

下庄铀矿田控矿因素 光—能谱融合图像解译应用研究^①

何建国^① 董秀珍^① 郭敏茹^② 刘德长^① 祝民强^①
卢映新^③ 吴金辉^③ 黄树桃^①

(^①核工业地质研究院,北京 100029) (^②北京化工大学,北京 100029)
(^③核工业华南地勘局,广州 512026)

摘要:通过光—能谱融合图像处理、解译与部分野外验证,对下庄铀矿田发育的钾化蚀变带和低钼补体进行了识别与提取,指出铀成矿与钾化蚀变断裂带及低钼补体具有密切的成因与空间联系。另外,以能谱图像上发现的环状影像为线索,通过对岩体主体固结成岩后穹状构造隆升事件的研究,认为本区曾存在地幔柱,地幔柱作用引发了多种地质事件(或作用),这是形成铀矿田的根本原因所在。

关键词:光—能谱融合图像 钾化蚀变断裂带 低钼补体 地幔柱 铀成矿

中图分类号: TP75; TD 868 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2000)02-0024-07

1 研究区概况

下庄铀矿田区域上处于南岭东西向构造——花岗岩带的中段,直接产于贵东复式花岗岩基的东端。矿田内出露燕山第一至第四期花岗岩体和燕山第五期北西向辉绿岩脉^②。其中,花岗岩体的主体属燕山第一期花岗岩,岩性为粗粒、中粗粒斑状黑云母花岗岩、中细粒黑云母花岗岩,而补体由燕山第二至第四期花岗岩组成,岩性主要为细粒黑云母花岗岩、细粒二云母花岗岩、细粒白云母花岗岩。补体按其钼含量(以 22×10^{-6} 为界)可分为低钼补体和高钼补体。铀成矿与补体、热液碱交代(如钾交代、钠交代)体及辉绿岩脉具有密切的关系^{③[1~3]}。但截止目前,还未完全查明补体及热液碱交代体的分布范围,对矿田形成地质背景研究也不够。针对上述问题,本文选用 TM 及航空 γ 能谱数据,通过对这 2 种数据的融合处理与图像解译,对钾化蚀变断裂带和低钼补体的信息特征进行了提取与分析,并对贵东岩体东部主体的穹状构造隆升事件进行了研究。

2 TM 数据与航空 γ 能谱数据融合处理

① 本文属科技基金支助 J95R11005 课题成果一部分
② 下庄矿田铀成矿地质特征,核工业华南地质局,1995.5, P24
③ 核工业数据
收稿日期:1999-12-08 2000-03-28 改回。

2.1 融合处理的目的

从表 1 可看出, TM 图像与 γ 能谱图像隐含着不同的信息, 具有不同的应用优势与缺陷, 二者间具有很强的信息互补性。融合处理的目的就是将各图像数据中所含的优势信息或互补性信息有机地结合在一起, 形成一套专题化、多样化的光谱与 γ 能谱融合图像, 简称光—能谱融合图像。

表 1 TM 图像与航空 γ 能谱图像信息特征及地学应用特点对比表

图像种类	图像信息类型	地 学 应 用 特 点	
		优 势	缺 陷
TM 图像	光谱信息	(1) 立体感强, 地貌信息丰富 (2) 构造显示清晰 (3) 定位准确, 具有地形图的作用 (4) 空间分辨率相对较高, 达 30m	(1) 应用受植被覆盖程度限制, 在植被覆盖厚的情况下区分岩性效果差, 也很难识别铀矿化信息及钾化蚀变信息 (2) 可用来间接分析铀成矿构造格局
γ 能谱图像 (包括钾、铀、钍元素 γ 能谱图像)	由 703 航测队购买的钾、铀、钍元素 γ 能谱含量数据经过插值、网格化以及含量→灰度转换、增强、显示形成, 这种图像的灰度已不再是光谱图像的灰度概念, 它实质上反映钾、铀、钍元素的含量	(1) 区分不同类型或同一类别不同期次的火成岩效果好 (2) 基本不受植被覆盖的影响 (3) 具有铀矿化信息及钾化蚀变信息 (4) 具有铀成矿构造信息	(1) 无立体感, 无地貌信息 (2) 缺乏空间信息, 无法定位 (3) 构造信息较匮乏, 不便分析构造问题 (4) 空间分辨率总体上相对较低, 沿航线方向为 40~60m, 垂直航线方向为 500m 或 1000m, 甚至更大

2.2 融合处理方法

2.2.1 彩色空间变换

该方法主要用于岩体划分等专题信息处理中。首先, 对 U、U/TH、U/K 分量图像进行 IHS 变换, 形成 I、H、S 三分量图像, 然后, 依据人眼对图像亮度(I)的空间分辨率比对色调(H)和饱和度(S)的空间分辨率要高这一事实, 同时, 为保证光—能谱融合图像具有高的空间分辨率和可视效果, 选择了 TM5 波段代替其中的 I 分量, 再把新的 I 分量与 H、S 分量一起由 IHS 空间变换到 RGB 空间, 用新形成的 RGB 分量合成假彩色图像(封 4 彩片 1)。利用该图像可以进行岩体的初步划分。如花岗岩主体呈暗红色, 低钍补体呈暗绿色、黄绿色。但低钍补体与围岩较难区别。

RGB 变换可用于提取低钍补体信息和钾化蚀变断裂带信息。如选择突出低钍补体的($U \times th^{\text{①}}$)/TH 和 $U \times th$ 参数图像分别作为 H、S 分量, 选择 TM5 波段作为 I 分量进行 RGB 变换, 用新形成的 R、G、B 分量进行假彩色合成, 如封 4 彩片 2 所示, 花岗岩主体呈暗蓝灰色, 低钍补体呈深蓝色、红色, 围岩呈暗灰绿色。同时, 构造信息也很丰富。

2.2.2 密度分割、分段线性拉伸及 RGB 变换综合处理

在钾化蚀变信息提取过程中, 为了突出影像的视觉效果, 我们在对 K 组分图像进行密度分割处理的基础上, 对各密度层又进行了灰度调整, 再把灰度调整后的密度分割图像当成 H 分量, 选择 TM5 和常数 255 图像分别作为 I、S 分量, 进行 RGB 变换, 用新形成的 R、G、B 分量合成假彩色图像(封 4 彩片 3)。在彩片 3 上, 钾化蚀变程度由强到弱分别显示为蓝色→粉红色→品红色, 钾化蚀变的分布与断裂具有明显的空间关系, 具体见 3.2 一节。为了研究方便, 又把下庄矿田已发现的铀矿床按地理坐标叠合在彩片 3 上(图中圆圈所示)。

① th 表示 th 图像经过了 Reverse 运算。

3 钾化蚀变断裂带提取与分析

3.1 问题的提出

在封 4 彩片 4 上,钾 γ 能谱图像被分成 6 个密度层,按密度值从高到低的顺序,各密度层分别被赋予红、蓝、天蓝、黄绿、灰棕及黑色,相应的灰度区间为 255~101、100~96、95~91、90~41、40~33、32~0。其中,黄绿色密度层大面积连续分布,灰棕及黑色密度层主要围绕黄绿色密度层分布,少部分分布于黄绿色密度层中,而叠置在黄绿色密度层之上或之中的红、蓝、天蓝色密度层分布非常局限,仅呈小面积分布,并表现出点状、带状的分布现象。对比封 4 彩片 4 和贵东地区地质图,发现黄绿色密度层与贵东岩体的分布范围基本吻合,灰棕及黑色密度层与围岩分布大体一致,而红、蓝、天蓝色密度层则主要分布于贵东岩体内部,与不同期次花岗岩并无明显的空间对应关系。基于各密度层的上述分布特征,根据钾 γ 能谱图像数据是由钾 γ 能谱含量数据转换而来的事实,我们认为黄绿色密度层反映了贵东岩体形成时的钾含量(以灰度表示)主要在 90~41 之间变化。钾含量(以灰度表示)高出 90 的红、蓝、天蓝色密度层显然不是岩体成岩时钾含量的反映,而是岩体成岩后,由其它地质作用带入钾造成的。由贵东岩体蚀变东强西弱的特点与红、蓝、天蓝色密度层绝大多数分布在贵东岩体东部,西部仅有零星分布这一事实。我们初步判定,红、蓝、天蓝色密度层所代表的点状、带状钾高场是由热液钾化蚀变带入钾造成的。

3.2 钾化蚀变断裂带提取

在光-能谱融合钾化蚀变断裂带专题图像上(见封 4 彩片 3),钾化蚀变区呈品红、粉红和蓝色色调,其中,从品红色→粉红色→蓝色,钾化蚀变的程度依次增强。更有意义的是,钾化蚀变区不仅呈点状或带状发育,而且其中绝大多数钾化蚀变区的分布与断裂构造具有显著的空间对应关系。绝大多数点状钾化蚀变区分布在两组或两组以上断裂的结点处及附近,带状钾化蚀变区均沿断裂分布。钾化蚀变与断裂间的这种空间对应关系,说明了钾化蚀变是由沿单个断裂或多组断裂结点处发育的热液钾交代作用带入钾形成的。这样,通过对控制钾化蚀变断裂构造的解译,可提取钾化蚀变断裂带信息。下庄铀矿田发育的钾化蚀变断裂带按方向可分成 NNE、NE、NW、和近 EW 向 4 组。钾化蚀变强烈的区域主要分布在下庄矿田的中部,显示出 NW 向宽带状分布格局。宽带内的断裂带多呈 NWW 及近 EW 向分布,与控岩的 NWW 向、EW 向控岩基底断裂后期复活形成的贯穿性基底断裂位置重叠。由此推测,强烈钾化蚀变是深部钾质热液沿贯穿性基底断裂上升,交代断裂旁侧花岗岩、辉绿岩等形成的。

3.3 钾化蚀变断裂带与铀成矿的关系

从叠加铀矿床的光-能谱融合钾化蚀变断裂带专题图像上(封 4 彩片 3)可看出,在下庄铀矿田的 11 个矿床中,除 2 个矿床未见发育钾化蚀变断裂带外,其余 9 个矿床均处于钾化蚀变断裂带区域内或边缘,显示了钾化蚀变断裂带对铀矿床的形成及分布具有明显的控制作用。更令人感兴趣的是,本区的 4 个富铀矿床都位于矿田中部呈 NW 向宽带状展布的强烈钾化蚀变带区域,其中 3 个富铀矿床直接分布在强烈钾化蚀变断裂带内,而一般蚀变程度的钾化蚀变断裂带仅控制贫铀矿床(个别贫铀矿床具有独立的富铀矿体)。二者相比,可以认为,钾化蚀变断裂带的蚀变程度与其控制的矿床贫富具有密切关系。钾化蚀变断裂带蚀变程度越强,则受

其控制的钾矿越富。钾化蚀变断裂带控矿机理为：①钾化蚀变岩是一种非常有利的成矿围岩。钾化蚀变岩孔隙度大且孔隙数目多,利于铀成矿化学反应快速进行和铀酰络合物的分解与铀沉淀；②钾化蚀变岩较正常花岗岩的抗压、抗剪强度低,容易造成再度构造破碎,形成吸引成矿热液的构造减压区；③钾化蚀变断裂带往往与活化控岩基底断裂贯通,深源铀成矿热液沿活化控岩基底断裂上升到地壳的浅部,首先进入与之相连通的钾化蚀变断裂带及附近成矿；④钾化蚀变使惰性状态存在的铀转变为活化状态,为后续热液汲取铀形成成矿热液创造了条件。

至于钾化蚀变断裂带蚀变强烈程度和受其控制的铀矿床的贫富关系,可以从强烈钾化蚀变断裂带和一般钾化蚀变断裂带的对比中找到答案。如,前者不仅能为成矿提供更多的活化铀,而且处于活化的控岩基底断裂上方,构造部位特殊,容易产生 2 次破碎,为成矿提供更为有利的和更大的空间,能更多地汇集热液成矿；再者,前者与活化的控岩基底断裂连通,有利于沿控岩基底断裂上升的深源铀成矿热液优先进入强烈钾化蚀变带中成矿。

4 低钍补体的识别与分析

4.1 低钍补体的圈定

下庄矿田出露燕山多期次侵入的花岗岩,不同期次花岗岩具有各自的铀、钍和钾含量。低钍补体与矿田内的其他花岗岩相比,具有明显的岩性特征及 γ 能谱特征,岩性均为细粒二云母、白云母花岗岩,钍相对较低,铀相对较高,铀/钍比值大。低钍补体与贵东岩体的围岩相比,铀和钾的含量相对较高,钍含量二者相当。根据这些差异特征,我们选择突出低钍补体的 γ 能谱参数图像分别与 TM5 波段图像进行数据融合处理,结果如封 4 彩片 2。在彩片 2 上,低钍补体呈蓝色和红色色调。野外验证结果表明,两种颜色代表两种不同的低钍补体,二者具有不同的岩性及能谱特征(表 2)。

表 2 两种花岗岩补体对比表

低钍补体实例		龟尾山岩体		竹筒尖岩体			
图像颜色		蓝 色		红 色			
岩 性		细粒二云母花岗岩,黑云母含量<白云母含量,石英成乳虫状,含量 30%~40%		细粒二云母花岗岩,黑云母含量>白云母含量,石英呈粒状或乳虫状,含量<30%		细粒含斑二云母花岗岩,斑晶为微斜长石,黑云母含量<白云母含量,石英呈粒状,含量<30%	
能 谱 特 征		含量变化范围 (18 个测点)	平均值	含量变化范围 (7 个测点)	平均值	含量变化范围 (8 个测点)	平均值
	铀($\times 10^{-6}$)	4.43~13.98	9.05	2.62~8.31	4.63	2.8~12.66	7.50
	钍($\times 10^{-6}$)	5.62~17.30	10.89	10.02~19.03	12.47	18.39~25.82	21.11
	钾(%)	2.85~5.19	4.45	2.22~3.87	3.13	4.37~6.19	5.06
	铀/钍	0.342~2.24	0.99	0.25~0.62	0.37	0.132~0.688	0.20
	钾/钍	0.19~0.69	0.40	0.19~0.36	0.26	0.204~0.319	0.25

4.2 低钍补体的空间展布

从封 4 彩片 2 上看,除少部分沿 NNE 向新桥—下庄断裂及 NW 向石角围—仙人障断裂分布外,绝大多数补体沿主体花岗岩边缘分布,并呈现出环带状分布格局。呈环带状分布的

成因将在 5.2.3 中予以解释。

4.3 低钽补体与铀矿床的定位关系

在彩片 2 上, 本区已找到的铀矿床几乎都产于低钽补体的边缘附近, 仅个别产于低钽补体内, 显示出铀矿床定位与低钽补体具有明显的空间联系。

4.4 低钽补体与钾化蚀变断裂的关系

在封 4 彩片 5 上, 钾化蚀变与低钽补体在空间上基本没有重叠。钾化蚀变除少部分沿低钽补体边缘发育外, 大部分位于主体花岗岩中。钾化蚀变的这种分布特征, 说明钾化蚀变不是由低钽补体形成后的残余热液造成的。

5 贵东岩体东部(相当矿田区)花岗岩主体形成后穹状构造隆升事件的发现及其意义

5.1 问题的提出

在对贵东岩体能谱图像(封 4 彩片 6)解译时, 发现贵东岩体东部存在一环形影像, 环形影像具有较高的铀/钽比值, 与环带状分布的低钽补体空间位置大部分重叠, 这一环形影像与贵东岩体东部花岗岩体主体形成后, 由地幔柱作用引发的穹状构造隆升事件以及岩浆活动事件有关, 是岩浆活动事件形成的低钽、高铀/钽比值的反映。

5.2 穹状构造隆升事件

5.2.1 穹状构造隆升事件的地质证据

(1) 在贵东岩体东部花岗岩主体边缘一带及其接触带地层中, 发育向岩体外围倾斜的环状韧性变形带, 此构造带的形成与穹状构造隆升有关。

(2) 韧性变形带发育的位置与彩片 6 中反映低钽补体的环形影像位置相当, 反映出韧性变形带对低钽补体的定位具有控制作用; 同时, 前人和我们的野外工作都证实, 韧性变形带遇低钽补体突然终止, 在低钽补体中还见有韧性变形的花岗岩主体团块。这表明, 穹状构造隆升事件发生在花岗岩主体形成之后, 低钽补体形成之前。

(3) 贵东岩体的东、西部地形海拔高度相差无几, 但西部分布大片的寒武系、奥陶系地层残留体, 而东部岩体顶盖相剥蚀殆尽, 未见残留体。这可能预示着贵东岩体东部较西部发生过更为显著的构造抬升。这种抬升只可能发生在控制下庄铀矿田的北东向白垩纪龙南—全南断陷带形成之前, 即早白垩纪以前。

5.2.2 穹状构造隆升事件的成因

本区穹状构造隆升事件形成了环形韧性变形带, 这种环形韧性变形带是单纯的穹隆褶皱作用、断块作用以及其它浅部地质作用所不能形成的, 次级地幔柱作用是引发穹状构造隆升事件最可能的原因。理由如下:

(1) 地幔柱作用往往在其顶部形成穹隆^[4]。

(2) 从区域地球动力学背景来看, 中生代以来, 在华南存在一个巨型的地幔柱^[4~5]。该地幔柱大致对应华南巨型环状花岗岩群^[6]。华南巨型环状花岗岩群的形成显然与这个巨型地幔柱有关。贵东岩体作为环状花岗岩体群的组成部分, 其东部花岗岩主体的穹状构造隆升很

可能是这个区域性的巨型地幔柱之次级幔柱作用的产物。

(3)本区处于华南后加里东隆起与海西—印支拗陷的接壤过渡地带,多条大型断裂交汇于此,是一个典型的地壳不稳定地带,是地幔柱易于上升的部位^[4]。

(4)地幔柱巨大的能量不仅会引起地壳重熔、侵入或喷发形成酸性岩浆岩,而且会使地幔部分熔融形成玄武岩浆,喷出形成玄武岩,或侵入形成基性岩墙、岩脉。本区低钼补体及NW向辉绿岩脉绝大部分仅限于环状韧性变形带及其内部,二者是地幔柱作用的指示物(封4彩片6)。

5.2.3 穹状构造隆升事件发现的意义

穹状构造隆升事件的发现,使我们认识到本区曾存在地幔柱。正是由于地幔柱的驱动作用,本区发生了一系列地质事件(或作用),如:①穹状构造隆升事件,沿花岗岩主体边缘形成环状韧性变形带,为后期低钼补体的侵入提供了就位空间;②构造变形作用,花岗岩主体本身遭受挤压构造变形、破裂,使NW、EW和NE向控岩基底断裂复活,向上贯穿到花岗岩主体中,在岩体中形成NW、NW、NNE、NE、EW向断裂;③岩浆活动事件,包括地幔柱的巨大能量使地壳重熔,同时,由于地幔柱分异出的流体(富碱、富气体及成矿元素)等幔源物质的加入,产生了富碱、富气体组成的酸性岩浆,形成受环状韧性变形带和断裂严格控制的超浅成的低钼补体;幔源基性岩浆侵入形成NW向辉绿岩脉;④后岩浆热流体活动作用,使岩浆上升侵入,造成岩浆的减压,极大地促进了地壳深部流体的生成及幔汁溢出集中。幔汁从地幔柱的顶部沿控岩基底断裂上升到浅部,使围岩遭受钾化蚀变,形成钾化蚀变断裂带,同时,使围岩中的铀大量转入活化状态。

地幔柱作用产生的地质事件(或作用)与本区铀成矿具有直接或间接的联系。表现为:通过地幔柱作用复活的控岩基底断裂,使地幔柱、中下地壳与上地壳联系起来,开启了深部热源与铀源,为地幔及深部岩浆以及其他成矿热流体上升打通了通道;地幔柱作用形成了控矿的低钼补体、钾化蚀变断裂带及辉绿岩脉;幔汁本身富含的和它演化过程中形成的矿化剂还为铀稳定搬运提供了充足的络合介质。因此,有充分的理由认为,地幔柱作用是形成下庄矿田的主要原因,或者说是形成矿田的实质性背景条件。

致谢 在与本文相关的研究工作中,曾先后得到杜乐天研究员级高工、冯明月研究员级高工、仇宝聚研究员级高工、林锦荣高工、赵英俊工程师等的大量无私帮助,作者在此深表感谢。

参 考 文 献

- 1 李田港.花岗岩铀矿田的区域地质背景.放射性地质,1981(1)8~9
- 2 鞠炳勋.下庄铀矿田的新的“希望”之路.铀矿地质,1993,9(1)5
- 3 谭正中,巩志根,梁才英.晚期小岩体归宿及其在找矿中的意义初探.铀矿地质,1993,9(5)285
- 4 王登红.地幔柱及其成矿作用.北京:地震出版社,1998
- 5 谢寡克,马荣生,张禹慎等著.华南大陆地壳生长过程与地幔柱构造.北京:地质出版社,1996,169~172
- 6 何建国,冯明月.华东南巨型环状岩体的发现及其地质意义.北京地质,1998(5)30~32

APPLICATION RESEARCH OF FUSION IMAGES OF TM AND AIRBORNE γ -SPECTRA DATA ON THE METELLOGENIC CONTROL FACTORS IN XIAZHUANG URANIUM OREFIELD

He Jianguo^① Dong Xiuzhen^① Kuo Minru^② Liu Dechang^① Zhu Minqiang^①

Lu Yingxin^③ Wu Jinhui^③ Huang Shutao^①

(^①Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029)

(^②Beijing Chemical University, Beijing 100029)

(^③South China Bureau of Geology, CNNC Guangzhou 512026)

Abstract

On the basis of processing, interpretation and field inspection of fusion images of TM and airborne γ -spectra data, the potash-alteration zones and low-thorium secondary granitic intrusions are recognized and their distribution information are extracted in Xiazhuang uranium orefield. It is proved that the uranium metallogenesis has close genetic and spatial relationship with potash-alteration fault zone and low-TH secondary intrusion. In addition, according to clue of ringed image and based on researching into the event of dome structure uplift that generated after major intrusion consolidation, it is pointed out that the mantle plume had been existed in this region. The mantle plume tectonic process caused a series of geological processes and it is the essential background for forming the uranium orefiled.

Key words Fusion image of TM and airborne γ -spectra data Potash-alteration fault zone Low-TH secondary granitic intrusion Mantle plume Uranium metallogenesis

第一作者简介: 何建国 男 1963 年生, 高工, 中国地质学会遥感专业委员会, 主要从事遥感地质研究工作, 发表论文 10 余篇。