

层间氧化带砂岩型铀矿流体地质作用的基本特点

吴柏林* 刘池洋 王建强

(大陆动力学国家重点实验室, 西北大学地质学系, 西安 710069)

摘要 通过对国内典型砂岩型铀矿——吐哈盆地十红滩矿床、伊犁盆地 512 矿床、鄂尔多斯盆地东胜矿床流体地质及其地球化学的研究, 揭示了层间氧化带型铀矿流体作用的组成、成分、成因以及各主要蚀变流体的温度、PH, Eh, 盐度、压力等物理化学性质. 由流体包裹体分析认为流体的基本组成可分为两部分: 一是为由包裹体氢、氧同位素特征可确认其为常温表生作用的大气降水, 二是含 CH_4 等烃类气体、 CO_2 及少量 H_2S , CO , H_2 , N_2 等组分的天然气, 在含油气盆地中往往含有少量的液态烃. 氧化蚀变带流体性质往往是氧化碱性的, 矿化作用阶段流体性质为中性或弱酸-弱碱及还原性, 而在 2 次还原或还原作用带流体是强还原碱性的. 流体中的含氧地下水是铀元素活化迁移的介质, 而天然气中的 CH_4 等烃类气体以及 H_2 , H_2S , CO 等则是铀矿物沉淀的重要还原剂; 流体环境的 PH, Eh 性质的转变是铀矿化形成的主要原因.

关键词 流体 层间氧化带 铀矿 包裹体 同位素

1 地质概况

早在 20 世纪的 50~60 年代, 前苏联, 美国就在主要为含油气背景的中新生代盆地中找到了大量的可地浸砂岩型铀矿, 并创立了层间氧化带型铀矿基本成矿理论. 该理论从 20 世纪 70 年代末由前苏联引入我国后, 目前已在伊犁盆地南缘, 吐哈盆地南缘及鄂尔多斯盆地北东缘东胜地区找到了大型层间氧化带砂岩型铀矿, 显示该类矿床在我国良好的找矿前景. 一系列的研究表明^[1~8], 国内该 3 个矿床呈现明显的层间氧化带型铀矿特征: 矿床定位在盆地边缘构造斜坡带上, 矿化受层间氧化带控制, 成矿年龄较青(多为 K_2 -E 之间), 铀矿物主要是沥青铀矿、铀石, 常伴生有 Mo, Se, V, Re 稀有元素等特点. 东胜矿床虽然由还原碱性的绿色蚀变带控矿, 但其空间分布与层间氧化带相似, 经研究, 是古层间氧化带经二次还原作用的结果^[9~10]. 因此, 国内上述 3 个典型矿床的成

因类型均为层间氧化带型.

国内外对层间氧化带砂岩铀矿流体的研究多集中在地下水方面, 尤其是现代地下水作用的研究, 而对古流体作用关注不够, 对有关水-烃类流体对砂岩再还原的系统研究更不多见, 仅见有美国学者对得克萨斯州与油气有关的砂岩铀矿床的研究^[11~13].

伊犁盆地 512 矿床和吐哈盆地十红滩矿床赋矿地层均为中下侏罗统水西沟群(图 1), 矿化主要赋存于河流相或河湖三角洲相砂体中. 该套地层同时也是含煤、油、天然气的层位. 东胜矿床赋矿层位为中下侏罗统直罗组, 矿化位于直罗组下段的辫状河砂体中, 一般矿化层之下约数米处即是延安组地层, 延安组顶部往往可见“漂白”砂岩层(图 1). 与前二矿床不同的是, 直罗组本身并不是含油气层位, 但却可见下部油气向上逸散后的一些地质现象, 如绿色蚀变、漂白现象等.

3 个矿床可见比较明显的流体作用后生蚀变现

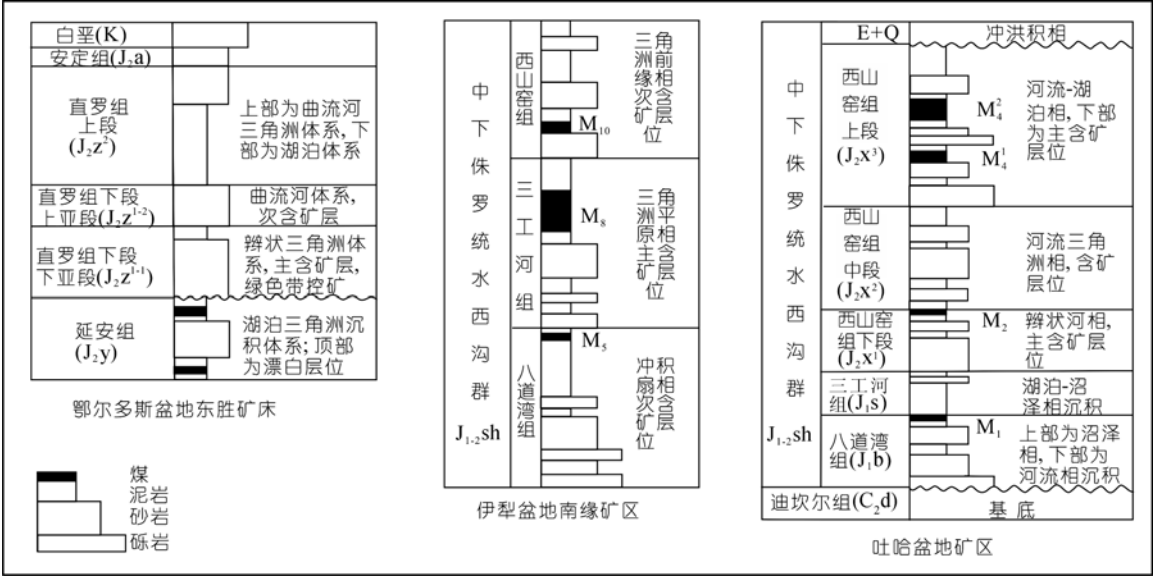


图 1 研究区地层结构模式示意图

象, 其中 512 矿床、十红滩矿床均发育氧化蚀变(褐铁矿化)、铀矿化、碳酸盐化等, 而 512 矿床氧化带前缘还见有褪色(漂白)蚀变现象. 东胜矿床则发育绿色控矿蚀变带(主要是还原性的铁镁绿泥石蚀变矿物组成)、铀矿化、氧化蚀变残留、碳酸盐化, 另外延安组顶部发育的砂岩漂白(高岭石化)现象也与铀矿化存在着内在的联系.

本文的研究正是选择了流体后生蚀变作用产物为研究对象, 如对碳酸盐胶结物、石英增生边等中的包裹体以及部分石英裂隙中的次生包裹体进行观察测试, 进而确认了流体作用的组成、成分、物理化学性质、氢、氧同位素等特点, 为揭示矿床成因类型提供了有力的证据.

2 样品的选取、处理与分析

对于研究区流体组成及成分的研究, 本文选取了含矿层位中的方解石脉、砂岩中碳酸盐胶结物及部分石英裂隙和石英增生边中的气-液包裹体进行观察及激光拉曼光谱探针成分分析, 测试单位为国土资源部西安地质矿产研究所, 测试仪器为法国J-Y公司 RAMANOR-U1000 型激光拉曼探针仪. 对于流体物理化学性质的测定, 例如温度, 是对包裹体进行均一法测试; 其次如盐度, 用冷冻法(冰点)测试; 而压力和密度是从NaCl, H₂O溶液的压力-温度-浓度-密度表中依据温度和盐度查得相对应的流体压力和密度 [14].

各蚀变阶段流体 PH, Eh 值的确定. 对各蚀变带

岩石碳酸盐胶结物分离后, 用爆裂法收取流体溶液(热爆超声波提取液, 5 ml/g), 直接测试 PH 值, 测试单位为国土资源部宜昌地质矿产研究所.

各蚀变流体包裹体氢、氧同位素的测定. 利用各蚀变带岩石碳酸盐包裹体爆裂法提取 H₂O 溶液, 测定其氢、氧同位素; 所用仪器为德国产 MAT251 质谱仪, 测试单位为国土资源部宜昌地质矿产研究所; 测试精度 99.2%~99.8%.

3 结果及认识

3.1 流体包裹体地质特征及组分

3 个矿区流体包裹体特征相似: 个体较大者大多是石英增生边及裂隙中的盐水溶液包体, 形态有椭圆形, 长条形及不规则状, 一般 1~2 μm, 少数可在 2~3 μm(图 2(a)~(c)); 而方解石胶结物中则含大量的细小气、液烃包裹体(图 2(d), (e)); 据观察, 一般均小于 1 μm, 极少数可达 1~2 μm.

可见流体组成由水溶液及天然气或烃类两部分构成. 据成分分析数据(表 1)可知, 流体成分以H₂O和CO₂占绝对优势, 另外还普遍地含有CH₄, C₂H₂等有机烃类组分; 从表 1 还看出, 流体中还检测出含有少量的H₂S, H₂, CO, N₂等成分. 按天然气的广义概念 [15], 说明流体中含有天然气组分及少量液烃成分. 其中的H₂S, H₂, CO, CH₄等是铀沉淀的重要还原剂 [16]. 另外, 还可看出, 在还原性蚀变带(绿色蚀变、漂白岩石、矿化岩石)所取样品流体中含有较多的烃类, H₂S,

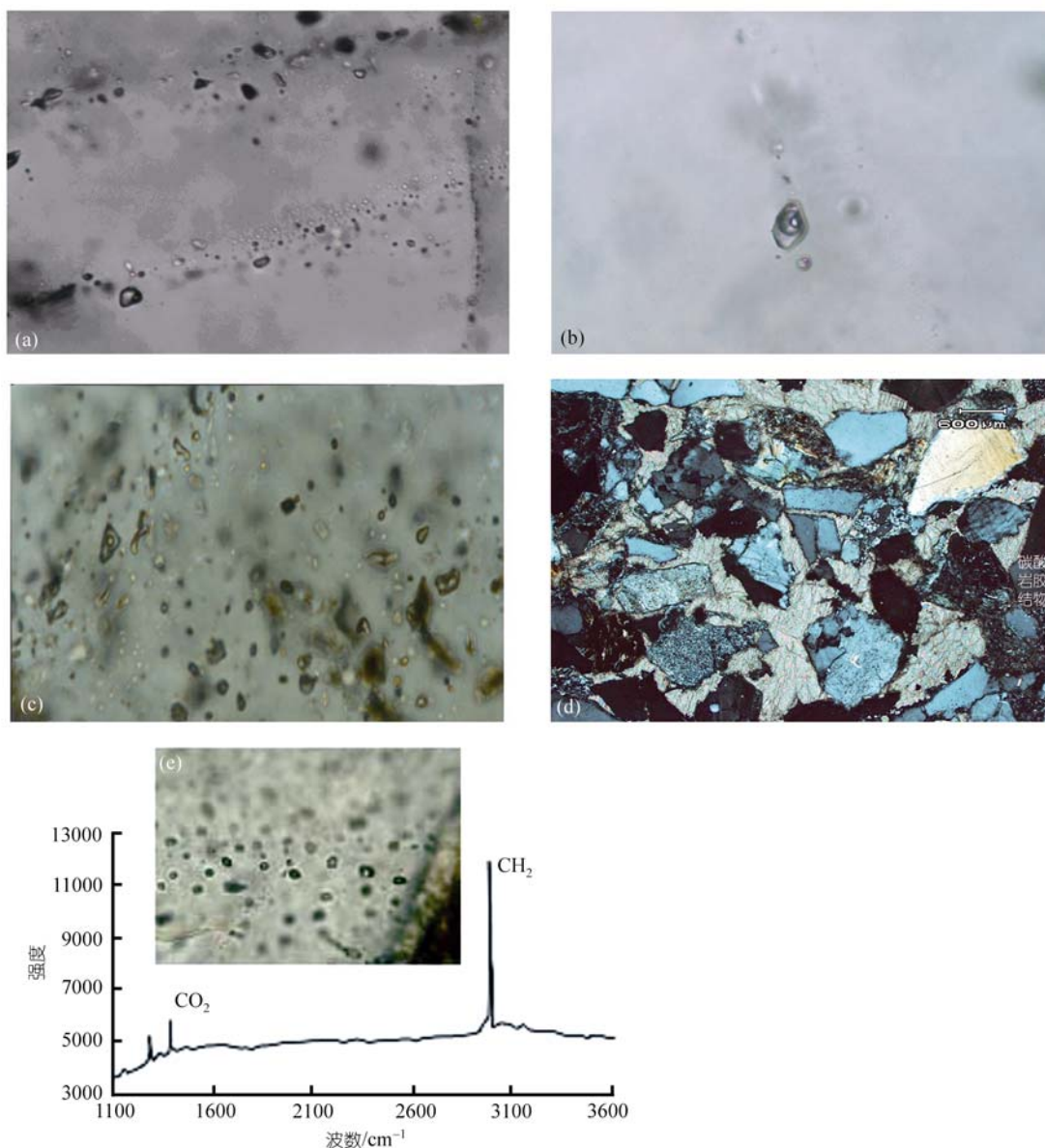


图2 研究区流体作用及包裹体特征显微照片

(a) 灰绿色砂岩中石英的脉状次生包裹体 $10\times 40(-)$, WDS03-13 (东胜矿床); (b) 东胜矿床砂岩中石英增生边的原生气-液包裹体, 其中的较大颗粒者 ($>5\text{ }\mu\text{m}$), $10\times 40(-)$, WDS03-124; (c) WB-74 石英次生边中较大颗粒的原生气液包裹体. 单偏光 $\times 500$ (吐哈矿区); (d) 碳酸盐胶结物. 岩石薄片, 东胜矿区, W04-118, $10\times 20(+)$; (e) 碳酸盐胶结物中的气相包裹体及其成分

CO 等还原性组分, 而在氧化蚀变带样品中则主要以水溶液为主, 还原性组分所占比例较少.

综上所述, 可以认为, 研究区砂岩型铀矿流体组成由两部分构成, 一部分为 H_2O 溶液, 另一部分为天然气及少量液烃的混合.

3.2 流体的物理化学性质

3.2.1 温度

从对研究区 3 个矿床流体包裹体均一法测试温

度统计的结果(图 3)中可以看出, 伊犁盆地、吐哈盆地矿区及东胜矿床所测试温度的范围分布分别是, $73\sim 93^\circ\text{C}$, 平均为 85°C ; $64\sim 117^\circ\text{C}$, 平均为 85°C ; $50\sim 125^\circ\text{C}$, 平均 103°C . 可见 3 个矿区流体温度特征相似, 但东胜矿床略偏高. 总体上均可分为两组, 即常温(东胜矿区约为 $50\sim 70^\circ\text{C}$, 大多数为 60°C 左右, 少量 60°C 以下的可能为误差所致; 其他两地区约为 $60\sim 90^\circ\text{C}$)及低温(东胜矿区 $100\sim 125^\circ\text{C}$ 左右, 其他两地区为 $100\sim 115^\circ\text{C}$)从样品统计数看出, 主要以常温分

表 1 鄂尔多斯、伊犁和吐哈盆地砂岩型铀矿蚀变流体包裹体激光拉曼光谱成分测试结果表^{a)}

地区	样品号	主矿物	物相	CO ₂	H ₂ S	CH ₄	H ₂ O	CO	N ₂	H ₂	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₆	C ₆ H ₆	总和	流体环境
鄂尔多斯盆地	DWW14	石英裂隙	液气	37.2	-	15.1	47.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	沉积成岩
				57.5	-	11.7	-	-	-	-	-	-	5.9	13.6	-	-	11.3	100	
	DWW45		液	35.75	-		54.8	-	-	-	4.6	-	-	-	2.7	-	2.11	100	古氧化蚀变
	DWW34	方解石	液	35	-	7.8	42	-	-	-	3.1	-	-	-	4.9	1.7	5.4	100	漂白蚀变
	DWW48	方解石	液	27.75	-		50.8	-	-	-	6.1	-	-	11.6	-	-	3.7	100	方解石脉
	DWW43	石英裂隙	液气	25.3	5.8		67.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.7	100	绿色蚀变
				45.5	-	11.9	-	34.4	-	3.6	3	-	1.6	-	-	-	-	100	矿化蚀变
	DWW22	石英增生边	液气	30.57	-	11.6	49.2	-	-	-	-	-	-	-	-	4.7	4	100	矿化蚀变
				73.9	-	19.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.4	100	蚀变
伊犁盆地	DWW25	石英裂隙	液气	30.4	-	-	37.8	-	-	-	5.7	12.2	-	13.9	-	-	-	100	原生带
				55	12.5	-	-	25.9	-	-	-	5.1	-	-	-	-	1.5	100	
	YW25	方解石	液气	26	14.5	-	56.19	-	-	-	-	-	2	-	-	-	1.3	100	沉积成岩
				52.6	-	-	-	-	29	-	-	-	9.9	-	-	-	8.3	100	
	YW38	石英增生边	液	38.71	-	13.3	45.2	-	-	-	-	-	-	-	-	2.8	-	100	氧化蚀变
	YW42	方解石	液	33.9	-	-	50.5	-	-	-	-	-	-	8.2	-	3.1	4.3	100	矿化蚀变
	YW12	方解石	液	22.3	-	-	56.8	-	-	-	-	13	3.8	-	-	4.1	-	100	灰绿色蚀变
	YW32	石英裂隙	液	34.1	-	7.9	50.7	-	-	-	5.4	-	-	-	-	-	1.9	100	灰色岩石
吐哈盆地	TW18	方解石	液	25.1	6.6	7.1	31.4	-	-	-	-	6.6	10.4	9.3	-	-	3.5	100	沉积成岩
	TW5	石英次生边	液	32	-	-	58.6	-	-	-	3.2	-	-	-	2.7	2.1	1.4	100	氧化蚀变
	WBW99	石英裂隙	液	33.63	6	-	53.4	-	-	-	4.4	-	-	-	-	-	2.6	100	矿化蚀变
	WB81	石英增生边	液气	19.3	-	1.9	74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.1	100	灰色岩石
				46.7	16.2	10.3	-	-		18.1	5.6	-	-	-	-	-	3.1	100	

a) 表内-为未检测出, 下同

布为主.因此,可以认为,层间氧化带型铀矿流体性质主要是常温兼具部分低温溶液的特点.

从东胜地区方解石脉天然气包体测温结果(图 3)反映,下部古生界逸散来源^[9]天然气温度范围为 90~160℃,主要集中于 130~150℃间,具有较高的温度;结合前面叙述可知,流体包体中含有天然气的组分;因此可以认为,具有较高温度的下部天然气逸散进入直罗组地层时,造成了表生常温的水溶液温度增高,是流体具有一定低温溶液性质的主要原因.

3.2.2 盐度、压力、密度

利用包裹体冷冻法(冰点)进行盐度测试的结果列于表 2 中.从中看出,吐哈矿区盐度 7.0%~9.7%,伊犁矿区 5.3%~7.5%,东胜矿区 0.6%~4.2%;可见,吐哈矿区古地下流体矿化度最高,伊犁矿区次之,东胜矿区较小.从所对应的压力和密度数值看(表 3),吐哈和伊犁矿区流体压力为(0.4~0.7)×10⁵ Pa;东胜矿区为(0.5~1.4)×10⁵ Pa,大多数为 1×10⁵ Pa 左右;而

密度均为 1.0 g/cm³±.因此,总体看压力较低,属浅成环境,且密度接近水溶液数值.结合流体成分测试中水为主要组分的特点,可认为该类矿床流体性质主要是表生浅成的水溶液.

总体看,东胜矿床相比吐哈和伊犁矿床,温度偏高,密度较小,但压力偏大,说明东胜矿床的形成逸散天然气来源于更深的深度,从后面的叙述可知,是来自于成熟度较高的下部古生界而不是含矿层本身;这一点与后二矿床明显不同.

3.2.3 后生蚀变流体的 PH, Eh 值

经研究,3 个矿区流体的后生蚀变作用具有明显的阶段性或分带性,判别其先后顺序的依据主要是野外现象的观察:顺着地层走向及地下水的流向,依次先后出现氧化蚀变、绿色蚀变(或漂白现象)、矿化蚀变以及原生未蚀变岩石带;而黄铁矿化和碳酸盐化在各个蚀变阶段均能看到;另外,从蚀变岩石的镜下结构观察也同样验证了蚀变作用分带的先后顺序.

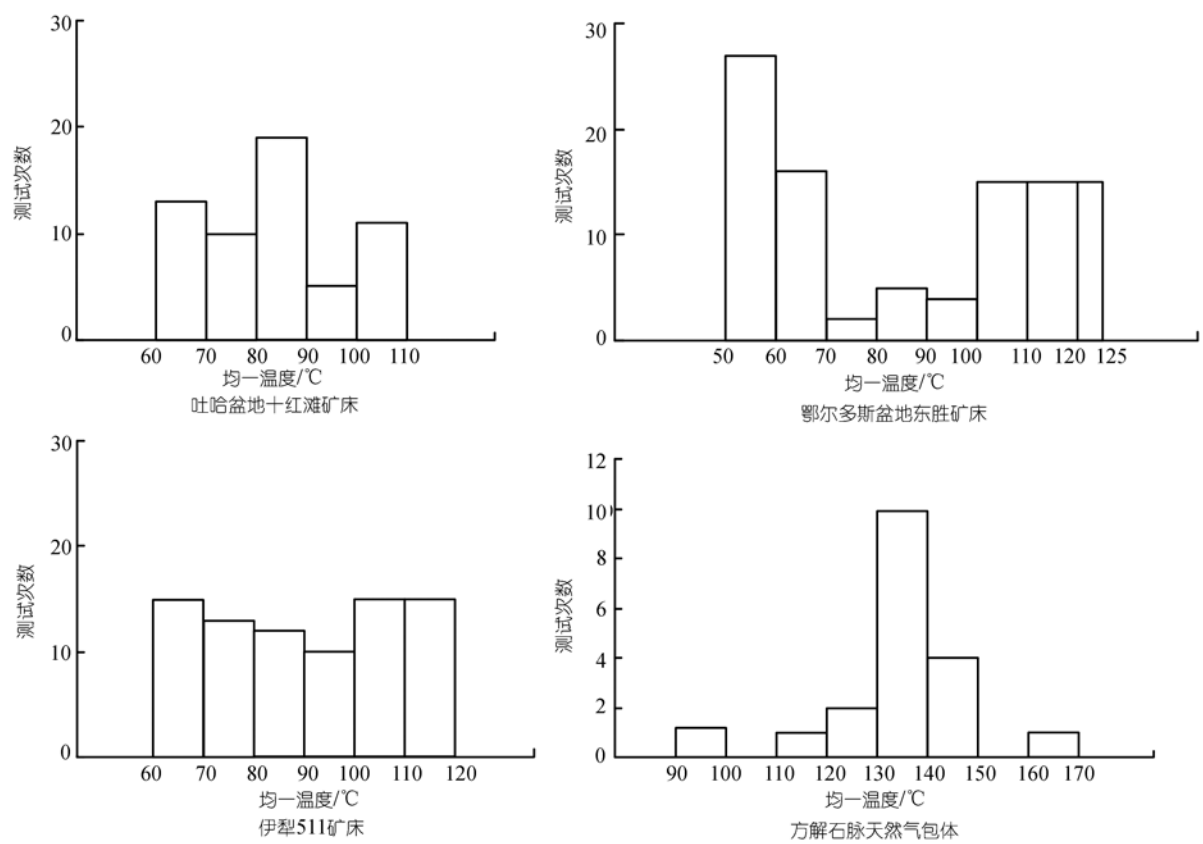


图3 包裹体均一法测试温度的结果

表2 鄂尔多斯、伊犁和吐哈盆地砂岩型铀矿盐度测试数据(冷冻法)

地区	样号	岩性	主矿物	包体类型	冷冻温度范围/℃	盐度范围/%	平均盐度/%, (n)次
东胜矿床	WDS03-86	砂岩矿石	石英裂隙	次生	-2.3~-0.7	1.2~3.9	2.57(3)
	WDS03-66	灰色中砂岩			-1.5~-1.8	2.6~3.0	2.80(2)
	WDS03-80	钙质细砂岩			-2.8~-0.6	1.1~4.6	3.65(3)
	WDS03-74	砂岩矿石			-1.2~-0.3	0.6~2.1	1.90(3)
	WDS03-105	浅黄绿砂岩			-3.0~-0.6	1.1~5.0	4.15(3)
伊犁盆地511, 512矿床	WDS03-62	钙质中砂岩	方解石	原生	-0.45~-0.21	0.4~0.8	0.60(2)
	Yw21				-4.7~-4.8	7.4~7.6	7.5(2)
	Yw25				-5~-2.5	4.2~7.9	6.4(3)
	Yw30	灰色钙质胶结砂岩			-4.1~-2.4	4~6.6	5.3(6)
	Yw32				-4.7~-2.7	4.5~7.4	6.4(6)
十红滩矿床	Yw33				-5.4~-3.2	5.2~8.5	6.4(4)
	WBW87	灰色钙质胶结砂岩			-4.8~-3.6	5.8~7.6	7.0(3)
	WBW88				-7.7~-3.6	5.8~11.4	7.6(8)
	WBW97	红色钙质砂岩			-4.4~-6.7	7.0~10.1	7.7(7)
	WBW98				-7.6~-2.4	4~11.3	9.7(5)
	WBW99	钙质砂岩			-8.6~-4.0	6.4~12.4	8.2(5)

按前面介绍的方法, 测得3个矿区各后生蚀变阶段流体的pH值及相应Eh值, 见表4所示. 从中看出3个矿区pH, Eh值反映出如下的特征: 从古生界蚀源区流体→成岩期流体→氧化带流体→漂白岩石带流体→绿色蚀变带流体→矿化带流体→原生灰色岩石带流体的系列变化过程中, (i) pH值的变化规律是: 弱碱→(弱酸—弱碱)→弱碱→强酸→强碱→中性或(弱酸—弱碱)→碱性; 也就是说, 造成漂白蚀变的流

表 3 鄂尔多斯、伊犁和吐哈盆地砂岩型铀矿流体包裹体压力和密度数值

地区	样号	岩性	主矿物	压力/ 10^5 Pa	密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
东胜矿床	WDS03-86	砂岩矿石	石英	1.4	0.965
	WDS03-66	疏松浅灰色中砂岩		1	0.972
	WDS03-80	浅红色钙质细砂岩		1	0.993
	WDS03-74	钙质中砂岩, 矿石		1	0.972
	WDS03-105	浅黄绿色中砂岩		1	0.993
伊犁盆地 512 矿床	Yw21	灰色钙质胶结砂岩	方解石	0.7	1
	Yw25			0.7	1
	Yw30			0.7	1
	Yw32			0.7	1.035
	Yw33			0.7	1
	WBW87			0.5	1.006
	WBW88			0.5	1.006
十红滩矿床	WBW97	红色钙质胶结砂岩		0.4	1.041
	WBW98	胶结砂岩		0.4	1.041
	WBW99	灰色钙质胶结砂岩		0.7	1.035

表 4 各蚀变阶段方解石胶结物流体作用 PH, EH 值

地区	样号	岩性、地化类型或位置	PH	Eh(伏)	说明
东胜矿床	DWW2	蚀源区	8.3	0.15	$T=55^{\circ}\text{C}$
	DWW14	成岩阶段	8.1	0.03	$T=100^{\circ}\text{C}$
	DWW17	成岩阶段	6.8	0.23	
	FD2	红色古氧化岩石	8	0.19	$T=55^{\circ}\text{C}$
	DWW34	漂白岩石	6.7	—	—
	DWW48	方解石脉	8.3	-0.06	$T=120^{\circ}\text{C}$
	DH3	黄绿色岩石	8	-0.02	
	DH1	矿化岩石	7.3	0.09	$T=120^{\circ}\text{C}$
	DWW16	浅灰色岩石、矿化后	8.3	0.06	$T=80^{\circ}\text{C}$
伊犁 511-512 矿床	YW1	蚀源区灰岩中方解石脉	7.7	0.18	$T=70^{\circ}\text{C}$
	FY-1	成岩期	8.1	0.03	
	FY-3	成岩期	7.5	0.12	$T=100^{\circ}\text{C}$
	FY-4	成岩期	8	0.05	
	FY-5	红色岩石	7.9	0.16	$T=70^{\circ}\text{C}$
	FY-8	灰绿岩石	8.1	0.03	
	FY-9	矿化岩石	8.3	0	$T=100^{\circ}\text{C}$
	FY-11	灰色岩石, 矿化后	8.5	0.04	
十红滩矿床	TW3	蚀源区	8.3	0.1	$T=80^{\circ}\text{C}$
	FT1	成岩阶段	8	0.05	$T=70^{\circ}\text{C}$
	FT3	红色岩石	7.8	0.17	$T=100^{\circ}\text{C}$
	FT6	灰绿色岩石	8.6	-0.04	$T=100^{\circ}\text{C}$
	FT8	矿化岩石	7.9	0.06	
	FT5	漂白岩石	5.8	—	—
	FT9	灰色岩石	8.2	0.08	$T=80^{\circ}\text{C}$

体 pH 值是酸性的, 成岩期流体既有酸性又有碱性, 氧化蚀变、绿色蚀变和原生未蚀变带流体以碱性为主, 而矿化蚀变流体以中性或弱酸→弱碱为主. 因此, 铀矿化的形成阶段流体 pH 值以接近中性为特点. (ii) Eh 值的变化规律或性质相应为, 氧化→氧化→氧化→还原(有待进一步研究)→强还原→(弱还原—还原)→还原. 也就是说, 矿区蚀源区流体、成岩期流体、氧化带流体 Eh 值反映是氧化性质的, 而漂白现

象、绿色蚀变、矿化蚀变的 Eh 值环境为还原或强还原性的.因此,在从氧化带向矿化带过渡的过程中, Eh 值由氧化变为还原,这就是铀矿化形成的关键的地球化学制约因素,这也正是层间氧化带控矿宏观现象的主要地球化学原因.也就是说,流体环境变为强还原性是铀矿化形成的关键因素.

3.3 各蚀变阶段流体的氢、氧同位素特征

按前述方法测试了研究区各蚀变阶段流体包裹体的氢、氧同位素特征,结果见表 5 和图 4、5 所示.

从中看出:(1)东胜矿床碳酸盐包裹体 δD 为 $-31.6\text{‰} \sim -0.7\text{‰}$, $\delta^{18}O$ 为 $12.31\text{‰} \sim 30.99\text{‰}$ (蚀源区 δD 为 -54.6‰ , $\delta^{18}O$ 为 -0.15‰);伊犁矿区样品 δD 为 $-46.0\text{‰} \sim -5.7\text{‰}$, $\delta^{18}O$ 为 $9.65\text{‰} \sim 22.49\text{‰}$ (蚀源区方解石脉为 $\delta D -67.2\text{‰}$, $\delta^{18}O$ 为 -10.07‰);吐哈矿区 δD 为 $-46\text{‰} \sim -18.7\text{‰}$, $\delta^{18}O$ 为 $10.74\text{‰} \sim 16.98\text{‰}$ (蚀源区方解石脉为 $\delta D -80.5\text{‰}$, $\delta^{18}O$ 为 -5.84‰).

(2) 总体看,研究区(矿区)碳酸盐包裹体 δD 为 $-46\text{‰} \sim -0.7\text{‰}$, $\delta^{18}O$ 为 $9.65\text{‰} \sim 30.99\text{‰}$, δD 并未出现负值比 $\delta D = -50\text{‰}$ 更大负值的样品;依据地壳中不同产状水具有的同位素组成规律^[17],认为成矿溶液地下水来源于大气降水,而不是来源于变质水成因.

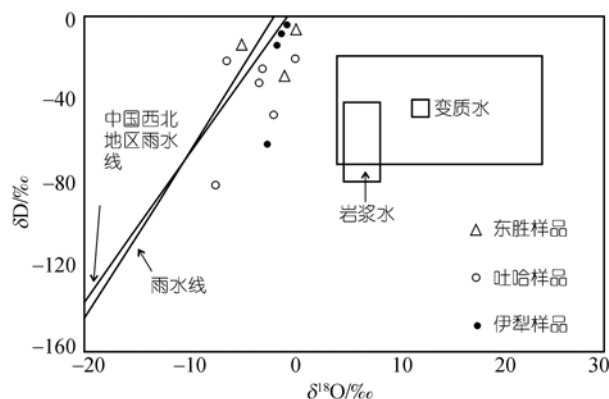


图4 研究区砂岩铀矿碳酸盐矿物包裹体中 $\delta D - \delta^{18}O$ 组成图

(3) 蚀源区(即深部)流体 $\delta D < -50\text{‰}$, $\delta^{18}O$ 为 $-0.15\text{‰} \sim -10.07\text{‰}$, 具深成热卤水或变质水的特征,故而,我们认为,矿区成矿热液之水溶液主要来自于大气降水或地表水,而不是来自于深部的深成热卤水或变质水的混合热液.这种表生浅成的大气降水含丰富的氧气,是铀氧化活化迁移的重要介质.

(4) 在 $\delta D - \delta^{18}O$ 图解上样品具一定的线性拟合关系,分布在大气降水线附近;但是 δD 值明显偏高,即 δD 有“上飘”现象;其原因作者认为是包体中水与其中的有机烃类气体如 CH_4 等进行了同位素交换的效应,即是受到了有机成分气体等天然气的混染而造成的.从这一现象也说明了流体中天然气的存在和作用.

(5) 在流体后生蚀变演化过程中,其 δD , $\delta^{18}O$ 同位素组成出现一定规律性变化(图 5): 即从成岩期流体 $\rightarrow$ 氧化蚀变流体 $\rightarrow$ 漂白蚀变流体(东胜) $\rightarrow$ 绿色蚀变流体(东胜) $\rightarrow$ 矿化蚀变流体的演变过程中,其 δD , $\delta^{18}O$ 逐渐增大,并在矿化蚀变流体中达到峰值(吐哈地区 δD 值变化略有所不同),之后在原生带及褪色蚀变带(吐哈、伊犁)又呈下降趋势.这个现象说明了在成矿阶段流体的改造活动及同位素分馏作用最为强烈;导致 $\delta D - \delta^{18}O$ 线性关系偏离大气降水线.因为成矿阶段流体处于一种较强的还原性环境之中,故而 δD , $\delta^{18}O$ 达到一个峰值实际表明了还原性流体作用处于强烈时期.

(6) 这种在矿化带中古流体 $\delta^{18}O$, δD 最高的特征,可以用来作为流体包裹体地质找矿的一种地球化学标志,这在国内外尚未见报道.造成这种现象的原因,很明显是因为在矿化带中水岩作用最强烈,是 ^{18}O 同位素组合从岩石进入流体相的原因造成的.

至于 δD 的偏高,是由于成矿有利构造部位中有丰富的有机还原剂,天然气中主要还原气体如 H_2 , H_2S , CH_4 等,它们与大气降水相遇发生同位素交换混染,使水中的 D 值增高,促使了地下水的 D 增高或发生“上漂”现象^[18].因此,矿化带岩石碳酸盐流体包裹体 δD 值的增高同时也证明了天然气在成矿中所起的主要作用.

4 结论

通过上述各部分的论述,可以得出如下基本的结论:

(1) 由包裹体的观察和成分测试表明,层间氧化带型铀矿流体组成普遍由两部分组成,一是表生浅成的地下水溶液,二是天然气的组分混合,是一种“气-水混合型”溶液.

(2) 流体的性质以常温常压为主,但由于具有低温性质的天然气的逸散混合,使得流体具有一定的低温溶液性质.

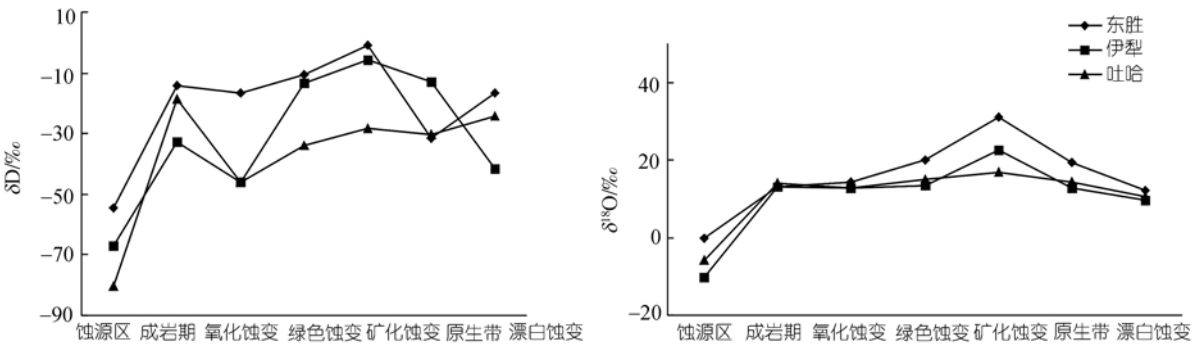


图 5 中国西北地区砂岩型铀矿方解石包裹体氢、氧同位素变化特征图示

表 5 中国西北地区砂岩型铀矿方解石包裹体氢、氧同位素分析数据表/‰

地区	样号	主矿物或钙质胶结岩石地化类型	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$	$\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$	校正 $\delta^{18}\text{O}$ 水
东胜矿床	DWW16	成岩阶段灰色钙质砂岩中碳酸盐	13.15	-14	
	DWW2	蚀源区硅质+方解石脉	-0.15	-54.6	
	FD2	红色古氧化砂岩中碳酸盐	14.37	-16.5	-6.425
	DWW34	漂白砂岩中碳酸盐	12.31	-16.5	
	DH3	灰绿色钙质砂岩中碳酸盐	20.09	-10.7	
	DH1	浅灰色钙质砂岩, 矿化岩石	30.99	-0.7	1.779
	DWW28	浅灰色钙质砂岩	19.3	-31.6	-0.149
伊犁盆地 511 矿床	YW1	蚀源区灰岩中方解石脉	-10.07	-67.2	-3.788
	FY-1	成岩期“钙质层”中碳酸盐	13.26	-32.6	
	FY-5	红色钙质砂岩中碳酸盐, 氧化岩石	12.91	-46	
	FY-7	漂白钙质砂岩中碳酸盐	9.65	-41.6	
	FY-8	灰绿色钙质砂岩中碳酸盐	13.47	-13.5	-0.439
	FY-9	灰色钙质砂岩中碳酸岩, 矿化岩石	22.49	-5.7	1.035
	FY-11	灰色钙质砂岩中碳酸岩, 矿化后蚀变	12.89	-12.9	-2.738
吐哈盆地十红滩矿床	TW3	蚀源区火山凝灰岩中方解石脉	-5.84	-80.5	-7.933
	FT1	灰色钙质砂岩中碳酸岩, 成岩期	14.01	-18.7	-7.418
	FT3	红色钙质砂岩中碳酸盐, 氧化岩石	12.91	-46	-1.923
	FT6	浅灰绿色钙质砂岩中碳酸盐, 绿色蚀变	14.92	-33.8	-3.83
	FT8	灰色钙质砂岩中碳酸盐, 矿化蚀变	16.98	-28.2	-3.882
	FT5	漂白钙质砂岩中碳酸盐	10.74	-24.3	
	FT9	灰色钙质砂岩中碳酸盐, 矿化后蚀变	14.45	-30.2	1.561

(3) 铀矿化阶段流体的 pH 性质为中性(或弱酸-弱碱), Eh 为还原(或强还原)环境.而氧化蚀变带流体是氧化碱性的, 漂白及绿色蚀变的流体性质是还原性的. 由氧化带过渡到铀矿化带, pH, Eh 值均急剧降低, 环境由氧化转变为还原性, 这就是铀矿化受层间氧化带控制的主要地球化学机理.

(4) 由各蚀变流体包裹体水的氢、氧同位素组成特征反映, 流体中水的来源为大气降水; 在各蚀变阶段中, 铀矿化蚀变其流体水的氢、氧同位素数值最大, 这一方面充分反映了天然气是层间氧化带型铀矿流

体的一个组成部分, 另一方面也说明了天然气在铀成矿中的重要还原作用.

参 考 文 献

1 刘家铎, 林双幸. 伊犁盆地南缘侏罗系沉积微相及铀矿控矿条件研究. 矿物岩石, 2003, 23(1): 30—36

2 陈戴生, 王瑞英, 李胜祥. 伊犁盆地层间氧化带型砂岩铀矿成矿模式. 铀矿地质, 1997, 13(6): 327—335

3 吴伯林, 徐高中, 李卫红, 等. 吐哈盆地地浸砂岩型铀矿成矿条件与盆地动力学演化. 中国地质, 2004, 31(1): 101—107

4 吴伯林, 权志高, 魏观辉, 等. 吐哈盆地西南缘砂岩型铀矿地质地球化学基本特征. 矿床地质, 2005, 24(1): 32—43

- 5 吴伯林, 黄志章, 李秀珍, 等. 吐哈盆地西南缘古流体地质作用与砂岩型铀矿成矿作用初探. 铀矿地质, 2003, 19(6): 326—332
- 6 杨殿忠, 夏斌, 吴国干. 吐哈盆地西南部砂岩铀矿层间氧化带发育特征. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2003, 33(7): 658—664
- 7 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. 铀矿地质, 2003, 19(3): 129—136
- 8 朱西养, 彭新建, 等. 新疆十红滩层间氧化带型砂岩铀矿同位素地球化学研究. 矿床地质, 2004, 23(4): 443—451
- 9 吴柏林, 王建强, 刘池洋, 等. 东胜砂岩型铀矿形成中的天然气地质作用的地球化学特征. 石油与天然气地质, 2006, 27(2): 225—232
- 10 吴柏林, 刘池洋, 张复新, 等. 东胜砂岩型铀矿后生蚀变地球化学性质及其成矿意义. 地质学报, 2006, 80(5): 740—747
- 11 Adams S S, Smith R B. Geology And Recognition Criteria for Sandstone Uranium Deposits in Mixed Fluvial-shallow Marine Sedimentary Sequences, South Texas. U. S. Department of Energy. Grand Junction Office, Colorado, USA, 1981
- 12 Crawly R A. Sandstone Uranium Deposits in the United States: A Review of the History, Distribution, Genesis, Mining Areas and Outlook. U. S. Department of energy Assistant Secretary for Nuclear Energy Grand Junction Area Office, Colorado, Match, 1983
- 13 Finch W I. Uranium Provinces of North America——Their Definition, Distribution, and Models. U. S. Geol Surv Bull, 1996, 2141: 18
- 14 卢焕章, 李秉伦, 沈昆, 等编. 包裹体地球化学. 北京: 地质出版社, 1990. 34—35
- 15 中国科学院地球化学研究所, 编. 高等地球化学. 北京: 科学出版社, 2000. 401—491
- 16 王驹, 杜乐天. 论铀成矿过程中的气还原作用. 铀矿地质, 1995, 11(1): 1—24
- 17 赵伦山, 张本仁, 主编. 地球化学. 北京: 地质出版社, 1987. 194—201
- 18 王恒纯. 同位素水文地质概论. 北京: 地质出版社, 1990. 256