

DOI: 10.3969/j.issn.1672-0636.2012.01.009

成像雷达技术在铀矿勘查中的应用

武 鼎, 张杰林

(核工业北京地质研究院, 遥感信息与图像分析技术国家级重点实验室, 北京 100029)

[摘要] 综合评述了成像雷达技术的发展历史、技术优势及其在地质构造、岩性识别等地学应用领域的研究现状, 指出成像雷达技术作为当前遥感对地观测前沿技术之一, 在新时期铀矿地质勘查中发展前景广阔。

[关键词] 雷达遥感; 铀矿勘查; 地质构造识别

[中图分类号] TP79; P619.14 [文献标志码] A [文章编号] 1672-0636(2012)01-0052-05

Application of imaging radar technology to uranium exploration

WU Ding, ZHANG Jie-lin

(National Key Laboratory of Remote Sensing Information and Image Analysis Technology, Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, China)

Abstract: The history of imaging radar technology development, technical advantages, current technology research status of lithologic identification in remote sensing land geological field have been comprehensively evaluated on this thesis. The results show that imaging radar technology is one of the frontier techniques of observation, has a brilliant future in uranium exploration.

Key words: radar remote sensing; uranium exploration; geological structure identification

雷达遥感技术是一种利用微波波段(波长范围 1~30 mm)进行遥感对地观测技术手段, 根据其工作原理可分为主动式和被动式两大类。主动式微波遥感是利用传感器自带的发射器发射微波脉冲, 并接收地物散射反射回来的辐射, 包括成像雷达、散射计、高度计; 被动式微波遥感是传感器直接接收地面目标的微波辐射, 如微波辐射计等。

自从国际上第一部成像雷达问世之后, 美国、巴拿马等国成功进行了多次机载雷达遥感飞行试验, 使得成像雷达技术取得了重

要的进展。20 世纪 80 年代初, 星载成像雷达在地质应用领域的研究逐渐活跃, 除机载雷达遥感特有的技术优势外, 在地形测绘和制图学方面, 星载成像雷达的快速大面积成像和几何失真较小的技术特点, 使得成像雷达在岩性识别和构造分析中发挥出了突出作用, 对于常年被浓雾和云层覆盖的区域尤其有效。另外, 星载成像雷达还被用来研究地质结构、岩性分布, 并可以识别地下隐伏地质体、隐伏构造地物的信息, 从而对光学遥感手段进行有效的补充, 在一定程度上弥补了光学遥感的不足。

[收稿日期] 2011-11-28; [修回日期] 2011-12-28

[作者简介] 武 鼎(1985—), 男, 湖南长沙人, 硕士研究生, 主要从事雷达地质应用工作。

随着新型成像雷达技术的发展, 雷达遥感技术在地质学方面的应用越来越深入, 雷达信息获取及数据处理手段和方法越来越完善, 雷达遥感的技术优势使得它在地壳形变、矿床勘查等地学领域得到了越来越多的应用。

1 成像雷达地质应用现状分析

微波遥感由于其不同于可见光、热红外的独特成像机理, 近年来发展迅速, 被广泛应用于灾害监测、农林业调查、测绘、地质勘查、大气研究等领域。成像雷达对地观测技术在构造分析、区域地质制图、岩性识别、矿床勘查等地质学中应用广泛, 取得了一系列的成果和认识。

1.1 成像雷达技术构造识别应用

成像雷达的侧视成像方式能使特定方向展布的地质构造在雷达图像上得到增强, 当雷达波束方向与观测区的主要线性构造方向垂直时, 可以增强线性构造。因此, 雷达数据对于线性构造的探测具有独特的技术优势。无论是星载、机载、还是 HH、VV、VH、HV 等不同极化方式、不同波段的雷达图像, 在线性地质体的识别与分析中都起到了很大作用。

埃及遥感与空间科学部、美国德克萨斯州大学岩石圈研究中心利用 Landsat TM 图像数据和 SIR-C/X 图像, 研究埃及西南部撒哈拉沙漠西部的阿拉基构造蚀变带, 并用密度分割法, 编制了构造蚀变带周边铁化和黏土化蚀变指数图, 成功识别了新的矿化蚀变地区, 雷达遥感地学应用效果显著^[1]。

中科院对地观测中心利用 SIR-A 图像, 在内蒙古洪古尔玉林地区发现了含金构造带, 主要依据是, 该构造带微波散射特征强, 在雷达图像上呈线性展布的高亮度异常。中科院遥感应用研究所在四川隆武地区, 利用 SIR-C 合成孔径雷达彩色图像 (L-HH: R、L-HV、G、C-HV、B), 有效地增强了线性构造信息, 合成图像色彩鲜艳、立体感强, 对线性地质构造有较好识别效果^[2]。美国地质调查局利用成像雷达技术发现了撒哈拉大沙漠下的古河道和古人类遗迹, 以及沙漠中被冲积扇所埋藏的岩墙。

印度尼西亚的万隆科技研究所地球物理

能源部、日本千叶大学环境遥感中心等均利用 JERS-1 和 ASTER 数据, 获得了印度尼西亚油气资源大省——爪哇省炽布区的地质构造, JERS-1 数据经过辐射校正、几何校正、图像锐化增强后, 结合 ASTER 图像, 解译发现了 11 个背斜构造, 其中包括一个错断背斜构造^[3]。

1.2 成像雷达技术岩性识别应用

雷达遥感图像主要依据图像上的色调、图型、地貌形态、纹理和微波散射强度的差异来识别地物。不同地物其表面粗糙度和复介电常数不同, 对雷达波的后向散射强度也不同, 因而在图像上呈现为不同的色调。一般来说, 雷达图像的色调取决于雷达回波的强度, 而引起雷达回波强度变化的主要参数为岩石的复介电常数、地表粗糙度和地形特征。介电常数越大, 雷达回拨作用越强, 而回拨作用越强后, 其穿透能力越小, 进而造成后续散射越强, 图像色调也越浅; 反之越深。表面粗糙度是岩石物质成分的表现显示特征, 它是决定该类岩性在雷达图像上色调显示的重要因素, 而岩石类型又对微波物性参数起着控制作用, 影响着研究区断裂构造发育、水系分布及植被发育, 从而形成了研究区雷达图像特有的纹理结构^[4]。因此, 根据雷达图像的灰度、纹理等特征, 结合光学遥感和其他地学信息, 可以准确识别不同岩性。

核工业北京地质研究院利用 Radarsat 成像雷达数据、航空放射性数据和 ETM 第 6 波段热红外数据进行融合, 综合研究鄂尔多斯盆地北部砂岩型铀矿区构造发育特征及含矿层空间分布特征等。在融合图像中, 2081 矿区东北部和南部预选区, 成矿目的层——直罗组砂岩影像色调 (红色调) 突出, 异常特征明显; 2081 矿区南部边界控矿断层区表现为近 EW 向展布的均匀纹理的绿色条带, 与周边地物纹理特征、热场特征及能谱特征等明显不同^[5]。

中科院对地观测中心利用成像雷达数据对湖南陶岭地区进行了岩性识别研究, 解译出了 6 种岩石单元, 研究结果与 1:20 万地质图相吻合; 中科院遥感应用研究所在张家口地区的多极化合成图像上, 成功地识别出了覆盖在混杂岩体边缘的更新世黄土状沙土沉积^[6]。

1.3 成像雷达遥感铀矿勘查研究现状

核工业北京地质研究院在伊犁盆地、江西铀矿田、新疆雪米斯坦、纳米比亚槟榔湖等地区利用 Radarsat 成像雷达数据开展了系列铀矿地质勘查研究^[7-8]。在伊犁盆地,综合利用包括成像雷达在内的各种遥感技术手段,通过对比分析构造带两侧图像的色调异常,成功识别了研究区与铀成矿密切相关的局部排泄带;在江西桃山地区,利用 ETM 多波段光学遥感影像数据与 Radarsat 精细模式成像雷达数据,通过纹理特征分析及光学与微波信息融合技术,开展了桃山花岗岩型铀矿田主要控矿断裂带遥感影像分析,为该地区铀成矿条件遥感地质评价提供了基础;在纳米比亚槟榔湖地区利用 Radarsat-2 精细模式数据和 ASTER 可见光-热红外遥感影像数据,综合研究了区域控矿构造、古河道与钙结岩空间分布,编制的相关遥感地质图件在区域铀成矿环境综合分析研究中发挥了重要作用。

2 成像雷达数据分析关键技术及应用

如前所述,成像雷达技术是主动遥感,不依赖于太阳光源,一定程度上可以全天时、全天候工作,适用于我国南方多云多雨、北方干旱沙漠覆盖等地区的遥感应用研究。同时,雷达接收的地物后向散射信息,反映的是地质体几何特性和介电特性,其通过阴影和后向散射特性重点突出了地形特征,特别是与波束照射方向垂直的线性体特征,十分有利于隐伏地质构造解译^[9-10]。另外,微波对地表具有一定的穿透能力,当传感器发射脉

冲信号到达地面时,一部分脉冲信号穿透地物,进入到物体内部,电磁波的穿透能力与雷达波长成正比,与物质的含水量密切相关。电磁波对潮湿的土壤只能穿透几厘米,对干沙能穿透几十米,对冰可穿透达上百米,该特性对探测地下物质十分有效,特别是含水断裂构造^[11-12],因此,成像雷达技术在隐伏铀矿勘查中应用前景广阔。

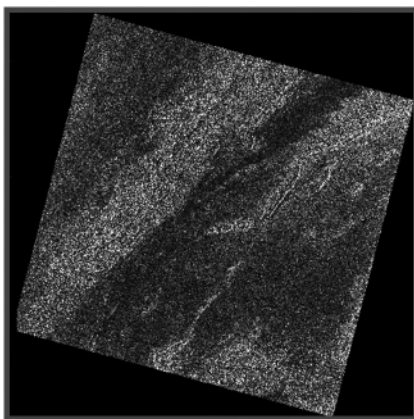
依据成像雷达遥感上述技术优势,其在铀矿勘查应用中的关键技术主要包括:

(1) 成像雷达数据特性处理技术

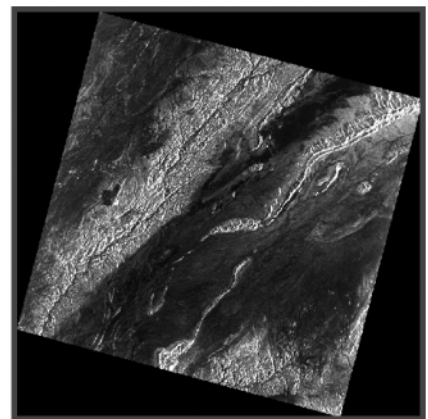
雷达遥感数据获取过程中都伴随着不同程度的畸变、失真等现象,这些失真、畸变现象会导致图像质量下降,严重影响图像的使用效果(图 1)。因此,滤波除噪、不同极化方式地物可诊断特性识别等雷达遥感特性处理技术研究,是实现雷达数据高精度校正和成矿地质要素高效提取的关键和基础。

(2) 成像雷达与光学数据融合技术

成像雷达和光学遥感由于获取地物波谱特征方式和波段探测范围不同,所以在表达地物电磁波特征方面有很大的差异(图 2)。二者融合处理的目的是将雷达数据的纹理和极化信息与光学遥感地物光谱信息进行集成,最大限度地显示地物各种电磁波谱特征,从而准确识别不同地质体,如控矿构造、含矿层、含矿体、矿化蚀变带等。图 2c 为光学图像与雷达数据融合图像,可以看出融合图像综合了两者的优点,与雷达图像相比,融合图像具有更好的视觉解译效果,立体感更强,



a

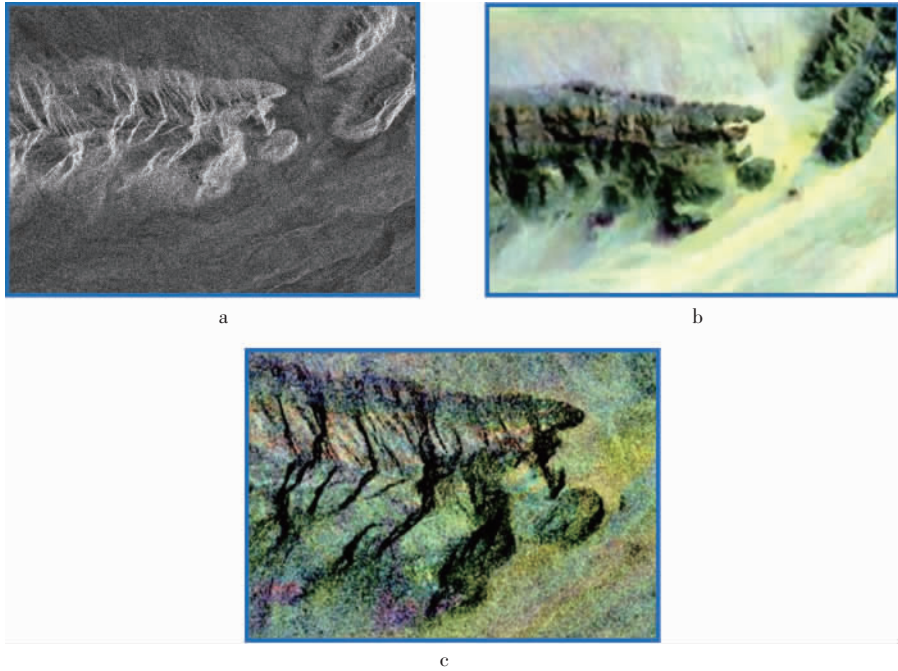


b

a——岩体滤波前图像; b——岩体 Lee Sigma 滤波后图像。

图 1 滤波效果对比图

Fig. 1 Comparison of filter result



a——Radarsat-2 数据; b——TM 图像; c——融合数据。

图 2 光学图像与雷达数据融合图像对比图

Fig. 2 Comparison map of fusion image of optical image and radar data

与光学图像相比, 融合图像分辨率更高, 线性特征更加明显, 更适合于信息的提取。

(3) 关键成矿要素信息提取技术

在上述成像雷达数据特性处理和微波-光学数据融合技术的基础上, 结合区域铀成矿条件和铀成矿要素综合分析, 开发基于光谱维和空间维的成矿要素微波-光谱信息综合提取技术, 充分发挥多传感器的遥感技术优势, 提高雷达数据为主的多种遥感数据地质解译能力, 为区域铀成矿地质环境、铀矿床时空分布规律、铀成矿预测等研究提供必要的遥感信息和技术支持。

3 结论与展望

遥感技术作为现代对地观测前沿技术之一, 在我国铀资源勘查与评价中发挥了重要作用。但随着铀资源勘查不断深入, 隐伏地质体识别成为当前地学研究的重点之一。由于传统光学遥感技术传感器波谱范围所限, 在隐伏地质体探测方面具有一定的局限性, 因此, 如何充分发挥具有一定穿透能力的雷达遥感技术优势, 是目前铀矿勘查遥感地质研究的重要方向之一。

目前, 成像雷达对地观测技术已经在包括

铀矿在内的矿产资源勘查中得到了应用, 但相对于可见光-热红外等光学遥感技术在构造、岩体、地层、蚀变等方面取得的显著成果而言, 其高精度数据处理与定量化地学应用等方面尚需深化研究, 因此, 创新开拓成像雷达遥感技术基础性、前瞻性新技术新方法, 对于深部铀资源勘查中的隐伏地质体探测、隐伏构造含水信息识别等研究具有重要意义。

[参考文献]

- [1] Talaat M Ramadan, Hoda M Onsi. Use of ERS-2 SAR and landsat TM images for geological mapping and mineral exploration of Sol Hamid area, south eastern desert, Egypt. [EB/OL]. (2003-01-30) [2011-12-21]. <http://earth.esa.int/workshops/polinsar2003/participants/ramadan46/Ramadan>.
- [2] 赵珍梅, 李祥强, 雷华, 等. 雷达与多光谱图像融合技术在矿产勘查中的应用研究[J]. 地质与勘探, 2007, 42(2): 82-87.
- [3] Parnadi Wahyudi W, Rusli Salim, Wikantika Ketut, *et al.* Processing and interpretation of JERS-1 Synthetic Aperture Radar(SAR) image of Cepu and its surrounding areas, Central Java Province, Indonesia [EB/OL]. [2011-12-21]. <http://www2.cr.chiba-u.jp/symp2005/documents/Postersession>.
- [4] 王郁, 杨景元. 雷达遥感在澜沧江中下游地区锰

- 矿调查评价中的应用[J]. 地质找矿论丛, 2002, 17(4): 271-276.
- [5] 张杰林. 基于信息融合的铀矿床遥感数据挖掘技术[J]. 世界核地质科学, 2004, 21(2): 93-98.
- [6] 陈立泽, 申旭辉, 田勤俭. 合成孔径雷达(SAR)及其在地质和地质研究中的应用[J]. 地震, 2003, 23(1): 30-36.
- [7] 黄贤芳, 黄树桃, 潘蔚, 等. 伊犁盆地南缘可地浸砂岩型铀矿床远景地段的影像特征及识别[J]. 铀矿地质, 1999, 15(5): 286-293.
- [8] 张杰林. 桃山铀矿田铀成矿要素光谱特征分析[J]. 世界核地质科学, 2007, 24(4): 216-221.
- [9] 单新建, 李建华. 遥感地质与干涉形变监测[M]. 北京: 地震出版社, 2009: 142-143.
- [10] 谭衢霖, 绍芸. 成像雷达(SAR)遥感地质应用综述[J]. 地质找矿论丛, 2003, 18(3): 59-65.
- [11] 李天华, 廖崇高, 杨武年, 等. TM 与 SAR 图像融合处理及在高原区调中的应用[J]. 地质找矿论丛, 2003, 18(4): 265-268.
- [12] 卜方玲, 许新. 一直基于小波分析的 SAR 图像斑点噪声滤波算法[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2001, 18(4): 315-330.

(上接第 15 页, Continued from page 15)

脉的充填和交代作用与成脉裂隙的形成是同时发生的^[4]。A.尼古拉认为,除了地壳最表层的破裂之外,所有的张破裂都由液压或有液压参与的断裂作用形成^[1]。大地应力测量也表明,地壳中几乎不存在张应力,只有剪应力^[2]。沙子江和孟公界花岗岩型脉状铀矿床矿脉的张性特征表明容矿断裂的形成除差异应力外,必须要其他因素的参与,矿液的液压能起到这种作用。

矿液致裂作用导致不同含铀硅质脉型(大脉与网脉,细脉)交替出现并有多期活动,说明它们形成时流体压力有一定差别,这种差别主要与矿液上升过程中的压力旋回及矿液补给有关。压力增加导致岩石破裂,岩石破裂又会增加渗透性,从而导致压力的下降,这种过程循环往复就是压力旋回。矿液致裂在岩石中形成的裂隙迅速被热液流体充填,进而形成含铀硅质脉。由于裂隙与脉在形成时间上接近,并具有成因联系,笔者称之为裂隙—脉系统。在裂隙—脉系统中,早期矿液补充不充分,压力有限,只能形成浅色硅质细脉和网脉条带,并且这种条带在矿脉的中心部位较多,在矿脉的边缘部位较少,推断矿脉的形成是由中心向边缘不断脉动扩展而成。晚期深部含矿硅质溶液再次聚集,矿液补给充分,并能较长时间保持较大的压力,形成沥青铀矿大脉及黑白相间的脉中脉和平行复脉。晚期含矿黑色硅质溶液注入含矿浅色硅质脉中有多种情况:(1)在浅色硅质脉完全凝固以后裂开注入。在没有交代作用的情况下,浅色硅质脉和含矿黑色硅质脉形成边

界明显的复脉;若有交代作用,则形成边界不明显的复脉。(2)在浅色硅质脉没有完全凝固时裂开注入,含矿的黑色硅质脉将浅色的半凝固硅质搅动成呈飘浮状的夹石。在硅质脉夹石的破裂孔隙中,还可形成辉锑矿和萤石的晶洞。有些矿脉的围岩有平直的断层泥带和局部的片理化带,这是成矿后剪切活动的产物。

4 结 语

脉状矿床成矿动力学研究,起步不久,成果不多。矿液致裂作用为构造地质、矿田构造及矿床成因研究提供了新思路。苗儿山成矿区铀矿床是产于花岗岩体中与矿液致裂有关的脉状铀矿,对于铀成矿动力学来说,它还是一个新类型,值得进一步深入研究和总结。华南有大面积的花岗岩分布,进一步深入研究这一类型矿床,有重要的理论与找矿意义。

[参考文献]

- [1] 尼古拉 A. 构造地质学原理[M]. 北京: 石油工业出版社, 1989: 20-29.
- [2] 兰姆赛 J G. 现代构造地质学方法(第 2 卷): 褶皱和断裂[M]. 北京: 地质出版社, 1985: 312-344.
- [3] 方适宜. 剪切带型铀矿床脉矿三维模型及盲矿预测[C]//第 8 届全国矿床会议论文集. 北京: 地质出版社, 2006: 372-375.
- [4] 方适宜. 异常成矿构造聚敛场: 花岗岩型富大铀矿床形成的特殊构造环境[J]. 中南铀矿地质, 2003, 17(2): 45-54.