

57.19
01934

编号: 0123

内 部

科学技术成果报告

从地球资源卫星图象上解析断裂

934
.19

科学技术文献出版社

科学技术成果报告

从地球资源卫星图象上解析断裂

(内部发行)

编辑者：中国科学技术情报研究所

出版者：科学技术文献出版社

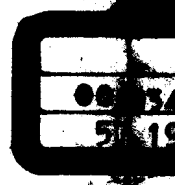
印刷者：中国科学技术情报研究所印刷厂

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

开本787×1092， $\frac{1}{16}$ 2 印张 51 千字

统一书号：17176·163 定价：0.25元

1979年8月出版 印数：17100册



目 录

一、卫星图象解析的理论依据和基本原理.....	(1)
二、利用卫星象片解析断裂构造的优越性.....	(5)
三、断裂构造的判读标志和解析方法.....	(6)
(一) 直接判读标志.....	(6)
(二) 间接判读标志.....	(9)
(三) 断裂的光学显示方法.....	(16)
四、北京及其邻近地区主要断裂构造及其判读依据.....	(17)
(一) 北北东向断裂构造.....	(17)
(二) 北东向断裂构造.....	(20)
(三) 北西向断裂构造.....	(23)
(四) 近南北向断裂构造.....	(25)
(五) 近东西向断裂构造.....	(27)
五、断裂活动性及其与地震的关系.....	(29)

从地球资源卫星图象上解析断裂*

——以北京及其邻近地区主要断裂为例

北京地震地质会战第一专题组

一、卫星图象解析的理论依据和基本原理

地球表面的地形起伏、地貌格局、水系格局及构造形迹是极其复杂的。这些地表物体除了本身发射电磁波能量外，还对照射它们的太阳电磁波产生吸收、反射（或透射）现象。每一种物体在不同波谱段范围内具有自己反射和发射电磁波能量的特性。卫星象片则是从数百乃至上千公里的轨道高度记录地表各种物体反射太阳电磁波能量的差异所构成的一个真实、全面、客观的综合图象。

地球资源卫星图象与其他卫星图象的区别是：它采用多谱段扫描技术，在可见和近红外电磁波范围内分成四种不同光谱段来记录地面各种物体反射太阳电磁波能量。即：当地面景物的影象通过星载多光谱扫描仪的聚光系统在成象板上成象后，由专门的滤光器将成象光束分解成4（0.5—0.6微米；黄——绿谱段）、5（0.6—0.7微米；红谱段）、6（0.7—0.8微米；红——近红外谱段）、7（0.8—1.1微米；近红外谱段）四个光谱段。然后，将这些分光谱段的信息分别转换成不同频率的电信号发回地面卫星信息接收站。这些信息经处理及其各种误差（特别是大气对于这些信息的干扰等）校准后再转换成光信息，分别记录在高分辨力的磁带或胶片上，构成同一地区、同一瞬间而分成为四个不同光谱段记录的四张图象。这些图象中的每一种图象上黑白影象的强弱变化代表着地面物体在相应的光谱段范围内反射太阳电磁波能量的强弱变化。就是说，每一种光谱段图象上的一种密度，就是地面某一物体在这一光谱段内反射太阳电磁波的强度。如果在条件一样的情况下，一种物体在一个光谱段图象中所记录的反射太阳电磁波信息的强度也是一致的。图1所示的四张地球资源卫星图象就是1975年3月20日，格林威治时间2点13分00秒，地球资源卫星通过北京至唐山一带上空所拍摄的4、5、6、7四个光谱段的原始图象，其比例尺为1:3369000，图幅大小相当于地面185公里×185公里。根据四张图象所显示出的黑白强弱程度分析，可见到第7波段图象下部所反映的平原区的光谱信息具有较大的色调反差。为了区分这四张图象所反映的不同信息，我们沿着这四张图象的透明正片，从北京——唐山之间的同一条剖面用显微密度计画出四条密度变化曲线（见图2）。从这四条曲线我们可以看到位于相同剖面（对应于地面就是同一地物）上的各个同名点，在四个波谱段范围内所记录的反射太阳电磁波的能量信息是不一样的。地面物体具有自己反射太阳电磁波谱的特性，它们在图象中的差异和在各波谱段中的显示差异往往需要通过仪器来识别，特别是一些微弱差异是不易为人眼所识别的。

试验表明：地质体反射太阳电磁波主要在0.3—0.9微米范围内。那么，地球资源卫星所用的传感器的波谱响应范围（0.5—1.1微米）是基本上适用于地质体的探测应用的。某一

* 本文由中国科学院地理研究所 魏成阶执笔

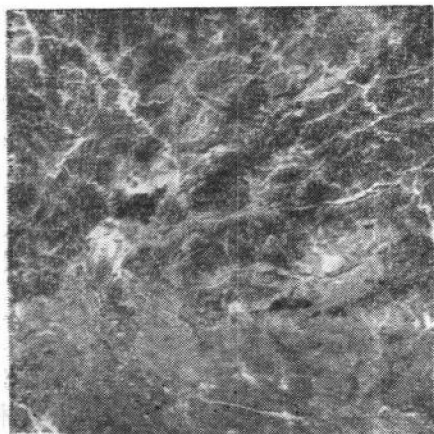


图 1a. 4 波段图象

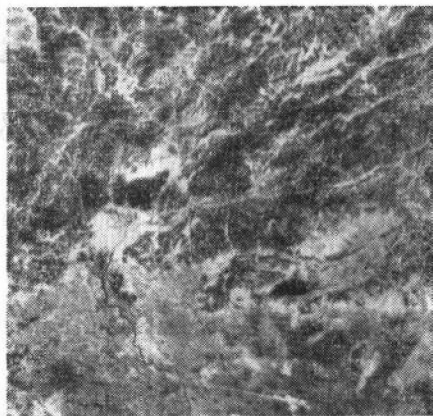


图 1b. 5 波段图象

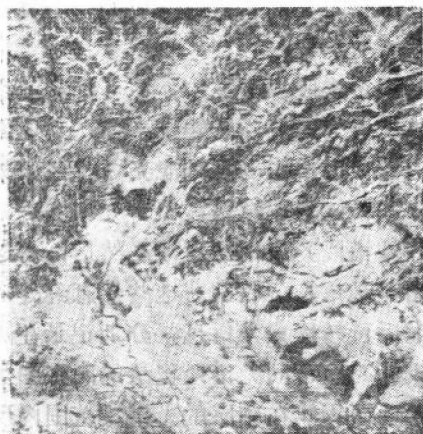


图 1c. 6 波段图象

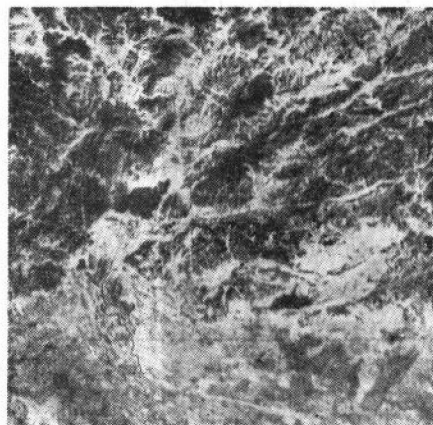


图 1d. 7 波段图象

图 1. 地球资源卫星拍摄的北京至唐山一带的四个波谱段图象。图象中部黑块是密云水库，左下方黑色方块为北京城。

地质体反射星载多光谱扫描仪所规定的四个波谱段的太阳电磁波信息，在相应的波谱段图象中就构成一个特定灰级的几何图形。因此，地表上出现的呈线性展布的各种断裂都具有在四个不同光谱段上反射太阳电磁波的能力和特性。它们构成图象就成为不同深浅、纹形、形状的断裂构造的影象。由于断裂的线性分布，它所反射的太阳电磁波的能量在卫星图象上也是呈线性分布的。此外，这种能量又与断裂两侧其它组成物质反射的太阳电磁波能量存在差异，这种差异在卫星图象上表现出来的就是色调变化。两色调变化的界面往往是断裂经过的位置。所以说，地表上出现的任何较大的断裂构造，在多光谱的卫星图象上都必然会留下它自己的线性影象。这种影象在有的波谱段图象中反映强一些，而在另一波谱段图象中反映弱一些，这与各波谱段对不同地质、地貌、土质、植被等部位上的断裂反射太阳电磁波谱的响应程度有关。它是我们从卫星图象上判读断裂构造的主要判读标志。但是，在实际上，一条较大的断裂带在地表常常不可能从头到尾都处在同一地质、地貌等部位的相同条件下，因此会引起反射太阳电磁波能量的不同，使得同一条断裂的各种部位所反射的太阳电磁波的

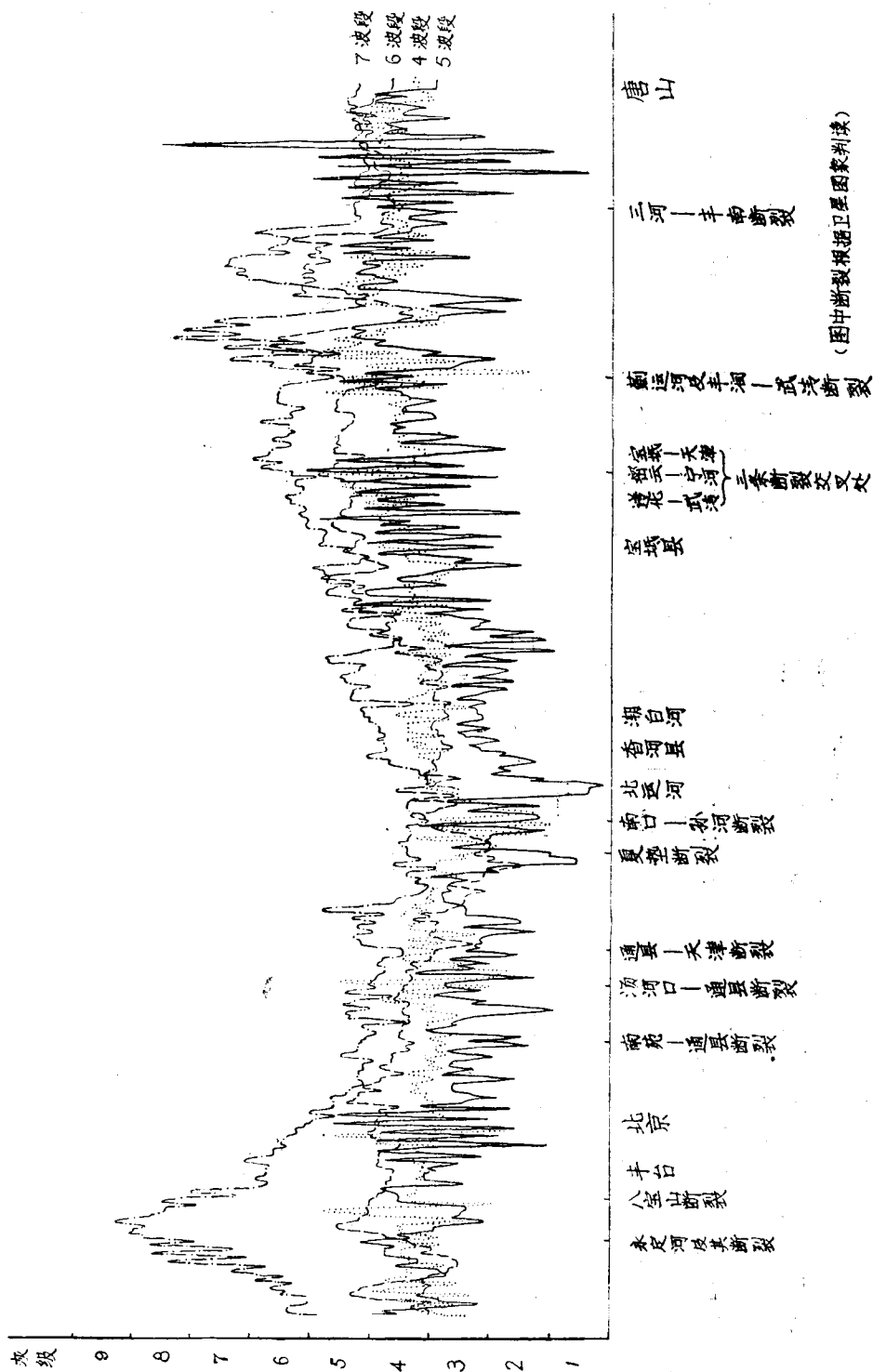


图2. 北京——唐山同一剖面在四个波谱段图象中密度变化显示情况。图中横方向表示平面位置的变化，其中断裂和地物位置为判读分析图象的结果。纵方向表示密度变化，我们把它等分为15个等级，本剖面上的地物信息在四个波谱段图象中的显示都没有超过第9级。

能量会随着地面条件的不同而变化。而这种变化总是沿着特定的线性形迹展布的。因此，尽管它是同一断裂在图象中表现为不同的密度信息，但还是从其总体的线性形迹的图形中可以将断裂识别出来。例如图 1 四个光谱段中密云水库东部两条近似于平行的巨大的东西向断裂构造就是这样反映出来的。

在卫星图象上所显示出的线性形迹的影象，除主要反映断裂构造外，还反映了其他的地物。因此，在利用这些线性形迹判读断裂时，还必须使用地质、地理、水系、地貌、第四纪、甚至于历史地震的震中分布等方面的资料作间接判读标志，进行综合分析（上述诸如地质、地貌、水系等自然现象在卫星图象上可直接判读出来），揭露地表或埋藏一定深度的断裂构造。

在卫星图象上地面景物的影象迹象除了色调深浅变化而外，还有形状大小，阴影变化等影象特征，它们在地形起伏基岩裸露地区比较明显，而在平原地区除主要反映新生代断裂外，还具有一定的“透视”能力，部分地反映埋藏于松散沉积物质下面的一些隐伏断裂构造。这是因为，较大的隐伏断裂构造的存在必然影响其两侧在沉积物质性质及其厚度、地下水位、土壤湿度、植物生态、地貌形态、水系格局等方面都有差异，或者是由于新断裂构造继承了老断裂构造而在地表表现出来，使其两侧地表存在差异，这些差异对反射太阳电磁波的信息表现为强弱差异在多谱段的卫星象片上表现出来。

根据上述基本考虑，如果我们事先通过地面光谱仪测定已知某种断裂在一定条件下反射太阳电磁波的强度数据的话，那么就可以使用对比相关的办法，用这些已知数据作为训练区训练电子计算机，并在相应地区的地球资源卫星的数据资料中取得识别这些断裂的统计判据，然后，对这些数据资料进行大规模相关处理，从而将各种断裂从数据资料中自动识别出来，并以数字图形显示出来。这种自动识别断裂构造的办法，目前还不成熟，还处在探索试验阶段。但是，它具有快速、准确、全面并且可在自动识别过程中进行各种误差校正等优点，它是一种很有前景的判读识别断裂的办法。

由于当前国内仪器条件的限制和一些基础工作做得不够，我们对北京及其邻近地区主要断裂构造的卫星图象的解析还只能是采取目视法的经验判读分析。这种判读方法还是处在卫星图象判读识别技术的初期阶段，它对卫星图象上所反映的大量地震地质信息，有的则可能由于人为的因素而没有识别或者错判。

经验表明：地球资源卫星的各种波谱段图象对山区断裂反映都很明显，而平原区的第四纪或隐伏断裂则以第 7 波谱段图象反映效果较好，其次是第 5 波谱段图象，而另外两波谱段图象反映平原区断裂较差。因为第 7 波谱段是近红外波谱段，对水体的反映比较敏感，第 5 波谱段是红谱段，对植物生态状况的反映比较敏感。这是由于平原区的第四纪和隐伏断裂的存在及其活动使地下水位、土壤含水程度沿着断裂带分布或沿着断裂两侧不等量分布及其由于这些现象影响植物生长状况不同对反射太阳电磁波的能量存在差别的原因。这些差别构成平原区第 5、第 7 波谱段卫星图象的影象色调存在反差。卫星轨道愈高，图象比例尺愈小，则愈能显示沉积物质复盖之下的深部断裂构造。

综上所述，所谓地球资源卫星象片解析断裂构造的基本原理就是：以物体的电磁波辐射为基础，利用地质体反射和发射太阳电磁波的特性和地质、地理等学科的原理来分析断裂构造在图象中的影象特征，通过各种方法将断裂构造识别出来。地表及埋藏一定深度的断裂构造及其受断裂构造控制、改造、影响而产生的一系列地质地理现象对反射太阳电磁波的能量存在着差异，而这种差异在卫星图象上构成各种色调和影象特征的图象。研究这些色调差异

和影象特征是分析断裂构造的位置、走向及力学性质、活动方式的基础。因此,地球资源卫星图象解析断裂构造的基本原理是建立在与断裂有关的地面物体反射太阳电磁波的理论之上的。

二、利用卫星象片解析断裂构造的优越性

利用地球资源卫星象片解析断裂构造具有如下优点:

(一) 影象清晰 宜于判读

美国现有地球资源卫星的星载多光谱扫描仪的光谱段选择主要考虑了农业与地质方面的要求,对不同岩类、沉积物质差异、地下水贫富、水体的展布形变等在第5、第7两波谱段反射太阳电磁波谱的信息较强。影象具有反差大、线性形迹的介面清楚等特点。图象采用每毫米150—250线高分辨力胶片记录,使影象非常清晰,很宜于对断裂构造的识别。

(二) 视域宽广 内容丰富

一张卫星图象相当于地表3万4千多平方公里。如镶嵌成一个地区的卫星影象略图,就可使人们首先看到的是一个地区总体地质面貌,得出区域规律,这就可以克服那种在地面一点一线考察的局限性,便于对总的地质单元、基本构造格局及其与邻近地区关系的综合分析。此外,每一图象由2340行扫描线,每行扫描线由3000—3450个象元点组成,四幅图象则有3000多万个象元点,而每一个象元点都代表地面某一物体对太阳电磁波的反射强度。这样大的波谱信息量极其丰富地反映了地面物体的复杂排列,对于反映呈线状排列的断裂构造及其区分是完全够用的,特别是便于采用电子、光学方法和计算机进行图象线性构造的自动识别。

(三) 形象真实 有立体感

由于卫星轨道高900多公里、星体姿态控制垂直于地表,影象作了平面位置的概略纠正等,使地面物体在图象上的反映是一个形象比较真实的近似垂直投影的图象。卫星每次飞越赤道都是当地时间上午9点42分,太阳高度适当,使各种纬度上地表由于地形起伏,如断层崖、断层三角面、压性断裂挤压破碎带、张性断裂谷地等都在影象上留下适当的阴影,给人们以立体感觉,有利于断裂的定位、性质、延伸方向、不同方向断裂之间交接关系的分析。

(四) 线性形迹反映突出

卫星图象平均地面分辨力达100米左右,完全能反映较大规模的控震断裂。由于构成图象的基本单元是呈线状排列的点和线,它对反映地面呈线状展布的断裂比较敏感。从扫描成象的图象中判读断裂具有独特的效果,非常便于线性与非线性地物的明显区别,特别是对间接地反映新生代沉积物之下的线性构造。

(五) 主要断裂突出 不受或少受地面限制

由于卫星象片标准比例尺的选定及分辨力的限制,使图象中的地面信息经过了概括分选,把许多局部的、细小的、复杂的地质构造现象,归纳成为一个整体图象,使人们用肉眼观看卫星象片就象看一幅经过概括,进行了综合取舍的构造纲要图一样,一些大的宏观地质现象突出展现,使人们很容易就能抓住所分析地区影响地震发生的主要断裂构造。如华北地区郯城——庐江断裂、紫荆关断裂、燕山山前断裂、太行山山前断裂在卫星图象中反映都非常突出。此外,由于地面诸如冰雪复盖、高山陡峻、植物茂密等人们不容易达到的地区,卫星图象也能反映一些地质现象供人们分析。

地球资源卫星采用多谱段记录地物反射太阳电磁波谱的信息，利用这种多谱段图象可采用加色或减色法进行假彩色合成处理，来增强某一断裂构造的色彩强度。

总之，地球资源卫星象片为人们进行断裂构造的分析研究提供了具有多方面优越性的有利条件，克服了以往使用地面调查、钻探、地球物探等方法寻找断裂的局限性，扩大了人们的眼界，使人们从数百公里高的宇宙空间对地球环境的信息进行研究，了解影响地震发生的断裂构造的展布及其活动特征。并且，地球资源卫星图象还为人们快速、准确、系统地进行地质构造背景的综合分析，圈定大的地质单元界线，找出活动构造带提供了一个新的手段。这样，我们既可以从一个地区的总体地质概况入手分析某一断裂所在的地质地貌部位，又可以单独地分析某一具体断裂所具有的各种特性，这无疑地对地震地质研究是一项技术革命。

但是，从地球资源卫星图象上进行断裂构造的分析也有不足之处，如对一些有利于断裂活动性分析的细微现象反映不明显；容易将断裂构造在图象中反映的线性形迹与其他线性构造如褶皱构造轴线、地层不整合线等在图象中反映的线性形迹相混淆；特别是它对于断裂的垂直活动性质及其结构面特征很少能反映。这些都是单靠图象分析所不能很好地解决的问题。

三、断裂构造的判读标志和解析方法

（一）直接判读标志

任何地表和埋藏一定深度的断裂由于它们的力学性质、活动特征和伸展形态及其相关的两侧自然景观的不同，它们反射太阳电磁波谱就存在差异，而构成卫星图象的不同色调和几何形状。所以，我们从地球资源卫星象片上识别断裂构造的依据主要是色调、形状、大小、阴影变化等，这是直接判读标志。这些直接判读标志是指各种断裂构造本身所固有的特征及其这些特征在卫星象片上直接表现出的成象规律。这些直接标志中色调、形状是最主要的，其他如大小、阴影变化等只为取得断裂的规模和立体感。我们本着色附于形上，使二者紧密结合的原则，然后由表及里，相互对比，去伪存真而逐步分析具体落实的。尽管各种断裂在卫星图象中的影象是千变万化、差异很大的，但是，它们都必然通过色调和形状这两个最基本的影象信息显示出来。无论是判读与断裂有关的稳定要素还是动态要素，掌握这两个最基本的判读标志就是掌握了从图象中分析断裂的基础。

1. 色调标志

任何地物在图象中成象都是以色调及色调反差表现出来的。它们是图象判读分析的物理基础，是区别反映不同自然目标特征的先决条件，是图象识别最直观的标志。无论使用那一种判读标志（直接的和间接的）和那一种图象识别技术手段。都必须应用图象中的色调及其反差。掌握卫星图象中各波谱段图象景物的成象色调及其不同景物成象色调的反差具有十分重要的意义。所谓断裂在卫星象片中的影象色调（也就是影象在图象中的亮度或密度）是断裂及其相关地物反射太阳电磁波能量的表现形式，而色调的反差是因各种与断裂相关的地物或外界条件的不同而引起的色调变化，而色调变化介面就是断裂所在的位置。人眼对图象色调的识别能力，一般只有3—5个等级，对于两种色调之间的反差识别能力是比较强的。为了提高对卫星图象色调的识别能力，了解图象中影象亮度与地物反射太阳电磁波能量的对应关系，在进行卫星图象的信息显示处理时，在每一波谱段卫星图象上都附加了一个1—15等

级的灰标,作为划分地物反射太阳电磁波谱特性的标准,以便判读识别图象中地物成象的色调信息。在各波谱段图象中灰标第1级,即白色部分代表在这一波谱段内反射太阳电磁波最强(即全部反射),在影象中呈现的亮度最大,为1。而灰标第15级黑色部分代表在这一波谱段内反射太阳电磁波等于零(即全部吸收),在影象中呈现的亮度最小,为0。因此,图象中的色调(亮度或密度)是随着图象中的灰标等级成线性关系,亮度愈大说明灰级愈小,亮度愈小灰级愈大,从亮度0—1,各等级之间的差值相应于最大亮度的十四分之一。在进行卫星图象的目视法判读时,可以借助于图象中灰标的等级了解各地物反射太阳电磁波谱在各波谱段图象中的基本显示特征。以断裂构造在第7波谱段图象中显示的色调为例,在山区断裂的影象色调与岩石颜色的深浅和热容量大小有关。一般来说,断裂所在地区的岩石颜色浅的,在影象中色调就浅,断裂所在地区的岩石颜色深的,在影象中色调就深。岩石热容量大的在影象中色调就深,岩石热容量小的在影象中色调就浅。位于山顶或挤压性断裂,影象色调较浅,位于谷地或张裂性断裂,影象色调较深。在平原地区的影象色调,特别是在农作物已收获的季节地表是裸露的,这时所拍摄的图象,其中色调很能反映一个地区的基本升降特征。在两种不同色调变化界面的两侧,色调浅的一侧一般来说代表相对隆起的一盘,色调深的一侧一般代表相对沉降的一盘。上述现象是指一般情况而言,事实上色调变化是一个相当复杂的、不断变化的判读标志。根据对北京及其邻近地区的自然环境的综合分析,影响本区卫星图象色调信息的主要因素是:地形起伏、地表组成物质性质及结构、地表物质含水差异、太阳高度角及太阳辐射照射地表后地表物质吸收和反射太阳辐射的能力、植被的叶绿素影响、人类活动影响等等。因此,在利用色调标志进行目视法解析断裂构造时,主要是要抓住色调的线性分布或两色调变化界面的伸展形态。抓住了这些就抓住了有可能是断裂构造引起的线性色调形态。然后利用其他一系列断裂标志进一步去论证,最终会得到可靠的结论。

2. 形状标志

卫星象片上通过色调所显示出的不同形态、大小、网纹、结构(如斑状、条带状、层状、线状、圆块状及其亮点差别等)等形态信息,是我们判读与之相应的地表物体的重要标志。这一标志,在相当大地程度上取决于地表物体所处的地貌形态和流水等外力的作用强度。因为地貌形态和流水作用等对地表物体反射太阳电磁波的特性具有很大的影响,特别是在第7波谱段上。所以在进行地物形状标志的判读时,需要认真地考虑这一地物在地貌上(如坡度、坡向、起伏大小)和水流作用(如切割密度、深度、渗水性)等自然要素。我们知道:地表各种物体都具有自己的形态特征,它所反射的太阳电磁波在卫星图象中构成的影象表现出与各种地物形态特征相适应的特殊的几何图形。断裂是一种线性构造,那么它在图象上所显示的也就是一种呈线性展布的几何图形。所以,我们在进行断裂构造的判读时,线性形迹是一个重要的标志。断裂构造在卫星图象中的线性形迹有亮度大小、线状和条带状分布、长短不一、直接和间接显示之分。这是判别断裂规模大小、裸露或埋藏深浅的依据。一般来说,呈条带状展布、延伸较长的线性形迹说明断裂的规模较大。而呈细线状展布、延伸较短的线性形迹说明断裂规模较小。线性形迹反映明显,亮度较大或两侧色调反差较大,则多为裸露于山区或者目前活动强烈的断裂。线性形迹隐约可见、两侧色调反差较小,则多为埋藏的或者活动不明显的断裂。根据线性形态和有关地质体的形态特征,可以初步分析这一断裂的力学性质。如线条呈舒缓波状、规模较大并沿走向有较宽的挤压破碎带的影象形迹可判读为压性断裂;线条呈微弱舒缓波状,兼有压性断裂的影象形迹,两侧地质体有雁列式和入字形交叉的线状地物相伴生的影象形迹可判读为压扭性断裂;线条平直,两侧地质体错

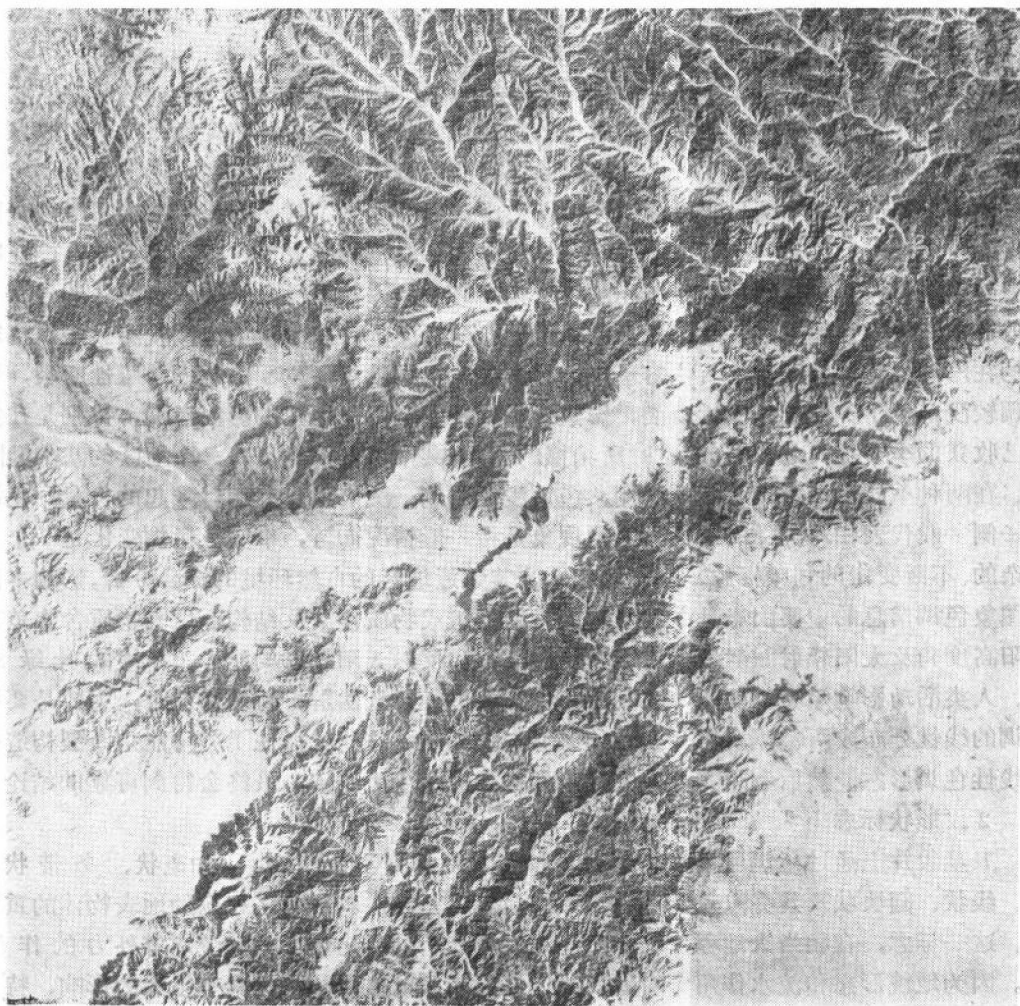


图 3 a. 北京西北部卫星图象（第七波段）

位,但是无挤压形态而伴有牵引现象的影象形迹可判读为扭性断裂;线条呈犬牙交错追踪、常有较宽的谷地沿线分布的影象形迹可判读为张性断裂;线条呈长短不一的交错,两侧地质体兼有水平张裂和错动,常与压扭性断裂伴生的影象形迹可判读为张扭性断裂。断裂的扭动方向可根据断裂两侧地物的相对位置的错动情况来决定。我们的经验表明:在山区通过线性形迹标志与其他标志相配合来判读断裂构造是不难的,而利用这一标志来分析平原区的断裂要比山区断裂的分析要困难得多。根据我们对平原区断裂判读的经验并将判读结果与一些已知地质资料、地震资料等作对比的结果认为,地球资源卫星图象,特别是第 7、第 5 波谱段图象在平原区的线性形迹是反映松散堆积物复盖下的构造现象的特征线。掌握这种构造特征线的几何形状及其亮度、结构、网纹等形态信息,再利用一些诸如地下水位、沉积物厚度、地貌、特别是水系形迹在这些特征线上或附近地带的形态特征,我们还是可以推测平原区断裂构造的存在、力学性质和活动特征的。

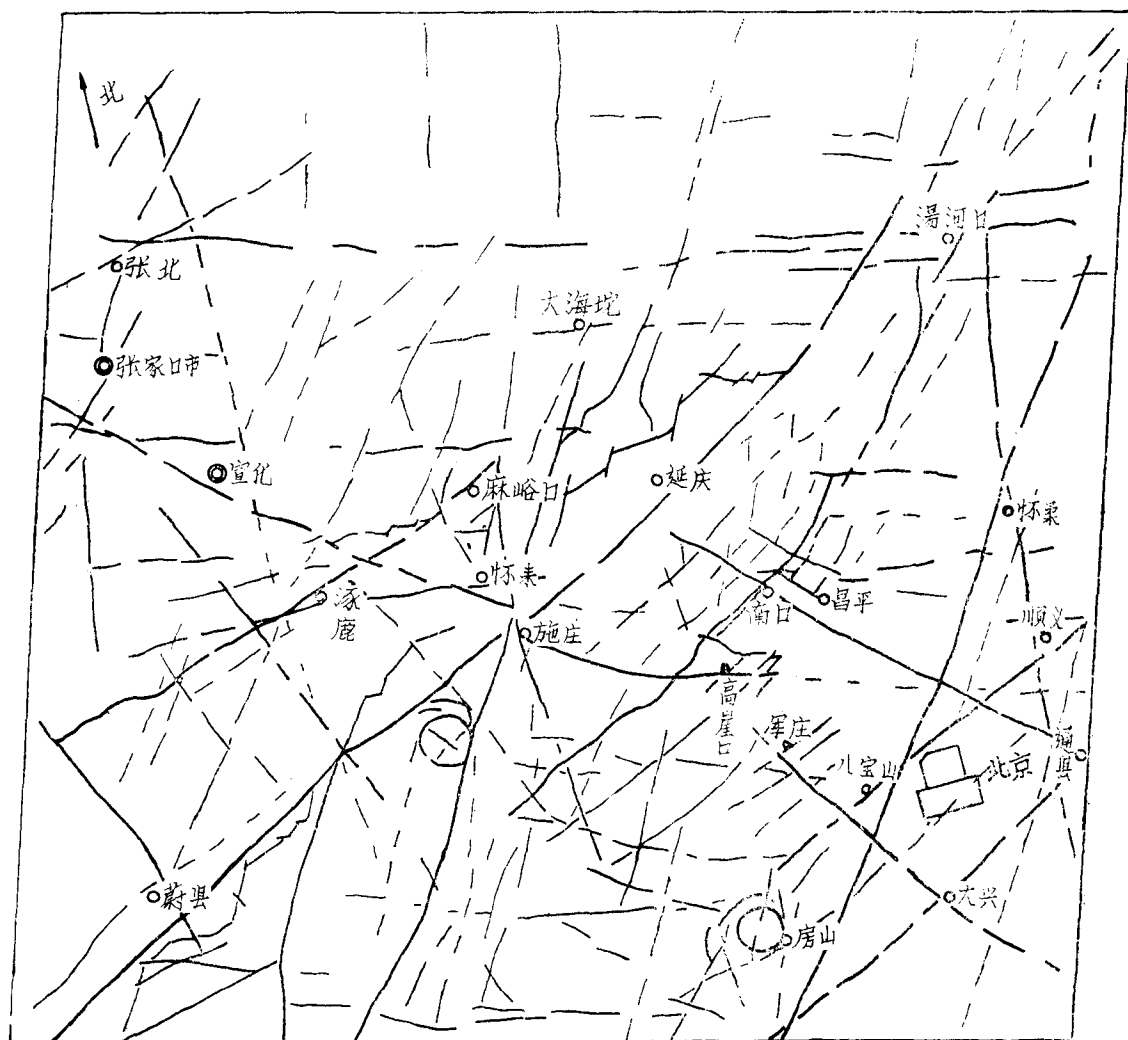


图 3 b. 北京西北部卫星图象断裂解析图

上述两种直接判读标志是判读断裂最基本的标志。以外，象大小、阴影、各影象的相对位置等也都是判读断裂的直接标志，但是它们往往要与其他标志配合使用，为使用其他标志提供更直观的依据，为分析断裂的规模、性质及所在部位提供直接的影象证据。

除上述直接判读标志外，我们还使用了一些间接判读标志来判读断裂。即：通过对卫星象片上表现出的各种地表形态分析及其它它们与断裂构造的关系，推断断裂构造的存在及其活动特征。因为断裂构造的存在，特别是近期还在活动的断裂构造必然对水系、地貌、土壤、植被等地表自然要素都有所影响，而这些受到断裂构造影响的地表现象都为卫星象片所直接反映出来，根据对这些自然现象的影象特征的分析，再反过来推断断裂构造的存在。这些水系、地貌、土壤、植被等地表自然要素，由于它们受到断裂及其活动的影响而出现异常，这就成了我们判读断裂的间接标志。

(二) 间接判读标志

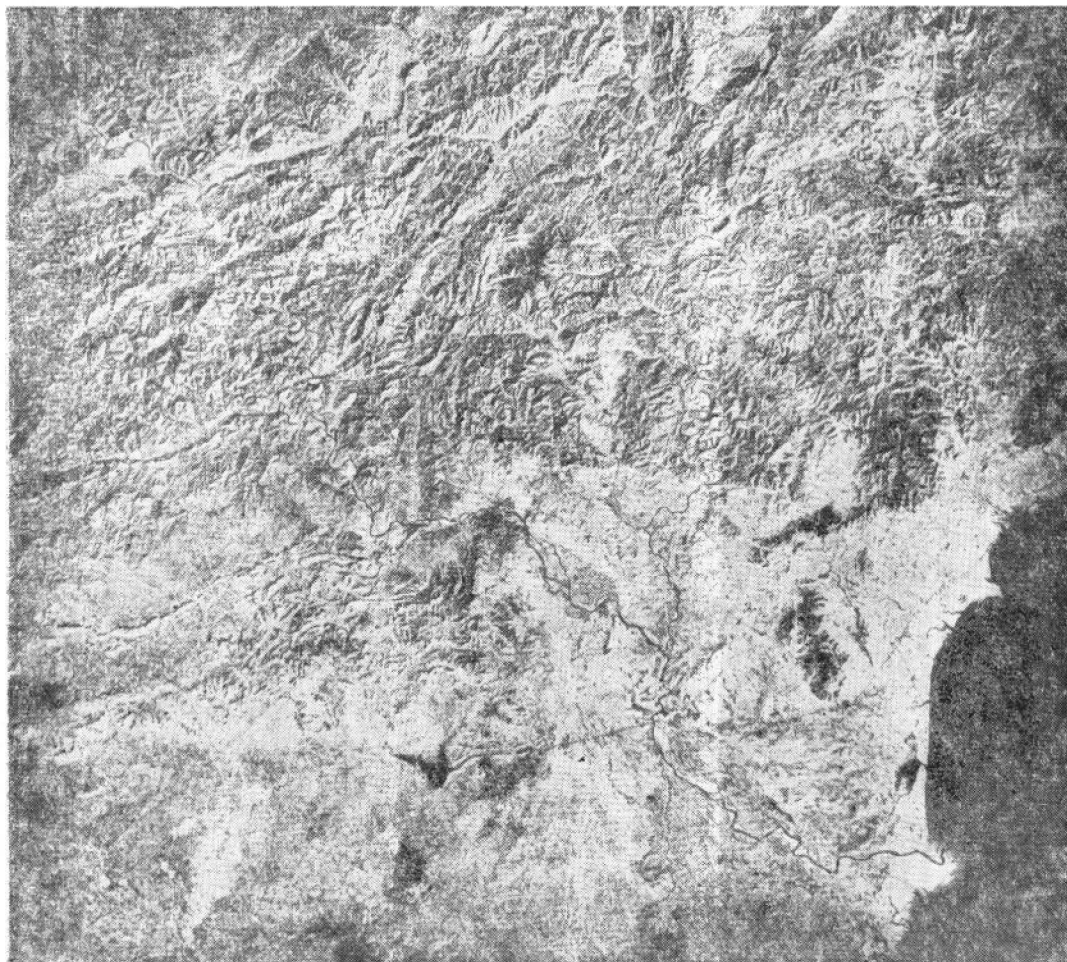


图 4 a. 唐山至承德一带卫星图象（第七波段）

这些直接和间接的判读断裂的标志，我们把它们统称为卫星图象的断裂信息。根据前一段我们会战工作的情况来看，从卫星图象上解析北京及其邻近地区的主要断裂构造，主要有如下断裂信息：

1. 地层和岩体被错断

地层和岩体的明显被错断现象是断裂存在及其性质分析的依据。在卫星图象中要把地层区分得很细是困难的。但是，各个大的地层单元由于它的物质结构及其抗风化、抗溶蚀能力不同，在卫星图象上会构成各自不同的纹形结构、色调。而且，在两个大的地层分界线上在卫星图象上以线状展布的几何图形显示出来。特别是在假彩色合成卫星图象中不同的大的地层呈现不同的色彩。通过划分这些大的地层单元来解析断裂，主要是看它们是否存在错位和突然中断现象。凡是在卫星图象中判读出同一地层被错断或两地层界线被错断的现象都可以作为断裂构造的存在来解析。在北京及其邻近地区的卫星图象中常常可以见到一些影象极为

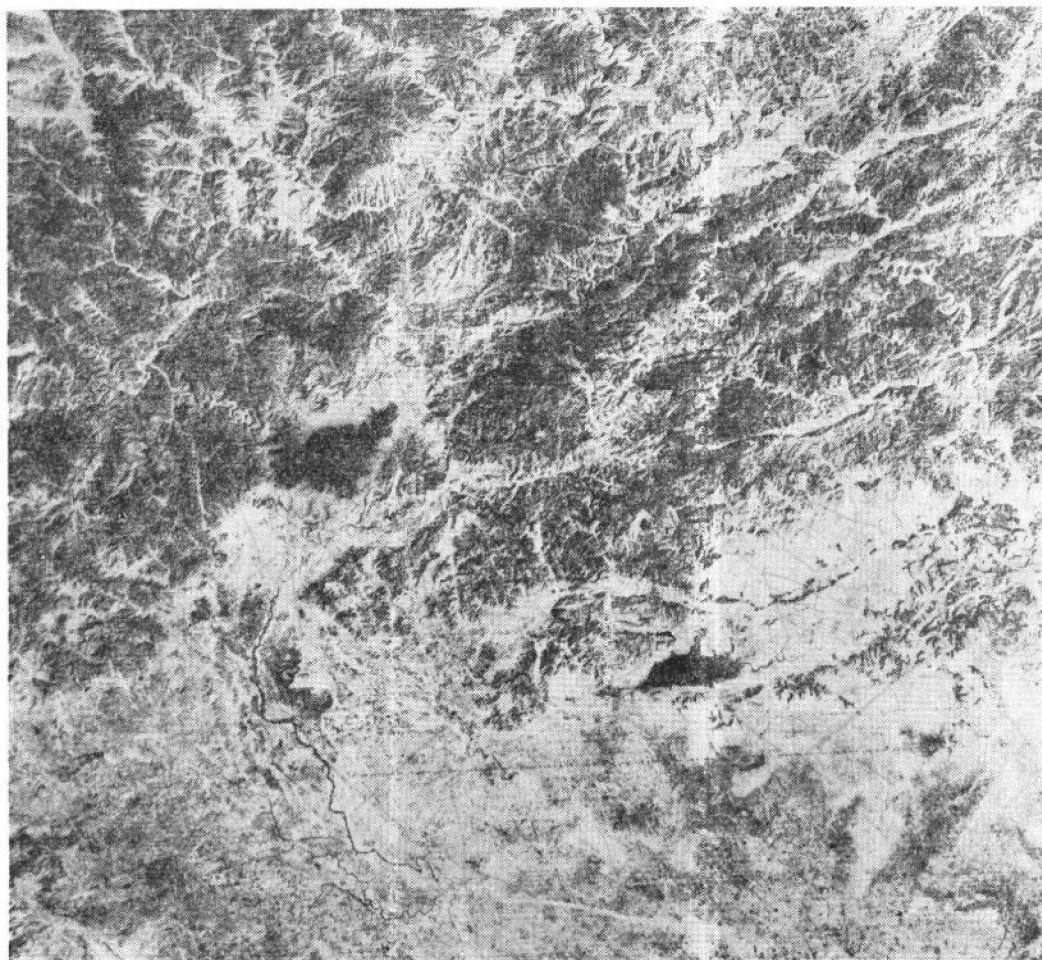


图 5 a. 北京至唐山一带卫星图象（第七波段）

分重要的制约卫星图象影象形态的自然因素，也是一个相对稳定的要素。它的规模、形态、走向通过不同的色调、形状、大小甚至于阴影变化明显地反映在卫星图象上，在很大程度上决定了整个卫星图象的基本结构特征。特别是在一个较大地貌形态的生成和发展过程中，地壳的构造运动往往是起着决定性的作用的。所以，在卫星图象上进行断裂构造的判读，必须很好地应用图象上的地貌信息。我们不仅要能判读出断裂本身的一些地质构造现象，而且还要判读分析出因受断裂及其活动所控制的大的构造地貌形态在时间和空间上的差异。地球资源卫星图象是详细地记录了这种差异的。如：我们可以从卫星图象上看到基本地貌格局的总体展布线；不同构造单元上的大的地貌单元（象山地、丘陵、夷平面、盆地、平原等）呈直线或折线展布的边界轮廓线；地貌或构造单元内部被展布呈线状的负向地貌（如断崖、断谷或破碎带）的分割线；地貌整体形态的错位线；新老地貌形态（如老年、壮年、青年山地等）的交接线等等。这些表现为线性形迹的图形，都可以作为判读断裂的依据之一。而发育在断

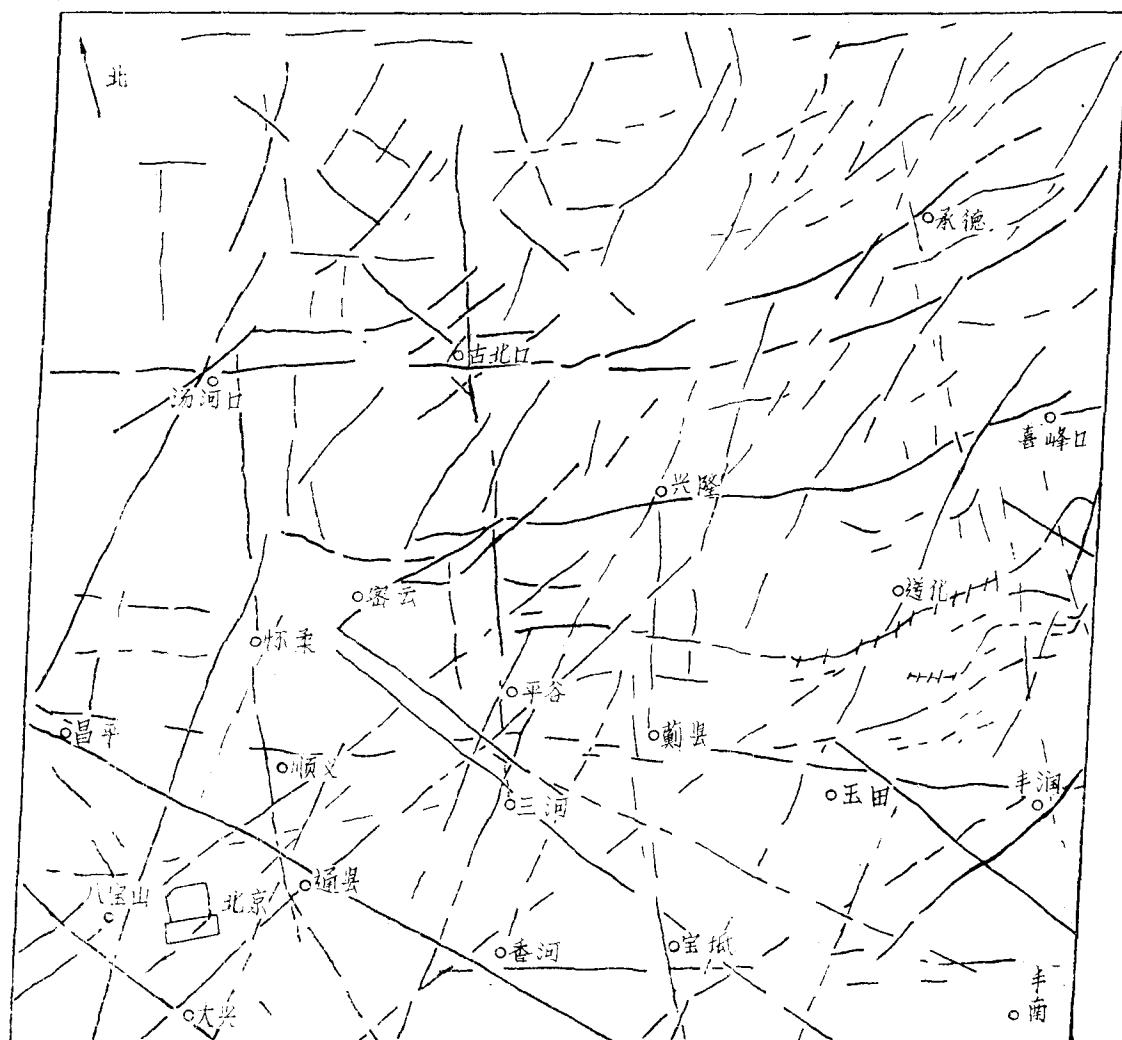


图 5b. 北京至唐山一带卫星图象断裂解析图

裂构造上的地貌形态是在卫星图象上判读断裂的最直观要素，如断层崖、断层三角面及沿山麓地带分布的洪积扇裙等。上述地貌形态在卫星图象上除了记录它们本身的形态特征外，由于太阳高度角的影响，在这些地带的影像中的背阳面还投落了一条呈线状展布的阴影，这种阴影色调深、平直或舒缓波状展布、首尾相连是判读断裂的又一依据。在北京及其邻近地区，新构造运动十分活跃，升降运动规模很大，地壳被众多的断裂分割成很多的地块、盆地、谷地等。这些地块、盆地、谷地因为断裂的活动而发生了明显的错动，它们的交界线都是判读断裂的依据。所以说，断裂的地貌形态及其差异的信息，通常是由于断裂的新活动而使地貌形态出现区域性差异和特征的线性形态结构表现出来的。图 3、图 4、图 5 卫星图象中很多断裂就是依据这一断裂信息判读的。如图 4 中的几条近东西向断裂，它们控制着从山区到平原的地形起伏，使其从北向南呈梯级下降，在地貌形态上表现出较大的差异。其中喜峰口——青龙以北为 1300 米—2000 米高山，喜峰口——青龙以南，遵化——迁西——迁安以北为

1000米左右的山地和300米—600米的燕山山前带；遵化——迁西——迁安以南，宝坻——唐山以北为100米—300米的山前孤丘和盆地；宝坻——唐山以南为平原区（见图4）。

3. 水系格局及其演变

水系是反映断裂活动的一个最敏感的因素。一般说来，一条较大的河流及其分支系统在地球资源卫星图象（特别是第7波段图象）中不仅记录了它的基本几何形状，而且还记录了一些在地面上不容易发现的历史演变过程的形迹。由于受到断裂活动的控制，迫使河流遵循着一定的规律演变，这就为我们判读断裂提供了基础。地壳的微小变化都会在水系的发育中反映出来。一条河流的总体摆动方向、切割密度和切割深度的差异反映了断裂两盘升降运动的情况，河流总是力求向断裂的下降盘的一方摆动，而河流下切较深的地方则反映了它发育在断裂上升盘的一方。此外，在河道上还可能出现一些特征点，象汇流点、改流点、决口点、分流点、河道展宽点和变窄点、曲流段和直流段的起止点等都可以作为判读断裂是否存在并有活动的依据。河流的汇流点常常出现在强烈下沉地带或几组断裂交汇地带；分流点上游方向常指向断裂的上升盘；河道展宽点下游方向常指向断裂的下降盘；河道变窄点下游方向常指向断裂的上升盘；曲流段出现在断裂下降盘。河流末端的堆积体，如洪积扇、三角洲及河口溺谷的形态也可作为断裂两盘升降运动的依据。除上述河流出现的一些特征点等自然现象而外，还可根据水系格局的总体展布线、水系的整体错位、河流的流向异常、某一河段受控于一直线方向、河流呈折线或肘状拐弯、格状展布等现象来判读断裂及其活动特征和扭动方向。如：一条直线展布的河流，如果某一段出现折线和肘状拐弯，那么，河流折向（或拐向）的方向就是指向断裂另一盘扭动的方向。上述水系格局及其演变的信息作为在卫星图象中判读断裂的依据在平原地区应用较多，它必须和其他判读断裂的标志，如第四纪地层等结合起来使用，判读的断裂可靠程度才大。如图5左下方隐伏在北京平原通县、昌平、顺义、怀柔一带沉积物下面的一些断裂构造就是利用了上述信息作为一种标志来判读的。在北京平原地区还有一个特别有意思的水系变迁的现象：永定河出山口，在历史时期，其分流点分别出现在石景山附近、长辛店与金门闸之间、辛庄附近三个地方，分流点不断地移向永定河的下游方向。而相反地，潮白河的汇流点，从历史时期以来，分别在通县附近、顺义牛栏山附近、密云三个地方出现，汇流点不断地向潮白河的上游方向移动。这一特殊的水系变迁过程是否反映了北京平原下面为众多的断裂所围限，而与北京平原下所谓的北京凹陷自第四纪以来出现微弱的隆起有关还待研究（见图5）。

4. 泉水出露及湖、海岸线的展布

呈线状分布的泉水出露群常常是断裂存在并有活动的反映。在卫星图象上判读泉水出露群是困难的，因此，主要是分析是否有沿某一直线分布的断层河发育。因为断层河的水量常常是泉水出露群补给的。如图3中涿鹿——怀来沿近东西向断裂、图4中卢龙——滦县沿北北东向断裂都有泉水出露群，并且发育有断层河，这些断层河水量丰富，呈直线呈布，两侧沉积物质在图象中表现为较深的色调。此外，在平原地区的卫星图象中可以根据色调的变深或深浅突变来判读地下水在某一地段上呈线状排列的突然富集或贫化。这种现象是断裂可能存在的依据。因为地下水突然富集与贫化通常是受到断裂构造的控制的。如图5中通过丰润、顺义的北东向断裂和位于薊县——宝坻近南北向断裂东侧在卫星图象（第7波段）的影象中显示出线状延伸的深色调，地下水沿断裂方向出现一个富集区段。湖沼群的总体展布方向、湖海岸呈折线或直线展布的轮廓线也可作为判读断裂的依据之一，因为这种特殊的直线形态反映了断裂存在的可能。如图5中间部分的密云水库虽是人为因素造成的结果，但它显