

地质科技资料选编（四十四）

国外遥感地质资料选编

（一）

中国地质科学院情报所编

一九七八年三月

几点说明

一、遥感是现代空间技术的重要组成部份。60年代以来,各种遥感方法的传感器系统及其信息(或图象)的增强处理、解译技术,逐步从军用和其它天体遥感领域引用到气象、地质地理、农林等民用部门。遥感地质就是在原有的机载摄影即航空摄影地质方法基础上扩大发展起来的。它包括传感器系统和信息图象(数据)的处理、地质用增强解译技术、地质体电磁特性的实况测量和理论研究以及遥感地质与其它地质工作方法(地面地质、物化探等)的综合运用等四个方面。由于遥感技术涉及多种现代技术,因此,推广和发展遥感地质不仅有助于区域地质调查方法组合的变革,而且对构造学、矿床学、岩石和矿物学等传统学科的理论研究或工作手段,也有一定影响。因此,我们拟通过“选编”的形式初步介绍一些方法性资料,供广大基层同志参考。

二、国外遥感地质资料选编(一)共选择23篇材料,仅反映国外目前遥感地质方法的部份状况。在译编工作中,得到冶金部天津地质调查所、中国科学院地质所、中国地质科学院地矿所、沈阳地质矿产研究所等有关同志的支持协作,特致谢意。由于我们水平所限,译编中不免有错误,请读者批评指正。

“国外遥感地质资料选编”(二)的部份内容录于书后,欢迎读者对(一)、(二)期及今后各期内容提出意见和建议。

中国地质科学院情报所方法室遥感地质组

1978.3

目 录

1. 图象解译的基本原理····· (1)
2. 一种地下勘查技术—遥感地质的断裂轨线分析方法 附讨论与读者来稿····· (7)
3. 陆地卫星图象在墨西哥索诺拉地区矿产勘查上的运用····· (24)
4. 基底地区矿产勘查时陆地卫星图象的基底构造分析····· (30)
5. 利用航天照片解决区域成矿问题····· (39)
6. 应用陆地卫星₍₁₎数据数字处理方法勘查巴基斯坦斑岩铜矿床····· (46)
7. 莱索托玄武岩区金伯利岩侵入体断裂控制的分析——摄影地质
断裂轨线的研究····· (54)
8. 普查新矿床的一种新技术····· (68)
9. 线性体方位角异常度分析是一种找矿的辅助手段····· (78)
10. 陆地卫星图象在犹它州金属矿床勘查中的应用····· (81)
11. 航天照片的岩性判读特征及对用于古构造分析和地质填图的某些看法····· (87)
12. 多波段照片岩石解译的评价——反射率测量及作用····· (92)
13. 可见光至近红外区的多波段扫描图象热液蚀变与非蚀变岩类的判读····· (110)
- ✓ 14. 借电子计算机在图件、机载和量载照片上追索构造要素····· (121)
15. 图象分析中的格子线光栅衍射法——科罗拉多前山带陆地卫星
图象构造的增强····· (125)
16. 光学衍射花样取样及其在地质图象解译上的运用····· (131)
17. 断裂轨线常规分析的简单光学衍射方法····· (136)
- ✓ 18. 陆地卫星₍₁₎图象上阿拉斯加隐伏构造的判读····· (141)
19. 在图象线性构造分析中解译者的变差及照明角度影响的程度····· (147)
20. 利用陆地卫星数字转换数据圈定有色金属天然“毒害区”····· (156)
21. 田纳西州中部普查地下水的红外技术····· (164)
22. 利用航空摄影测量研究浅海含油构造····· (177)
23. 供教学科研工作作用的一种简单加色观察器····· (180)

图象解译的基本原理

绪 言

本文的目的是讨论从遥感图象中提取有用资料的人工解译技术。所以，我们将对熟练的分析者进行图象解译工作所运用的方法以及这些方法所依据的概念提出一些认识。附稿和幻灯片图片还将概略地介绍诸如术语的定义、影响图象解译程度的因素、图象解译过程以及图象解译技术这样一些专门课题。

基 本 原 理

1. 航空图象是景观模式的一种景象。
2. 这种模式是由反映该景观的物理、生物和人文组分的一些事、物要素和标志所组成的。
3. 相似环境中的类似条件反映类似的模式，不同的条件反映不同的模式。
4. 所得资料的类型和数量与分析者的知识、经验、熟练程度、兴趣和所使用方法，以及对限制因素的了解程度成正比关系。

图象解译上没有什么法术。为了提高解译图象的技术，必须对图象形成过程、图象模式的要素，地球的外貌、作用和现象有了解，并且要有学习的劲头。图象只不过是一个工具，供解译者从中提取出信息。从遥感图象中提取信息的熟练程度是随经验而提高的，也就是说在实践中学习。

支 配 因 素

下列因素直接关系到对图象的认识和解译：

- 1, 底片—滤光片组合或其它检测器的灵敏性；
 - 2, 曝光和洗印处理；
 - 3, 每年外业的季节；
 - 4, 每天外业的时间；
 - 5, 天空的效应；
 - 6, 图象的比例尺；
 - 7, 摄像系统的分辨性能；
 - 8, 图象的运动；
 - 9, 立体视差；
 - 10, 解译者的视觉和精神的敏锐性；
 - 11, 解译设备和技术；
 - 12, 训练辅导。
- 要注意，因素1到9主要影响图象的质量，而10、11和12则影响图象信息的提取。显然，这些因素的有些组合比其他组合可能更好地使解译者完成解译任务。所以，本文的一个主要目的是，尽我们最大的能力介绍借助遥感方法解决特定问题时所必须的某种最佳的因素组合。

解 译 过 程

图象解译分为图象特征形成条件的确定、圈出、鉴定以及对其意义的评价等几个过程。使解译者能发现、圈出、鉴定和评价出目标的图象特征有：特征要素的形状、大小、色调、颜色、结构、阴影、模式、视差、位置和特征的组合。

图 象 要 素

色调或颜色 照片的色调就是影象的相对黑、白色，它是地物反射光线程度的表现。色调是黑白照片解译的基本要素。虽然它要结合其他判读要素一起使用，但却是对特征要素鉴定解译的主要依据。照片的色调受许多因素影响，一般普通物体的色调常常是与我们在自然界中对这些物体的认识不一致的。随着太阳角和将光线反射入相机镜头的水波面数量的不同，水体可能显示出由白到黑的各种色调。沥青路因为它的光滑面可能在色调上十分浅，小路在好天气时可能是白色，下雨时可能是暗色。一种光滑、圆形而色采模糊的金属地物（像油车罐）反射的光线可能多到底片的灰阶无法记录下来而使细节都失掉了。

在照片解译者认识到支配照片色调的这些因素时，他就会要把解译地物的色调作为鉴定地物性质或成份的重要线索。土壤学家使用色调的变化对土壤进行分类；林业学者则用它区分松柏与硬木树；地质学家用它填绘岩类和构造，或矿点。用单张照片时，地物的形态必须用单筒立体镜观察；用立体象对时，如果待测地物无高度或高度不明显，色调就特别重要。

解译者利用光的反射率的变化，可通过采用能最好地记录待测地物的色调反差的底片和滤光片，得到所需要的照片。对于用作多种解译目的的照片来说，全色底片配上滤兰色光的滤光片，可以可靠的减少雾的干扰。联邦政府和其他大的单位进行多目的摄影时通常是采用这种组合方法的。正如下面章节中所指出的那样，如果采用其他的底片—滤光片组合，也能更有效地进行许多专门性的解译工作。红外或假色红外照片记录植物、土壤和水系条件，对生态学家和农学家有特殊意义。

颜色 是地物特征反射特定波长的光线时所具有的颜色。例如，植物呈绿色，因为植物的特性主要反射绿色光，它反射绿色光的百分数比反射蓝色和红色光要大得多。色采、色值和色品是构成颜色的三个变量。人的肉眼分辨颜色色采的能力比区分灰色色调的能力要高1000倍。所以利用地物的颜色就能识别和解译出较为大量的细节。在具有大量的其天然颜色很重要的特征的地区解译岩石、土壤和植物时，解译工作者就将会发现色采摄影能为他提供大量准确的信息。第二次大战期间发展起来的假色红外底片，很适用于对植物情况、植被分布、土壤温度状况、水系分布等专门研究工作。

结构 航空照片的结构是由单个判读起来很小的各类地物群的色调或颜色的变化频率所产生。当然，产生这种结构的地物的大小是随照片比例尺的不同而变化的。在大比例尺照片上，树能单株见到，它的支叉和叶子不能分别加以识别，但是这些东西却构成了树顶结构。在小比例尺照片上，这种树顶对整个树林结构又很有影响。在给定比例尺的照片上，地物群的结

构（例如一定种属的树林）是可以加以区别的，这种区别足以为该地物的判读提供可靠的线索。

在使用轨道高度的图象时，结构是一个重要的解译要素。例如，只能通过它的结构来推断一个地区的相对侵蚀切割作用，因为不能圈出各个小的水道。水系模式是地表物质和基岩类型的重要标志。在其它情况下，有些特征在颜色上可能是相似的，但在结构上则会有相当大的差别（例如，火山区与荒漠地就是这样）。

模式 地学研究者总是强调地物的模式和空间排列分布，作为研究这些地物成因或关系的重要线索。露头模式是解译地质构造、岩性和土壤结构的线索。植物和它们生长的环境之间不断变化着的关系形成了特征植物组合模式。

早先只有通过费力的地面观察才能加以研究的区域模式，在航空照片和卫星照片上可以随时清晰地观察出来。航空照片能摄取许多小但很有意义的模式（例如断裂轨线和断裂“晕圈”），这些模式可能被地面观测者所漏掉或推断错误。通过图象解译方法，可以看到和发掘出模式的无数变异。经过培训的观测人员评价遥感图象的意义，主要是通过他对地表各种模式的掌握了解。

有些模式主要是人文上的，其它一些模式则主要是自然的。可是，世界上只有一小部分地区没有受到人的影响，所以图象上见到的大多数模式是自然和人文因素相互影响形成的。即使不是经常的事，摄影地质学家也应该注意考虑到人的活动。

人文特征在航空照片上表现是明显的，因为它们由直线或其它规则的结构所构成。大部分人的活动在地球上留下了痕迹，即使活动已中止它仍然能保留很长的时期。居民点、采矿和耕作区的模式经过几千年后，从空中还可观察出来。这种观察或者是直接的、或者是通过植被和侵蚀作用模式的变化进行的，所以照片解译也成了一种考古学的重要技术。

农业耕作、断裂的线性排列、水系网和植物构成的模式，都是图象解译中重要的因素。如上所述，卫星图象上错综复杂的模式可能反映在结构上有差别。在许多情况下，图象要素有关的区域模式是发现局部模式的线索。

形状 垂直摄影的地物形状有时极难解译。一个地物的平面影象或垂直顶视影象与平常的侧摄或倾斜摄影影象是如此不同，以至于不熟练的解译者都不能判读出正在建设的建筑物的图象。要有像掌握和运用另一种语言那样掌握和运用这种平面影象。由于平面影象是地物构造、成份和关系变化的重要的、有时更是结论性的标志，所以它成为一种有力的解译手段。对于熟悉工业的解译者来说，从居高临下垂直拍摄的照片上了解工厂的生产能力比他到工厂跟前实地了解的情况要多得多。森林的垂直影象反映出它的经济和游览的价值。从地形的垂直影象可看出构造和均夷作用的特殊影响。对于坐汽车的人来说，交叉路口就感到迷惑，他必须根据记忆和细心注意路标才能找到他的去路，可是对于空中观察者来说，交叉路在形状上和在与全镜的关系上却是十分清楚的。

照片解译者的大部份训练工作，目的是在于重温他对环境的认识，所以他能很容易地判读出上方所见到的地物。这种工作很大程度上是借助于立体象对的景深印象。

在航空照片立体象对中，观察者是从三度空间上和与附近不同地物的区别上观测出地物的，这就是说，他有视差角。观察自然地物时，差视角是由观察者眼睛的瞳孔之间（或眼基线）的距离所决定的。在航空照片上，两次曝光之间的距离（空中基线）与眼基线是一致的，

空中基线就是摄影基线，比眼基线大得多。所以立体象对景深印象便被放大了。照片解译者要学会掌握这种景深放大。例如，假若他试图判断地面是否能行驶机动车时，他就不会被照片上类似沟的小深地所迷惑。熟练的解译者能够十不离九地估计景深而判读出最主要的地物。初学者应该通过在照片上仔细测量核对他的目视估计能力，或者通过对他在照片上所研究的地物反复进行地面观察来提高他的这种能力。如果要求知道精确的景象高度或垂直角的话，通过测量和简单计算、或者借助简单的仪器就能获得。因为立体象对具有垂直放大作用，所以解译者能测量出相对于航高来其高度极小的树、建筑物或其他地物，这些地物高度由直接的航空目测是无法估计，或目测不到的。

重迭的卫星图象的垂直放大不明显，因为视差角比较低。没有重迭的卫星图象不能从三维空间观测，地物特征形状只是在平面图象上反映出来。然而，形状仍然是一种主要的解译因素，在判定大的地形特征（例如，熔岩区、火山锥、冲积扇、砂丘、滨外滩、海湾、湖泊、山脉等等）上十分有用。从卫星图象上小的地形特征通过图象的区域分布能被推断出来。

对于解译者来说，地物特征形状的价值是，它能对不知所类型的地物进行分类而达到明确的判读，并有助于理解地物的意义和作用。

大小 地物物体的大小对于物体判读来说是一个最有用的线索。通过在航空照片上测量一个未知地物，解译者就能消除认为它可能是那些种类的考虑。例如，除了大小外，灌溉渠和防坦克壕极其相似，所以简单测量就能作出充分的判别。经常会迁到未知的地物体要对它进行测量。在已有不同比例尺的照片的工作中，解译者应对待测地物体进行频繁的测量。

解译者通过注意地物的大小就能避免判读中的差错。即使他仔细地考虑了影象形状、阴影、色调、结构和模式这样一些线索，但还会判读错误的。

用卫星照片工作的解译者在评价地物大小的意义时总是感到比例尺小。因为轨道高度的全镜遥感，大型的特征在图象上只占很小一块。

阴影 阴影是一种人所熟悉的现象，在日常生活中我们常常通过观察物体所投下的影子来鉴别物体和身体的大小和形状。航空照片上的阴影有时帮助解译者看到重要地物的侧面表现。如果地物特别小，或者与其周围环境缺少色调反差，那么阴影特别有用。在这种情况下，阴影清楚的色调递变能使解译者判定出那些判读起来有正犹予的地物。

上头有阴影的地物，是它反射到航摄影的光线就少到在照片上只依稀可见或全然见不到的结果。如果解译者不仅要找特定种类的地物，而且是要观测整个景观的话，为了见到地面上尽可能多的地物，那么他必须优先考虑阴影在判读上的某些优点。通用的航空摄影，通常是在中午2点以前起飞进行外业的，这样虽有阴影，但很小。

阴影对照片解译者对景深的认识有重要影响。在推断卫星的平面图象的景深时，“景深效果”是特别重要的。

大多数照片解译工作都是用垂直照片，同时，这种垂直照片使地表上的地物表现为不是通常的样子。倾斜摄影照片上地表是透视影象，我们较为习惯，但有一些特殊的测量问题。

照片解译者用垂直照片工作就必须修正他对外界的观念，需要新的观察习惯。而且，在大多数航空照片上地物是以十分小的比例尺成象的。因为是垂直影象和比例尺小，外貌的某些要素在航空照片上比在地面所观察到的要重要得多。解译者要学会运用摄影图象的上述特征。

时变现象 照片解译者极常忽略地表的现象的时间变化。对比一定时间的图象空间能为某些用途提供相当多的新信息。采用作物生长周期中不同阶段的图象，能使农业分析更完整。冬小麦的生长期和其他作物不同。牧场的生长阶段不同于其他植物。各种作物成熟的时间也有许多变化。

时变的其它用途有：预测暴风雨、海岸侵蚀作用和沉积作用、地表水的分布、雪盖等等。为了充分利用时变的好处、图象分析者要注意这些时变现象。

解 译 技 术

某些图象解译技术应用得当，能够提高提取图象有用信息的数量和质量。从使用上看，用来提高解译技术的方法有：1. 方法程序的安排；2. 有充分的研究技术；3. 对控制成象的因素的了解；4. 解译者的基础和训练；5. “证据综合”的概念；6. “讨论系统”；7. 对比地区已有的信息；8. 参考资料；9. 简单和精密的仪器；10. 必要的野外资料。

一种解译辅助手段—采色合成图象

多波段图象通常是用专门的多波段摄影机通过三层乳胶的采色摄影胶片分别感光获得的，或者是用类似于陆地卫星(1)上那样的多波段扫描器获得的。已有各种技术可以将多波段图象合成为“采色合成图象”，简化了这种复合图象的解译工作。

光学投影制作的采色合成图象

有一种可用于制作加色合成图象的简单方法，可概括成如下做法：1. 用几个波段同时摄影(扫描)一个地区的黑白图象；2. 由这些图象的每一种图象复制出正的透光片；3. 用一个多光路摄影仪系统或丝调观察器，通过光学方法把同一地区的每一张不同波段的图象同时摄影到半透明的或反光屏幕上合成多波段合成图象；4. 通过在每个投影图象光路上插入不同的采色滤光片，得到一张假色复合图象。这样，人们为了得到多波段图象，可以在电磁波谱的可见光和近红外区内选取任何一组波段以获得多波段图象，再在“采色合成”图象上进行解译。为了增强特定的关系，可简单改变投影仪的滤光片，就能变换图象的颜色，这样，只能区分黑白多波段图象几百个灰度的肉眼，便扩大到能区分采色合成图象几百万种不同色采亮度和饱和度的颜色(至少理论上如此)。而且，人们能容易地随时翻印任何一种普通的采色或假红外底片，取得合适的多波段图象，投影仪滤光片又是现成的(例如，标准的宽波段摄影是用兰、红、红外区及三种主要的宽通道吸收的采色滤光片)。

用摄影方法制作采色合成图象

制作采色合成图象的摄影方法是基于采色片三层乳胶的光敏性以及一个特征在多波段黑白图象的几个不同波段内出现的不同密度。正如图一2所示，几个不同波段的黑白图象，都复印到同一张采色底片上，并且都通过不同的采色滤光片(实际上是多次曝光)。随着每一个滤光片得到每一个波段的图象，复印不同颜色的图象，从而可以按需要增强不同的特征。用这种技术时可以不需用摄影的三个波段来获得合成图象。虽然可以合成三个、四个，或者任何数目的不同波段，但随着波段增加，结果可能难以预料。

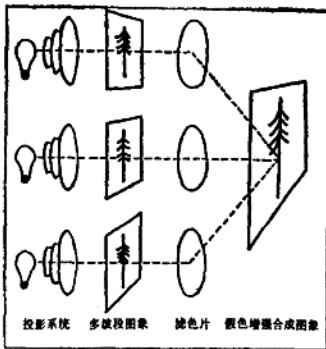


图 1 这里表示制作加色图象增强的标准程序。系统的基本组成：投影系统、多波段图象、采色滤光片和合成图象。这个设备对解译者非常有用，因为在几个黑白多波段图象合成为一张采色合成图象上可以同时观察，并增强了地物间细小的色调差别。

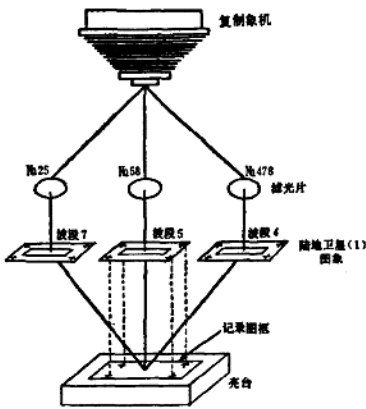


图 2 这个示意图表示了产生采色合成图象的简单照相技术，使用的是一个装有采色底片的复印相机，采色滤光片、多波段图象、注记图框和亮台。注意，所有三个波段应分别都重合在复印象框上。

解 译 原 理 要 点

图象解译者在下列几方面必须有足够的知识：1. 图象怎样够成的；2. 图象要素说明什么；3. 在图象上出现的地表基本作用和现象。解译者从图象上能提取的信息量与他的经验、熟练程度和兴趣有关。

图象分析的效率取决于若干因素。解决要研究问题的系统分析方法是首要的因素。一般说，系统分析涉及对图象经验性解译证据的综合。这个方法有下列步骤：

1. 区域分析
 - a. 地理情况；
 - b. 地文情况
 - c. 地质学
 - d. 气候
2. 局部分析
 - a. 地形
 - b. 水系模式
 - c. 侵蚀作用
 - d. 图象模式
 - e. 植被
 - f. 光谱特征
3. 要搜集的资料
 - a. 报告
 - b. 图件
 - c. 野外数据
4. 解译成果的归纳；
5. 关键地区野外检查

摘译自“Workshop on Remote sensing & ERTS image Interpretation”

V. III 1974, 作者：D.T.Lauer 向仁杰译、杨廷槐校

一种地下勘查技术——摄影地质的断裂轨线**分析

许多使用过航空照片的地质学家已发现过一些图象特征反映了深部岩层的隐伏古老断层，即使这些断层自上复岩石和表层复盖物沉积以后就没有什么活动。已报道过冰碛土壤区、冲积层区、黄土区、荒漠区、沼泽区及近代河成沉积区的这样一些例子。利用航空照片解释方法也可以透过上复的玄武岩盖层看到下面的断层活动。作者也曾经圈出过红土层下几百英尺厚的褶皱平缓的石炭系沉积岩下和几千英尺厚的水平产状的卡罗岩系下的古老断层活动。上述这些图象特征，通常在地表并不反映为断层或断裂，令人意外的是，发现了大量地表特征能与深部岩层很古老的断裂联系起来。这些深部断裂都是透过上部构造不整合的复盖层反映到地表，而这些复盖层又没有其它引起这种断层的力量的明显形变信息。查明这些断裂的存在，可以了解到原有应力的模式，反映是否有褶皱系统和侵入岩体的存在。

对一个有经验的摄影地质学家来说，虽然圈定和记录这些断裂存在的证据是不成问题的，但是，难题是把这种断裂与上复岩层或土壤层由其它作用力引起的类似断裂区分开。通过各别断裂或成组断裂的存在及表现，最大限度取得有关深部地质的信息，常常要借助于统计方法。在许多情况下，断裂轨线看来是提供这种信息的一种源泉，它成本低，值得进一步研究。

这里分析的限于对长度为几十米到几十公里的断裂轨线的研究，例如，在一个普通租地*内就能加以追索研究的这种断裂。诸如卫星图象上或小比例尺航空照片大镶嵌图上看到的那些大型线性体。本文概述对这类工作有用的一些方法，希望能引起进一步讨论。本文共分两部分，第一部分，主要介绍取得基本资料时航空照片解释者迂到的问题。第二部分是研究用分析和综合的方法处理这些数据。

断裂轨线的解释

莫拉德对“断裂轨线”**曾下过如下的定义：断裂轨线是“自然景观上的任何具有反映地下构造控制的明显标志的直线性或缓弯曲的线性趋势。这一术语适用于基岩出露区及掩盖区，但限于有构造控制的明显证据的情况”。这个术语在摄影地质学中是适用的，因为它包括断层和节理，断层和节理在有复盖层区航空照片上表现极其相似，然而对于断裂轨线分析来说，建议实际工作时所有的断裂都应记录下来，与莫拉德定义不符的断裂轨线可以用不同的符号，表示意义次要，以作其它研究用。研究航空照片和记录断裂轨线的方法，拉特曼和

* 相当我们的一个矿区——编者注。

** 原文：Fracture trace，指图象的线性趋势，本选编均译为断裂轨线——编注。

特雷纳已做过介绍。

表 1 列出了以前一次试验工作时对所发现的海岸地带各种成因的线性特征的分类的大致结果。在断裂轨线分析上占主要地位的断层和节理, 仅占总数的 32%。因此, 用随机选择方法, “噪音”与有用数据之比是 2 : 1。

如果统计研究要求最佳的比值, 取舍处理时熟练的解译便是主要的因素。选择中有关的一些问题(存在主观性、人工线性特征及方向上的偏畸)也会减少更有意义但却是杂散的数据, 因此, 最好用航空象片上容易观测的特征来研究透过表层沉积物反映出来的岩石断裂的表现。

表 1 航空照片直线状的自然线性要素的地质成因

成 因	总数中的比例 (%)
土壤类型界线	21
断层	21
岩性接触带	13
节理	11
山崩要素	11
层理线	9
基岩表面的冲沟和沟谷	6
冰川地形	3

断 裂 轨 线 的 表 现

航空照片上断裂轨线表现的形状很多。主要几大类是, 地形如山脊、冲沟、阶地、陡坡、山谷和坡度的线性变化; 色调的线性变化; 如深的或浅的色调线界线; 图象模式和结构上的线性变化; 不同图象模式的界线和线状间断; 植被的线性变化; 不同植被种类界线或不同植物群分布的狭窄地带; 水系线性分布; 一致不规则的弯曲河流的直线部分; 上述各类的综合表现。

不论是什么类型, 每一条线性要素都具有一定的基本特征, 而这些基本特征在航空照片上都能观察出来, 并可以归纳成这样几项: 长度、方位、位置、空间分布、频率和各组的互相关系等。在解释为下部断裂以前, 所有所观察的每一线性构造的特征都必须仔细加以研究, 因为断裂轨线与它的地质成因常常表现得没有多大关系。其中, 大比例尺航空照片上, 一组张节理在表层沉积物中可能呈明显的暗色线条, 而一条两侧受到区域挤压应力的大的剪切断层却表现为一条不明显的微弱轨线。

在海岸地带所研究的 178 条断层中, 有 75% 在野外工作之前就被圈成清晰的线性特征。其它 13% 根据有已知断层存在才看出是线性构造。剩下 12%, 在航空照片上未能解译出来。所有这些断层均分布在不同类型土壤区中, 但 80% 以上的断层均匀分布在残积土壤和冰川土壤区间。航空照片上的各种断层, 大多数表现为土壤地表阶地和深的色调线条或植被分布

线，不同模式或结构的界线，以及不同色调区的界线。它们也可表现为树木或作物模式间不连贯的色调界线、冲沟或河流笔直的地段、河谷以及植被区的界线。在测区野外工作时，几乎发现所有的断层均是垂直或陡倾的。难怪在照片上它们的形状单一，主要表现为直线或略为弯曲的线性构造。

相似线性特征的其它起因

有时许多其它地质特征也在图象上造成类似断裂轨线的线性特征。在冰碛区，侵蚀和沉积这两种作用能引起混淆影响。所以在这类地区首先必须通过诸如鼓丘、蛇丘、牛背石等现象的方位来研究冰川运动的方向，进而对平行这方向的线性特征进行极谨慎的解释。

照片上与断裂轨线特别相似的有些特征是由隐伏基岩顶部的古河道引起的，呈暗的色调线条，在山坡下的土壤层的界线可以是直线的，例如坡度平缓山丘脚下的冲积层。翘曲作用可以造成直线状的张性断裂，其它的山崩作用也会造成沿斜坡走向的直线性构造。风力在沙土与黄土区

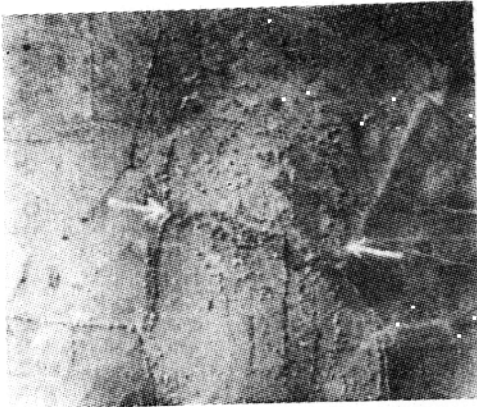


图 1 照片中部及下半部，一些南—北向小灌木分布线反映了下部互相平行的地层理轨线，在断裂轨线附近，这些灌木线便突然间断（箭头指处）



图 2 水系线及暗色调（箭头指向地方）常用以反映下部的断裂。可是，立体镜下，该线调平行冰川运动方向，因此这种解释靠不住。

也能形成沉积物的线性构造。这些线性构造的成因将会在有关的地形上反映出来。在这类地区，风蚀作用也可以产生色调线的线性构造。不过与断裂轨线比较起来，这种线性构造常常是又短又粗，并且顺风一端散开。在平坦而缓倾斜的地表上，局部的漫流水道也可以形成直线的凹地或槽沟。

有些线性特征是与地表沉积层下的岩类变化吻合的。在一次试验中，发现普遍表现出来的线性构造都是地面高程的变化和色调、植被、图象模式与结构的一些界线。虽然对隐伏岩

类界线的解释，可以补充和邦助了解地下地质情况时的断裂轨线分析工作，但这已是地下地质工作本身的研究课题。

地质环境的影响

看来有许多因素可以影响从航空照片上解释断裂轨线的数量，起这种影响作用的有地质和非地质环境的影响，以及摄影上和主观上的因素。在多雨、树林发育、起伏小的厚层外来土壤区，判读断裂线性的证据标志很少。相反，在少雨山区有少量残积土壤的平缓或缓倾斜薄层状坚硬沉积岩区上，却有理想的判读条件。其它不利的因素包括沼泽、极地区的活动

冰、耕种地或者城市开发，当然也有照片质量差等等。

记录数据

不用立体镜直接从镶嵌图上解译断裂轨线的做法，只适用于在某些环境下专门快速追索一些很长的特征要求。为了要获得大量的地质资料，就必须很认真地进行立体镜观察。注记断裂轨线必须认真细致，只要有可能，还应测定所记录断层的方向。如果看到的是几乎成一线分布的一组轨线，则必须逐条地追索。如果它们都可以归并为单一的断层，



图 3 冲积层区及地表冰碛区，中间是河流。与河流色调较暗黑部份有一角度的呈比较直的地段，是受构造控制或近地表的基岩控制的。

就应该把活动方向证据记录下来。

解译工作结合对测区的一般摄影地质研究的好处是可以获得新的解译线索。水系异常常常可以邦助解决隐伏基岩区一些模式意义的多解性问题。一个褶皱构造有部份出露的一边，就可以邦助确定应力方位，从而便能按这种区域应力模式间接地圈出其它的褶皱。

解译出来的断裂轨线的处理

根据断裂轨线的主要关系的分析，划分出同类轨线有各式各样的方法。看来，理想的方法尚待探索。这里所介绍的方法是对没有基岩资料或资料很少以进行外推的地区的研究工作。在这方面，个别的断裂是没有意义的。只能从研究各组断裂轨线关系上才可能推断出有关基岩条件的信息。

无关的线性特征要素问题

照片解译阶段，第一步是要排除一些未消除掉的数据。非随机“噪音”会是一种明显的偏畸，必须估计到，最好及早消除，这种“噪音”偏畸的可能的来源是：冰川运动方向、层面走向线、叶理、片理等等。这些成群出现的特征常常是十分平行的一些线组。陡倾斜断层的层面轨线的线性构造组，只是空间间距大些，但相伴随的色调、植被、或地形趋向的平行线形构造，却可以邦助确定它的性质。随机“噪音”是更加困难的问题，特别是在厚运积层

区。当隐伏构造可能较开阔和简单时，最好先找出少数反映这些隐伏构造的最特征性的断裂轨线，然后才决定全测区的背景（数据）处理方法。在其它地区，为了确定消除可疑的或模糊的特征要素的方法和消除程度，并因而使取样量减少到可解译的程度而又不失去太多的有用数据都是需要经验性的判断的。

较深部基底的很古老的构造趋势对上覆沉积层可能会有影响，如果在附近岩基出露的已知区中能检查出这些影响的话，那么，就可以用某种经验性的加权方法对一些分析结果的偏差进行校准，显然这些基底趋势的存在是近代地质环境的重要组成部分，需要纪录和评价。

分 析 方 法

研究工作的初期阶段，对区域隐伏构造的性质和类型毫无了解时，对从航空照片上得到的数据有各种各样的常用的分析方法，每种方法对最后的解译结果都可能起作用。这些方法大体上是基于频率、密度、长度、角度关系以及模式识别基础上的。综合运用这些方法，可能更有成效。例如，从下文可以看到，角度、频率分析方法在应力分析中具有较大的作用。最好各种分析方法都有单独的透明图件，才能将彼此的主要结果及底图内容反映出来。也可以用单独的图件初步描绘出隐伏地质情况的假想，然后再用这些不同分析方法所得到的证据和其它来源的资料加以验证。

除了频率和密度分析以外，曲形线性断裂不大能运用这些统计方法来处理。但是，逐个地研究统计，这些曲形线性断裂都能起很大的作用，特别在弄清垂直应力分量时它能起显著作用。

这里对某些统计方法扼要地加以描述。但是需要着重指出的是，常规统计方法只能得到更多的统计量。在这一解译阶段，断裂轨线分析者就需要根据他的经验和地质背景用地质语言来解释统计模式。这种分析方法，多少带有某种华而不实的性质，从这些模式形成出有关构造和基岩性质的各种设想，如果与其它资料来源，例如物探、化探、水系模式分析，钻孔资料的可靠地质资料不相符合的话，就应该断然予以抛弃。下面介绍某些技术文献和本人所做的一些有用模式实例：

笔者认为，仅仅依靠盲目的统计方法是要出漏洞的。对重要的断裂模式来说，每一种统计方法研究，都应配合目视方法观察所解译出来的断裂轨线图，尽管，有些模式可能与以前的经验有关和类似，有些则显得与已知模式不一致。但是，从地质的角度上看，它们都是有意义的，这样，这种断裂模式就要我们研究对待，需要予以解释。

计算机处理数据有很多的可能分析方法，所以说，一个无经验的解译者在大量很难整理和很难记忆的资料面前很快就会处于困难的境地。通常，解译工作最好首先是结合测区已有的地质资料，编制出断裂轨线图，以此设计出一个有效而经济的工作计划。假如研究区附近有较好的更清楚的某些岩类区或构造体系，最好就把它们划入摄影区内，并以边界地带上的断裂模式作为统计处理的取样对象。

在进行断裂轨线分析对比和确定断裂模式时其断裂数量太大，同时研究计划规模及其复杂性需要几个分析步骤，用其它方法又太花费时，计算机就发挥了作用。在决定应用计算机时，必须考虑到数据处理用的已有的计算机软件。但是，要是数据已经是数字化了的，就可

以快速地用新的和原有的程序工作。如果初始估计就已使地质图景显示出来，那末，用比较简单的手工和图解方法便能通过断裂轨线分析得到许多有价值的信息，费用少，效率高。

一项重要发展是应用傅立叶转换仪直接从原来的底片**上记录断裂角度分布。这种方法在其它文章已作了介绍，不过要补充一点，虽然这种装置开始是为地球资源技术卫星图象使用的，但同样也能用于航空照片或用于编制解译断裂轨线图。通过使用狭缝滤光器，就能有选择地增强或减弱一定方向的线性构造。在以密集断裂或以平行的耕作线性要素为主的地区，这种装置可以用于修整突出图象不明显的构造方向，使解译者能看清原来图象中的隐伏断裂趋向。

频率研究

空间频率（单位面积中的断裂数）与岩石的物理特点、岩层的厚度和所经受的应力大小有关。这个术语在正常使用时简称为“频率”。在断裂不太密集情况下，频率变差只要检视一下就能了解，但很密集时，解译者就要借助于绘制频率图才能了解其频率变化。这种频率图的编制方法是：采用一个园形量板，其中心依次在断裂轨线图上的格网交点上系统地移动，并统计出落在量板内的断裂轨线。要统计的变差参数包括断裂轨线曲率中心点及断裂轨线交点（交点频率）。数值标记在每个方格的角点上，然后与透明图图边上的断裂线、湖泊及不同土壤区等进行校准。

断裂频率的高异常区是某些类型矿床的有利成矿区，因为，这种地区矿液流通较易，有现成的孔隙可以沉淀成矿。并且围岩矿物受到的应变，使这些矿物更能发生交代作用。罗斯比和坦恩曾介绍过有关这种效果的一次断裂轨线研究*。他们用对数格纸绘制出断裂频率的累积频率的图解，确定断裂频率的异常下限，又在断裂频率图上用这些数据绘出等值线而圈出了异常区，结果，已知矿床正好落在异常区内，还提出其它可作进一步地面勘查的异常区。

在性质较均一的岩区，应力较大的地段必然造成断裂，从而反映出较大的应变。这在研究褶皱构造时很有用处。如果一个褶皱不对称应力越大的一翼必然是断裂越多。背斜褶皱的脊部通常都是高断裂频率带，因为在正常的区域断裂频率背景上，褶皱脊部又是一条张性断裂带。因此，如果在一个地区确定出了褶皱轴的大致走向，就应该注意检查与这种方向平行的任何断裂频率带。

密度和长度

空间密度就是研究单位面积轨线的总长度，研究空间密度的取样和绘制等值线的方法相似。空间密度一语，在实际工作中一般简称为“密度”。在研究频率或密度图的时候，要特别注意仅仅由于地表沉积物性质的改变而引起的频率变差。在实际工作中，从经济上考虑常常不可能单独进行密度研究，因为这种密度变差总是与频率相对变化很相似。但是，长度的评价却很有必要的，在长度评价中把长的断裂轨线从混乳的总的断裂图中分出来，并绘制出一张单独的长断裂要素透明图。选择好照片的比例尺对于圈定断裂特征工作有重要的影响，小比例尺照片，长断裂的连续性非常明显，而细短的断裂却非常模糊。

研究长度分布的变化也是有用处的。在正常的情况下，是以大量样品编制出来的总的断

* 详见我所 1972 年的《国外地质科技动态（10）》； ** 透光片——编注。

裂的频率—长度直方图，得到的将是一条平滑而规则的曲线。如果曲线反映不规则的分布，就需要追索其原因，要记住，所搜集的数据有问题或地质上的原因都能引起变差。如果直方图反映出有一个明显的异常区间的话，那就说明按这一异常长度范围截取频率做出的频率等值线图就可以反映出是否在研究区某一部份存在着这种影响。如果在表层岩石相对未受压力作用、断裂轨线又是底部较古老岩系透过上部岩层反映出来的环境下进行研究的话，那么，研究断裂轨线的长度就可以反映上部岩层内这些断裂的区域变差。变差的原因或许是这样，底部岩层中较长的断裂延伸到地表处时因上覆岩层的厚度很大造成的。为了从断层轨线入手了解这种影响的原因，一个办法是把所研究的地区分成一系列大小相等的单元格子，并且测量出中心落在每一个单元内的每一条断裂轨线的长度。接着以各单元的平均长度的等值线图表示所存在的变化，但是这种测量方法对面积大的测区仅是一种粗略的评价，并且还要求这种地区的断裂频率比较高才有效。这类研究方法，有岩墙填充的断裂将统计不到，因为它们的长度常常与其它原因有关。例如：一条断裂一开始就被熔融的岩浆侵入并被扩展，断裂在同样压力和温度下有足量岩浆侵入而继续延长，岩墙的最后总长度可能就要比原来的断裂长两个数量级。

角度关系

人们通常以断裂轨线与正北的夹角来研究断裂的方位，但断裂间的夹角关系一般更为有意义。

方位研究主要有下面几类：方向（方位）频率、方向（方位）密度、方向（方位）分组，断裂系统和构造的模式。角度测量的精度要求不高，虽然能够用摄影测量技术来校正不平地区的视差效应，但是通过土壤层反映出来的断裂走向不是很直的，所以在不是研究性质的项目中，就没有必要要求测量精度优于 $\pm 2^\circ$ 。

在山区，畸变倒是一个很重要的因素，但山区土壤的剥蚀作用较快，基岩

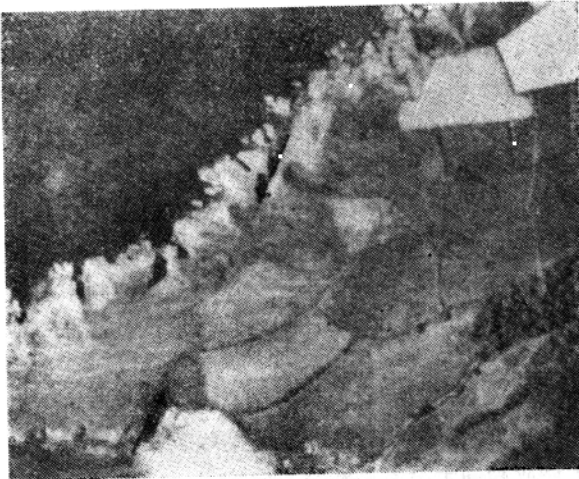


图4 海岸地带，由于残积土壤下部的陡倾斜断层造成近于平行的白色线性体。箭头指处的间断地方是地表断层。

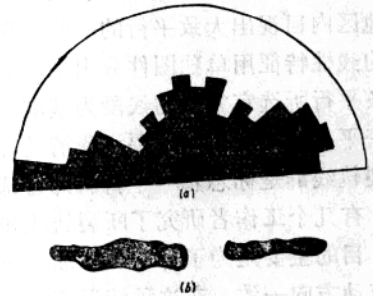


图5 方位频率图解：(a)太纳格矿区冰碛土壤层反映出来的613条断裂轨线；(b)反映了矿体方位的东西向断裂轨线。

地质解译容易得多，断裂分析者工作的任务较简单，通常在已知区域构造基础上外推加密补充细节就可以了。

用玫瑰图表示研究区断裂的相对频率和密度比用直方图解更优越，因为直方图解表示方向模式不那么清楚。在断裂测量量大又详细的情况下，断裂分配的角度间距可定为 5° 。如果断裂数量不是很多的话，角度间距可以放宽到 10° ，以便能使模式被圈出。如果分组结果不清楚的话，有时可以通过把玫瑰图解转动 $1/2$ 角度间距，而重新分组，例如，分组间距是 10° ，玫瑰图转动 5° ，使分组从 $0-10^\circ$ ， $10-20^\circ$ ， $20-30^\circ$ 变成 $5-15^\circ$ ， $15-25^\circ$ ， $25-35^\circ$ 。

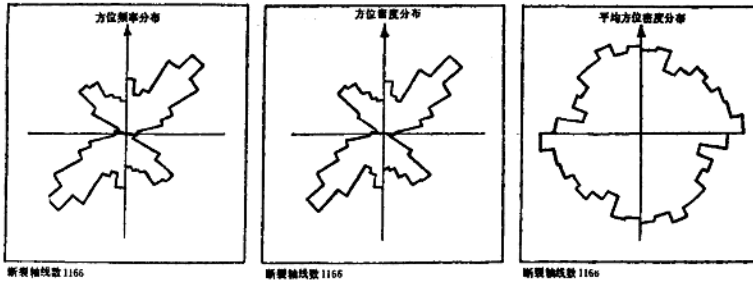


图 6 兹韦所研究的部分地区的计算机输出的断裂轴线玫瑰图。

印出全区域玫瑰图及部份取样点的其它统计量时也用同样的断裂轴线程序包。

在玫瑰图上划分断裂组的弧度大于 10° ，常常使分组范围太大，得到的是一个无意义的均匀分布模式。较比好的做法是从较大的地区内取样，也就是统计到更多的断裂，虽然这种做法需要权衡到一些工作将减少对地质细节的观察。取样区的最佳规模要从区域断裂频率上判断，同时，试图通过数目很小的断裂轴线推断出断裂模式是没有好结果的。从图 11 所示的结果可以看出，断裂轴线不到 14 条，不足以反映出应力模式，少于 20，反映得不怎么好，20 至 32 反映较好，多于 32，反映就很好。作者一般在新测区的较理想断裂取样数定为 25。

平行性是运用方位研究的一个简单例子。如果测区内或其附近观测到某一主要断裂轴线方向，例如矿脉、基底断裂、某种岩类的走向等等所引起的轴线方向，通常就能够在这一研究地区内目视出大致平行的一些线性特征要素。如果总的断裂频率很高，就有必要把这些平行的线性特征用单独图件分出来，或者绘成一张一定方位的频率图。这可以这样做，以任何一条平行所选定方位的线段为基准，按每 10° 弧度内的断裂轴线数，绘制出等值线频率图。紧密平行的断裂轴线群要注释清楚，因为可能有多种成因引起的。伯内特曾论证过这样一种断裂轴线群是标志着一个背斜的脊部的。

有几个工作者研究了断裂轴线和地下断裂的关系，以及它们与岩体的定向渗透性间的关系，目的主要是为了计划从贮油层充分抽油搜集资料。可能有些断裂与某些矿床类型的矿液的流动方向一致，在这种情况下所形成的矿体应趋向于沿着该断裂方向扩展——即沿着方位研究所指出的主要方向上扩展。图 5 (a) 表示了太纳格矿区的断裂轴线方位频率模式，它主要的方向是东—西向。插图 5 (b) 表示了冰碛土壤层下的矿体轮廓，矿体方向与断裂走向很吻合。虽然研究结果并没有反映出有那一个水平应力分量可以引起这种断裂，但可看到这些断