

卫星象片的地质解释和应用 (下)

北京大学 范心圻

五 卫星象片的特性

与航空象片比较, 卫星象片有以下特点:

1. 视域广阔, 但比例尺较小 ERTS—1、2在918公里的太空摄影, 原片只有 70×70 厘米, 包括的地面却是 185×185 公里, 即34000平方公里。原片象片比例尺为 $1:3369000$, 放大3.339倍后, 可得到 $1:100$ 万的卫星象片。这种象片由于镜头和底片的分辨力都较高, 可以再放大到 $1:50$ 万或 $1:20$ 万, 但以 $1:100$ 万的效果最好。 $1:20$ 万的多光谱扫描象片只可在1米之外观看, 近看则扫描线引起视觉上的许多混乱, 效果较差。

由于卫星象片比例尺较小, 与航空象片相比, 许多细节是看不见了。这是一个缺点。但它有一个突出的优点, 就是视域广阔, 可以进行大范围的观察, 为客观研究各种自然现象和地质现象的规律分布, 提供有利条件。过去, 地面地质工作有一个弱点, 就是视域有限, 航空象片虽然可以扩大人们的眼界, 但比之卫星象片又略逊一筹。

卫星象片相当于在918公里的高空俯视大地, 宏观地研究地质现象极为有利。视域广阔, 就有可能更好地观察地质现象之间的相互联系, 获得一个整体概念, 避免由于断层的错联、乱联而得出错误结论。一幅卫星象片包括的范围, 相当于6幅 $1:20$ 万的地质图, 也相当于 $1:2$ 万的航空象片9000多张拼接在一起, 省去了大量的象片镶嵌工作。此外, 航空摄影方法要得到大量象片, 还由于摄影条件改变, 象片的色调很难一致, 使镶嵌图质量受影响。卫星象片一张就包括广阔的地面, 色调一致, 还有其他各个光谱段象片互相对比, 显然具有优越性。

2 迅速反应动态变化 地球资源技术卫星每103分钟环绕地球一周, 每天绕地球14圈, 18天复盖全球一遍, 可连续飞行一年半以上, 及时发送地面图象, 比航空象片能更快、更新获得全球性资料和图象。由于连续飞行, 每18天重复摄影一次, 因而既可研究短期的动态变化, 如火山爆发、农作物长势、森林火灾等, 也可研究一年四季的变化和动态, 如冰雪消融等。各种遥感手段的配合使用, 不仅可以观测现在发生的、而且可以研究已经发生的动态变化。

3. 信息量大 遇到黄土覆盖、第四纪松散沉积物、冰雪和水体, 航空象片则无能为力。卫星象片采用各种遥感手段和多光谱摄影, 可以穿透水体及部分第四纪松散沉积物, 看到深水下的悬移质、浅水中的推移质, 以观察海流方向、泥沙运动规律和水底地貌形态。平原地

区可以看到隐伏构造和地下水的一些分布。总之,卫星象片具有丰富的地质信息。

采用多波段摄影是大大增加信息量的主要原因。多波段摄影或多光谱扫描,原则上可在任意波段内进行,实际上只能在可见光(0.4~0.75微米)、近红外(0.75~1.5微米)、中红外(3~5微米)、远红外(8~14微米)的大气窗口中进行,而以各种物体对电磁波辐射的吸收、反射(或散射)、辐射特性不同为基本出发点。两种物体对一种波长的反射能量相同,但对另一波长却有显著差别,选用的光谱范围愈宽,取得的地物反射光谱信息量就愈大,对物体鉴别力也就愈高。目前ERTS采用24个通道多光谱扫描仪,具有可见光、近红外的四个光谱段,而航空象片仅在可见光范围内,并且不分波段。虽然卫星象片比例尺较小,但各种遥感手段配合取得的信息量远远超过航空象片,部分地弥补了这一弱点。

4. 收集资料所受地面条件限制较小 卫星象片可以超越国界,作全球性飞行,可以穿过高山高寒地区、沙漠干旱区、湖泊沼泽、人烟稀少难于通行地区,以及广阔的海洋,与航空象片相比,受地面条件限制较小。此外,热红外和微波等遥感仪器还可昼夜工作。

5. 与地图对比、拼接方便 卫星象片由于是通过一定的透镜,仍按中心投影方式成象,影象在边缘受地面高差影响,象点仍有一定移位。但由于918公里的航高是如此之大,可以认为近似于正射投影,因此地面高差引起的象片位移是不大的。一幅卫星象片和地图对照,地物的轮廓图象变化极小,而对不精确的地形图,卫星象片还可起校正作用。国外还试验利用卫星象片与航空象片结合测制1:50000和1:100000比例尺地形图。测制这种比例尺地形图,卫星象片既可用于控制加密,也可提供几何信息;航空象片则为地形判读提供影象信息。卫星象片分为精加工和粗制象片两种。目前常用的是粗制象片,而制图则需放大使用经过纠正的精制象片。将来ERTS—C、D专门用于制图,会进一步有所改进。就目前的一些卫星象片和地形图比较,以及利用卫星象片拼接一起作影象地图来看,由于粗制象片的纠正有限,如新疆地区的照片在经度方向拼接较为精确,而在纬线方向可以达到0.5毫米的误差,对1:100万的象片,可以错位500米左右。如果利用精制象片,这种状况可以得到一定改善。RBV象片有均匀分布的81个“+”字形网格点,可以用作制图纠正。MSS象片没有这种校正格网,加之卫星姿态不稳定,尽管采取防止措施和严密的姿态控制,仍然受到某些影响,多少有一些微畸变和异常。

卫星象片有许多自己的特点,用于地质调查也还有局限性。例如:比例尺较小,天空总有50%的云星;地面分辨力不如航空象片能看到许多细节。

1. 比例尺较小和地面分辨力问题。地球资源技术卫星原设计的地面分辨力为100米,实际可达79~40米,线性地物在背景良好情况下可看到大于15米的物件,但由于细部缺失,总嫌比例尺太小。ERTS—C、D作为制图专用,拟通过长焦距($f=610$ 毫米)和低轨道来加大比例尺。另一方面,提高感光材料的分辨力和放大使用,也是一个途径。总之,提高卫星象片的地面分辨力仍是一个公认的、有待进一步解决的问题。

2. 地球上总有50%的地表为云雾覆盖,另有50%的地面处于黑夜中。这对短期飞行的卫星获得全球无云天气的地表图象有一定困难。将来采用微波、雷达、热红外等各种遥感器,可望克服这些障碍。

3. 目前总的来看,获得遥感资料的能力远远超过资料判读和解释能力,因此有必要重视这方面的研究工作。另外,目前获得资料的能力也远远超过资料的处理和利用能力。据估计,目前收集到的资料有90%尚未利用,而从宇宙空间发回的信息一天天不断扩大增加,未利用的胶片、磁带、图片就会堆积如山。因此改善地面接收和处理资料能力,必须及早注意。同时应加强对地物光谱特性的研究,以便更有效地解释卫星象片提供的信息。

六 卫星象片的图边注记和符号

地球资源技术卫星的底片，图边印有各种标记（图15），这些标记可以帮助我们了解卫星象片的地理位置，摄影的年、月、日及具体摄影时间，图象中心的地理坐标，影像的光谱带，仪器的状态等等。

1. 重叠符号 布置在图象四角，用“+”号表示，供不同光谱带影像进行彩色合成时，互相重叠检影用。

2. 图象中心 同一时间拍摄的RBV和MSS象片的图象中心是一致的，影像没有单独的图象中心符号，而是由四个重叠符号引对角线，其交点即是图象中心。

3. 经纬度注记 经纬度分别标记在象片的四边外侧，一般每隔30弧分有一注记，但在高纬度（60°以上）为防止注记过密，采用1度的间隔，N代表北纬，E代表东经，纬线的具体位置由数字注记上方或下方1.5毫米长的横线内侧相连而得，经线的具体位置由经度数字注记的前方或后方2毫米长的竖线内端相连而得。

4. 灰标 灰标在每幅影像的下方，在电子束记录器中，随着影像的产生，每张底片同时也曝光产生一个15级的灰标。该灰标附加在影像上，受到影像复制处理时相同因素的影响。传感器接受地物对电磁波的反射光谱能量，转换成电压，电子束记录器的电子束强度与传感器电压有关，影像的灰阶是由电子束不同强度绘出。MSS象片注记有15灰阶（RBV象片只有10级），第15级相当于亮度为零（在正片上为黑色），第1级相当于该地区的最大亮度（在正片上为白色），亮度随灰标透过率呈线性变化，各级灰标之间相差为最大亮度的1/14。

5. 字母注记 （以MSS粗制象片博斯腾湖幅为例）

注记段落	a	b	c	d
注记位置	12345678	1 2 90123456789012345	3 4 67890123456789012	5 34567801234
实 例	05OCT72	CN41-46/E0887-45	NN41-44/E087-49	(4) R MSS (5) (D) (6) 7

（续表）

注记段落	e	f	g	h	i
注记位置	6 56789012345678	7 90123456789	8 0123456789	9 01234568	10 11 901234567890123456
实 例	SUN EL38 AZ149	191-1024-A	1-N-D-1L (H)	NASA ERTS	E-1074-04242-701 (6)

a符号位置 01—08，05OCT72。此段代表影像曝光的年、月、日，即1972年10月5日。

b符号位置 09—25，CN41—46/E087—45。此段代表图象中心点c的经纬度是北纬41°46′、东经87°45′；图象中心c是指摄影机光轴与象片的交点（与地面的交点叫地主点）。

c符号位置 26—42，NN41—44/E087—49。此段代表象底点N的经纬度是北纬41°44′、东经87°49′。象底点N是指摄影瞬间通过镜头中心的铅垂线在象片上的交点，此铅垂线与地面的交点为地底点。比较上述图象中心和象底点数据，在纬线方向相差2′，经线方向差4′，证明基本为垂直摄影。

d符号位置 43—54, MSS(4)(5)(6)7R。此段代表多波段扫描仪的第7波段象片。带号是有意错开,以便彩色合成时各光谱带仍能区别。R表示贮存回放,有时该处注记为D,则表示直接发射。

e符号位置 55—65, SUN EL38 AZ149。此段表示太阳高度角EL为 38° ,太阳方位角AZ为 149° ;太阳方位角是以真北方向起算,按顺时针方向测出,以最接近的度数表示。

f符号位置 66—79, 191—1024—A。此段代表卫星前进方向为 191° ,卫星轨道圈数为1024圈,接收此幅卫星象片的地面接收站是阿拉斯加;卫星前进方位是以真北起算,按顺时针方向测出的,以最接近的度数表示;地面接收站A代表阿拉斯加,有的象片上为G,代表戈尔茨顿(加利福尼亚州),N即NTTF站,代表空间飞行中心,设于马里兰州戈达德。

g符号位置 80—89, 1—N—D—1L。1表示影象是满幅尺寸;N表示影象是按正常方式处理的,如为非正常方式处理,则用A表示;D代表图象中心的地理座标是采用准确的最佳拟合星历表计算的,如果采用轨道星历表推算计算,则用P表示;最后的1代表从卫星发射到地面站之前的光电转换处理过程中采用的是线性方式,如果此位置注记为2,则表示是压缩方式处理的,地面处理时须除去压缩,压缩方式只用于MSS4、5、6, MSS7均为线性方式处理;L表示低增益(H表示高增益)。

h符号位置 90—98 NASA ERTS。NASA示国家宇宙局;ERTS示地球资源技术卫星。

i符号位置 99—116, E—1 074—04242—701。E—1表示象片是ERTS—1的;074表示从发射卫星之日起算的天数,即此片于第74天拍摄;04242为扫描和拍摄的时间(时、分、秒),以格林威治时间为准,即此片拍于4时24分20秒;7代表通道数是MSS7;01表示视频带运转过程中出现故障时,视频带再次使用的次数,此处即为1次。

七 卫星象片的解释标志

地球资源技术卫星的象片有比较丰富的地质信息,目前农、林、牧、渔均加以利用;地质方面的水文地质、区域地质填图、找油找矿等,都认为有一定价值,用于金属矿床地质还可进一步试验。这里仅就地质解释标志作一简要介绍。

我们曾在新疆和地质局区测队的同志一起作过1:100万地图的修测试验,结果表明卫星象片以其广阔的视域而将区域构造轮廓表示得一清二楚,有利于弄清控矿构造,在战略性找矿中可能发挥一定作用。此外,同一地区有四个波段的多光谱象片,岩石和岩体的反射光谱可以得到较好反应和对比。如果我们能够掌握一定的解释方法和解释标志,可以区分一定地层和岩性,单独的地层虽因卫星象片比例尺较小很难找到,但作为岩性组合的一组地层是可以区分的。卫星象片对岩体有较高的鉴别能力,不仅轮廓清楚,有的地方可清楚看到蚀变带、晕带,而岩体内部不同期次、不同相带和较大岩脉均有明显反映(参见图14、15)。

卫星象片的解释方法、解释标志与航空照片有许多类似,也分为直接和间接解释标志,但更多是利用间接解释标志。卫星象片的解释标志计有:

1. 形态特征 形态特征包括形状大小、位置轮廓、地貌形态、水系格局等等,是地质体本身物理化学性质、产状和所受内外营力不同而产生的差异性的表现,同时也是电磁波一定强弱的反映。地面的起伏,不同的坡度、坡位对太阳光的反射不尽相同,进入摄影机镜头的光量就有差别,所以形态标志又反映着一定的电磁波强度,且与太阳高度角有关。

地貌形态本身是岩石抗风化能力的反映,同时又与构造有关。节理密集区与节理稀疏区岩石抗风化能力就不一样,所以形态特征有时为直接解释标志,有时又是一定地质体的间接解释标志。

形态特征分为宏观的一级形态和微观的二级形态。

一级形态特征又分为层状、带状、块状、单根线性景象特征等。

(1) 层状和带状形态特征:可能反映具有一定走向的地层和山脊,可以为单斜构造、褶皱构造,经改造后也可能为孤形的层状和带状形态,如北京附近周口店岩体周围的猫耳山即具弧形特征。密集的条带为薄层岩石,粗宽的条带为厚层状岩石,厚薄互层的地层具有清晰明显的条带状影纹。

(2) 块状形态特征:反映地质体具有均一的岩性,同一的影象特征,如沉积盆地;另外,岩体都具有块状特征,有一定的轮廓形状,如圆形、椭圆形、眼球形、扁豆形等。

(3) 单根线性特征:有粗线、细线,也有直线、曲线,可能影象表现明显,也可能时隐时显。大多数卫星象片上的单根线性特征反映巨大的断层(参见图14、15)。但单纯的线性特征可能为河流的直段,公路、铁路的一部分,有时天空的云彩被高空风吹得拉长了,也成直线分布。这些要从相关位置加以分析区别,例如云总具有一定的阴影投落地面,河流与交通线可从上下关系中区别开,断层的相互关系分析将在下面谈到。

二级形态特征包括山体、山脊、坡面、水系切割密度等。

(1) 粗结构景观:山体规模较大,水系稀疏,如砾岩、石英岩、细粒花岗岩地区。

(2) 中等结构景观:山体规模中等,水系切割密度中等,如砂岩地区。

(3) 细粒结构景观:山体规模较小,水系密集,如页岩地区。

以上只是大体的区分,卫星象片上实际所见要复杂得多,常是一组岩层的综合景观。除山体规模,水系切割密度外,还可进一步观察坡面的对称性,是对称的猪背岭,还是不对称的单面山;也可进一步分析两侧坡面水系密度的对称性,以区分主要是受岩性影响,还是受构造控制,而单面山常为褶皱的一翼,根据标志层追索褶皱构造,等等。

2. 色调特征 地质体有其自身的颜色,是对电磁波的反射、吸收、透射、辐射不同而形成。

具有选择性反射和吸收单色光能力的地质体称为彩色地质体,如肉红色花岗岩、紫色砂页岩、砖红色页岩、绿色片岩等,它们均能吸收其它部分色光,反射本身颜色的单色光。

自然界地质体的色差很小,单凭肉眼难以区分,而用现代的电子仪器有可能将彩色分为13000多种,足以将色差极小的地质体区分开。

对外来光(电磁波)没有分解成单色光能力的地质体叫作消色地质体。它们对外来光或是全部吸收或是全部反射。全部吸收的物体是黑色,如煤炭;全部反射的物体呈白色,如白色大理岩。它们之中有的吸收多些,反射少些,有的反射多些,吸收少些,或反射与吸收各半,形成各种不同的比例,使物体呈现深浅不同的灰色,如灰色的石灰岩等。

不论彩色地质体和消色地质体,在黑白象片上均表现为由黑到白的不同色调和灰阶,只在彩色象片或假彩色象片上彩色地质体才表现为有色彩的物体。MSS象片将灰阶分为15级,RBV象片把灰阶分为10级,人的目力判读能区分7~10级,电子计算机可区分200多级。

区分不同地质体的一个重要标志是色调。多波段卫星象片上基性和超基性岩一般具有较深的色调,酸性岩体一般为浅色调;红色、紫色、黄色的地质体和地层一般具有较浅的色调,绿色、灰色的地质体和岩层色调较深。除区分色调的深浅外,还要注意色调的均一性或

杂乱程度, 特别要注意色调的过渡边界, 是突变还是渐变。总之, 要通过细致的对比分析来划分不同地质体和地层。不过色调是很复杂的, 影响色调的因素也很多, 例如:

(1) 湿度: 湿度会加深色调的浓度和等级, 反之可以根据色调深浅区分土壤的含水状况, 地下水的富集地段以及地下水的泄出地带等。干燥地区色调浅些, 潮湿地区色调深些, 而同类物质含水丰富就会加深色调, 因此引起解释的困难和判断错误。

(2) 风化作用: 自然界的彩色地质体和消色地质体表面都是风化了, 并不反映其原岩色彩。风化作用一般使基岩色调变浅, 个别地区的超基性岩由于风化作用色调比预期为浅, 这也使利用色调标志进行解释复杂化。

(3) 地表粗糙度: 大颗粒物体色调一般深些, 细颗粒物体色调则浅些。如新疆的山前洪积扇上的戈壁滩, 因受干燥区风的吹蚀, 细粒物质吹到低洼地区, 剩下的砾石表面在象片上反映为深色调。这是因为粗粒物质向各个方向反射电磁波, 进入传感器的反而减少, 色调变深。湖盆底部多为细粒粘土和泥滩, 反射光受太阳高度影响略有变化, 色调一般明亮而浅。石灰岩地区在风化淋溶作用下, 孔隙、裂隙增多, 地表粗糙也会使色调变深。

(4) 土壤植被的影响: 象片上的影象经常反映的不是基岩的原色, 而是土壤植被的色调。当然, 一定岩性有一定的植被, 如柿子树长在灰岩地区含钙土壤上, 但实际这种相关性要复杂一些。单从色调来看, 植被多时影象色调会加深, 而草地色调又浅一些、均一一些。因此土壤植被也影响色调变化。

(5) 感光材料和光谱段的影响: 水的色调变化多端。由于太阳入射角不同, 一张全色象片上不同部位的水体, 深、浅色调不尽一致。在红外象片上, 白天水体吸收所有电磁波, 色调深暗, 夜间水体发射红外光谱, 所摄照片色调发白。与此相反, 由于植被强烈反射红外波, 在红外片上均为浅色调, 而在全色片上色调较暗。多光谱象片MSS6、MSS5波段上的植被色调较暗, 用它和MSS7波段象片相比较, 容易发现植被所在。在假彩色合成象片上, 植被表现为不同深浅的红色, 茁壮的植被是鲜红色, 而遭受病虫害和枯萎的植被则呈暗红或紫红色。这就是说, 不同感光材料和不同光谱段反映的色调色彩也不相同。

色调特征是一个变化较大的特征, 但又是一个具有潜在能力的特征。随着对电磁波的深入研究和电子仪器的发展, 有可能利用色调特征区分更多的地质现象。

3. 阴影特征 卫星象片上的本影和投落阴影很难区分, 细小物体的投落阴影小于象片比例尺精度(100米长), 无法表现。阴影只在显示地貌的立体感上起一定作用, 判别高差较大的地貌时, 阴影仍是很好的标志。对卫星象片的地质解释, 阴影标志不太重要。卫星象片的重迭不多, 经常用单片看立体, 把象片南方朝上, 借助阴影立体效果较好。

4. 花纹和图案 卫星象片的比例尺较小, 单个物体已不易辨认, 有时甚至单个岩层也不易辨认。当它集群出现, 成组出现时, 例如地层甚薄但具有一定韵律而成组出现时, 由于地貌特征、水系特征、光谱特征、土壤植被特征的集合, 在象片上组成一定的花纹和图案, 以间接的形式提供地质解释的信息。一幅卫星象片在广阔的视野条件下, 出现许多有对比性的花纹和图案, 分别代表不同地质体和地质单元。这是因为上述一定的地貌、水系、光谱色调、土壤植被均反映着一定的岩性和构造差异。有人还用这种花纹图案圈定基底隆起等。

5. 相互关系位置特征 任何解释标志都不是孤立的, 都应与其所在位置及周围情况联系起来分析。军事判读十分重视相关位置特征, 例如根据道路网的配置和弯道半径等区分导弹基地、工厂类型。地质判读也经常利用相关位置特征。断层在地貌上大多为负地貌的沟谷, 断层的解释经常要看线性符号和周围的关系。例如: 断层两侧山脊是否错位、扭头? 泉水是否成排出现或突然消失? 沟谷是否异常? 河流有无变宽变窄, 流向是否突然转折? 断层两侧

岩性是否有变化, 两侧岩石有无挤压的透镜状块体? 等等。地层的中断和被错开, 岩体的被错开, 侵入体成直线排列或成长条状, 盆地边缘的直线状, 海岸、湖岸的直线状, 都在广阔视域的卫星象片上有明显的反映, 所以相关位置特征是卫星象片的重要解释标志。

6. 透视信息 第四纪成因类型在卫星象片上反映比较清楚, 有的隐伏断裂, 地面工作很难发现, 但卫星象片在第四纪沉积区可以看到一些线性特征, 根据两侧色调和影纹的差异, 比较容易发现。

透视信息的机理目前尚不清楚, 但它的确反映一些地质信息, 姑且叫作透视信息。原因可能是断层的存在和活动, 深部地下水的活动, 断层两侧第四纪沉积厚度的差异, 沉积物质的差异以及地貌形态上的差异等透过第四纪仍有反映所致。总之, 这方面尚须进一步探讨。

不论是解释岩性地层和构造, 都要各种标志互相配合, 灵活运用。一般是以图形引路, 色调配合, 再根据我们已有的野外实践经验加以分析研究。这种工作方法叫作目视经验解释。今后要进一步研究地质体的光谱特征, 应用某些光学仪器和电子计算机弥补视力的局限性, 达到能自动解释、自动识别。但是, 自动识别也要以目视经验解释为基础。因此目前必须进一步总结经验, 进行推广, 使更多的人掌握和应用, 经验才会丰富多彩。

八 卫星象片在地质工作中的应用

我国已有自己的卫星象片, 也引进了美国地球资源技术卫星四个波段的多光谱象片, 这就为地质工作中的应用准备了条件。国内外在这方面也进行了不少试验和研究, 现简单介绍如下。

1. 可为 1:50 万的区域地质填图和编图提供足够的详细情况, 甚至可为 1:20 万的地质填图作校正补充。如果辅以航空象片和地面工作, 并参考已有地质图, 会取得一定效果。

2. 可以修编和修测 1:100 万地质图。从新疆地区的试验来看, 在构造方面可以提高一步, 在侵入体的划分方面较原图精确, 特别是轮廓界线能校正原图之不足; 对地层和岩性解释也是可以区分的。如更进一步使用彩色合成象片, 短期内可将我国 1:100 万地质图更新一遍。

3. 通过区域地质特征的揭示, 对找矿也有意义。例如: a) 指出矿产资源新的远景区; b) 通过分析成矿构造, 帮助找矿; c) 分析控制成矿的岩性, 帮助找矿。

在阿联贝纳斯角西南阿布德赫尔山, 已知有铬铁矿存在, 与蛇纹石和橄榄岩伴生, 卫星象片上该区周围显得暗些, 其面积相当以前地面勘查时指出的四倍, 认为对进一步勘查铬铁矿有远景意义。科学院地理所在海南石碌铁矿区应用航空象片和卫星象片作远景找矿区预测, 提出需要考虑的四项标志是: 1) 构造有利部位; 2) 明显的保护层; 3) 向斜轴部有类似陀烈群和石碌群含矿建造的岩性和地貌标志; 4) 地形倒置, 即向斜成山, 相对地势突起。据此初步提出了远景找矿区作战略侦察。类似的例子还可进一步研究。

利用卫星象片进行地质调查, 目前尚处于试验阶段, 希望广大地质工作者充分利用这一有效工具, 为我国地质工作多、快、好、省地发展, 为实现四个现代化作出更大贡献。

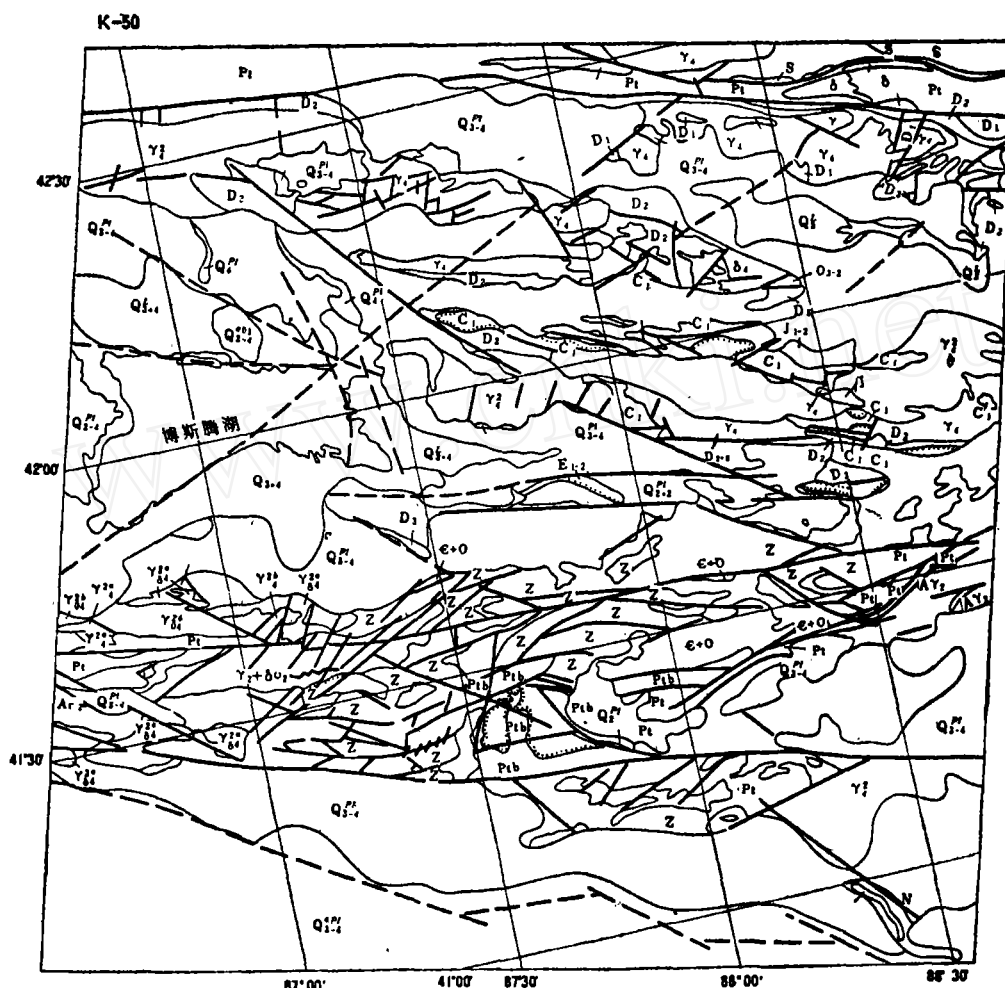


图 14 卫星象片博斯腾湖幅地质解释图

第四系: Q_4 —砾石、砂、亚砂土、淤泥、粘土、盐积土, Q_3 —砾石、砂、亚砂土、淤泥, Q_2 —砾石、砂、亚砂土、淤泥、盐、石膏, Q_1 —砾石、砂、亚砂土; N —土黄色泥岩、砂岩、砾岩; E_1 —褐红色砂岩、泥岩、砾岩、石膏; J_1 —灰、灰绿黄色砾岩、泥岩、炭质页岩夹煤层; C_1 —中酸性喷发岩、砂岩、灰岩、粉砂岩、砾岩; D_1 —酸性喷发岩、砂岩、灰岩、白云质灰岩, D_2 —灰岩、大理岩、千枚岩、片岩、中基性熔岩及凝灰岩, D_3 —砂岩、粉砂岩、泥岩、灰岩、中基性熔岩及凝灰岩, D_4 —灰岩、钙质砂岩、千枚岩; S —绿色砂岩、粉砂岩、片岩、千枚岩、灰岩; O_1 —泥质灰岩、页岩、硅质岩; e_1 — O_1 —白云质灰岩、白云岩; Z —砂岩、粉砂岩、页岩、灰岩、板岩、冰碛层(?)、砾岩、中基性熔岩; $Pt(b)z$ —片岩、石英岩、大理岩、片麻岩、贯入片麻岩, $Pt(a)l$ —绿色片岩、贯入片麻岩、大理岩; Ar —片岩、片麻岩、贯入片麻岩; Y_1 —花岗岩、花岗闪长岩(Y_1^{δ})、斜长花岗岩(Y_1^{α}); Y_2 —片麻状二云母花岗岩; δ_1 —片麻状闪长岩; Σ_1 —超基性岩, apl —冲积—洪积; $p1$ —洪积; L —湖相沉积; $eo1$ —风积

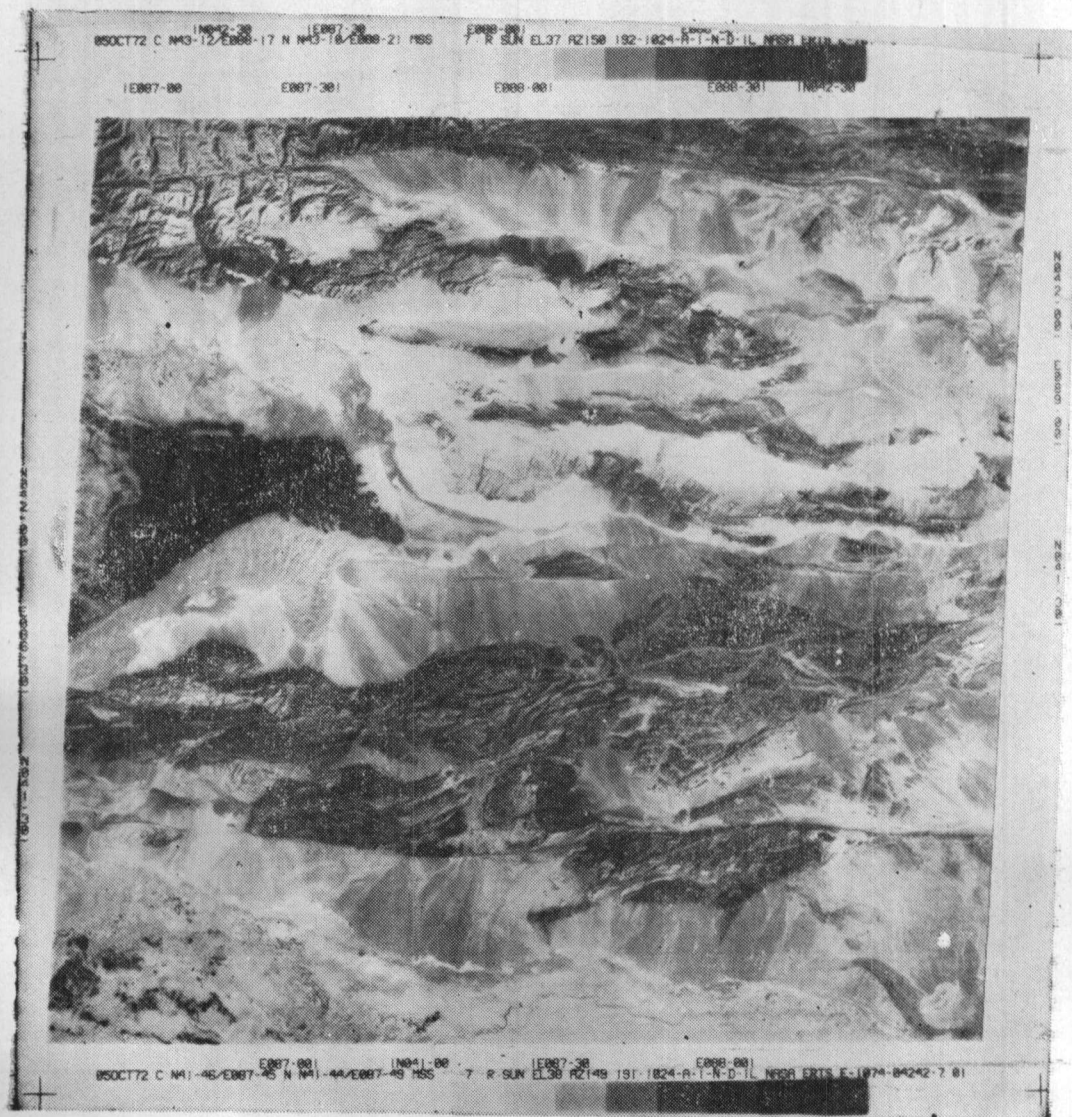


图15 卫星象片博腾湖幅