

文章编号: 0253-9985(2006)02-0225-08

# 东胜砂岩型铀矿形成中天然气地质作用的地球化学特征

吴柏林<sup>1</sup>, 王建强<sup>1</sup>, 刘池阳<sup>1</sup>, 王飞宇<sup>2</sup>

(1. 西北大学 大陆动力学国家重点实验室 陕西 西安 710069

## gas during mineralization of Dongsheng sandstone-type uranium deposit

Wu Bolin<sup>1</sup>, Wang Jianqiang<sup>1</sup>, Liu Chiyang<sup>1</sup>, Wang Feiyu<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Continental Dynamics Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069;

2. China University of Petroleum, Beijing, 102249)

**Abstract** Observation and testing of gas inclusion, fluid temperature, mineralogy and geochemical behaviors of minerals from epigenetic alteration, tracing of inclusion's hydrogen and oxygen stable isotopes and correlation of oil/gas charging and uranium mineralization phases indicate that the bleaching phenomena and green epigenetic alteration, as well as uranium mineralization in Dongsheng deposit are mainly related with geologic process of natural gas. The natural gas is mainly of humic gas from the Upper Paleozoic. The main reducing agents for uranium mineralization are organic hydrocarbon gas, such as  $\text{CH}_4$ , and some  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  and  $\text{H}_2$ . Therefore, the genesis of Dongsheng Uranium deposit is mainly related with geologic process of natural gas.

**Key words** sandstone-type uranium deposit; natural gas; geochemistry; epigenetic alteration; reducing agent

目前,对砂岩型铀矿形成中有机-无机相互作用的研究主要集中在铀矿化与固体有机质和细菌微生物的关系方面。赵瑞全等<sup>[1-5]</sup>讨论过固体有机质与铀矿化的关系,认为主要是有机酸参与了铀的运移和沉淀;闵茂中等<sup>[6]</sup>研究了 511 矿床沥

青铀矿和黄铁矿富集于植物碳屑细胞腔壁及细胞腔内的现象,认为铀矿化与细菌作用有关。此外也有少量关于液体有机质(石油)在砂岩铀矿成矿中作用的研究报道<sup>[7-12]</sup>,主要涉及两种矿产产出的时空关系及一些理论的探索,提出了一些两者

收稿日期: 2005-12-20

第一作者简介: 吴柏林(1967-),男,高级工程师(博士),地球化学、盆地分析及铀矿地质

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2003CB214607); 长江学者和创新团队发展计划资助项目(RT0559)

产出空间关系的模式。

国内有关天然气与砂岩型铀矿的研究报道较少。前人做过一些关于天然气组分 ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  和  $\text{H}_2\text{S}$  等) 对铀还原沉淀的实验研究和分析<sup>[13-14]</sup>, 证明天然气组分中的  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  等能有效地还原  $\text{UO}_2^{2+}$ , 而黄铁矿、闪锌矿等硫化物的还原作用相当有限。并认为砂岩地层中广泛

白蚀变带白色砂体的出现与上覆直罗组相区分。该漂白蚀变带是在还原性环境下经后生改造作用形成的产物。

直罗组是矿区主要的找矿目的层, 可分为直罗组下段 ( $\text{J}_2\text{z}^1$ ) 和直罗组上段 ( $\text{J}_2\text{z}^2$ )。下段可进一步分为两个亚段 (自下而上为  $\text{J}_2\text{z}^{1-1}$  和  $\text{J}_2\text{z}^{1-2}$ ), 其中  $\text{J}_2\text{z}^{1-1}$  是主要的赋矿层位。铀矿化一个明显

及铀矿化) 与深部来源天然气地质作用有关, 提出了东胜铀矿为主要与天然气地质作用有关矿床类型的新认识。

## 1 地质概况

鄂尔多斯盆地是在古生代泛华北古克拉通盆地基础上发展起来的中生代残延克拉通内盆地<sup>[24]</sup>。印支运动结束了古生代海相沉积阶段, 发育了一套完整的陆相碎屑岩体系。中生界地层

据研究, 在矿区南侧发育一条大型深切基底的近东西向断裂构造, 这为深部天然气向上运移在直罗组形成后生还原控矿绿色蚀变带及铀矿化构成了重要的逸散通道。

### 2.1.2 后生蚀变

天然气地质作用在矿区留下的最明显的宏观现象或痕迹, 就是大规模绿色和漂白蚀变带的存在。东胜矿床蚀变类型主要有绿色蚀变、漂白蚀变、铀矿化蚀变、氧化残留蚀变 (残留在绿色蚀

安组、直罗组、安定组和白垩系下统东胜组等。在矿区钻孔揭露中, 延安组往往以含“漂白色”即漂

从含矿目标层直罗组 ( $\text{J}_2\text{z}$ ) 地层砂岩中碳酸

① 吴柏林. 中国西北地区中生代盆地砂岩型铀矿地质与成矿作用. 2005

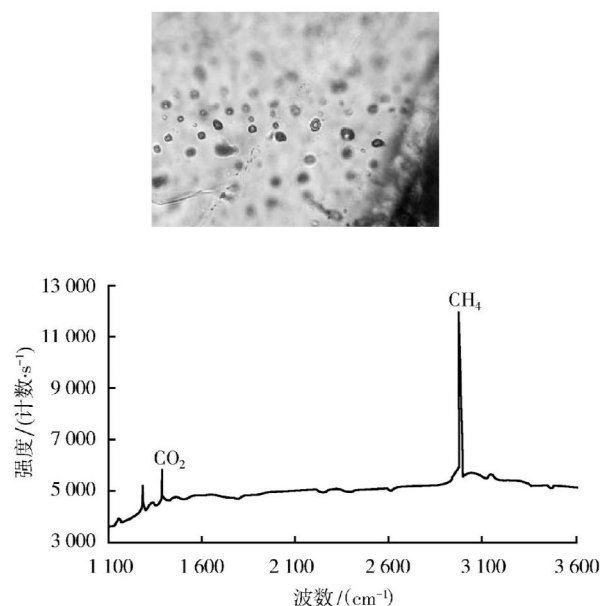


图 1 以甲烷为主的天然气包裹体及其成分

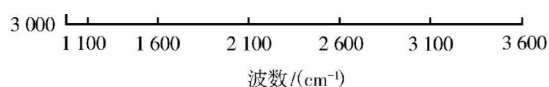
Fig. 1 Natural gas inclusion dominated by CH<sub>4</sub> and its composition

图 2 以二氧化碳为主的天然气包裹体及其成分

Fig. 2 Natural gas inclusion dominated by CO<sub>2</sub> and its composition

盐胶结物及方解石脉的包裹体观察, 方解石中含有较多的天然气包裹体, 主要成分为 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> (图 1, 2)。经分析, 它们是天然气向上逸散后在地层中充注或残留的产物。

#### 2.1.4 粘土矿物

研究区砂岩矿石粘土矿物主要为碱性还原

态蒙脱石, 蒙脱石含量高是东胜矿床砂岩的显著特点。铀矿化蚀变中铀矿物组合主要是铀石、少量钛铀矿和沥青铀矿。由铀石和钛铀矿的成因矿物学知, 铀成矿的还原性环境强, 并有升温事件的存在。绿色蚀变带砂岩经纯粘土的 X 衍射分析, 证明主要是碱性还原态的铁绿泥石<sup>①</sup>。这表明矿化和绿色蚀变形成的流体性质以碱性还原为主, 也就是说, 蒙脱石-绿泥石粘土矿物组合表明较强还原性环境的存在。而天然气含有大量的还原性组分, 是造成环境大部分为还原性的主要原因。

#### 2.1.5 蚀变作用温度

国内吐哈、伊犁盆地等砂岩型铀矿成矿作用温度以典型的常温为主<sup>①</sup>, 与之不同的是东胜矿床在成矿作用的局部阶段(绿色蚀变和矿化阶段)温度明显偏高, 显示其有增温事件的发生。

偏高的原因。

铀矿物组成反映矿化蚀变形成的温度也较高。在矿石中, 铀矿物主要以铀石为主, 见有少量的钛铀矿和沥青铀矿(吐哈、伊犁地区该类矿床铀矿物以沥青铀矿为主)<sup>①</sup>。由于铀石和钛铀矿的形成反映的是比较高的温度, 故东胜矿床铀矿化蚀变也有过局部增温事件的发生。

#### 2.1.6 包裹体氢、氧同位素示踪效应

大气降水表生作用水溶液与天然气或油气这种有机-无机流体的混合作用, 必然产生如碳酸盐

① 吴柏林, 中国西北地区中生代盆地砂岩型铀矿地质与成矿作用, 2005

② 邱领军, 姜英昆, 李荣西, 等. 鄂尔多斯盆地喜山期构造运动与油气成藏研究, 2004

胶结物及包裹体古流体等,并在其中留下相互作用或相互混染的痕迹。包裹体水中的氢、氧混染天然气中的  $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{H}_2$  及  $\text{CH}_4$  等有机烃类气体中的相应组分后,将在相应同位素值的变化上出现变异或特征性的显示,这就是本文利用后生蚀变作用稳定同位素地球化学示踪来研究矿区有机-无机地质作用的基本依据。

根据矿区含矿层直罗组 7 个砂岩样品碳酸盐胶结物包裹体 14 项氢氧同位素的分析<sup>①</sup>,认为碳酸盐包裹体 H 和 O 同位素组成具有如下变化特征:

1) 东胜矿床碳酸盐包裹体氢同位素  $\delta\text{D}$  为  $-31.6\text{‰} \sim -0.7\text{‰}$ , 氧同位素  $\delta^{18}\text{O}$  为  $12.31\text{‰} \sim 30.99\text{‰}$ 。依据地壳中水的不同来源具有的同位素组成规律<sup>[25]</sup>。认为成矿溶液来源于大气降水,而不是来源于变质水成因。

2) 在流体后生蚀变演化过程中,其  $\delta\text{D}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  同位素组成出现一定规律性变化(图 3):即

遇发生同位素交换,促使地下水的 D 值增高或 D 值发生“上漂”现象<sup>[26]</sup>。因此,矿化带岩石碳酸盐流体包裹体中  $\delta\text{D}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  的峰值特征也正是东胜矿床天然气参与成矿作用的重要证据。

## 2.2 性质

### 2.2.1 容矿地层中现代天然气地质作用特点

#### 1) “岩屑罐顶气”成分和碳同位素特征

取样方法是在钻井现场采集“岩屑罐顶气”样品,即当钻至含矿层直罗组时提心立即取样,用饱和盐水浸泡、密封,然后送至实验室进行气体成分和碳同位素测试。对比吐哈及伊犁盆地南缘矿床测试结果(表 1),从中发现,含矿层现代天然气成分以甲烷为主;吐哈和伊犁矿区仍见

含有氢气,但东胜矿床氢气含量极低,说明在成矿过程中消耗较大,东胜矿床形成具有更强的还原性环境。经气体碳同位素进行分析认为,含矿目标地层现代天然气充填类型主要以煤成气为主<sup>[27]</sup>。

#### 2) 容矿地层中酸解烃成分特点

根据东胜矿床含矿层直罗组不同岩石酸解烃含量处理结果(图 4),东胜矿床各岩石吸附烃中以甲烷为主,与“岩屑罐顶气”测试结果相符,且碳酸盐化蚀变、矿化蚀变、绿色蚀变岩石甲烷及总烃含量均比原生灰色岩石高,也说明了油气或天然气与这些碱性或还原性蚀变作用有关。

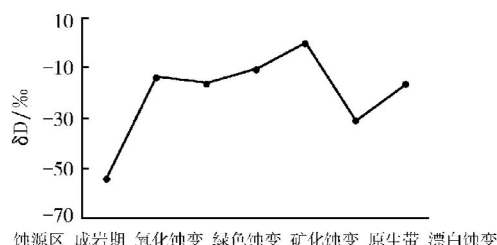


Figure 4: Content of rock acidolysis hydrocarbon in various stages of fluid alteration in Dongsheng deposit

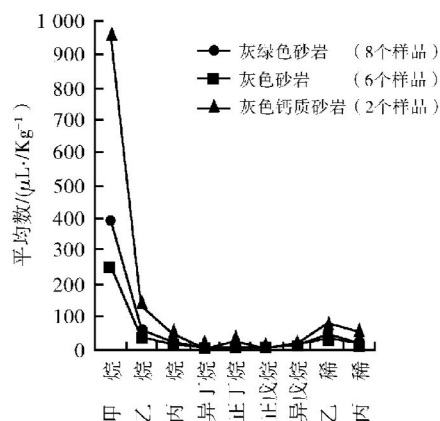


图 4 东胜矿床岩石酸解烃成分含量图示

Fig. 4 Content of rock acidolysis hydrocarbon in Dengsheng deposit

表 1 东胜、吐哈、伊犁矿区“岩屑罐顶气”成分和碳同位素分析结果

**Table 1** Analysis data of components and carbon isotopes of gas on top of cutting tank in Dengsheng Turpan-Hami and Yiliqing areas

| 校品号   | 甲烷       | 乙烷     | 丙烷      | 氮气<br>$/( \mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} )$ | 氢气                  | 二氧化碳                | 碳同位素 $\delta^{13}\text{C} ( \text{‰} \text{PDB} )$ |       |       | 地区          |
|-------|----------|--------|---------|-----------------------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------------------------|-------|-------|-------------|
|       |          |        |         |                                               |                     |                     | 甲烷                                                 | 乙烷    | 丙烷    |             |
| MCQ-1 | 42.542   | 4.613  | 0.280   | $100.40 \times 10^4$                          | $1.887 \times 10^4$ | $2.442 \times 10^4$ | -31.0                                              | -12.8 |       | 吐哈盆地<br>西南缘 |
| MCQ-2 | 6.263    | 0.507  | 0.651   | $4.06 \times 10^4$                            | 231.724             | 8161.103            | -28.6                                              |       |       |             |
| MCQ-3 | 13.422   | 4.721  | 1.938   | $19.01 \times 10^4$                           | 9476.129            | 3684.194            | -27.0                                              | -26.6 |       |             |
| MCQ-4 | 3.276    |        |         | $17.35 \times 10^4$                           | 111.176             | 4292.206            | -40.4                                              |       |       |             |
| MCQ-5 | 7.500    | 0.951  | 0.774   | $8.49 \times 10^4$                            | 426.000             | 1887.000            | -34.6                                              | -23.7 |       |             |
| DQ2   | 2212.200 | 102.3  | 31.160  | $11.68 \times 10^4$                           |                     | 4611.470            | -57.2                                              | -28.7 | -26.8 | 东胜矿床        |
| DQ3   | 14.350   | 6.010  | 7.860   | $6.96 \times 10^4$                            |                     | 6648.400            | -32.3                                              | -30.5 | -23.7 |             |
| DQ4   | 400.520  | 35.75  | 8.360   | $9.11 \times 10^4$                            |                     | 1696.110            | -33.7                                              | -26.3 | -26.0 |             |
| YM1   | 10.630   | 3.110  | 1.840   | $9.20 \times 10^4$                            | 381.700             | 4538.770            | -34.2                                              | -27.8 | -31.6 | 伊犁盆地<br>南缘  |
| YM2   | 7372.050 | 613.31 | 141.950 | $2.16 \times 10^5$                            | 1302.340            | 8382.700            | -38.9                                              | -24.7 | -24.6 |             |
| YM3   | 6132.980 | 494.9  | 79.900  | $1.70 \times 10^5$                            |                     | 6055.160            | -40.9                                              | -26.1 | -23.7 |             |

注: 气体成分由地矿部华西石油地质中心实验室提供; 碳同位素由中国科学院兰州分院气体地球化学实验室提供; 空白表示未检出

表 2 鄂尔多斯盆地东胜矿床蚀变流体包裹体激光拉曼光谱成分测试结果

**Table 2** Results of laser Raman spectroscopy showing the components of the altered fluid inclusions in Dengsheng mineral deposit in Ordos basin

[illegible]

### 2.2.2 包裹体成分及生物标志化合物特征

### 1) 包裹体气相成分特征

从矿区各蚀变带中的流体包裹体激光拉曼探针成分(表 2)看出, 在包裹体气相成分中含有较多的  $\text{CH}_4$  等有机烃类气体, 并见有部分  $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{CO}$  和  $\text{H}_2$  等还原性气体。这些都是对铀沉淀具重要意义的还原剂。这些气体也都是天然气的重要组成部分。在氧化蚀变带中很少见上述还原性气体成分, 而在绿色带、矿化带和原生还原带中则较多。说明矿区绿色蚀变和矿化蚀变进行中确有较多上述还原性气体成分的存在。

## 2) 生物标志化合物特征

对东胜矿区含矿层直罗组选取了各类岩石

共 9 个样品进行氯仿沥青“A”的抽提, 然后进行饱和烃气相色谱分析(表 3)。从中看出<sup>[28]</sup>:

① $\text{Pr}/n\text{C}_{17}$ :  $\text{Pr}$ 为姥鲛烷。通常  $n\text{C}_{17}$ 在藻类中含量丰富,而高等植物富含  $n\text{C}_{31}$ ;研究区该数值范围为  $0.65 \sim 0.98$ ,总体较低,说明生物物源主要来源于高等植物。②碳优势指数 ( $\text{CPI}$ )和奇偶优势指数 ( $\text{OEP}$ )分别为  $1.26 \sim 3.36$ 和  $1.08 \sim 1.81$ ,反映油气不具有油气碳优势,为非煤成烃成因,应具较高成熟的特点。③ $\text{Pr}/\text{Ph}$ (姥鲛烷/植烷)为  $1.02 \sim 1.92$ 。一般认为当值小于 1 时,是在还原环境下沉积的。说明植物在古沉积时是一种氧化环境,即是一种陆源的浅水湖沼相环境。同样  $\text{Ph}/\text{C}_{18}$ 为高值时,说明是在强还原环境沉积时的。

表 3 东胜矿床油气包裹体饱和烃生物标志化合物  
Table 3 Some biomarkers and saturated hydrocarbons in  
oil/gas inclusions in Dongsheng mineral deposit

| 样 号                                     | 样 品 号  |        |         |        |         |        |        |         |        |
|-----------------------------------------|--------|--------|---------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|
|                                         | WZ- 15 | WZ- 54 | WZ- 157 | WZ- 65 | WZ- 149 | WZ- 64 | SF- 43 | WZ- 156 | WZ- 46 |
| 岩性                                      | 矿石     | 矿石     | 漂白砂岩    | 灰色砂岩   | 绿色砂岩    | 灰色砂岩   | 黄色砂岩   | 绿色砂岩    | 红色砂岩   |
| 铀含量 $I/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$ | 29.6   | 1 030  | 1.50    | 5.70   | 1.10    | 6.60   | 2.90   | 1.30    | 4.30   |
| <i>CPI</i>                              | 3.36   | 1.43   | 1.73    | 1.48   | 2.02    | 1.26   | 1.33   | 1.27    | 1.29   |
| <i>OEP</i>                              | 1.81   | 1.15   | 1.12    | 1.08   | 1.13    | 1.08   | 1.12   | 1.12    | 1.12   |
| Pr/Ph                                   | 1.68   | 1.02   | 1.42    | 1.37   | 1.80    | 18.50  | 1.42   | 1.92    | 1.08   |
| Pr/ <i>n</i> C <sub>17</sub>            | 0.74   | 0.65   | 0.77    | 0.73   | 0.98    | 0.71   | 0.91   | 0.77    | 0.75   |
| Ph/ <i>n</i> C <sub>18</sub>            | 0.60   | 0.80   | 0.63    | 0.54   | 0.77    | 0.04   | 0.74   | 0.37    | 0.67   |
| Tm/Ts                                   | 1.46   | 1.30   | 1.50    | 0.97   | 2.50    | 1.10   | 5.97   | 0.95    | 0.81   |

注:表中数据由中国石油大学(北京)地球化学实验室提供

表 4 东胜矿床砂岩样品自生伊利石 K-Ar 同位素测年分析结果  
Table 4 K-Ar isotopic dating of authigenic illites in sandstone samples from Dengsheng mineral deposit

| 样品编号                       | 井号                             | K/%  | 年龄/Ma     | 矿物组成 |              |     |     |      |
|----------------------------|--------------------------------|------|-----------|------|--------------|-----|-----|------|
|                            |                                |      |           | 伊利石  | 伊蒙混层<br>及蒙脱石 | 高岭石 | 绿泥石 | 其他矿物 |
| DWW 15 矿石                  | ZKA 151- 39                    | 6.34 | 121.0±3.1 | 35   | 52           | 4   | 2   | 7    |
| DWW (21+ 38). 矿石           | ZKA 111- 8 183- 87             | 5.12 | 95.6±3.5  | 37   | 51           | 6   | 3   | 3    |
| DWW (17+ 23+ 37),<br>白色砂岩  | ZKA 167- 79<br>183- 87, 111- 8 | 4.94 | 85.3±2.6  | 55   | 26           | 14  | 1   | 4    |
| DWW 20 灰绿色砂岩               | ZKA 183- 87                    | 6.18 | 123.7±3.4 | 62   | 26           | 4   | 5   | 3    |
| DWW (11+ 31+ 33),<br>灰绿色砂岩 | ZKA 183- 71<br>111- 43- 1      | 6.67 | 134.5±2.3 | 40   | 55           | 0   | 0   | 5    |
| DWW 35 灰色砂岩                | ZK 111- 0                      | 5.25 | 95.8±2.7  | 49   | 39           | 7   | 1   | 4    |

注:表中数据由中国石油大学(北京)地球化学实验室提供

Pr/*n*C<sub>17</sub>和 Ph/*n*C<sub>18</sub>均处于低值,同时也反映了油气具有较高成熟的特点,而从含矿层有机质成熟度较低(东胜矿床 6 个样品 *R*<sub>o</sub> 范围为 0.373~0.50 平均 0.4410)<sup>①</sup>可知,油气并非来自于含矿层本身,应该是深部古生界来源。各项生物标志化合物参数特征与铀含量的相关关系不明显,说明油气来源不受矿化的影响。

总之,矿区目的层地层中有机质生物物源主要来源于高等植物,其少量的油气等烃类具较高成熟成分特征,应主要来源于深部,而非含矿层本身。

3 天然气逸散充注年龄

利用自生伊利石 K-Ar 定年法,对东胜矿床含矿目的层进行了天然气逸散充注年龄的测试。

所选样品全部来自矿区直罗组。样品经清洗后粗碎至约几个厘米级别,氯仿浸泡 24 h 除去可溶烃类,进行砂岩中粘土矿物的分离。确定其矿物组成(表 4)。

从表中看出,样品测试时代集中于晚白垩世 [(85.3±2.6)~(95.6±3.5)]Ma 和早白垩世 [(121.0±3.1)~(134.5±2.3)]Ma。另据在新鲜露头节理缝中采集方解石脉的鉴定分析<sup>①</sup>,其中含有大量的天然气包裹体,通过应用“热释光”方法确定该方解石脉测试的年龄值为 32.4±3.24 Ma。说明鄂多尔斯盆地约在渐新世晚期(E<sub>3</sub>末期)仍有天然气逸散事件的存在。

因此,东胜矿床较早的一次油气充注时间是在早白垩世;第二期为晚白垩世;第三期是渐新世晚期(E<sub>3</sub>末期)。东胜矿床铀成矿年龄有 3 期<sup>[29]①</sup>:第一期为早白垩世;第二期为晚白垩世;

① 邸领军,姜英昆,李荣西,等.鄂尔多斯盆地喜山期构造运动与油气成藏研究. 2004

第三期为中新世。综上所述,东胜矿床含矿目的层直罗组天然气逸散充注年龄与铀成矿年龄相符,证明天然气逸散是铀成矿的主要原因。

### 参 考 文 献

- 赵瑞全,秦明宽,王正邦.微生物和有机质在512层间氧化带砂岩型铀矿成矿中的作用[J].铀矿地质,1998,14(6):338~344  
Zhao Ruiquan, Qin Mingkuan, Wang Zhengbang. Effect of microorganism and organic matters on sandstone-type uranium mineralizations in interlayer oxidation zone in deposit No 512[J]. Uranium Geology, 1998, 14(6): 338~344
- 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  
Xiang Weidong, Chen Zhaobo, Chen Zuyi et al. Discussion on relationship between organic matter and metallogenesis of epigenetic sandstone-type uranium deposits take Shihongtan district in Turpan-Hami basin as an example[J]. Uranium Geology, 2000, 16(2): 65~73
- 杨殿忠,夏斌.砂岩铀矿成矿过程中有机质作用的实验研究[J].地质论评,2004,50(2):218~222  
Yang Dianzhong, Xia Bin. An experiment study on the role of organic materials in ore-forming of sandstone-type uranium deposit[J]. Geological Review, 2004, 50(2): 218~222
- 王国荣.层间渗入铀成矿中有机质的氧化迁移[J].新疆石油地质,2002,20(2):134~136  
Wang Guorong. Oxidization and migration of organic matters in mineralization of interlayer seeping uranium[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2002, 20(2): 134~136
- 李满根,周文斌.库捷尔太铀矿床的生物标志化合物研究[J].华东地质学院学报,2003,26(3):217~220  
Li Mangen, Zhou Wenbin. Biomarker compounds of Kujietertai uranium deposits[J]. Journal of East China Geological Institute, 2003, 26(3): 217~220
- 闵茂中,王汝成,边立曾,等.层间氧化带砂岩型铀矿中的生物成矿作用[J].自然科学进展,2003,13(2):164~168  
Min Maizhong, Wang Rucheng, Bian Lizeng et al. Effect of biology on sandstone-type uranium mineralizations in interlayer oxidation zone in deposit[J]. Natural Science Evolution, 2003, 13(2): 164~168
- 张景廉.再论油气与金属(非金属)矿床的相互关系[J].铀矿地质,1997,13(1):13~18  
Zhang Jinglian. On the mutual relation of oil-gas and metallic (non-metallic) deposits again[J]. Uranium Geology, 1997, 13(1): 13~18
- 张景廉.试论石油与铀矿床的相互关系[J].华东地质学院学报,1994,17(1):42~45  
Zhang Jinglian. Discussion on relationship between oil and uranium deposits[J]. Journal of East China Geological Institute, 1994, 17(1): 42~45
- 刘埃平,钟子川.铀的地球化学特征及其在油气勘探中的应用[J].石油学报,1999,20(6):32~38  
Liu Aiping, Zhong Zichuan. Geochemical characteristics of uranium and the application to oil & gas exploration[J]. Acta Petrolei Sinica, 1999, 20(6): 32~38
- 李亮,王永康,张建晔.在油气藏周围寻找砂岩型铀矿[J].西安石油学院学报(自然科学版),2001,17(5):7~13  
Li Liang, Wang Yongkang, Zhang Jianye. Exploiting the sandstone uranium mineral deposits around oil and gas reservoirs[J]. Journal of Xi'an Petroleum Institute (Natural Science Edition), 2001, 17(5): 7~13
- 张如良,丁万烈.努和庭式铀矿床地质特征及其油气水与铀成矿作用探讨[J].铀矿地质,1994,10(5):257~265  
Zhang Ruliang, Ding Wanlie. The geological characteristics of Nurheting uranium deposit and discussion on the relationship between oil-gas-water and uranium mineralization[J]. Uranium Geology, 1994, 10(5): 257~265
- 李怀渊,张守鹏,李海明.铀-油相伴性探讨[J].地质论评,2000,46(4):355~361  
Li Huaiyuan, Zhang Shoupeng, Li Haiming. Study of the relationship between uranium mineralization and oil accumulation[J]. Geological Review, 2000, 46(4): 355~361
- 王驹,杜乐天.论铀成矿过程中的气还原作用[J].铀矿地质,1995,11(1):19~24  
Wang Ju, Du Letian. Discussion on the effect of gas deoxidization on ore-forming of uranium deposit[J]. Uranium Geology, 1995, 11(1): 19~24
- 赵凤民,沈才卿.黄铁矿与沥青铀矿的共生条件及在沥青铀矿形成过程中所起作用的实验研究[J].铀矿地质,1986,2(2):193  
Zhao Fengmin, Shen Caiqing. An experiment study on intergrowth condition between pyrite & pitch uranium deposit and on the effect on ore-forming of pitch uranium deposit[J]. Uranium Geology, 1986, 2(2): 193
- 吴仁贵,陈安平,余达淦,等.沉积体系分析与河道砂岩型铀矿成矿条件讨论——以鄂尔多斯中新世盆地东胜地区为例[J].铀矿地质,2003,19(2):94~99  
Wu Rengui, Chen Anping, Yu Dagan et al. Analysis on depositional system and discussion on ore-formation conditions of channel sandstone type uranium deposit taking Dongsheng area Ordos Mesozoic basin as an example[J]. Uranium Geology, 2003, 19(2): 94~99
- 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初探[J].地质地球化学,2003,31(2):39~45  
Zhu Xiyang, Wang Yunliang, Wang Zhichang et al. Trace element geochemistry of sandstone-type uranium deposits in Dongsheng area[J]. Geology-Geochemistry, 2003, 31(2): 39~45
- 丁万烈.绿色蚀变带的地球化学性质及其找矿意义探讨[J].铀矿地质,2003,19(5):277~282  
Ding Wanlie. Geochemical character of green-color alteration and



- its prospecting significance [J]. *Uranium Geology*, 2003, 19 (5): 277–282
- 18 张如良. 鄂尔多斯盆地深盆地与铀矿化关系初探 [J]. 铀矿地质, 2004, 20(4): 213–218  
Zhang Ruliang Preliminary discussion on relationship between deep-basin gas and uranium mineralization in Ordos basin [J]. *Uranium Geology*, 2004, 20(4): 213–218
- 19 孙晔, 李子颖, 肖新建, 等. 油气圈闭与鄂尔多斯盆地北部铀成矿关系探讨 [J]. 铀矿地质, 2004, 20(6): 337–343  
Sun Yue, Li Ziyang, Xiao Xinjian, et al Relationship between oil-gas trap and uranium metallogenesis at northern Ordos basin [J]. *Uranium Geology*, 2004, 20(6): 337–343
- 20 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(3): 136–140  
Xiao Xinjian, Li Ziyang, Chen Anping Preliminary study on features of mineralogical zoning of epigenetic alteration at sandstone type uranium deposit, Dongsheng area, Ordos basin [J]. *Uranium Geology*, 2004, 20(3): 136–140
- 21 金之钧, 张发强. 油气运移研究现状及主要进展 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3): 263–270  
Jin Zhijun, Zhang Faqiang Status and major advancement in study of hydrocarbon migration [J]. *Oil & Gas Geology*, 2005, 26(3): 263–270
- 22 刘文汇, 张殿伟, 高波, 等. 天然气来源的多种途径及其意义 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(4): 393–401  
Liu Wenhui, Zhang Dianwei, Gao Bo, et al Multiple origins of natural gas and their significance [J]. *Oil & Gas Geology*, 2005, 26(4): 393–401
- 23 马新华. 鄂尔多斯盆地上古生界深盆地特点与成藏机理探讨 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 230–236  
Ma Xinhua Discussion on characteristics and reservoiring mechanism of deep basin gas in Upper Paleozoic in Ordos basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2005, 26(2): 230–236
- 24 赵重远, 刘池洋. 残延克拉通内盆地及其含油气性——以鄂尔多斯盆地和四川盆地为例 [A]. 见: 中国地质学会. “七五”地质科技重要成果学术交流会议论文选集 [C]. 北京: 北京科学技术出版社, 1992, 610–613  
Zhao Zhongyuan, Liu Chiayang Basins in the residual craton and their petroleum prospects example with Ordos basin and Sichuan basin [A]. In: China Geological Society ed Dissertation Anthology of the Academic Conference on Geology and Technological Important Fruits during “7th 5-year Plan” [C]. Beijing: Beijing Science and Technology Publishing House, 1992, 610–613
- 25 赵伦山, 张本仁. 地球化学 [M]. 北京: 地质出版社, 1987  
Zhao Lunshan, Zhang Benren Geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987
- 26 王恒纯. 同位素水文地质概论 [M]. 北京: 地质出版社, 1990, 256  
Wang Hengchun Generality of isotopic hydrogeology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990, 256
- 27 戴金星, 陈项. 中国生物气中烷烃组合的碳同位素特征及其鉴别标志 [J]. 中国科学, 1993, 23(3): 43–47  
Dai Jinxing, Chen Xiang The characteristics of carbon isotopes and the sign to discrimination of alkyl combination in biogas, China [J]. *Science in China*, 1993, 23(3): 43–47
- 28 中国科学院贵阳地球化学研究所. 有机地球化学 [M]. 北京: 地质出版社, 1982  
Guiyang Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences Organic geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1982
- 29 夏毓亮, 林锦荣, 刘汉彬, 等. 中国北方主要产铀盆地砂岩型铀矿成矿年代学研究 [J]. 铀矿地质, 2003, 19(3): 129–136  
Xia Yuliang, Lin Jinrong, Liu Hanbin, et al Research on geochronology of sandstone-hosted uranium ore-formation in major uranium-productive basins, northern China [J]. *Uranium Geology*, 2003, 19(3): 129–136

(编辑 高 岩)

## 渤海湾喜获新发现

2006年3月17日, 中国海洋石油有限公司宣布, 公司于渤海湾自营钻探的预探井渤中 29–4–2井已喜获成功。

这是中海油今年获得的第一个油气发现, 近期公司将在渤中 29–4构造上钻探评价井, 以进一步确认此发现的商业价值。渤中 29–4–2井位于渤中 29–4构造, 该构造位于渤海湾中南部地区的黄河口凹陷, 海域水深 21.4 m。该井于今年 1月开钻, 完钻井深为 3 070 m。该井共钻遇气层 34.5 m, 油层 13 m。在钻杆测试中, 以 7.94 mm 的油嘴求产, 该井可日产原油 760桶。

(摘自《中国海洋石油报》)