

鄂尔多斯盆地西缘槐树湾地区铀矿化特征  
及成因分析<sup>①</sup>

李保侠，贾 恒

(核工业 203 研究所，陕西 咸阳 712000)

[摘要] 文章叙述了鄂尔多斯盆地地质概况，重点介绍了槐树湾地区层间氧化带和铀矿化的地质、地球化学特征，探讨了该地区铀矿化的成因机理，指出铀矿化与后生油气还原蚀变作用具有密切的关系。

[关键词] 铀矿化特征；油气还原蚀变；成因分析；槐树湾地区

[文章编号] 1000-0658(2008)06-0327-05 [中图分类号] P611 [文献标识码] A

1 地质背景

鄂尔多斯盆地大地构造位置处于华北地台北部，北临内蒙-大兴安岭褶皱带，南临秦岭-祁连山褶皱带，东与山西地块相接，西与阿拉善地块毗邻，是一个在古生代地台基础上发展起来的“具有双重基底结构”的大型叠合盆地，面积约为  $3 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。区域构造上，该盆地处于我国东部滨太平洋与西部特提斯喜马拉雅两大构造域之间，实际上处于东、西部不同地球动力学背景的调整带上，是一个不稳定的克拉通内部叠合盆地。

受印支期太平洋域和特提斯域构造活动的影响，大华北盆地发生分解，形成了独立的鄂尔多斯盆地。

鄂尔多斯盆地的形成演化大致可分为 4 个阶段：早古生代陆表浅海阶段、晚古生代滨

海平原阶段、中生代内陆湖盆阶段及新生代边缘断陷阶段。

鄂尔多斯盆地及其周缘按其演化、构造特点，可划分为鄂尔多斯盆地（狭义）、西缘褶皱带、山西断隆以及周围 4 个新生代断陷系等一级构造单元（图 1）。鄂尔多斯盆地主要二级构造单元有“一坳一坡一隆”，即天环坳陷带、伊陕斜坡、伊盟北部隆起，以及周边的渭北隆起带，晋西挠褶带。

天环坳陷带也称天环向斜，形成于晚三叠世，南北长 560 km，东西宽 60~165 km，走向南北，呈似矩形，是下白垩统志丹群的沉降及沉积中心。侏罗-白垩系厚达 2800~4000 m，其沉积中心随着时代的变新，由东向西迁移，天环向斜影响着整个下白垩统志丹群的分布。洛河组、华池-环河组主要分布在向斜东翼，而罗汉洞组、泾川组基本相向不对称分布在西翼。天环向斜的两翼地层产

① 本文为国家重点基础研究发展计划“973”项目（编号：2003CB21460077）资助成果。

[收稿日期] 2008-01-16

[作者简介] 李保侠（1962），男，高级工程师（研究员级），1983年毕业于桂林冶金地质学院化探系，长期从事铀矿地质科研和生产工作。

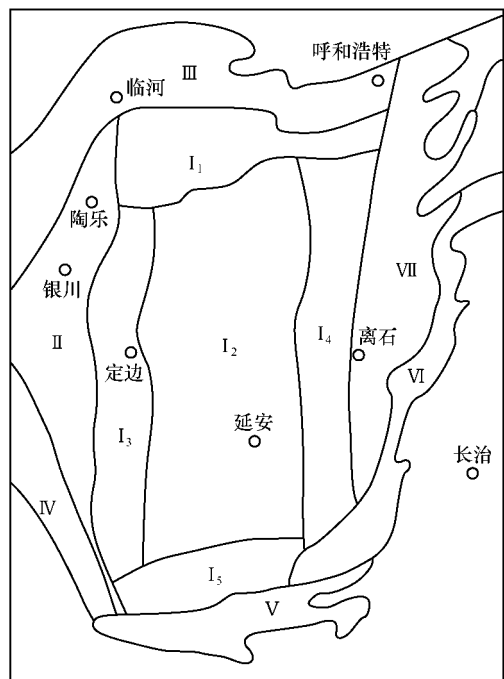


图 1 鄂尔多斯盆地中生代构造分区图

Fig 1 Mesozoic Cenozoic structural division of Ordos basin

I —— 陕甘宁盆地; I<sub>1</sub> —— 伊盟北部隆起; I<sub>2</sub> —— 伊陕斜坡; I<sub>3</sub> —— 天环坳陷带; I<sub>4</sub> —— 晋西挠褶带; I<sub>5</sub> —— 渭北隆起带; II —— 西缘褶断带; III —— 河套断陷; IV —— 六盘山断陷; V —— 汾渭断陷; VI —— 山西断陷; VII —— 山西断陷。

状不同,东翼产状平缓,一般为 $5^{\circ} \sim 7^{\circ}$ ;西翼产状相对较陡,一般为 $5^{\circ} \sim 17^{\circ}$ 。

西缘褶断带为盆地内的一级构造单元,具有典型的逆冲推覆构造特征,规模较大的断裂构造有青铜峡-固原断裂、韦州-安国断裂、青龙山-平凉断裂、惠安堡-沙井子断裂,断面均向西倾斜,向东逆冲。新构造运动的抬升掀斜作用使天环向斜西翼局部地段发育相对稳定的构造斜坡带,为地下水补、径、排系统的形成及后期油气运移提供了有利的构造条件。

鄂尔多斯盆地具有双重基底,盆地的真正基底由太古界及中下元古界变质岩系组成,而对于中生代自流水盆地而言,它的直接“基底”是下伏的古生界(奥陶系、石炭系和二叠系)。

盆地中生代盖层发育齐全,中生界除缺失上白垩统外,其余地层均有分布。其中,侏

罗系延安组、直罗组及下白垩统华池-环河组、罗汉洞组是寻找砂岩型铀矿的主要目的层位。

晚三叠世鄂尔多斯盆地从华北地台分离出来,形成统一的内陆湖盆地,进入陆相发育阶段,盆地开始凹陷,持续填平补齐。延长群为一套下红上黑的河湖相碎屑岩夹页岩、油页岩,局部夹凝灰岩建造。

盆地内侏罗系分布广泛,中下侏罗统为温暖湿润-半干旱气候下形成的河流-沼泽相含煤碎屑岩建造,沉积中心位于吴旗一带,与下伏延长群呈平行不整合接触,上侏罗统为一套半干旱环境下的冲洪积相碎屑沉积,主要分布于盆地的西缘。

下白垩统沉积是在侏罗纪盆地东界向西和西北方向退缩后的基础上开始的,因而其沉积范围较侏罗系小,主要集中分布在盆地中西部。总体为一套干旱-温湿气候环境下的河流相、湖相碎屑沉积,沉积中心位于盆地西部的天环向斜(演武)一带。自下而上可分为6个岩组,即宜君组、洛河组、华池组、环河组、罗汉洞组、泾川组。从洛河组到泾川组连续构成了洛河组-华池组-环河组和罗汉洞组-泾川组两大沉积旋回,虽然各种岩性在盆地南北存在差异,但在垂直剖面上,都具有下粗上细的特点。即下部发育冲积扇、河流相的砾岩和巨厚的块状砂体为特征,中部出现河湖交替的沉积环境,沉积物具有较理想的砂泥比,顶部则以湖相的细碎屑沉积为主,以北部表现尤为明显。

罗汉洞组主要分布于鄂托克旗-定边-庆阳-长武一线以西,在盆地南部其岩性下部为暗紫色泥岩、砂质泥岩、泥质粉砂岩和暗棕、暗紫、土黄色交错层砂岩不等厚互层,底部的浅黄色交错层砂岩与环河组为界;上部浅棕红、桔红、浅棕黄、桔黄色大型交错层砂岩,夹暗紫色砂质泥岩与灰绿色泥质粉砂岩。在西缘一带为砂岩、砾岩夹泥岩、粉砂岩,吴旗、定边以西主要为棕红色、紫红、桔黄色交错层砂岩,为河流-三角洲相沉积,与下伏环河组连续沉积。

泾川组主要分布于盐池-环县-泾川一线以西, 在千阳、陇县一带为桔红、浅棕红色泥岩、夹砂质泥岩、泥灰岩及含砾粗砂岩, 在泾川一带, 岩性为暗紫、浅棕褐、浅灰、蓝灰、浅灰绿色等杂色砂质泥岩、泥岩、页岩、灰质页岩与泥质粉砂岩互层, 中夹浅灰、灰白、玫瑰色泥灰岩和浅灰色、浅黄色砂岩、泥灰岩及砂岩, 从上往下层数增多, 且以一层泥灰岩与罗汉洞组为界, 为河流三角洲湖相沉积, 与下伏罗汉洞组连续沉积。

## 2 铀矿化特征

槐树湾地区位于天环向斜西翼与西缘褶皱断带的过渡部位, 即镇原县城西北 20 km 处, 铀矿点是在近年铀矿勘查钻孔中发现的, 地面无任何显示。近十几年来, 铀矿地质系统一直致力于层间氧化带砂岩型铀矿的勘查。虽然这里也存在后生层间氧化现象, 但铀矿化似乎不产于层间氧化带前锋或其上下翼附近, 而多产于罗汉洞组地层被油气浸染的部位, 显示出与后生还原作用密切相关, 应该引起足够的注意。

### 2.1 砂岩物质组分特征

罗汉洞组砂岩为中细粒长石砂岩、长石英砂岩, 碎屑成分以石英、长石为主, 石英含量为 50% ~ 60%, 长石含量为 25% ~ 30%, 少量黑云母和白云母 (约占 1%), 岩屑较少 (< 10%)。泥质胶结, 疏松, 分选中等, 碎屑呈次棱角状, 主要由石英、长石和岩屑组成, 占 97% 左右, 填隙物约占 3%。

石英呈次圆-次棱角状, 分选程度中等至较好, 边缘见弱溶蚀现象。长石由钾钠长石和斜长石组成, 具有格子状双晶, 条纹双晶和聚片双晶, 斜长石具有弱水解蚀变现象。黑云母呈板片状, 见弱水解和绿泥石化。岩屑主要为凝灰质岩屑、花岗质岩屑、石英岩屑, 少量泥岩和片岩岩屑等。

罗汉洞组岩石呈现原生氧化特征, 多为较疏松的棕红、浅棕红、浅红色中细砂岩, 夹少量褐红、棕色砂岩。该砂岩后生氧化呈现褐黄色, 主要为其所含铁质组分氧化并形

成褐铁矿化所致。

泾川组成分与罗汉洞组基本相同, 只是局部填隙物较多, 主要为粘土质和粉砂质组成的机械搬运组分。

### 2.2 层间氧化带特征

勘探剖面泾川组发育 2 层层间氧化带, 厚度一般为 10~ 15 m。罗汉洞组见到 4 层后生层间氧化, 厚度为 10~ 83 m 不等。后生氧化岩石多为较疏松的黄色、浅黄色中细砂岩, 原生氧化岩石为较疏松的棕红色、浅红色中细砂岩。路线地质调查发现泾川组层间氧化带, 黄色中砂岩厚度为 8~ 12 m, 顶底板灰色泥岩厚度为 3~ 5 m。在砂岩、泥岩交界处放射性强度明显增高, 砂体疏松, 含水丰富。

### 2.3 铀矿化特征

槐树湾铀矿点勘探剖面所见铀矿化和异常层数较多, 但厚度较薄, 多产于较疏松的灰紫色油浸中细砂岩中。在 160~ 250 m 深度处见到断续分布的灰紫色油浸砂岩, 它们多沿岩性分界面、冲刷面展布, 且与泥砾共生。这种油浸砂岩在 4 个钻孔中见到, 东西向控制长度 > 4.5 km。

钻孔中见到 13 层厚度为 10~ 55 cm 较疏松的灰紫色油浸中细砂岩。其两侧岩石多为较疏松的黄色砂岩。油浸砂岩往往较致密, 其两侧岩石多呈现疏松、较疏松状。铀矿化均与灰紫色油浸砂岩关系密切。油浸砂岩的放射性强度均达到铀矿化程度, 油气活动范围有一定规模。

氧化砂岩以棕红、桔红色为主, 次为灰带褐红、褐色的细砂岩, 呈疏松状, 为原生的氧化岩石。

铀矿化岩石为灰紫色、紫红色中细砂岩, 呈条带层状分布, 一般厚为 0.05~ 0.5 m, 与围岩相比发生了较强的赤铁矿化作用, 氧化程度比围岩强。二氧化碳、有机碳和总硫含量相当 (表 1)。酸解烃含量比围岩低一倍左右, 说明在成矿过程中消耗了岩石中大量的还原性物质, 烃成因判别指标 ( $C_{11}/\Sigma C$  均 < 75%) 说明烃是由油气生成的。矿石呈现铀镭相对平衡的状态。

表 1 槐树湾地区罗汉洞组氧化砂岩及铀矿化岩石地球化学特征

Table 1	Geochemical charactors of oxidized sandstone and uranium mineralized rocks from Luhandong formation in Huaishuwan area									
分类(样品数)	U (×10 <sup>-6</sup> )	Th (×10 <sup>-6</sup> )	CO <sub>2</sub> (%)	C <sub>有</sub> (%)	ΣS (%)	Fe <sup>3+</sup> / Fe <sup>2+</sup>	K (%)	ΣC (μL/kg)	C <sub>1</sub> / ΣC (%)	ΔC (%)
氧化砂岩(23)	2 16	4 42	1 78	0 03	0 03	2 95	0 55	6045 96	61	0 31
铀矿化岩石(6)	134	10 2	1 84	0 03	0 03	7 95	0 97	3657 80	69 2	0 32

表 2 槐树湾地区罗汉洞组氧化砂岩与铀矿化岩石化学全分析对比表 (%)

Table 2	Comparison of full chemical analysis result between oxidized sandstone and uranium mineralized rocks from Luhandong formation in Huaishuwan area											
分类(样品数)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	MnO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	烧失量
氧化砂岩(6)	83 99	5 54	0 88	0 25	2 16	0 92	0 14	0 21	0 04	2 16	0 89	2 79
铀矿化岩石(4)	81 68	4 65	2 67	0 25	3 42	0 56	0 02	0 24	1 13	1 64	0 81	2 51

从表 2 可以看出, 铀矿化岩石相对于氧化砂岩含量增加的成分为 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、CaO 和 TiO<sub>2</sub>, 尤其以 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 增加较多; 含量减少的成分为 SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O、MgO、MnO, 而 FeO 含量基本不变。

铀矿化岩石与围岩相比, 其大多数伴生元素和三氯甲烷提取物有较大的富集, Mo 含量最高可达  $7.99 \times 10^{-6}$ , Se 最高为  $1.09 \times 10^{-6}$ , 而 Re 含量有所降低 (表 3)。

表 3 罗汉洞组氧化砂岩与铀矿化岩石伴生元素特征

Table 3	Associate elements of oxidized sandstone and uranium mineralized rocks from Luhandong formation							
分类(样品数)	Mo (×10 <sup>-6</sup> )	Se (×10 <sup>-6</sup> )	V (×10 <sup>-6</sup> )	Re (×10 <sup>-6</sup> )	Sc (×10 <sup>-6</sup> )	Ga (×10 <sup>-6</sup> )	Ge (×10 <sup>-6</sup> )	三氯甲烷提取物 (×10 <sup>-3</sup> )
氧化砂岩(6)	1 31	0 05	18 34	0 18	2 89			0 39
铀矿化岩石(6)	2 98	0 35	24 09	0 13	13 07	12 85	0 53	0 73

3 成因初步分析

(1) 形成于深部含油气层位 (上三叠统延长群和中下侏罗统延安组) 水难以交替带中的油气水, 沿南北向延伸的西缘构造带向上运移。这种不含硫化氢和氧、具有还原性质的油气水富含烃 CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>, 还含有相当数量的 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>、Cl<sup>-</sup>、Ca<sup>2+</sup> 及少量的 Fe<sup>2+</sup>, 在初期酸性介质中, 因为 Ca (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 和 Ca (HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 具有较大的溶解度, 故 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 和 Ca<sup>2+</sup> 可以共存于一个溶液体系而不会发生沉淀。

裂从沉积盖层的深部进入到上覆层位中, 并沿岩性分界面或冲刷面构造运移, 进入白垩系罗汉洞组疏松棕红色中细砂岩中, 与砂岩中的含铁、钙离子水溶液相遇, 发生了地球化学分异作用, 致使铀发生沉淀富集, 局部形成铀矿化, 并使原生的红色碎屑岩发生退色蚀变。在油气作用初期的酸性介质中, 长石、岩屑等发生高岭石蚀变, 暗色矿物如黑云母、角闪石在有 Cl<sup>-</sup> 存在的溶液作用下发生绿泥石化蚀变。此时, 蚀变岩石还可能发生去碳酸盐化作用, 因为碳酸盐在酸性介质中易转变成易溶的碳酸氢盐 (CaCO<sub>3</sub> + H<sup>+</sup> → Ca<sup>2+</sup> + HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)。

(3) 在高岭石化作用的同时, 油气水中所含的大量烃等还原性物质对碎屑岩中的主要染色成分  $\text{Fe}^{3+}$  进行了还原作用, 使  $\text{Fe}^{3+}$  变为  $\text{Fe}^{2+}$ , 烃及  $\text{H}_2$  则被氧化成  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ 。这些产物一起进入蚀变流体, 退色蚀变结果使红色碎屑岩中大量的铁发生再次分配。

(4) 随着高岭石化和绿泥石化作用的进行, 溶液中  $\text{H}^+$  逐渐被消耗, 而  $\text{OH}^-$  则相对增加, 结果使油气水的 pH 值升高, 从而产生了一系列重要的地球化学变化。首先由于高浓度的  $\text{Ca}^{2+}$  及  $\text{CO}_3^{2-}$  的存在, 在碱性条件下沉淀出  $\text{CaCO}_3$ , 使退色岩石发生碳酸盐化。当溶液进一步沿可渗透的红色碎屑岩运移时, 由于氧化-还原作用消耗了大量的还原性物质, 溶液的 Eh 值进一步升高。在高的 pH 和高 Eh 值条件下,  $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$  的氧化反应容易进行, 结果在少量烃及  $\text{H}_2$  等还原性气体与铁的氧化反应双重作用下引起了  $\text{U}^{6+}$  的还原沉淀, 因

此出现了赤铁矿与铀矿物紧密共生的现象。如前所述, 由于溶液中大量  $\text{PO}_4^{3-}$  的存在, 可以使  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  胶体迁移到更大的范围, 同时  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  具有很大的比表面积, 它可以吸附铀酰离子如  $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2]^{2-}$  和  $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]^{4-}$  等。当溶液的 pH 值升高到足以引起磷灰石沉淀时, 溶液中  $\text{PO}_4^{3-}$  浓度骤然降低,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  胶体失去“保护”并老化而成赤铁矿, 在空间上与  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$  复合, 最终出现赤铁矿、磷灰石和铀矿化紧密共生的现象<sup>[1]</sup>。总之, 由于高岭石化和绿泥石化而引起的溶液碱化过程, 是出现碳酸盐化、赤铁矿化、铀矿化及磷灰石的前提。

#### [参考文献]

- [1] 王金平. 潜育型砂岩铀矿化的地球化学、成因机理及找矿模式探讨——以红井铀矿床为例. 铀矿地质, 1998. 14 (1): 20~25.

## Uranium mineralization characteristics and genetic analysis in Huaishuwan area, west margin of Ordos basin

LI Bao xia, GIA Heng

(Research Institute No. 203, CNNC, Xianyang, Shaanxi 712000, China)

**Abstract:** On the basis of brief introduction about regional geology of Ordos basin, this article mainly expounds geological and geochemical characteristics of interlayer oxidation zones (IOZ) and uranium mineralization in Huaishuwan area. The paper discusses the genetic mechanism of this type deposits, and indicates that there is a good relation between uranium mineralization and reduction alteration by oil and gas.

**Key words:** uranium mineralization characteristics; reduction alteration by oil and gas; genetic analysis; Huaishuwan area