

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

鄂尔多斯盆地南缘店头铀矿床矿化特征及其 与东胜铀矿床对比

陈宏斌, 徐高中, 王金平, 李卫红, 赵希刚

核工业203研究所, 陕西咸阳, 712000

内容提要:店头铀矿床是产于中侏罗统直罗组下岩性段顶部褪色蚀变带与灰色砂岩过渡部位的砂岩型铀矿, 矿化严格受褪色蚀变带与灰色岩石界线的控制, 矿体形态呈似层状, 矿石中铀矿物主要为铀石, 并出现一套黄铁矿-黄铜矿-方铅矿-闪锌矿低温热液矿物组合, 同时发现少量硒铅矿。铀成矿年龄为 $98 \sim 110 \text{ Ma}$ ^①, $41.8 \pm 9.3 \text{ Ma}$, $51.0 \pm 5.8 \text{ Ma}$ 。通过对店头铀矿床与东胜铀矿床主要特征研究, 店头铀矿床的铀成矿地质背景和铀矿化特征与东胜铀矿床较为相似, 两个矿床可以对比。但也存在较为明显的差异, 店头铀矿床岩石成岩程度较高, 东胜铀矿床则较低; 店头铀矿床油气显示以中质油为主, 而东胜铀矿床以天然气为主。店头铀矿床同东胜铀矿床主要形成于盆地由成盆拗陷向隆升剥蚀转变的过程中(K_1 末— N_2), 铀成矿作用由早期渗入层间氧化或层间—潜水氧化作用为主导, 转变为晚期深部渗出的含油、气低温热液与地表渗入含氧含水相互相互作用改造、叠加富集铀成矿作用。第三纪晚期之后不再有新的铀矿物生成, 主要存在逸散油、气的还原保矿作用。

关键词: 铀石; 低温热液矿物组合; 绿色蚀变; 褪色蚀变; 店头铀矿床; 东胜铀矿床

鄂尔多斯盆地作为我国重要的多种能源基地, 蕴藏着丰富的石油、煤炭、天然气、铀矿资源, 尤其是近年来在盆地东北缘发现了东胜大型砂岩型铀矿床, 引起了广大学者的关注, 并从不同方面对该矿床进行了详细深入的研究。该矿床不同于典型层间氧化带砂岩型铀矿床, 铀矿化主要分布在绿色岩石与灰色砂岩过渡部位的灰色砂岩中, 对该铀矿床成因的认识分歧较大, 一般认为是古层间氧化带型铀矿床经后期油气二次还原的结果(张金带等, 2005; 向伟东, 2004^②), 也有学者认为是上古生界天然气和浅成低温热液参与了铀成矿作用(杜乐天等, 2003^③; 欧光习, 2004^④; 肖新建等, 2004; 张复新, 2005)。不论哪种观点铀成矿均与油气有关, 不同之处是油气在成矿过程中所起的作用和贡献。这种类型的铀矿床在盆地中是一种特殊类型还是普遍现象, 在盆地中其他地区是否存在与之类似铀矿存在是地质工作者面临的重要课题。

店头铀矿床位于鄂尔多斯盆地南缘黄陵地区, 是在上世纪50~60年代发现, 80年代投入少量钻探工作控制的小型砂岩型铀矿床。矿床产出的地质背景同东胜铀矿床相似, 铀矿化主要分布在中侏罗统

直罗组下岩性段灰色含炭砂岩与上岩性段灰白色、灰绿色、紫红色杂色岩石接触部位, 受该岩石界面的控制。研究发现店头铀矿床与东胜铀矿床在铀成矿地质背景及铀矿化特征方面存在许多相似之处, 但也有一定差异, 矿床可以对比, 这为研究东胜铀矿床成因以及在盆地其他地区找到类似东胜铀矿床的砂岩型铀矿床提供了参考依据。

1 店头铀矿床地质背景

店头铀矿床位于渭北隆起中的店彬褶皱带与陕北斜坡带的过渡部位(图1)。区内构造活动较弱, 地层产状总体向西缓倾, 倾角小于 5° , 发育一系列北东方向展布的舒缓开阔的小型褶曲, 断裂构造不明显。区内主要为一套中生代陆相地层, 自下往上依次为上三叠统延长组(T_3y)细碎屑岩(局部见油气显示), 中侏罗统延安组(J_2y)含煤碎屑岩以及直罗组(J_2z)河流相碎屑岩。下白垩统志丹群(K_1z)直接不整合覆盖在直罗组之上, 为一套干旱气候条件下形成的紫红色、桔红色块状粗中粒砂岩。中侏罗统直罗组(J_2z)是矿床的赋矿层位, 根据岩性特点分为上下两个岩性段, 上岩性段为一套河湖相紫红

注: 本文为国家重点基础研究发展计划“973”项目(编号 2003CB2146007)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: 陈宏斌, 男, 1966年生。高级工程师。长期从事砂岩铀矿地质科研工作。通讯地址: 712000, 陕西省咸阳市渭阳西路48号; 电话: 0910-3579033。

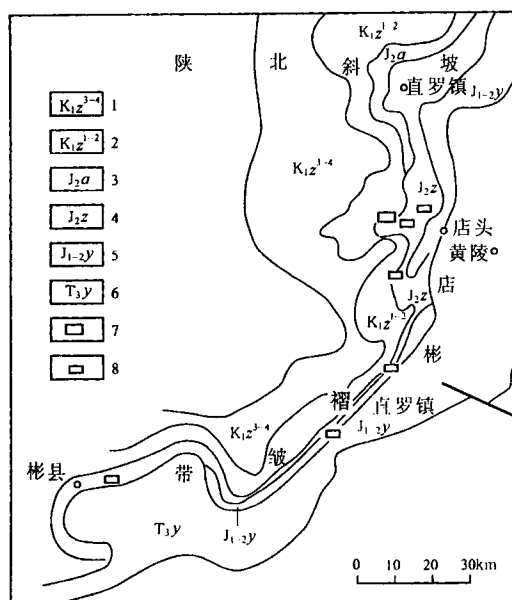


图1 黄陵县店头地区区域地质图

Fig. 1 Regional geology map of Diantou area, Huangling county

1—下白垩统:志丹群华池、环河层; 2—下白垩统:志丹群宜君、洛河层; 3—中侏罗统:安定组; 4—中侏罗统:直罗组; 5—中侏罗统:延安组; 6—上三叠统:延长组; 7—铀矿床; 8—铀矿点

1—Lower Cretaceous; Zhidan Group Huachi, Huanhe layer; 2—Lower Cretaceous; Zhidan Group Yijun, Luohe layer; 3—Middle Jurassic; Anning Formation; 4—Middle Jurassic; Zhiluo Formation; 5—Middle Jurassic; Yanan Formation; 6—Upper Triassic; Yanchang Formation; 7—uranium deposit; 8—uranium occurrence

色、棕红色泥岩、粉砂岩互层;下岩性段为一套网状河沉积的灰白色、灰色及杂色中粗粒、中细粒长石砂岩、长石石英砂岩局部含粉砂岩、泥岩,其中下岩性段上部以含紫红色斑块的灰绿色、灰白色中细粒砂岩为主,下部为灰白色、灰色含炭中粗粒、中粒长石砂岩、长石石英砂岩,底部局部地段为含砾岩层。铀矿化分布在上部杂色层与下部灰色岩层过渡部位的灰色砂岩中^①。

2 店头铀矿床铀矿化特征

2.1 矿体的空间特征

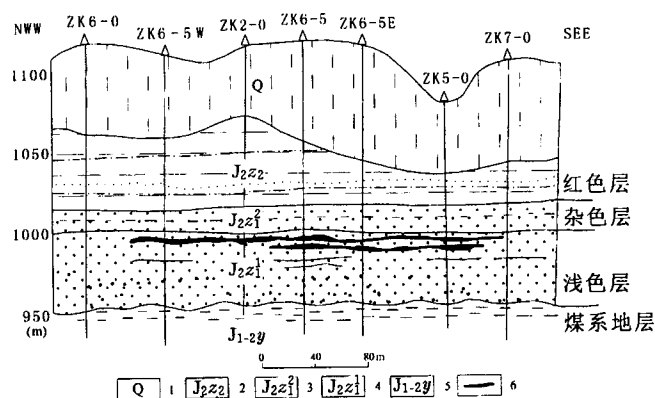
店头铀矿床铀矿化主要分布在直罗组下岩性段上部杂色退色蚀变带与下部灰色砂岩过渡部位的灰色含炭砂岩中,垂向上受该界面的控制,平面上分布在隆起与洼陷的过渡部位。矿体呈层状、似层状和透镜状,产状与地层产状基本一致,北北东向展布向北西缓倾。矿化层一般为1~2层,个别有5~6层,剖面上呈平行叠置状排列(图2)^②。

2.2 矿石岩性及主要金属硫化物特征

矿石主要是中细粒长石砂岩、长石石英砂岩。砂岩碎屑物中钾长石和有机质含量较高(煤线、炭化植物屑),其中有机质含量高低直接影响到铀矿化的好坏,另外岩石中发育水云母化、绢云母化、高岭石化蚀变以及石英和钾长石碎屑颗粒的次生加大现象。矿石中金属矿物主要以硫化物形式存在,少量为硒化物。主要金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿以及硒铅矿(表1)。其矿物组合与低温矿床中的金属硫化物组合相同(张复新,2005),硒铅矿是在该矿床首次发现,同东胜铀矿床中硒铅矿相似,呈自形晶状,被认为是在缺S的强还原环境下的产物(杜乐天等,2003^③)。上述金属硫化物、硒化物矿物颗粒细小,一般小于0.2 mm,结晶较差。按照矿物的包裹、穿插关系,黄铁矿、方铅矿及闪锌矿形成较早,黄铜矿形成略晚,它们均可沿裂隙穿插交代碎屑物,其中黄铁矿与铀矿物关系较为密切。

2.3 直罗组中的油气显示

在矿层附近的直罗组下岩性段上部杂色砂岩中和下部灰色砂岩层中均发现油砂、油斑和沥青脉,对油斑的电子探针分析和光学显微镜观察发现,油斑中沥青主要充填在碎屑颗粒裂隙中或颗粒间。暗褐色油浸砂和灰色含炭砂岩的氯仿沥青“A”及族组份分析结果显示,区内砂岩中的氯仿抽提物含量不高,为0.0013%~0.0028%,最高达0.4198%。族组份三角图中样品投影点主要分布在生油母岩区附近及

图2 店头铀矿床勘探钻孔剖面图(据孙圭等,1998^④)Fig. 2 Profile section of exploration in Diantuo uranium deposit (after Sun et al., 1998^④)

1—第四系黄土; 2—直罗组上段; 3—直罗组下段第二层;

4—直罗组下段第一层; 5—延安组; 6—铀矿体

1—Quaternary loess; 2—upper member of Zhiluo Formation; 3—top of lower member of Zhiluo Formation; 4—down of lower member of Zhiluo Formation; 5—Yanan Formation; 6—uranium body

表 1 店头铀矿床主要金属矿物电子探针分析成分(%)

Table 1 The compositions of main ore mineral in Diantou uranium deposit by electron probe analysis(%)

样品号	矿物名称	Cu	Pb	Se	Zn	Co	Ni	Ti	Fe	S	As	总量
E05k6-3	闪锌矿	0.042	—	—	56.75	—	—	—	—	31.68	—	88.47
E05k6-3	黄铁矿	—	0.141	—	0.045	0.083	—	—	43.57	53.44	1.29	98.57
E05k1-2-1	黄铜矿	31.29	—	—	0.108	0.066	—	0.002	35.17	33.96	—	100.59
E05k1-2-1 ^①	黄铜矿	31.92	0.107	—	0.079	0.023	0.042	—	33.76	33.52	—	99.45
E05k1-1-1	黄铜矿	—	0.051	—	0.047	—	0.099	0.025	48.89	49.25	0.60	98.96
E05k1-1-1*	硒铅矿	67.35	32.68	—	—	—	—	—	—	—	—	100

注:※为能谱测试结果;为含量小于检测限;分析单位:长安大学成矿作用及其动力学实验室。

其中,在22件样品中17件样品分布在油型母岩区或附近,仅1件样品分布在煤型母岩区附近,另有4个样品的芳烃含量较高,既不同于油型母岩也不同于煤型母岩类型(图3),完全不同于东胜铀矿床和吐哈盆地十红滩铀矿床特征^⑨,可能为三叠系油气

与少量侏罗系煤型烃混合残留产物。含矿主岩中灰色含炭砂岩的紫外荧光强度明显高于上覆正常围岩,且强度峰值主要分布在360~380 nm 波长之间(表2),同中质油的荧光峰值特征相近,反映出该地区矿石中可能出现过以中质油为主的油气聚集现象。

2.4 铀的存在形式及成矿时间

矿石中铀主要以铀矿物和吸附形式存在。铀矿物主要为铀石(早期认为是沥青铀矿),经电子探针测试对矿石中铀矿物随机测试结果,铀矿物中U平均含量55.96%,Si平均含量,5.79%。U/Si原子比,平均1.15,接近1:1铀石理论原子比值略有富U,另外含微量的Al、Ti、Fe、Zn、Pb等元素,同东胜铀矿床中铀石相比较^⑩,店头铀矿床中铀石明显富铀、贫硅(表3)。铀石矿物颗粒细小(0.003~0.02 mm),多以胶状、粒状、短柱状、纤维状、纺锤状分布在有机(沥青)脉边缘,镜质体裂隙边缘,黄铁矿中及周围常与SiO₂、有机(沥青)、黄铁矿等共生或伴生。吸附状铀主要被矿石中有机物及黏土矿物所吸附。

矿石铀矿物同位素年龄为98~110 Ma^⑪,由于分析时间较早且不知所采用的方法及精度,上述数据仅供参考。本次对店头铀矿床同一矿化层的矿化砂岩样品,采用全岩U-Pb同位素等时线方法测试的结果为41.8±9.3 Ma和51.0±5.8 Ma(表4、图4、图5),由于矿化砂岩样品中的铀含量远高于直罗组正常岩石含量3.35×10⁻⁶,因此该测试结果反映矿床的铀成矿年龄。

3 东胜铀矿床地质背景

东胜铀矿床位于鄂尔多斯盆地东北部,伊盟隆起与伊陕斜坡的过渡部位,区内构造活动较弱,地层产状较为平缓,为向南缓倾、倾角1°~3°的单斜层,断裂构造和褶皱构造不发育。盆地盖层主要由一套古生界海相、海陆交互相灰岩、含煤碎屑岩和中新

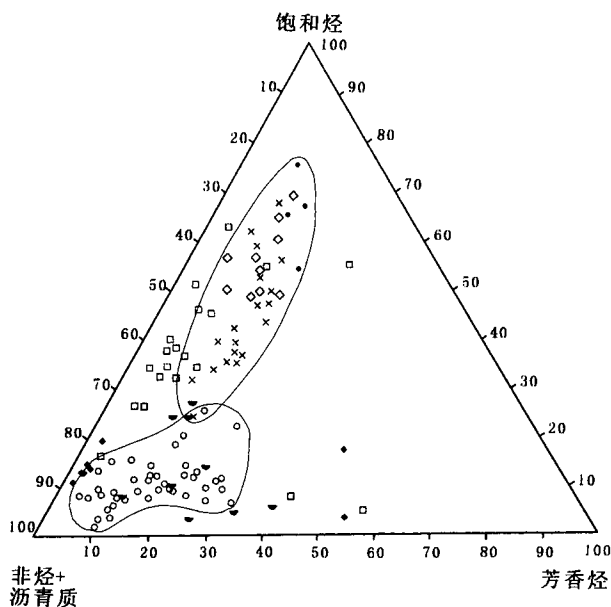


图3 黄陵店头铀矿床直罗组暗褐色砂岩氧仿沥青“A”族组份三角图(东胜、十红滩数据引自吴伯林,2005^⑨)

Fig. 3 The triangular diagram of family composition of Zhiluo Formation dark-brown sandstone chloroform extract "A" from Diantou uranium deposit (date of Dongsheng and Shihongtan from Wu Bolin, 2005^⑨)

×—东濮地区E₃生油岩;◇—鄂尔多斯T₃y生油岩;●—四川J₁生油岩;○—煤系煤或暗色泥岩;□—店头直罗组暗褐色砂岩;■—东胜直罗组砂岩;◆—十红滩中下侏罗统砂岩

×—(E₃) oil source rock in Dongpu area; ◇—(T₃y) oil source rock in Ordos basin; ●—(J₁) oil source rock in Sichuan; ○—coal series or dark mudstone; □—dark—brown sandstone of Zhiluo Formation in Diantou area; ■—sandstone of Zhiluo Formation in Dongsheng area; ◆—sandstone of middle—lower Jurassic in Shihongtan

表 2 店头地区直罗组岩石紫外荧光强度

Table 2 Intensive quantity of UVF for Zhilou Formation rock in Diantou area

样号	岩性	320nm	360nm	380nm	405nm	备注
E _{05k1-1-1}	灰色含炭砂岩	1329	1111	895.2	602.4	矿石
E _{05k6-1-1}	灰色含炭砂岩	119.6	535.6	650.2	493.2	
E _{05k6-1-2}	黑褐色粉砂岩	408.8	2783	3137	2373	矿石
E _{05k6-1-3}	暗褐色油浸砂	63.4	153.5	183.7	154.2	
E _{05k6-3}	灰色含炭砂岩	152.5	596.8	797.7	635.2	矿石
E _{05k5-2}	棕红色细砂岩	175.5	311	263.9	135.4	正常围岩

分析单位:核工业203研究所分析测试中心。

表 3 店头铀矿床铀石电子探针成分(%)

Table 3 The compositions of coffinite in Diantou uranium deposit by electronprobe analysis (%)

样号	岩性	U	Si	Al	Ti	Fe	Cu	Zn	Pb	U/Si(原子比)	矿物
E _{05k1-1-1}	灰色含炭砂岩	56.43	5.63	0.28	0.19	0.078	0.078	0.068	0	1.17	铀石
E _{05k1-3-1}	灰色砂岩	56.29	4.66	0.40	0.21	0.034	0	0.11	0.078	1.42	铀石
E _{05k6-3}	灰色含炭砂岩	57.24	6.54	0.49	0.08	0.18	0	0.014	0.44	1.02	铀石
E _{05k1-2-1}	灰色砂岩	53.89	6.34	0.36	0.076	0	0.044	0.17	1.24	1.00	铀石
平均值		55.96	5.79	0.38	0.14	0.073	0.031	0.091	0.44	1.15	

分析单位:长安大学成矿作用及其动力学实验室。

表 4 店头铀矿床矿石 U-Pb 同位素分析结果

Table 4 U-Pb isotopic compositions of uranium ores from Diantou uranium deposit

样品编号	岩性	U(mg/g)	Pb(mg/g)	铅同位素组成(%)			
				²⁰⁴ Pb	²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb	²⁰⁸ Pb
E _{05k1-1-1}	灰色含炭砂岩	25117	1563	1.510	36.281	18.650	43.918
E _{05k1-2-1}	灰色砂岩	16940	4998	1.282	28.789	20.410	49.519
E _{05k1-3-1}	灰色砂岩	657	114	1.179	34.921	18.962	44.938
E _{05k1-4-1}	灰色含炭砂岩	5067	80	0.789	54.454	14.547	30.209
E _{05k6-3}	灰色含炭砂岩	986	77.2	0.321	78.833	8.600	12.246

分析单位:核工业地质分析测试研究中心。

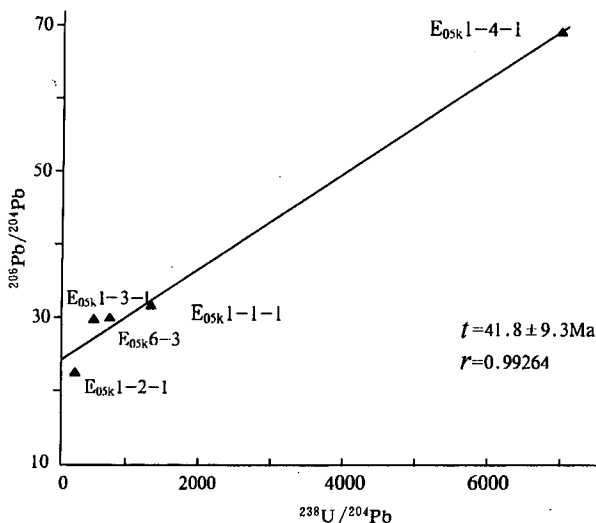


图 4 $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 等时线图
Fig. 4 $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ isotopic diagrams
of whole rock samples

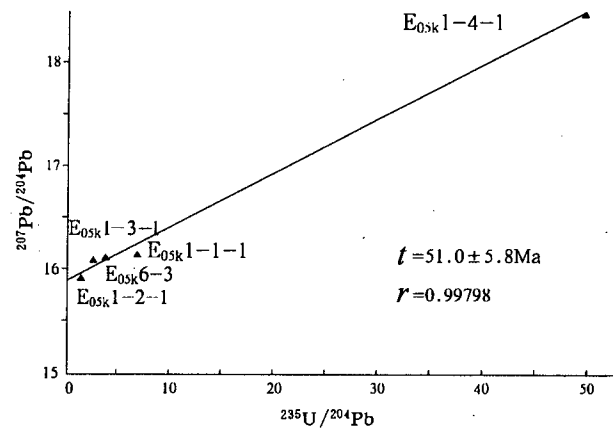


图 5 $^{235}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ — $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 等时线图
Fig. 5 $^{235}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ — $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ isotopic diagrams
of whole rock samples

生界陆相碎屑岩组成,其中矿区钻探揭露到的中新生界地层自下往上依次为中侏罗统延安组(J_{2y})灰色含煤地层,中侏罗统直罗组(J_{2z})河流相碎屑岩沉积,之上不整合覆盖下白垩统伊金霍洛组(k_1y)和东胜组(k_1d)红色陆相碎屑岩,在地势低洼地段局部覆盖薄层第四系黄土。含矿地层中侏罗统直罗组(J_{2z})按照岩性特征又划分为二个岩性段,上岩性段为富含泥质成分的紫红色曲流河相细碎屑岩沉积;下岩性段为低弯度曲流河和辫状河沉积,其中上部为绿色、灰绿色含紫红色残斑的低弯度曲流河相砂岩—泥岩互层;下部主要为富含炭化植物碎屑的辫状河

相灰色砂体。

4 东胜铀矿床铀矿化特征

4.1 矿床空间特征

东胜铀矿铀矿化主要分布在直罗组下岩性段绿色、灰绿色与灰色砂岩过渡部位的灰色砂岩中,严格受两种颜色岩石界线控制。平面上呈近东西向断续带状分布,剖面上主要呈板状、不规则卷状,少数呈透镜状(图6),矿化层主要有1~2层,以下部矿层发育最好。

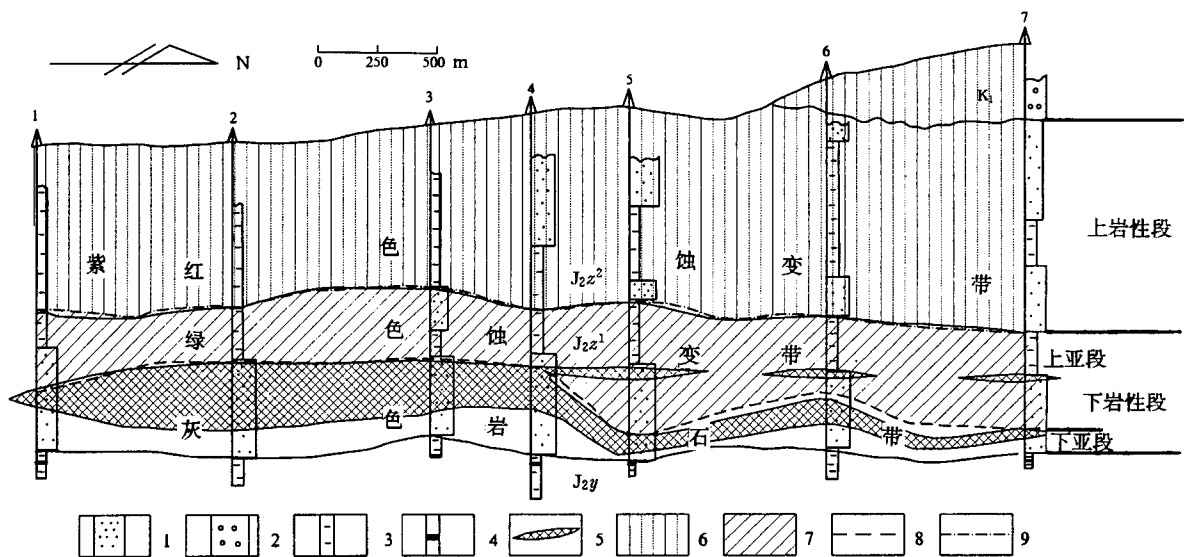


图6 东胜地区勘查钻孔剖面图

Fig. 6 Profile section of exploration in the Dongsheng uranium deposit

1—砂岩; 2—砾岩; 3—泥岩、粉砂岩; 4—煤; 5—铀矿化; 6—紫红色蚀变岩; 7—绿色蚀变岩; 8—绿色与灰色岩界线; 9—紫红色与绿色岩界线

1—Sandstone; 2—conglomerate; 3—mudstone and siltstone; 4—coal; 5—uranium mineralization; 6—purple-red altered rock; 7—green altered rock; 8—boundary between green and gray rocks; 9—boundary between purple-red and green rocks

4.2 矿床后生蚀变及油气显示

东胜铀矿床的主要后生围岩蚀变有绿色蚀变(绿泥石化、黑云母的绿色云母化)、水云母化、绢云母化、高岭石化、碳酸岩化等,其中绿色蚀变是绿色蚀变带的主要岩石蚀变类型,该带直接控制着铀矿体的产出。在绿色蚀变岩石中常残留紫红色、暗红色氧化斑点,同时,镜下可见到未完全还原的褐铁矿颗粒,反映出绿色岩石为早期氧化岩石经后期还原而来,另外绿色岩石中较低的有机碳含量和较高的总铁、轻稀土含量和Th/U比值,也反映出早期氧化岩石的特点。矿石中出现一套低温热液金属矿物组合,主要有黄铁矿、锐钛矿、方铅矿、黄铜矿和少量的硒

铅矿等^②,其中黄铁矿同铀矿化关系密切,常与铀石共生或伴生。与矿化有关的次生石英裂隙和方解石脉中气液包裹体均一法测温结果显示铀成矿温度为60~150℃^③。

直罗组中不同颜色岩石紫外荧光强度分析结果显示(表5),绿色岩石较高;灰绿色次之;紫红色和蓝绿色较低,反映出绿色岩石含有较高的烃类物质。另外,岩石在320~360 nm激发波长时出现荧光强度峰值,与轻质油、天然气的荧光特征相似,同时在绿色砂岩和铀矿石中发现大量油、气包裹体^④,均说明直罗组岩石,尤其是绿色岩石发生过以天然气为主的油气聚集。

4.3 铀存在形式及成矿时间

矿石中铀主要以吸附状铀和铀矿物形式存在,其中吸附状铀为岩石中的有机物和黏土矿物吸附,铀矿物主要以胶状、微粒状赋存在黄铁矿边缘、氧化钛铁矿或碎屑物周围,局部呈自形短柱状晶体。经电子探针分析测试,铀矿物中 UO_2 平均含量 64.77%, SiO_2 平均含量 17.35%。 UO_2/SiO_2 值平均 3.83,接近 4.5 铀石理论值并略有偏硅(表 6),铀矿物为铀石,另外见少量钛铀矿,常与锐钛矿伴生^{②③}。矿石的 U-Pb 同位素等时线年龄和铀矿物 U-Pb 同位素年龄结果主要有 5 组,即 149 Ma、120 Ma、70~85 Ma、20 Ma 和

8 Ma^④,反映出东胜铀矿床具有多阶段成矿的特点。

表 5 东胜铀矿床直罗组岩石紫外荧光强度统计表

Table 5 Statistics intensive quantity of UVF for Zhilou Formation rock in Dongsheng uranium deposit

岩性	样品数	200nm	254nm	280nm	320nm	360nm	405nm
紫红色岩石	2	0.42	0.11	0.07	175.15	88.35	18.10
蓝绿色岩石	2	0.30	0.09	0.16	140.95	88.70	18.60
绿色岩石	4	1.04	0.28	0.16	809.13	690.13	128.55
灰绿色岩石	1	0.56	0.15	0.10	320.90	148.30	26.00
灰色岩石	2	0.40	0.13	0.076	267.40	169.75	35.05

分析单位:核工业 203 研究所分析测试中心。

表 6 东胜矿床铀石电子探针成分统计表(%)

Table 6 Statistics compositions of coffinite in Dongsheng uranium deposit by electronprobe analysis(%)

样品号	UO_2	SiO_2	UO_2/SiO_2	CaO	P_2O_5	TiO_2	FeO	Al_2O_3	V_2O_5	矿物
ZK159-47-03	60.55(11)	16.92(11)	3.71(11)	2.58(11)	1.89(11)	0.58(11)	0.99(11)	1.55(11)	0.73(8)	铀石
A3-12-03	67.62(12)	17.24(12)	4.02(12)	2.22(12)	0.93(12)	0.17(12)	0.98(12)	1.64(12)	0.07(12)	铀石
A3-0-07	67.24(5)	18.60(5)	3.63(5)	0.94(5)	0.64(5)	0.64(5)	0.63(5)	1.56(5)	0.64(5)	铀石

注:平均值(测试点数),据杜乐天^①。

4.4 铀成矿模式

综合地质背景和盆地构造演化分析,东胜铀矿床经历了沉积成岩预富集—层间氧化铀成矿—含油、气热液与渗入含氧含铀地下水相互作用改造、叠加富集和油气还原改造保矿 4 个阶段。中侏罗世温湿条件下沉积的一套富含有机质岩石的吸附作用,造成中侏罗统直罗组中岩层铀背景值增高,形成铀的预富集;早白垩世末—第三纪早期伊盟隆起区发生整体隆升掀斜,含氧富铀地下水沿直罗组下岩性段砂体渗入,形成层间氧化带砂岩型铀矿,同时深部上古生界烃源层生成的少量天然气沿直罗组砂体向外渗漏,对铀矿化的形成起到一定的促进作用;始新世中期到第三纪晚期,北部河套断陷开始形成,同时盆地的抬升速度加快,区内地下水的渗入作用逐渐减弱,深部上古生界天然气向上逸散作用增强,在逸散过程中富含天然气的热液与渗入的含氧含铀水相互作用,对原铀矿床改造、叠加富集形成现代铀矿床;第三纪晚期至今(<8 Ma),盆地西抬东拗,发生构造反转,地下水渗入作用几乎停止,不再有新的铀矿物生成,深部天然气继续向外逸散并对氧化岩石还原形成绿色蚀变带,使铀矿体完全处于还原环境中,起到保矿、护矿的作用。

5 店头铀矿床与东胜铀矿床主要特征对比

店头铀矿床与东胜铀矿床特征见表 7。从表中可以看出店头铀矿床同东胜铀矿床在地质背景和矿化特征方面较为相似,矿床可以对比。

店头铀矿床与东胜铀矿床同处于隆起与陕北斜坡的过渡部,具有相同的铀矿产出层位和地层结构,都位于中侏罗统直罗组下岩性段绿色或褪色蚀变岩石与灰色、灰白色砂岩的过渡部位的灰色砂岩中,均为一套河流相砂体。直罗组中同样存在来自深部烃源层的油或气显示。铀矿化特征店头铀矿床与东胜铀矿床相似,矿体形态同样以板状为主,受绿色或褪色蚀变带的控制,铀矿物以铀石为主,矿石中发育基本相同的后生蚀变和金属矿物组合类型反映出低温热液的特征。铀成矿时间较为接近,主要从早白垩世晚期到第三纪晚期,店头铀矿床成矿时间略晚。因此,店头铀矿床与东胜铀矿床可能属于同一种成因类型的铀矿床,具有相似的控矿因素和成矿机理。

但两矿床也存有较为明显的差异,店头地区直罗组岩石成岩程度较高,达到中等成岩强度,石英次生加大现象普遍,这可能与该地区地层曾经埋深

表 7 鄂尔多斯盆地东胜铀矿床、店头铀矿床主要特征对比一览表

Table 7 Main characteristics of Dongsheng uranium deposit in comparison with Diantou uranium deposit

属性		东胜铀矿床	店头铀矿床
构造	构造位置 地层产状	位于伊盟隆起南侧与伊陕斜坡过渡部位 地层倾向西南, 倾角 $1^{\circ}\sim 3^{\circ}$	位于店彬褶皱带西翼与陕北斜坡过渡部位 地层倾向西北, 倾角 $1^{\circ}\sim 5^{\circ}$
地层	含矿层位 盖层	中侏罗统直罗组下岩性段下亚段 直罗组上岩性段红色粉砂岩、泥岩及下白垩统	中侏罗统直罗组下岩性段下亚段 直罗组上岩性段红色粉砂岩、泥岩及下白垩统
岩性	含矿层岩性 成岩程度	灰色长石岩屑砂岩 弱	灰色含炭长石砂岩, 长石石英砂岩 中等, 石英次生加大
岩相	含矿层岩相	低弯度辫状河	网状河
油气	油气显示 主要烃源层 主要生烃类型 生、排烃高峰时间 烃运移方向	绿色蚀变, 绿泥石化, 油气包裹体 上古生界烃源层 煤成天然气 早白垩世晚期 由西南向乌兰格隆起北东方向运移	油斑, 油浸砂, 褪色蚀变, 沥青脉 中生界三叠系烃源层 中质油、凝析气 早白垩世晚期 由西北向渭北隆起南东方向运移
矿层中 有机质	成熟度 显微组份	有机质镜质体反射率 $R^{\circ}\approx 0.44\%$ 镜质体 92.5%、丝质体 2.9%、沥青质体 4.7%	有机质镜质体反射率 $R^{\circ}\approx 0.86\%、1.11\%$ 镜质体 72%、丝质体 16.5%、沥青质体 11.5%
后生 蚀变	古氧化蚀变 还原蚀变	绿色蚀变带中残留紫红色、暗红色杂斑 绿色蚀变、绿泥石化	褪色蚀变带中残留紫红色、黄色杂斑 褪色蚀变
铀矿 化特征	矿体形态 铀矿物 金属矿物 蚀变类型 控矿因素 成矿温度($^{\circ}\text{C}$) 成矿时间(Ma)	板状, 复杂卷状 主要铀石, 少量钛铀矿 黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、锐钛矿、硒铅矿 水云母化、绢云母化、高岭石化、硅化、绿泥石化、碳酸岩化 绿色蚀变带与灰色岩石界线控矿 60~150 149、120、70~85、20、8	板状 主要铀石 黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、硒铅矿 水云母化、绢云母化、高岭石化(硅化) 褪色蚀变带与灰色岩石界线控矿 ? 98~110、41.8、51.0

注: 表中资料引自①~⑥。

较大有关。店头铀矿床矿化主岩中丝质体和沥青质明显较高, 而东胜矿床镜质体含量较高; 有机质成熟度店头铀矿床高、东胜地区低, 因此, 店头铀矿床矿化主岩可能发生过局部热事件及有少量油气生成。油气显示也存在明显差异, 店头地区以油显示为主; 而东胜地区则以天然气显示为主, 由于天然气迁移能力和化学活泼性较液态油强, 造成东胜地区形成分布稳定的大面积绿色蚀变带铀矿化较好, 而店头地区则形成分布不稳定的杂斑状褪色蚀变带和透镜状油聚集带铀矿化变化大。东胜铀矿床矿石中出现少量复杂卷状矿体; 矿化岩石中绿泥石化、碳酸岩化发育; 矿石中含少量钛铀矿、锐钛矿, 而店头铀矿床矿石中则出现闪锌矿; 绿泥石化、碳酸岩化蚀变较弱, 这可能与两矿床古氧化作用形式及成矿流体成分不同有关。东胜更接近层间氧化作用, 而店头则主要为潜水一层间氧化, 同时东胜铀矿床成矿流体偏碱性富钛, 而店头成矿流体则偏酸性富锌。

6 讨论

铀成矿年龄结果显示, 东胜铀矿床和店头铀矿床铀成矿主要发生早白垩世晚期至第三纪晚期之间。该时期鄂尔多斯盆地处于由拗陷沉积逐渐向隆

升剥蚀转变的过程中(杨文理等, 1980), 整个盆地缺失晚白垩世沉积?地下水渗入氧化作用发育, 在盆地东北部和南部侏罗系中形成层间氧化带或层间一潜水氧化带, 并在氧化—还原过渡带中形成铀矿化, 这由两矿床绿色蚀变带或褪色蚀变带中残留的紫红色、褐黄色氧化斑块得到佐证。同时晚白垩世末期达到生、排烃高峰的上古生界和中生界烃源岩产生的少量油、气沿侏罗系直罗组砂岩向外逸散, 增强了灰色岩石的还原能力, 促进层间氧化带砂岩型铀矿的形成。

始新世中期到第三纪晚期, 鄂尔多斯盆地周边相继形成断陷盆地, 并形成一套湖相为主的沉积建造(杨文理等, 1980; 张岳桥, 2005; 郑国璋等, 2005)。鄂尔多斯本部同周边山区的地下水动力联系减弱, 与渗入作用有关的层间氧化作用和潜水一层间氧化作用减弱, 深部含油气、低温流体的渗出作用增强, 该流体在向外渗出过程中与渗入的富氧含铀地下水相互作用, 加速水中铀沉淀过程。在这一过程中铀可能来自渗入地下水, 这由富含油、气的绿色岩石或油浸砂、油斑等岩石铀含量并非很高得到证实。在该成矿过程中形成一套黄铁矿—黄铜矿—方铅矿—闪锌矿(店头铀矿床)低温热液矿物组合以及硒铅矿(一种

非 H_2S 可能是碳氢化合物造成的强还原环境的产物)^①,同时生成4价铀矿物如:铀石、少量钛铀矿,反映出一种低温强还原的成矿环境,并对早期形成的铀矿体进行改造、叠加富集改造。

第三纪晚期(8 Ma),由于印度板块向欧亚板块碰撞的远程效应,鄂尔多斯盆地西部六盘山地区强烈抬升,盆地东隆西坳的构造格局发生反转,转变为西隆东坳,沉积中心向东迁移(刘池阳等,2005)。同时,周边盆地断陷活动的进一步加强,完全切断了盆地与周边造山带的水动力联系,渗出作用完全取代渗入作用成为盆地流体的主要迁移方式。古氧化带岩石由于深部含油气和低温流体沿断裂或透水层向外逸散迁移,而被油、气还原为绿色或杂斑状褪色岩石,并对早期铀矿床起到还原保矿作用,这从东胜和店头铀矿床的同位素年龄中目前还没有小于8 Ma的结果得到证实。

东胜和店头铀矿床中低温热液和油、气活动的证据比较明显,但其同渗入地下水相互作用改造、叠加富集的铀成矿机理还不清楚。另外,早期层间或层间—潜水氧化成铀矿作用与后期油、气和低温热液大量渗出,冷热水相互作用改造、叠加富集的成矿时限多为综合分析结果,缺少大量油气逸散的直接测年结果,这些问题有待进一步深入研究。

致谢:长安大学孙志华副教授、西北地质研究所刘亚非高级工程师、中国煤炭研究院西安分院钟文玲教授级高级工程师和李小彦教授级高级工程师在样品分析测试方面给予了帮助,核工业203所胡俊侦教授级高级工程师在成稿过程中提出了宝贵的修改意见,在此一并感谢。

注 释

- ① 杜乐天,欧光习. 2003. 油气在北方砂岩型铀矿形成和找矿中的作用. 核工业北京地质研究院(内部资料).
- ② 向伟东. 2004. 鄂尔多斯盆地东胜铀矿床成矿特征初步分析. 多种能源“973”项目2004年年会交流报告(内部资料).
- ③ 欧光习. 2004. 鄂尔多斯盆地东北部东胜砂岩型铀矿中低温成矿流体特征及成矿机理研究. 多种能源“973”项目2004年年会交流报告(内部资料).
- ④ 孙圭,赵致和主编. 1998. 中国西北部铀矿地质(下卷). 核工业西北地质局. 290~305(内部资料).
- ⑤ 吴柏林. 2005. 中国西北地区中生代盆地砂岩型铀矿地质与成矿作用. 西北大学博士学位论文.
- ⑥ 方锡珩. 2002. 鄂尔多斯盆地北部东胜砂岩型铀矿物质成份研究. 生产中科研2002年度总结(内部资料).

参 考 文 献

- 刘池阳,赵红格,等. 2005. 鄂尔多斯盆地西缘(部)中生带构造属性. 地质学报,79(6):737~747.
- 肖新建,李子颖,陈安平. 2004. 东胜地区砂岩型铀矿床后生蚀变矿物分带特征初步研究. 铀矿地质,20(3):136~139.
- 杨理华,李钦祖. 1980. 华北地区地壳应力场. 北京:地震出版社,41~62.
- 张岳桥. 2005. 晚古生代—新生代构造体制转换与鄂尔多斯盆地的改造. 见:刘池阳主编. 盆地多种能源矿产共存富集成藏(矿)研究进展. 北京:科学出版社,238~246.
- 张金带,徐高中,陈安平,等. 2005. 我国可地浸砂岩型铀成矿模式初步探讨. 铀矿地质,21(3):139~145.
- 张复新. 2005. 砂岩型铀矿与浅成低温热液矿床. 见:刘池阳主编. 盆地多种能源矿产共存富集成藏(矿)研究进展. 北京:科学出版社,164~171.
- 郑国璋,武力超,李建星,等. 2005. 鄂尔多斯盆地新生代抬升运动研究进展. 见:刘池阳主编. 盆地多种能源矿产共存富集成藏(矿)研究进展. 北京:科学出版社,247~256.
- Liu Chiyang, Zhao Hongge, et al. 2005. Mesozoic structure attribute in the west (margin) of Ordos basin. Acta Geologica sinica, 79(6):737~747(in Chinese with English abstract).
- Xiao Xinjian, Li Ziyang, Chen Anping. 2004. Preliminary study on features of mineralogical zoning alteration at sandstone-type uranium deposit, Dongsheng area, Ordos basin. Uranium Geology, 20(3): 136~139(in Chinese with English abstract).
- Yang Lihua, Li Qinzhu. 1980. Filed of crustal stress in Huabei. Beijing: Earthquake Publish House, 41~62(in Chinese).
- Zhang Yuejiao. 2005. Changes in late Mesozoic—Cenozoic tectonic regimes and reformation of the Ordos basin. In: Liu Chiyang, ed. Research progress on multi-energy mineral deposit coexisting in the same basin. Beijing: Science Publish House, 238~246 (in Chinese).
- Zhang Jingdai, Xu Gaozhong, Chen Anping, et al. 2005. Preliminary discussion on uranium metallogenic models of China's in-situ leachable sandstone-type uranium deposits. Uranium Geology, 21(3): 139~145(in Chinese with English abstract).
- Zhang Fuxin. 2005. Sandstone-type uranium deposit and epithermal deposit. In: Liu Chiyang ed. Research progress on multi-energy mineral deposit coexisting in the same basin. Beijing: Science Publish House, 164~171(in Chinese).
- Zheng Guozhang, Wu Lichao, Li Jianxing, et al. 2005. Progression of research on Cenozoic uplift movement in Oredos basin. In: Liu Chiyang ed. Research progress on multi-energy mineral deposit coexisting in the same basin. Beijing: Science Publish House, 247~256(in Chinese).

图 版 说 明

1. 分布在碎屑颗粒间的硒铅矿 COMP, 店头。
2. 纺锤状铀石矿物集合体 COMP, 店头。
3. 方铅矿及黄铜矿矿物颗粒, (—), 店头。
4. 黄铜矿包裹黄铁矿, (—), 店头。
5. 闪锌矿穿插交代碎屑颗粒, (—), 店头。
6. 油斑中沥青充填碎屑物裂隙及碎屑颗粒间, 斜照光+(—), 店头。

7. 分布在有机脉(沥青脉)边缘的微粒状铀石 COMP, 店头。

Mineralization Characteristics of Diantou Uranium Deposit in the Southern Margin of Ordos and in Comparison with Dongsheng Uranium Deposit

CHEN Hongbin, XU Gaozhong, WANG Jinping, LI Weihong, ZHAO Xigang

Research Institute No. 203, CNNC, Xianyang, Shaanxi, 712000

Abstract

Diantou uranium deposit is a sandstone-type uranium deposit between fade alteration zoning that top of lower member of Zhiluo formation is in middle Jurassic and gray-color sandstone, mineralization is strictly controlled by boundary between fade alteration zoning and gray-color rock, mineral body is stratoid structure (occurrence in similar beds), coffinite is main uranium mineral with chalcopyrite—pyrite—galena—sphalerite epithermal mineral assemblage, at same time, a few of clausthalite are found. Uranium mineralogical epoch is $98 \sim 110$ Ma, 41.8 ± 9.3 Ma, 51.0 ± 5.8 Ma. Through study on main characteristics of Diantou uranium deposit in comparison with Dongsheng uranium deposit, geologic background and mineralization characteristics of Diantou uranium deposit is similar to Dongsheng uranium deposit, two deposit can be compared, but there are some obvious differences, diagenetic grade of Diantou uranium deposit is quite high, but Dongsheng uranium deposit is little bit lower; main evidences of oil and gas of Diantou uranium deposit is middling oil, and Dongsheng uranium deposit's main is gas. Diantou uranium deposit and Dongsheng uranium deposit are formed in process of depression basin to upwarping denudation ($K_{late}-N_2$). Uranium metallogenesis is transform and supermineral deposit of action of seeping into uranium and oxygen superwater with seeping out deep hydrocarbon hypothermal fluid each other later come from action of interlayer-groundwater oxido-reduction early. none uranium minerals are produced after later Tertiary, there is protective ore action by escape oil and gas.

Key words: coffinite; epithermal mineral assemblage; green-color alteration; fade alteration; Diantou uranium deposit; Dongsheng uranium deposit

