

文章编号: 0253-2697(2007)05-0072-07

东胜地区直罗组砂岩型铀矿包裹体特征 与铀矿成因研究

林 潼^{1,2} 罗静兰¹ 刘小洪¹ 张 三¹

(1. 西北大学大陆动力学国家重点实验室 陕西西安 710069; 2. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院 河北廊坊 065007)

摘要: 鄂尔多斯盆地东胜地区直罗组含铀矿层位中流体包裹体均一温度和成分的测定及荧光分析表明,东胜地区至少存在三期有机流体充注与运移,流体特征总体反映出烃类从早期到晚期由低成熟到高成熟的演化过程。包裹体成分中含有大量 CO_2 、烃类物质(CH_4 与 C_2^+)和还原性气体(H_2S 与 H_2),含矿砂岩中有丰富的碳酸盐胶结物。这说明还原环境为铀的沉淀、富集提供了有利的成矿介质环境条件, CO_2 与碳酸盐对东胜地区铀的迁移与沉淀起了重要作用,烃类与铀成矿具有密切的联系。包裹体均一温度及其他证据显示,本区曾经历过明显的热事件。该热事件的发生与早期铀矿形成的时间相近,对铀矿的形成有重要贡献。

关键词: 流体包裹体;烃类充注;热事件;铀矿成因;东胜地区

中图分类号: TE112.1

文献标识码: A

Characteristics of fluid inclusions in sandstone-type uranium deposit and origin of uranium mineralization in Zhiluo Formation of Dongsheng area

Lin Tong^{1,2} Luo Jinglan¹ Liu Xiaohong¹ Zhang San¹

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

2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development-Langfang, PetroChina, Langfang 065007, China)

Abstract: The measurement of homogeneous temperature and chemical component and the fluorescence analysis of fluid inclusion in the uranium-bearing sandstone and diagenetic sequence indicated that there were at least three phases of hydrocarbon-related fluid injection and migration in Zhiluo Formation of the Dongsheng area in Ordos Basin. The characteristics of the fluid demonstrated an evolution process of hydrocarbon from low maturity in the early phase to high maturity in the late phase. The fluid inclusions contained a large amount of CO_2 , hydrocarbons (CH_4 and C_2^+) and reduction gas (H_2S and H_2). The uranium-bearing sandstones contained rich carbonate cement. Reduction gases provided a favorable condition for uranium precipitation and accumulation. The depositions of CO_2 and carbonate cement in the formation had an important positive impact on uranium precipitation and accumulation. Hydrocarbon injection and emplacement had a close relationship with the origin of uranium mineralization. The homogeneous temperature of fluid inclusions and other related evidences showed that the tectonic thermal events once occurred in this area. The occurrence of the tectonic thermal events coincided with the uranium mineralization in the early stage, thus the thermal event had contribution to the uranium mineralization.

Key words: fluid inclusions; hydrocarbon injection episode; tectonic thermal event; uranium mineralization origin; Dongsheng area

包裹体的捕获可以发生在盆地演化的不同阶段。古油气在运移时,以包裹体的形式被储层中碎屑岩捕获。因此,有机包裹体含有丰富的地球化学信息^[1-3]。对有机包裹体的分析能够推断沉积盆地中古油气运移的路径、古流体的性质以及所处的温度—压力环境。

鄂尔多斯盆地是我国陆上第二大盆地,盆地内含有丰富的油、气、煤和铀等多种矿产资源,它们同盆共生,并在时间和空间上有着密切的联系^[4-5]。盆地中的

铀矿主要分布在盆地的边缘,以盆地东北部东胜地区中侏罗统直罗组砂岩型铀矿最典型。该铀矿主要赋存在直罗组下部的辫状河道砂体中^[6]。越来越多的资料显示,东胜地区铀的成矿作用与油气的运移聚集可能有着密切的联系^[4-5,7-8]。笔者通过对东胜地区含铀矿砂岩中有机包裹体及其共生的盐水包裹体的研究,探讨了铀成矿作用与 CO_2 、还原性气体、油气注入期次与烃类物质、热事件等之间的关系。

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)项目“多种能源矿产共存成藏(矿)机理与富集分布规律”(2003CB214603)资助。

作者简介:林 潼,男,1980 年 1 月生,2007 年获西北大学硕士学位,现在中国石油勘探开发研究院廊坊分院从事储层沉积学与石油勘探开发研究工作。E-mail: lintong1980@163.com

1 样品及分析方法

分别采集了东胜地区直罗组下段上亚段(J_2Z^{1-2})蚀变灰绿色—绿色砂岩和下亚段(J_2Z^{1-1})未蚀变的原生带灰色—浅灰色砂岩(图1)共14块含铀矿层位样品进行包裹体分析。其中:下亚段辫状河道砂体为主要含矿层位,上亚段曲流河道为次要含矿层位。

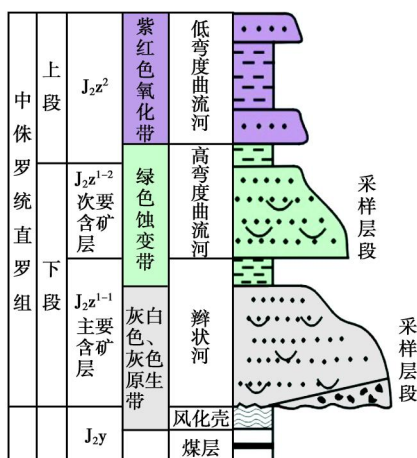


图1 直罗组地层序列示意图

Fig.1 Stratigraphic sequence of Zhiluo Formation in Dongsheng area

选择与烃类包裹体共生的盐水包裹体进行均一温度测定。成分分析主要选择气/液比为15%~20%的气液包裹体进行拉曼成分分析。包裹体均一温度测定与荧光分析在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。测温仪器为英国林克姆TS1500冷热台,精度为0.1℃,测温速度为3℃/min。共获得152个包裹体均一温度数据。包裹体成分是在国土资源部西安地质矿产研究所测定的。采用法国J-Y公司Ramnor-U1000型激光拉曼探针。实验条件:Ar⁺激光波长514.5nm;激光功率600mW,双单色器波狭缝250μm,色散率9.2cm⁻¹/mm;光电倍增管高压为1870V,温度为23℃,湿度65%。共测得5块样品中6个包裹体的成分。

2 成岩序列与包裹体特征

成岩作用与成岩序列研究表明,含矿层位的成岩作用以碳酸盐(质量百分数为0.5%~35%)胶结作用为主,其次是绿泥石(质量百分数为0~8%)、高岭石(质量百分数为0~5%)和石英的次生加大(质量百分数为0.5%~3%)胶结。绿泥石一般分布在碎屑石英颗粒的边缘,形成薄膜式胶结。碳酸盐胶结物以填充于粒间孔中的泥晶方解石和亮晶方解石最为常见。泥

晶方解石分布于绿泥石薄膜外缘并充填于粒间,两者均为早期成岩阶段的产物,但绿泥石形成于泥晶方解石之前。连晶式产出的亮晶方解石多充填于泥晶方解石外围的颗粒孔隙中,部分位于石英次生加大边外,并强烈交代石英、长石颗粒和泥晶方解石胶结物。这说明亮晶方解石的产出晚于泥晶方解石和次生石英加大的形成。

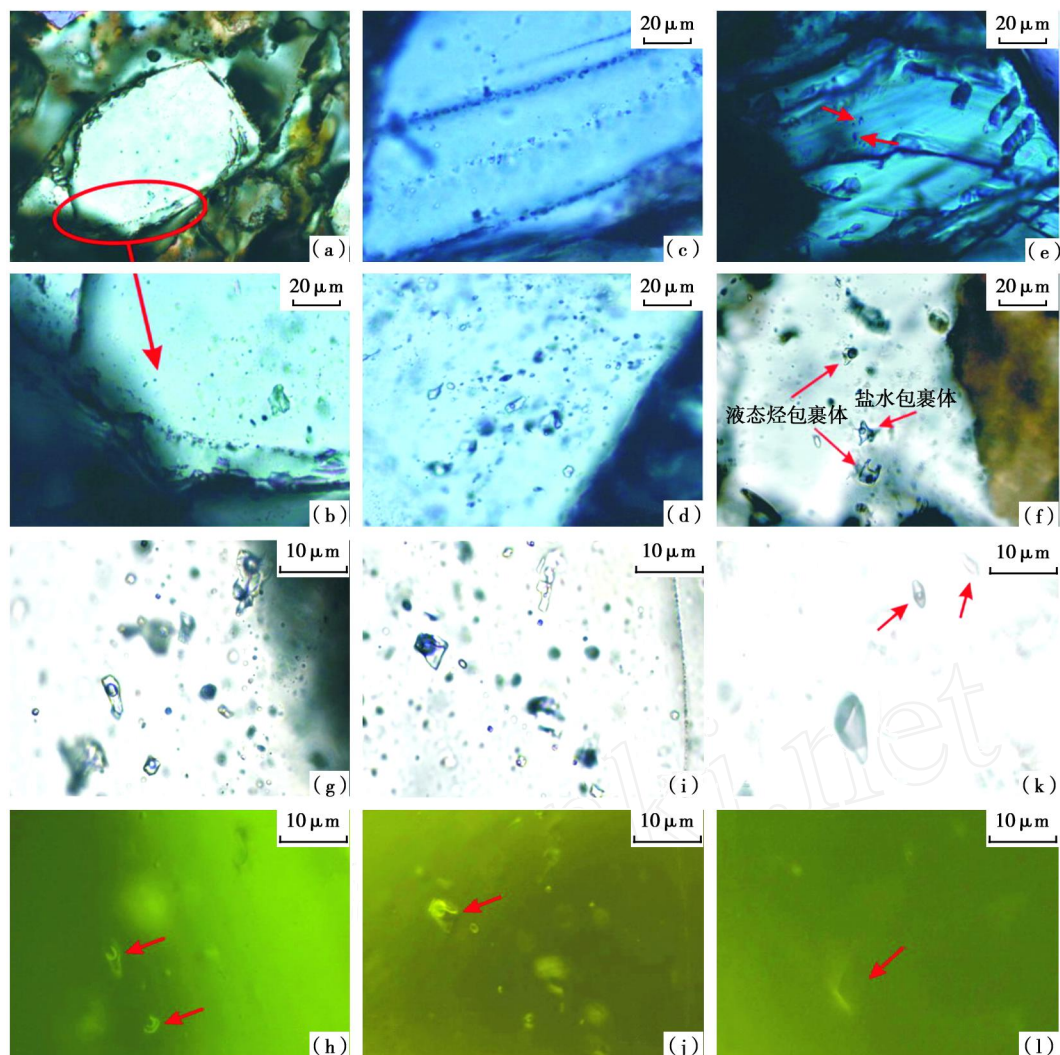
镜下观察表明,含矿砂岩中的包裹体主要分布在骨架矿物石英中,以愈合微裂缝中为主,石英次生加大边上较少[图2(a)、图2(b)],少量分布于粒间充填的泥晶和亮晶方解石胶结物中。包裹体主要呈串珠状分布[图2(c)],个体较小(一般约为5μm),形态多为浑圆状,部分包裹体成群分布于石英颗粒表面[图2(d)],这类包裹体个体较大。分布于方解石胶结物中的包裹体个体都很小(粒度小于3μm),且数量稀少[图2(e)]。

显微镜下观察和显微荧光分析显示,东胜地区直罗组含矿砂岩中的包裹体主要是盐水包裹体和烃类包裹体。盐水包裹体以气液两相包裹体为主,气/液比为5%~20%,少数为单相液态包裹体。包裹体颜色与宿主矿物石英的颜色相似,单偏光镜下为无色透明。烃类包裹体一般与盐水包裹体共生[图2(d)、图2(f)],可分为液态烃包裹体、气液烃包裹体以及气态烃包裹体3类。不同产状分布的烃类包裹体在单偏光镜下以及荧光照射下的颜色略有区别。泥晶方解石和早期微裂缝中的烃类包裹体以油、水两相包裹体为主,单偏光镜下呈灰黑色、褐黑色[图2(g)],油相发弱的黄绿荧光[图2(h)],盐水相不发荧光;分布于亮晶方解石胶结物以及石英颗粒边部的烃类包裹体主要以液态烃为主,少量为油、气两相包裹体,单偏光下一般为灰色、灰褐色[图2(i)],荧光照射下发黄白色光[图2(j)],显示较高的成熟度;晚期构造微裂隙和石英上的有机包裹体主要为半透明的淡黄色、灰色气态包裹体以及部分气液烃包裹体[图2(k)],荧光照射下不发荧光[图2(l)],表明包裹体中的有机质已经达到了高成熟,以气相为主。

3 包裹体均一温度与成分特征

3.1 包裹体均一温度

一定层位中流体包裹体的均一温度代表了捕获时期地层的温度。与盐水包裹体同期的烃类包裹体的均一温度低于捕获温度,也低于同期捕获的盐水包裹体均一温度^[9]。本次测温选取了与烃类包裹体共生的盐水包裹体,测定的温度代表了不同成岩演化阶段地层的古地温。测定结果显示(表1),位于早期成岩泥晶



(a) —石英次生加大边, ZKA341, 243.4 m, 单偏光, 10 ×; (b) —石英加大边上的包裹体, ZKA341, 243.4 m, 单偏光, 50 ×; (c) —石英颗粒上的包裹体串珠状排裂, ZKA341, 243.4 m, 单偏光, 50 ×; (d) —石英颗粒上黑褐色液态烃包裹体与盐水包裹体共生成群分布, ZKA397, 247.8 m, 单偏光, 50 ×; (e) —亮晶方解石中包裹体, 孤立状分布, ZKA397, 247.8 m, 单偏光, 50 ×; (f) —烃类包裹体与盐水包裹体串珠状排列, ZKA539, 279.71 m, 单偏光, 50 ×; (g) —石英颗粒上灰褐色液态烃包裹体, ZKA341, 243.4 m, 单偏光, 50 ×; (h) —包裹体显弱黄绿色荧光, ZKA341, 243.4 m, 荧光, 50 ×; (i) —石英颗粒上灰褐色液烃包裹体, ZKA397, 247.8 m, 单偏光, 50 ×; (j) —包裹体显黄白色荧光, ZKA397, 247.8 m, 荧光, 50 ×; (k) —石英颗粒上灰色、淡黄色气烃包裹体以及共生盐水包裹体, ZKA397, 247.8 m, 单偏光, 50 ×; (l) —气烃包裹体不发荧光, 包裹体边部发弱荧光, 盐水包裹体不发光, ZKA397, 247.8 m, 荧光, 50 ×。

图2 包裹体分布特征和荧光分析结果

Fig. 2 Microphotos showing characteristics of fluid inclusions under microscope and fluorescence

方解石中的包裹体均一温度较低,在 85 以下;位于中晚期成岩亮晶方解石和次生加大边上的包裹体均一温度为 137.1 ~ 155.5 ;而石英裂缝中的包裹体均一温度分布范围较大,从 91.5 到 190 以上。

3.2 包裹体的成分特征

包裹体成分分析结果(表 2)显示,单个包裹体液相成分主要为 H_2O , 含量为 50.8 % ~ 61 %;其次为 CO_2 , 一般不含 SO_2 , 仅有一个采自 J_2Z^{1-1} 未蚀变原生带的砂岩样品(DSL-87)中的包裹体含 5 % 的 SO_2 。 CH_4

的含量与 C_2^+ 的含量成负相关关系,含 CH_4 的包裹体一般含少量或不含 C_2^+ 。气、液相还原系数 $CH_4/(H_2O + CO_2)$ 值分别为 0.031 ~ 0.332 和 0.072 ~ 0.122。单个包裹体气相成分(表 3)以 CO_2 为主,比率为 34.2 % ~ 77 %。其次为 CH_4 和 H_2S , 分别为 2.7 % ~ 18.3 % 和 2.5 % ~ 16.5 %, 所有包裹体气相中均不含 SO_2 。其中 2 个样品(DSL-42 和 DSL-8)中位于石英颗粒边缘的包裹体中的 CO 含量较高,分别为 23.7 % 和 31.3 %, 且几乎不含 C_6H_6 。从表 2 和表 3 中

表 1 东胜地区直罗组含铀砂岩包裹体均一温度测定结果

Table 1 The measurement result of homogeneous temperature of inclusions in uranium-bearing sandstones in Zhiluo Formation of Dongsheng area

层位	样品	岩 性	宿主矿物上包裹体均一温度/			层位	样品	岩 性	宿主矿物上包裹体均一温度/		
			泥 晶 方解石	亮晶方解石和 次生加大边	石英微裂缝				泥 晶 方解石	亮晶方解石和 次生加大边	石英微裂缝
	DSL-42	灰绿色细砂岩		146. 8	> 190		DSL-115	灰白色中 细砂岩			103. 1 ~ 158. 6
	DSL-7	绿色细砂岩			> 190		DSL-43	灰白色钙质 细砂岩	153. 1		143. 1 ~ 187. 3
J ₂ Z ¹⁻¹ 绿色 蚀变 带	DSL-46	灰绿色中砂岩			> 190	J ₂ Z ¹⁻² 灰色 原生 带	DSL-77	灰白色中 细砂岩			123. 4 ~ 125
	DSL-90	灰绿色粉砂岩			151. 1 ~ 181. 6		DSL-120	灰色中细砂岩			96. 8 ~ 162. 4
	DSL-118	灰绿色细砂岩		137. 1 ~ 155. 5	91. 5 ~ 115		DSL-87	灰色中砂岩			160 ~ 177
	DSL-67	灰绿色中砂岩			120 ~ 188. 7		DSL-8	灰色钙质 细砂岩	144. 9 ~ 153. 3	131. 3 ~ 187. 4	
	DSL-56	灰绿色中砂岩	81. 7 ~ 83. 8		158. 2 ~ 163. 7		DSL-3	灰色中粗砂岩			146 ~ 177. 6

表 2 鄂尔多斯盆地东胜地区包裹体液相成分分析结果

Table 2 The liquid components of inclusions from Dongsheng area in Ordos Basin

采样层位	样号	液相组成/ %						盐水溶液浓度/(mol L ⁻¹)						CH ₄ /	CH ₄ /
		CO ₂	H ₂ S	CH ₄	SO ₂	H ₂ O	C ₂ -C ₆	HS ⁻	CL ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	(H ₂ O + CO ₂)	(H ₂ S + CO ₂)
J ₂ Z ¹⁻²	DSL-3	21. 0				54. 0	25. 0	0. 07					0. 10		
J ₂ Z ¹⁻²	DSL-8	26. 6	7. 0	5. 8		52. 6	8. 0		1. 82					0. 073	0. 173
J ₂ Z ¹⁻²	DSL-87	22. 7			5. 0	57. 4	14. 9				0. 04				
J ₂ Z ¹⁻¹	DSL-42	22. 9	8. 3	6. 0		61. 0	1. 8	0. 03	0. 08					0. 072	0. 192
J ₂ Z ¹⁻¹	DSL-7	35. 9		7. 3		50. 8	6. 0			0. 17			0. 34	0. 084	0. 203
J ₂ Z ¹⁻¹	DSL-46	23. 4	6. 2	10. 2		60. 2			2. 34			0. 05		0. 122	0. 345

表 3 鄂尔多斯盆地东胜地区包裹体气相成分分析结果

Table 3 The gas components of inclusions from Dongsheng area in Ordos basin

采样层位	样号	气相组成/ %								CH ₄ / (H ₂ O + CO ₂)	CH ₄ / (H ₂ S + CO ₂)
		CO ₂	H ₂ S	CH ₄	CO	F ₂	N ₂	H ₂	C ₂ -C ₆		
J ₂ Z ¹⁻¹	DSL-3	77. 0	2. 4	9. 6					11. 0	0. 031	0. 121
J ₂ Z ¹⁻²	DSL-8	47. 5	2. 5	2. 7	31. 1	7. 5	7. 2		1. 5	0. 057	0. 054
J ₂ Z ¹⁻²	DSL-87	55. 2	16. 5	18. 3				5. 8	4. 3	0. 332	0. 255
J ₂ Z ¹⁻²	DSL-42	34. 2	8. 9	8. 6	23. 7	9. 3	10. 4		4. 9	0. 251	0. 200
J ₂ Z ¹⁻¹	DSL-7	43. 6	9. 9	9. 2			16. 4		20. 9	0. 211	0. 211
J ₂ Z ¹⁻¹	DSL-46	60. 1							39. 9		

可以发现,不同样品中的包裹体成分差异较大,即使同一个样品中不同的包裹体所含的成分也有较大的差别。造成这种差异的原因可能是不同期次油气运移或同期的包裹体捕获了非均一相的流体所致;也可能是成岩后期,包裹体在外界较高温度环境下,体系要达到新的再平衡,包裹体组分发生重新分配,从而使其组成发生了变化。

由于各包裹体的气/液比不同,而分析结果给出的是按不同相态分别计算出的相对摩尔百分数,直接用分析结果无法做比较。通过包裹体气/液比和摩尔浓

度计算出每一组分的总量的相对百分数,这样不仅可以反映出包裹体成分的特征,而且能够进行包裹体成分之间的比较^[9]。

根据包裹体成分分析结果,本区包裹体可分为 A、B 两种类型(图 3)。2 种类型中 H₂O 的含量都比 CO₂ 高,且两者的总含量约为 80%;总烃含量都较低,多小于 20%。A 类包裹体主要的特征是 C₂⁺ 含量大于 CH₄;B 类表现为 CH₄ 含量大于或与 C₂⁺ 相近。研究区以 B 类包裹体为主,占样品总数的 80% 以上。

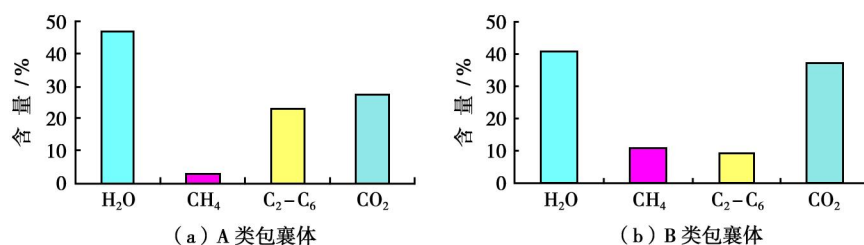


图3 东胜地区不同类型包裹体的成分组成

Fig. 3 Components of different types of inclusions in Dongsheng area

4 结果与讨论

4.1 烃类充注与运移期次

原油从未成熟到成熟是一个加氢去氧的过程。随着油气成熟度增高,烃类的成分不断增加,主要表现为CH₄与C₂⁺的比值逐渐增大。演化到高成熟阶段,烃类成分中CH₄占绝大部分,C₂⁺含量则减少。因此,在油气运移的不同阶段,根据捕获的包裹体成分的差异和有机组分含量的差别可以判别油气运移的不同期次^[10]。

对包裹体产状特征、类型、大小、丰度以及均一温度和成分的分析表明,东胜地区存在着至少3期次的油气注入。包裹体的荧光分析显示了有机质从未成熟(弱黄色荧光)到成熟(亮黄色、不发荧光)的演化过程;成分分析也说明了有机质的演化经历了从低成熟向高成熟演化的过程(CH₄/C₂⁺值为0.05~2.93)。

结合成岩序列以及表1可以看出,第一期包裹体(位于泥晶方解石中,温度低于85℃)反应了未成熟烃类流体特征;第二期包裹体(主要位于亮晶方解石、石英次生加大边和颗粒边缘)均一温度约为140~155℃,包裹体中烃类的成熟度较高,以中质油为主。分布在石英微裂缝中包裹体的均一温度分布范围较大(图4),说明了微裂缝中的包裹体是各个不同时期捕获的包裹体的集合体。从图4可以看出,微裂缝中捕

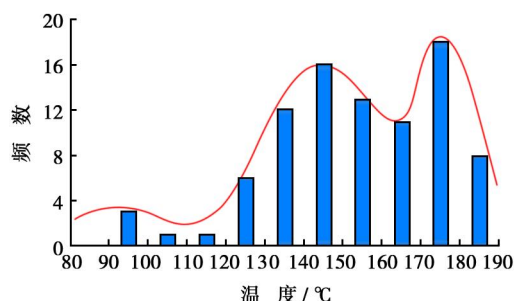


图4 微裂缝中包裹体均一温度分布

Fig. 4 The distribution frequency of homogeneous temperature of inclusions in microcracks of the framework minerals

获的包裹体以后期形成的较高温度包裹体为主(均一温度为160~190℃)。荧光分析显示微裂缝中的烃类包裹体多数为气态烃包裹体,成分分析也表明微裂缝中的包裹体主要为B类包裹体。因此,微裂缝中的包裹体主要代表了第三期烃类充注时流体的特征。上述结果表明,有机质与烃类物质可能与东胜地区砂岩型铀矿的形成与富集有密切的成因联系。

4.2 CO₂与铀成矿

流体中CO₂能使硅酸盐和铝硅酸盐矿物分解而形成碳酸盐,并使伴随油气运移的铀离子被固定而沉淀下来^[11]。研究区所有的包裹体气相和液相成分中CO₂含量均较高(表1,表2),液相中CO₂和气相中CO₂的含量具有明显的负相关性。说明在包裹体形成时,流体中CO₂的含量已经达到饱和状态。后期因温度、压力的下降,液相中CO₂的溶解度降低,以气态形式挥发出CO₂,从而使气相中的CO₂含量增加。包裹体中高含量的CO₂也有可能是被捕获的流体具有非均一性(为气相和液相CO₂的集合体)造成的。本次测温时也发现了CO₂三相包裹体,部分包裹体均一温度为28.3℃,也说明了本区古流体中CO₂的含量较高。CO₂的浓度足以促使铀离子因环境的改变而发生沉淀。薄片显微镜定量统计结果显示,直罗组含矿层位砂岩中碳酸盐胶结物的含量平均为5.8%。碳酸盐胶结物含量高的砂岩中的铀明显富集^[12-13],暗示铀成矿与碳酸盐之间存在密切的成因联系。研究资料表明^[7,14],铀的主要载体是碳酸铀酰[UO₂(CO₃)₂(H₂O)₂]²⁻,即使是在较高温度下形成的热水成因的铀沉积,碳酸铀酰仍是其主要的载体。CO₂的参与是形成铀矿沉淀的关键,其在铀成矿过程中所起的作用可分为2个方面:高浓度的CO₂能够使早期铀离子以碳酸铀酰的形式迁移,为铀的迁移提供重要的载体,为铀矿化提供了前提条件;当铀离子随流体从高压向低压环境运移时CO₂的溶解度降低,使碳酸铀酰络离子的化学平衡被破坏,从而使铀沉淀下来。戚华文^[14]在对华南部分铀矿床成矿流体进行对比时认为,CO₂的含量过低制约了华南含铀花岗岩体在成岩过

程中分异出的岩浆流体不能活化自身携带的铀,从而形成与花岗岩侵入同期铀矿床。

4.3 还原性气体与铀成矿

铀在氧化条件下以六价 U 离子的形式溶解于水中运移,在氧化还原带中,由于还原剂的还原作用使六价 U 离子还原成四价 U 离子并沉淀下来。 H_2S 作为一种强还原剂,对铀的沉淀富集起了重要作用,而 H_2 在铀矿带中是一种更强的还原剂。研究区绝大部分包裹体气相成分中都含有 H_2S (含量为 2.5% ~ 16.5%),个别包裹体还含有 H_2 (表 2)。虽然包裹体中 H_2 的含量较低(气相中为 5.8%),但是 H_2 比 H_2S 及黄铁矿对六价铀具有更强烈的还原作用。即使在浓度很低的情况下(如 $10^{-8} \sim 10^{-14} \text{ mol/L}$)也足以使铀还原沉淀^[7]。资料显示^[8],钻井现场采集的不同矿区含铀层位中天然气成分中都含有 H_2 。而与其他铀矿区相比,东胜地区含铀层位中 H_2 的含量极低。可能说明了东胜地区的铀矿在其成矿过程中消耗了绝大多数的 H_2 ,仅有极少量的 H_2 被包裹体所捕获。这也从另一个方面反映出成矿环境为强还原环境。

4.4 热事件与铀成矿

东胜地区包裹体均一温度普遍高于赋矿地层最大埋深时的古地温 60 ~ 75^[15],包裹体这种较高的均一温度表明本区曾发生过热异常事件。

我国的许多含油气盆地均发现包裹体的均一温度远高于区域地质背景的地层温度,如松辽盆地、渤海湾盆地、莺歌海盆地、楚熊盆地、海拉尔盆地等。进一步的研究表明,这些地区均发生过热流体的活动^[16]。东胜地区包裹体均一温度远高于地层古地温的现象可能表明铀成矿过程中曾发生过热改造事件。赵孟为等研究认为^[16-17]鄂尔多斯盆地在 150 ~ 170 Ma 时期发生过一次明显的构造热事件(图 5)。资料表明^[5],鄂尔多斯中生代燕山早期构造热事件的发生不是孤立的,构

造热事件与岩石圈的减薄有密切的联系并具有区域性。对伊利石和 I/S 层的分析表明^[17],这次构造热事件是一期短暂的热事件,热事件还未使镜质体反射率发生突变(R_o 平均为 0.5%),其强度并未使沉积—变质程度超过成岩作用。这次热事件的时间对应着燕山运动的第二期,而东胜地区铀矿的早期成矿时间为距今 $149 \pm 16 \text{ Ma}$ ^[18],恰对应燕山运动第二期。从而表明本次热事件是造成东胜地区均一温度与古地温差异的主要原因,并且这次构造热事件对东胜铀矿床的形成做了重要贡献。肖新建等^[19]在对东胜地区铀矿石的电子探针分析中发现了钛铀矿,而钛铀矿是碱性岩浆和热液活动的产物,从而认为热液活动对东胜地区铀矿床的形成起到非常重要的作用。

4.5 烃类物质与铀成矿

Morse 认为^[12]油气在运移过程中能从其所接触的岩层中溶浸、萃取放射性核素,当运移到近地表的潜水面附近时,受到氧化而产生中间产物如 H_2O 、 CO_2 等。Schwarzer 认为^[20]油气中烃类气体在向上运移时,当运移到潜水面后由于环境的改变即从还原环境变为氧化环境时,烃类气态则转化为 H_2O 和 CO_2 。这种烃类向非烃类转变的结果可使流体中 CO_2 富集。鄂尔多斯盆地燕山运动早期热事件发生时上三叠统延长组生油层进入了生油窗(图 5),有机质开始生烃并排出油气。东胜地区包裹体中 H_2O 、 CO_2 以及 H_2S 的含量较高,部分包裹体气相中含有较高的 CO 成分(表 2)。这种富含 CO 和 H_2S 、而不含 C_6H_6 的包裹体气相成分显示了油型气特征^[21],说明东胜地区直罗组的油气除了来自煤层气外^[5,8,19],可能部分来源于下伏地层延长组中有机质高温裂解产生的油气。烃源层中的油气和热事件产生的热液流体通过断层和微裂隙在向上运移过程中与围岩发生反应,使矿源层中的铀发生活化、迁移,并在有利的环境下发生氧化—还原反应,而使铀发生沉淀与富集。与此同时,油气和热液流体被砂岩中的碎屑矿物及方解石和石英次生加大等胶结物捕获,形成了较高温度的有机包裹体和盐包裹体。

5 结 论

(1) 流体包裹体均一温度和成分测定、荧光分析及包裹体成分的对比研究表明,东胜地区直罗组铀成矿期间发生过至少 3 期有机流体的充注与运移。从早期到晚期有机质表现出由低成熟向高成熟演化的过程。

(2) 包裹体成分中较高含量的 H_2S 以及强还原性气体 H_2 的存在表明,铀成矿时古流体具有较强的

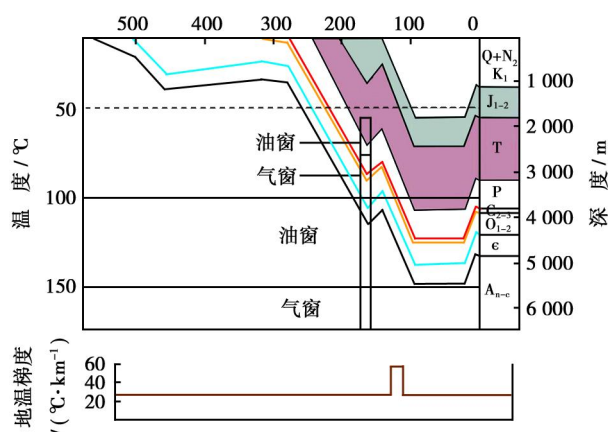


图 5 鄂尔多斯盆地埋藏史与地热史^[17]

Fig. 5 Burial-thermal history of Ordos Basin

还原性。还原环境为铀的沉淀、富集提供了有利的成矿介质环境条件。

(3) 包裹体成分中较高含量的 CO_2 与含矿砂岩中高含量碳酸盐胶结物的存在暗示了 CO_2 与碳酸盐的参与对东胜地区铀的迁移与沉淀起了重要作用。

(4) 包裹体均一温度及其他证据显示,东胜地区曾经历过燕山早期构造热事件。这次热事件的发生与铀矿形成的早期时间相近,表明这次构造热事件对东胜铀矿床的形成作出了重要贡献。

(5) 部分包裹体气相成分中烃类物质显示出的油型气特征表明,包裹体成分中除了来自煤层气外,可能部分来源于下伏地层延长组中有机质高温裂解产生的油气。

参 考 文 献

- [1] 李纯泉,陈红汉,张希明,等.塔河油田奥陶系储层流体包裹体研究[J].石油学报,2005,26(1):42-46.
Li Chunquan, Chen Honghan, Zhang Ximing, et al. Fluid inclusions analysis of the Ordovician reservoir in Tahe Oilfield[J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(1): 42-46.
- [2] 覃建雄.矿物流体包裹体研究在油气资源评价和油气勘探远景预测中的应用[J].地质科技情报,1993,12(1):47-52.
Qin Jianxiong. Application of mineral fluid inclusion to the evaluation of oil-gas resource and petroleum exploration [J]. Geological Science and Technology Information, 1993, 12(1): 47-52.
- [3] 米敬奎,肖贤明,刘德汉,等.利用包裹体信息研究鄂尔多斯盆地上古生界深部气的运移规律[J].石油学报,2003,24(5):46-51.
Mi Jingkui, Xiao Xianming, Liu Dehan, et al. Study on Upper-Paleozoic deep basin gas migration in Ordos using inclusion information[J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(5): 46-51.
- [4] 罗静兰,刘小红,张复新,等.鄂尔多斯盆地东胜地区和吐哈盆地十红滩地区含铀砂岩岩石学及成岩作用[J].石油学报,2005,26(4):39-49.
Luo Jinglan, Liu Xiaohong, Zhang Fuxin, et al. Petrology and diagenesis of uranium-bearing sandstones in Dongsheng area of Ordos Basin and Shihongtan area of Tuha Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(4): 39-49.
- [5] 刘池洋.盆地多种能源矿产共存富集成藏(矿)研究进展[M].北京:科学出版社,2005:17-25.
Liu Chiyang. The study evolvement of concurrent enrichment form of multiple energy resources [M]. Beijing: Science Press, 2005: 17-25.
- [6] 焦养泉,陈安平,王敏芳,等.鄂尔多斯盆地东北部直罗组底部砂体成因分析——砂岩型铀矿床预测的空间定位基础[J].沉积学报,2005,23(3):371-379.
Jiao Yangquan, Chen Anping, Wang Minfan, et al. Genetic analysis of the bottom sandstone of Zhiluo Formation, Northeastern Ordos Basin: Predictive base of spatial orientation of sandstone-type uranium deposit [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23(3): 371-379.
- [7] 尹金双,向伟东,欧光习,等.微生物、有机质、油气与砂岩型铀矿[J].铀矿地质,2005,21(5):287-295.
Yin Jinshuang, Xiang Weidong, Ou Guangxi, et al. Sandstone-type uranium mineralization with respect to organic matter, microbe, and oil and gas [J]. Uranium Geology, 2005, 21(5): 287-295.
- [8] 吴伯林,王建强,刘池阳,等.东胜砂岩型铀矿形成中天然气地质作用的地球化学特征[J].石油与天然气地质,2006,27(2):225-232.
Wu Bolin, Wang Jianqiang, Liu Chiyang, et al. Geochemical behavior of geologic process of natural gas during mineralization of Dongsheng sandstone-type uranium deposit [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(2): 225-232.
- [9] 潘长春,周中毅,解启来.油气和含油气包裹体在油气地质地球化学研究中的意义[J].沉积学报,1996,14(4):15-23.
Pan Changchun, Zhou Zhongyi, Xie Qilai. Hydrocarbon inclusions: implications to petroleum geology and geochemistry [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(4): 15-23.
- [10] 陈建平,查明,周瑶琪.有机包裹体在油气运移研究中的应用综述[J].地质科技情报,2000,19(1):61-64.
Chen Jianping, Zha Ming, Zhou Yaoqi. Application of organic inclusion in oilgas migration [J]. Geological Science and Technology Information, 2000, 19(1): 61-64.
- [11] Morse J G, Rana M H. New perspectives on radiometric exploration for oil and gas [J]. Oil & gas Journal, 1983, 81(23): 87-90.
- [12] 乔海明,贾恒.西北738铀矿床碳酸盐产出特征及成因机制探讨[J].华东地质学院学报,2002,25(2):128-131.
Qiao Haiming, Jia Heng. Experation on carbonate feature of occurrence and mechanism of formation of No. 738 uranium deposit of northwestern [J]. Journal of East China Geological Institute, 2002, 25(2): 128-131.
- [13] 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.
- [14] 戚华文,胡瑞忠.华南花岗岩岩浆期后热液与铀成矿热液的初步对比[J].矿物学报,2000,20(4):401-405.
Qi Huawen, Hu Ruizhong. Comparison between uranium ore-forming fluids and magmatic fluids of granites, southern China — a preliminary study [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2000, 20(4): 401-405.
- [15] 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.
Ren Zhanli, Zhao Zhongyuan, Zhang Jun, et al. Research on Paleotemperature in the Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1994, 12(1): 56-65.
- [16] 赵孟为, Hans Ahrendt, Klaus Wemmer, 等.鄂尔多斯盆地志留-泥盆纪和侏罗纪热事件——伊利石 K-Ar 年龄证据[J].地质学报,1996,70(2):184-194.

(下转第84页)

- [2] 李存贵,徐守余. 长期注水开发油藏的孔隙结构变化规律[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(2): 94-96.
Li Cungui, Xu Shouyu. Law of pore structure variety in reservoir during a long episode waterflooded development [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(2): 94-96.
- [3] 唐玮,唐仁骐. 东河 1 油田退汞毛管压力曲线的分形特征[J]. 石油学报, 2005, 26(5): 91-93.
Tang Wei, Tang Renqi. Fractal dimensions of mercury-ejection capillary pressure curves in Donghe-1 Oilfield [J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(5): 91-93.
- [4] Wardlaw N C, Tayler R P. Mercury capillary pressure curves and the interpretation of pore structure and capillary behavior in reservoir rocks[J]. BCPG, 1976, 24(2): 225-262.
- [5] Voloitin Y, Looyestijn W J, Slijkerman W, et al. A practical approach to obtain primary drainage capillary pressure curves from NMR core and log data[J]. Petrophysics, 2001, 42(4): 334-343.
- [6] 周灿灿, 刘堂晏, 马在田, 等. 应用球管模型评价岩石孔隙结构[J]. 石油学报, 2006, 27(1): 93-95.
Zhou Cancan, Liu Tangyan, Ma Zaitian, et al. Evaluation of pore structure using sphere-cylinder model [J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(1): 93-95.
- [7] 王洪光, 蒋明, 张继春, 等. 高含水期油藏储集层物性变化特征模拟研究[J]. 石油学报, 2004, 25(6): 54-58.
Wang Hongguang, Jiang Ming, Zhang Jichun, et al. Simulation on variation of physical properties in high water-cut reservoir [J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(6): 54-58.
- [8] 窦之林, 曾流芳, 张志海, 等. 大孔道诊断和描述技术研究[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(1): 75-77.
Dou Zhilin, Zeng Liufang, Zhang Zhihai, et al. Research on the diagnosis and description of wormhole [J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(1): 75-77.
- [9] 曾流芳, 刘炳官, 刘玉章, 等. 水驱优势通道对水驱开发效果的影响研究[J]. 江汉石油学院学报, 2004, 26(2): 126-127.
Zeng Liufang, Liu Bingguan, Liu Yuzhang, et al. Effect of dominant channel of water flooding on the development result [J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 2004, 26(2): 126-127.
- [10] 熊钰, 孙良田, 孙雷, 等. 基于模糊层次分析法的注 CO₂ 混相驱油藏综合评价方法[J]. 石油学报, 2002, 23(6): 60-62.
Xiong Yu, Sun Liangtian, Sun Lei, et al. A new integrative evaluation way for candidate of carbon dioxide miscible flooding reservoirs based on fuzzy analytical hierarchy process [J]. Acta Petrolei Sinica, 2002, 23(6): 60-62.
- [11] 郭长春, 金强, 姚军. 用模糊数学方法评价烃源岩[J]. 石油学报, 2005, 26(4): 50-53.
Guo Changchun, Jin Qiang, Yao Jun. Evaluation of source rocks with fuzzy mathematics [J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(4): 50-53.

(收稿日期 2007-01-15 改回日期 2007-03-14 编辑 孟伟铭)

(上接第 78 页)

- [16] Zhao Mengwei, Hans Ahrendt, Klaus Wemmer, et al. Silurian-Devonian and Jurassic thermal events in the Ordos Basin, China: Evidence from K-Ar dating on illites [J]. Acta Geologica Sinica, 1996, 70(2): 184-194.
- [17] 赵孟为. 鄂尔多斯盆地油气形成与运移时间和运移方向的确定与勘探方向[J]. 石油实验地质, 1996, 18(4): 341-346.
Zhao Mengwei. Timing of hydrocarbon generation and migration and determination of migration direction as well as exploration direction in the Ordos Basin [J]. Experimental Petroleum Geology, 1996, 18(4): 341-346.
- [18] 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, 160.
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, 160.
- [19] 肖新建, 李子颖, 方锡珩, 等. 东胜砂岩型铀矿床低温热液流体的证据及意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2004, 23(4): 301-304.
Xiao Xinjian, Li Ziyang, Fang Xiheng, et al. The evidences and significances of epithermal mineralization fluid in the Dongsheng sandstone type uranium deposit [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2004, 23(4): 301-304.
- [20] Schwarzer T F, Adams J A S. Rock and soil discrimination by low altitude airborne gamma-ray spectrometry in Payne County, Oklahoma [J]. Economic Geology, 1973, 68(8): 1297-1312.
- [21] 陶士振, 张宝民, 赵长毅. 流体包裹体方法在油气源追踪对比中的应用——以四川盆地碳酸盐岩大型气田为例[J]. 岩石学报, 2003, 19(2): 327-336.
Tao Shizhen, Zhang Baomin, Zhao Changyi. Application of fluid inclusion in oil-gas source trace [J]. Acta Petrologica Sinica, 2003, 19(2): 327-336.

(收稿日期 2006-08-23 改回日期 2007-04-09 编辑 张 怡)