

鄂尔多斯盆地东胜铀矿成矿作用研究

李金宝¹, 车明², 李鑫¹, 李继宏¹, 李荣西¹

(1. 长安大学 地球科学与国土资源学院, 陕西 西安 710054; 2. 长庆油田公司 第四采油厂, 陕西 靖边 718500)

[摘要] 对东胜铀矿提出了物源、地层、古气候等3种成矿因素。岩相学与成矿矿物学研究表明, 铀矿石中含有大量的方解石, 并且长石与高岭石含量呈正相关, 铀矿化与有机质也有一定的联系。结合铀矿地质特征初步分析认为, 东胜铀矿是在氧化带铀元素以碳酸铀酰络合物搬运, 在酸性介质条件下, 还原带长石碎屑蚀变为高岭石, 并有钙离子析出。当碳酸铀酰络合物从氧化带迁移到还原带, 遇有大量钙离子时发生分解, 出现铀矿石与方解石同时沉淀现象, 有机质的还原作用也是铀矿沉淀的主要因素, 经漫长的地质作用富集成工业矿体。

[关键词] 成矿因素; 高岭石; 方解石; 铀氧化带; 铀还原带; 东胜铀矿; 内蒙古; 鄂尔多斯盆地

[中图分类号] P619.14 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2006)02-0037-04

Preliminary Study on Metallization of Dongsheng U Ore in Ordos Basin

LI Jin bao¹, CHE Ming², LI Xin¹, LI Ji hong¹, LI Rong xi¹

(1. School of Earth Sciences and Resources Management, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. Fourth Oil Production Factory, Changqing Oilfield, Jingbian 718500, Shaanxi, China)

Abstract This paper puts forward five mineralization elements for U ore in Dongsheng area, including structural elements, formation factor, lithologic element and paleoclimate factor. Reflectance of X ray diffraction analysis shows the U ore includes lots of calcite, and has positive correlation between feldspar and kaolinite. Uranium elements transported by complex uranyl carbonate ($\text{Na}_2[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]$) in oxidation zone. When reduction zone in acidic medium, the fragments of feldspar alter into kaolinite, separating Ca^{2+} ion. Complex uranyl carbonate transport from oxidation zone to reduction zone, it will decompose when meet many Ca^{2+} ions, showing the precipitation of uranium ore and calcite. The reduction function of organic substance plays an important role in the precipitation of U ore.

Key words: mineralization elements; kaolinite; calcite; U oxidation zone; U reduction zone; Dongsheng U deposit; Inner Mongolia Autonomous Region; Ordos Basin

1 东胜铀矿地质特征

东胜铀矿赋存于侏罗系直罗组。直罗组在东胜铀矿区可分为上、下两个岩性段, 下段岩性是灰绿色砂岩与灰绿色泥岩交互出现。砂、泥岩厚0.2~1 m, 顶部有煤层, 其厚度0.5 m; 上段岩性是紫红色砂岩、泥岩与灰绿色砂岩、泥岩交互出现。紫

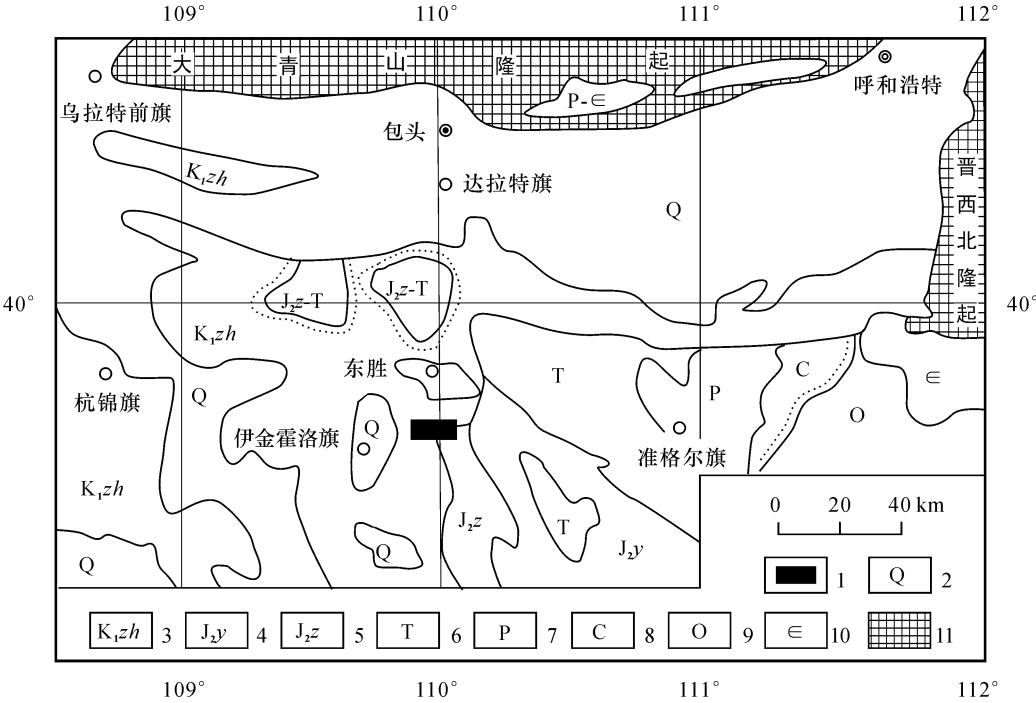
红色砂、泥岩层厚0.5~1 m, 灰绿色砂、泥岩厚0.2~0.4 m, 向上逐渐过渡为紫红色砂岩。直罗组上段、下段沉积时处于两种截然不同的沉积环境。

铀矿体位于直罗组下段底部, 控矿地层是辫状河砂体, 砂体厚20~40 m。矿体顶板是灰绿色泥岩隔水层, 矿体底板是延安组顶部白色砂质高岭土隔水层。矿体与断裂关系不明显。含矿地层中含有丰富的有机质、炭屑、植物残骸。

[收稿日期] 2005-09-10

[基金项目] 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2003CB2146005)

[作者简介] 李金宝(1953-), 男, 甘肃甘谷人, 工程师, 从事矿产地质及矿相学研究。



1—铀矿; 2—第四系; 3—下白垩统志丹群杂色碎屑岩; 4—中侏罗统延安组杂色碎屑岩夹煤层及油页岩; 5—中侏罗统直罗组杂色碎屑岩夹薄煤层; 6—三叠系; 7—二叠系; 8—石炭系; 9—奥陶系; 10—寒武系; 11—前寒武系

图 1 鄂尔多斯盆地东胜地区地质略图

Fig. 1 A Brief Geology Map in Dongsheng Area

2 东胜铀矿成矿因素分析

2.1 物源因素

铀元素在地壳中的含量为 1.7×10^{-6} , 其地球化学特性是亲氧元素, 因此在酸性花岗岩中其含量最高, 其次是沉积岩(表 1)^[1]。

表 1 不同岩石中铀元素的丰度值

Tab. 1 Abundance of U Elements in the Different Rocks

岩石类型	w(U) /%	岩石类型	w(U) /%
超基性岩	3×10^{-7}	酸性岩	3.5×10^{-4}
基性岩	5×10^{-5}	沉积岩	3.2×10^{-4}
中性岩	1.8×10^{-8}	(粘土岩)	

由表 1 可以看出, 酸性岩中铀含量是超基性岩的 1 200 倍, 是基性岩的 7 倍, 是中性岩的 17 000 倍。因此酸性岩是重要的铀源。

东胜地区北邻大青山, 该区主要岩性是古老的变质岩, 混合岩、片麻岩、片麻状二长花岗岩以及燕山期侵入的钾长花岗岩。不同时期大规模侵入的大型花岗岩体为铀矿形成打下了较好的物源基础。基底太古界、中元古界变质岩系中局部地段有较高的含铀量, 最高可达 30.5×10^{-6} ^[2-6]。

东胜铀矿成矿最早年龄为 160 Ma, 最晚为 8 Ma, 主要成矿年龄在 95 ~ 120 Ma, 相当于晚侏罗至早白垩系^[3]。铀矿的成矿作用经历了漫长的地质演化过程。

从鄂尔多斯盆地沉积构造演化特征可以看出, 自晚古生代以来该盆地一直在整体上升, 由海相地层转变为内陆湖相、河流相。特别是东胜以北的大青山, 印支-燕山运动以来一直在上升, 导致侏罗、白垩纪的古地貌北高南低, 水流方向自北朝南向盆地中心汇集^[7-9]。大青山地区风化的花岗岩、变质岩被河流搬运到下游东胜地区沉积, 形成富含铀元素的沉积地层。

2.2 地层因素

根据国内外报道的砂岩型铀矿具有泥-砂-泥岩性结构。这种岩性结构对含铀元素的地下水起到上、下屏蔽作用。依据花岗岩、沉积岩中的铀元素的含量, 铀元素增加 1 000 ~ 10 000 倍, 才能富集成工业矿体, 根据前述成矿年龄推断, 其时限需几千万年。在这样漫长的成矿作用过程中, 如果没有上层泥岩阻挡, 遇到干旱气候, 将导致蒸发量增大, 含铀地下水向上运移, 使铀元素分散, 不能富集成矿。如果没有下层泥岩阻挡, 含矿地下水会一直向

下渗流,使铀元素分散不能富集成矿。因此只有在具有泥-砂-泥这样结构的地层中,含铀元素的地下水才能被限制在相对封闭的空间范围内,源源不断地定向流动,使铀元素富集成矿。东胜铀矿含矿地层具有这种泥-砂-泥结构。

东胜铀矿含矿岩性是灰白色粗粒长石石英砂岩,其结构疏松,孔隙度大,含有大量的有机质和炭屑,这种岩石有利于含铀地下水的渗流,岩石中含的大量有机质是铀元素沉淀的还原剂。

2.3 古气候因素

大量研究表明^[4],对于层间氧化带型铀矿,既需要有原生还原条件下形成的含有机物的灰色砂岩,又需要在其成矿阶段出现炎热干旱的强氧化古气候环境。在潮湿的古气候条件下有利于形成天然气、石油、煤层和原生还原性地层,它是使地下水中高价铀还原成低价铀而沉淀的地球化学障。在干旱的古气候条件下有利于形成高价氧化铀而溶于地下水进行迁移。因此古气候由潮湿向干旱变化时期有利于形成铀矿,也就是说在干旱的古气候时期才能在富含有机质的灰色砂岩中形成层间氧化带型铀矿。

东胜铀矿赋存于直罗组下段,呈灰色、灰绿色,含有大量的有机质和炭屑,并有煤层,说明其沉积时是温暖潮湿的古气候环境;而直罗组上段以及中侏罗安定组都是紫红色砂岩、泥岩及少量砾岩。白垩系地层全为红色砂岩、砾岩。从直罗组上段至白垩纪一直是干旱气候环境,地层及地下水中含氧量增大,易于形成层间氧化带。从大青山物源区搬运的沉积物中铀矿物被氧化成高价铀溶于地下水中进行搬运,在东胜地区遇到还原环境发生沉淀。

3 铀元素的迁移与沉淀

3.1 表生作用下铀元素的迁移方式

表生条件下铀的迁移可以以碎屑及悬浮体搬运,大部分铀迁移形式为:

- (1) 呈硫酸盐形式, UO_2SO_4 (硫酸铀酰) 多见为热液硫化矿床风化后常见的迁移形式。其在中性至酸性溶液中稳定,在碱性溶液中发生沉淀。
- (2) 呈碳酸铀酰络合物 $\text{Na}_2[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]$ 和 $\text{Na}_4[\text{UO}_2(\text{HCO}_3)_6]$ 形式迁移。这种络和物在理论上及实验室中已得到证明,特别是在碱性介质条件下易生成易溶络合物,进行迁移。

(3) 呈易溶铀-有机质络合物形式迁移。其以不同的腐殖酸盐络合物方式被搬运(如 $\text{Na}_4[\text{UO}_2(\text{C}_n\text{H}_m\text{COOH})]$) 形成于中-弱碱性条件, pH 值在 4.7~8 时最稳定)。

(4) 呈铀的胶溶体 $[\text{UO}_2(\text{OH})_2]$ 形式迁移。这种胶体带正电荷, pH 在 5~8 时最稳定。

3.2 还原带铀元素的沉淀

为了详细研究该矿床的成矿作用,在核工业 208 地质大队 ZKA183 37 钻井岩心样的矿体部位系统采集样品,这种井下岩心中采样没有地表风化干扰因素,其代表了原始地下流体相互作用使矿质沉淀的信息。在矿体中按等间距采 3 个样品,矿体顶、底板围岩分别采样,在室内研磨加工,全样品均过 200 目筛之后进行分析,确定岩石中各种矿物的相对含量(表 2)。

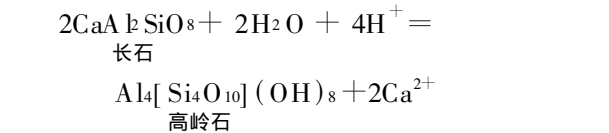
表 2 铀矿体及其顶、底板围岩中各种矿物相对含量
Tab. 2 Comparative Percents of Several Minerals in U Ore Body and the Wall Rocks Above It and Below It

岩石 样号	深度 / m	岩 性	矿物含量 $w_B / \%$								
			蒙 脱 石	伊 利 石	高 岭 石	绿 泥 石	黄 铁 矿	方 解 石	石 英	微 斜 长 石	钠 长 石
N1	130.4	绿色泥岩(矿体顶板)	26	8	17	11	2	0	18	9	7
N2	141.5	绿色中细粒砂岩	22	6	18	5	0	0	28	8	10
N3	143.9	灰色粗粒砂岩(矿体)	25	6	14	3	2	22	16	3	7
N4	146.5	灰色粗粒砂岩(矿体)	36	6	16	4	2	9	10	5	10
N5	150.4	灰色粗粒砂岩(矿体)	18	5	21	0	2	9	20	14	9
N6	159.8	白色砂质泥岩(矿体底板)	0	4	69	0	0	0	26	0	0
N7	163.6	灰白色砂质泥岩	0	16	38	0	0	0	28	3	0

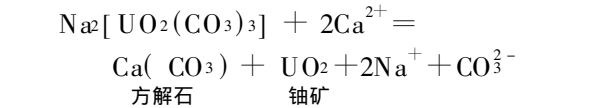
表中数据由西安地质矿产研究所测试(配有日本理学 D/MAX rA 高功率旋转阳极 X 射线衍射仪), 2005; 岩石样采自 ZKA183 37 钻井, 层位为中侏罗直罗组

根据 X 射线衍射分析,含铀矿砂岩中微斜长石、钠长石含量与砂岩中粘土矿物高岭石呈正相关,如表 3 在 N5 号样品中 2 种长石总和 23%,5 个样品中含量最高;相应的高岭石含量是 21%,也是最高。在 N3 号样品中,2 种长石含量最低;相应的高岭石含量也最低。这种相关性说明岩石中有部分高岭石是由长石在有机酸介质条件下蚀变而来。按质量作用定律,在相同介质条件下,长石含量越

高,它转变为高岭石的数量越大。长石在酸性介质条件下转化为高岭石的反应



在这个反应中溶液中释放出钙离子。氧化带风化的铀元素在碱性介质条件下以碳酸铀酰络合物 $\text{Na}_2[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]$ 和 $\text{Na}_4[\text{UO}_2(\text{HCO}_3)_6]$ 形式向下渗透迁移,在还原带遇到有机酸分解长石转化为高岭石时释放的钙离子,发生铀矿和方解石的同时沉淀,其反应



上述反应中铀矿发生矿化时有方解石的沉淀。在连续采样分析的 6 个样品中,铀矿石 N3、N4、N5 样品中含有大量的方解石(表 3),而矿体顶、底板围岩都不含方解石。这种证据充分说明铀元素以 $\text{Na}_2[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]$ 络合物的形式在溶液中搬运。

表 3 长石与高岭石含量呈正相关

样号	N5	N2	N1	N4	N3
长石 (微斜长石+钠长石)	23	18	11	15	10
高岭石	21	18	17	16	14
方解石	9	0	0	9	22

4 矿床成因模式

燕山运动早期,鄂尔多斯盆地北侧大青山地区不断抬升,伴随有大量花岗岩侵入,形成盆地内部北高南低的地貌特征。盆地水系是自北朝南向盆地中心汇聚,因此北侧风化的富含铀的花岗岩、变质岩碎屑被源源不断地搬运到东胜地区沉积。在干旱炎热的古气候环境下,砂岩中大量铀元素氧化溶解,以 $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)]^{2-}$ 络合离子向地下深处渗流。富含铀元素的层间水流经还原带时,这里有大量有机酸分解长石时析出的钙离子,于是出现方解石和铀矿物的同时沉淀。另外,在东胜铀矿体的上部地层中含有大量的钙化木,这种钙化木是水溶液中的碳酸铀酰络合物分解交代树木所形成。当碳酸铀酰络合物交代木质,发生碳酸钙沉淀后,水中不断

地析出 UO_2^{2+} ,含 UO_2^{2+} 离子的溶液沿着具有上、下泥岩隔水层的砂岩层定向流动,遇地层中有机质、 H_2S 等还原剂,就被还原沉淀形成铀矿物。经漫长的地质作用过程富集成工业矿体(图 2)。

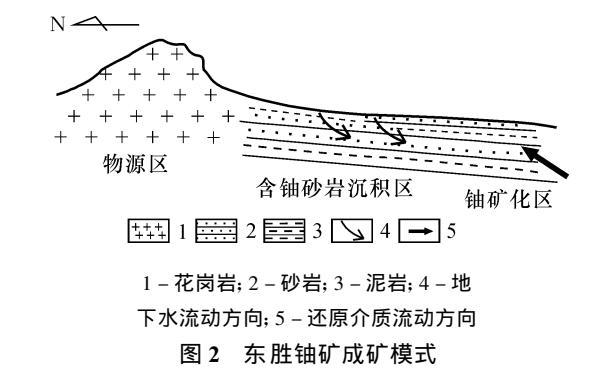


Fig 2 Metallogenic Model Map in Dongsheng U Ore

5 结论

- (1) 东胜铀矿的形成受各种因素所控制。物源、地层、古气候三方面因素缺一不可都不能成矿。
- (2) 在氧化带碱性条件下铀元素溶解向下迁移;遇还原带酸性介质中和沉淀富集。
- (3) 铀元素富集成工业矿体要经过漫长的地质成矿过程。

[参 考 文 献]

[1] 袁见齐,朱上庆,翟裕生.矿床地质[M].北京:地质出版社,1985.

[2] 彭云彪.内蒙古中部山间盆地地质构造和沉积环境演化规律及砂岩型铀矿环境分析[J].西北铀矿地质,1999(2):21-25.

[3] 张如良.鄂尔多斯深盆地气与铀矿化关系初探[J].铀矿地质,2004(4):216-221.

[4] 李文辉.鄂尔多斯盆地东南部砂岩型铀矿成矿条件及前景分析[J].西北铀矿地质,2004(1):38-44.

[5] 孟国元,吴吉元.鄂尔多斯盆地北部塔巴庙地区二叠系储层物性影响因素研究[J].西安工程学院学报,2000,24(4):13-17.

[6] 李盛福.砂岩型铀矿床中铀矿物的形成机理[J].铀矿地质,2004(2):81-86.

[7] 王峰,刘池阳,赵红格.鄂尔多斯地块西部南北向拆离滑覆构造[J].地球科学与环境学报,2004,26(1):18-21.

[8] 钱锋,艾永峰.鄂尔多斯南部地区早古生代主动大陆边缘演化特征[J].西安工程学院学报,2002,24(1):17-20.

[9] 张卫民.水岩体系 Eh pH 法及其在砂岩型铀矿体定位研究中的应用——以新疆伊犁盆地 512 铀矿床为例[J].华东地质学院学报,2002,25(3):91-96.