

胶东地区的星载 SAR 地质探测

邵芸 郭华东 刘浩

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)

石火生

(南京大学地球科学系 南京 210008)

摘要 本文总结了星载合成孔径雷达在胶东地区地质应用中取得的一些具有重要意义研究成果及图像处理分析结果。利用 ERS-1 SAR 和 JERS-1 SAR 图像在胶东地区发现了东西向韧性剪切带,其中以东尹-西林剪切带最为典型,该方向的构造运动对于胶东金矿区的金元素富集起到了重要作用;在图像分析、结合野外调查和实验室观察的基础上,提出了唐家泊影像异常为陨击遗迹的假说。为满足地质应用研究的需要,还研制了噪声抑制、多统计量纹理分析及图像处理分析方法。研究表明,星载合成孔径雷达在胶东地区的地质应用中发挥了积极作用,是个十分有效的地质探测工具。

关键词 地质探测,星载合成孔径雷达数据,陨击遗迹

1 概述

胶东地区近年来,经济发展迅速,农林渔业发达,土地利用率很高。农作物、林木和土壤形成了很厚的覆盖层,基岩出露较少。加之又是沿海地区,晴朗天气不多,使得可见光和红外遥感在这个地区的运用受到了很大的限制,而雷达遥感技术的全天时、全天候成像能力及对云雨和植被的穿透特性,对地形细微变化的敏感性,使得其在该地区的地质应用中显示出独到的优势。本研究利用 ERS-1 SAR, JERS-1 SAR 数据在胶东地区开展了 SAR 的地质应用研究。初步探讨了 ERS-1 SAR 和 JERS-1 SAR 的参数特性及其对地物显示特征的影响,并在对数据进行处理分析的基础上,提出了唐家泊环形影像异常为古陨击遗迹成因的假说,发现了具构造演化和成矿作用双重意义的韧性剪切带,研究表明,星载 SAR 是一个有效的地质探测工具。

2 数据获取

研究中使用了两种星载 SAR 数据,它们的技术参数详见表 1。由于它们的雷达系统技术参数不同,必然造成它们的图像特征之间的很大差异,为应用研究提供了多方面的信息。

收稿日期: 1994年2月1日;收到修改稿日期: 1994年5月14日

表 1 SAR 系统的技术参数
Table 1 The Parameters of SAR System

数据类型	ERS-1 SAR	JERS-1 SAR
技术参数		
成像时间	1992.4.19	1992.11.18 1993.5.15
平台	卫星	卫星
平台高度 (km)	785	570
波段	C	L
极化方式	VV	HH
视角	23°	35°
距离分辨率 (m)	33	18
方位分辨率 (m)	30	18
辐射宽度 (km)	100	75
所获数据记录方式	数字	数字、光学

3 图像处理

雷达图像记录了地物对微波的后向散射特性。由于雷达发射的是相干波,这些相干波与地物发生相互作用,产生的散射往往造成雷达图像出现斑点噪声,影响图像的质量和使用。因此,滤除雷达图像中的斑点噪声是雷达图像处理的重要任务之一。其次,对于雷达图像的地质应用而言,纹理是一个极其有效的地物识别标志。因此,抑制斑点噪声和提取纹理信息是本研究中图像处理的两大关键技术。

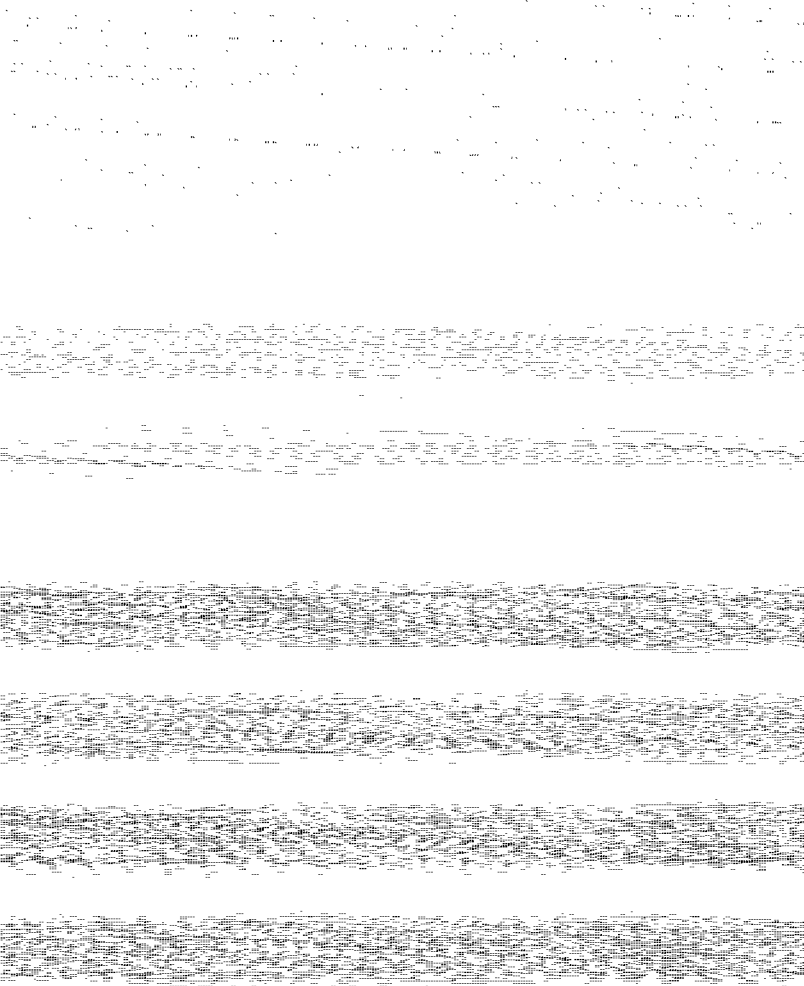
3.1 平抑斑点噪声

平抑斑点噪声,信号级的处理方法是多视平均算法,而图像级的处理,则普遍采用各类自适应滤波方法,即对每一像元根据其局域灰度统计特征而采用相应的平滑函数,它所摒弃简单的平滑滤波算子,是为了能够在平滑噪声的同时尽可能地保留边缘信息。

我们研究了一种既保留甚至突出边缘又平抑了噪声的自适应滤波方法,暂名之为:边缘提取的方向溶解滤波,它的执行分为两步。

第一步是提取边缘点,先对雷达图像做简单的边缘增强处理(预处理),然后以某一灰度值为界,将图像二值化,在这种二值图像上绝大多数的边缘依然保留着,确定一个像元是否为边缘点靠的是灰度共生矩阵,即在一个较小的窗口内,如在窗口中心的像元是边缘点时,则不同灰度(这里仅有两值)像元沿某一方向相邻情况的出现次数在一特定范围内。如在一个 5×5 窗口内,设像元灰度值为 0 或 1,如果中心像元位于一连续边缘上,则沿 X 轴正向 0 与 1 相邻或 1 与 0 相邻,沿 Y 轴正向 0 与 1 相邻或 1 与 0 相邻这 4 种情况,应至少有一种情况的出现次数为 5,考虑到边缘本身可能不连续及其它因素的影响,阈值要适当放宽。这一步的最终结果是生成一幅参考图像,标记着边缘点和非边缘点。

第二步是平滑的过程,对每一像元,先由参考图像确定其是边缘点还是非边缘点。对于非边缘点,直接以其邻域灰度均值代替原灰度值,在求均值时,不将进入邻域的边缘点计算在内。对于边缘点,则做方向溶解,即对灰调界线沿界线的一侧做平滑,对灰调线沿



(1) 明显改善表面目标的显示效果,原图像中的灰调转化成了颜色,噪声被很好地平抑了,因此这种复合图像比密度分割优越得多。

(2) 边缘轮廓更突出,复合图像有“勾边”的效果。某些在原图较模糊的线性特征可被增强,这是由于原线性特征的不同性质边缘点可具有相似的纹理测度,这就改善了其连续性。

4 SAR 系统参数及成像效果对比

雷达图像亮度的大小取决于雷达回波强度的变化,雷达后向散射系数 σ° 定量地表征了这种回波强度,而散射系数 σ° 则主要由二类参数决定,一类是系统参数,包括雷达系统的波长、极化和视角,另一类是目标参数,包括目标的表面粗糙度和复介电常数,我们知道 ERS-1 SAR 和 JERS-1 SAR 系统参数的设计目的不同,前者主要用于海洋环境,设计成 C 波段, VV 极化,小视角,而后者用于陆地资源探测,设计成 L 波段, HH 极化,较大视角。由此而造成了两种图像间的较大差异,在胶东地区星载 SAR 应用研究中,我们认为两者在水体显示和地形特征刻画能力方面的区别最为明显。

陆地水体,在无风或微风的情况下,相对微波的波长而言为静止水面,因此在多数雷达图像上水体为暗色或黑色,但研究中所用的 ERS-1 SAR 图像,不仅海面呈现强回波,而且陆地水体也呈亮色调,与 JERS-1 SAR 图像明显不同,在大多数情况下,散射系数随入射角的减小而增加;当水面的起伏变化与波长相比为一小量时,水体对 VV 极化的后向散射系数大于对 HH 极化的后向散射系数^[1]。加之水体的高介电常数,只需水体非静止,则鉴于 ERS-1 SAR 的 VV 极化方式,水体的高介电常数,相对于 JERS-1 SAR 的较短波长,(对于 JERS-1 SAR 为平滑表面的,对于 C 波段的 ERS-1 SAR 可能为微粗糙表面),尤其是 ERS-1 SAR 仅 23° 的小入射角,使其对水体表面的状况极为敏感,而呈亮灰调。

对比招远地区的 ERS-1 和 JERS-1 SAR 图像,有 2 个明显特点,一是 ERS-1 SAR 反映了更多的末级水系沟谷的信息,具有比 JERS-1 SAR 更强的刻画地形细微变化的能力;二是它们的照射方向相当接近,均为由西向东,照亮的都是山体的西坡,因此西坡会由于透视收缩而短于其实际应有的长度,而当斜坡坡度相对于波束入射角为负时,(坡度角 - 入射角 ≥ 0),则会使坡顶成像于坡底之前,这种现象称为雷达叠掩^[2],两者尽管照亮的都是山体的西坡,但由于 ERS-1 SAR 的小入射角,因此造成了更多的雷达叠掩和透视收缩,反映了更多的地形细微变化特征和末级水系沟谷信息^[3]。

5 韧性剪切带的雷达影像特征及其地质意义

胶东试验区的胶北地区中部,分布了一系列的近东西向的韧性剪切变形带,其中以东尹-西林韧性剪切带影像特征最为明显,城子水库南次之,母山后和栖霞北两韧性剪切带影像特征不够突出,但野外证据充分,说明了这种类型的构造在这个地区存在的普遍性。初步研究证明这些韧性剪切带在地质背景、构造性质、元素地球化学演变等方面均具区域

地质意义,可以大范围内进行影像特征和地质特征对比,为试验区内的构造研究及进一步找矿提供重要的参考依据。

东尹-西林韧性剪切带在 JERS-1 SAR 和 ERS-1 SAR 图像上均表现为有细密碎花纹的直线状,往东向北延伸的亮带(封四图 2)。细密碎花纹影像是由片理化的斜长角闪岩形成的微地貌特征的反映,而亮带图像特征则是由于韧性剪切带内的结晶糜棱岩和硅化岩石抗风化能力强,形成带状分布的正地形而造成的。

5.1 东尹-西林韧性变形带的基本特征

东尹-西林韧性变形带位于栖霞县城北 12km,近东西向展布,长约 10km,变形带中广泛出露经强烈变形的超糜棱岩、糜棱岩或它们的交代残留体。据糜棱面理或与之平行的变形石英脉体产状测定,变形带倾向南,倾角 45° — 65° 。

变形带北侧出露地层为胶东群 (Ar_j)-齐山群 (Pt_{1q}) 绿岩,岩性为斜长角闪岩、斜长角闪片麻岩、云母片岩等。变形带南侧为臧家庄中生代火山盆地,出露岩石为白垩系 (K_1) 紫红色凝灰岩、火山角砾岩、火山集块岩等,其产状为: 20° \angle 52° 。白垩系地层不整合于 Ar_j - Pt_{1q} 和 Z_p (蓬莱群)之上。变形带西北部大片出露燕山晚期的郭家岭花岗岩体。

变形带兼具南北挤压及左行平移的斜向逆冲作用,根据变形带中心糜棱面理与变形带方位具较长距离平行展布这一特征,推测变形带水平位移分量大于 300m。沿变形带分布有一连串的花岗斑岩侵入体,局部可见花岗岩斑岩与糜棱岩呈渐变过渡状态,推测变形带形成时代至少早于郭家岭岩体的形成时代。

经显微镜下鉴定,发现了绥带构造、细粒化作用、退糜棱岩化作用、增温变形作用,由此确定其为糜棱岩或超糜棱岩。

在不同的地质作用下,岩石必定从宏观和微观上出现结构和构造上的差异,雷达影像或多或少地记录了这种差异,并从图像色调、结构等影像特征等方面把这种差异反应出来。

5.2 变形带构造组合

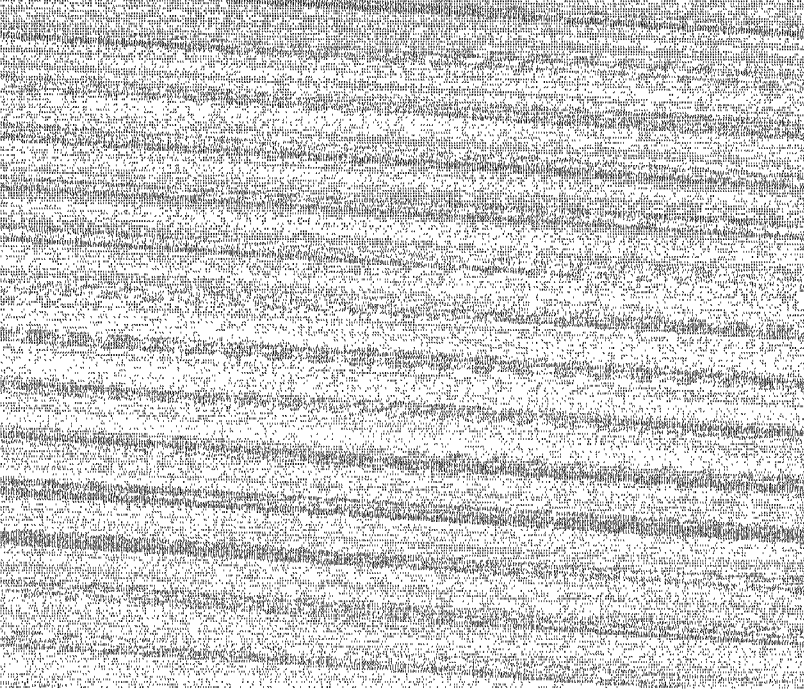
变形带经退变质作用,硅质成分增加,硬度相应提高。但岩石破碎强烈,极易沿面理或密集的脆性节理面裂开。密集的节理是后期叠加的产物,有固定的方位和分布规律,在相当大的范围内稳定出现。总体走向近南北,动向为左行平移。区内典型的出露点有:(1)翁留村西水库边的南北向左行叠加断裂错开东尹-西林变形带,破碎角砾岩带宽数米,并导致变形带中的片理转倾向西,局部有拖曳现象;(2)大韩家附近的南北向破碎硅化带,在角闪斜长片麻岩中有其派生的密集节理,据组合关系判断,主断裂应是左行平移;(3)勾山水库西侧的岩石露头上有数条南北向平行断层,断面上具水平擦痕,动向亦为左行。综上所述,区内南北向左行断裂构造较发育,是区内构造演化特定阶段的产物。其形成时代应为东尹-西林韧性变形作用之后,郭家岭岩体形成之前。

5.3 矿化特点

在剪切带内发现了多处矿化现象,采样分析结果如表 2。

说明糜棱岩对金元素及其伴生元素有明显富集作用。

东尹-西林变形带中的各种变形构造,在剔除了后期的叠加构造后,表现为有规律的 R-P 构造组合,这是持续韧性变形带中常见的构造组合,是金元素单向迁移进入韧性变



6.2 地表观察结果

在发现了影像异常后,进行了实地调查,调查发现的现象是常规地质理论难以解释的,根据其影像特征和地面调查结果,我们提出了其为古陨击遗迹的成因假说,也许还有其它的成因可能,但我们目前所做的工作表明,最大的可能性是古陨击坑留下的遗迹:

(1) 具洼地和环形山的地形特征,中间的正地形很可能为冲击反弹形成的冲击锥(Shatton core)。

(2) 可能的冲击锥裂隙已被石英充填,并经后期的构造变形作用的改造。

(3) 地层露头线的不连续性和无序性,图 5 为野外观察信手剖面图,可以明显地看到,地层露头线、层理、裂隙等都极为无序和混乱。这种反常的现象在 4 个野外观察点上以及路旁均出现了,决非偶然,野外工作帮我们排除了人类活动遗迹的可能性,但又无法划为常规的地质现象。

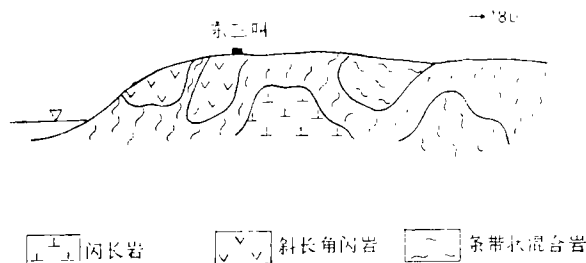


图 5 唐家泊野外信手剖面图

Fig. 5 Field Profile of Tang Impact Crater

(4) 反常的地层层序,花岗岩

覆盖于 Ar-Pt 古老变质岩上,形成无根的花岗岩、闪长玢岩。且闪长玢岩与太古代片麻岩呈冷侵入接触关系,甚至地层倒转等异常地质现象。

(5) 角砾岩呈面形分布,认为是陨击角砾岩在这个局部地区广为分布。

6.3 显微镜下观察

经显微镜下观察,太古代岩石中的石英颗粒均有波状消光现象,在太古代胶东群富阳组浅色斜长角闪岩中发现了可疑的玻璃质:正交镜下永久消光。呈丝带状沿裂隙分布,边缘有波状消光(脱玻化)。在陨石快速撞击岩石的时候,由于撞击产生的巨大冲击压力使有序的石英中的 SiO_2 分子转化为无序的玻璃。我们认为这一可疑的玻璃质是击变玻璃。

胶东地区长期以来一直处于抬升剥蚀状态,缺失古生代地层即为例证,遭受陨石撞击而留下陨击坑的可能很大。机会也比较多,在唐家泊地区的古老变质岩中陨击坑的存在具有必然性。如果看一下从水星、金星、火星及月球拍回来的照片,不难发现陨击坑是它们表面的一种最为普遍的地貌现象,作为太阳系中的一员,地球也不例外,只是由于大气和水的风化剥蚀作用以及地球活跃的造山运动,重造了很多的地球表面,使得地球表面变化很大,得以保存下来的陨击迹象很少,但它们的存在是不容置疑的。

7 地质应用及效果评价

雷达图像在胶东地区的地质探测中发挥了重要作用,除了发现了韧性剪切带和唐家泊古陨击遗迹以外,ERS-1 SAR, JERS-1 SAR 在岩性识别、构造分析和矿产调查方面均有独到的贡献,是一种非常有效的地质探测工具。

7.1 岩性识别

由于雷达图像的侧视特点,使得雷达图像的立体效应比其它类型的遥感图像强,对于地形的变化具有十分细致的刻画能力,无论是大尺度的地形地貌,如河谷、盆地,还是小尺度的水系沟谷,均是地球内外动力联合作用的产物,与一个地区所经历的构造变动及岩石类型有着密切的联系。通过对不同岩石类型的微地形及水系沟谷模型的分析,共区分了郭家岭岩体、玲珑岩体、毕郭岩体、太古代、太古代—元古代、元古代变质岩系、侏罗系、白垩系等岩石类型。尤其是对闪长岩、闪长玢岩等非花岗岩类侵入岩识别效果尤佳,纹理特征明显,易与其它岩石类型区分。

7.2 构造分析

ERS-1 SAR 和 JERS-1 SAR 图像对断裂构造的探测是十分成功的。对照该地区 1:50 万地质图,所有已知断裂均清晰明显,历历在目,同时,还发现了一些未知的断裂,经野外调查证实了它们的存在。

大韩家(马蹄奔—温石汤)挤压断裂:断裂走向 $NE20^\circ$,与雷达波束照射方向几近垂直,断裂形成的河谷,两岸地势陡峭。ERS-1 SAR 的视角只有 23° ,只要坡度大于 20° ,就会产生雷达叠掩。因此,断裂朝向雷达波束一侧为雷达叠掩区,形成明亮的白色线性影像。野外验证时,在河谷底部,发现强烈挤压破碎,状似碎“豆腐块”的断层岩、断层角砾岩。其原岩为胶东群变质岩。这是胶东地区 NNE 向主干断裂之一,与该地区的成矿作用有密切关系,是该区金矿的控矿构造。

7.3 平原区金矿化带影像特征

三山岛幅 JERS-1 SAR 数据是通过中日合作于 1993 年 10 月收到的。对其初步分析表明,胶东地区两条最大的金矿化带在 JERS-1 SAR 图像上的影像特征非常突出。三山岛断裂破碎带为一黑色条带,往北延伸,则变细变窄。断裂带两侧色调不同,焦家断裂破碎带为一连续性略差的暗色条带,在莱州市正北,暗色条带较粗,它的南延部分与 1:50 万地质图标绘的不同,地质图上,断裂在莱州市的东北方转向东延伸,但在 SAR 图像上则表现为继续南延,并且发育成了两条平行的断裂构造带。

8 结论与讨论

通过对 ERS-1 SAR 和 JERS-1 SAR 图像的处理分析,结合野外的调查验证,我们认为星载 SAR 是十分有效的地质探测工具,在胶东地区的地质应用研究中发挥了积极作用。不仅利用 JERS-1 SAR 图像发现了唐家泊古陨击遗迹,而且还发现了对于认识胶东地区金矿成矿规律有重要意义的一些东西向韧性剪切带。文中所述东林—西尹剪切带是其中较为典型的代表,城子水库南边的韧性剪切带表层采样分析结果最高品位达 $1.41g/t$,已接近工业品位 ($3g/t$),这个方向展布的韧性剪切带起到了富集金元素的作用。同时,对于这个地区的 NE 和 NNE 向控矿构造在星载雷达图像上也有很好的显示。并且还发现了地质图上没有标绘的 NNE 向断裂。在岩性识别方面,雷达图像也有一定的优势。尽管,由于雷达成像几何特性的影响,造成了一定的畸变和识别某些地物的困难,但星载 SAR 在胶东地区的运用仍然是很成功的。

参 考 文 献

- [1] F. T. Ulaby et al. *Microwave Remote Sensing*. Vol. II, 1982.
- [2] 郭华东, 雷达图像分析及地质应用. 科学出版社, 1991.
- [3] 邵芸. 雷达图像的宏观纹理分析和地质应用效果. 见: 机载雷达遥感应用试验研究. 中国科学技术出版社, 1992.

The Geological Detection of Spaceborne SAR in Jiaodong Region

Shao Yun, Guo Huadong, Liu Hao

(Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences)

Shi Huosheng

(Department of Geosciences, Nanjing University)

Abstract This paper summarizes the geological and image processing results achieved by the Spaceborne SAR for Geological Applications program. In use of ERS-1 SAR and JERS-1 SAR data, some of the ductile shear deformation zones in EW direction were found in Jiaodong Region, one of the most typical shear zone has detailed expression in this paper. The shearing movements in this direction played an important role in gold enrichment in Jiaodong Region. On the basis of the image analysis, ground truth checking and microscope observing, a hypothesis on Tangjiapo impact crater were raised. Meanwhile, the image processing methods of noise depression and texture analysis were developed.

Key words Geological detection, Spaceborne SAR data, Impact crater