

## 卫星象片的地质解释和应用(上)

北京大学 范心圻

美苏两霸从一九五八年开始,争相发展空间技术,为其霸权主义服务。近年来,他们又打着“和平利用空间”的旗号,欺骗和麻痹世界人民,发射各种类型的人造卫星和宇宙飞船,肆无忌惮地对各国进行空间间谍侦察,窥测和收集全球性地球资源和军事情报。美国政府为了缓和本国人民对登月计划和军事空间活动的强烈不满,从六十年代中期开始酝酿利用空间技术勘测地球资源,准备发射一系列地球资源勘测卫星。迄今美国已经发射了两颗,第一颗叫“地球资源技术卫星”(ERTS-1),于1972年7月23日发射,并向地面传输卫星象片。第二颗叫“大地卫星”(LANDSAT),于1975年1月19日发射,进入轨道后第三天开始拍摄卫星象片并向地面传输图象资料和数据信息。这两颗卫星已拍摄了全球陆地面积75%以上无云天气的图象资料,其中包括我国绝大部分地区的象片资料。

由于地球资源技术卫星能以较高的分辨力拍摄地面景象,从而在地质勘查和其他部门为研究、分析、监视和管理地球资源提供了有效手段。

卫星象片是遥感技术和空间技术发展的产物。我国空间技术的发展,已可在陆地上回收卫星,为我国独立自主地利用人造卫星勘测地球资源,准备了条件。在抓纲治国的大好形势下,实现四个现代化,科技工作大干快上,我们将会看到我国自己的卫星照片,并将其应用于地质勘探。

### 一 遥感的概念

卫星象片是一种遥感资料,“遥感”即遥远感知。所谓遥感技术,就是根据电磁波的理论,应用现代技术来收集远距离目标的信息的方法。遥感又分为主动遥感和被动遥感(图1)。

**1. 被动遥感** 是指不直接接触物体,而利用多种传感器被动地接收物体反射的太阳辐射和物体本身发射的电磁波。地表物体能吸收、反射和透射太阳辐射的电磁波,特别是在可见光和近红外波段。在中红外和远红外电磁波范围内,地表发出本身固有的辐射能量,可以被红外传感器接收到,有的人仅把这种被动遥感叫“遥感”。

**2. 主动遥感** 是指从卫星或飞机上主动地对远距离观测目标发射电磁波(脉冲),然后再利用传感器接收物体的反射和吸收的信息。因为它不依赖太阳作为辐射能源,可以昼夜工作,所以叫主动遥感。也有人把主动遥感叫“遥测”。

遥感技术必须具备如下四个条件: 1) 由光源或能源发射电磁波或物体自身具有发射电



感技术。到六十年代后期，随着空间技术的迅速发展，遥感技术的发展也突飞猛进，传感器趋于多样化，并往往是多种传感器互相配合使用，综合性更强。这样不仅可以同时取得多种信息，显著提高了遥感技术解决问题的有效性，而且要求多学科的工作人员彼此更好地协同工作。目前特别重视遥感技术专业人员的训练与培养。

第三，多通道、窄带宽范围的多光谱遥感技术的出现和发展，使遥感图象和数据的有效信息大为增加。现在地球资源技术卫星的象片，就是采用多波段摄影或多波段扫描取得图象资料。

第四，新的数据分析和判读技术有了发展。卫星象片取得的范围大、信息量丰富的多光谱数据和图象，可以及时送到有关部门，因此一般自视判读就显得慢了，从而促使各种快速、精确、更有效的数据分析判读技术发展起来。除各种光学机械仪器的应用外，近年还引进电子计算机参加判读和解译，可作自动标志识别和分类，不过还需进一步研究和完善。

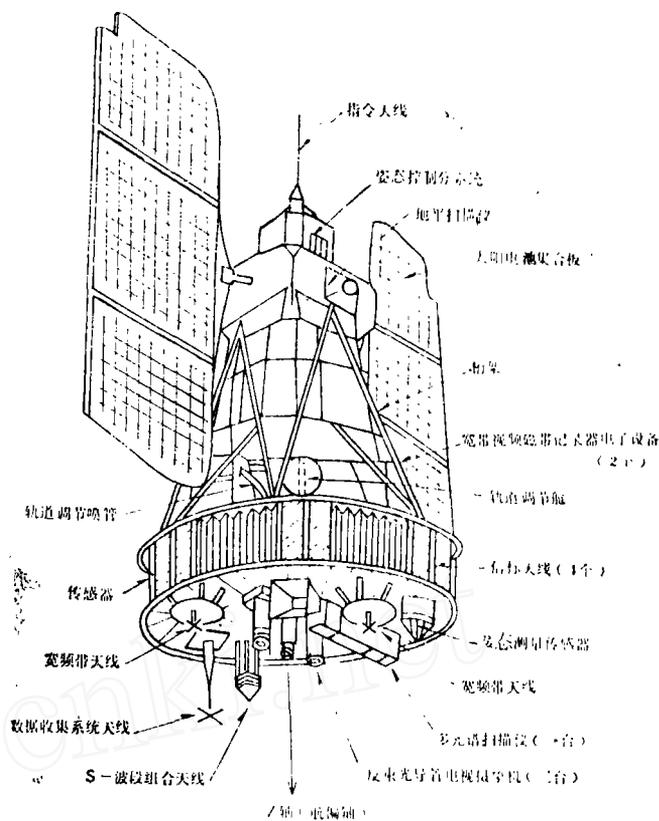


图3 地球资源技术卫星结构示意图

## 二 地球资源技术卫星简介

地球资源技术卫星是由原来“雨云”号气象卫星改制而成的一个小型卫星。星体重量953公斤，星载仪器240公斤，卫星容积只有1立方米。星体为圆锥形，体高3.04米，最大直径为1.52米，并有两扇张开的太阳能电池集合板，外形很象一支蝴蝶，故又称为“蝶形卫星”（图3）。星体分上下两舱，上部为服务舱，下部为仪器舱。卫星由“雷神—得尔塔”两级火箭射入轨道。

## 三 地球资源技术卫星的轨道特征

地球资源技术卫星的轨道要求为圆形、近极地、与太阳同步。这样才能保证卫星在固定不变的条件下进行观测，同时又保证周期的重复性及合理的全球复盖。

**1. 圆形轨道** 圆形轨道的设计，是为了易于操纵星载仪器，便于处理遥感资料，否则激光测高数据须不断加入改正数，给以后处理资料带来麻烦。但地球本身形状的扁平及作用在卫星上的各种引力（地球的、太阳的、月亮的，等等），使卫星高度发生周期性变化，范围

为905.5~918公里。

## 2. 轨道倾角和运行周期

**地球资源技术卫星**的轨道倾角设计为 $99.114^\circ$ ，运行周期为103.267分钟。

轨道周期和高倾角的组合，可以获得太阳同步轨道。太阳同步轨道设计的意义，在于卫星扫描地面时，有一个与卫星铅垂线大致成 $30^\circ$ 的有利光照角度(图4)。

由于地球公转运动，在秋分点时光照角 $\beta = 30^\circ$ ，到立冬点时 $\beta = 75^\circ$ ，冬至点时 $\beta = 120^\circ$ ，这会对摄影和扫描极为不利。为使卫星保持有利光照角 $\beta = 25^\circ \sim 30^\circ$ ，必须对卫星轨道

面进行修正，以南北方向为轴心，逐渐使卫星向东转动，每绕地球转一圈，修正 $0.0706$ 度，每日14圈，修正 $0.9856$ 度，每年这个轨道面向东回转一周(360度)。由于卫星轨道运动与太阳同步，所以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(由北向南)的平均地方时间是上午9点42分，这样就可以在太阳光照角相同条件下进行重复摄影，便于

资料上的色调可以对比。

## 3. 复盖条带与复盖周期

地球资源技术卫星每天绕地球飞行14圈，18天(251圈)拍摄全球一次。第一天的典型轨迹如图5所示。

地球在星下自西向东旋转，所以卫星

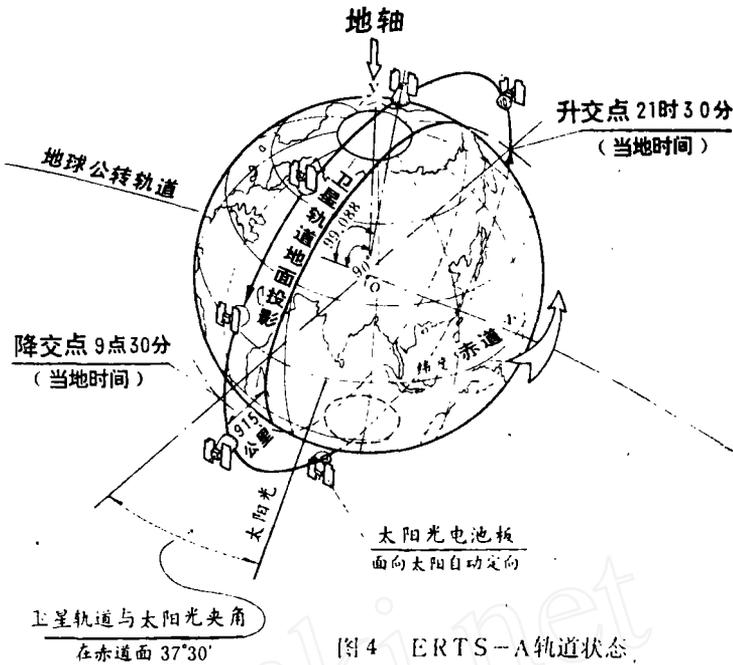


图4 ERTS-A轨道状态

说明:卫星绕地周期—103.2分;卫星轨道平面与地球赤道面夹角— $99.114^\circ$ ;近地点—905公里;远地点—918公里;卫星轨道与太阳同步;卫星姿态控制采用三轴定向。

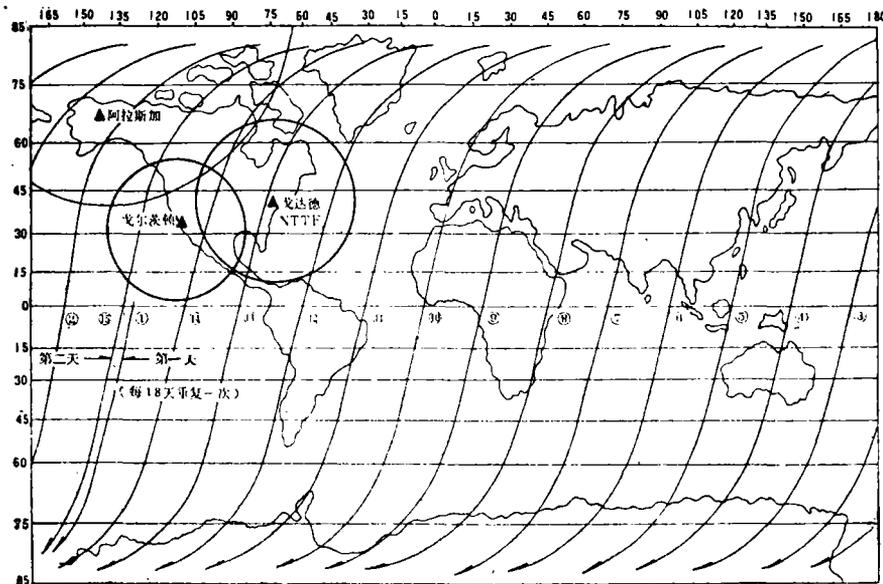


图5 ERTS第一天的典型地面轨迹(仅由北向南通过的)

每过一圈(103.267分钟),卫星轨道相对已向西移动2800余公里。每一天卫星扫描的各条带(宽185公里)互相之间没有重叠,第一天和第二天的相同轨道覆盖条带在赤道上设计时使之移动1.43°,相当于地面159公里。由于每天同一轨道由东向西移动159公里,恰好需18天构成一个完整复盖周期,并使相邻轨道摄影的图象在赤道上约有14%的旁向重叠(图6)。这种重叠率随纬度增高而加大,在高纬度地区,特别是那些重叠超过50%的纬度上,卫星重复覆盖只要几天就行了。

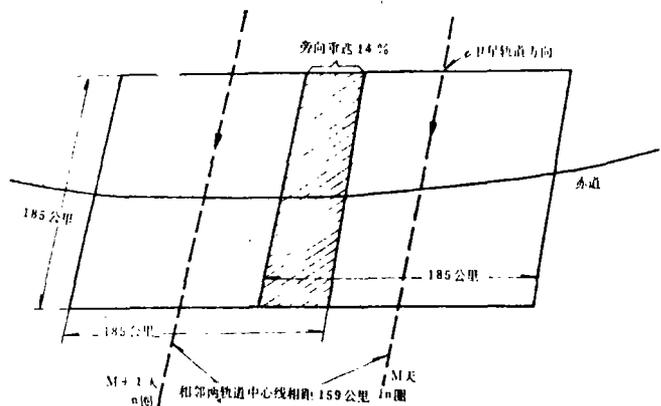


图6 在赤道上图象的旁向重叠

#### 4. 地球资源技术卫星轨道高度的选择

轨道高度的选择是根据卫星寿命和任务而确定。如果只拍摄地面图象,轨道可以稍低,300公里左右即可,得到的图象比例尺也较大,象片分辨力也更好。但是轨道太低,由于地心引力关系,就不能保证卫星有足够长的寿命。地球资源技术卫星希望能观察到一年四季的各种自然现象的变化,要求寿命在一年以上,所以轨道高度就要稍高一些。如仅限于收集地面无人自动观测站的数据资料,轨道应该更高,所受地心引力也小,卫星寿命也更长些。ERTS执行的是综合考察任务,既要保证图象有足够大小的比例,又要保证寿命尽可能长,为了满足各方面的要求,最后选择了918公里的轨道高度,具有中高度、长寿命的特征。

不同纬度上卫星象片的旁向重叠

纬度(度)	0	10	20	30	40	50	60	70	80
影像旁向重叠(%)	14.0	15.4	19.1	25.6	34.1	44.8	57.0	70.6	85.0

**5. 姿态稳定** 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。卫星上有一个姿态测量传感器,用来测定精确的姿态数据,以便地面处理影象时加以校正和补偿。卫星上还有一个专门姿态控制系统,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;用反作用喷咀和转矩系统配合调正姿态,反作用轮用来精确定位。卫星的定点精度可控制在预定的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同,自转周期等于卫星绕地周期,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。

### 四 星载仪器

地球资源技术卫星上带有四种仪器:

#### 1. 成象仪器

(1) 三台反束光导管电视摄影机(RBV) 反束光导管照相机是一种高分辨力的电视摄影机,三台照相机在卫星观测台上排成一行(图7),同时对准地面同一景象,观察185×

185公里见方的广阔地域。三台相机是一样的，只是镜头前分别使用不同滤光片，每25秒同时拍摄三个光波段的三张卫星象片。

照相机的快门每25秒自动开启一次，每当快门关闭时，影象贮存在光电导层上，停留10.5秒，然后三台相机依次被扫描读出，每张景象读出时间3.3秒，加上0.2秒同步和时间代码信息，共用3.5秒，三台相机共用10.5秒。之后由消去灯进行清除，经过再准备，再行曝光。清除、准备、曝光是三台相机同时进行，读出则按三个光谱段的时序，按照相机3、2、1顺序读出。

RBV象片上均匀分布有81个“+”符号(图8)，共9列9行，组成一个坐标格网，作为纠正影像几何误差的控制格网。RBV象片的四边还有四个锚形符号作为定向标志。象片的影象是通过扫描读出，由光信号变成电信号输出发射到地面接收站。一幅象片共有4125有效扫描线，读出速度每秒1250行。

RBV象片选用的光谱带如下：照相机1：0.475~0.575微米(蓝、绿光)；照相机2：0.580~0.680微米(绿、黄光)；照相机3：0.690~0.830微米(红、红外)。反束光导管电视摄像机结构见图9。

### (2) 多光谱扫描仪

(MSS) 多光谱扫描仪是一台同时能取得四个光谱段记录的扫描仪器，由扫描器和光谱仪两部分组成。扫描仪部分包括扫描反射镜、校准镜和聚光系统，光谱仪部分包括旋转快门、光学纤维成象板、滤光镜和检波器(图10)。

扫描反射镜是关键部件，它是一个表面镀银的椭圆形反射镜，长轴33厘米，短轴23厘米，可围绕正常位置摆动±2.89°。扫描镜的任务是连续收集地面分辨单元的发射和反射光谱，旋转的扫描镜与地面成45°角，对地面185公里条带范围内的景物进行扫描(图11)。

扫描镜以13.62次/秒的速度横切轨道方向摆动，星下视场角为11.56°，一次可同时对6条扫描线作有效扫描。光线经反射镜系统传导到成象板上，通过滤光镜分光谱，由光学纤维传导至探测器，产生视频信号，经采样、数字化调制，记录于磁带上或实时发射给地面站。

正方形的光学纤维成象板按4×6的矩阵排列(图12)，共有24个通道，探测器在光学纤维板的另一端，对每一探测器的瞬时视场为79米见方的地区，6条扫描线扫过的地面共宽

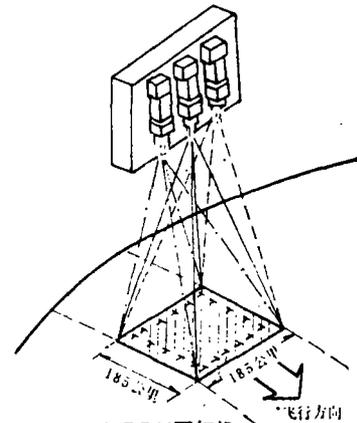


图7 三台RBV照相机

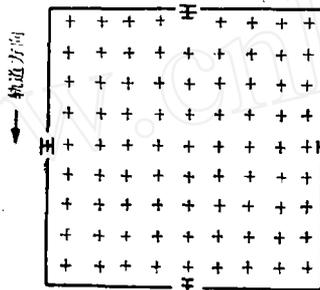


图8 RBV象片的格网和定向符号

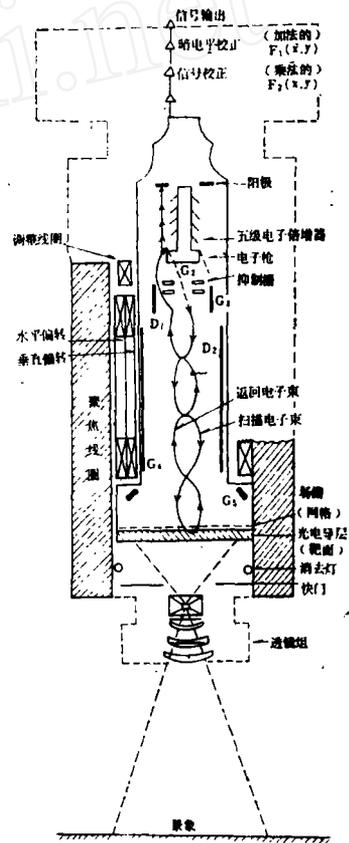


图9 反束光导管电视摄像机结构示意图

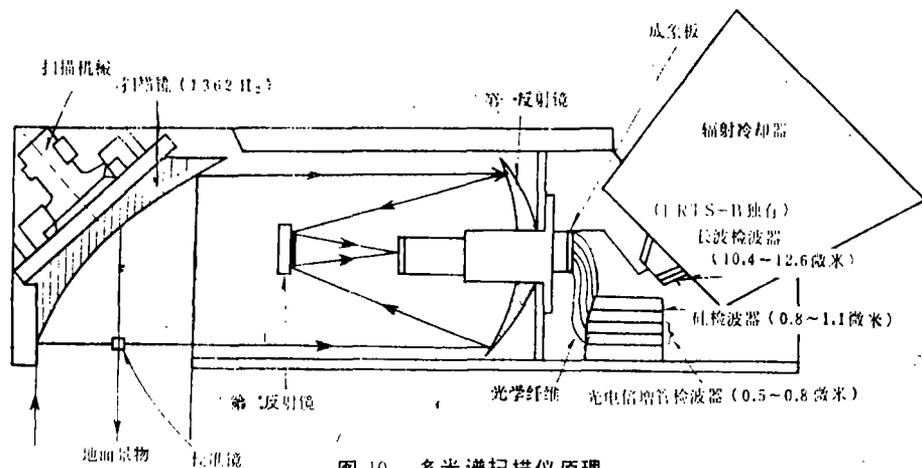


图 10 多光谱扫描仪原理

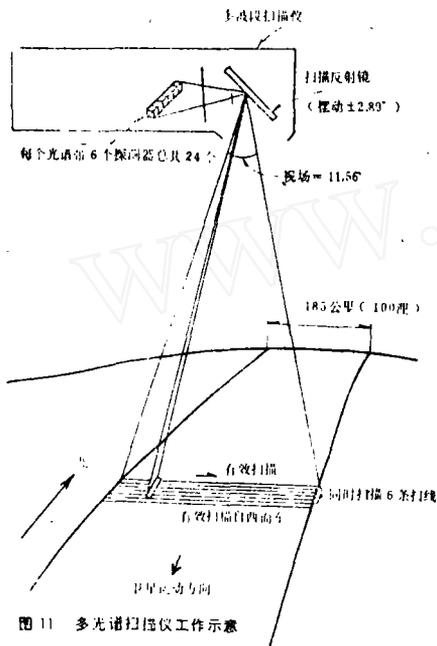


图 11 多光谱扫描仪工作示意

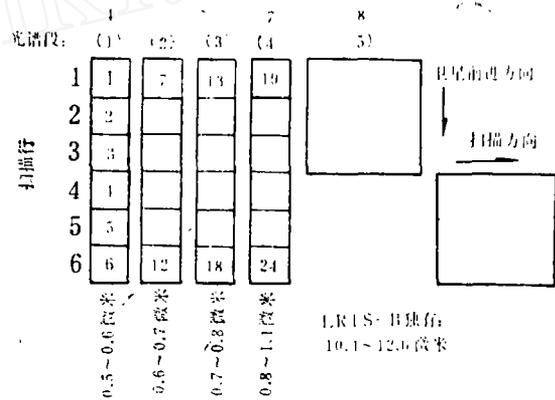


图 12 多光谱扫描仪扫描程序

474米。由于轨道速度，星下点以6.47公里/秒的速度移动。扫描镜的有效扫描和回扫周期为73.42毫秒，此时间内星下点沿轨道方向正好也移动474米，所以处于有效扫描周期，第一个探测器的扫描线位置，则与前一扫描周期第六个探测器的扫描线相邻（图13）。

MSS 所选用的光谱带如下：

MSS 4 0.5~0.6微米（绿、黄）；

MSS 5 0.6~0.7微米（黄红、红）；

MSS 6 0.7~0.8微米（红、近红外）；

MSS 7 0.8~1.1微米（反射红外）。

光谱带4~6共采用18个光电倍增管作探测器，光谱带7用6个硅光电二极管作探测器。原计划ERTS-B上MSS增加10.4~12.6微米热红外光谱带，由于技术上的原因没有成

功。

## 2. 记录仪器——宽带视频磁带记录仪二台

为了在卫星上存储地面景象信息，MSS和RBV共用两台宽带视频磁带记录仪，供记录、存贮和回放RBV和MSS输出的数据。每台记录仪可记录30分钟，磁带长548米。

## 3. 数据收集系统（DCS）

是以卫星作为中继站，收集各地无人管理的自动观测站的测量资料。如ERTS-1发射时美国在各地布置了100多个自动观测站，收集有关水质、流速、温度、雨量、雪厚度等方面数据，还在世界有文字记录的300座活火山中的15个火山口进行观察。目前ERTS仅简单地实时转发数据，不作贮存处理，所以自动观测站只能设在美洲。原设计容量可达1000个，现实际只有100多个这种数据收集站。

## 4. 程序控制系统

由地面站的运转控制中心向卫星发出指令，使卫星达到某一特定地区上空时进行摄影或关闭，存贮或回放等作业，并用以控制卫星本体和仪器舱的正常工作。这些指令由卫星指令/时钟系统接收指令信号和时钟信号，能够执行512条中的一条，总计有30条指令/时钟指令可以贮存起来，以便在超出地面站接收范围时执行。这些指令包括：卫星姿态的控制，轨道的校正，各种仪器设备的接通和断开，卫星和地面站时间系统的同步等。

地球资源技术卫星所携带的每个传感器，每天可以拍摄地面188个景象，每个景象由RBV照相机拍3张，MSS拍4张，每天共拍1316张卫星象片。ERTS-2所携带的仪器与ERTS-1基本相同。

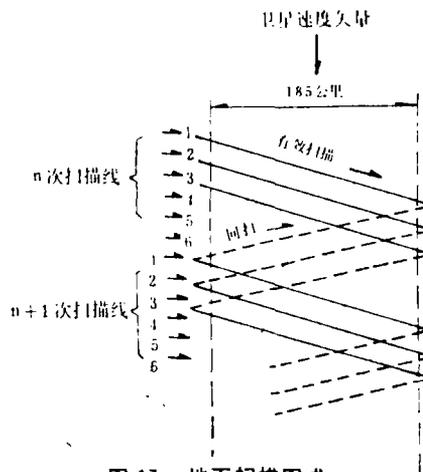


图13 地面扫描图式

## 国外矿床新发现

- ▲澳大利亚发现特大型钒钛磁铁矿。该矿床位于西澳大利亚皮尔巴拉地区，距海岸线约五公里。据称，其钒、钛及磁铁矿的储量以年产量200万吨计算，足以持续200年。（据英《采矿杂志》一九七六年第九期）
- ▲印度地质调查所在印度奥里萨邦马尤尔班杰地区的克萨尔帕找到一个该国迄今为止所发现的最富有的铜矿床。铜储量为166万吨，品位为1.59%。（据英《采矿杂志》一九七六年第八期）
- ▲印度矿物勘探公司宣称，在比哈尔邦辛格洪姆地区的奇里亚发现“该国最大的单一铁矿床”。矿石储量为19.7亿吨，含铁62%。（据英《采矿杂志》一九七六年第三期）
- ▲苏联在乌拉尔地区发现一新的铁矿床。该矿床是在深部600~1000米处发现的。自从在乌拉尔地区发现铁矿，至今已250年，铁和其他矿种已基本采尽，该矿床的开采寿命为40年。（据英《采矿杂志》一九七六年第三期）
- ▲据巴西政府的一家铁矿开采公司称，在靠近玻利维亚边境的乌拉卡姆地区已探明5亿吨高品位的铁矿。该地区的全部矿石储量估计为50~100亿吨。该项勘探工作还查明了一些高品位锰矿床，储量约为7000万吨。（据英《采矿杂志》一九七六年第二期）