

改造末期多种能源矿藏(床) 同盆共存的多源信息找矿识别标志

赵希刚^{1,2}, 吴汉宁¹, 韩玲¹, 李卫红², 徐高中²

(1. 西北大学 地质学系, 陕西 西安 710069; 2. 核工业 203 研究所, 陕西 咸阳 712000)

[摘要] 利用多源信息(地质、物化探、遥感、水文地质等)研究多种能源矿藏在改造末期同盆共存的判别标志和赋存环境, 着眼于改造结果, 多源信息特征反映的是在改造末期所形成构造格局的基础上, 油气、煤、铀多种能源矿藏(床)同盆共存的现今空间关系, 在此基础上, 从铀成矿因素方面建立油气、煤、铀多种能源矿藏(床)同盆共存的找矿识别标志。

[关键词] 多种能源; 矿藏(床); 同盆; 共存; 多源信息; 找矿标志

[中图分类号] P315.0; P618.130.1 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2005)02-0033-07

[作者简介] 赵希刚(1963-), 男, 陕西蓝田人, 西北大学博士研究生, 从事地球探测与信息技术处理研究。

油气藏、煤矿、砂岩型铀矿为隐蔽矿藏(床), 地质、物化探、遥感、水文地质等多源信息从地表—浅部—深部立体研究盆地地质环境, 为寻找多种能源矿藏(床)提供判别标志和找矿线索的基础资料^[1~6, 23]。在世界范围内多个大型盆地中油气、煤、铀多种能源矿藏(床)同盆共存共生^[7, 8]。油气、煤、铀等多种能源矿藏(床)在成盆—成岩—成矿—后期改造—改造末期各个阶段, 单矿种富集成矿研究达到较高的水平^[9~13], 而多种能源矿藏(床)同盆共存的相互关系、内在联系和富集定位研究滞后, 特别是多种能源矿藏(床)在改造末期共存的多源信息判别标志和找矿模式研究目前尚未见到报道。因此, 研究多种能源矿藏(床)在改造末期同盆共存的多源信息判别标志和找矿线索就显得非常重要。

1 研究现状

油气田、煤、铀的勘探开发实践证明, 放射性铀矿与石油、天然气、煤共存共生关系密切。在油气

藏周围、煤层中寻找砂岩型铀矿、含铀煤型铀矿, 即所谓的以“油气找铀、以煤找铀”, 在油气藏周围和煤层中可找到一批砂岩型铀矿^[14~16]。

油气和铀同盆具有烃、铀源岩的同一性——含炭泥岩或黑色页岩(如陕北油田三叠系延长组第7岩性段张家滩页岩); 容矿主岩的相似性——碎屑岩储集层(成藏成矿时共存于同一地层, 如鄂尔多斯盆地侏罗系直罗组和延安组地层); 活化运移同源——热源(地热源: 铀源层加热后, 活化的铀元素易于被热液流体带走; 烃源岩受热后, 有机质中的干酪根演化生成烃, 运移富集; 铀衰变产生的热源, 对烃活化的作用不用低估); 成藏成矿的同时性(油气田生成时间大部分在白垩纪和第三纪, 铀矿成矿为白垩纪改造以后形成)。油气在砂岩型铀成矿过程中的作用主要为还原作用^[17, 18], 对水成砂岩型铀矿(层间氧化带型、潜水氧化带型)的还原作用具体表现在对砂体的还原和对铀元素的还原富集(如松辽盆地钱家店铀矿床、鄂尔多斯盆地北部的东胜铀矿床)。铀在油气成藏过程中的作用主要为热事件, 铀、钍、钾放射性元素衰变产生的热使烃源岩中有机质的干酪根演化生成烃, 迁移富集成藏。

煤生成的烃类气体不但是天然气的烃源岩, 也是铀成矿的还原剂。煤及煤成气在砂岩型铀成矿过程中具有还原作用^[19]、阻挡层和吸附作用。对水

[收稿日期] 2004 05 17

[基金项目] 国家 973 项目(2003CB214600); 国家自然科学基金项目(40374020)

成砂岩型铀矿(层间氧化带型、潜水氧化带型)的还原作用具体表现在对砂体的还原和对铀元素的还原富集。煤层作为隔挡层可以形成层间承压水——流动单元,有利于含氧含铀水的渗入和流动。煤系吸附铀形成含铀煤型矿床(如伊犁盆地)。铀和煤共存于含煤碎屑岩建造的地层中(如吐哈盆地十红滩铀矿床),可能铀衰变产生的热对煤质产生影响。

盆地中,目前油、气、煤产出层位一般是晚古生代、中生代;铀矿产出层位一般是中生代。油、气、煤、铀的产出空间位置具有重叠性,一般是油、气深,煤、铀浅,油、气、煤、铀之间关系一般是改造前共生,改造末期共存。

改造作用对成藏成矿起到了关键作用。盆地的改造作用形成现今的构造格局,影响多种能源矿藏(床)同盆共存、共生的空间定位,特别是抬升剥蚀和翘倾对砂岩型铀成矿有利。改造作用抬升使中生代地层翘倾,有利于含氧含铀水沿渗透性岩层渗入和流动;改造作用抬升剥蚀使含煤岩系出露地表(鄂尔多斯盆地渭北黑腰带);改造作用是基底产生变形隆起,形成油气圈闭构造,同时在上覆地层中产生裂缝,油气产生的烃类气体沿裂缝微渗漏在渗透性岩层中产生还原环境,使 U^{6+} 在成矿层还原剂(有机碳、硫化物等)和烃类气体共同作用下,在氧化还原地球障附近还原成 U^{4+} ,形成后生富积铀矿,例如美国德克萨斯砂岩型铀矿^[7,17],位于油气田上方,其间有密切的空间关系。

从鄂尔多斯盆地、吐哈盆地、松辽盆地、二连盆地等 U-Pb 同位素测年确定,砂岩型铀成矿年龄为 160~150 Ma, 130~120 Ma, 90~80 Ma, 60~50 Ma, 20~7 Ma 5 个年龄段,改造末期指中新世以后(20~7 Ma)的改造作用,由于中新世以后的改造作用相对较弱,才能使多种能源矿种同盆共存。

2 多种能源矿藏(床)同盆共存共生的理论依据

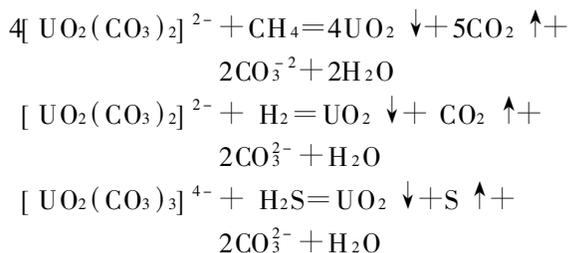
众所周知,油、气、煤、铀在成矿时间、成矿环境、控矿因素、成矿机理、找矿标志等方面存在相互关系和密切联系。油气矿藏共生共存;油气藏和煤矿床不共生,但是共存。煤成烃、煤成气的烃类气体是天然气的烃源岩。

成藏成矿与自流盆地构造改造作用密切相关。

由于盆地演化过程中后期改造(白垩纪以来)的不均一性,造成抬升剥蚀、叠合理深、热力改造、构造变形、肢解残留、反转改造和复合改造的差异,从而导致自流盆地水文地球化学条件发生变化。有的表现为渗入,有的表现为渗出。前者形成以 U, Mo, Se, Re 等矿化为特点^[19];后者以油气为特点。例如吐哈盆地油气成藏和铀矿成矿期非常相近,由于后期改造,属于山前拗陷的北部凹陷叠合理藏较深,构成渗出型区段,形成石油天然气藏;而南部由于翘倾和抬升剥蚀的差异性,构成艾丁湖斜坡带,为渗入型区段,形成铀矿,伴生 Mo, Se, Re 矿化,使煤层出露地表。

盆地热力改造直接影响包括煤在內有机质成熟度,与盆地产铀性对比研究表明,铀与低成熟度有机质有关,褐煤($R_0 < 0.5\%$)进入鼎盛的生甲烷生烃期,如吐哈盆地艾丁湖斜坡带铀矿床有机质成熟度低($R_0 < 0.5\%$)。盆地西缘艾维尔沟煤矿有机质成熟度高($R_0 > 1\%$)。

还原地球障是铀矿成矿极为重要的成矿前提,实验证明和热力学计算,与油气、煤有关的还原性气体(H_2 , CH_4 , CO , H_2 等)对铀成矿起到重要作用。用原油将溶液中 U^{6+} 矿物还原成 U^{4+} 矿物^[19],用天然气还原铀溶液中的高价铀得到沥青铀矿。含 H_2 的天然气做还原剂比无 H_2 的天然气做还原剂可以得到更多的 UO_2 。其化学反应式为:



3 多种能源矿藏(床)同盆共存共生的多源信息特征

油气田作为流体和气体矿产,在盆地的不同演化-改造过程中,改造作用使生油生气、储油储气、盖层岩系和圈闭以及保存条件发生变化,油气沿有利的储集层位或构造、裂隙运移、富集成藏,并对上方的渗透性砂岩中含氧含铀水的 U^{+6} 矿物还原成 U^{+4} 矿物,富集成矿。油气田特殊的构造圈闭形式,在地壳中必然形成一定范围的构造变形,并可在遥感影像和重、磁、电场中显示

出来。如遥感影像上隆起的正地貌,圆状扁环状的隆起,或环状影纹结构区,水系的密集分布和环流等。重、磁、电场表现为偏高场区。近些年来,随着石油化探技术的发展,油气微渗漏现象已得到广泛证实。还原性油气渗漏到地表可形成粘土类矿物,红色岩层(氧化层)还原而出现褪色-漂白现象。放射性测量在油田上方出现烟囱效应,化探测量碳酸盐含量产生异常及烃类气体异常等。另外,油气渗漏及地层褶皱上隆,可分别引起植被的病态变异和水土流失,因而可形成植被退化,土壤沙化,进而形成植被稀少或无植被沙土地带,地表热度升高,反射率增大,形成热红外异常。这些直接或间接的油气信息和构造信息,通过计算机图像和物化探资料的专题处理技术,可以清楚的在遥感图像上和物化探成果图上显示出来,从而为寻找油气目标区和以油气找铀提供新的确切依据,这已在海外及中国二连盆地、鄂尔多斯盆地的综合找矿研究中得到证实。地震勘探及其资料处理在油气勘探和开发方面,无论是研究构造圈闭和解释地层层序,还是直接寻找油气藏部位,都具有明显的地球物理特征。

煤是成煤(岩)时期的产物,其形成于潮湿温暖气候条件下,一般说来煤和铀不共生。但是,其在后期盆地的不同演化-改造作用过程中,煤级(阶)、煤质或赋存状态发生变化。抬升剥蚀使煤出露地表,构造变形、叠合理深使煤质发生变化,如褐煤-无烟煤、煤成烃、煤成气等等。煤生成的烃类气体不但是天然气的烃源岩,而且是铀成矿的还原剂,也是含铀煤型铀矿的吸附剂。不同煤质的煤层出露区在遥感影像上有其独特的影像特征,煤层、煤线出露区,地表热度升高,反射率增大,形成热红外异常。

煤田勘探中重、磁、电场宏观上为低值,在地震、测井资料上清晰地反映出煤层地层层序和煤层展布。气体化探测量在煤田上方或周围形成烃类异常。

砂岩型铀矿为后生流体成矿,经历含矿岩系的沉积预富集(成盆、成岩)、层间氧化作用(后期改造)、还原物质和油气还原作用(再富集)的结果^[20,21]。砂岩型铀成矿与后期改造-抬升剥蚀和翘倾密切相关,后期改造形成的地貌特征,水文地质的水动力补给-径流-排泄机制,在遥感影像上清晰可见。中生代盆地基底和沉积盖层稳定的斜坡带,重、磁场宏观上为异常梯度带。河流相和河流

扇三角洲相形成的泥-砂-泥结构在地震、测井资料上清晰地反映出地层层序和砂体展布。放射性测量在铀矿上方和周围存在着微弱的放射性异常。层间氧化带型铀矿的成矿部位——氧化还原过渡带也是自然电位的梯度带,油气、煤成气成烃在地表形成烃类异常。

4 多种能源矿藏(床)同盆共存共生的多源信息判识和找矿标志

研究多种能源矿藏(床)在改造末期形成现今构造格局的基础上同盆共存的多源信息判识和找矿标志,主要从砂岩型铀矿床的角度出发,油气、煤对砂岩型铀成矿作用明显。美国一些大型砂岩铀矿下部常有油气藏存在,铀矿产于断裂构造附近或油气藏顶部蚀变带中。中国在二连、松辽、鄂尔多斯盆地相继找到了与油气有关的砂岩型铀矿。

4.1 铀矿与油气有关的找矿标志

努和廷砂岩型铀矿床位于内蒙二连盆地。盆内发育中新世地层,为渗入型自流水盆地,周围蚀源区铀源丰富,河流相-滨湖相沉积环境,形成具有承压水的泥-砂-泥互层,强蒸发的干旱-半干旱气候。含矿层位为 K_2d (二连组),具还原性灰色的中细粒杂砂岩、长石砂岩、粉沙-粘土岩、泥灰岩等,含少量炭化物和黄铁矿,后期改造强烈,改造作用造成含矿地层产状倾向南东,倾角 $3^\circ \sim 5^\circ$,矿化深度 $25 \sim 80$ m,西部靠近断裂(F_6)凹地地段,为矿体上翘浅部,向东南矿体向深部延伸,深度 $60 \sim 80$ m。

努和廷砂岩型铀矿床的找矿模式(图1):

(1)空间分布。砂岩型铀矿位于吉格森油田左上方。作为还原剂的深部油气沿断裂上升、运移。在岩心中可见沿构造裂隙广泛发育的灰色褪色带——漂白现象。

(2)轻烃和氩气测定含量高。努和廷和苏崩铀矿床141个样品相关分析证实,铀与烃类气体呈正相关^[15]。

(3)矿区铀矿石中见到油浸砂岩,如ZK328~399-1孔,62~67 m处铀矿体厚达4.13 m,质量分数为1.13%,而油浸砂岩中的石油来源于深部油田。

(4)油气化探指标 ΔC , CO_2 及烃类异常是地层深部油气藏中烃类气体向地表垂直运移的佐证。运移过程中形成的蚀变碳酸盐,矿石样品 ΔC 含量

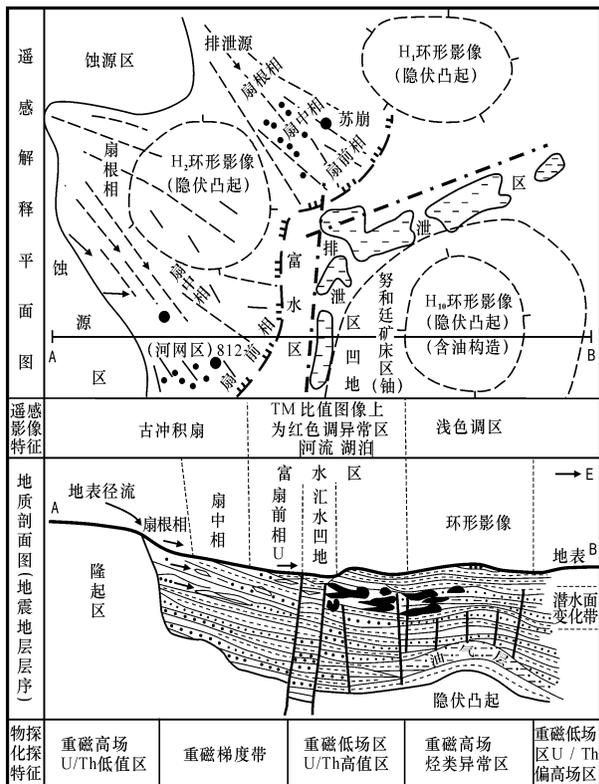


图 1 油气、铀同盆共生的多源信息特征

Fig 1 Mutil information feature of coexistence for oil/gas pool and uranium deposits in the same basin

普遍较高, 体积分数为 0.025% ~ 0.384%, 并且矿石 ΔC 含量高于岩石。

(5) 地表化探显示有烃类异常, 甲烷体积分数占总烃 76.13% ~ 81.01%。C₁ / (C₂ + C₃ + IC₄ + NC₄ + IC₅ + NC₅) 比值一般为 2.10 ~ 5.68^[17], 与石油伴生气成分相似。

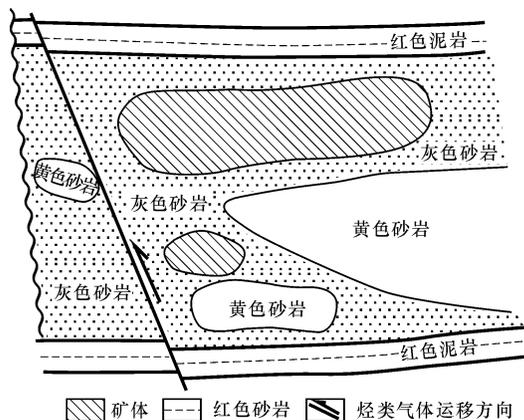
该区后期改造强烈, 但盆地凹陷作用具有较好地继承性, 这种富水区很大程度上反映盆地近代山前的凹陷汇水部位, 可地浸砂岩型铀矿一般成矿时代新, 甚至目前还在进行成矿作用。所以, 遥感图像上反映的富水带应是排泄源, 有区域性隐伏断裂通过, 在其网格状交汇区最为有利。

遥感影像在矿区不同地方表现出独特的遥感特征(见图 1)。遥感图像上成矿目的层地表出露区冲积扇发育, 相互叠加冲积扇存在。冲积扇前缘有长期发育的稳定汇水或富水带, 在遥感图像上有明显的色彩异常带。虽然这种富水区为现代作用的产物, 但在热红外影像上反映为中高温场区。本区隐伏环形构造较发育, 反映构造圈闭, 其下一一般有油气田存在。

重力、航磁图像上的宽缓低异常梯度带区, 航

空放射性测量在蚀源区为铀和钍 / 铀的大面积高场区, 在找矿目的层上为带状偏高场区, 在盆地内铀 / 钍为低值区。

钱家店砂岩型铀矿床产于松辽盆地开鲁拗陷的东北部, 成矿目的层为上白垩统姚家组, 沉积相主要为辫状河, 具有稳定的泥-砂-泥结构, 目的层地层平缓, 褶皱不发育, 属构造弱活化区。该区在晚白垩世嫩江期后经历了较长时间的改造作用——缓慢抬升与掀斜运动, 并缺失第三系沉积。从成矿年龄看, 砂岩型铀矿床矿石样品 U - Pb 等时线分别(53 ± 3) Ma 和(7 ± 0) Ma, 前者相当于始新世时期, 当时正是研究区处于裸露剥蚀期; 后者处于中新统与上新统过渡期, 是改造或叠加作用主要阶段。成矿控制因素为铀源、构造、地层及岩相、水文地质、层间氧化作用和油气还原作用(图 2)。特别提到油气沿钱家店砂岩型铀矿床西北部深大断裂扩散到渗透砂岩层, 对砂体和铀进行二次还原, 使铀进一步富集成矿。



U 矿中 C₁ ~ C₃ 烃类含量高, 一般为 300 ~ 600 μL/kg, 矿体在漂白带中; 据杜乐天修改

图 2 铀、油气(烃类气体)同盆共存的示意图

Fig. 1 Coexistence of uranium deposit and oil/gas pool (hydrocarbon gas) in the same basin

矿床形成可归结为, 在后期改造作用下, 活动断裂构造形成汇水带, 来源于蚀源区的含氧含铀水向层间渗透砂岩层运移。受阻于油气构造圈闭及其还原气液上升地带, 在氧化还原过渡带富集成矿。

4.2 铀矿与煤有关的找矿标志

十红滩砂岩型铀矿床产于吐哈盆地艾丁湖斜坡带上侏罗系地层中, 含矿岩系为一套含煤碎屑岩建造, 其中八道弯组是中国公认的一套煤系烃源岩。通过测定, 矿石中 CH₄ 的碳同位素 (δ¹³C 平均

值为 -30.3×10^{-3}) 和含矿岩层顶底板中 CH_4 的碳同位素 ($\delta^{13}\text{C}$ 平均值为 -28.5×10^{-3}) 数值接近, 推测矿石中的气态烃可能来源于含矿岩系的煤成气^[16]。

图 3 表明, 改造后期地层抬升掀斜, 造成层间氧化带沿水流方向移动, 铀主要以吸附态存在, 具典型的后生作用特征。铀镭平衡偏铀, KP 为 0.33 ~ 1.39, 变化较大, 具水成砂岩型铀矿特征。有关研究成果表明, 矿床至今仍在形成阶段。

中生代盆地基底和沉积盖层改造后期为稳定的斜坡带即艾丁湖斜坡带, 重磁场宏观上为异常梯度带; 瞬变电磁测量划分出次级构造单元, 矿床位于次级构造单元过渡带即鼻状隆起的东翼; 地表化探测量具有烃类异常; 层间氧化带型铀矿的成矿部位即氧化还原过渡带位于自然电位从正值向负值转换的拐点处附近。

4.3 油气藏找矿标志

吐哈盆地是已知含油盆地, 油气是在盆地的不同演化-改造过程中, 改造作用使生油生气、储油储气、盖层岩系和圈闭以及保存条件发生变化, 油气沿有利的储集层位或构造、裂隙运移、富集的结果。因此, 该盆地油田遥感-物化探-地质模型可归结为(图 4): 吐哈盆地成盆以及烃源岩形成之后, 改造作用在南北向主压应力和右旋扭动应力作用下, 形成一系列东西向、北东向和北西向褶皱隆起带(背斜带)或沉降带(向斜带)以及断裂带。油气向隆起带尤其是隆起带(背斜带)交汇区运移, 形成最有利的油气储集区(如丘陵油田), 这些油气储集区的上方, 由于背斜(或穹隆)上隆作用, 在地表形成低缓隆起地貌, 并近于圆形或椭圆形, 水系沿隆起区弧形拐弯, 十分发育。油气沿裂隙带或岩层空隙向上运移, 形成地表土壤变异或沙化的增强(在植被区则形成植被稀少并沙化)以及热辐射值的增高。经遥感探测和计算机图像处理, 这些异常信息则以特殊的地形地貌和综合景观特征以及反射波谱异常的色调信息表现在图像上。

物探特征表现为蚀源区重、磁异常为高值区, 油气圈闭构造上方为重、磁异常偏高值区, 线性构造表现为重、磁异常的梯度带。放射性测量在油田上方出现“烟囱效应”, 即油田上方出现微弱的放射性异常, 而油田上方四周为偏高放射性异常。

化探特征指标 ΔC , CO_2 及烃类在油田上方或周围形成高异常。

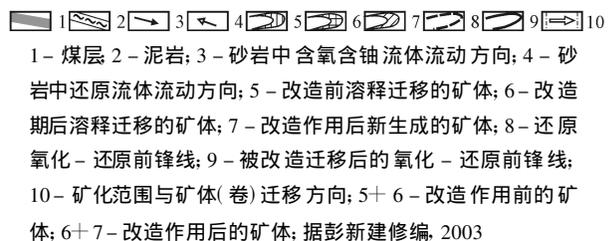
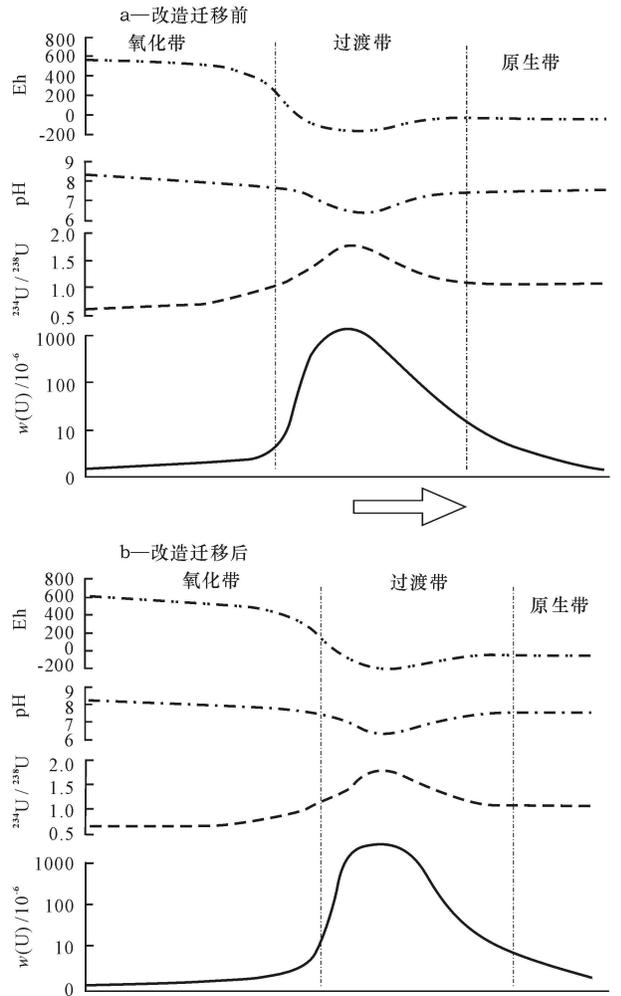
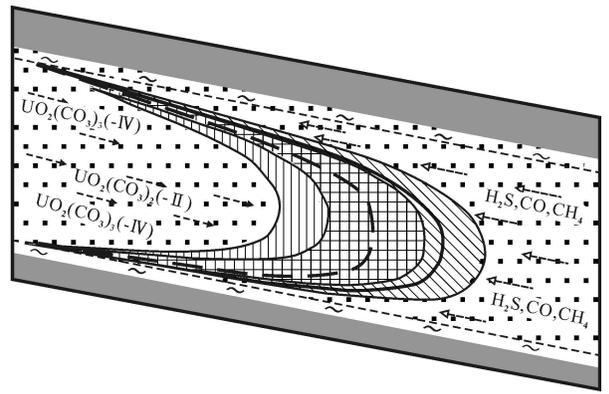


图 3 铀矿、煤共存以及改造作用造成的铀矿(卷)迁移模式

Fig. 3 Coexistence of uranium deposits and coal bed and migration model of uranium deposits by reformation function

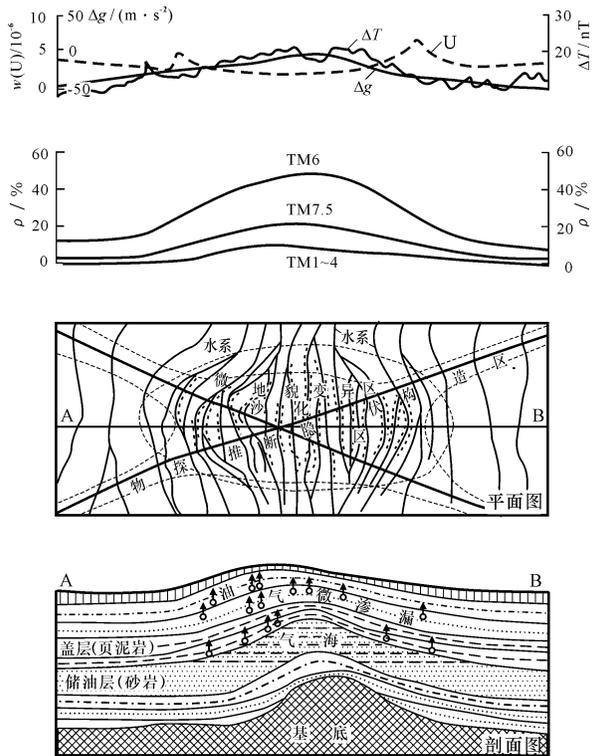


图 4 油气藏多源信息特征

Fig. 4 Mutil information feature of oil/gas pool

5 结论

(1) 改造作用奠定的最新地貌现状、地层展布、基底变形、水动力系统, 对多种能源矿藏(床)定位产生控制作用。

(2) 研究国内外一些盆地发现, 油、气、煤、铀在成矿时间、成矿环境、控矿因素、成矿机理、找矿标志等诸多方面存在相互密切地关系, 特别是油、气、煤及其产生的烃类气体是砂岩型铀成矿的还原物质之一。铀矿床多产于大型含油盆地局部斜坡带或坳陷与隆起区过渡带, 或断裂构造破碎带附近, 尤其是烃储构造附近, 或含煤地层中, 油、煤成烃(气)是天然气的烃源岩。

(3) 多源信息找矿标志是地表-浅部-深部多元信息在同盆共生共存的多种能源矿藏(床)上表现的特征信息。地表信息源有遥感、化探、放射性测量等方法; 浅部信息源有电法、浅层地震、测井等方法; 深部信息源有重力、磁测、深部地震、大地电测深等方法。这些测量资料除放射性测量和烃类测量直接找矿外, 大多为间接找矿, 主要研究成矿环境。其在研究多种能源矿藏(床)定位上表现出的特征信息为多源信息找矿标志提

供了基础。

(4) 根据上述几个矿床(藏)的多源信息特征, 简单总结出在改造末期多种能源矿藏(床)同盆共存共生的多源信息找矿识别标志(表 1)。

表 1 多种能源矿藏(床)同盆共存共生的多源信息找矿识别标志

Table 1 Mutil information indicator for the coexistence and paragenesis of mutil energy source mineral deposits in the same basin

矿种	主要改造类型	构造位置	多源信息识别标志			
			重、磁	遥感	烃类	放射性
石油 天然气	叠合埋深、热力改造、构造变形	构造圈闭 鼻状隆起	偏高场	环状影像 热异常	高异常区	烟囱效应
煤矿	抬升剥蚀	斜坡带、褶皱区	梯度带	热异常	偏高异常区	低异常区
铀矿	抬升掀斜 翘倾	斜坡带	梯度带	富水带	异常区	偏高异常区

在研究和成文过程中得到魏观辉、胡俊楨研究员的指导和帮助, 特此致谢。

[参 考 文 献]

- [1] 王平, 周义, 季海银. 靖安油田北区局部构造与石油富集关系研究[J]. 长安大学学报(地球科学版), 2003, 25(4): 10~13.
- [2] 王锋, 刘池洋, 赵红格. 鄂尔多斯地块西部南北向折离覆褶皱构造[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(1): 7~20.
- [3] 刘光鼎, 郝天璠. 应用地球物理方法寻找隐伏矿床[J]. 地球物理学报, 1995, 38(6): 850~854.
- [4] 江为为, 管志宁, 郝天璠, 等. 华北地台北缘地球物理场特征与金属矿床预测[J]. 地球物理学报, 2002, 45(2): 233~245.
- [5] 李景朝, 刘少华, 严光生. 大型超大型金属矿床综合信息成矿预测方法研究[J]. 地球物理学进展, 2002, 17(4): 736~744.
- [6] 宋立军, 朱杰勇. 金平白马寨铜镍矿床地球物理成矿预测模式[J]. 地球物理学进展, 2004, 19(1): 186~190.
- [7] William E G. Uranium mineralization in a coastal plain fluvial aquifer system: Catahoula Formation, Texas[J]. Economic Geology, 1978, 73: 1655~1676.
- [8] Vogel J C, Talma S, Heaton T H E, et al. Evaluating the rate of migration of an uranium depositions front within the Uitenhage Aquifer[J]. Journal of Geochemical Exploration, 1999, 66: 269~276.
- [9] Rollins on H R. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation [J]. Longman Scientific Technical Press, 1993 56: 1~352.
- [10] Hans H A. The conceptual uranium ore roll and its significance in uranium exploration[J]. Economic Geology, 1964, 59: 46~53.

- [11] 韩玲. 空间逐步寻找数据挖掘在遥感影像分类中的应用[J]. 长安大学学报(地球科学版), 2003, 25(2): 70~72.
- [12] Lovley D R. Microbial reduction of uranium[J]. Nature 1991, 350: 413~416.
- [13] Landais P. Organic geochemical of sedimentary uranium ore deposits[J]. Ore Geology Reviews 1996, 11: 33~51.
- [14] 张景廉. 再论油气与金属(非金属)矿床的相互关系[J]. 铀矿地质, 1997, 13(1): 13~17.
- [15] 张如良, 丁万烈. 努和廷铀矿床地质特征及其油气水与铀成矿作用探讨[J]. 铀矿地质, 1994, 10(5): 257~265.
- [16] 伊金双, 向伟东. 有机质、油气与砂岩型铀矿化关系的研究[J]. 核工业北京地质研究院年报, 2003, 19: 98~107.
- [17] Martin B G, Richard L R, Robert O. RYE Origin of a south Texas roH type uranium deposits II. Sulfide petrology and sulfur isotope studies[J]. Economic Geology, 1978, 73: 1690~1705.
- [18] Spirakis C S. The role of organic matter in the formation of uranium in sedimentary rocks[J]. Ore Geology Reviews 1996, 11: 53~69.
- [19] Wood S A. The role of humic substances in the transport and fixation of metals of economic interest (Au, Pt, Pd, U, V)[J]. Ore Geology Reviews, 1996, 11: 1~31.
- [20] Granger H C, Warren C G. Unstable sulfur compounds and the origin of roof type deposits[J]. Economic Geology, 1969, 64: 160~171.
- [21] Hosteler P B, Garrels R M. Transportation and precipitation of uranium and vanadium at low temperature, with special reference to sandstone type uranium deposits[J]. Economic Geology, 1998, 57(2): 137~167.
- [22] Douglas G B. Position of uranium and/or coffinite accumulations to the hematite pyrite interface in sandstone type deposits[J]. Scientific communications, 1976, 59: 944~948.
- [23] 裴荣富, 翟裕生, 张本仁. 深部构造作用与成矿[M]. 北京: 地质出版社, 1999.

Multi information indicators of paragenic multi energy source mineral deposits formed in same basin at latest reconstruction stage

ZHAO Xi gang^{1,2}, WU Han ning¹, HAN Ling¹, LI Wei hong², XU Gao zhong²

(1. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China;

2. No. 203 Institute of CNNC, Xiayang Shaanxi 712000, China)

Abstract This study aims to locate the prospective area of the coexistence or paragenesis of multi energy source mineral deposits (oil/gas pool, coal bed, uranium deposits, etc.) in a basin. The method used in the study involves the reconstruction function that emphasizes its process and result. Studying the indicators of paragenic multi energy source mineral deposits formed at the latest reconstruction stage of the same basin is fulfilled by using certain multi information like geology, geo-physical and geochemical survey, remote sensing and hydrogeology. The conclusion is drawn from the detailed feature reflecting the current spatial relationship of multi energy source mineral deposits in the same basin, which formed at its latest reconstruction stage. Namely, the multi information indicators of locating unknown multi energy source mineral deposits in the same basin are primarily established on the basis of uranium metallogenic factors.

Key words, multi energy; source; mineral deposits; coexistence; same basin; multi information; prospecting marker

[英文审定: 周军]