

光-能谱集成技术系统及其地质应用

刘德长 叶发旺 赵英俊 罗毅 冯明月

1 引言

随着遥感、物探、化探、地质等地学信息获取技术的快速发展,各种不同性质的地学信息越来越丰富。如何进行信息的系统集成,最大限度地挖掘赋存在各种地学信息中的有用信息,为基础地质调查、矿产勘查服务一直是地学信息技术应用领域研究的重要课题。本文将航空放射性伽玛能谱信息与遥感信息,通过遥感图像处理系统进行了融合。然后,通过 GIS 技术将上述融合信息及其解译成果与重力、磁力、地质等信息进行复合,并结合铀资源勘查进行了应用,取得了很好的应用效果,从而为多源地学信息技术的综合应用提供了一条重要的技术途径。

2 遥感信息与航空放射性伽玛能谱信息的集成

遥感图像既具丰富的光谱信息,又有丰富的纹理信息,在地表构造识别方面具有明显的优势,在裸露区区分岩性、蚀变、铀矿化等成矿要素效果好,尤其是随着高光谱遥感技术的发展,其光谱信息更加丰富,在岩性分类,不同矿物识别等方面具有更佳的应用效果。然而,在植被覆盖较严重或找矿目标层出露比较有限的地区,进行遥感技术地质填图和铀资源勘查应用时,应用效果受到了明显的影响。航空放射性伽玛能谱信息,反映的是不同岩石、地物的放射性强度,在区分岩性和蚀变现象方面效果好,且受植被干扰少。但它反映地形、地貌不明显,识别断裂构造的效果差。据此,进行了多光谱遥感与航空放射性伽玛能谱信息的集成技术研究,其中包括多光谱遥感与航放信息的(光-能谱)集成(Multi-spectrum—Radioactivity, MR 集成),多光谱遥感-雷达遥感-航放信息的集成(Multi-spectrum—Synthetic Aperture Radar—Radioactivity, MSR 集成)和高光谱遥感-雷达遥感-航放信息的集成(Hyper-spectrum—Synthetic Aperture Radar—Radioactivity, HSR 集成)。上述三种集成处理主要采用以下方法:

(1) 单信息的处理和专题信息的提取

主要是对遥感信息和航空放射性伽玛能谱信息进行单独处理(图 1),提取其中的有用信息,使不同性质的数据集成效果更好。如通过监督或非监督分类处理,提取遥感图像上反映出来的地层信息;通过主成分分析,提取反映目标对象特征最丰富的成分;通过波段比值和植被掩膜的多级处理,提取反映地表 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 不同富集程度的信息;通过高光谱遥感提

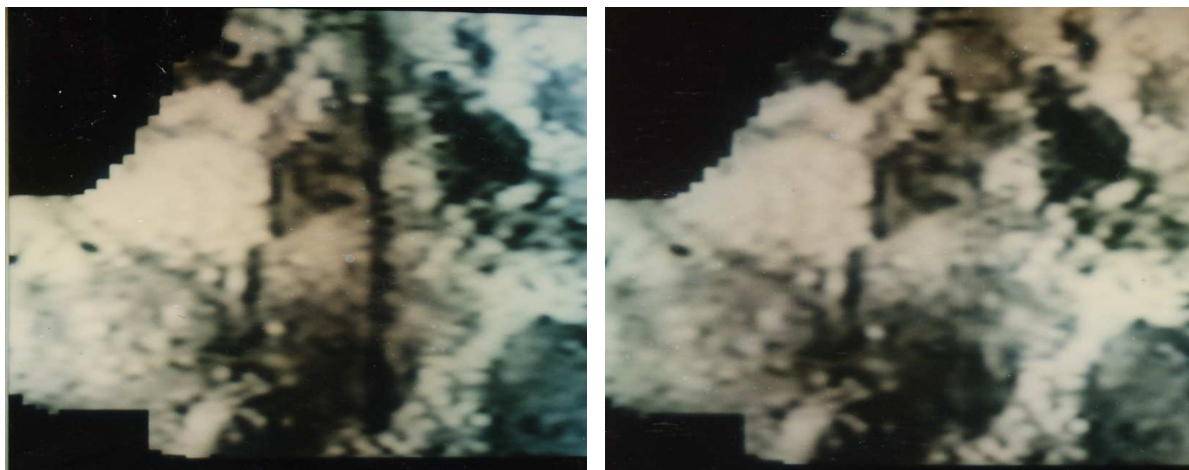


图1 钼道图像去条带效果对比图

(左:原始图像;右:去条带图像)

取高岭土化等粘土矿物的富集和分布信息等,以及通过对雷达纹理定量统计,获取研究区水系分布密度、水系节点密度等信息。同时,航放信息也需进行单信息的处理,如航放信息的影像化、原始铀计算、铀迁移系数计算,以及 U/Th , U/K 等比值计算等。上述处理获得的专题信息不仅可以直接用于铀成矿要素的提取,而且为遥感、航放信息集成提供了重要的基础。

(2) 信息集成方法

上述各种专题信息的集成方法,主要有:①彩色合成,即直接从专题信息中选择出多光谱遥感、雷达遥感、高光谱遥感、航放的专题信息进行 RGB 合成,形成多信息的假色合成影像,为铀资源勘查中各种铀成矿信息提取提供综合信息;②HIS 变换,即选择前述的 3 种专题信息,对彩色合成图像作从 RGB 到 HIS 的彩色空间变换,进行不同性质地学数据的融合,达到遥感、航放信息等综合信息对铀成矿要素信息识别与解译的优势互补;③MPH 处理,即从目标及其与周围地物在遥感、航放等专题信息中的表现特征入手,采用掩膜(Mask)、主成分(PCA)和色度空间变换(HIS)3 种技术有机结合的处理方法^[1]。通过 MPH 处理,不仅可以达到遥感、航放信息这两大类不同性质的信息之间的优势互补,而且可以利用这种互补性,进行特征目标干扰信息的消除,然后进行 PCA 和 HIS 处理,以提高特征目标的提取纯度。

通过上述方法的处理,形成了 MR, MSR 和 HSR 融合图像。这些图像不仅具有遥感信息的地形信息丰富,立体感强,便于定位和解决构造问题的长处,而且具有便于区分岩性、蚀变和铀矿化的优点,充分发挥出信息的互补效应,具有比单信息图像更好的地质应用效果。

3 光-能谱融合数据与物化探、地质等其他地学数据的复合

在前述的 MR、MSR、HSR 融合技术研究的基础上，又对融合图像的解译成果与航磁、重力、地质、地化信息等进行了复合。其研究工作是在 GIS 平台上进行的。由于航磁、重力等地球物理信息是识别基底断裂、深部隆起与凹陷等地质特征的一种重要信息，而遥感图像及其与其他信息的融合图像则在识别浅部断裂方面具有独特的优势。因此，遥感信息与重力、磁力等地球物理信息进行复合，对研究从浅部到深部的地质现象和规律具有特殊的价值，可以促进研究者的创新思维，导致新现象的发现和新规定的认识。

通过上述多源信息的融合与复合，建立了以遥感数据和航放数据为主要信息源，在 MR、MSR、HSR 等数据融合的基础上，再与其他地球物理、地球化学、地质等信息复合的具核工业技术特色的光-能谱集成技术系统，为遥感、物探、化探、地质等多地学信息的综合应用探索出一条新的技术途径。

4 地质应用

利用光-能谱集成技术系统先后在连山关、弓长岭、庐枞、满洲里、东胜等不同植被覆盖条件，不同岩性分布地区进行了地质填图和找矿的试验研究。

连山关地区：



图 2 连山关地区植被覆盖图

为混合花岗岩（1.9 亿年和 23 亿年）和花岗岩（燕山期）地区，植被覆盖严重（图 2），研究程度和工作程度均较高。利用光-能谱集成技术系统对连山关岩体进行了重新划分，认为其由 EW 向展布的吕梁期岩体和 NW 向展布的五台期组成。不仅确定出不同时代混合花岗岩体的形态、轴向，还确定出不同时代岩体的界限。而老岩体的东北部有北大山燕山期花岗岩

体出露。根据从遥感图像上解译的断裂构造与铀影像图上解译的线状体的相关性分析，探讨了从遥感图像上迅速查明与铀成矿有关断裂构造的新方法。通过对该区光-能谱集成图像的解译，远远超出了单纯遥感图像解译和能谱图像的解译效果，将其与本区所填 1：5 万地质图对比，不仅基本轮廓相似，而且在岩体划分和精度方面有所提高。

庐枞地区：

为火山岩地区，植被覆盖严重。通过光-能谱融合图像进行地质填图，划分地层达到段的单位，将浮山组、双庙组、砖桥组三段、砖桥组二段、砖桥组一段-龙门院组、石英正长岩、正长斑岩等岩石地层单元或岩体区分出来。这意味着，利用光-能谱集成图像在植被严重覆盖区进行地质填图的效果可以达到 1：5 万比例尺的精度。

满洲里地区：

灵泉盆地为一火山盆地，为草地植被严重覆盖。从该区航空放射性伽玛能谱对岩性的识别效果来看，U、Th、K 3 个变量合成就取得较好的识别岩性的效果（彩图 A）。但识别地形、地貌和断裂构造的效果差。研究中采用了 MSS 遥感图像 4 个波段与航空伽玛能谱 4 个通道的数据进行分析。

首先对 MSS 数据与伽玛能谱数据间的相关性做了分析，计算了 MSS4、MSS5、MSS6、MSS7、U、Th、K、Tc（总道）8 个变量间的相关矩阵（表 1）。

表 1 MSS4、MSS5、MSS6、MSS7、U、Th、K、Tc 相关矩阵

	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7	U	Th	K	Tc
MSS4	1.000	0.943	0.666	-0.075	-0.413	-0.483	-0.475	-0.478
MSS5		1.000	0.831	0.157	-0.354	-0.410	-0.396	-0.400
MSS6			1.000	0.623	-0.149	-0.166	-0.148	-0.147
MSS7				1.000	0.268	0.325	0.343	0.352
U					1.000	0.850	0.689	0.838
Th						1.000	0.830	0.963
K							1.000	0.916
Tc								1.000

从表 1 可以看出, 除 MSS4 和 MSS7 间的相关系数 $r=-0.075$ 外, $|r| \geq 0.147$, 可见 8 个变量之间存在显著相关性, MSS 数据各波段与伽玛能谱各通道之间是明显相关性, 其相关性不仅取决于地物光谱特征与伽玛能谱的内在关系, 也与这两类数据的形态、结构和展布有关。

多元变量之间的相关性是多元数据 (Karhunen-Loeve) 变换的基础。它可以将多元变量分解成几个信息量递减的互不相关的新变量 (分量)。K-L 变换是在原始信息损失最小的前提下压缩数据维数及提取专题信息的有效方法。

对 MSS4、MSS5、MSS6、MSS7、U、Th、K、Tc8 个变量的合成图像做多元统计, 8 个变量间的协方差矩阵的 8 个特征值分别为 $\lambda = (0.711, 0.196, 0.032, 0.014, 0.004, 0.003, 0.001)^T$, 前 3 个特征值的方差贡献为 $C_{1,2,3} = C_1 + C_2 + C_3 = 0.711 + 0.196 + 0.039 = 94.6\%$ 。因此, 做 K-L 变换后, PC1、PC2 和 PC3 就包含了总信息量中的绝大部分信息。实际计算时, 取输出主成分数为 4, 取前 3 个主成分 PC1 (R)、PC2 (G)、PC3 (B) 合成假彩色图像以后做直方图均衡化, 设计了比较理想的专题图像 (彩图 B)。

彩图 B 中大部分不同的岩层色调有明显的差异, MSS 数据的影像结构也得到了反映。大部分岩性、地层界线清晰, 不足之处是上库力组上段和下段的可分性较差, r_s^2 花岗岩体的边界不够清晰。图 3 是彩图 B 的解译图, 上面叠加了解译的线状和环状构造。第四系覆盖处根据影像特征推断解译了其下的基岩岩性。将该图与原有的用传统地质方法填绘的 1: 20 万地质图对比, 大部分吻合, 鱼脊山岩体与原来图有较大差异。但据野外检验, 证明解译图中鱼脊山岩体的轮廓比 1: 20 万地质图更符合实际 (图 3)。蚀变岩的光谱特征有一个共同的特征, 即 TM5 波段区间具有较高的光谱反射率, 因此取 TM5 作为主要的光谱信息源, 它具有较高的分辨率且含有丰富的蚀变信息。K/Th 比值提供了导致钾富集的蚀变作用的有用信息。灵泉盆地的高钾蚀变主要有钾长石化、石英岩化、硅化、绿泥石化。

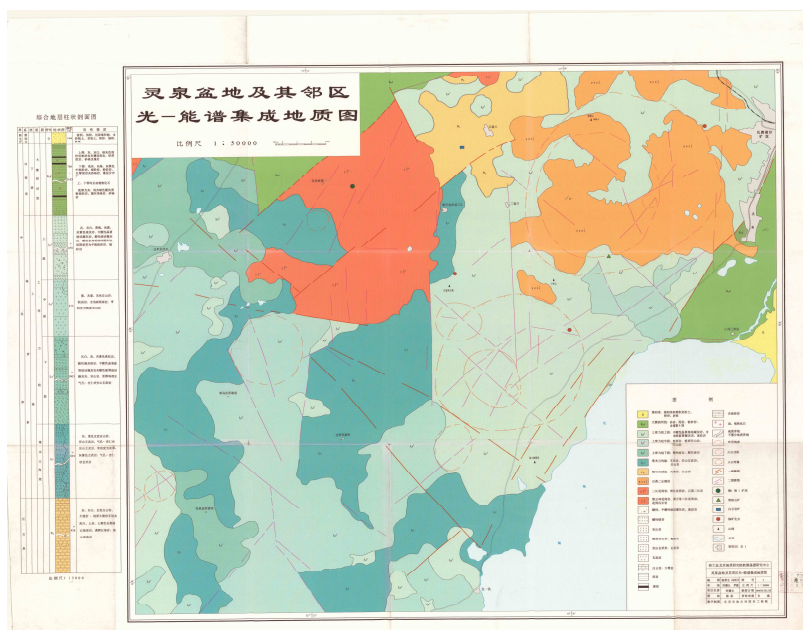


图 3 灵泉盆地及其邻区光-能谱集成地质图（比例尺 1：20 万）

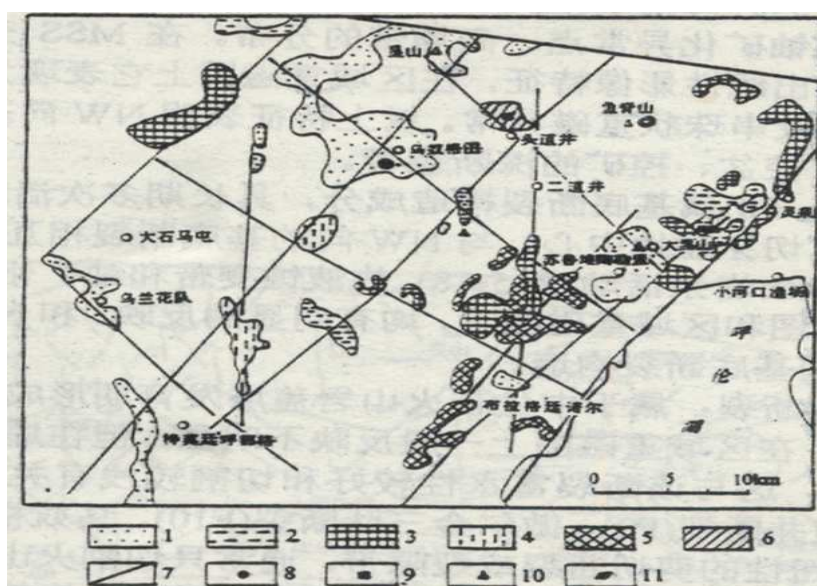


图 4 灵泉盆地及其邻区矿物分布解译图

1. 粘土化及钾化蚀变区；2. 钾化蚀变区；3. 褐铁矿化蚀变区；4. 粘土化蚀变区；5. 褐铁矿化及钾化蚀变区
6. 碳酸盐化蚀变区；7. 断裂；8. 铜钼矿；9. 白云岩矿；10. 铀矿化点；11. 明矾石矿

东胜地区：

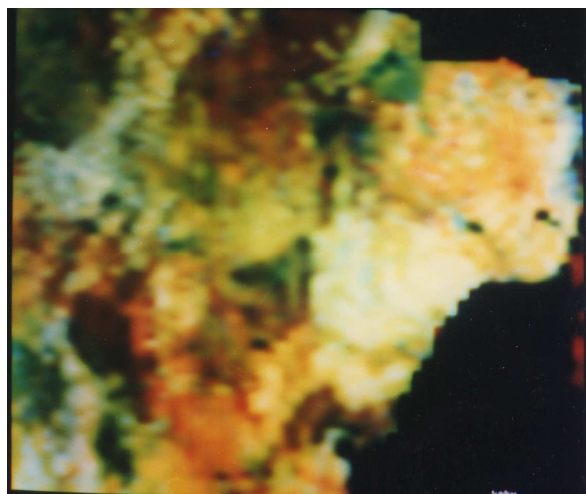
位于鄂尔多斯沉积盆地东北部，地表不同程度被植被覆盖。

东胜地区的铀矿是受直罗组下段的辫状河砂岩层控制，矿体赋存在一定层位里。从遥感图像上提取含矿层的分布对区域找矿极为重要。但目前所用的多光谱遥感图像光谱分辨率

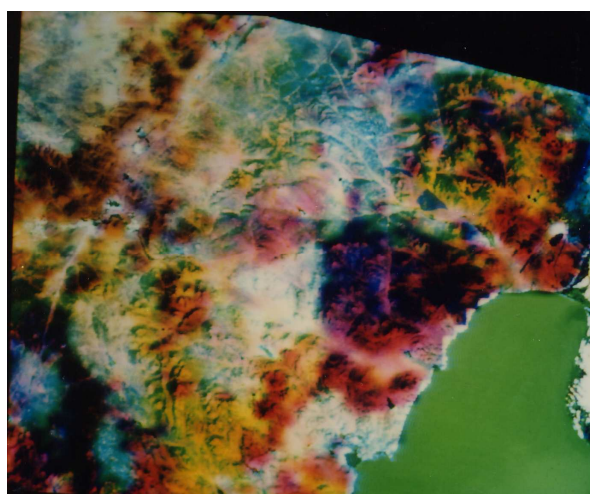
低，虽采取了各种处理方法，含矿层仍然无法提取出来。为此，根据东胜地区含矿层的岩性、放射性特点，通过对多光谱数据进行主成分分析，将原图像的高维空间的像元亮度值投影到新的低维空间，使信息分解，并提取特征信息。然后从中选出最能体现含矿层特征的光谱信息与铀的影像图融合，快速提取出东胜地区含矿层的地表影像信息（彩图 E），从而获得一种快速查明含矿层的新方法。

参考文献

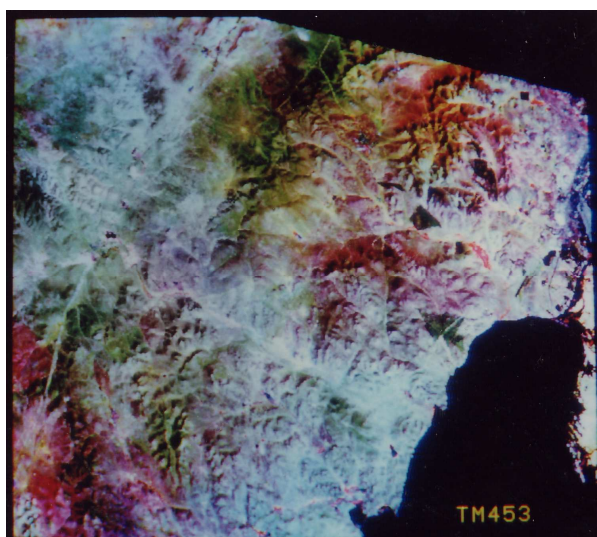
- 1.马建文.利用 ETM 数据快速提取含矿蚀变带方法研究[J].遥感学报, 1997, 1 (3): 208-213
- 2.叶发旺, 刘德长.鄂尔多斯盆地北部断裂构造的遥感信息及其延伸研究.2005 遥感论坛, 宇航出版社, 2005
- 3.刘德长,叶发旺,等.后遥感应用技术及其在鄂尔多斯盆地北部试验区铀资源勘查中的研究[J].铀矿地质,2006,22(1):55-60.
- 4.Liu Dechang, Ye Fawang, et.al. A new concept and practice of remote sensing information application——post remote sensing application technology and application case to geology. Remote Sensing of the Environment: 15th National Symposium on Remote Sensing China, edited by Qingxi Tong, Wei Gao, Huadong Guo, Proc.of SPIE Vol.6200,620002, (2006)



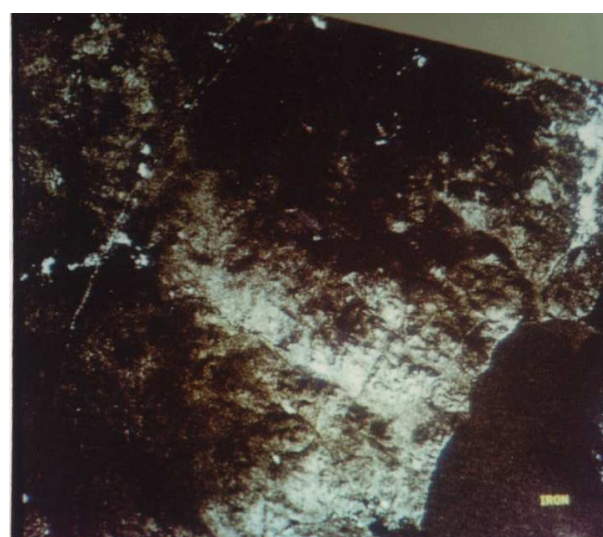
彩图 A Th、U、K 聚类影像图



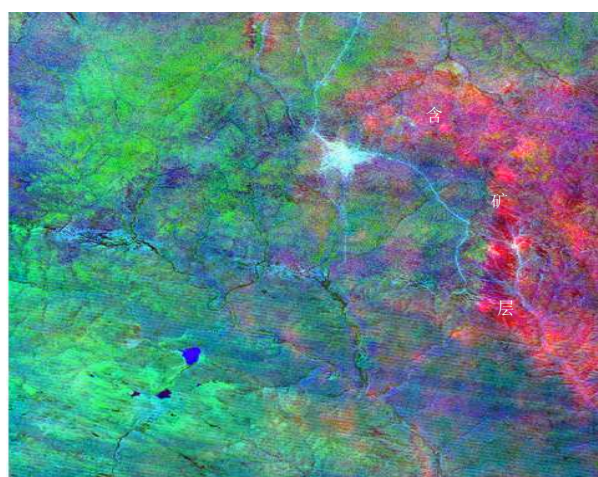
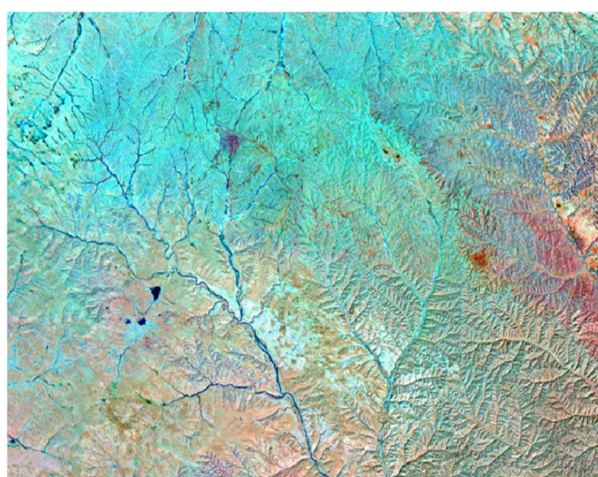
彩图 B TM1、5、7 及 U、Th、K 综合影像图



彩图 C 光-能谱信息复合提取蚀变信息影像图



彩图 D 铁氧化物蚀变信息图像



彩图 E TM 彩色合成影像(左)与光-能谱融合图像 (右) 对比

(在光-能谱集成图像 (右图) 上含矿层的地表展布清晰可见)