

遥感图象中线性构造光学空间 频谱分析方法的研究

朱自强 陈祯培 李继陶

(四川大学物理系)

唐光洁

(成都地质学院水文系)

提要: 叙述了对遥感图象线性构造作空间频谱分析时的基本原理和实验方法, 对构造影象微弱的四川省盐亭县地区卫星图象进行了空间频谱分析, 并获得了有意义的结果。

Research on optic spatial frequency analysis of linear structures in remote sensing images

Zhu Ziqiang, Chen Zhenpei, Li Jitao

(Department of Physics, Sichuan University)

Tang Guangjie

(Department of Hydrogeology, Chengdu College of Geology)

Abstract: This paper describes the fundamental principle and experimental method for spatial frequency analysis of the linear structures in remote sensing images. The faint geologic structures in ERTS image of Yanting county, Sichuan province have been analysed by this method, and useful results obtained.

一、引言

对光学图象的某些特定结构进行分析、增强和抽取, 是现代图象处理的一种重要方法。从傅里叶光学的观点来看, 由于每一种图象结构都有自己特定的光学空间频谱, 因

而人们可以通过空间频谱分析来了解图象的结构。就遥感图象而言, 可从其结构形态的空间频谱特征中, 抽取地球上极为有用的信息。譬如根据其线性构造分布, 作地质构造分析, 有助于地震分析、找矿和找水等工作。

光学空间频谱分析方法本身具有二维并

收稿日期: 1984年2月24日。

行运算能力以及运算速度快等优点,近几年来在制作频谱分析元件和应用方面都有一些成功的例子^[1,2]。

对图象结构进行空间频谱分析时,可采用光电混合方法。我们对四川省盐亭县地区卫星图象进行频谱分析时,针对其构造影象微弱这一特点,实验中使用了64单元楔、环阵列光电探测器来分析线性构造的功率谱分布。

二、图象中线性构造频谱的特性

1. 频谱的方向特性

若图象中有一组线性构造沿 x_1 方向延伸(如图 1(a)所示),可以把它看成是一个间隔为 d 的光栅。该光栅的振幅透过率函数为:

$$f(y_1) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{i2\pi \frac{n}{d} y_1}$$

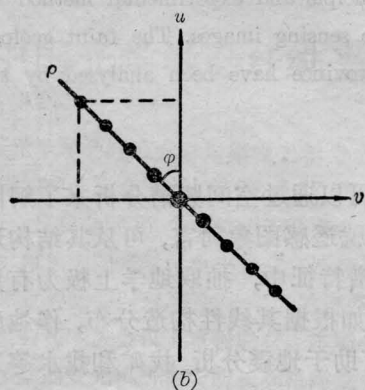
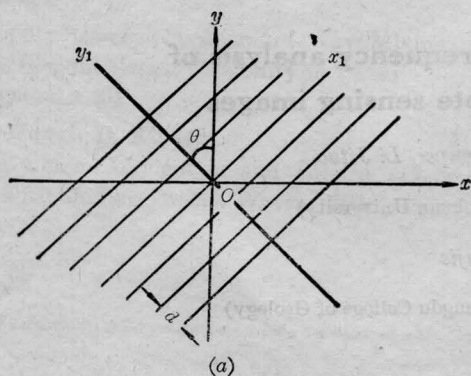


图 1

(a) 线性构造示意图 (b) 频谱的方向特性

式中 c_n 为傅里叶系数, n 取 $0, \pm 1, \pm 2, \dots$ 。设线性构造的分布方向 y_1 与所选坐标系 xoy 的 y 轴夹 θ 角, 则存在如下坐标关系式:

$$y_1 = y \cos \theta - x \sin \theta$$

于是 $f(x, y) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{i2\pi \frac{n}{d} (y \cos \theta - x \sin \theta)}$

将存在线性构造的图象放在空间频率分析系统中透镜的前焦面上, 则在透镜后焦点(频率平面)上得到此线性构造的空间频谱, 其分布可用 δ 函数表示为:

$$F(u, v) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n \delta\left(v - \frac{n}{d} \cos \theta\right) \times \delta\left(u + \frac{n}{d} \sin \theta\right)$$

式中: $u = \frac{x}{\lambda f}, v = \frac{y}{\lambda f}$

分别为线性构造沿 x 方向和 y 方向的空间频率。

若在频率平面上采用极坐标, 则

$$\rho = \sqrt{u^2 + v^2}, \quad \text{tg } \varphi = \frac{u}{v}$$

由于光学图象是用实函数表示的, 故在频率平面上其功率谱呈中心对称分布, 即

$$|F(u, v)|^2 = |F(-u, -v)|^2$$

因此, 空域中沿 x_1 方向延伸的线性构造, 在频域中其功率谱沿 ρ 方向呈直线分布(如图 1(b)所示), 此直线与线性构造的延伸方向正交。由此可见, 只要测得了频谱的分布方向, 则与此方向相垂直的方向即为相应的线性构造的延伸方向。

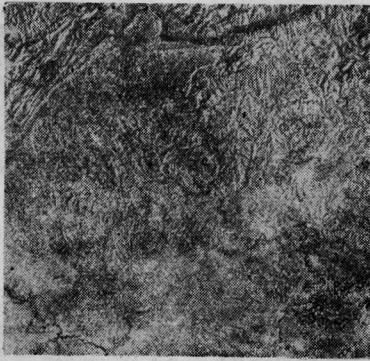
此外, 由傅里叶光学中的相似定理:

$$\mathcal{F}\{f(ax, by)\} = \frac{1}{|ab|} F\left(\frac{u}{a}, \frac{v}{b}\right)$$

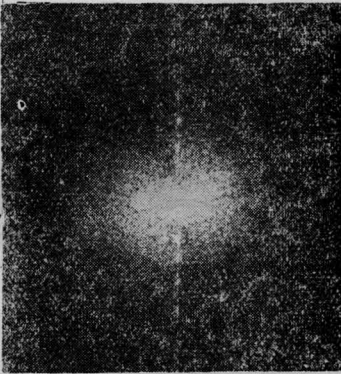
表明空间域坐标 (x, y) 的“伸展”, 导致频率域中坐标 (u, v) 的“压缩”。即图象中线性构造越密集, 则在频率平面上相应的空间频谱分布延伸越远。反之亦然。

2. 线性构造微弱影象的频谱

对于遥感图象中地质线性构造的微弱影象而言(如图 2(b)), 其线性构造的轮廓并不很分明, 同时也不是完全等间距分布的, 因而



(a) 盐亭地区卫星照片



(b) 放大的频谱照片

图 2

其频谱分布不是分立的,并较集中在低频区,如图2(b)所示(图中竖直影象为卫片中扫描线的频谱)。由图看出,直接观察频谱不易区别其角分布的差异,若使用灵敏度较高的光电阵列探测器,就可较为客观地将频谱的角分布显示出来,以利于对图象进行判译。

三、光电阵列探测器

为了探测图象结构特征的功率谱,我们使用了64单元光电阵列探测器,如图3所示。其中包含了32个半圆环形阵列和32个 5.625° 楔形阵列,它们把功率谱的光强度信号转换为电信号显示,以利于快速测量。环形阵列探测功率谱的径向信号,从而确定图象空间频率的范围;楔形阵列探测图象功率谱的方向性信号,即决定空间频率的角分布。在检测图象中线性构造时,使用楔形阵列探

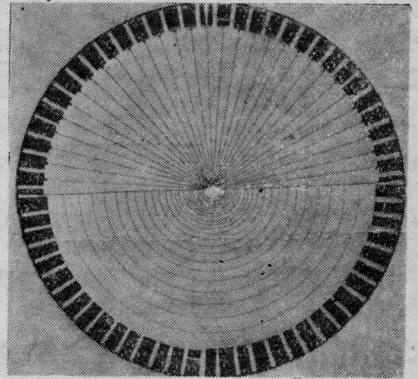


图 3 楔、环探测器结构图

测器。

当对遥感图象某一区域采样时,则根据探测器所显示的信号就可作出该区域的功率谱分布。将此分布图旋转 90° 后,就得到构造玫瑰图,如图6中各分图所示。由于卫星图象中的扫描线为近东西方向,因而我们在作测量时将图象沿扫描线方向竖直放置,这样作出的功率谱分布就直接是玫瑰图(见图6)。由玫瑰图可分析线性构造的强度和优势方位。例如,若测得第 i 个楔形单元的输出为极大值,则反映图象中的线性构造在 θ_i 方向上($\Delta\theta_i=5.625^\circ$ 范围内)的统计平均分布最为密集,或称其正交方向(即线性构造延伸方向)为线性构造的优势方向。

此外,由于卫星图象中扫描线的谱对邻近方向的谱有影响。故对玫瑰图上的正西及 $N73^\circ W$ 两个方向的探测信号值需特别注意其真实性,根据实际情况往往可以舍去。

四、空间频谱分析系统

空间频谱分析系统采用如图4所示的系统。由He-Ne激光器发出波长 $\lambda=6328 \text{ \AA}$ 的单色光,经扩束、准直后通过变换透镜 L_3 。将待分析的透明图片置于透镜 L_3 后,照明光束经图片衍射在透镜 L_3 的后焦平面上形成空间频谱。楔、环探测器的探测面接收这些频谱的光强度后,再经电子系统 R 将光强线性地转换成电信号输出,并进行数字显示。

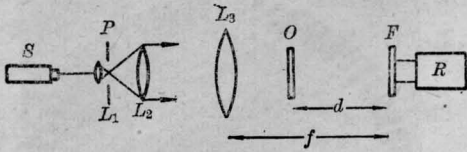


图4 频谱分析系统光路图

S—He-Ne激光器； L_3 —傅里叶变换透镜， f ：900毫米；
 L_1 —扩束透镜；O—待处理图象（透明片）；
P—针孔空间滤波器；F—处于变换平面上的阵列探测器；
 L_2 —准直透镜；R—电子放大和显示系统

分析图片放在变换透镜 L_3 之后，这样做的好处是通过调节物平面与变换平面之间的距离 d ，第一可以控制图片被照明的区域，第二可以改变衍射象的比例，这样就能将待分析图片的特征频谱分布尽量充满阵列探测器的有效探测面，这对于测量微弱地质构造的频谱尤为重要。实验中，我们所用的探测器的有效面积直径约30毫米，变换透镜的焦距为900毫米， d 取400毫米，此时探测器的空间带宽约为60线/毫米，这样的频率范围对于分析遥感图象的特征频谱来说，已足够了。

五、应用实例

盐亭县地处四川盆地北部边缘地带，出露地层岩性为侏罗白垩系红色砂泥岩层，构造微弱，无大断裂。为了解本区裂隙的分布状况，分析构造应力场，确定构造形迹和型式，我们在该区卫星图象中选择了十余个测

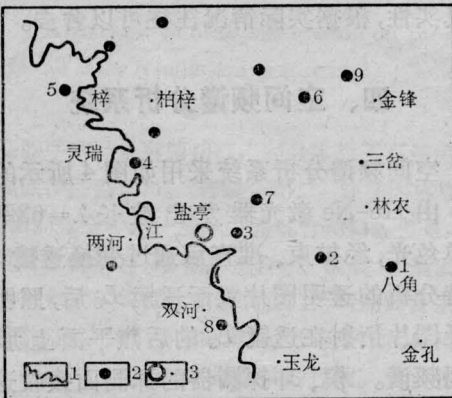


图5 盐亭地区频谱分析测点平面位置图

1—河流；2—测点及编号；3—地名

点(图5)，每点测量范围均为直径1厘米。将这样大小的卫星照片置于空间频谱分析系统中，作为输入分析区，作出相应的玫瑰花图(图6)，其中我们仅用了九个测点的结果。

经过野外验证，先后在上述各测点范围内进行了裂隙统计，并作出了裂隙走向玫瑰

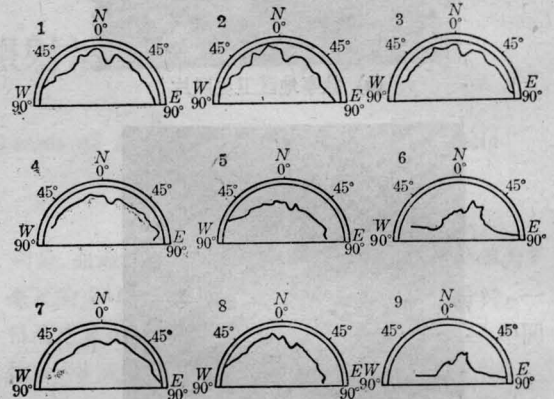


图6 对盐亭地区九个测点用频谱分析方法作的裂隙走向玫瑰花图

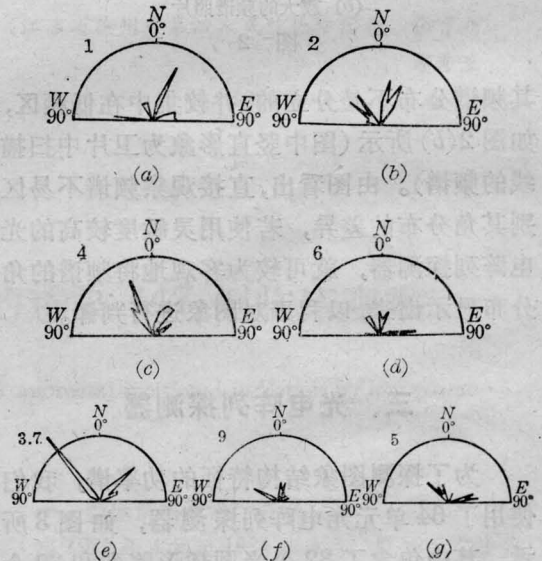


图7 与图6相对应各测点经野外实测的裂隙走向玫瑰花图

- (a) 八角场背斜东段(杨家湾)；
- (b) 林农向斜东段(林农场)；
- (c) 八角场背斜西段(围杆沟)；
- (d) 环形构造区(冉家湾水库)；
- (e) 林农向斜中段(金田湾)；
- (f) 环形构造(罗家坪水库)；
- (g) 林农向斜西段(吕家桥)

位置 测点		由东 → 西					由北 → 南			
		1	2	3	4	5	9	6	7	8
北 东 方 向		17~33.7°	17~33.7°	17~33.8°	73~80°	56~84°	17~33.7°	17~33.7°	17~44.9°	73~80°
				53~85°						17~30°
北 西 方 向		22.5~0°	28~0°	22.5~	17°~	11°~	11°	67°	67.5°	73~62°
				N3°E	N5°E	N3°E				

图(图7)。我们把裂隙近似当成频谱分析中的线性结构,于是可以将两类玫瑰图作一比较。野外实测裂隙统计点仅代表几平方米面积内裂隙发育的具体情况;频谱分析采样区代表的是较大范围线性构造发育强度的平均状况,前者包含于后者之中。例如,图6中第一个分图显示该测区线性结构发育方向为北东17~33.7°和北西22.5~0°;而属该区的一个测点经野外实测结果为图7中第一个分图所示,图中显示出该测点裂隙的发育方向为北东23°和北西20°,故前者包含了后者。其余各分图均基本符合,结果令人满意。

从两类玫瑰图的比较中,首先可以看出该地区普遍发育北东及北西两个方向的裂隙(野外验证为剪裂隙),而且它们的产状在区内各处且有变化,根据图6列出上表。

由表中可以看出,由东向西北东一组裂隙的走向由北北东向→北东向或北东东向;北西一组由北西向→北北西向或北北东向。根据这二组裂隙在区内的分布状况,初步确定了本区主应力方向大致为南北向,往西北逐渐变为北北东→北东向,且为压应力。据此判译该地区构造形迹为一束向西撒开向东收敛的弧形褶皱群。另外还可看出由东向西线性结构发育强度由大到小;由北向南线性结构发育强度由小到大(玫瑰图占据半圆的面积愈大则线性结构愈强)。

根据上述分析,再结合判译图片东北角存在环形影象,进一步判译该地区为一新的帚状构造。这一结论经过野外调查,结合邻区构造,笔者认为基本正确的。

裂隙产状在区内的变化规律正符合上述

构造形式的分布,帚状构造的收敛端(东边)裂隙较其撒开端(西北边)强;北边较南边弱。这是因为该帚状构造的扭动中心是由面积不大、形状不规则的构造盆地群组成。构造盆地群又是在四周受压但应力差较小的情况下产生的,故裂隙发育较差。裂隙分布的规律反过来又进一步印证了上述构造形式。

六、讨 论

1. 此方法在研究区域构造,特别是精确度要求不高的较大范围的裂隙定量测定方面是较好的。

2. 此方法在分析遥感图象时速度快。例如在1/100万卫片上测定直径1厘米面积内的线性结构强度只需几分钟时间,而代表的是近80平方公里面积中线性结构的平均发育强度,这是常规野外方法达不到的。

3. 设备简单,也可不必对图片作任何处理,易于推广。

4. 和所有的图象处理方法一样,必须结合遥感地质的专业知识,对所得结果加以分析,摒弃其中的伪象(如卫片中的扫描线、人工的线性构造等等),才能收到更好的应用效果。

5. 因该方法是直接测量功率谱,就要求激光器输出功率比较稳定,以提高测量精度。

钟永碧同志对本工作给予了许多帮助胡敏同志制作了部分照片,对此深表谢意。

参 考 文 献

- [1] Dieter Steiner, Anthony E. Salerno;《遥感手册》,国防工业出版社,第5分册,1981年。
- [2] 赵焕卿等;《光学学报》,1982,2, No. 5, 458。