内蒙古东胜砂岩型铀矿床形成条件与成矿作用

张复新[1)], 乔海明[1, 2)], 贾恒[2)]
1) 西北大学地质学系, 西安, 710069; 2) 核工业地质勘查总局203所, 陕西咸阳, 712000

内容提要: 鄂尔多斯盆地是中国煤、油、气、铀四大能源集一体的最大能源盆地之一, 是统一在华北地台的太古宙、元古宙古老结晶岩系及古生代海、湖相台盆基础上, 于中生代从华北地块分异出来并发育的中—新生代山前凹陷盆地。中—新生代盆地经历了台盆发育、断块活动及盆后活动阶段。本文分析了中—新生代盆地放射性铀成矿盆地地质及地球化学有利条件, 铀的丰度(4.71×10^{-6}~34.3×10^{-6})是上地壳平均丰度, 甚至高出一个数量级。阐述了东胜铀矿容矿层的岩石学特征, 成岩—后生—低温热液矿化蚀变特征。分析了与铀成矿作用密切相关、呈面型展布、分别产于矿体上、下盘的绿色化及漂白色蚀变形成与深盆气密切成因关系。矿床矿化蚀变作用具有: 多期次多阶段成矿特点、矿化矿物组合复杂、矿化形式多样、成矿温度具低温热液特点(70~120℃)、绿色化及漂白色蚀变具面型分布, 矿床属于沉积预富集—古层间氧化淋滤—后生二次还原与交代砂岩型铀矿床。

关键词: 成矿作用; 后生蚀变; 低温热液矿化; 东胜铀矿; 鄂尔多斯盆地; 内蒙古

鄂尔多斯盆地宛如耸立的丰碑屹立在中国北方中部, 面积$25\times10^4km^2$, 地史上为一长期稳定的沉积盆地, 现今被黄土高原覆盖。先后在盆地中部、西缘探明了丰富的石油、中—北部产有丰富的天然气; 在盆地东北地区发现世界七大煤田之一的神木—府谷—东胜煤田; 已探明杭锦旗的苏吉为一特大型石膏矿, 达拉特旗是特大型芒硝矿(杜乐天, 2002); 上世纪90年代在盆地东北部探明东胜砂岩型大型铀矿。目前鄂尔多斯已成为中国煤、油、天然气、放射性铀四大能源集一体的最大能源盆地之一。在华北大型地台盆地中首次发现砂岩型铀矿, 标志着中国地浸砂岩型铀矿勘查取得新突破, 东胜砂岩型大型铀矿的产出与形成较复杂, 诸多特征之处与中亚造山带盆地中砂岩型铀矿存在不同。

1 盆地地质构造背景

鄂尔多斯盆地发育在华北大陆西部, 中部以山西隆起为界, 东部为华北平原。由太古宇和下元古界变质结晶基底组成的鄂尔多斯地块基底形态东高西低、北高南低, 呈不对称状。盆地划分为5个构造单元(何自新等, 2003): 北有伊盟隆起、南为渭北构造带、东面晋西褶皱带、西部陇西构造带和中央陕北斜坡。盆地四周被断续连接的新生代地堑系所围限, 北部河套断陷、西部银川断陷、南部汾渭断陷、东部黄河与吕梁隆起相割(图1)。东胜砂岩型铀矿产于北部伊盟隆起东部。伊盟隆起为元古宙早期形成的古隆起, 早古生代起常以陆地面貌出现。中生代晚三叠世鄂尔多斯盆地明显从华北地块中分化出来, 由此开始了鄂尔多斯中—新生代盆地沉积序幕, 形成统一大型山前凹陷盆地; 新生代整体隆升, 掀斜特征明显, 内部凹陷和隆起继承性强。

鄂尔多斯盆地长期相对稳定, 除东缘外, 地块内平缓变化的重磁场与周边地区的线状重磁场形成鲜明对照(周鼎武等, 2002)。平缓变化的地壳岩石圈厚度与地温梯度等均表明其构造变动较平静。盆地之特殊在于被夹持在中亚与中央两大造山带之间, 盆地北部紧邻岩石圈成熟度高的蚀源区阴山褶皱系(包头段), 山前断裂(呼和浩特—乌拉特前旗)与山前钾化带(乌拉山南缘)重叠, 在γ能谱上表现为高钾异常带(中国人民武装警察部队黄金指挥部, 1995), 中新生代中—酸性岩浆岩及花岗伟晶岩脉发育, 为含硅-钾-铀-金较高岩石建造(洪大卫等, 2003), 与碱性化有关的钾长蚀变岩型金矿床(哈达门沟、十八倾壕大型金矿)和古海底热水沉积铜-多金属矿产丰富; 超大型东升庙、霍各乞, 大型甲生盘铜-多金属矿床, 研究区赋矿砂岩中金、铀、钾-钡的

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 IRT0559)资助的成果。
收稿日期: 2005-12-18; 改回日期: 2006-01-12; 责任编辑: 章雨旭。
作者简介: 张复新, 男, 1945年生。1968年本科毕业于北京大学, 1982年获西北大学硕士学位。现为西北大学地质系教授, 博士生导师, 从事矿床地质与地球化学教学与科研。Email: zhangfux@nwu.edu.cn。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

高丰度与之一致(表1) (朱养西等, 2003)。

2 成矿条件分析

鄂尔多斯盆地北部所处区域地质、构造活动及盆地沉积对成藏(矿)控制的意义在于:

(1) 基底形成与克拉通化盆地: 鄂尔多斯盆地作为华北克拉通重要组成部分, 经历了隐生宙微陆核的拼接统一和均一刚性化, 显生宙地块边缘俯冲

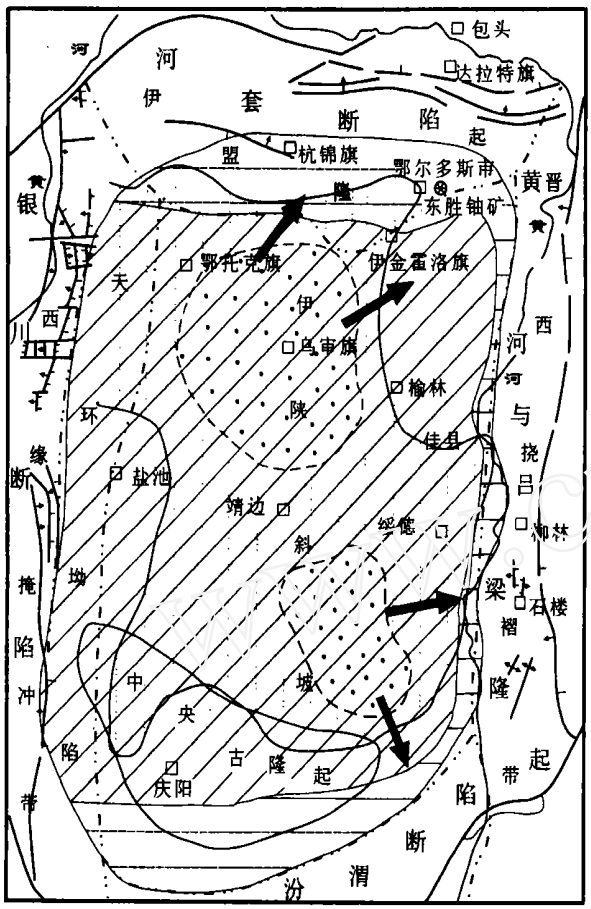


图 1 鄂尔多斯盆地深盆气与现今生烃中心分布图
(据孙粉锦等, 2001, 修改)

Fig. 1 Distribution of deep basin gas and generation gas in the Ordos Basin

1—下部沉积层中天然气; 2—气水过渡带; 3—地名; 4—断层; 5—凸起背斜及向斜; 6—构造单元分界; 7—铀矿床; 8—中强生烃中心6～10亿 m^3/km^2; 9—低强度生烃中心2～6亿 m^3/km^2; 10—生气中心运移方向

1—Natural gas in underlying epidermis; 2—ges-water intermediate zone; 3—place name; 4—fault; 5—raised anticline and syncline; 6—boundary line of tectono unit; 7—uranium deposis; 8—medium-strong hydrocarbon producing centre 6×10^8～$10\times10^8 m^3/km^2$; 9—low hydrocarbon producing centre 2×10^8～$6\times10^8 m^3/km^2$; 10—migration direction of ges-producing

表 1 东胜砂岩型铀矿微量元素含量

Table 1 Contents of the main trace elements in the sandstone type uranium deposit in Dongsheng

样品特征	样数	U ($\times10^{-6}$)	Th ($\times10^{-6}$)	Au ($\times10^{-9}$)	Ba ($\times10^{-6}$)
不含矿砂岩 U < 10×10^{-6}	5	7.04	6.61	7.54	790
铀异常带砂岩 U = (10～50) $\times10^{-6}$	6	34.3	3.17	6.07	1115
矿化砂岩 U = (50～100) $\times10^{-6}$	7	68	5.17	15.2	1396
铀矿石 U ≥ 100×10^{-6}	6	164	4.41	9.02	1813
上地壳 (Taylor, 1985)	-	2.8	1.7	1.8	0.08

资料来源: 朱西养等(2003)。

碰撞进而加厚增生与成熟, 陆内造山过程使伊盟北部出现山前断裂、发育巨型钾长石化带及偏碱性花岗岩(中国人民武装警察部队黄金指挥部, 1995; 车自成等, 2002)。研究区作为中亚造山带南缘阴山褶皱系, 在 γ 能谱上表现为高钾异常带(中国人民武装警察部队黄金指挥部, 1995), U、Au 等元素伴随钾、钠的活化分异而迁移—富集。从容矿砂岩中钾化花岗岩屑及碱性长石砂屑丰富, 粗面岩、钠长岩、中—酸性火山岩常见, 间接表明与欧亚铀异常带的吻合及其对造山带铀异常的带动(表2)。研究区处于鄂尔多斯大型拗陷盆地北部边缘伊盟隆起带上, 侏罗系沉积之后长期隆升剥蚀, 保持了容矿层形成及以后水动力条件的长期稳定, 有利于本区层间氧化带的发育。

(2) 位于伊盟隆起东部的东胜矿区处于华北板块北缘与兴蒙弧交接带南缘稳定地块部位, 伊盟隆起长期隆升造就了东胜地区水成铀矿侏罗系陆相砂岩目的层形成, 以及形成后的水动力条件长期的稳定性。加之盆地后发展时期研究区整体抬升, 一方面目的层产生掀斜和剥离, 促使层间氧化作用进行, 另一方面出现干旱炎热的环境为成矿提供有利的气候条件。

(3) 鄂尔多斯中—新生代盆地形成演化经历二

表 2 东胜中侏罗统直罗组杂砂岩系含铀性与中亚铀异常带铀丰度对比

Table 2 U abundance of graywacke contrast between middle Jurassic Zhiluo Group in Dongsheng area and middle Asia anomalous belt

地区	中亚大陆构造带①	中亚异常地化带②	伊盟东胜地区			
			围岩	异常带	矿化岩石	矿石
U 含量 ($\times10^{-6}$)	1.6	2.9	4.71	34.3	68	164
上地壳 (Taylor, 1985)	2.8 $\times10^{-6}$					

资料来源: ① 据高必娥(2001); ② 据朱西养等(2003)。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3　鄂尔多斯北部地段盆地演化三元结构柱状图

Table 3　Column of three unit structure of geological evolution in North Ordos basin

地层时代			沉积建造及厚度	盆地类型	气候	对铀成矿贡献
上白垩统		K_2	整体隆升, 周边裂陷			
下白垩统上结构层	伊金霍洛组	K_1	冲积扇及风成红色沉积岩系厚50～130m	断陷盆地红色建造	干旱炎热	砂体掀斜层间氧化
上侏罗统		J_3	局部挤压隆升			
中侏罗统中结构层	安定组	J_2a	不含煤灰色夹杂色岩系	河谷盆地灰色夹杂色沉积建造	温暖潮湿向干旱炎热过渡	提供砂岩铀矿形成所需层位条件
	直罗组	J_2z	含薄层煤砂质辫状河碎屑沉积, 厚70～130m			
下侏罗统下结构层	延安组	J_1y	湖沼相含煤地层岩系, 厚270～330m	含煤湖盆, 黑色建造	温暖, 潮湿	提供二次导入有机质, 下屏挡层
	富县组	J_1f	不含煤线的河流沉积碎屑岩系			
三叠系	延长组	T_3	陆相杂色细碎屑岩系	大型陆内湖盆		提供二次导入有机质

次重要变革: 第一次变革为下侏罗世后期的隆升, 隆升前盆地沉积主要受东西向特提斯构造域活动影响, 形成湖沼相多层煤系的黑色结构层(J_2y—延安组), 构成盆地侏罗系聚煤的关键时期, 同时控制着河道砂岩铀藏; 隆升后盆地沉积转向由特提斯构造域和太平洋构造域活动的联合控制, 是以含薄层煤线的砂质辫状河流沉积为特色的杂色结构层(J_2z—直罗组), 形成本区含铀砂体。第二次变革发生在晚侏罗世, 结束了山前凹陷盆地沉降历史, 较长时期处于剥蚀阶段, 给水成铀矿成矿创造了良好水文条件。

(4) 盆地沉积演化三层结构特征清晰, 本区具有成矿盆地的"三元结构"组合(表3), 不仅反映出不同成因沉积建造在垂向的叠置, 更表明盆地形成演化过程中不同构造机制的转变和古气候的重大变更。上结构层有利地表水的下渗、中结构层为铀的找矿及容矿建造、下结构层是提供与导入还原性气液物源层位, 构成了东胜砂岩型铀矿有利的成矿结构模式。

(5) 东胜铀矿直罗期容矿岩系为开阔河流平原, 辫状河流向变化大, 使沉积砂体横向上不同砂体间泥岩隔挡性差, 分布上有广泛连通性。依据岩性和颜色可分为上下两个岩性段: 下段进一步分为两个亚段, 下亚段为灰、浅灰、灰绿色中粗粒砂岩、中粒及中细粒砂岩, 顶部为灰、灰绿色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩, 厚30～60 m; 上亚段灰绿、浅灰色中粒、中细粒砂岩夹泥质粉砂岩、粉砂质泥岩, 厚10～30 m; 上岩性段以紫红、灰紫色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩夹中细粒砂岩、细砂岩薄层, 厚30～40 m。总体沉积岩结构松散、单层厚20～40 m 不等、为渗透性好的层状砂体。另外, 其顶板有洪泛沉积的泥岩覆盖, 底板有湖沼泥岩隔挡, 构成砂体上下的不透水层。

(6) 垂向地层具备良好的区域地球化学与物理化学条件: 下伏的延安组在研究区发育煤系地层, 可能成为直罗组沉积层中大量还原物质的直接来源, 目的层的原生砂体是一套富含有机质和黄铁矿灰色粗碎屑岩, 具有较好的含铀性及自身的还原能力。此外, 下部沉积岩层中天然气的导入也是本区成矿良好的还原媒介。容矿目的层在地球化学上恰好处于延安组晚期还原环境向安定组氧化环境过渡阶段, 营造了对铀活化富集有利的弱还原、弱氧化环境。

(7) 北部盆地下部沉积层中丰富的天然气营造了优越的成矿物理化学条件: 鄂尔多斯盆地内石炭纪—二叠纪煤系含有机质丰富, 演化程度高, 形成的巨量的天然气, 储层致密、升降稳定、构造稀少轻微, 从而导致盆地构造下倾部位天然气的大规模聚集。由于盆地区域地形北高南低、东高西低, 特别是东北部榆林—府谷地区, 在印支期已形成中等和低强度的生气中心, 至燕山晚期因新生代沉积使晚古生代煤系埋深加大; 另外, 华北地区普遍的热事件, 使下部煤生气进入高潮, 并沿北东部发育的上倾鼻状翘褶和盆地边缘运移溢散(图1), 导致东胜砂岩型铀矿北部大量油砂岩的形成。对铀矿床赋矿砂体及不同程度矿化矿石酸解烃类分析, 极富含 CH_4 的煤型天然气(表4)。另外, 本区构造高部位大面积含水, 向低部位倒流, 构成煤型天然气与砂岩型铀有利于还原的成矿条件。东胜铀矿位于北东向还原性煤成气运移上升与地表含矿氧化水下降汇聚过渡地段, 形成铀矿灰色层矿体上部较广泛面状分布的后生绿色化层(绿泥石化—黄铁矿化)和灰色层矿体下部砂岩的漂白色化。东胜地区向北东凸出的弧型铀矿异常, 应是下部丰富的天然气向北逸散与古氧化地表水双向化学作用的结果。产生两种截然不同面状蚀变, 绿色化面状蚀变在矿体上盘, 并继续向东北方向延伸; 漂白色化面状蚀变仅在矿体下盘, 究其形成及分布原因, 认为是深盆气与地表含矿氧化水的下渗化学反应存在直接关系。带入砂岩目的层以 CH_4 为主的深盆气向上逸散过程中, 与地表氧化水汇合, 下

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 4 东胜富铀矿体、铀矿化体、绿色化蚀变砂岩及含矿砂体酸解烃类含量(μL/kg)

Table 4 Analytical results of the acidolysis hydrocarbon in the rich uranium orebodis, viridte greywacke and uranium mineralized body in Dongsheng area, Ordos basin (μL/kg)

样品类型	样品数	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	i-C_4H_{10}	n-C_4H_{10}	i-C_5H_{12}	n-C_5H_{12}
富铀矿体	5	569.43	99.419	48.43	4.54	1.71	1.49	1.56
铀矿化体	13	256.21	42.40	15.71	3.48	1.64	0.58	0.58
绿色化蚀变砂岩	4	164.83	30.57	13.31	4.15	7.88	2.69	2.45
无矿段含矿砂体	19	206.60	35.21	15.57	1.83	5.30	1.39	8.10
变化趋势	酸解烃由含矿岩系向富矿石增大							

资料来源: 张如良(2004)。

部煤型气富集 CH_4、HS^-、C_{org}, 地表氧化水富集 Fe^{3+}、UO_2^{6+}、HCO_3^-, 气液两者混合造成成矿作用物理—化学反应, 伴随铀还原沉淀的同时, 其上部有以绿泥石—黄铁矿—含铁白云石—方解石的面状分布的蚀变作用, 与铀还原沉淀共生的矿化蚀变矿物组合与绿色化蚀变雷同。而矿体下部的煤型还原气不能与地表水混合, 还原性气体仅与固相的砂岩进行去 Fe^{3+} 等氧化物质的漂白化还原作用, 除在漂白化带顶部出现少量后生团块—串珠状黄铁矿层外, 相当厚度的砂岩层发生漂白化, 显微镜下表现为去铁质化和高岭石化现象。东胜砂岩型铀矿成岩、后生、低温热液蚀变黄铁矿硫同位素分析结果, 出现两组数据集中, 一组为正值, 4件平均11.754‰, 另一组为负值, 5件平均-19.292‰(表5)。前者显然与来自古地表水携带 SO_4^{2-}, 下渗沉淀形成矿化硫化物; 后者与下部溢散的还原性气体形成的矿化硫化物有关。

(8) 由表3垂向剖面示意可知, 早侏罗世中晚期的温湿气候转向晚侏罗世的炎热干旱气候, 直罗组的形成刚好处于半干旱气候过渡时期, 沉积了一套富含有机质的灰色层。在这种气候条件下, 地表流体使含矿目的层中的铀得以活化、迁移, 利于砂岩型铀矿化的形成。

(9) 至于铀成矿所需各种成矿物质的来源, 研究区构造演化和地质作用的综合结果, 多方面的集中提供和趋同运移富集, 导致砂岩大型铀矿的形成。首先华北板块北缘蚀缘区古老高级变质岩系(乌拉山群、色尔腾群、渣尔泰群)和中生代重熔花岗岩系(大桦背、沙德盖)及陆内伸展构造中的碱性杂岩(紫金山)、中酸性火山岩系的存在, 成为鄂尔多斯北部盆地铀的直接蚀源区; 东胜铀矿西北—西部—西南环绕特大型石膏矿—芒硝矿, 使地表氧化水中硫酸盐等盐类物质丰富, 有利于对含矿的氧化型砂岩中铀的萃取, 同时给过渡带二次成矿提供硫源; 深部与侧向的煤型气带来大量还原气并携带有用成矿物质, 构成足以还原北部地表—近地表氧化带渗入的物质并与之发生化学反应, 导致重要的砂岩型铀矿的二次气-水还原成矿。

表 5 东胜富铀矿石中成岩—后生—低温热液蚀变黄铁矿硫同位素分析

Table 5 The sulfur isotope composition of the diagenetic, epigenetic and epithermal pyrites of the rich uranium ores in Dongsheng, Ordos basin

矿段	样品编号	$\delta^{34}S$(‰)	矿段	样品编号	$\delta^{34}S$(‰)
孙家梁	A0-3-01	-35.967	沙沙	A159-47-02	-28.365
	A3-0-12	-39.201	圪台	A159-47-04	9.895
	A3-11-05	15.822	皂火壕	A271-16a	7.162
	A3-12-01	-5.324		A271-71-01	14.135
	A3-12-04	-6.897			

资料来源: 核工业208队。

(10) 盆地北部产出的大型砂岩型铀矿, 巨型煤田, 特大型石膏、芒硝矿, 及中、低强度的生油气中心(杜乐天, 2002), 四者共存、共生一起绝非偶然。一方面蚀缘区偏碱性花岗岩类、中酸性含硫-铁火山岩系风化—剥蚀—解离—搬运至盆地边缘, 提供稳定的铀、盐类、硫-铁质及地下水的来源; 另一方面盆地抬升后, 随着盐湖与砂岩铀矿的近同步形成, 在较干旱气候条件下, 盐湖内部分盐类随干旱空吸而向砂岩铀矿层流动加入铀成矿作用系统中, 提高了氧化地表水含盐浓度, 对进一步萃取目的层中的铀等物质起着积极作用。另一方面, 盆地北部构造适度的构造活动, 偏南盆地沉积层自身重力产生的压力, 均会构成油气向北沿低角度向南倾斜的地层逸散, 叠加在盆地边缘的铀矿区内, 形成砂岩型铀矿的二次气-水还原铀的成矿作用。

3 东胜砂岩型铀矿床地质特征

3.1 容矿目的层岩石学特征

容矿目的层为中侏罗统直罗组下段灰色中粒杂砂岩, 碎屑粒径0.2～0.8mm, 中—粗粒杂砂岩, 碎屑粒径为0.2～2.0mm。砂屑主要为石英、微斜长石和条纹长石、褐色黑云母, 岩石砂屑为花岗岩屑、花岗质片麻岩屑、云母石英片岩屑、含黄铁矿微石英岩屑、碳质板岩屑、煤质炭屑、泥板岩屑及细晶大理岩屑, 少量粗面岩屑、闪长玢岩屑, 偶见钙铝石榴子石砂屑、普通角闪石砂屑、变形石墨砂屑; 重矿物多见锆石、电气石、磷灰石、钛铁矿等; 原生胶结物由泥质、钙质及铁质组成; 砂岩为接触式与基底式胶结。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 6　东胜铀矿床容矿目的层含铀性及相关组分特征

Table 6　Characteristics between U-bearing value of host rock series and its compose in Dongsheng uranicum deposit

目的层	后生蚀变分带	样品数	岩、矿石	U ($\times 10^{-6}$)	S(%)	TFe_2O_3 (%)	FeO (%)	K_2O (%)	$\frac{Fe^{3+}}{Fe^{2+}}$	Eh
上段	氧化带	2	紫红色粉砂岩	9.1	0.03	7.56	1.76	2.89	3.12	32
下段	绿色蚀变带	8	绿泥石—含铁质中粗—中细—细粒杂砂岩	5.5	0.38	4.10	2.00	3.05	0.57	45.4
	氧化—还原带	2	灰绿色砂岩型铀矿石	390	0.50	1.96	0.96	3.40	0.96	37.5

资料来源: 核工业208队。

反映砂岩组分来自近物源区, 剥蚀区发育海西期岩浆岩体, 岩石新鲜, 偏碱性的中—酸性岩浆岩为主, 而古老岩浆岩同样发育。表6反映出矿区容矿地层岩石全分析的部分组分中钾、铁质较高与岩石矿物组成一致。

3.2　矿床地质特征

东胜大型铀矿产于伊盟隆起东胜—靖边单斜北东部, 总体南西倾伏, 倾角0°～3°, 构成大型斜坡带。区内主要由中侏罗统延安组(J_2y)、直罗组(J_2z)、下白垩统(K_1)、第三系及第四系组成, 直罗组下段灰色杂砂岩辫状河体系是铀矿化层位。将直罗组容矿地层氧化带、后生绿色蚀变层及氧化—还原矿层中铀及容矿岩石主要组分对比于表6。铀的含量与硫化氢、碱质的加入有密切关系, 铁质高有利砂岩的含铀性, 而铁的价态转化更有利于铀的成矿。砂体中铀矿体呈板状、卷状、透镜状。矿体厚度在层间氧化带前锋突变部位较厚大, 翼部厚度相对较小。伴随铀矿化的矿化蚀变有: 白铁矿—黄铁矿化、泥晶—亮晶方解石化、高岭石—蒙脱石化, 黄铁矿化形式多样: 胶状聚晶、微细粒—细粒散布砂岩胶结基底、二次胶结的包含状—筛眼状、显微细脉状等。铀矿物铀石为主, 次为钛铀矿, 此外, 碳质吸附及呈类质同象赋存于黄铁矿中。

4　东胜砂岩型铀矿成矿作用

东胜砂岩型铀矿成矿作用包括成岩、后生、低温热液三个阶段, 各阶段均有氧化—还原现象共存发生, 或者氧化矿物被还原, 或者还原矿物被氧化的现象, 显然是地表氧化水与深部天然气的气-水在氧化—还原过渡带砂岩层中, 通过水-岩、气-岩及气-水-岩共同交替的氧化—还原作用与化学反应有关。从形成的矿物组合与结构特征已证实了这一点。按照正常的成岩、后生及低温成矿矿物组合规律, 出现了不正常或非常规矿物的"共生", 或矿物群的"共生", 属于在不同物理化学条件下的形成产物, 是一种共生—共存形式的组合, 即由不同价态金属离子组成的矿物共存, 和不同时间阶段晶出矿物的共存组合, 称之为特态相矿物群(张复新, 2005), 是相态矿物不应发生的"共生"组合, 属于非常规成矿条件下形成的多态相矿物群的共存。

4.1　成岩阶段特态相矿物群与成矿作用

东胜砂岩型铀矿床成岩阶段一般砂岩中的物质的活动性较差, 形成的成岩矿物相对简单。东胜砂岩型铀矿中成岩矿物主要由莓球状黄铁矿组成, 或形成黄铁矿草莓群, 或单个散布出现。黄铁矿草莓中的黄铁矿莓子或紧密聚集或较稀疏分布。该成岩黄铁矿电子探针分析明显含铀(表7), 是沉积砂体在埋藏一定深度后, 微生物的生命活动及碳质对含铁地下建造封存水的还原作用产物。成岩黄铁矿的含铀性间接佐证了沉积砂岩的含矿性。

表7　东胜铀矿石后生蚀变聚晶黄铁矿电子探针分析(%)

Table 7　Epigenetic alteration pyrit of the ores in Dongsheng uranicum deposit(%)

样品编号	岩石类型	U	Th	Fe	S	Pb
gw-1	中粗杂砂岩	0.17	0.17	49.50	50.31	0.00

注: 西安地质矿产研究所电子探针分析室刘文峰测定。

4.2　后生阶段特态相矿物群与成矿作用

后生阶段砂岩中出现明显的流体物质的迁移(丁万烈等, 2001), 导致多种新生矿物出现: 大量由地表水风化溶解的含水硅酸盐、碳酸盐组成的高岭石、泥晶方解石和亮晶方解石作为二次胶结物置换泥质胶结物而充填于砂屑之间, 甚至多有对各种砂屑的不同程度的交代。磁铁矿、赤铁矿、粒状黄铁矿等金属矿物多呈稀散单晶及集合体分布砂岩胶结基质中。另外, 胶状黄铁矿被有机碳屑吸附聚集。

后生成矿阶段氧化、还原的交替发生较为频繁, 成岩阶段赤铁矿经后生成矿作用轻度还原, 大部分被磁铁矿替代。进一步的还原成矿作用是由黄铁矿自形—半自形细晶稀疏浸染分布于胶结基质或碎屑节理及裂隙中。后生阶段具有明显的交代作用, 黄铁矿细晶集合体沿赤铁矿聚片双晶结构薄弱带交代充填。此外从地表下渗的氧化水流经含矿带时, 后生阶段形成的磁铁矿可被氧化形成褐铁矿氧化替代圈, 棕褐色黑云母的程度不同的退色化及水化, 致使棕褐色黑云母蛭石化而引起的膨涨, 增加了岩石的孔

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

隙度和渗透性, 反映出含氧地表水在氧化过程中对含矿岩系铀的进一步萃取与活化。

后生成矿作用主要表现为含氧地表水在氧化过程中对含矿岩系铀的进一步萃取与活化, 和含氧含铀地下水的还原作用致使高价铀络合物的还原沉淀, 导致还原性金属硫化物、半氧化—半还原性磁铁矿、钛铁矿及碳酸盐矿物及绿泥石矿物群的组合形成。此外, 还原性极强的有机碳屑对含铀氧化地下水中高价铀的吸附作用。上述特态相矿物群的出现大大加强了岩石的铀品位, 这是成矿作用的直接体现(张复新, 2005)。

4.3 低温热液阶段特态相矿物群与成矿作用

低温热液阶段的砂岩型铀矿的成矿作用表现的更加鲜明, 但仅在容矿砂体局部出现。成矿作用由更加多样的矿物组成特态相矿物群: 出现较强的还原性矿物群黄铁矿、白铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿的共生组合; 少量半氧化—半还原性铁白云石、菱铁矿、钛铁矿、方解石—黄铁矿矿物群呈显微断续脉状产出; 较强烈交代泥质胶结物及其各种砂屑。黄铁矿—白铁矿常组成共生矿物对交生一起, 可明显识别出它们的结晶先后顺序。本阶段矿化蚀变虽分布不甚广泛, 但活动较强烈地段叠加在铀矿体局部位置使铀明显富集。

各种粒径、不同自形程度及不同分布形式的黄铁矿显然具有多阶段晶出特征, 一方面表现出黄铁矿在胶结基底中的单独分布多呈聚晶状、二次胶结状、填隙状、浸染状、包含状等, 另一方面显示黄铁矿与白铁矿的密切交生、常与多金属硫化物矿物的共生, 或与含铁碳酸盐矿物组成共生边、或与绿泥石、绿色黑云母等交互一起。显然与深盆气逸散的硫化氢障较强烈的绿色化还原作用的叠加有关。当然深盆气还原作用远远超出矿体范围, 形成较广泛的面形蚀变带。另据欧阳习(内部交流, 2003)测定后生蚀变二次胶结的亮晶方解石均一温度, 获得120～70℃, 属低温热液矿化作用范围。

5 结论

(1) 东胜砂岩型铀矿北部紧邻中亚造山带南缘阴山褶皱系(包头段), 产于华北鄂尔多斯盆地北部边缘。沉积物源来自山前断裂(呼和浩特—乌拉特前旗)、山前钾化带与碱性花岗岩带(乌拉山南缘)重叠区域, 在 γ 能谱上表现为高钾—富铀异常。相对稳定的大陆盆地河湖环境集中了上述含铀异常带岩石建造, 特别是偏碱性岩浆岩侵位时间晚、岩石新鲜、富铀碱性花岗岩碎屑丰富, 在古水文作用下, 为成矿奠定了物质基础。

(2) 东胜砂岩型铀矿床与北东—北西部—西南三面环绕的古水文条件、石膏矿-芒硝盐湖、天然气田、神木—府谷煤田共存。经晚侏罗世至早白垩世构造隆升, 含氧地表水下渗溶解-萃取、盐湖蒸发空吸带入、西南方向和下部天然气侧向逸散还原, 为矿床形成构建了古层间氧化还原作用—络合盐类侧向迁移—深盆气二次还原作用砂岩型铀矿独特的成矿系统。

(3) 东胜砂岩型铀矿体以板状为主、卷状次之, 矿体产于后生绿色化蚀变带和漂白色化带之间, 两种蚀变均呈区域性面型分布, 形成与下部煤型气—地表水, 下部煤型气—砂岩体的气-液及气-固相互作用密切相关, 显示出东胜砂岩型铀矿床地质特色。

(4) 东胜砂岩型铀矿床在上述地质背景和地质作用下, 表现出下部煤型气—水—岩石建造间较复杂的成岩、后生与低温热液矿化蚀变作用, 矿化蚀变复杂、多期多阶段特点、形成有金属氧化物—硫化物—铁碳酸盐—含铁硅酸盐特态相矿物群、成矿方式多样(二次胶结、充填、交代、替代)、矿化蚀变分布广泛、具有面型分布特点、具低温热液矿化作用参与(120～70℃)、氧化与还原作用交替进行的气水流体成矿特征。

(5) 综上认为, 该砂岩型铀矿成因属于沉积预富集—古层间氧化淋滤—后生二次还原与交代砂岩型铀矿床。

致谢: 在研究中得到核工业203所及208队同仁的大力协助, 成稿过程中与203所及208队同仁的有益讨论, 在此深表谢意!

参 考 文 献

车自成, 刘良, 罗金海. 2002. 中国及其邻区区域大地构造学. 北京: 科学出版社, 296～302.

杜乐天. 2002. 盆地矿套. 国外铀金地质, 19(3): 140～146.

丁万烈, 申科峰. 2001. 水成铀矿沉积岩的后生蚀变. 铀矿地质, 17(2): 83～89.

高必娥. 2001. 横跨欧亚大陆的铀矿带. 国外铀金地质, 18(3): 136～139.

洪大卫, 王式[illegible], 谢锡林, 张季生, 王涛. 2003. 试析地幔来源物质成矿域. 矿床地质, 22(1): 41～55.

何自新, 等. 2003. 鄂尔多斯盆地演化与油气. 北京: 石油工业出版社, 150～152.

孙粉锦, 许化政, 陈孟晋. 2001. 鄂尔多斯深盆气. 现代地质, 15(3): 309～314.

张复新. 2005. 砂岩型铀矿与浅成低温热液矿床. 北京: 科学出版社,

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

164～171.

张如良. 2004. 鄂尔多斯深盆气与铀矿化关系初探. 铀矿地质, 20(4): 213～218.

中国人民武装警察部队黄金指挥部. 1995. 内蒙古哈达门沟伟晶岩金矿地质. 北京: 地震出版社, 48～52.

周鼎武, 李文厚, 张云翔, 张成立, 张复新, 等. 2002. 区域地质综合研究的方法与实践. 北京: 科学出版社, 248～254.

朱西养, 汪云亮, 王志畅, 张成江, 刘建华. 2003. 东胜砂岩型铀矿微量元素地球化学初探. 地质地球化学, 31(2): 39～44.

Che Zicheng, Liu Liang, Luo Jinhai. 2002. Regional geotectology of Chinese continent and thear neighbours. Beijing: Science Press, 296～302(in Chinese).

Ding Wanlie, Shen Kefeng. 2001. Epigenetic alteration of sedimentary rocks at hydrogenic uranium deposit. Uranium Geology, 17(2): 83～89(in Chinese with English abstract).

Du Letian. 2002. Community of mineral diposits in basin. Overaeas Uranium and Gold Geology, 19(3): 140～146(in Chinese).

Gold Headquarters of CAPF. 1995. Geology of Hadamengou pegmatitic gold deposit Inner Mongolia. Beijing: Seismic Press, 48～52(in Chinese).

Hong Dawei, Wang Shiguang, Xie Xilin, Zhang Jisheng, Wang Tao. 2003. Metallogenic province derived from mantle sources: A case study of central Asian orogenic belt. Mineral Deposits, 22(1): 41～55(in Chinese with English abstract).

He Zixin, et al. 2003. Geological evolution and oil-gas in Ordos Basin. Beijing: Petroleum Industrial Publishing House, 150～152(in Chinese).

Sun Fenjin, Xu Huazheng, Chen Mengjin. 2001. Deep basin ges of ordos. Geoscience. 15(3): 309～314(in Chinese).

Zhang Fuxin. 2005. Sandstone-type uranium deposit and epithermal deposit. Beijing: Science Press, 164～171(in Chinese).

Zhang Ruliang. 2004. Preliminary discussion on relationship between deep-basion gas and uranium mineralization in Ordos basin. Uranium Geology, 20(4): 213～218.

Zhou Dingwu, Li Wenhou, Zhang Yunxiang, Zhang Chengli, Zhang Fuxin, et al. 2002. Research method and their practice of regional geology. Beijing: Science Press, 248～254(in Chinese).

Zhu Xiyang, Wang Yunliang, Wang Zhichang, Zhang Chengjiang, et al. 2003. Geochemistry of main trace elements in the sandston type uranium deposits in Dongsheng area. Geology-Geochemistry, 31(2): 39～44(in Chinese).

The Metallogenic Condition and Epigenetic Alteration Mineralization of Dongsheng Uranium Deposit in the Inner Mongolia

ZHANG Fuxin[1)], QIAO Haiming[1, 2)], JIA Heng[2)]

1) *Key Laboratory of Continental Dynamics of the Ministry of Education, Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi, 710069; 2) No. 203 Institute of Uranium Geology, NW China, Xianyang, 712000*

Abstract

The Ordos basin is greatest one of the oil, natural gas pool, coal minee and uranium deposit collection in the same basin. This basin is component part of Archeozoic—Proterozoic crystalline basement and marine and lake sedimentary cover of Paleozoic group unite into North China Plate. On the Ordos basin was divided into Mesozoic—Cenozoic piedmont depression basin from North China in Mesozoic era. The Ordos basin of Mesozoic—Cenozoic era is undergoing three develop evolution stage from tableland basin, fault block and after basin. This paper make a concrete analysis of favourable condition of uranicum metallogenetic geological-geochemistry in Mesozoic—Cenozoic era basin. The uranicum abundance of the host sandstone (4.71×10^{-6}～34.3×10^{-6}) is a few multiple-outstrip one quantitative stage higher than mean value of upper earth crust abundance. This paper expounds characteristics of petrology of host layer in Dongsheng uranium ore deposit and features of diagenetic-epigenetic-low temperature hydrothermal mineralization. The paper specifically analyses close relationship between green-bleaching mineralized alteration and uranium mineralization. The green and bleaching alteration has feature of the planer type distributed. They are hosted in upper plate and lower wall of uranium orebody respectively and have close relation of genesis to deep-basin gas. This mineralized alteration has characteristics of mineralization multi-epoch and multi-stage, complex mineral association paragenesis, diversified mineralized shape and characteristics of low-temperature hydrothermal mineralization (70～120℃). The sandstone-type uranicum ore deposit is the genesis of early stage of sedimentary pre-enrichment, succeed stage of leach of paleointerlayer oxidized zone and epigenetic deoxidation and epigenetic metasomatism.

Key words: metallogenic condition; epigenetic alteration; mineralization of epithermal; Dongsheng uranicum deposit; Ordos basin; the Inner Mongolia

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net