

遥感图象在找寻铀矿中的应用

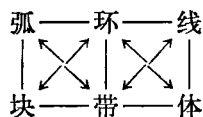
王 学 佑

(核工业部遥感地质应用中心)

作者先后在滇西腾冲、湘东北、江西、华北等地参加过多次多种遥感试验工作，特别在我国华南（包括华东和西南地区）花岗岩、火山岩、碎屑岩及变质岩等四大类型铀矿之成矿地质背景、成矿构造、景观地貌与铀矿化在遥感图象上的显示特征、标志及找矿方向等诸方面，积累了一些新资料，现撰写成此文，与读者共同讨论。

一、遥感图象为研究构造地质提供新线索

卫星、航天遥感图象为解决大地与区域构造、地质块体或地质体、某些隐伏构造、含水构造及深大断裂带，特别是确定区域构造格架，可提供快速而直观的反应。据图象和地质资料综合判译结果，笔者将地壳的结构构造概括为：“弧、环、线”与“块、带、体”六大要素，其相互关系如下：



其发生发展具由深到浅、由大到小、由简单到复杂等特点，并表现出“镶嵌”^[1]—活动—漂移”^[2]非均一的反复循环性。

作者认为，地壳运动中最主要的乃是热源、热源体与热源构造的活动，它与地球的旋转同可视为地球和地壳构造运动的主导因素。即影响地球转动惯量的主要因素应是地球内部热源物质活动的强度（用 ϵ 表示），有如下关系：

$$\epsilon \cdot k = I$$

据 $\omega I = c$ 角动量守恒定律^[3]，则 $\omega \cdot \epsilon \cdot k = c$ ，

令 $c/k = f$ ，故

$$\omega \cdot \epsilon = f$$

式中 ω 为角速度， I 为转动惯量， c 、 k 分别为常数， f 为复合常数。

当 ϵ 大时，地球内部热源向外层扩散（扩张期），地球转速变慢；反之 ϵ 小时为聚缩期，转速加快。这种“快—慢—快的复始，必然导致地球与地壳的热运动。

文中“热源构造”的含义是：热源（由裂变能、聚合能、摩擦能、振荡能、自燃能及外来冲击能等所引起）或热源体（包括局部聚集的固、液、气体或多元多相体）在活动过程中造成的一系列有成生联系的构造形迹、体的总称。热源构造中最常见、最重要的则是热源环形构造或环形体及它们的多种组合型式。

二、热源环形构造是铀成矿的主要构造

卫星及航摄的中、小比例尺遥感图象,能直观地判译出各种熔浆、热液、气爆等活动体。诸如岩浆侵入、火山喷溢、期后热液和隐爆体,或出露的、隐伏的热源或热源体的活动

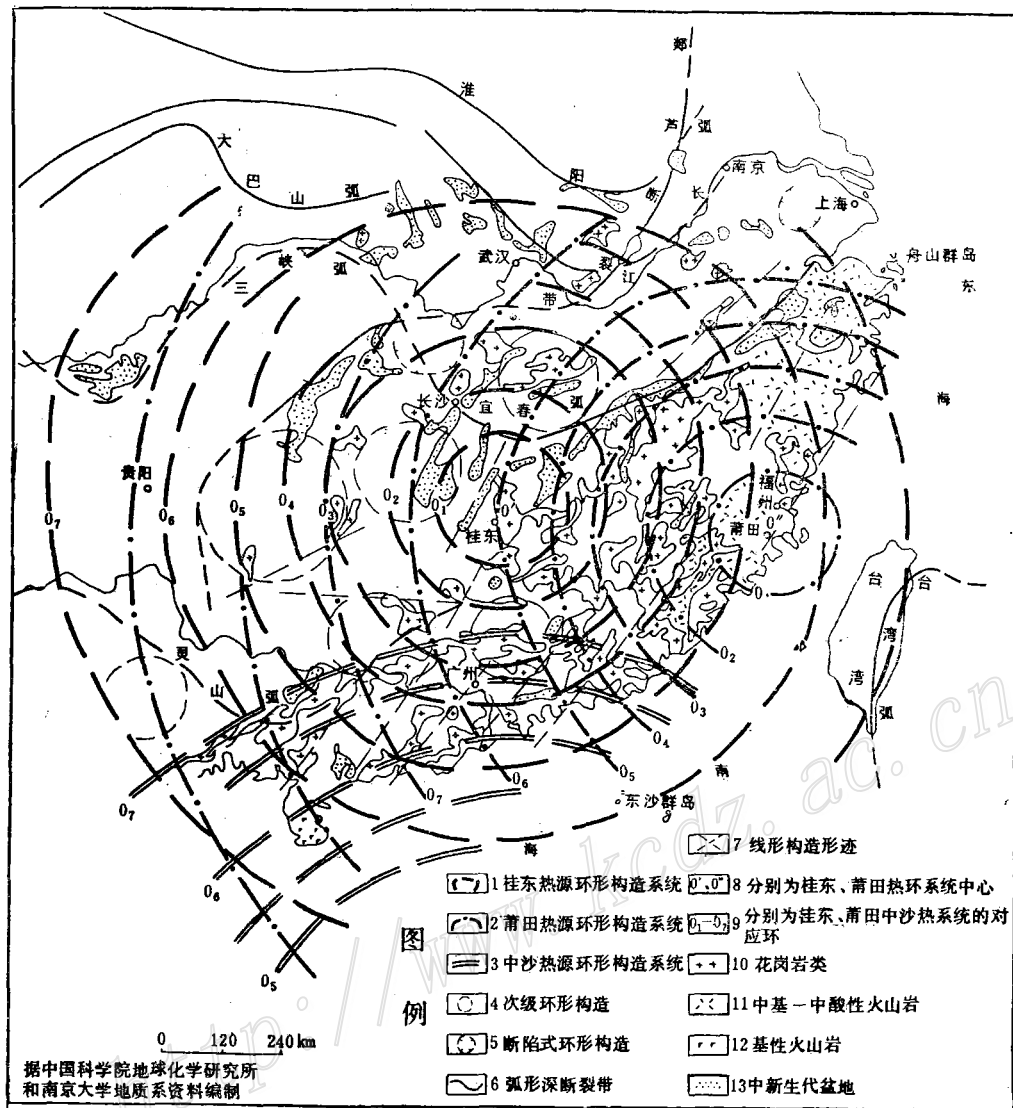


图 1 华南地区热源构造与热源体分布略图

Fig. 1. Diagrammatic map showing distribution of heat source structures and heat source bodies in South China.

1—Heat source ring-structure system of Guidong; 2—Heat source ring-structure system of Putian; 3—Heat source ring-structure system of Zhongsha Islands; 4—Second-order ring structure; 5—Ring structure of fault depression types; 6—Arcuate deep fracture zone; 7—Linear structural track; 8—Center of heat source ring-structure system of Guidong (left) and that of Putian; 9—Circles corresponding respectively to heat source ring-structure systems of Guidong, Putian and Zhongsha; 10—Granitoid; 12—Basic volcanic rocks; 13—Mesozoic and Cenozoic basin.

中心、通道、火山口等产状、形态、机构特征。还能发现新的地质构造与找矿线索。

以华南桂东、莆田、中沙群岛为中心的三大花岗岩浆型热源环形构造系(图1)为例,铀矿(其他金属矿产本文不作论述)的生成、分布规律与热源构造的形成有着密切的同生和共生的关系。对该三大热源环形构造系的存在、特征与成因等,作者同张用夏^[4]都作了类似的论述。诸如,三大热源构造系尽管形成的时期不同,桂东(张称华南环)、莆田(闽浙环)为燕山期,中沙群岛(广东环)为海西—燕山期,但其热源性质、作用方式、强度与影响范围、活动特点等地质特征是极为相似的。

1) 热源和热源体的活动常围绕各自的中心(大型花岗岩基或裂陷盆地),形成归顺于自身系统的环形或放射状构造系列及花岗岩或火山岩弧。

2) 在热源构造三种活动方式(中心式、面式、垂式)中,尤以中心波射式最为普遍。特点是由中心向四周由强变弱、波距由小变大,其环形构造疏密相间、隆坳相间以及发生的相互干扰,可能就是“波动传递”的结果。

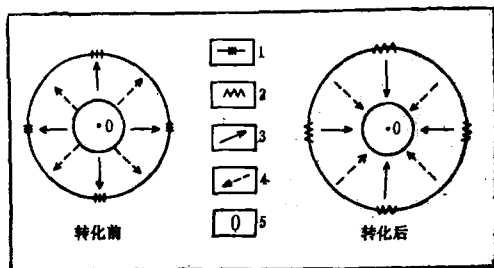


图2 热源构造系性质转化示意图

1—压性带区; 2—张性带(区); 3—应力方向;
4—热源物质运移方向; 5—热系中心

Fig. 2. Schematic diagram showing conversion of heat source structural system in behavior.

1—Compression zone (area); 2—Tension zone (area); 3—Direction of stress; 4—Migration direction of heat source materials; 5—Center of heat source structural system.

3) 热源体和热源构造的活动大致有四个阶段,即热源聚集期;高热能(原始熔融岩浆)上升扩散胀压期,形成环状断裂系及其控制的岩浆弧或岩浆环;热能回缩裂张期,常形成中心张性或放射状断裂;热能转化与中心复活膨胀推压期,在环缘地区常出现挤压褶皱带或逆冲、推覆构造。

4) 热源构造活动过程中的应力方向、性质与物质活动总是向着反面转化,即所谓的“换向性”与“换质性”(图2)。

5) 三大热源构造系的中心迁移方向,总的是由西北往东南方向进行,具体有三个方向:一个是由桂东向中沙群岛,另一个由桂东

向莆田,第三个可能是由中沙群岛向莆田。总之,是向“离压向张”的方向移动,这与“构造迁移论”中“离隆向拗”^①的迁移性是一致的。热环系中心部位常是地球物理、化学、火山、地热、温泉、地震的策动区和集中分布区。

铀矿主要集中在该三大热系的加里东期陆壳改造型混合花岗岩化作用与燕山期过渡性地壳同熔型中基性—中酸性岩浆、火山作用^[6]环形系列的复合、交汇地带(弧形三角区内)。特别是环形构造结或与其与弧形、线形构造相交的复式结(或附近)通常控制华南的主要铀矿(图3)。热源构造系的次级环形或放射状构造群(环的直径在200km)和发育较完整的小型环形构造体(直径小于50 km)中的中环、外环或外环体则是成矿的最好区段。因为该地段往往是热源环形构造系或环形构造的中性转化地段。许多圆形航空放射性伽玛异常场也证实了这一点,铀矿一般产在伽玛场中值区(10—20γ)的构造结点附近,如610、6210等矿田。

① 姜春发(1983)“构造迁移论及其应用问题”



图 3 华南地区产铀热源环形构造主要布矿形式图

1—主要构造形迹, 2—白垩—第三系, 3—中—上侏罗世火山岩, 4—以燕山期为主的花岗岩, 5—成矿区, 6—地质界线

Fig. 3. Diagram illustrating major ore distribution forms in uranium-producing heat source ring-structure systems of South China.

1—Major structural tracks; 2—Cretaceous-Tertiary; 3—Middle-Upper Jurassic volcanic rocks; 4—Granite, mainly Yanshanian; 5—Ore districts; 6—Geological boundary.

与热源环形构造有关的铀矿产出状态, 作者提出新的“剥蚀系数 (B)”的概念和计算方法来表示: $B = (S_1/S) \times 100\%$ (式中 S_1 为环形构造体中外环带以内所出露的产铀热源体的面积, S 为外环带的圆面积) (图4)。

一般说, 矿化随剥蚀系数的增大由环中向环外分布。当 $B=0$ 时, 产铀热源体未出露于地表, 应在环内注意找寻盲矿; 若 $B=1$ 时, 则产铀主体几乎全都裸露出地表, 而矿体常产在环晕带; 如果矿石遭受改造时, 就要具体分析。例如 610、6210 矿床的产铀热源体的剥蚀系数为 60—65%, 属中等剥蚀程度, 矿床本应产在中、外环带中。然而, 由于 NE—NNE 向断裂构造断陷后, 610 矿床或矿体均产在北西半环体中的中环与外环构造带中; 而 6210 矿床却位

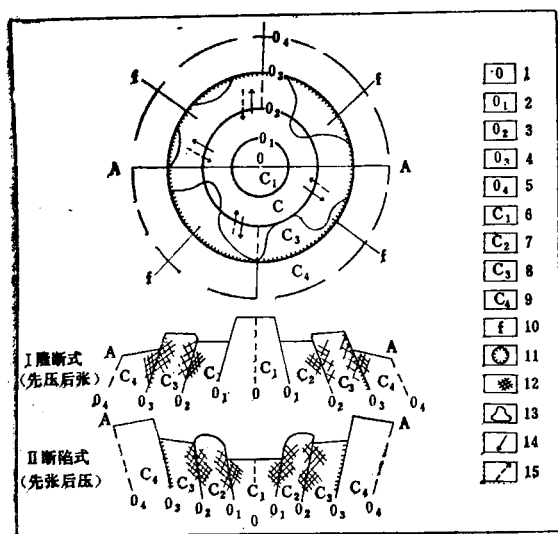


图4 热源环形构造模式图

1—环心；2—内环；3—中环；4—外环；5—晕环；6—内环体；7—中环体；8—外环体；9—晕环体；10—放射状旋扭构造；11—控制含铀热源体之边界环圆面积；12—最佳成矿部位；13—含铀热源体的出露界线；14—隆断式成矿物质运动方向；15—断陷式成矿物质运动方向

Fig.4. Heat Source ring-structure model.

1—Core of the ring; 2—Inner part; 3—Intermediate part; 4—Outer part; 5—Halo; 6—Inner body of the ring; 7—Intermediate body; 8—Outer body; 9—Halo body; 10—Radial or rotational structure; 11—Area of boundary circle controlling uranium-bearing heat source body; 12—Most favorable mineralization position; 13—Outcropping line of uranium-bearing source body; 14—Migration direction of uplift-fracturing type ore-forming materials; 15—Migration direction of fault-depression type ore-forming materials.

于东南半环体的中部附近。

用遥感图象来判译环形构造的发育程度和确定外环带的位置是一种行之有效的方法。依铀矿化与热源构造体的空间关系，可分为体内、体外及过渡型三大类别。

三、提出影象地质体的概念有助于判定铀成矿区

所谓“影象地质体”系指在图象上色调深浅、影纹结构及其组合形态基本一致，地质上有成生联系的地质构造、地貌景观的统一的综合反映体。亦是遥感图象所表现的“影象—地貌—构造—地质体”的某种总合体。依据图象特征可划分出不同级别、不同类型的影象地质体（简称“影体”）。又可按构造形态、地质体性质划分出不同成因类型、系列性影体。

铀矿化常产于大型暗色菱形及中、小型环形或半环形活动性影体的边部，其中含铀热源环形影体的矿化更有其鲜明的特性（图5）。比如，火山岩型铀矿往往产在暗色（灰黑色调，亮度系数 $<40\%$ ）影纹结构复杂的菱形网状的影体中；花岗岩型铀矿却产在浅色（灰白，亮度系数 $>70\%$ ）影纹结构简单的斑纹状影体中；而中生代盆地型铀矿化常位于中等色调（浅灰—灰，亮度系数介于 $40-70\%$ 之间）影象结构较为复杂的蠕虫状或斑状纹形的影体中，特别是靠近含铀热源体（花岗岩、火山岩或其他地热体）的一侧成矿更佳。”

现以610和6210两个典型铀矿形成区的地质特征来说明与影象地质体的关系：

610地区的矿化刚好说明了破火山式环形暗色影体的控矿特点。暗色与浅色影体被一条NE向深断裂分开，尽管前人认为该两个影体的地质条件和岩性基本相同，但它们的影纹结构、景观地貌与某些地质特点却有着明显的差异。初步认为，在西部暗色影体中发现一个老火口，相当于晚侏罗世打鼓顶组喷发期；而东部浅色影体是一个公认的新火口，相当于上部鹅湖岭组喷溢期。另在暗色影体中的复合外环附近，还存在有几个侧火山口和隐爆火口。在大规模火山喷溢后，西部可能被白垩—第三纪红层沉积覆盖，后经逐级隆断，菱形构造发育，风化剥蚀并留有残迹等变化，致使成为暗色的影体。除此之外，还有岩性和矿物成分复

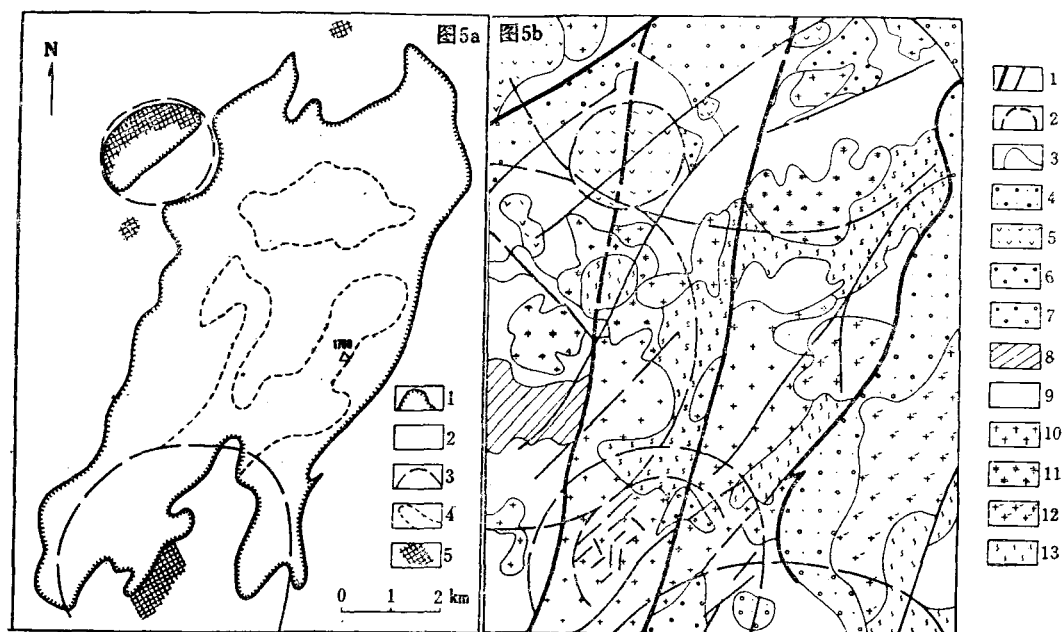


图 5a 610—6210地区影象地质体与铀矿关系图

1—暗色菱网状影象地质体；2—浅色斑杂状影象地质体；3—环形影象地质体；4—次级浅色影象地质体；5—铀矿区

图 5b 610—6210地区地质构造略图

1—断裂；2—环形构造；3—地质界线；4—上白垩世—下第三纪红色碎屑岩建造；5—上侏罗世—中酸性火山碎屑岩建造；6—上侏罗世—下白垩世火山碎屑岩建造；7—上二叠世—中侏罗世含煤碎屑岩建造；8—上泥盆世—二叠纪碳酸盐含煤碎屑岩建造；9—震旦纪—寒武纪含磷浅变质岩系；10—燕山期花岗岩；11—海西期花岗岩；12—加里东期花岗岩或交代花岗岩；13—混合岩

Fig. 5a. Schematic map showing relationship of image geological body to uranium mineralization in 610—6210 area.

1—Dark-toned rhomboidal-netted image geological body; 2—Light-toned spotted image geological body; 3—Ring image geological body; 4—Second-order light-toned image geological body; 5—Uranium ore district.

Fig. 5b. Diagrammatic geological-structural map of 610—6210 area.

1—Fractures; 2—Ring structure; 3—Geological boundary; 4—Upper Cretaceous-Eogene red clastic formation; 5—Upper Jurassic intermediate-acid volcanoclastic formation; 6—Upper Jurassic-Lower Cretaceous volcanoclastic formation; 7—Upper Triassic-Middle Jurassic coal-bearing clastic formation; 8—Upper Devonian-Permian carbonate coal-bearing clastic formation; 9—Sinian-Cambrian phosphoric low-grade metamorphic sequence; 10—Yanshanian granite; 11—Hercynian granite; 12—Caledonian or metasomatic granite; 13—Migmatite.

杂、酸度稍低（石英含量达55.3%， SiO_2 含量为73%）、结晶程度差、粒度小、斑晶含量低、基质含量高、碱性和中性元素及特征元素（Be、V、U）含量偏低、岩屑多杂、风化破碎、次生变化强、水系植被发育等特点。

铀矿床全部集中在西部暗色影体的边部，单铀型分布在新火口附近，铀钍或铀萤石型则靠近老火口。这说明铀的成矿作用是由新向老火口方向扩散聚集的，矿化具叠加富集作用。

6210地区的情况却大不相同，所有的矿床均产于印支—燕山期复式花岗岩造成的环形影体中的次级浅色影体内。该影体受SN—NE向断裂控制，经断陷，白垩纪红层沉积覆盖，强

烈风化剥蚀及广泛强烈的蚀变作用与植被不发育所造成。此外, 还有酸度适中 (SiO_2 含量为 72%)、岩石结构粗糙、石英和白云母含量增高、Fe 高 Mn 低、碱性与微量元素 Zn、Be、U 偏高的特点。矿化属中低温热液型, 与燕山期中酸性岩浆型热源体的活动有成因上的联系^①。

四、“热蚀变影象带”是寻找铀矿床的标志

中、大比例尺航摄彩色红外及其处理的图象, 可将产铀花岗岩体或复式岩体的热液蚀变花岗岩带或蚀变区段圈划出来。这种蚀变带可以穿过一个或几个花岗岩体, 有时长达几十千米, 宽达几百米至十几千米。

一般说来, 热液蚀变的地段往往受大型断裂带的控制, 次级构造发育, 岩石破碎, 易透气渗水, 物理化学风化作用较强, 暗色或低价矿物容易氧化或分解流失, 有的矿物发生晶变或重结晶, 地表浅色矿物如石英、长石岩屑增多, 所以造成该地段反射率比较高, 有时达 80% 以上。该种浅色带、区在图象上显示得比较明显, 故称之为“热蚀变影象带”。

与铀矿化有关的热蚀变带, 主要有红色 (赤铁矿化、长石发红、红色玉髓、紫色萤石化及褐铁矿化)、绿色 (水云母化、绿泥石化、黄铁矿化、绢云母化)、白色 (硅化、钠长石化、碳酸盐化及高岭土化等) 热蚀变在遥感图象上反映的影象带最明显, 且随着蚀变的强度和地质条件不同产生不同深浅色调、不同影纹结构的影象带。

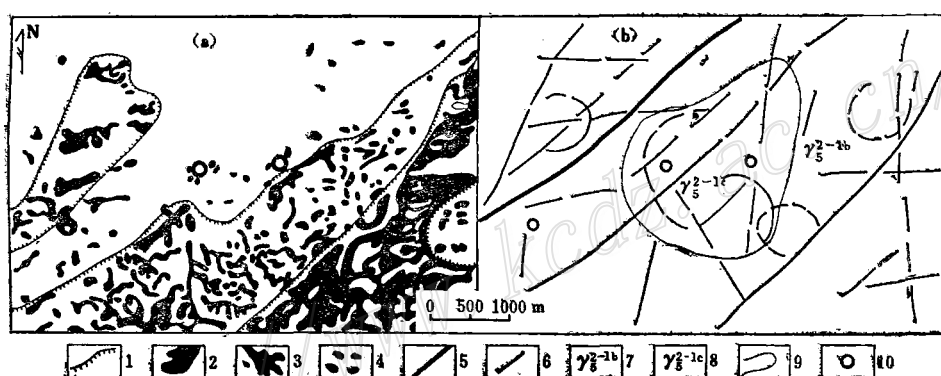


图 6 6210 地区构造热蚀变影象带彩红密度分割图 (a) 和地质图 (b)

1—影象地质体界线; 2—暗色斑块状影纹 (弱蚀变花岗岩) 带; 3—中色调蠕虫状影纹 (中等蚀变花岗岩) 带; 4—浅色斑点状影纹 (强蚀变花岗岩) 带; 5—主要断裂; 6—次要构造形迹; 7—中粗粒黑云母花岗岩; 8—中粗粒似斑状黑云母花岗岩; 9—地质界线; 10—铀矿床

Fig. 6. (a) Color-infrared density slicing map and (b) schematic geological map of 6210 area.

1—Boundary of image geological body; 2—Zone of dark-toned spotted stripes (weakly altered granite); 3—Zone of medium-toned vermicular stripes (moderately altered granite); 4—Zone of light-toned spotted stripes (Intensely altered granite); 5—Major fracture; 6—Secondary structural track; 7—Medium-coarse grained biotite granite; 8—Medium-coarse grained porphyritoid biotite granite; 9—Geological boundary; 10—Uranium deposit.

① 王学佑 (1982) “影象地质体在查勘铀矿中的作用”。

例如6210矿区的热蚀变花岗岩带受其蚀变和断裂构造的双重控制。按其断裂带的远近,蚀变由强变弱、色调由浅变暗、影纹结构由模糊简单变为清晰复杂,在图象上可大致分为浅色、中等、暗色三个不同影纹结构的热蚀变花岗岩型影象带,恰好与热蚀变的强、中、弱三个花岗岩蚀变带相对应。矿化主要与赤铁矿化、黄铁矿化、红色玉髓、萤石化有密切关系。

矿床或矿体常分布于浅色斑点状的热蚀变影象带(强蚀变花岗岩带)中或其与中等色调蠕虫状热蚀变影象带(中等蚀变花岗岩带)的过渡带(图6)。这说明铀矿化形成于强—中等程度的含铀热液活动或蚀变的过程中,矿体一般不超出热蚀变影象带的范围。利用这一标志,在铀矿区寻找新的矿体将成为可能。

五、特征性地貌景观区可作为铀的成矿预测区

利用卫星或放大的及航摄的中、小比例尺遥感图象,能够较快而准确地判译出区域地貌景观的特征及其类型的分布。作者在江西遥感试验中,以影象、地貌景观、构造地质的有机联系和综合特征为依据,尤其以区域控制性或活动性构造为界,将赣中以东地区划分出七个Ⅱ级地貌景观区、八个Ⅲ级有意义的地貌景观区、十五个Ⅳ级特征性地貌景观区。铀矿化却常与后一种特征性地貌景观区(简称“特区”)有联系。将“特区”概括一句话就是:“平中找高,高中寻低”,即①在平原区内找出残丘或丘残特区;②在低山丘陵区找寻中低山或断丘特区;③在中低山区中寻找断丘特区。

有趣的是,不管在哪种地貌单元里,有矿的地貌景观区的性质基本上是相同的,即铀矿主要集中在小型半封闭的环形隆坳断陷或弧、线形断陷剥蚀—堆积过渡区,亦与剥蚀—堆积平衡面有空间上的联系。看来,在成矿的同时,可能伴有中等速度的中新世沉积覆盖作用,稍后是缓慢地剥蚀或断隆作用。因而在华南地区研究矿体的保存和破坏是找矿中的一个重要问题。

江西铀矿大都产在区域隆陷过渡带大型构造阶地(Ⅱ—Ⅳ级)的转折部位及低山丘陵区剥蚀—堆积区(在其边部往往有中新世的断陷盆地),尤以海拔标高400m主剥蚀夷平面以下附近的断丘区为最佳成矿区(图7)。

据勘探资料得知,矿化标高一般在±400m区内,其中又以±200m区段最好,中线相当于海拔0m线,这说明铀矿化与当今的海平面有着密切的关系。而中间性过渡型地质构造域则应是控制地下含铀热源物质进行扩散、运移及“三合”式成矿作用的反映区。

“三合”的含义,首先是地壳深部原生高温高压(部分来自上地幔或深熔作用)含铀或不含铀流体、活化再生富铀和矿化剂的热源体与浅部地壳低温低压含铀渗溶体(包括大气成因水)的“混合”作用^①。这种混合还应理解为:一是热源、液源、铀源多元多相的混合;二是造就含铀热源物质的元素分离与化合的“结合”作用,主要取决于铀与氧的结合能(D),亦是 $U + 2O = UO_2$ 的化学键分离能。花岗岩浆中 $D_{U^{4+}} = 350 \text{ kcal/mol}$ ^②,与氧结合能力比较强,因而与其他元素常形成比较稳定的六价复杂氧化物或络合物被搬运;三是含铀物质在中

① 陈肇博(1980)“火山岩型铀矿的‘双混合’成因模式及其在找矿中的应用”。

② 章邦桐(1982)“应用化学键分离能分析铀在花岗岩浆中的地球化学特点”。

性地质构造、中等物理化学环境中（铀的活力、浓度、温度、压力、酸碱度、氧化还原剂与电位等）的适合，即“中合”作用。铀就是在上述三种“混合—结合—中合”联合作用中逐渐富集成矿的。

所以说，地壳中含有适当和足够的氧来促使铀元素的分离与转化，便是一个决定性的因素。

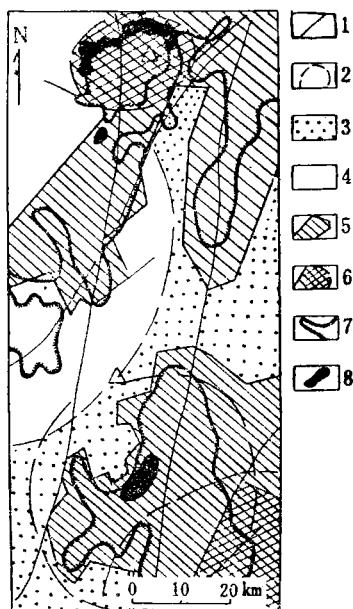


图7 610—5210地区
特征性地貌景观区与铀矿关系图

1—主要断裂；2—环形构造；3—反“S”形中低山区；4—环形丘陵残蚀区；5—断陷丘陵特区；6—环形中低山特区；7—海拔400m夷平线；8—铀成矿区

Fig. 7. Map illustrating relationship of characteristic landscape divisions to uranium deposits.

1—Major fracture; 2—Ring structure; 3—Inverse “S”-shaped middle and low mountain area; 4—Ring relict hilly area; 5—Fault depression hilly area; 6—Ring middle and low mountain area; 7—Graded line of 400m level; 8—Uranium ore district.

而中性过渡型半封闭构造域，尤其在透气渗液均衡面（或称“三合面”）附近（与现代剥蚀堆积平衡面以下的海拔0m线基本一致），则恰好满足铀成矿的供氧条件。在华南地区，自中生代以来，古地貌、剥蚀堆积平衡面、古海平面的变化与区域性缓慢隆升是相一致的。因此，在一个或数个相同性质的构造单元或地貌景观区内，掌握“三合面”的位置变化（具相对稳定性）是找寻铀矿的关键（图8）。

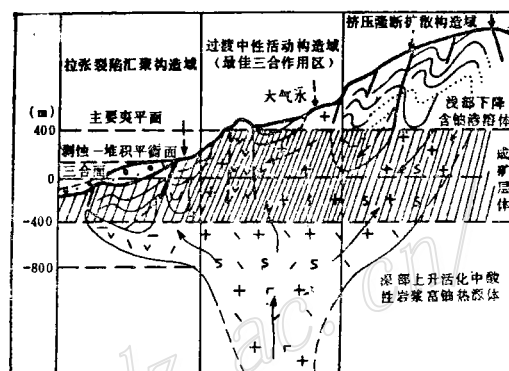


图8 “三合”式铀成矿模式图
(密斜线为最佳成矿段)

Fig. 8. Metallogenic model of “Mixing-combination-neutralization” type uranium deposits
(Dense tilt lines representing most favorable mineralization segment.)

六、铀矿化在热红外图象中的显示

将铀矿床作为地壳中的一个热源体来探索它在热红外图象上的反映，从而指导找寻铀矿看来是可行的。如在2—14μm的中、大比例尺红外扫描图象上，可以圈定出地表或地下浅成的热水区、带、泉点和其他热源体、气爆体及热源环形构造体等，为铀矿地质背景与成因分析提供依据。

然而，到目前为止，还没有找到铀矿显示的直接标志。这主要由于自然界干扰因素太多，感光材料和红外仪器还没有达到很高的精度。目前，仅在露天采场或浅部铀矿体上发现

一些浑圆状或云雾状的白点或白斑,有时带有脑纹状影纹,其成因还有待于深入研究。

但是,通过图象的判译、计算或图象的多种处理,利用铀矿热体在凌晨放热到最低限度时与其围岩的昼夜温差值的变化特征(决定于矿体的储量和埋深),有可能提供找铀的某些线索。如蒋辅亮测试出6122矿床的I、II号矿带的昼夜温差值比矿区底数高出2—3倍。

七、几点结论

1. 利用遥感图象进行地质解译,能够比较快而客观地反映出区域地质构造与铀成矿地质背景、分布规律等之间的关系,发现新线索,在综合分析前人资料的基础上,从而为铀矿预测提供新资料。

2. 从遥感地质角度看,控制铀矿生成的主要构造——热源环形构造,在遥感图象上反映最灵敏,图象最清晰。因此,运用这一重要特点,可迅速进行面上或点上的成矿预测。

3. 影象地质体、热蚀变影象带及特征性地貌景观区与剥蚀系数大小,可作为寻找或勘查铀矿的影象或地貌的标志。当然,这几种标志可能是随大地构造单元和大型地理地貌景观区的不同而变化,所以还有待于深入研究。

4. 用热红外图象直接找寻铀矿是今后应该重视的方法之一。目前,此法在国内外仅处于探索阶段,它的使用有待于遥感器、地面测试仪和解译技术手段的不断提高。

参 考 文 献

- (1) 张伯声 1980 中国地壳的波浪状镶嵌构造 科学出版社
- (2) J. B. 赖特 1982 矿床、大陆漂移和板块构造 地质出版社
- (3) 李四光 1973 地质力学概论 科学出版社
- (4) 张用夏 1984 华南地区环形构造及其成因 地质论评 第5期
- (5) 徐克勤等 1982 华南两个成因系列花岗岩及其成矿特征 矿床地质 第2期

THE APPLICATION OF REMOTE SENSING IMAGINES IN URANIUM PROSPECTING

Wang Xueyou

(Geological Remote Sensing Application Center, Ministry of Nuclear Industry, Shijiazhuang,
Hebei, China)

Abstract

This paper is mainly intended to point out that the remote sensing images can demonstrate the important role the most obvious heat source bodies and heat source structural activities play in uranium mineralization. Taking three major ring structure systems of heat sources in South China (Fig. 1) as examples, it also indicates that the heat source ring structures are main structures for uranium mineralization. In particular, the structural knot, where the heat

source ring structure caused by medium and small sized granite intrusion and volcanic activities intersect the arc and linear structure, controls the major uranium deposits in South China (Fig. 3).

The "denudation coefficient" is put forward and calculated in this paper to express the modes of formation of uranium deposits along the uranium-producing heat source ring structure. In general, mineralization is distributed from the inside to the outside of the ring with the increasing denudation coefficient. In addition, the new concept of "image geological body" is established. With it, the metallogenic prognosis can be performed. Each sort of uranium mineralization usually occurs in its peculiar image geological body (called hereafter "image body" for short): the volcanic type uranium mineralization frequently occurs in dark-toned image body with complicated rhomboidal-netted stripes; the granite type mineralization in light-toned one with simple spotted stripes; and the mineralization of Mesozoic and Cenozoic basin type in medium-toned one with more complicated vermicular stripes.

The thermal alteration image zone might be looked upon as one of the image indicators in prospecting for uranium ore deposits, with uranium mineralizations often found along the margin of the light-toned spotted thermal alteration image zone. Two major craters, one being new and the other old, have been recognized in the 610 mining district, which serve as new evidence for superimposed concentration of uranium-thorium type mineralization and single uranium type mineralization within this district.

The characteristic geomorphic landscape division seems to be a geomorphic guide to regional or ore-district metallogenic prognosis, with uranium ores unexceptionally confined to fault-depression hills or relict hills lying below the denuded-graded line 400m of elevation. The general ore-forming elevation range of $\pm 400\text{m}$ suggests that uranium mineralization is genetically related to the median line (0m level) and that the intermediate structural region is a reaction area where "mixing-combination-neutralization" mineralization of deep-and shallow-seated uranium-rich substances occurs. The determination of the position of this "three-combination surface", therefore, seems to possess key importance in search for uranium deposits.

Furthermore, some clues to uranium ore deposits might be found by studying such characteristics as the reflection of uranium mineralization on thermal infrared images and variation in diurnal difference of temperatures between the heat carrier of uranium and surrounding rocks in the early morning when the crust dissipates heat to the minimum.