倾斜的，则轨道平面与赤道面相交有两个交点，由南向北的交点叫升交点，由北向南过赤道的交点为降交点，如倾角小于90度，由于地球自转，则轨道平面的升交点“西退”，降交点“东进”；如倾角大于90度则升交点“东进”，降交点“西退”。地球资源卫星设计的倾角为 99.125° ，其升交点“东进”，降交点“西退”，地球资源卫星设计的运行一周为103.267分，过降交点的时间规定为上午9点30分左右。这样当卫星第一次过降交点时为上午9点30分，经过103.267分钟后，卫星绕地球一周再次过降交点时，由于地球自转，在这段时间里，轨道“西退”，即轨道西移了2875公里，相当于经度25度49分。在这段时间里太阳由东向西移动也正好移动了经度25度49分，所以卫星第二圈过降交点时仍为上午9点30分，这样这颗卫星的轨道便与太阳同步，所谓与太阳同步，就是卫星轨道相对于地球的角进动，与太阳相对于地球的角进动相等，所以设计与太阳同步的卫星，必须是高倾角的，并与轨道运行周期配合得当。

太阳同步轨道的意义，在于卫星通过任意纬度的平均地方时间是不变的，如卫星通过赤道的降交点的平均地方时是上午9点42分，这样就可以在太阳光照角大体相同的条件下进行重复摄影，便于对遥感资料上的色调可以互相对比。

要使太阳光照角保持在有利于摄影和扫描的有利光照角 $\beta=25-30^\circ$ 左右,除了摄影时间一定外,还必须对卫星的竖轴Y,进行修正,由图1-3可见,卫星在秋分点时,太阳光照角

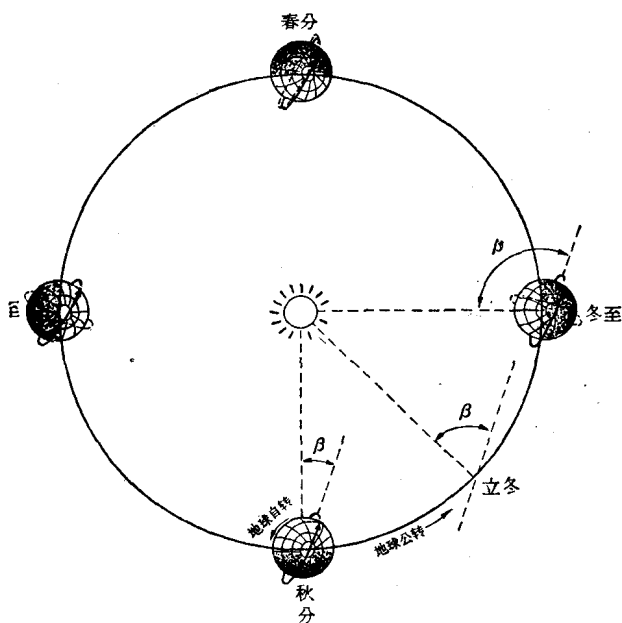


图 1-3 卫星轨道与太阳光照角的关系

照角在赤道上设计为 $37^\circ 30'$,由于地球公转运动,如果不对Y轴进行转动,地球运行到立冬点时光照角 $\beta=75^\circ$,到冬至点时光照角 $\beta=120^\circ$,这时会对摄影和扫描极为不利,为了使卫星保持有利光照角,每绕地球一圈,沿卫星竖轴Y,逐渐使卫星向东转动 0.0766 度,每天 14 圈,修正 0.9856 度,每年卫星轨道面向东回转一周(360°)以保持在赤道上为 $37^\circ 30'$ 的太阳光照角。所以要作到太阳同步,必须考虑轨道的倾角,除轨道的运行周期外,还要考虑轨道平面随地球公转逐渐向东回转,互相配合才能使卫星轨道平面在赤道降交点上始终保持为 $37^\circ 30'$ 的有利光照角。

6. 卫星姿态 (图1-4): 地球资源卫星的姿态要求能保持相对稳定,即卫星的观测台要求始终对准地面。但在失重条件下,在空中摆动、扭转、翻滚是很自由的,可能使摄影机光轴与铅垂线不在一条直线上。所以必须对卫星 X、Y、Z 三轴定向,随时调整姿态。

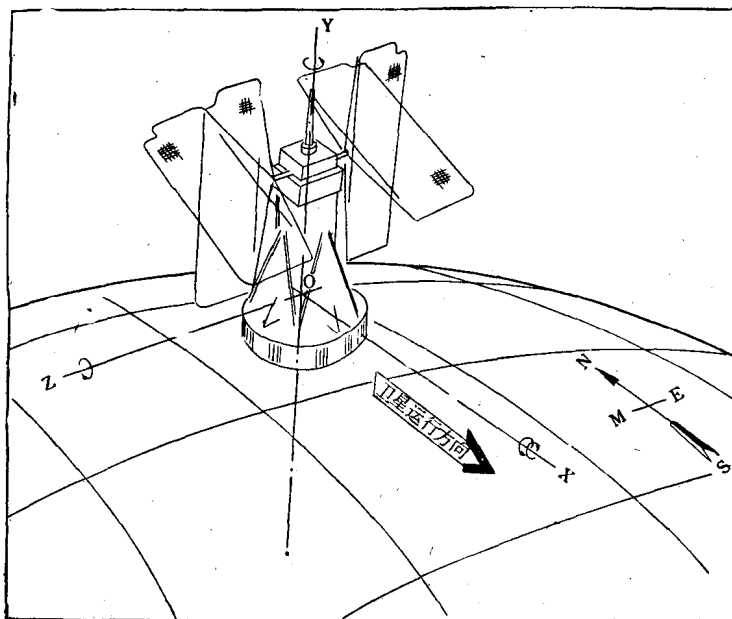


图 1-4 ERTS-1 三轴定向示意图

卫星上有一个姿态测量传感器，用来测定精确的姿态数据，以便地面处理影像时加以校正和补偿。卫星上还有一个专门的姿态控制装置，利用地平扫描仪感应滚动和俯仰轴的姿态误差；用速度陀螺仪感应航偏轴的速度，并在陀螺仪罗盘中感应航偏轴的姿态；用反作用喷嘴和轴矩系统配合调整姿态，反作用轮用来精确定位。卫星的定点精度可控制在设计要求的 0.7° 以内。卫星绕地球周转时，Z轴必须自转，自转方向与卫星周转方向相同，自转周期等于卫星绕地球运转周期，即103.267分钟。卫星在Z轴方向必须精确自转一周，否则转到地轴对称点上，观测台有可能全部对准太空摄影。

卫星绕地球运行一周时，可以认为Y轴无任何转动，可使扫描仪扫过地面为185公里宽的环球带，因为Y轴的任意方向转动，都可使扫描带宽度变窄，转动角度越大，扫描带变得越窄。但是由于卫星轨道要求与太阳同步，Y轴每圈都必须作很小的转动(0.0766°)，每天14圈向东转动约1度，每年转动360度。对Y轴姿态控制的实际意义，就是使卫星扫描条带垂直于卫星运行方向。如果卫星在Y轴方向不作任何修正，则过几天后，就会发现地面扫描条带已经变窄，经过1.5月后，地面扫描带大约只有185公里的一半，即92公里左右，形成的图幅是近于 45° 角的平行四边形，经过3个月后，地面扫描带完全变成一条细线，因此对Y轴必须经常进行纠正。

在X轴方向上，应控制卫星不产生扭转运动或摆动，使卫星的Y轴尽量与地心和铅垂线重合，这样才能使图象中心点C与象底点N重合，不致因此而引起影像变形。表1—1为美国第一颗地球资源卫星轨道参数。

表 1—1 美国第一颗地球资源卫星轨道参数

轨道长轴	7285.82公里
轨道短轴	7272.82公里
卫星离地面的轨道高度：远地点高度	918公里
近地点高度	905公里
离心率	0.0006
卫星绕地球一圈所需的时间（周期）	103.267分
轨道平面与赤道平面的夹角	99.125° （实际 99.088° ）
通过赤道的降交点时间	9:42（上午）
全覆盖周期	18天，或252圈
相邻地面轨迹的距离（在赤道）	159.38公里

第二节 地球资源卫星工作系统

地球资源卫星工作系统包括：遥感测试系统、星载系统和地面控制——处理系统等三大部分（图1—5）。也就是说，地球资源卫星及其地面系统包括了：地球资源卫星的遥感图象资料如何获得，如何处理的全部过程。这三大系统是整个航天遥感的组成部分。地面和空中进行的测试系统是整个航天遥感的工作基础，它确保了所获得的遥感资料的正确性。星载系统是航天遥感的关键，它保证了所获得的遥感资料的质量。地面控制和处理系统是整个航天遥感工作的核心，它解决了遥感的应用问题。现在扼要地把以上三个系统（图1—6），分别介绍如下：

一、遥感测试系统

在地球资源卫星发射之前和发射之后，都需要进行一系列的遥感测试工作。这项工作

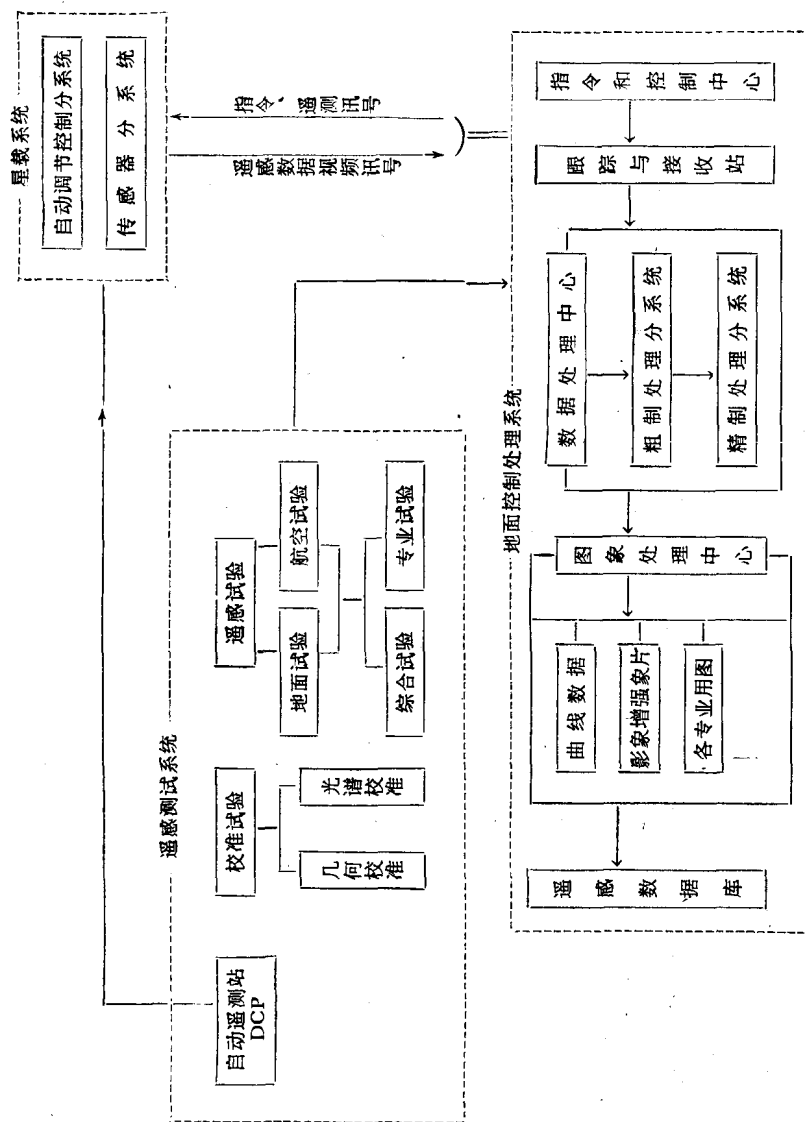


图 1-5 航天遥感工作系统示意图

非常重要，它对航天遥感的全部工作起承上启下的作用。在卫星发射之前，要通过遥感试验来确定各种地物的光谱特性及其随环境变化的规律；试验各种传感器的性能，研究影响传感器性能的各种环境要素，为传感器进行定标试验，分析、试验各种数据处理过程和解译技术的有效性。美国在发射地球资源卫星之前曾进行了约十年时间的遥感测试工作。在卫星发射之后，又通过地面的测试工作，用飞机测得的航空遥感资料和卫星所获得的航天遥感资料进行对比，提供标准参数。所以它是整个航天遥感工作的基础。遥感测试系统包括以下三个方面：

（一）遥感试验

1. 目的和意义：通过野外观测、航空遥感试验（图1—7），结合室内模拟试验和理论研究，确立研究对象的标准光谱和标准图谱，及它们随环境变化的规律。为星载传感器波段通道的选择、遥感信息处理和自动识别分类提供依据。为各种传感器进行定标试验和训练判读人员。

2. 主要内容：通过低空、中空和高空的航空遥感试验和地面遥感试验，测量不同地物在不同时间、不同地区，及同一地物在不同条件下的电磁波反射和发射的特征，确定大气参数，完成传感器通道的选择，为各种传感器进行定标试验等任务。遥感试验的主要内容是地物的光谱测定。包括：

- （1）地质体的矿物成分和光谱特征；
- （2）风化面的物理-化学成分和光谱特征；
- （3）地面的水分含量、松散堆积物的物理化学成分和光谱特征；
- （4）植被状况和它们的光谱特征；
- （5）不同太阳方位、不同太阳角的反射光谱，以及它们和地面温度的关系，不同季节的光谱变化等；
- （6）不同大气透明度条件下的不同目标的反射光谱特征。

3. 遥感试验站：遥感试验工作一般是由遥感试验站来完成的。美国共设立了300个遥感试验站。遥感试验站的选择原则是：

- （1）选择在有生产任务的地区；
- （2）该地区要有一定的工作基础；
- （3）选择有代表性的地区或有科学价值的地区；
- （4）交通和生产条件比较方便。

遥感试验站按其性质可以划分为两大类型。

（1）综合试验站：是多目标、多种用途的试验。它的试验内容比较多，属于综合性的。

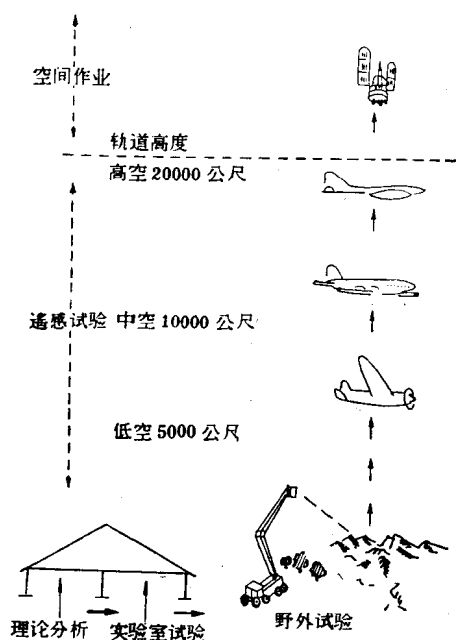


图 1—7 遥感试验示意图