

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

鄂尔多斯盆地北部上古生界油气运聚特征 及其铀成矿意义

冯乔^{1,2)}, 张小莉³⁾, 王云鹏²⁾, 樊爱萍³⁾, 柳益群³⁾

1) 山东科技大学地球信息科学与工程学院, 青岛, 266510; 2) 中国科学院广州地球化学研究所, 510640; 3) 西北大学大陆动力学教育部重点实验室, 西安, 710069

内容提要:鄂尔多斯盆地北部上古生界储层流体包裹体类型、均一温度、捕获压力及其变化的研究表明, 上古生界液态烃和天然气具有长期运聚两期充注的特点, 捕获压力在平面上为南高北低、北东部最低, 成藏后大量天然气散失和油气向北东方向迁移, 及砂岩型铀矿的地球化学特性等暗示油气可能为东胜大型铀矿的形成提供了必要条件。

关键词: 流体包裹体; 均一温度; 捕获压力; 东胜铀矿; 鄂尔多斯盆地北部

东胜砂岩型铀矿位于鄂尔多斯盆地东北部东胜以南, 其含铀层位主要为侏罗系直罗组, 次为下白垩统和侏罗系延安组等, 赋存于辫状河道砂岩中。

东胜铀矿之南的苏里格至榆林一线, 从西向东依次发育呈近南北向展布的上古生界苏里格气田、乌神旗气田、榆林气田和镇川堡气田(刘池洋等, 2005)。这些气田与东胜铀矿床在分布区域上关系密切, 以及铀矿区一些特定的地质现象, 如漂白砂岩、绿色砂岩、富铀矿层中含油含气包裹体的存在等似乎说明深部油气与东胜铀矿的形成有关。

国内外大量众多的砂岩型铀矿实例研究表明, 沉积型铀矿的形成与有机物质之间存在着密切关系(Spirakis, 1996; Wood, 1996; Min et al., 2000), 甚至可以作为铀矿形成历史的示踪剂(Landais, 1996), 而且沉积盆地中再运移的有机物质(如油、气)也与铀矿的形成有关(Landais, 1993)。其具体表现包括络合作用和还原作用。络合作用的反应机理为: $2R-COOH + UO_2^{2+} \rightarrow RCOO-(UO_2)-OOCR + 2H^+$ 。有机羧酸(有机酸、煤、干酪根等)与可溶含铀化合物之间的络合作用, 可使铀富集达到 10000 : 1 (Szalay, 1964)。

有机质在铀成矿过程中使 U^{6+} 还原为 U^{4+} , 作

用机理为: $2(RH) + UO_2^{2+} \rightarrow 2R^0 + 2H^+ + UO_2 \downarrow$, 烃类(RH)使正六价的铀酰化合物还原沉淀形成铀石矿床(Nakashima et al., 1984)。

天然气在铀矿化过程中也起着非常重要的氧化—还原作用(赵瑞全等, 1998), 其氧化作用机理为: $CH_4 + 2O_2 \rightarrow 2H^+ + CO_3^{2-} + H_2O$, $3CO_3^{2-} + UO_2^{2+} \rightarrow [UO_2(CO_3)_3]^{4-}$, $CO_3^{2-} + M^{2+}(\text{金属}) \rightarrow MCO_3 \downarrow$ (方解石或白云石)。其还原作用机理为: $Fe_2O_3 + 6H^+ \rightarrow 2Fe^{2+} + 3H_2O$, $SO_4^{2-} + CH_4 \rightarrow H_2S + CO_3^{2-} + H_2O$, $UO_2^{2+} + 2H_2S + Fe^{2+} \rightarrow UO_2 \downarrow + FeS_2 \downarrow + 4H^+$ 。

上述氧化—还原反应解释了氧化—还原过渡带中铀矿石富集沉淀, 赤铁矿、磁铁矿与黄铁矿共存和次生方解石、钙质胶结物的局部富集等砂岩型铀矿中常见的地质现象。

本文通过对鄂尔多斯盆地北部(东胜铀矿、榆林气田、镇川堡气田)山西组流体包裹体类型、均一温度及捕获压力变化的研究, 探讨了气藏在聚集与保存期间, 油气运聚特点以及对铀成矿的意义。

1 液态烃包裹体特征

1.1 液态烃的荧光特征

16 口井 41 个山西组砂岩包裹体样品观察表

注: 本文为国家重点基础研究计划“973”项目(编号 2003CB2146003)资助的成果。

收稿日期: 2005-10-09; 改回日期: 2005-12-31; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 冯乔, 1963 年生。西北大学博士毕业, 中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室博士后。现为山东科技大学教授, 主要从事油气地质、油气藏地球化学等方面的研究。通讯地址: 266510, 山东省青岛市黄岛区前湾港路 578 号, 山东科技大学地球信息科学与工程学院; Email: fengqiao999@126.com。

明,仅有少数样品含有较丰富的液态烃包裹体,表现为两种不同的荧光特征。其一为强蓝色荧光,为液态烃包裹体,分布于石英颗粒加大边中或环绕石英边缘,由纯液态烃或气、液态烃组成。在加热过程中,液态烃转化为气态烃,并在 90℃ 左右均一化为气相,说明液相为凝析油,气相为湿气;其二为浅黄色荧光,液态烃分布于石英颗粒之间的胶结物或包裹体中,有时沿前一类液态烃包裹体的外缘呈片状分布。

液态烃的荧光颜色既与原油的成熟度有关 (Simon et al., 2001), 也与生物降解作用有关 (Hagemann et al., 1986)。由于本地区在早白垩世曾遭受较强烈燕山运动的影响,地层抬升剥蚀与构造翘倾和裂隙发育,使储层孔隙中的原油遭到破坏,轻质部分散失,而包裹体中的液态烃能够保存较好,并显示出不同的荧光颜色,代表了油气充注过程的原始状态,为两种不同成熟度原油共存,是两期不同油气充注与成藏的结果 (康永尚等, 2004; 冯乔等, 2006)。

含液态烃的包裹体在鄂尔多斯盆地天然气藏中的分布并不普遍。苏里格—榆林天然气藏中虽含有约 5% 的凝析油,但至今在其储层孔隙和包裹体中还没有发现液态烃,本次研究所发现的液态烃仅分布在研究区的东北部及东部 (图 1)。

生烃研究认为,鄂尔多斯盆地上古生界生烃中

心位于研究区的南部米脂—榆林之南,在烃源岩开始生成天然气的同时,伴随有凝析油的生成,并聚集于储层中。随着成熟度的提高,凝析油有可能裂解为天然气,也有可能构造高部位运移 (图 1),使得相对成熟度较高的南部储层中缺少液态烃。在早白垩世的燕山运动中,由于构造调整和地层掀斜,液态烃继续向北运移 (冯乔等, 1997), 并直至地表散失。如在东胜—杭锦旗以北在下白垩统中可见多处油苗显示。

1.2 包裹体均一温度

均一温度测定结果表明,榆林气田山西组石英加大边中盐水包裹体的均一温度介于 95~150℃ 之间,发育 115~130℃ 和 135~145℃ 两个峰值区 (图 2)。

虽然液态烃包裹体与同期盐水包裹体的均一温度表现出较大差异 (Aplin et al., 2000), 但从盟 5 井山西组样品的镜下观察表明具蓝色荧光的液态烃包裹体与 115~130℃ 的盐水包裹体是同期形成的,而具浅黄色荧光的液态烃包裹体与 135~145℃ 的盐水包裹体是同期形成的。这表明不同荧光的液态烃可能是不同期次充注而聚集的。

均一温度结果以及大部分气藏中至今没发现液态烃包裹体等表明,液态烃可能在 150℃ 以前就已经汽化或裂解为天然气,或者是向构造高部位或成熟度相对较低的方向发生了运移和散失。

1.3 捕获压力及变化

根据流体包裹体体积、气液比、均一温度等,应用 PVT 软件,模拟计算的均一温度介于 111~116.5℃ 的捕获压力为 22.35~33.47 MPa, 平均 28.52 MPa。其捕获压力平面分布具有南高北

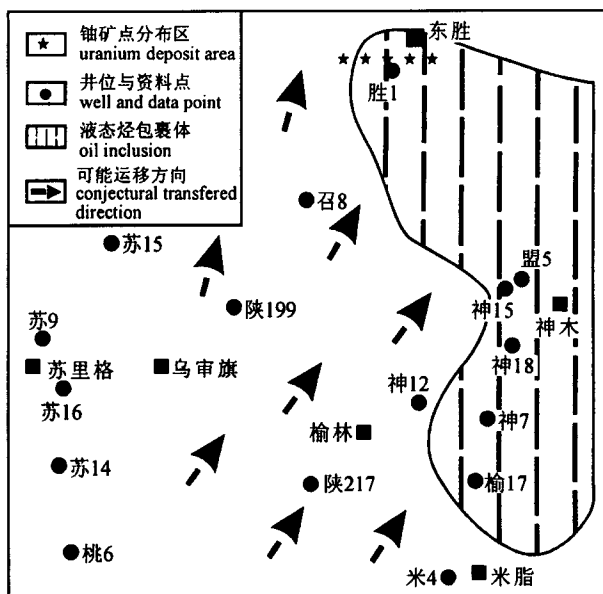


图 1 山西组液态烃包裹体分布及可能迁移方向

Fig. 1 Distribution of oil inclusions and migration direction of oil in Shanxi Formation

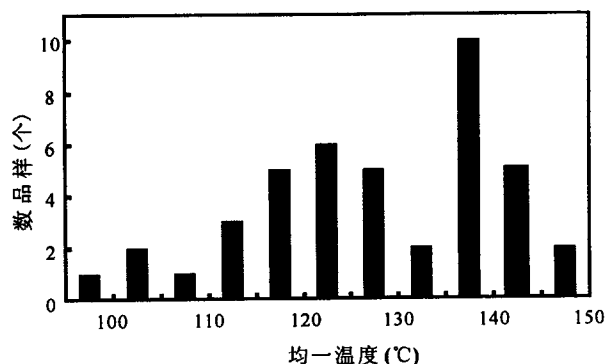


图 2 榆林气区石英加大边中盐水包裹体均一温度图

Fig. 2 Homogenisation temperature histograms for aqueous inclusions of quartz overgrowths for reservoir sandstone in Yulin gas field

低,东北部最低的特点(图3)。由于鄂尔多斯盆地构造稳定,地层起伏变化不大,因此捕获压力的变化反映了古流体(包括油、天然气等)由南向北的运移,并最终汇聚到研究区东北部。

2 天然气运聚与铀成矿的关系

2.1 天然气散失量的估算

定量评价油气的散失是非常困难的,有关这方面的研究几乎未见报道,尤其是存在组分、相态等变化时更是如此。

根据理想气体状态方程,本文粗略估算了天然气的散失量。天然气散失量是指在聚集成藏期间及其之后气藏中天然气的前(V_1)后(V_2)体积比,即 $D = 1 - V_1/V_2 = [(1 - P_2T_1)/(P_1T_2)]$,式中 P_1 、 T_1 、 V_1 、 P_2 、 T_2 、 V_2 分别为气藏变化前后的压力(MPa)、温度(°C)和体积。

2.2 捕获压力变化及天然气运聚特征

山西组储层砂岩石英加大边中的包裹体和裂缝脉中的包裹体,按形成序次可以分为5期。随着各期包裹体的平均均一温度逐渐升高,其捕获压力逐渐降低(表1),这与封闭系统中温度升高压力亦升高的规律相反,表明系统中有天然气的散失。

计算表明不同成岩序列之间天然气的散失量并

不相同,介于9%~15%。如果将石英加大视为埋藏成岩的产物,而裂缝发育看作晚期构造运动的结果,那么埋藏成岩期间,天然气散失约为23%(状态1→3),晚燕山构造运动期间天然气散失约为21.7%(状态3→5),而总散失约为39.7%(状态1→5)。

2.3 天然气散失对铀矿形成的影响

铀矿地质研究表明,东胜铀矿位于鄂尔多斯盆地北部呈东西向在杭锦旗—东胜间展布,发育于中侏罗统直罗组之底部辫状河道砂岩中,属于砂岩型铀矿,有其独特的成矿地质条件(王金平,1998;陈法正,2002;吴仁贵等,2003)。除此之外,下白垩统和侏罗系延安组及下三叠统和尚沟组中也存在重要的铀矿化异常(狄永强,2002)。

铀的地球化学性质决定了砂岩型铀矿的形成需要氧化—还原的流体环境,而石油和天然气可以为这种环境转化提供大量的氧化—还原剂。鄂尔多斯盆地上古生界液态烃和天然气运聚特征、流体包裹体捕获压力的变化、天然气在成藏之后的散失等为东胜铀矿床成因机理解释提供了很好的例证。

在燕山运动之前的埋藏成岩作用期间,天然气在聚集成藏的同时,有一部分因扩散等原因而散失,从而导致了三叠系铀矿化的发育与形成。在燕山运动期间及其以后,上古生界储层中的液态烃和天然气均发生了向北和北东方向的运移和散失,从而为侏罗系和白垩系铀矿床的形成提供了条件。

3 结论

鄂尔多斯盆地北部山西组储层中流体包裹体研究表明,研究区东北部发育具有不同荧光颜色的液态烃包裹体,并具有向北及北东方向逐渐迁移、散失的趋势。

包裹体均一温度具有双峰特点,这与液态烃具有两种荧光特征一致,表明具有不同期次油气的充注与聚集。均一温度不超过150°C的实事说明液态烃可能部分裂解为天然气,部分向北迁移,直至地表散失。包裹体捕获压力的变化也指示了储层流体向北东方向的运移,这些证据均表明上古生界储层中的油气向北及北东方向运移并散失。东胜铀矿正位于油气运移与散失的指向区。

根据不同成岩序列包裹体的均一温度、捕获压力等参数计算了天然气的散失量。结果表明,从石英加大边II期到III期和从石英加大边III期到裂缝石英脉,天然气的散失量相对较大,累计天然气散失量约为39.7%。

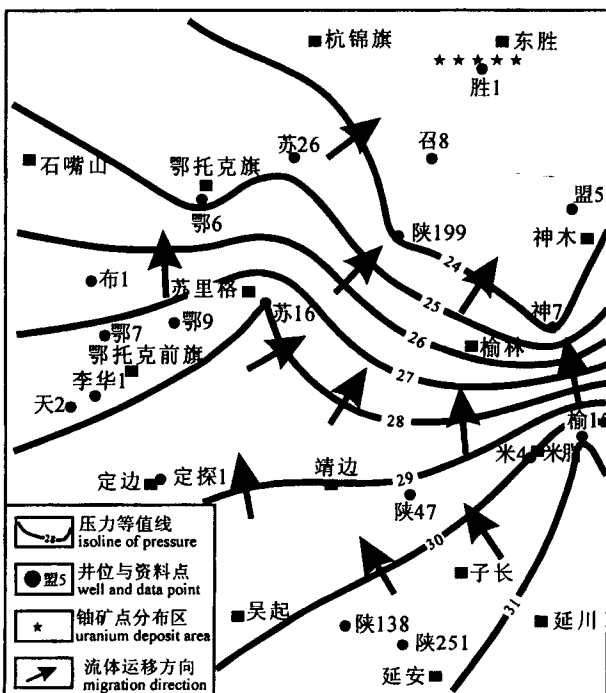


图3 盐水包裹体捕获压力分布和气藏中流体运移图

Fig. 3 Planar distribution of trapping pressure for aqueous inclusions and migration direction of fluid in gas reservoir

表 1 不同期次天然气散失量估算结果

Table 1 The evaluated values according to the dissipated amount based on the diagenic period

期次	成岩序列	均一温度(℃)		捕获压力(MPa)		散失量(%)	状态变化
		范围	均值	范围	均值		
1	石英加大 I 期	88.6~98.6	94.31	22.48~42.58	30.64	15.53	1→2
2	石英加大 II 期	100.8~108.7	105.35	21.39~41.41	28.91	23.00	1→3
3	石英加大 III 期	111.2~116.5	114.01	23.35~33.47	28.52	13.49	3→4
4	裂缝石英脉	119.2~131.2	126.20	23.79~31.47	27.31	21.70	3→5
5	裂缝方解石脉	136.0~148.6	140.47	23.91~31.64	27.51	39.70	1→5

注:状态变化对应于成岩期次,即状态 1 对应于期次 1,状态 2 对应于期次 2,... 等。

铀的地球化学特性决定了在铀成矿过程中,处于氧化态的 U 化合物需要大量还原剂使其还原沉淀形成铀石。因此,研究区南部大量上古生界油或/和气的向北迁移和散失,为东胜铀矿的形成提供了必要条件。

参 考 文 献

- 陈法正. 2002. 砂岩型铀矿的成矿地质条件与战略选区——以二连盆地和鄂尔多斯盆地为例. 铀矿地质, 18(3): 138~143.
- 狄永强. 2002. 试论鄂尔多斯北部中生代盆地砂岩型铀矿找矿前景. 铀矿地质, 18(6): 340~347.
- 冯乔, 张小莉. 1997. 孔隙流体压力与流体排驱的关系. 地质论评, 43(3): 297~302.
- 冯乔, 张小莉, 樊爱萍, 等. 2006. 鄂尔多斯盆地上古生界储层流体包裹体类型及其地质意义. 石油与天然气地质, 27(1): ~.
- 康永尚, 邱楠生, 刘洛夫, 等. 2004. 流体动力系统对流体包裹体均一温度的影响及其意义——以准噶尔盆地陆东地区为例. 地质学报, 78(5): 704~709.
- 刘池洋, 赵红格, 王锋, 陈洪. 2005. 鄂尔多斯盆地西缘(部)中生代构造属性. 地质学报, 79(6): 737~747.
- 王金平. 1998. 陕甘宁盆地层间氧化带砂岩型铀矿成矿远景研究. 铀矿地质, 14(6): 330~337.
- 吴仁贵, 陈安平, 余达淦, 等. 2003. 沉积体系分析与河道砂岩型铀矿成矿条件讨论——以鄂尔多斯中生代盆地东胜地区为例. 铀矿地质, 19(2): 94~99.
- 赵瑞全, 秦明宽, 王正邦. 1998. 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. 铀矿地质, 14(6): 338~343.
- Aplin A C, Larter S R, Bigge M A, Macleod G, Swarbrick R E, Grunberger D. 2000. PVTX history of the North Sea's Judy oilfield. Journal of Geochemical Exploration, 69~70: 641~644.
- Chen Fazhang. 2002. Metallogenic geologic prerequisites of sandstone type uranium deposits and target area selection—Taking Erlian and Ordos basins as example. Uranium Geology, 18(3): 138~143 (in Chinese with English abstract).
- Di Yongqiang. 2002. Preliminary discussion on prospecting potential for sandstone type uranium deposits in Meso-Cenozoic basins, Northern Ordos. Uranium Geology, 18(6): 340~347 (in Chinese with English abstract).
- Feng Qiao, Zhang Xiaoli. 1997. The relationship between pore fluid pressure and fluid Expulsion. Geological Review, 43(3): 297~302 (in Chinese with English abstract).
- Feng Qiao, Zhang Xiaoli, Fan Aiping, et al. 2006. Types and implication of fluid inclusions in reservoir of upper Paleozoic in Ordos basin. Oil & Gas Geology, 27(1) (in Chinese with English abstract).
- Hagemann H W, Hollerbach A. 1986. The fluorescence behaviour of crude oils with respect to their thermal maturation and degradation. Org. Geochem., 10: 473~480.
- Kang Yongshang, Qiu Nansheng, Liu Luofu, et al. 2004. Influence of fluid dynamic systems on homo-genization temperatures of fluid inclusions and its significance——An application example from the Ludong Area of the Junggar basin, Northwestern China. A G S, 78(5): 704~709 (in Chinese with English abstract).
- Landaís P. 1993. Bitumens in uranium deposits. In: Parnell J H, Kucha Landaís P. eds. Bitumens in Ore Deposits. Springer-Verlag, Berlin.
- Landaís P. 1996. Organic geochemistry of sedimentary uranium ore deposits. Ore Geology Reviews, 11, 33~51.
- Min M Z, Menga Z W, Sheng G Y, et al. 2000. Organic geochemistry of paleokarst-hosted uranium deposits, South China. Journal of Geochemical Exploration, 68: 211~22.
- Nakashima S, Disnar J R, Perruchot A, Trichet J. 1984. Experimental study of mechanisms of fixation and reduction of uranium by sedimentary organic matter under diagenetic hydrothermal conditions. Geochim. & Cosmochim. Acta, 48: 2321~2329.
- Simon C G, Tim E R, Adriana Dutkiewicz, Peter J E. 2001. Assessing the maturity of oil trapped in fluid inclusions using molecular geochemistry data and visually-determined fluorescence colours. Applied Geochemistry, 16: 451~473.
- Spirakis C S. 1996. The roles of organic matter in the formation of uranium deposits in sedimentary rocks. Ore Geology Reviews, 11: 53~69.
- Szalay A. 1964. Cation exchange properties of humic acids and their importance in the geochemical enrichment of UO_2^{2+} and other cations. Geochim. & Cosmochim. Acta, 28: 1605~1614.
- Wang Jinping. 1998. Study on metallogenetic prospect of interlayer oxidation zone sandstone type uranium deposit in Shanganning Basin. Uranium Geology, 14(6): 330~337 (in Chinese with English abstract).
- Wood S A. 1996. The role of humic substances in the transport and

- fixation of metals of economic interest (Au, Pt, Pd, U, V). *Ore Geology Reviews*, 11: 1~31.
- Wu Rengui, Chen Anping, Yu Dagan, et al. 2003. Analysis on depositional system and discussion on oreformation conditions of channel sandstone type uranium deposit——Taking Dongsheng area, Ordos meso-Cenozoic Basin As an Example. *Uranium Geology*, 19(2):94~99 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Ruiquan, Qin Mingkuan, Wang Zhengbang. 1998. Effect of microorganism and organic matters on sandstone type uranium mineralizations in interlayer oxidation zone in deposit No. 512. *Uranium Geology*, 14(6): 338~343 (in Chinese with English abstract).

Characteristics of Migration and Accumulation of Hydrocarbon and Its Deposit-Forming Signification in Upper Paleozoic in North Ordos Basin.

FENG Qiao^{1,2)}, ZHANG Xiaoli³⁾, WANG Yunping²⁾, FAN Aiping³⁾, LIU Yiqun³⁾

1) *Shandong University of Science and Technology, Geoinformation Science & Engineering College, Qingdao, 266510*

2) *State key Lab. of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou, 510640*

3) *The key lab. of Continental Dynamics, Northwestern University, Xi'an, 710069*

Abstract

The characteristics of types, homogenisation temperature, capturing pressure of inclusions were studied in reservoir of Upper Paleozoic in northern Ordos Basin. It is indicated that there were a long-range migration and twice accumulations of liquid and gaseous hydrocarbons in Upper Paleozoic reservoir. The paleopressure of inclusions is high in south part, low in north part, and highest in northeast part. The large numbers of nature gas and oil were migrated and were dissipated to the northeast direction after migrating. The hydrocarbons could afford the necessary conditions of formatting the great uranium deposit in Dongsheng based on geochemistry character of uranium.

Key words: fluid inclusion; homogenisation temperature; capturing pressure; Dongsheng uranium; northeast Ordos basin