

鄂尔多斯盆地东胜地区侏罗系煤与铀矿关系

杨仁超¹, 韩作振¹, 柳益群², 樊爱萍²

(1. 山东科技大学 地球科学学院, 山东 青岛 266510; 2. 西北大学 地质学系, 陕西 西安 710069)

[摘要] 鄂尔多斯盆地东胜地区侏罗系煤与砂岩型铀矿在空间上密切共存, 为探讨煤与铀矿的关系, 进行了广泛的野外调研和系统的室内分析。在煤岩特征、煤的成岩演化和煤地球化学特征研究的基础上, 发现从泥炭至褐煤的煤化过程中, 铀的含量不断增加, 铀含量与煤岩显微组分中的镜质组含量成正比; 砂岩成岩矿物与煤化作用有关, 煤的微量元素和稀土元素的含量特征与含矿砂岩具一致性。研究认为, 在同生成岩阶段和早成岩阶段, 煤对铀的作用主要包括吸附作用、络合作用及还原作用; 表生成岩阶段, 煤对铀的再分配和“保矿”起到积极作用。

[关键词] 鄂尔多斯盆地; 侏罗系; 煤系; 铀成矿; 东胜地区

[中图分类号] P539.2 [文献标志码] A [文章编号] 1672-6561(2006)04-0031-07

Relationship between Jurassic Coal Measures and Uranium Deposits in Dongsheng Area, Ordos Basin

YANG Ren chao¹, HAN Zu o zhen¹, LIU Yi qun², FAN Ai ping²

(1. School of Earth Sciences, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, Shandong, China; 2. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China)

Abstract Jurassic coal measures and sandstone uranium deposit directly coexisted in space in Dongsheng area, Ordos basin. In order to discuss the relationship of coal measures and uranium deposit, extensive field exploration and systemic indoor analysis were conducted. Based on the research of coal features, diagenetic succession and geochemical features of coal measures, it is discovered that uranium content continuously increase during the diagenesis stages from turf to lignite and is in direct proportion to content of vitrinite in group macerals of coal, diagenetic minerals of sandstone correlate to coalification, and contents and features of trace element and REE of coal coincide with that of uranium bearing sandstone. It is concluded that effects of coal on uranium include sorption, complexation and revivification in syngeneses and early diagenesis and coal measures have positive effect on redistribution and preservation of uranium deposit in the epidagenetic stage.

Key words: Ordos basin; Jurassic system; coal measures; uranium mineralization; Dongsheng area

0 引言

砂岩型铀矿以其规模大、成本低、污染小、效益高等优点而成为世界各国铀矿勘查和开发的重点, 也是中国铀资源勘查工作的主攻方向。近年来, 在鄂尔多斯盆地东胜地区侏罗系直罗组砂岩中发现

的砂岩型铀矿, 其远景储量丰富, 有望达到超大型矿床规模, 成为中国又一处新的核能资源基地^[1]。而针对该矿床的研究尚比较薄弱, 尤其是成因问题仍未有定论。

勘探实践证明, 铀矿与油气、煤共存共生关系密切, 在油气藏和煤层中发现一批砂岩型铀矿^[2]。铀成矿与有机质存在着密切关系, 这些认识已为学

[收稿日期] 2006-01-16

[基金项目] 国家 973 项目(2003CB214603); 山东科技大学科学发展基金项目(05G019)

[作者简介] 杨仁超(1976-), 男, 陕西商南人, 讲师, 博士研究生, 从事沉积学与层序地层学研究。

界普遍接受。而关于铀沉淀的还原剂问题却存在较大争议。针对东胜地区中生界煤岩特征及煤的成岩演化开展详细地研究工作,对于了解砂岩型铀矿床的成因和分布都十分重要。藉此,笔者在东胜地区进行了详细的野外调研和系统的分析研究,对该区中生界煤岩学特征、煤的成岩演化及其与铀成矿的关系提出了初步认识。

鄂尔多斯盆地位于华北板块西部,面积约 $3.2 \times 10^5 \text{ km}^2$ (含新生代断陷盆地),是在华北板块太古界和下元古界结晶基底上发育起来的典型多旋回克拉通盆地^[3]。据现今构造特征,可将盆地划分为伊盟隆起、晋西挠褶带、渭北隆起、西缘冲断带、天环拗陷、中央古隆起和陕北古拗陷等 7 个构造单元^[4] (图 1)。盆地经历了长期的充填演化历史,早古生代主要为碳酸盐岩及浅海碎屑岩沉积,晚古生代早期为广泛的海陆交互相沉积,晚古生代晚期—中生代早期河流三角洲沉积体系为主^[5];中生代中晚期沉积了巨厚的河、湖相碎屑岩建造,后期燕山运动使中生界缺失上侏罗统和上白垩统。

东胜砂岩型铀矿床位于盆地伊盟隆起的东南

部,区内地层以 $1^{\circ} \sim 3^{\circ}$ 向南西向缓倾,出露地层主要为侏罗系和白垩系,第三系和第四系仅在局部地区分布。铀矿主要赋存于中侏罗统直罗组下段灰、灰白色长石岩屑砂岩、岩屑长石砂岩。研究区中生界含煤岩系主要是侏罗系延安组河湖相沉积建造^[6],富县组仅夹有薄煤层(或煤线)数层。

1 煤岩特征

延安组含煤地层自下而上可分为 5 个成因单元^[7],为一套湖泊—三角洲相沉积建造。含煤层数多、厚度大、煤质好,属长焰煤和不粘煤,煤的变质程度低,原生结构保存完好。宏观上,延安组煤层可划分出光亮煤、半亮煤、半暗煤和暗淡煤 4 种煤岩类型。煤层层理明显,光泽暗淡,以半暗—半亮型为主,暗淡煤次之,光亮煤很少。煤层中镜煤条带较少,呈沥青光泽,贝壳状断口;丝炭薄层较多,成丝绢光泽、参差状断口。显微煤岩成分中以镜质组为主,惰质组含量较高,壳质组少量(表 1)。镜质组以均质镜质体和基质镜质体为主,结构镜质体、银屑体等次之。惰质体以丝质体(氧化丝质体、火焚丝质体)和半丝质体为主,惰屑体和粗粒体少量。矿物组成以粘土矿物为主,硫化物和石英较少。壳质组可见角质体、孢子体及树脂体等。延安组煤质主要有低灰分、低硫分、低磷、低灰熔点等特点。不同煤层和同煤层的不同小层,煤岩成分略有差异,这种差异受古气候、沼泽类型、地下水位及植物群落等因素影响^[8]。

表 1 东胜地区延安组煤岩组分

Tab. 1 Petrological Characters of Coals from

Yan'an Formation in Dongsheng Area					$\rho_B / \%$
样品号	镜质组	惰质组	壳质组	矿物组	反射率 / %
Dy 01	55.31	41.79	0.77	2.13	0.57
Dy 02	71.25	25.96	0.94	1.85	0.51
Dy 06	63.98	31.83	1.65	2.54	0.54
Dy 07	62.73	34.28	0.92	2.07	0.53
Dy 09	49.93	45.05	2.21	2.81	0.56
Dy 10	54.99	42.23	1.06	1.72	0.59
Dy 12	51.73	43.71	1.22	3.34	0.54
Dy 17	71.56	24.31	1.51	2.62	0.49
Dy 18	56.73	40.11	0.78	2.38	0.56
平均	59.80	36.59	1.23	2.38	0.54

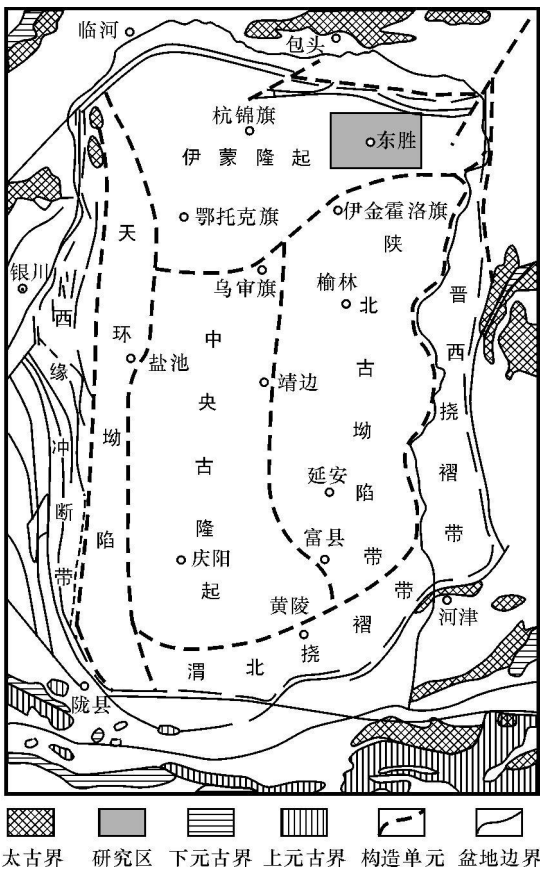


图 1 鄂尔多斯盆地构造区划图^[4]

Fig. 1 Tectonic Division of the Ordos Basin

测试单位: 中国矿业大学分析测试中心

2 煤的成岩演化

成煤作用包括由植物残体或藻类经泥炭化作用形成泥炭、褐煤,再从褐煤经煤化作用最终形成无烟煤的全过程^[9],泥炭化作用在早期成煤过程中起着至关重要的作用^[10]。

东胜地区延安组泥炭沉积之后,随着埋深的加大和地热增温,泥炭逐渐开始向褐煤转化。燕山运动第一幕运动使延安组遭受小规模抬升剥蚀,与上覆直罗组平行不整合接触。直罗组、安定组和芬芳河组的沉积使埋深进一步加大,地热增温加剧,煤成岩演化得以持续。研究表明,鄂尔多斯盆地在晚侏罗世至早白垩世有一次构造热事件^[11]。该构造热事件使得延安组泥煤迅速向褐煤-长焰煤转化。实验测得延安组煤岩平均 R_0 增至 $0.51 \sim 0.59$,延安组有机质进入成熟阶段。晚侏罗世,燕山运动第二、三幕对盆地抬升作用增强,造成盆地部分地区安定组和芬芳河组缺失。在东胜地区,下白垩统伊金霍洛组角度不整合于直罗组之上。伊金霍洛组沉积之后,燕山运动第IV、V幕抬升作用使盆地消亡,煤化作用随之终止。

3 砂岩型铀矿

东胜砂岩型铀矿主要的含矿建造为直罗组河流-三角洲相陆源碎屑岩建造,与下伏延安组含煤岩系直接接触。岩性主要为浅灰、灰白色粗-中粒长石岩屑砂岩、岩屑长石砂岩。据岩性、颜色和沉积环境的不同,可将东胜砂岩型铀矿的含矿建造分为上、下两个岩性段。直罗组上段厚 $30 \sim 40$ m,岩性以紫红色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩为主,顶部发育数层细砂岩,上段含矿性较差。下段可进一步分为两个亚段,上亚段厚 $10 \sim 30$ m,以灰绿色中细粒砂岩夹粉砂质泥岩为主。下亚段厚 $30 \sim 60$ m,为浅灰、灰白色粗-中粒砂岩,是最为集中的矿化层,叠置砂体之间可含数个隔挡层。

含矿砂体中自北向南发育了氧化带-氧化还原带-还原带,氧化带在地表为褐黄色,钻孔中为浅灰绿色、浅灰蓝色,氧化还原前缘线平面上总体呈东西向展布,形态为复杂的蛇曲状;氧化还原过渡带呈灰色、浅灰色,富含有机质和结核状黄铁矿;还原带呈灰白色,富含有机质,可见结晶状黄铁

矿。铀矿化产于层间氧化还原带前缘线附近,铀矿体呈卷状、板状和透镜状。

东胜地区直罗组含矿砂岩岩性鉴定统计表明:岩石类型主要为长石岩屑砂岩(26%)和岩屑长石砂岩(29%),其次为岩屑砂岩(16%)、岩屑石英砂岩(10%),少量长石石英砂岩(6%)和石英砂岩(4%)。胶结物以高岭石($\leq 25\%$)、绿泥石($\leq 25\%$)、碳酸盐($\leq 30\%$)、铁泥质($\leq 20\%$)为主,伊利石和硅质胶结物少量。

4 煤与铀矿关系初探

有机质与铀成矿有着十分密切的关系,国内外相关成果较多^[12-15]。天然产出的含碳有机质如煤,在同生、成岩和后生阶段,在控制铀矿的富集方面起着重要作用^[16]。

4.1 吸附作用

煤对铀的吸附作用主要表现在同生成岩阶段和早成岩阶段。其吸附能力由泥煤向褐煤方向增加,向石墨方向减少^[17]。研究表明,与铀有关系的有机质主要是腐殖酸(HAs)和富里酸(FAs),腐殖酸与铀酰离子存在着强烈地吸附和络合关系,泥炭的形成阶段主要是完成腐殖酸的形成。腐殖酸的形成是由复杂的碳水化合物破坏而来,植物分解程度每升高 1% ,腐殖酸增加 $1\% \sim 1.5\%$ ^[18]。从泥炭向褐煤的煤化作用阶段,开始脱氢、脱羧基,腐殖酸开始老化,褐煤向无烟煤的转化阶段,已没有游离腐殖酸的存在。此外,随煤化程度的增高,煤的物理结构也会发生较大变化,由早期多孔型结构向孔隙度降低的方向转化,吸附能力减弱。

东胜地区延安组煤和炭质泥岩的微量元素分析表明,炭质泥岩和褐煤中U、Th、Ga、V、Ce等元素含量明显高于上地壳平均值(表2)。从炭质泥岩到褐煤,U逐渐增高;而且可以看出U与煤显微组分中的镜质体含量呈明显的正比关系,表明煤中对铀起吸附作用显微组分的主要是镜质组。既然铀与腐殖酸有关,而从泥炭至褐煤的成煤作用中,腐殖酸由于脱羧基而大量减少,为何在褐煤中铀的含量较高,而不是炭质泥岩中含量高呢?这应该与有机酸的还原作用而使铀不断富集有关。Charles指出^[20],在铀发生还原之前,有机质的吸附作用可以加速铀的富集,通过吸附作用的预富集,可以加速铀的还原。固态腐殖酸有非常强的与铀酰离子结

表 2 东胜地区侏罗系煤的显微组分及微量元素特征

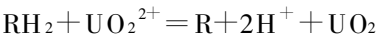
Tab.2 Features of Micro Composing and Trace Element in Jurassic Coal in Dongsheng Area											$w_B/10^{-6}$
样号	岩 性	镜质体/%	U	Th	Ga	V	Ce	Cr	Pr	Nd	La
	标准值/ 10^{-6} [21]	1.7	7.6	18	5.8	130	25	4.5	26.9	29	
Z118	炭质泥岩	8.11	8.6	31.3	32.2	198	180	117	21.9	73.3	86.3
Z133	炭质泥岩	14.87	12.4	50.7	40.3	933	73.4	265	6.59	27.6	23.8
Z123	褐 煤	45.08	26.4	51.7	30.0	290	250	154	27.3	91.7	110
Z135	褐 煤	53.03	36.6	40.7	141	1 405	11 592	1 474	1 356	4 982	5 014
Z131	褐 煤	61.49	464	30.4	19.6	613	239	421	29.9	118	113
Dy06	长焰煤	63.98	19.0	21.5	17.8	55.0	110	52.8	11.4	36.8	73.1

注: 微量元素测试由西北大学大陆动力学教育部重点实验室完成; 煤显微组分由中国矿业大学分析测试中心完成

合的倾向性, 铀以铀酰离子的形式被固态腐殖酸滞留, 腐殖酸中的羧基以双齿状配位体的形式与 $[UO_2]^{2+}$ 络合。成煤作用早期产生的腐殖酸和富里酸能强烈地络合铀, 形成铀酰有机络合物。

4.2 还原作用

铀在还原条件下由 U^{6+} 被还原为 U^{4+} 而富集沉淀。别列里曼通过实验测定, 几乎所有的沥青和许多种煤均具备使铀还原的条件^[20]。在 U^{6+} 被有机质还原为 U^{4+} 方面, 已经被实验所证实并有许多相关报道^[15-20]。褐煤与铀酰离子的氧化-还原反应可用下式表示^[21]



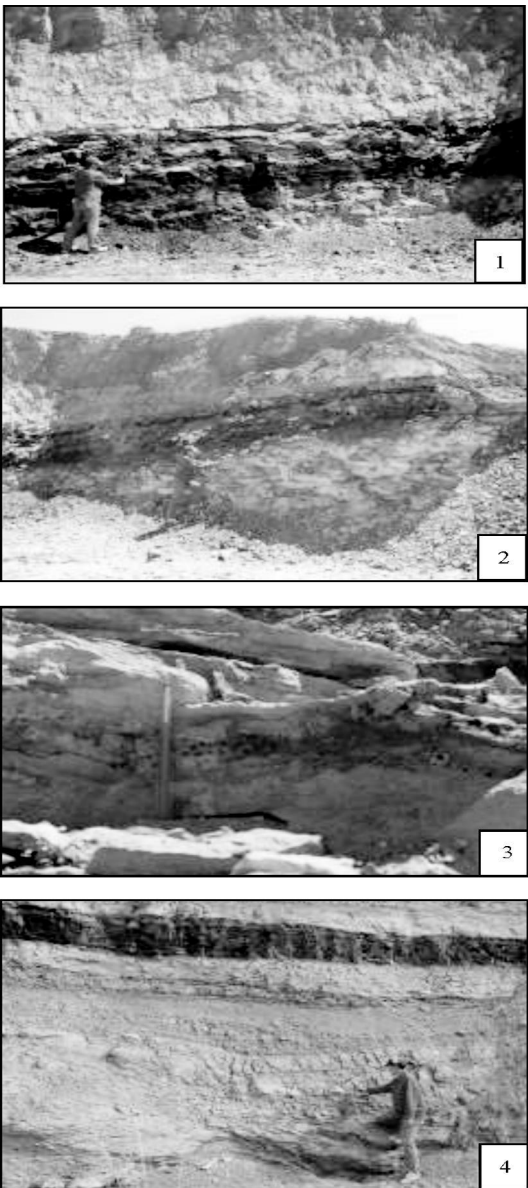
式中: RH_2 为含氧和碳氢化合物官能团的有机聚合物的起始物质; R 为脱氢后的产物, 氧化-还原反应速度取决于有机质的性质及反应温度。在热处理实验中, 天然的可溶性铀有机络合物可以被破坏, 铀能够被还原为 U^{4+} 而沉淀^[21]。东胜砂岩型铀矿与煤的关系主要反映在以下几个方面。

4.2.1 空间位置关系

鄂尔多斯盆地周缘砂岩型铀矿无一例外的与煤系共存, 东胜地区“下煤上铀”的空间组合关系, 都预示着铀与煤有着紧密的联系。直罗组下亚段含矿砂岩常与下伏延安组煤层直接接触, 与煤层上、下邻近的砂岩大多被漂白(图 2)。漂白砂岩的顶部可见大量结核状黄铁矿与黄褐色褐铁矿共存, 反映此处恰处于氧化-还原过渡带。

4.2.2 漂白砂岩

通过偏光显微镜和扫描电子显微镜研究, 发现本区直罗组下部和延安组上部的灰白色含矿砂岩中, 自生的高岭石普遍发育(图 3), 尤其在延安组顶部形成的漂白砂岩, 可占胶结物总量 80%以上。研



1, 2- 棉土沟煤层; 3- 漂白砂岩顶面黄铁矿; 4- 神山沟煤层

图 2 侏罗系煤层与铀矿的位置关系

Fig.2 Location of Jurassic Coal and Uranium

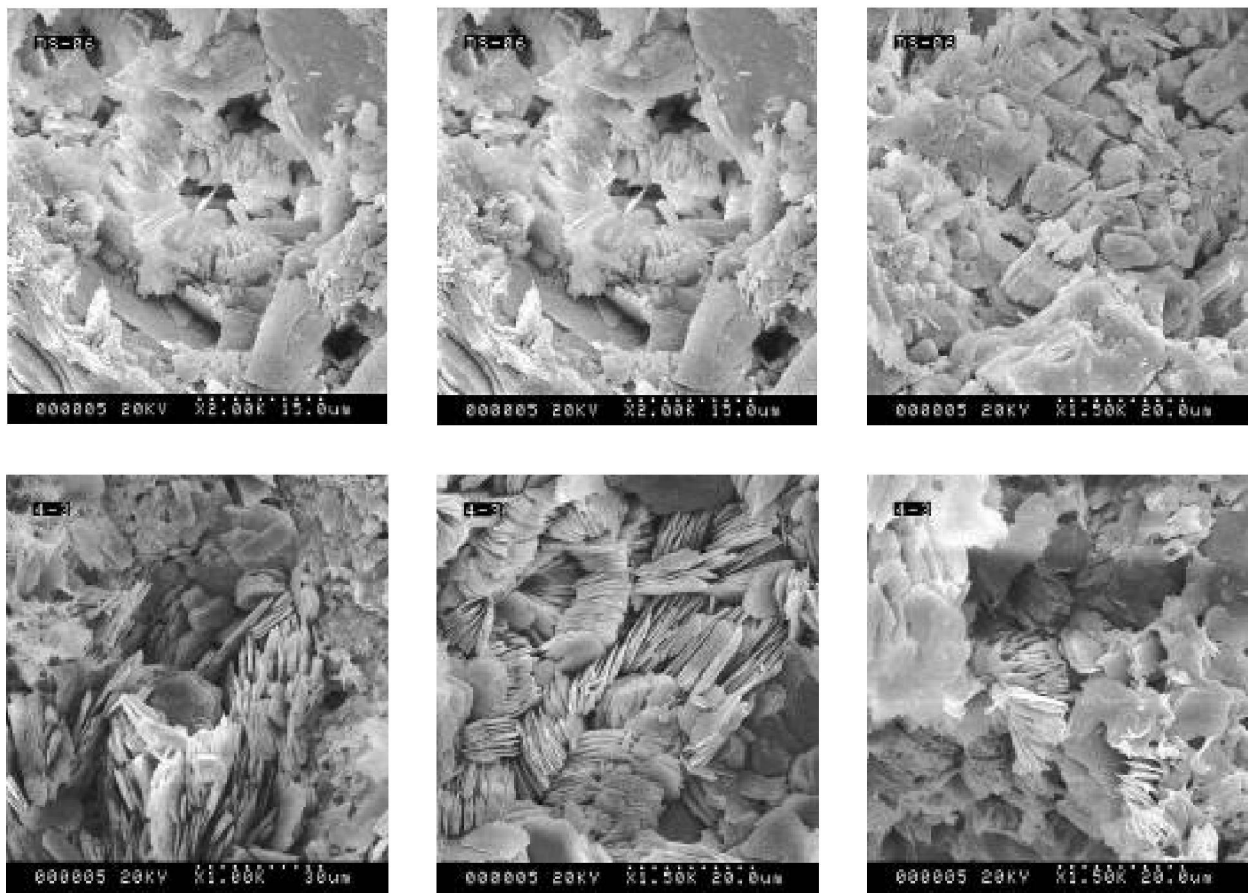


图 3 东胜砂岩中的高岭石胶结物扫描电镜照片

Fig. 3 SEM Pictures of Kaolinite Cement in Sandstone in Dongsheng

究表明, 高岭石与碎屑长石的体积分数呈负相关, 即前者随后者的减少而增加。镜下观察发现, 长石大量溶解产生次生孔隙, 表明高岭石是由长石溶解造成。且高岭石的含量并不随地层埋深变化而变化, 表明大气淡水不足以造成长石的大量溶解而产生大量高岭石。因此, 高岭石主要是长石有机酸溶蚀的产物, 有机酸来源于成岩过程中邻近煤系可能性最大, 砂岩被还原、漂白与煤层有密切关系。

4.2.3 微量元素特征对比

为了探讨侏罗系煤与砂岩型铀矿的关系, 对煤岩的微量元素进行了测试。采用 ELAN6100DRC 等离子体质谱仪进行样品测定, 该仪器质谱采用 PE 公司的新一代 ICP - MS。朱西养等^[22] 研究发现, 砂岩中与 U 伴生的元素主要有 Mo、Se、Zr、Hf、Ba、Ge、Ga 等, 其丰度远高于克拉克标准值; 而 Sc、Cr、Co、Ni、Zn、Sr、Ta、V 等元素明显低于克拉克标准值。将东胜地区延安组煤岩的微量元素与含矿砂岩相比, 发现其中的 Zr、Hf、Ba、Ge、Ga 等元素明显高于克拉克标准值; 而 Sc、Ni、Zn、Ta 等元素丰

度值明显低于标准值(表 3), 其微量元素的分布特征与砂岩十分相似。

表 3 侏罗系煤中部分微量元素

Tab. 3 Some Trace Element in Jurassic Coal								
样号	Zr	Hf	Ba	Ge	Sc	Ni	Zn	Ta
克拉克值	1.5	1.6	0.08	1.3	110	94	78	140
111-16	177	4.98	513	24.8	29.6	38.5	84.1	2.55
111-8	149	4.52	534	32.0	20.3	64.4	86.4	2.05
167-63	370	11.2	471	26.86	43.2	78.2	20.6	3.23
167-79	268	10.2	1450	72.8	20.5	12.0	18.1	2.28
39-0	208	5.34	1389	11.4	12.9	39.8	5.92	1.54
SSGY-1	217	4.94	354	31.61	102	26.3	5.97	1.13

西北大学大陆动力学教育部重点实验室测试, $w_B/10^{-6}$, 误差 ± 0.01

4.2.4 稀土元素特征

表 4 表明, 东胜地区煤系中的稀土元素总量和主要分量都大于上地壳, 其中 LREE 远高于 HREE, LREE/HREE 比值大, 说明该区煤层中 LREE 富集, HREE 亏损, LREE、HREE 分异程度高。研究表明^[22], 与铀矿化或铀异常相关砂岩的稀

土元素总量远大于上地壳,砂岩中 LREE 富集, HREE 亏损, LREE 与 HREE 高度分异。从稀土元素的质量分数特征来看,煤与含矿砂岩具有高度的一致性。

表 4 东胜煤岩主要稀土元素含量及特征参数
Tab. 4 Contents of the Mian REE and Characteristic Parameters of Coal Measures in Dongsheng

样号	La	Ce	Sm	Nd	Eu	Tb
克拉克值	29	59.4	4.83	26.9	1.05	0.69
111-16	110	250	16.4	91.7	3.38	2.18
111-8	86.3	180	12.8	73.3	2.62	1.58
167-63	23.8	73.4	8.09	27.6	1.97	2.43
167-79	5014	11592	912	4982	205	115
39-0	73.1	110	5.58	36.8	1.32	0.73
SSGY-1	113	239	30.3	118	8.24	6.72
样号	Yb	Lu	∑LREE	∑HREE	LREE/HREE	
克拉克值	2.02	0.34	120.13	4.1	25.22	
111-16	5.48	0.81	468	11.84	39.53	
111-8	5.31	0.81	352.78	10.32	34.17	
167-63	21.4	3.58	133	29.37	4.53	
167-79	270	35.5	22499.88	625.32	3	
39-0	2.28	0.34	225	4.66	48.28	
SSGY-1	30.9	4.80	500.37	50.68	9.87	

注:西北大学大陆动力学教育部重点实验室 ICP-MS 法分析测试, $w_B/10^{-6}$, 误差 ± 0.01

通过研究,诸多因素的重合难以用巧合来解释,煤系必然与砂岩型铀矿存在着紧密关系。由早期吸附作用和络合作用预富集的铀,在盆地热演化中,可以被成煤作用中产生的有机酸还原而沉淀,从而导致褐煤中铀含量较高;同时,成岩过程中产生的大量有机酸还可进入到相邻砂岩中,对孔隙流体中的 U^{6+} 起还原作用,并使砂岩的孔渗物性得到改善。

4.3 保矿作用

在煤层之上较远处的砂岩常呈黄色、杂色,直罗组煤线之下,砂岩呈浅灰绿色(见图 2),反映煤层不仅可将砂岩漂白,而且可以起到隔水层的作用,使上部的含游离氧的大气水难以向下渗透。因此,煤层还可对已形成的砂岩型铀矿起保护作用。其次,在表生成岩阶段,随着地层的抬升剥蚀,煤层的负荷压力减小,原来以吸附状态存在于煤层中的煤层气缓慢释放出来,对表生成岩阶段铀的再分配和

成矿起到一定作用。此外,在含煤建造含水层中,煤层的存在可以消耗地层水中的游离氧,对氧化还原过渡带的保持起积极作用。煤的酸性与渗滤水的弱碱性相抵制,有利于铀以吸附状态存在。煤层中的有机质除了吸附、络合和还原作用外,对业已形成的铀矿还具有重要的“保矿”作用。

5 结语

东胜地区延安组煤岩热演化达褐煤-长焰煤煤阶,煤化过程各阶段都与铀成矿有着密切的关系。从泥炭至褐煤的煤化过程中,铀的含量不断增加;铀含量与煤岩显微组分中的镜质组含量成正比。通过资料调研、野外勘查和多种手段的室内分析,从空间分布、成岩矿物、微量元素和稀土元素质量分数特征等方面,研究了煤与铀矿的关系。研究发现,含矿砂岩的被漂白和还原与煤化作用产生的有机酸密切相关,微量元素和稀土元素质量分数特征具高度一致性。在同生成岩阶段和早成岩阶段,煤对铀的作用主要包括吸附作用、络合作用及还原作用,表生成岩阶段,煤对铀的再分配和“保矿”起到积极作用。

野外工作得到西 北大学张复新教授和山东科技大学冯乔教授的指导,谨致谢忱!

[参 考 文 献]

[1] 肖新建,李子颖,陈安平.东胜地区砂岩型铀矿床后生蚀变矿物分带特征初步研究[J].铀矿地质,2004,20(2):136-141.
[2] 赵希刚,吴汉宇,韩玲,等.改造末期多种能源矿藏同益共存的多源信息找矿识别标志[J].地球科学与环境学报,2005,27(2):33-39.
[3] Yongtai Yang, Wei Li, Long Ma. Tectonic and Stratigraphic Controls of Hydrocarbon Systems in the Ordos Basin: A Multicycle Cratonic Basin in Central China[J]. A APG Bulletin, 2005, 89(2): 255-269.
[4] 杨俊杰,裴锡古.中国天然气地质学[M].北京:石油工业出版社,1996.
[5] 郭英海,刘焕杰,权彪,等.鄂尔多斯地区晚古生代沉积体系及古地理演化[J].沉积学报,1998,16(3):44-51.
[6] 王双明,张玉平.鄂尔多斯侏罗纪盆地形成演化和聚煤规律[J].地学前缘,1999,6(增刊):147-155.
[7] 焦养泉,李思田,杨士恭.三角洲湖泊沉积体系及聚煤研究——以鄂尔多斯神木地区延安组 II 单元为例[J].地球科学——中国地质大学学报,1992,17(2):113-120.
[8] 周春光,杨起,潘治贵,等.从煤岩成分看延安期古气候变迁[J].中国煤田地质,1996,8(4):12-14.

[9] 刘宝珺, 张锦泉. 沉积成岩作用[M]. 北京: 科学出版社, 1992.

[10] Kochenov A V, Zinev' yev V V, Lovaleva S A. Some Features of the Accumulation of Uranium in Peat Bogs [J], Geochemistry, 1965, 2: 65 - 70.

[11] 任战利, 赵重远, 张 军, 等. 鄂尔多斯盆地古地温研究[J]. 沉积学报, 1994, 12(1): 56 - 65.

[12] Kathy Tixier, Roger Beckie. Uranium Depositional Controls at the Prairie Flat Surficial Uranium Deposit, Summerland, British Columbia [J]. Environmental Geology, 2001, 40: 1242 - 1251.

[13] Shikazono N, Utada M. Stable Isotope Geochemistry and Diagenetic Mineralization Associated with the Tono Sandstone type Uranium Deposit in Japan [J]. Mineralium Deposita, 1997, 32: 596 - 606.

[14] 杨殿忠, 于 漫. 铀有机地球化学研究进展[J]. 世界地质, 2002, 21(1): 18 - 23.

[15] 向伟东, 陈肇博, 陈祖伊, 等. 试论有机质与后生砂岩型铀矿成矿作用——以吐哈盆地十红滩地区为例[J]. 铀矿地质, 2000, 16(2): 65 - 73.

[16] 徐国庆编译. 在成岩和热液条件下由沉积有机质引起的铀沉淀动力学[J]. 铀矿地质, 2001, 18(1): 28 - 34.

[17] 张祖还, 赵懿英, 章邦栋, 等. 铀地球化学[M]. 北京: 原子能出版社, 1984.

[18] 金奎励. 当代煤及有机岩研究新技术[M]. 北京: 地质出版社, 1997.

[19] 鄢明才, 迟清华, 顾铁新, 等. 中国东部上地壳元素组成[J]. 中国科学: D 辑, 1997, 27(3): 193 - 199.

[20] Charles S. The Roles of Organic Matter in the Formation of Uranium Deposits in Sedimentary rocks [J]. Ore Geology Review, 1996, 11: 54 - 55.

[21] Meunier. Experimental Evidence of Uraninite Formation from Diagenesis of Uranium rich Organic Matter [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1990, 54: 809 - 817.

[22] 朱西养, 汪云亮, 王志畅, 等. 东胜砂岩型铀矿微量元素地球化学特征[J]. 地质地球化学, 2003, 31(2): 39 - 45.

《中国学术期刊文摘》中文版和英文版

2007 年征订启事

《中国学术期刊文摘》分中文版(简称 CSAC)和英文版(简称 CSAE)两种, 各自收录我国高水平学术期刊中基础科学、医学、农业科学和工程技术领域约 40 个学科的论文文摘, 全面展现我国的科研成果与进展。

作为综合性科技类检索刊物,《中国学术期刊文摘》致力于将我国科学技术各领域的原创性学术成果全面、快速地向科技工作者交流、传播, 其中 CASE 是我国第一份综合英文版科学类学术检索刊物。

《中国学术期刊文摘》由中国科学技术协会主管, 科技导报社主办并负责编辑、出版、发行, 对科研单位、高等院校、图书馆以及广大科技工作者检索和了解我国的科技研究成果、学术研究方向具有重要的参考价值。

《中国学术期刊文摘(中文版)》刊号为 CN 11-3501/N, ISSN 1005-8923, 2007 年为半月刊, 大 16 开, 国内定价 38.00 元/册, 全年定价 912 元, 邮发代号: 82 707。

《中国学术期刊文摘(英文版)》刊号为 CN 11-5411/N, ISSN 1673-4084, 2007 年改为月刊, 大 16 开, 国内定价 15.00 元/册, 全年定价 180 元, 邮发代号: 80 487。

欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆订阅。

通讯地址: 北京市海淀区学院南路 86 号科技导报社(邮编 100081)

联系电话: 010-62103122

征订信箱: yaoyuqin@cast.org.cn

户 名: 科技导报社

开户银行: 工商银行百万庄支行

联 系 人: 姚玉琴

单位主页: <http://www.csac.org.cn>

帐 号: 0200001409089017271