

鄂尔多斯盆地东胜地区砂岩型铀矿成因探讨

柳益群^{1, 2)}, 冯乔²⁾, 杨仁超²⁾, 樊爱萍¹⁾, 邢秀娟¹⁾

1) 西北大学地质学系, 西安, 710069; 2) 山东科技大学地球信息科学与工程学院, 青岛, 266510

内容提要: 鄂尔多斯盆地是一个铀、煤、油、天然气共存的沉积盆地。通过电子探针、流体包裹体测温、扫描电镜、偏反光显微镜、煤的微量元素等方法综合分析, 认为盆地北部东胜地区的侏罗系砂岩型铀矿属于与天然气还原有关的低温热液型铀矿床, 其证据有: 铀石主要分布于充填在孔隙中或微裂缝内的黄铁矿晶体中, 其次充填在伊/蒙混层中和钾长石溶孔内的黄铁矿中。铀石中 UO_2 约占70%, SD_2 约为18%, 另有极少量的Fe、Ca、Se、Pb、Cr、Ti等伴生元素。包裹体流体势显示盆地中部的天然气向北方向运移并大量散失, 出现大量被漂白的砂岩; 盆地内主砂体展布方向与流体运移方向一致。天然气包体中见石盐子晶, 砂岩胶结物和矿物表面见较多细小盐粒, 次生包裹体温度多在140~170℃。富含黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等低温热液矿物; 具有水热蚀变现象(碳酸盐化、硅化、水云母化、黄铁矿化等)。燕山运动期间岩层进入表生成岩阶段, 利于富氧的地表水和来自地层深部的低温热液进入砂岩中, 可见褐铁矿溶蚀、重晶石充填于钾长石溶蚀孔现象。

关键词: 砂岩型铀矿; 低温热液; 鄂尔多斯盆地

目前所发现的砂岩型铀矿主要分布于西自西西伯利亚低地, 向南经哈萨克斯坦, 乌兹别克斯坦, 再折向东经阿尔泰、萨彦、塔里木盆地北部、青海和甘肃北部、内蒙古西部、蒙古杭爱山脉, 沿肯特山、雅布络山和大小兴安岭以及额霍次克海的弧形亚洲中央造山带(蒙古弧)中(郭忠铭等, 1994), 构成呈东西走向长约4000 km, 南北宽约1000~1200 km, 总面积约500万 km^2 , 弧顶向南突出的巨型砂岩型铀矿成矿带。沿此带向西则沿东欧地块(地台)南缘的古生代褶皱带展布, 直至大西洋东岸(郭忠铭等, 1994)。前苏联研究结果认为, 砂岩型铀矿多趋赋于地台(盾)边缘或地台中间地块。叶夫斯特拉金认为, 绝大多数(90%以上)铀矿(含砂岩型铀矿)都直接或间接与前寒武纪陆壳有关。舒瓦洛夫强调, 中间地块(夹持于年轻褶皱带中的前寒武纪地块)对铀矿的定位起重要的控制作用。英国鲍威则指出, 世界上90%以上的铀矿床或产在前寒武纪岩石中, 或产于直接覆盖于其上的显生宙中, 多数砂岩型铀矿属于后者。鄂尔多斯东胜铀矿是近年来我国发现的较大型铀矿床, 前人多认为该矿床属于层间氧化带型, 本文根据电子探针、流体包裹体测温、扫描电镜、偏反光显微镜等

方法综合分析, 认为该地区的侏罗系砂岩型铀矿属于强还原条件下的低温热液型铀矿床。

1 东胜砂岩型铀矿的显微特征

1.1 砂岩中铀矿物的赋存状态

透射光显微镜和电子探针观察结果表明, 东胜铀矿的铀矿物为圆形、椭圆形的单晶和集合体, 大小多在7~9 μm , 主要赋存于黄铁矿晶体中, 在黄铁矿中沿晶体生长线分布, 显然与黄铁矿形成关系密切。黄铁矿具有明显的分期, 根据其形态、反射率和成分可分为早成岩阶段的莓球状黄铁矿(图版 I-1)和胶状黄铁矿(图版 I-2)、中成岩阶段的不规则状黄铁矿(图版 I-3)和自形的五角十二面体黄铁矿(图版 I-4)。铀矿物仅存在于不规则状黄铁矿中(图版 I-5), 该期黄铁矿分布于孔隙内或微裂缝内(图版 I-6)。还可见到铀石分布在伊/蒙混层中(图版 I-7)和钾长石颗粒溶孔中(图版 I-8)。

1.2 铀石的主要成分

电子探针分析结果表明, 东胜地区所见铀矿物中的 UO_2 约占70%, SD_2 约为18%, 另有极少量的Fe、Ca、Se、Pb、Zr、Ba、Cr、Ti等伴生元素, 而Al、K、

注: 本文为国家重点基础研究发展计划“973”项目(编号 2003CB214603), 长江学者和创新团队发展计划(编号 RT0559)资助的成果。

收稿日期: 2006-01-25; 改回日期: 2006-03-01; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 柳益群, 女, 1951年生。现为西北大学地质学系教授, 博士生导师。从事矿产普查与勘探工作。通讯地址: 710069, 西北大学地质学系; 电话: 13649236601; Email: liuyiqun@263.net

Ca、Na、Mg、P、Ti 含量极低或为零(表1, 图1), 与朱西养等(2003)测得的结果相近, 故定为铀石。U 与 S 关系密切, 与铀石密切共生的不规则状黄铁矿其硫离子的含量明显高于另外两期黄铁矿。U 与 Pb 也有密切的关系, U 将最终衰变为 Pb, 铅在大多数地下水相对中稳定(Mann et al, 1980), 在还原条件下从铀矿物中析出来的铅通常在具有较高活度 S 时可形成方铅矿; 在氧化条件下, Pb 可与 UO_2^{2+} 结合形成一种或多种 Pb—铀酰矿物。

2 砂岩型铀矿的成因分析

2.1 铀成矿的宏观控制因素

2.1.1 基底与构造运动

鄂尔多斯盆地处于华北克拉通北部, 是一个稳

定的地块。盆地结晶基底呈北东和近东西向的条带状展布, 基底岩石为斜长片麻岩、黑云角闪片麻岩, Rb—Sr 年龄为 1.8 Ga(陈祖伊, 2002)。古元古代及其以前的基底经历了多期演化, 基底断裂非常发育,

规模较大, 主要为北东向, 有 30 多条不同性质、不同方向的断层组成断裂网。在地块周缘构造活动区, 这些断裂持续活动并派生出新的裂缝, 对现今构造和后期成藏成矿有重要的影响。区域和局部断裂构造对矿床流体作用过程控制明显, 既控制矿体的形态和规模, 又控制矿体的区域定位(刘建明等, 1997)。

印支运动使盆地整体抬升, 大华北盆地解体, 上三叠统遭受剥蚀, 鄂尔多斯地块形成河谷纵横、残丘遍布的地貌景观, 在此基础上沉积了侏罗系, 鄂尔多

表 1 能谱半定量分析(%) Table 1 Energy disperse spectrometer's data (%)

序号	样品编号	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	FeO	Ce ₂ O ₃	UO ₂	Total
1	79_11_2_b3	0.69	1.63	18.26	2.04	3.05	0.16	3.72	70.47	100.00
2	79_11_2_b2	0.05	0.83	17.00	1.84	2.60	1.96	3.70	72.03	100.00
3	79_11_2_b4	0.38	0.92	17.86		2.52	2.12	2.96	73.23	100.00
4	79_11_2_b5	0.19	1.19	17.17	1.66	3.09	3.07	3.70	69.93	100.00

注: 样品由北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室测试。

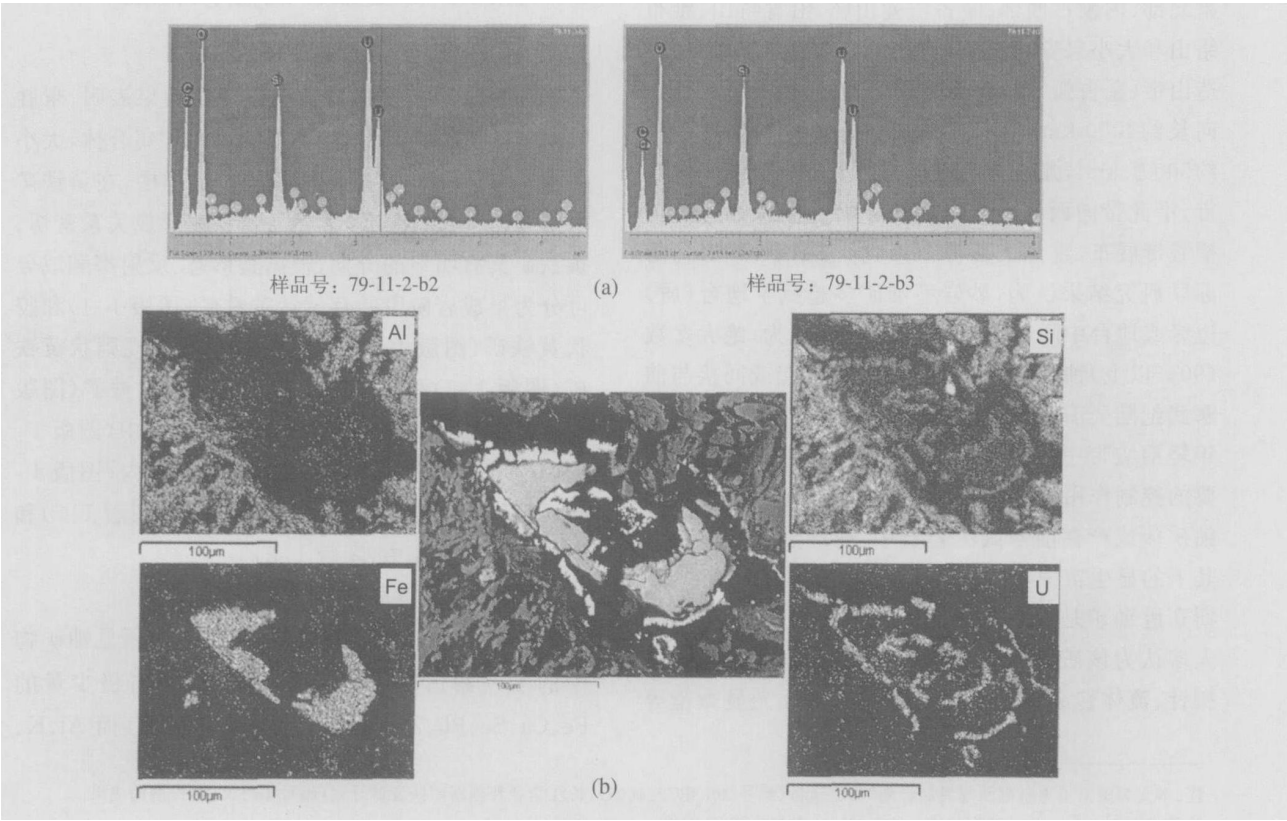


图 1 铀石能谱谱图(a)和成分分布图(b)

Fig 1 Energy spectrum about uranous sandstone (a) and elements distribution (b)

斯盆地形成,成为一个倾向南西的大斜坡。中侏罗世—晚侏罗世末期,早燕山运动和中燕山运动使地层强烈抬升,地层进入表生成岩阶段,其结果是:使鄂尔多斯形成了封闭统一的汇水盆地,本区成为地表及地下径流必经之路;埋藏成岩作用停止,渗出作用减弱,代之为渗入作用,砂岩形成淋滤次生孔隙;早燕山运动导致的构造热事件使古生界和中生界的烃源岩分别进入生气和生油阶段,并发生幕式运移和聚集。这种状况可能持续到早白垩世;基底断裂再次活动,盆地深部(含矿)热液上涌。吕梁山的隆起最终限定了早白垩世的沉积范围,鄂尔多斯盆地最终定位。新生代东胜地区始终处于隆升状态。

2.1.2 温度

盆地温度主要受盆地热演化和盆地热结构的控制(刘建明等,1997;柳益群等,1997)。一般来说,盆地流体具典型的低温热液地球化学特征,温度一般为80~150℃,可达200~250℃。据鄂尔多斯盆地东胜地区20个侏罗系砂岩包裹体测温资料,其与烃类包裹体伴生的盐水溶液包裹体的均一温度主要集中于85~140℃;而在晚期方解石胶结物中的无机包裹体的均一温度为145~185℃,代表了成岩晚期低温热液的温度特点。据赵孟为资料(赵孟为,1996),在中侏罗世末期鄂尔多斯地区有一次构造热事件,对该区油气的成熟和铀矿床的形成有重要影响。构造热事件—有机质—成矿作用具有密切的共生现象(胡明安,1997)。一般情况下温度降低会引起溶解度下降,砂岩型铀矿的成矿温度一般低于30℃(刘建明等,1997)。

2.1.3 压力

据王果等研究成果(王果等,2000),压力变化的速率是铀矿物沉淀的重要因素之一。当流体去气作用强烈时引起沸腾有利于铀的沉淀。流体中气体成分逸出—一方面可使铀元素失去络合剂;另一方面这些酸性组分的降低导致流体pH值增大而使铀沉淀。砂岩型铀矿大多是由于地下水的重力作用或承压水头作用而使含矿流体迁移,成矿压力均很低。

2.1.4 铀的来源

中晚燕山运动在盆地周缘表现强烈,北部的伊盟隆起、阴山褶皱带是该区主要物源区。盆地基底岩石为太古宙、古元古代变质岩、混合岩、花岗片麻岩等,多为酸性、中酸性岩石,铀丰度较高,可为沉积区提供大量含铀离子的沉积物。母岩区提供铀源的形式有两种,一是铀溶于水从补给区直接注入岩层,另

一种是含铀碎屑堆积在盆地中。

2.1.5 水文地质条件

据狄永强资料(狄永强,2002),中生代东胜地区水文地质条件可分为三个旋回,包括晚三叠世盆地拗陷阶段的沉积成因水和压缩承压水动力体系,印支运动末的渗透成因水的潜水型水动力体系;侏罗纪渗入型水动力体系;白垩纪以渗透承压型水动力体系为主,次为渗出型水动力体系。侏罗纪早期渗出作用强于渗入作用,但较三叠纪的弱。中侏罗统上覆地层厚度不大,因此不会形成明显的渗出水压,成岩强度低,孔隙度高,渗透性好。侏罗纪晚期渗入作用大于渗出作用,在上三叠统和侏罗系含水层中均形成渗透承压水。中上侏罗统及其上覆地层为干旱环境,有利于形成含氧含铀的渗入水运动体系,如可见到褐铁矿的溶蚀(图2a)及钾长石中的溶孔被重晶石充填(图2b)。

2.2 铀的沉淀机理

2.2.1 铀的迁移形式

据前人研究结果(狄永强,2002),形成砂岩型铀矿的含矿流体中的铀以 $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2$ 的形式迁移,而不以 $\text{UO}_2(\text{SO}_4)_2$ 和 $\text{UO}_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的形式迁移。由于含矿层中厌氧含硫细菌作用使 SO_4^{2-} 还原为 S^{2-} 而导致局部的地球化学障(表现为岩石的退色作用),可能是使铀在局部范围内迁移活化的因素之一。含铀流体在其运移途径上形成从氧化带到还原带的地球化学分带。

有机质生成的石油和油田卤水常含有高成矿金属组分,其中的金属以有机—金属络合物的形式存在,并与各种复杂有机配体中的O、Cl、N,尤其是S结合形成有机多齿杂环络合物,这些络合物即使在浓度极低时也有极高的稳定性,使它们能被保存在溶液中并易于迁移。Dmitryev等模拟研究表明,在深部还原流体中,相当数量的金属和还原硫可能呈含硫有机络合物的形式共同迁移(米敬奎等,2003)。

2.2.2 二次还原作用

二次还原作用是指岩石进入表生成岩作用氧化条件后又经历了还原作用。流体包裹体的研究结果表明,东胜地区铀矿的形成可能与其南部的榆林气田的天然气散失有关。包裹体捕获压力求得榆林气田的天然气运移方向为由南向北东方向(图3),东胜地区为天然气运移的主要指向区。天然气的运移使东胜地区含铀砂岩中的 SO_4^{2-} 被还原为 S^{2-} ,铀石被沉淀下来;同时,砂岩中的三价铁被还原为二价铁,岩石被漂白(图4)。

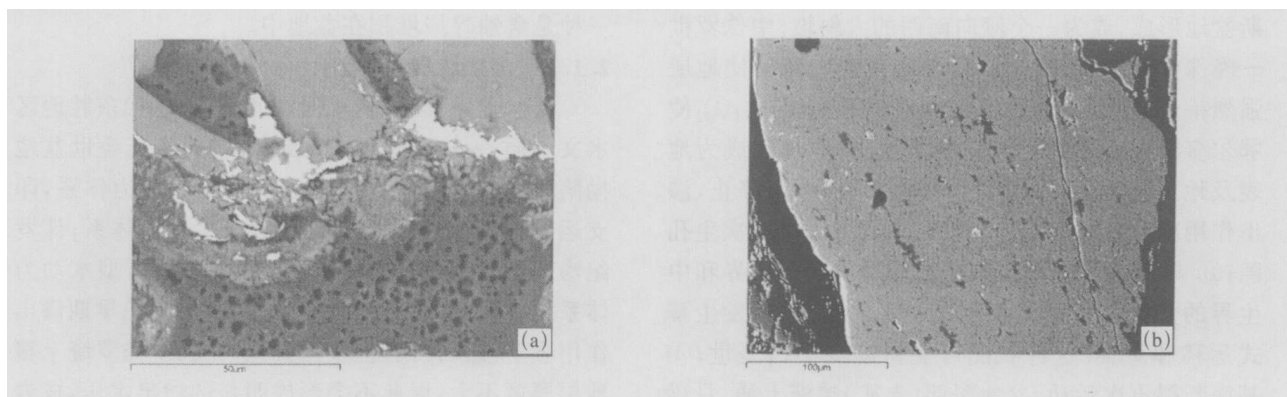


图 2 褐铁矿溶蚀(a)和钾长石溶孔中充填微晶重晶石(b)

Fig 2 The dissolution about limonite(a) and barite fill the solution opening of K-feldspar(b)

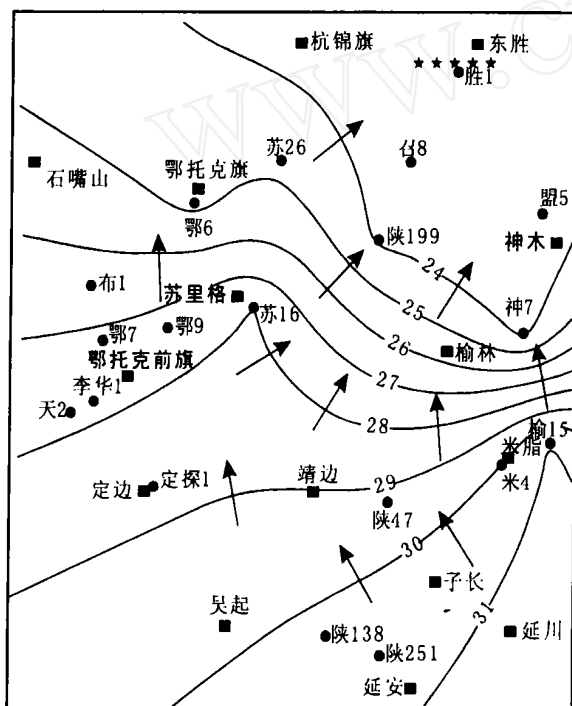
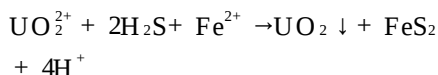
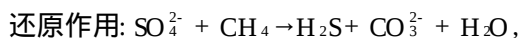
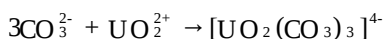
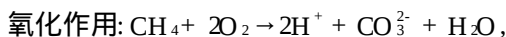


图 3 包裹体捕获压力指示的油气运移方向

Fig 3 The fluid inclusion pressure shows the migratory of petroleum

天然气在铀矿化过程中的作用可用下式表示(赵瑞全, 1998):



据包裹体测温 and 捕获压力的计算, 可大致估算出榆林油田天然气的散失量。天然气的散失量是指在聚集成藏期间及其之后气藏中天然气的前(V_1)后

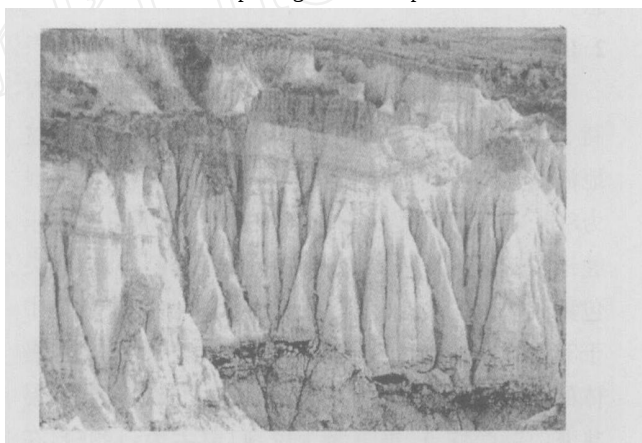


图 4 侏罗系延安组漂白砂岩

Fig 4 The bleaching sandstone of Jurassic Yanan Formation

(V_2) 体积之比。据气体状态方程:

$$\text{散失量}(\%) = \frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1 \times T_2}{P_2 \times T_1} \times 100$$

P_1 、 T_1 、 V_1 、 P_2 、 T_2 、 V_2 分别为气藏变化前后的压力(MPa)、温度(K)、体积。天然气藏中包裹体流体随温度升高, 压力逐渐降低, 表明存在天然气的漏失。累计漏失39.7%(表2)。

另据米敬奎等(2003)研究成果, 鄂尔多斯盆地上古生界储层中包裹体的捕获温度和捕获压力均呈现从南到北逐渐降低的现象, 次生包裹体的捕获压力在22~32MPa之间, 远小于深盆气藏形成时的静水压力(32~40MPa)。此类包裹体的盐度也具有从南到北逐渐降低的现象(Dmitriyev et al, 1991), 在晚侏罗世到早白垩世, 天然气大量向北运移进入储层, 气体不断驱替储层中的流体, 使流体不断向北运移, 流体在运移过程中不断与北部露头水体补给区的淡水混合, 使流体盐度降低。鄂尔多斯盆地中南部三叠系—侏罗系砂体的展布方向和渗透性趋势均为

北东向, 也为流体向北运移提供了证据。刘埃平(1999)等研究成果表明, 铀异常是古油气散失和古构造活动的信息。该区油气首期二次运移的时间为170~160 Ma, 二期二次运移时间为23 Ma(赵孟为, 1996)。

表 2 天然气散失量的估算

Table 2 The estimate about the lost gas

期次	成岩序列	均一温度()	捕获压力(MPa)	散失量(%)
1	石英加大Ⅰ期	94 31	30 64	15 53
2	石英加大Ⅱ期	105 35	28 91	23 00
3	石英加大Ⅲ期	114 01	28 52	13 49
4	裂缝石英脉	126 20	27 31	21 70
5	裂缝方解石脉	140 47	27 51	39 70

2.2.3 低温热液作用

本文所说的低温热液作用是指来自壳源的, 温度介于80~150 °C之间的含矿流体。热液在铀矿形成中的作用已被多数研究实例所证实。本区热液作用的证据有: 砂岩中具有强烈的碳酸盐化、硅化、水云母化等水热蚀变现象(图版Ⅱ-1~4), 且与矿化品位呈正相关; 出现黄铁矿、黄铜矿、钛铁矿、方铅矿、闪锌矿等低温热液矿物(图版Ⅱ-5, 6); 铀石主要分布于充填在孔隙中或微裂缝内的黄铁矿晶体中; 有机包裹体温度多在85~140 °C, 无机包裹体温度可达145~185 °C; 天然气包体中见到石盐子晶(图版Ⅱ-

7), 砂岩胶结物和矿物表面见较多细小盐粒(图版Ⅱ-8), 推测它们来自奥陶系盐度较高的流体; 燕山运动期间岩层进入表生成岩阶段, 利于富氧的地表水和来自地层深部的低温热液进入砂岩中。热液作用一方面可使铀的溶解度增高, 使沉积物中已存在的铀活化, 另一方面可能在深部热源驱动下从基底带入更多的铀源。另外, 近期研究发现有超高温压微生物和生物有机分子的存在及其在热液体系中的重要作用, 温度可达250~275 °C(Price, 1993)。

2.2.4 成岩成矿作用—水岩反应

水-岩相互作用在该区主要表现在两个方面: 一方面是大气水与砂岩的作用。表现在大气水在多孔介质中的流动导致碎屑矿物和成岩矿物的淋滤和再沉淀, 典型的例子是长石的溶解和高岭石的沉淀; 随着时间的推移, 大气水的成分将缓慢的被“岩石”所改变(Dmitriyev et al, 1991), Eh值变小, pH值增大, 成为中等酸性到中等碱性的水, 直至变成中等还原的卤水。另一方面是来自盆地深部的流体与砂岩的作用。深部流体的水-岩反应往往具有以下特点: 成矿组分与物源区的岩石组分密切相关, 成岩过程中孔隙水中的成分受地层水和矿物分解物的影响。

多种不同的流体混合或流经不相容岩层时可能会卸载成矿。有机质会对水岩反应和流体性质的特征有影响, 水岩反应导致铀沉淀的机制主要有耗H⁺反应、氧化还原反应和有机质吸附作用。

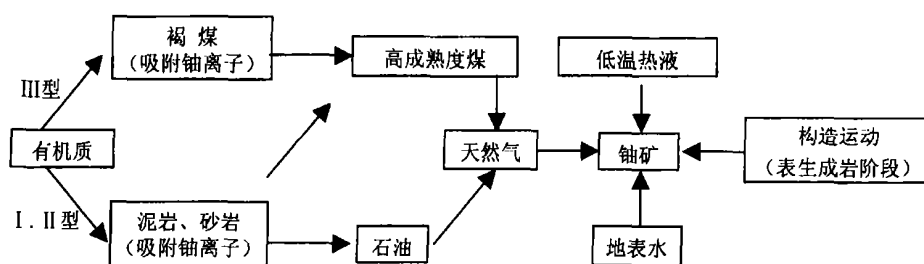


图 5 东胜铀矿成因模式

Fig. 5 The model of sandstone type uranium in Dongsheng area

2.2.5 有机质吸附作用

众多研究资料表明, 铀的成矿与有机质关系密切, 赋矿地层和矿石均显示较高的有机质含量。有机质与成矿的关系主要有两种情况: 一是生物的吸附作用, 在具有微生物环境的地表水中, 铀以高于平均含量的104倍浓缩, 如硅藻和颗石藻能使铀聚集在它们的外骨骼内(盖洛韦等, 1989); 再如新疆512铀矿中的铀被大量有机质、炭化植物碎屑等吸附, 其沥青

铀矿共生植物碎屑胞腔中(赵瑞全, 1998)。岩石和矿石中均见到大量的生物成因结构, 如莓球状黄铁矿、菌藻类等。二是泥炭和褐煤的吸附作用, 在含铀煤型矿床中, 铀矿化主要与褐煤有关, 而在变质程度更高的硬煤或亮煤中不含铀。这主要与褐煤向烟煤转化的过程中, 腐殖酸脱羧基, 酸性降低, 腐殖酸老化, 已没有游离腐殖酸存在有关(杨殿忠等, 2002)。目前中国发现的砂岩铀矿主要与低阶煤(VRo

0.3%~0.5%)共生。东胜直罗组底部的褐煤(煤线)中U含量介于 $26.4 \times 10^{-6} \sim 464 \times 10^{-6}$, Ro平均0.42。

3 结论

鄂尔多斯盆地东胜地区砂岩型铀矿属于与天然气大规模强还原、低温热液作用相关的铀矿床。是在燕山运动中地层抬升进入表生成岩阶段条件下,来自下伏地层高矿化度的低温热液向上运移,在天然气运移形成还原障中,铀离子被还原成4价铀沉淀下来。这些“高温”热液上升到地层浅部,遇到冷的地表水使温度下降,使铀的溶解度降低,也为铀的沉淀创造了条件。铀离子可以被有机质(如褐煤)和粘土矿物(如蒙脱石)所吸附。东胜铀矿的成矿模式如图5所示,其成矿条件与美国科罗拉多高原圣胡安盆地的大型板状铀矿床的形成条件非常相似,后者就是浅部局部低矿化度地下水与区域深部含盐地下(热)水(或卤水)在稳定浓度反差界面处混合作用的结果。

参 考 文 献

- 陈祖伊 2002 亚洲砂岩型铀矿区域分布规律和中国砂岩型铀矿找矿对策 铀矿地质, 18(3): 129~ 137.
- 狄永强 2002 试论鄂尔多斯北部中生代盆地砂岩型铀矿找矿前景 铀矿地质, 18(6): 340~ 347.
- 盖洛韦 W E, 霍布德 D K 1989 陆源碎屑沉积体系在石油、煤和铀勘探中的应用 见: 顾晓忠等译 北京: 石油工业出版社, 260~ 265
- 郭忠铭, 张军, 于忠平 1994 鄂尔多斯地块油区构造演化特征, 石油勘探与开发, 21(2): 22~ 29
- 胡明安 1997 地质热事件——有机质—金属成矿作用的联系 地质科技情报, 16(2): 67~ 72
- 刘埃平, 钟子川 1999 铀的地球化学特征及其在油气勘探中的应用 石油学报, 20(6): 32~ 37.
- 刘建明, 刘家军, 顾雪祥 1997 沉积盆地中的流体活动及其成矿作用 岩石矿物学, 16(4): 341~ 352
- 柳益群, 李文厚, 冯乔 1997 鄂尔多斯盆地东部上三叠统含油砂岩的古地温及成岩阶段 地质学报, 71(1): 66~ 74
- 米敬奎, 肖贤明, 刘德汉, 等 2003a 利用储层流体包裹体的PTV特征模拟计算天然气藏形成古压力——以鄂尔多斯盆地上古生界深盆气藏为例 中国科学(D 辑), 33(7): 679~ 685
- 米敬奎, 肖贤明, 刘德汉, 等 2003b 利用包裹体信息研究鄂尔多斯盆地上古生界深盆气的运移规律 石油学报, 24(5): 46~ 51.
- 王果, 华仁民, 秦立峰 2000 中、新生代陆相沉积盆地砂岩型铀矿床流体作用研究 高校地质学报, 6(3): 437~ 446
- 杨殿忠, 于漫 2002 铀有机地球化学研究进展 世界地质, 21(1): 18~ 23
- 赵孟为 1996 鄂尔多斯盆地油气生成与运移时间和运移方向的确定与勘探方向 石油实验地质, 18(4): 341.
- 赵瑞全 1998 微生物和有机质在512层间氧化带砂岩型铀矿中的作用 铀矿地质, 14(6): 339~ 340
- 朱西养, 汪志亮, 王志畅, 等 2003 东胜砂岩型铀矿地球化学特征初探 地质地球化学, 31(2): 39~ 45
- Chen Yizu 2002 Regional distribution regularity of sandstone uranium deposits in Asian continent and prospecting strategy for sandstone uranium deposits in China Uranium Geology, 18(3): 129~ 137 (in Chinese with English abstract).
- Di Yongqiang 2002 Preliminary discussion on prospecting potential for sandstone-type uranium deposits in Mesozoic basins, northern Ordos Uranium Geology, 18(6): 340~ 347 (in Chinese with English abstract).
- Dmitriyev S N, et al 1991 Au and Hg forms of occurrence in chgeleken peninsula Thermal Brines, Geochim iya, (6): 835~ 841.
- Guo Zhongming, Zhang Jun, Yu Zhongping 1994 Characters of tectonic evolution of the Ordos oilfield Petroleum Exploration and Development, 21(2): 22~ 29 (in Chinese with English abstract).
- Hu Mingan 1997 Relations among the geological thermal events, organic matters and metallogenesis Geological Science and Technology Information, 16(2): 67~ 72 (in Chinese with English abstract).
- Liu Aiping, Zhong Zichuan 1999 Geochemical characteristics of uranium and the application to oil and gas exploration Acta Petroli Sinica, 20(6): 32~ 37 (in Chinese with English abstract).
- Liu Jianming, Liu Jiajan, Gu Xuexiang 1997 Basin fluids and their related ore deposits Acta Petrologica et Mineral, 16(4): 341~ 352 (in Chinese with English abstract).
- Mi Jingkui et al 2003b Study on Upper-Paleozoic deep basin gas migration in Ordos using inclusion information Acta Petroli Sinica, 24(5): 46~ 51 (in Chinese with English abstract).
- Mi Jingkui et al 2003a Simulation and calculation of ancient pressure of natural gas pool by pvt features of fluid inclusions in reservoirs: take the upper Paleozoic deep basin gas pool in Ordos basin as an example Science in China (series D), 33(7): 679~ 685 (in Chinese with English abstract).
- Price L C 1993 Thermal stability of hydrocarbon signature: Limits, evidence, characteristics, and possible controls Geochim, Cosmochim, Acta, 1993, 57: 3261~ 3280
- Wang Guo, Hua Renmin, Qian Lifeng 2000 Study on fluid interaction of the sandstone type uranium. Geological Journal of China Universities 2000, 6(3): 437~ 446 (in Chinese with English abstract).
- Yang Dianzhong, Yu Man 2002 The Uranium-organic geochemistry development World Geology, 21(1): 18~ 23 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Mengwei 1996 Timing of hydrocarbon generation and migration and determination of migration direction as well as exploration direction in the Ordos basin Experimental Petroleum Geology, 18(4) 341 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Ruiquan 1998 Effect of microorganism and organic matters on sandstone type uranium mineralizations in interlayer oxidation zone in deposit No. 512 Uranium Geology, 14(6): 339~ 340 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Xiyang, Wang Yunliang, Wang Zhichang, Zhang Chengjiang,

Liu Jianhua 2003 Trace element geochemistry of sandstone-type uranium deposits in Dongsheng area Geology Geochemistry, 31 (2): 39~ 45(in Chinese with English abstract).

- 6 含铀石的呈孔隙和裂缝充填的黄铁矿。
- 7 分布在伊/蒙混层中的含铀石黄铁矿。
- 8 钾长石溶孔中的铀石。

图 版 说 明

图版 II

图版 I

含铀砂岩的显微特征(电子探针, 北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室测试; 仪器型号: JXA-8100; 分析条件: 加速电压15 kV; 束流 1×10^{-8} 安培。

- 1, 2 早成岩阶段的莓球状和胶状黄铁矿。
- 3, 4 含铀石的不规则状黄铁矿。
- 5 呈五角十二面体的黄铁矿集合体。

低温热液主要标志。

- 1, 2 强烈水化的黑云母(单偏光, 正交)。
- 3, 4 不同期碳酸盐交代碎屑(单偏光, 正交)。
- 5 磁铁矿、黄铁矿、白铁矿共生(反射光, 单偏)。
- 6 磁铁矿、黄铁矿、白铁矿共生(反射光, 正交)。
- 7 胶结物中的盐粒(能谱检测为NaCl)。
- 8 含石盐子晶包裹体。

Discussion on Genesis of Sandstone-Type Uranium Deposits in Dongsheng Area, Ordos Basin

LIU Yiqun^{1,2)}, FENG Qiao²⁾, YANG Renchao²⁾, FAN Aiping¹⁾, XING Xijuan¹⁾

1) Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shanxi, 710069

2) Department of Geology Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong, 266510

Abstract

Ordos basin is a typical deposition basin in which the multi-energy resources-oil, gas, coal and uranium co-exist. The comprehensive analysis by means of electron probing, fluid inclusions data, scanning electron microscopy, microscope and trace element data from coal demonstrates that the Jurassic sand-type uranium deposit in Dongsheng area, northern Ordos basin belongs to low temperature hydrothermal uranium deposit reduced by natural gas. The evidence is that: uranous sandstone is mainly distributed in the pyrite filling the pores and micro cracks; it can also be found filling I/S and K-feldspar solution pores in the pyrite; the uranous sandstone is composed of UO_2 (about 70%), SD_2 (about 18%), and a few associated elements such as Fe, Ca, Se, Pb, Cr and Ti. Fluid potential of the fluid inclusion shows that the natural gas in the mid-basin migrated to the northeast and lost, while the bleached sandstone appeared in the migration passage; distribution of the main sandbodies in the basin was consistent with the direction of fluid migration. Vapor hydrocarbon inclusions contain rock salt and a lot of small salt grain could be seen on cements and minerals in sandstone, the homogeneous temperatures of 140~170 °C. Pyrite, chalcopyrite, galenite, blende etc mineral association; thermal fluid alteration phenomenon (carbonation, silicification, illation and pyritization etc). Yanshan movement made the Zhiluo formation into the epidiagenetic stage, this is propitious to the upper oxygenous water and low temperature hydrothermal fluid from deep formation flowing the sandstone, it is obvious that limonite dissolved and barite filling the K-feldspar solution pores.

Key words: sandstone-type uranium deposit, low temperature hydrothermal fluid, Ordos basin

