

# 机载合成孔径雷达图像频谱分析 技术地质应用评价\*

朱亮璞 金丽芳 李晓莉 龙云林

(北京大学地质系)

(国家遥感中心长沙遥感部)

1990年8月12日收稿

## 摘 要

频谱分析是空间滤波的一种。本文使用光学傅里叶变换分析 SAR 图像的空间频率特征。从取得的功率谱与功率谱角分布数据中可以:(1)确定与雷达后向散射方向有关面的走向最大(最小)方位角;(2)分析频谱曲线两个峰的夹角及其地学意义;(3)推算其水系密度;(4)研究样区地形基本特征。这些资料有助于研究线性构造区域展布特征,岩类识别和地貌分类等。

**关键词** 功率谱曲线 功率谱角分布曲线 水系密度 岩类

合成孔径雷达(SAR)图像具有一次成像面积大、成本低、能全天候(不怕云雨和昼夜)工作和地面分辨力高(地形地物细节丰富)的优点。是区域地质研究中进行对比分析和编图的有用技术资料。

SAR 图像资料含有波谱与空间特征两类信息。机载的 SAR 成像时,出于经济上的考虑,通常只选用单一的波段、极化方式和照射方向获取黑白图像。这种图像很少单独作波谱特征增强处理,更多是提取和利用其丰富的空间特征。这些特征包括空间频率特征,边缘和线条特征,结构(texture)特征。结构特征在频谱范围表现其空间频谱特征。空间特征的增强处理主要有空间滤波、边缘和线性特征提取,图像平滑化处理等。

频谱分析是空间滤波的一种,是利用光学傅里叶变换来分析图像空间频率特征。本文以岳阳地区的 SAR 图像为例,探索和评价其在区域地质研究中的应用。

## 一、试验区的地质背景和遥感资料特点

试验区在湖南省岳阳市东南的一个丘陵地带。区内地形细碎,耕地广布,植被较密,水体多,岩石风化较深而裸露少。除雷达图像外,其它航空与航天图像都因植被及表土掩盖而降低了其地质判读程度。

研究使用的机载 SAR 图像是 1984 年 9 月成像的 X 波段图像,波长 3 厘米,频率 9.6 吉赫,地面分辨力 3 米,东西飞行,正南侧视,俯角  $12^{\circ}27'$ ,飞行高度约 1.2 千米。

\* 本课题为地质行业科学技术发展基金资助项目。  
清华大学电子学工程系孟庆章协助处理岩类频谱曲线,特此致谢。

试验区内 NW 和 NE 向断裂和线性构造发育。出露地层岩性为：元古代冷家溪群的砂质和粉砂质板岩,有轻微蚀变,还有白垩纪砂砾岩,第四纪河、湖沉积物及花岗岩。

### 二、SAR 图像空间频谱数据采集

把 1:10 万 SAR 透明黑白正片固定在空间频谱分析仪变换透镜的前焦面上,用单色平行光照射,在透镜后焦面上获得夫琅和费衍射图。用 64 单元楔、环探测器阵列,检测该衍射图的光强分布,分别获得功率谱曲线和功率谱角分布曲线(图 1)。

取样位置、范围(由光栏孔径大小决定)的选择很重要。试验以岩类识别为主,样区的选取原则是:(1)雷达是距离投影成像,侧视雷达记录的是工作平台到反射目标的距离,

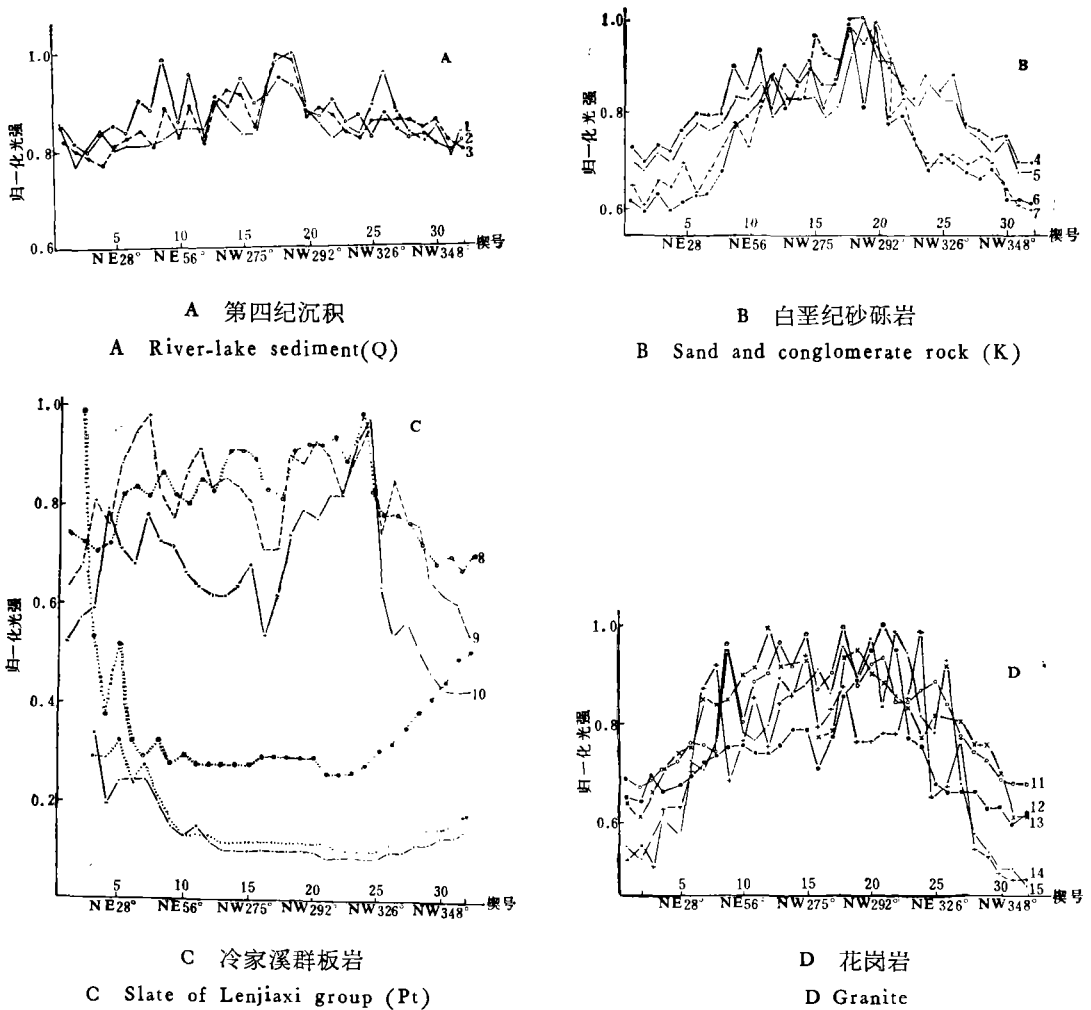


图 1 四种岩类频谱功率谱角分布曲线

Fig. 1 The Spectrum distribution curve of four rock types

横轴下面是与楔号对应方向相垂直的平面的走向方位角

在近地点一侧,图像被压缩,引起畸变较明显,因此取样应尽量在远地点一侧。(2)为取得岩类的频谱特征,样区内应以一种岩性为主(占面积 80% 以上)。(3)同名地物在不同成像条件下会引起空间频谱的差异,因此应尽量在同一正片上取样。(4)光栏孔径( $\phi$ )大小要经试验选定,本试验  $\phi = 10$  毫米,约相当地面一平方公里面积,过大过小都不好。图 2(封二)给出了图 1 取样的地点及编号。

### 三、频谱分析资料的地质信息提取

由空间频谱分析仪取得的功率谱和功率谱角分布数据,可以从仪器给定的参数表转换成相应的空间频率与方位角值。从这些资料可得到下列地质信息。

#### 1. 确定与后向散射方向有关的面走向的最大(最小)方位角

功率谱角分布曲线上的峰和谷所在楔号代表的方位,是后向散射强度最大和最小的方位。图 1C 第 9 号曲线上的峰和谷在 4, 24, 16 楔号处。每楔号的角度间隔是  $5.65^\circ$ 。它们的方位角分别是  $22.5^\circ, 135^\circ, 90^\circ$ (图 3), 换成方位角是  $112.5^\circ, 225^\circ, 180^\circ$ 。

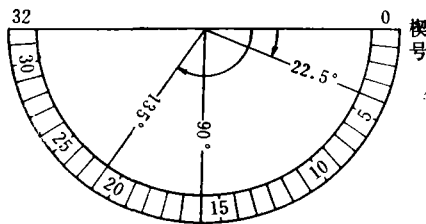


图 3 楔形探测器

Fig. 3 Wedge-shaped elements

微波的传播特点表明,后向散射平面走向与雷达波照射方向垂直的回波强度最大。故走向与曲线上峰所在楔号的方向相垂直的平面在样区内最发育。这些平面,从地质学角度上说,是地形坡面、岩石表面(岩石风化面、岩层表面)和

构造破裂面(节理面、劈理面、断裂面)等。曲线上谷的楔号代表的方位是回波较弱的方位。回波弱的原因有 3 种:一是反射雷达波的平面不发育,二是反射雷达波的平面发育,但其走向恰与雷达照射方向相平行,传感器接收到的回波很弱,三是可能存在干扰或吸收的因素。图 1 各角分布曲线在 16 楔(正南)的归一化光强值较低,可能与岳阳地区 X 波段雷达是正南侧视有关。

#### 2. 分析两个峰的方位及其夹角的地质意义

角分布曲线上峰所代表的方位,常与样区内的末级水系、支沟、冲沟、小分水岭、线性构造、岩层或岩脉的优势发育方向有关。两个峰代表方位构成的夹角(即两峰楔号差值乘  $5.625^\circ$ ),多半与样区内末级水系的夹角(如花岗岩区钳形水系的夹角)、构造的共轭关系及两种地质体走向的交切等有关。其具体地质意义,必须通过典型样区实地调查来确定。

#### 3. 从空间频率推算样区水系密度

利用空间频率可以换算成每单位面积的支沟长度或支沟条数<sup>[4]</sup>。这个数值可表示水系密度和地形切割程度。图 2(封二)内四种岩类发育区的水系密度的特点是,第四纪沉积物区最低:① 1.03,② 1.16;白垩纪地层较大:④ 1.73,⑤ 1.43;元古代地层变化大:⑧ 1.93,⑩ 1.11;花岗岩区为④ 1.17,⑤ 1.22\*。

\* 以上圆圈内的数字为图 2 上的样号,数据为支沟密度,单位为毫米/毫米<sup>2</sup>。

#### 4. 根据两种曲线的总体形态特征分析样区地形的基本特征

功率谱曲线显示了高、中、低频成分构成特点(图 1C)。空间频率分布是 SAR 图像空间特征的反映。通俗地说,高频代表影像上色调变化急剧频繁的特征,反映图像内精细部分的结构,如小水系和裂隙等构成的突变边缘和轮廓;低频反映尺度较大的地物特征。试验区内地形地貌变化少,故各功率谱的高值都集中在 2—6 环处,图 1 只给出了冷家溪群的功率谱曲线。

功率谱角分布曲线与空间频率无关,曲线只表示光强在不同方位的变化。在局部地区的地形地貌以及图像结构特征、水系特征都与岩性有较密切关系。因此角分布曲线的总体形态是识别岩类的一个重要依据。

### 四、频谱分析资料的地质应用评价

为试验频谱分析资料在区域地质研究工作中对岩类识别、线性构造特征研究、地质编图等方面的应用效果,选择岳阳东南面积约 35 平方公里的乌江桥小区作为试验区(图 2,封二)。对区内四种岩类分布地段连续取样,各岩类的频谱角分布曲线也示在图 1。尽管影响地物频谱的因素较多,但同一岩类的角分布曲线的某些特征,像峰、谷的所在楔号,两个较大值峰的间隔,功率谱的光强,曲线总的几何形态等,还是有一定的规律性的。我们主要作了以下应用试验研究。

#### 1. 研究线性构造的区域展布特征

线性构造区域发育优势方向和发育强度,是表述其区域展布特征的重要内容。这些资料需要在目视判读基础上进行统计,工作效率低而且具有一定的主观性。利用频谱功率谱角分布资料可较好地解决这个问题。

图 4(封二)是据图 2 判读出来的乌江桥地区的线性构造。表 1 列出了试验区内白垩纪淡红棕色砂砾岩的四组主要线性构造走向。这些在试验区内较发育的线性构造组,在图 1B 的曲线上都是光强分布较大的峰。表 1 中第四组线性构造,在图 4 右下角比较明显,在图 1B 曲线上只是一个不甚明显的峰,显然它是在区域上发育较弱的一组。此外,利用这些资料还可以对区域线性构造进行合理分组以及合理地选择地面节理统计测量典型地区和编制线性构造判读图件等。

表 1  
Table 1

SAR 图像目视判读出的线性构造组		图 1D 中功率谱角分布曲线的峰	
分组	走向方位角	对应的楔号	与楔号方位相垂直的方位角
1	NE20—35°	6—8	NE28—39°
2	NE60—70°	11—13	NE61—73°
3	NW295—315°	18—22	NW275—315°
4	NW330—340°	23—25	NW309—320°

#### 2. 识别岩类

不同岩类由于物质组成不同,层理、节理发育特点不同,产出状况的不同及长期的风

化剥蚀,必然程度不同地影响和控制局部地形地貌的发育,在 SAR 图像上显示出不同的微地貌、微水系、花纹结构、水系密度、地面粗糙度等。这些是利用频谱分析技术识别岩类的基础。

前人研究表明,大区域上的不同岩类具有不同的频谱曲线特征<sup>[1]</sup>。但在区域地质研究

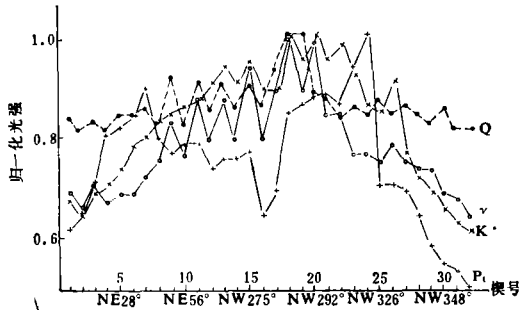


图5 用众数法计算四种岩类所得出的频谱功率谱角分布曲线

Fig. 5 Power spectrum distribution Curve of four rock types obtained by modal analysis

研究和地质制图上,只有能在局部小区内识别出不同岩类才有实用意义。故在试验区内连续沿东西方向取样,且每个样点面积 80% 以上为同一种岩性(图 2)。在此基础上,运用不同的统计方法对同一岩类的频谱曲线作了处理。图 5 是用众数法处理四种岩类所得的曲线。第四纪的河谷沉积物,地平沟少,方向杂乱,故其角分布曲线起伏幅度不大,但归一化光强却较大,峰、谷的所在楔号分散。元古代浅变质岩系为低山丘陵,坡角较陡,小分水岭以 NW 和 NE 走向较明显,故角

分布曲线起伏幅度大,两个较大峰的间隔很大,峰、谷分别集中在第 24 及 16 楔处(图 1 和图 5)。由于浅变质岩系出露在花岗岩侵人体边部,角岩化和微有蚀变,与外围广大地区冷家溪群角分布曲线总体形态的差异非常明显。

试验表明,利用频谱分析技术,可以有条件地识别某些岩类,尤其是同一种岩类出露范围较大、构造相对简单的地区。总的来说,这种分析技术可以作为区域岩性分析、岩性制图时的一种辅助方法。但空间频谱方法在地质体分类上的实用意义,较其它结构统计分析方法为差<sup>[2]</sup>。空间频谱资料在岩类识别上的最大用处可能是为光机联合识别岩类提供依据,在计算机对波段滤波后,产生出雷达结构图。这种图能在空间频谱分布基础上划分岩类<sup>[3]</sup>。

### 3. 其它地学上的应用

频谱分析资料从理论上说,还可以为图像结构类型和粗糙度的划分、地貌分区和对比等提供资料。这些还需要进一步探索与开发。

## 五、结 束 语

岳阳地区的频谱分析技术地质应用试验表明,包括 SAR 图像在内的遥感图像的空间频谱测量,能够提供某些对区域地质研究有价值的地学信息,可以半定量地表述线性构造区域展布的某些特征,对岩类识别、地貌分类、地质图件编制也有一定的效果,不失为一种简单易行且有一定实效的技术方法。在区域地质研究工作中,可以适度应用,并进一步扩大其在地学遥感工作中的应用。

## 参 考 文 献

- [1] 朱世嘉、金丽芳、谢慧媛, 频谱分析技术在遥感图像岩性解译中的应用, 科学通报, (21), 1983。
- [2] R. M. Haralick, Statistical and structural approaches to texture, Proceedings of IEEE, Vol. 67, No. 5, 1979.
- [3] R. G. Blom and M. Daily. Radar image processing for rock-type discrimination IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. GE-20, No. 3, 1982.

## Application of Optical Power Spectrum Analysis in Assessment Geologic Utility on SAR Image

Zhu Liangpu Jin Lifang, Li Xiaoli

(Department of Geology, Peking University)

Long Yunlin

(National Remote Sensing Centre, Changsha Branch)

### Abstract

Fifteen samples have been continuously sampled in the E-W direction of the Yueyang experiment area (35 square kilometers). These samples were collected from a wide range of different rock patterns such as river-lake sediment(Q), fragmental rock(K), sand slate(Pt) and granite. Analysis of optical power spectrum has been applied to obtain the power spectrum curve and power spectrum distribution curve, which is helpful for:

1. obtain the strike of reflectance planes which will correspondingly have maximum values of back scatter. These planes are usually terrain slopes fact, outcrop surface, and structural fracture planes.

2. The angle included between the direction of the maximum values can well reflect the angle made by the confluencing branchravine.

3. calculate the drainage system density.

4. analysis the general feature of topography in the sample area. The general feature of topography has close relationship with the characteristic of the lithologic association.

We can determine the predominant direction and concentration density of lineament, and discriminate some types of rock in the studied area by spectrum analysis.

**Key words** Power spectrum curve Power spectrum distribution curve Drainage system density Rock types

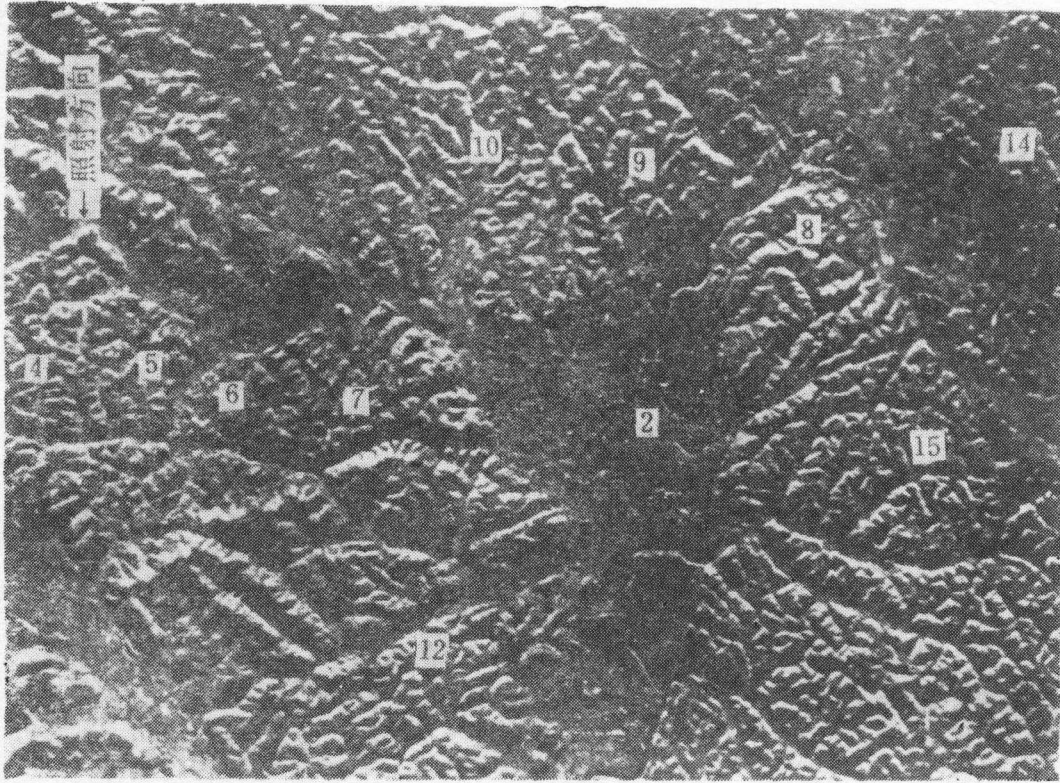


图2 乌江桥地区 SAR 图像  
Fig.2 SAR image of Wujangqiao area

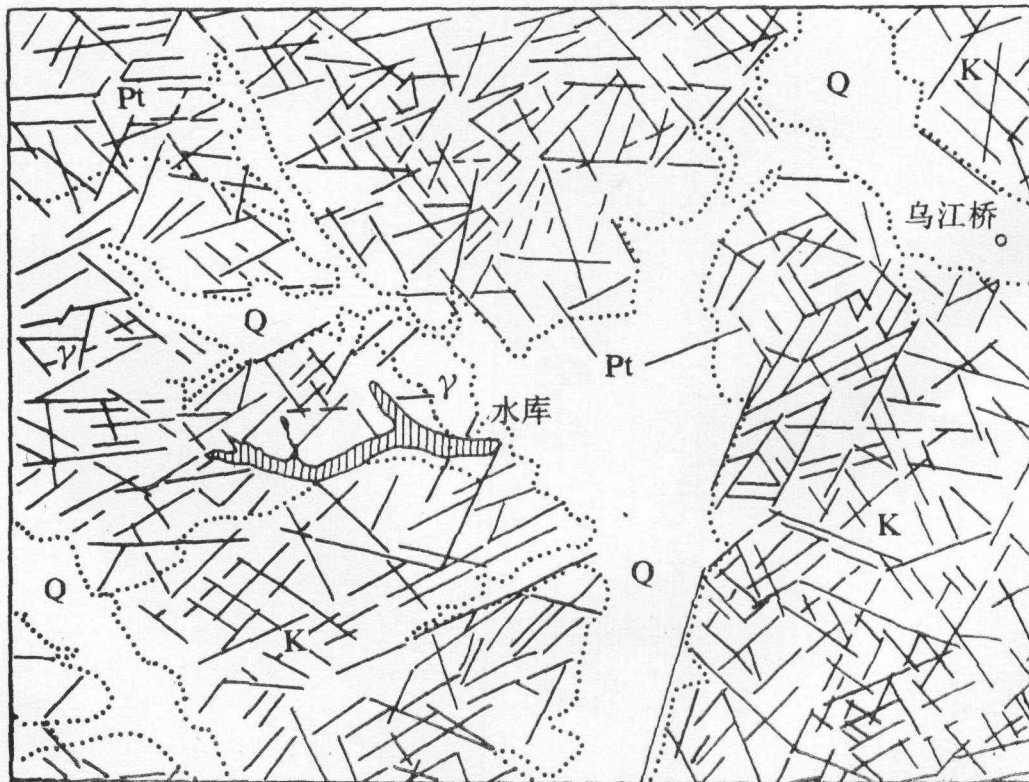


图4 乌江桥地区 SAR 图像线性构造判读图  
Fig.4 The interpretation map of Lineament of Wujangqiao area