新疆喀什凹陷巴什布拉克铀矿流体包裹体及有机地球化学特征

韩凤彬[1] 陈正乐[1] 陈柏林[1] 李细根[2] 刘增仁[3]

(1.中国地质科学院地质力学研究所,北京 100081; 2. 核工业 216 大队,新疆 乌鲁木齐 830011; 3.有色金属矿产地质调查中心新疆地质调查所,新疆 乌鲁木齐 830011)

提要:巴什布拉克铀矿床位于新疆喀什凹陷北西部一套陆相碎屑沉积岩中。野外调查发现,伴随铀矿化发育大量地沥青、油气残留物。本文对采自巴什布拉克铀矿床的地沥青含矿砂岩矿石进行了流体包裹体测试和有机地球化学分析,以确定成矿流体的温度和盐度以及成矿物理化学背景,追索有机质的来源,进而探讨矿床成因。镜下观测发现,含矿砂岩中含有大量的油气包裹体,其中以液烃包裹体为主,含有少量气液烃包裹体和含烃盐水包裹体。流体包裹体测温结果表明,成矿流体均一温度为 71~193℃,盐度为 0.71~23.05(wt% NaCl),整体上属于低温低盐度的成矿流体。同时求得巴什布拉克铀矿成矿压力为 77.90~211.75(10^5Pa),成矿深度在 0.26~0.71 km。有机地球化学分析表明,矿区有机质的氯仿沥青"A"变化不大,为 0.0019%~0.0026%,有机质来源以海相藻类为主。样品的 OEP(奇偶优势指数)为 0.72~0.84,平均为 0.78,显示了有机质高成熟的特征;CPI(碳优势指数)为 1.16~1.35,平均为 1.25,指示热演化程度较高;Pr/Ph(姥鲛烷/植烷)为 0.77~1.01,平均为 0.89,说明有机质处在还原环境中。结合野外地质特征,认为巴什布拉克铀矿床为油气还原成因,沿断裂和岩石孔隙上升的油气的还原作用是铀成矿的主要因素。

关 键 词:流体包裹体;有机地球化学;铀矿;巴什布拉克;喀什凹陷

中图分类号:P619.14 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2012)04-0985-14

有机质与金属成矿关系的研究是横跨矿床学、矿床地球化学和有机地球化学的一个重要方向。在金属元素成矿过程中,有机质起着重要作用[1-5]。前人已经从不同角度研究了有机质、油气与金属矿床之间的关系[1-9]。中国许多著名矿床如金顶铅锌矿[10-13]、滇中砂岩铜矿[14]和滇黔桂微细浸染型金矿[15-17]等均与有机质有一定的成因联系。前人对铀矿与有机质之间关系的认识多强调有机质及硫化物对层间渗入氧化水中铀的还原吸附作用[18-29],而对同盆地产出的油气与铀成矿之间的关系关注较少。因此,深入探讨铀矿与油气赋存的空间关系、形成时间的先后关系和成因上的联系,不仅有助于阐明各自成矿(藏)规律,更有助于扩大勘查研究方向,提高能源资源勘查效率。

位于塔里木盆地喀什凹陷的巴什布拉克铀矿属于砂岩型铀矿床。前人已从区域地质、矿床特征以及遥感地质等方面做了大量研究,积累了大量资料[30-42],但缺乏对该矿床的成矿流体和有机地球化学方面的研究,因而对其成因争论较大[30,34,36,38,41-42]。本次研究在其含矿砂岩中发现了大量油气包裹体并进行了测试,同时也进行了有机地球化学分析,着重研究了铀成矿流体演化及油气运移与铀成矿之间的关系,探讨了铀成矿过程, 旨在为有机质成矿研究提供新的案例,同时为区域铀矿找矿工作部署提供科学依据。

1 矿床地质概况

巴什布拉克铀矿位于塔里木中—新生代盆地喀

收稿日期:2011-12-10;**改回日期**:2012-03-12

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973)项目(2007CB411305)、国家自然科学基金项目(41072071)、国家 305 项目(2006BAB07B04-02、2011BAB06B05-03)和全国危机矿山接替资源找矿项目(20089950)资助。

作者简介:韩凤彬,男,1981 年生,博士生,主要从事矿床学和矿田构造研究;E-mail:liclei@126.com。

什凹陷内,为南天山和西昆仑两大造山带所夹持。区域地层从元古宇至新生界均有出露。元古宇浅变质岩是区域铀成矿的来源区[30-42],古生界主要为一套浅变质碎屑岩和碳酸盐系,两者构成基底;盖层为中新生界碎屑岩-碳酸盐岩系[43,44]。受西南天山向南推覆和帕米尔弧形构造带向北推覆的共同影响以及塔里木地块的制约,区域构造活动强烈,逆冲断裂和褶皱发育。区域断裂大致可分为三大断裂体系:塔拉斯—费尔干纳断裂系、南天山山前断裂系和西昆仑山前断裂系(图 1-a)。这 3 组区域断裂基本控制了区域内中新生代油气、铀、铅锌等矿产的分布[45]。

巴什布拉克铀矿包括巴什布拉克矿床、卡拉达尔布拉克矿化点、达克图布拉克矿化点、康苏矿化点等(图 1-b)。铀矿化产于下白垩统(K_1)一套红色陆相碎屑沉积岩中,自下而上由底部砾岩系、下红色岩系、含矿砂砾岩系和上红色岩系组成,岩性主要为砂岩、砂砾岩,整体上呈 NWW 向展布,不整合在元古宇、古生界和侏罗系之上。含矿层含有大量沥青质。含矿主岩为下白垩统碎屑岩系,其内未见炭化植物碎屑等陆源有机物质。

矿区内的断层主要是巴什布拉克盆地边缘断层[39]。该断层属南天山山前断裂系,是南天山逆冲推覆带与塔里木地台的边界断裂,整体上沿巴什布拉克盆地北缘呈 NWW 向展布,切割下白垩统和古近系,在矿区内长约 30 km,宽十至几十米,倾向 SW,倾角 35°。断裂构造上盘为白垩系,下盘为元古宇变质岩系,具有典型的盆缘断裂特征。该断层导致了一条延伸长、切割深度大、发育有油气还原蚀变的构造-蚀变带[39]。

矿床含矿带厚度 100~130 m。目前共发现 12 层工业矿体,矿体产状与含矿岩层一致,形态呈层状、板状和透镜状(图 2),其中最大埋深约 700 m。矿层

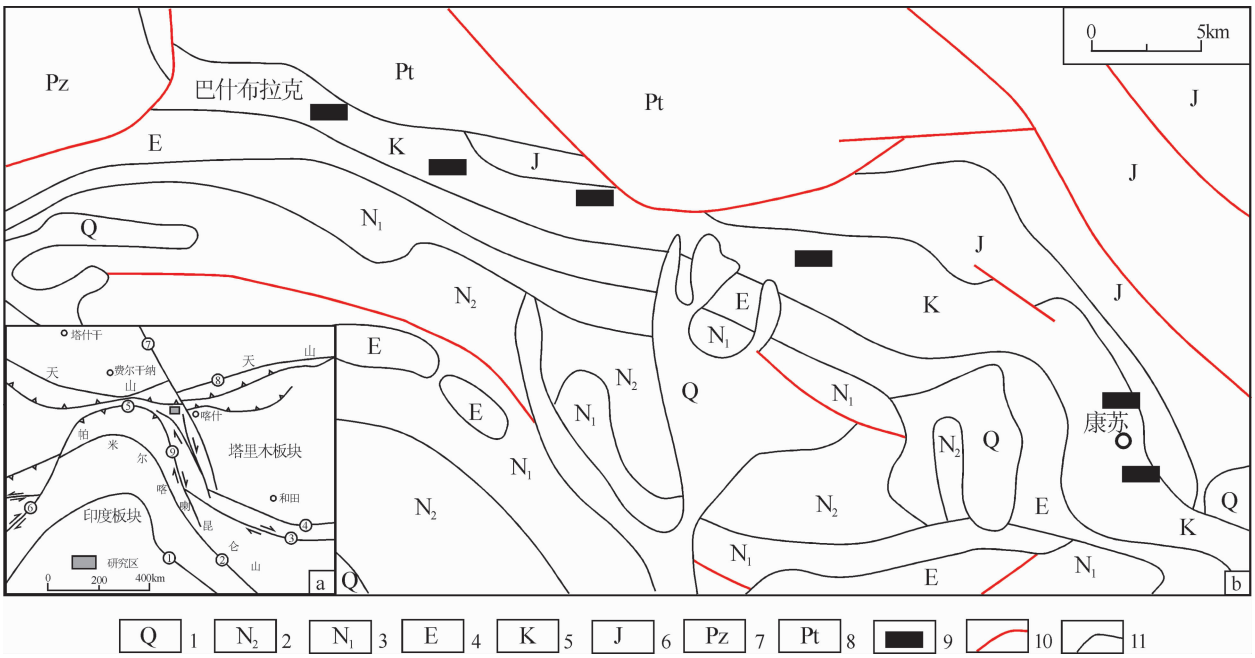


图 1 巴什布拉克铀矿大地构造位置(据李向东等,2002)[43]及矿区地质简图(据黄以,1997)[42]

①喜马拉雅-印度河缝合带;②双湖-空喀山口缝合带;③康西瓦右行走滑断裂带;④库地北缝合带;⑤帕米尔前缘逆冲推覆构造带;⑥恰曼左行走滑断裂系;⑦塔拉斯-费尔干纳右行走滑构造带;⑧天山缝合带;⑨塔什库尔干右行走滑构造带

1—第四系;2—上新统;3—中新统;4—古近系;5—白垩系;6—侏罗系;7—下古生界;8—元古宇;9—铀矿;10—断层;11—地质界线

Fig.1 Tectonic and geological map of the Bashibulake uranium deposit

a: Tectonic map of the Bashibulake uranium deposit(after Li Xiangdong et al., 2002[43])

① Himalayan - Indus River suture zone; ② Shuanghu-Kongkashankou suture zone; ③ Kangxiwar dextral strike slip belt; ④ North Kudi suture zone; ⑤ Pamir frontal margin thrust belt; ⑥ Qiaman sinistral strike slip fault system; ⑦ Talas-Ferghana dextral strike slip fault; ⑧ Tianshan suture zone; ⑨ Taxkorgan dextrall strike slip belt

b: Geological sketch map of the Bashibulake uranium deposit(after Huang Yi, 1997)[42]

1-Quaternary; 2-Pliocene; 3-Miocene; 4-Paleogene; 5-Cretaceous; 6-Jurassic; 7-Lower Paleozoic; 8-Proterozoic; 9-Uranium deposit; 10-Fault; 11-Geological boundary

中显示大规模油碛并产出大量固体沥青，矿体严格受地沥青化岩石控制，基本不超出地沥青分布的范围[36]。与古元古界(Pt_1)接触的矿层底部厚层泥岩裂隙中存在液态石油,但没有铀矿化[34]。铀矿物主要为沥青铀矿、含铀地沥青和铀黑,次生铀矿物主要有板菱铀矿、钒钙铀矿、矽镁铀矿和铜铀云母等。其他金属矿物以黄铁矿最为常见，同时可见方铅矿、闪锌矿、黄铜矿和辉钼矿等。

2　围岩蚀变

巴什布拉克铀矿围岩蚀变十分发育，大致可分为早期的褪色蚀变和晚期的二次氧化-还原蚀变两类。宏观上表现为由油气还原作用形成的大规模的褪色蚀变，铀矿化与此关系密切。由于油气还原作用，该区原始为红色、紫红色的白垩纪地层变为灰色、灰绿色,多处可见大量黄色、灰黑色条带或斑点的现象(图 3-a)。矿化地段蚀变岩的颜色为灰色、灰绿色,灰色、灰绿色砂岩进一步受后期地下水或地表水氧化后在浅表处颜色变为黄色、浅黄色。

褪色蚀变是在成矿过程中发生的，包括碳酸盐化、黄铁矿化。碳酸盐化是石油、沥青质及烃类等氧化破坏的产物,其特点是钙质方解石化。黄铁矿化是由高价铁被还原为低价铁引起的，是红色砂岩转化为灰色砂岩的重要原因。同时,巴什布拉克铀矿地沥青十分发育(图 3-b,c,d)。地沥青是石油渗出地表后经长期暴露和蒸发而发生氧化作用后的产物。巴什布拉克铀矿地沥青一是直接充填于节理和裂隙中,二是以胶结物或薄膜的形式存在于含矿砂砾岩、砂岩和泥岩表面,总体上都分布于上、下泥岩层间的透水层中。一般来说,地沥青化强,铀矿化好[36]。

由于油气还原作用，原始的红色砂岩变为具有相对还原环境的灰色(深灰色、黑色)砂岩后,灰色砂岩再次受到氧化作用,变为黄色砂岩,在地表形成以黄色、浅黄色为主的砂岩区。这就是晚期的二次氧化-还原蚀变。局部地段由于氧化作用不彻底,可见到油气蚀变形成的灰色、蓝灰色砂岩残余。二次氧化-还原蚀变主要包括褐铁矿化、赤铁矿化、粘土化和方解石化,此外还可见一些石膏薄层。

主要蚀变矿物有赤铁矿、方解石、高岭石和黄铁矿。

3　样品与测试

本次研究采集了巴什布拉克铀矿的 2 件地沥青砂岩矿石样品,对其进行了流体包裹体测试。首先,

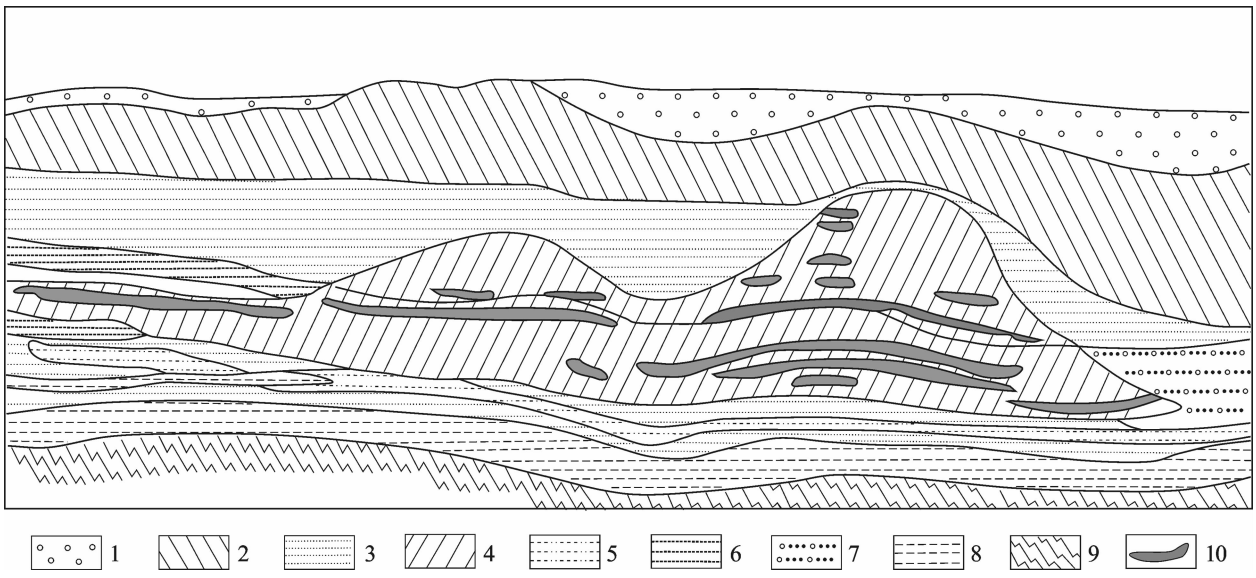


图 2　巴什布拉克铀矿区剖面图(据刘武生等,2006)[41]
1—第四系;2—下白垩统红色建造层;3—下白垩统被还原的灰色建造层;4—含沥青带;5—含油气带;6—砂岩层;7—砂砾岩层;8—泥岩、粉砂岩层;9—基底结晶片岩;10—铀矿体
(注:原图未标剖面方向和比例尺)

Fig.2　Geological section of the Bashibulake uranium deposit (after Liu Wusheng et al., 2006)[41]
1-Quaternary; 2-Lower Cretaceous red formation; 3-Lower Cretaceous reduced gray formation, 4-Bituminous zone; 5-Oil and gas zone; 6-Sandstone; 7-Conglomerate; 8- Mudstone and siltstone; 9-Crystalline schist; 10-Uranium ore body
(Note:Profile direction and scale are not shown in the original drawing)

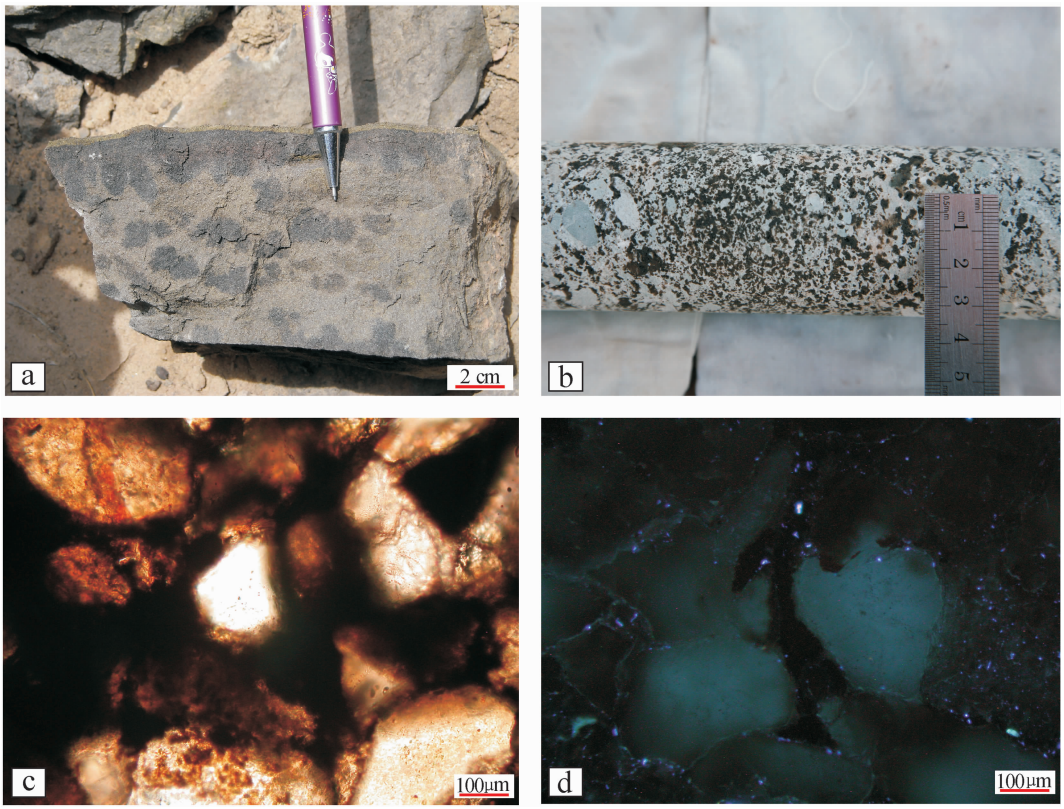


图 3 巴什布拉克铀矿油气还原现象野外和镜下照片

a—巴什布拉克铀矿含矿砂岩中的黑色油气斑点;b—巴什布拉克铀矿岩心中的沥青;
c、d—巴什布拉克含矿地沥青砂岩(样品 X08-49)粒间孔隙及微裂缝普遍为深褐色的沥青所充填,且沥青充填物显示黑褐色荧光

Fig.3 Field and microphotos of oil and gas reduction from the Bashibulake uranium deposit

a-Black oil and gas spots in sandstone of the Bashibulake uranium deposit; b-Asphalt from rock cores of the Bashibulake uranium deposit; c, d-Dark brown asphalt filling the intergranular pores and microfractures of ore-bearing sand (Sample X08-49), and the asphalt filler showing dark brown fluorescence

将地沥青砂岩矿石样品制成流体包裹体薄片。之后,在偏光和 UV 激发荧光显微镜下进行观察,划分出包裹体的类型及期次,圈出适合测温的包裹体。初步观测完成后,用酒精对包裹体片进行浸泡,去除树胶卸载薄片,在冷热台上进行测温。流体包裹体研究在核工业北京地质研究院分析测试研究中心完成,所用冷热台为 LINKAM THMS600 型,测温范围为 -196~600℃,误差为±0.1℃,检测方法和依据是:EJ/T 1105-1999(矿物流体包裹体温度的测定)。测试结果见表 1。

同时,此次研究对地沥青砂岩矿石样品进行了有机地球化学分析。测试项目包括氯仿沥青"A"及其族组成和饱和烃气相色谱。测试工作在中国石油勘探开发研究院石油地质实验研究中心完成。测试前,先用物理方法清洁样品,除去样品表面污染,再将样品粉碎磨细至 200 目,用脂肪抽提器法对样品进行氯仿沥青"A"抽提,之后,用分柱层析法对抽提出的氯仿沥青"A"进行饱和烃、芳烃、非烃和沥青质 4 种组分的分离,分离工作完成后,再用族组分棒薄层火焰离子化分析法(执行标准:SY/T6338-1997)对上述 4 种组分进行定量分析。气相色谱仪为 HP-5890GC 型。测试结果见表 2 和表 3。

4 测试结果分析

4.1 包裹体特征与成矿流体性质

沉积岩的胶结物(如方解石)和矿物次生生长边(如石英的加大边)中存在许多流体包裹体,这类流体包裹体代表了沉积成岩之后的流体演化[29,30]。对巴什布拉克铀矿地沥青砂岩矿石流体包裹体薄片镜下观测发现,砂岩碎屑颗粒周边及胶结物中普遍存在不均匀的淡蓝色、浅褐黄色及浅黄绿色荧光,这表明砂岩碎屑颗粒间或胶结物微裂隙中存在着大量油气

表 1 巴什布拉克铀矿油气流体包裹体测试分析结果

Table 1 Analytical results of fluid inclusions from the Bashibulake uranium deposit

序号	样号	岩性	测试矿物	包裹体			均一温度/℃	盐度/wt %NaCl
				共生类型	大小/μm	气液比/%		
1	X08-491	地沥青砂岩	石英	液烃包裹体	4×8	≤5%	135	8.55
2			石英	液烃包裹体	2×4	≤5%	167	
3			石英	液烃包裹体	5	≤5%	169	
4			石英	液烃包裹体	3×6	≤5%	142	6.59
5			石英	液烃包裹体	3×6	≤5%	175	7.86
6			石英	气液烃包裹体	4×6	≤5%	90	
7			石英	气液烃包裹体	6×8	≤5%	95	
8	X08-49	地沥青砂岩	石英	液烃包裹体	5×10	≤?5%	127	22.10
9			石英	液烃包裹体	5×8	≤5%	103	
10			石英	液烃包裹体	12×22	≤5%	82	2.24
11			石英	液烃包裹体	8	≤5%	71	2.92
12			石英	液烃包裹体	2×3	≤5%	90	
13			石英	液烃包裹体	10×15	≤8%	132	2.24
14			石英	液烃包裹体	10×12	≤8%	110	2.74
15			石英	液烃包裹体	3×12	≤8%	132	
16			石英	液烃包裹体	15×20	≤8%	112	2.41
17			石英	液烃包裹体	20	≤8%	168	1.06
18			石英	液烃包裹体	8×10	≤8%	187	0.71
19			石英	液烃包裹体	2×6	≤8%	182	0.71
20			石英	液烃包裹体	4×8	≤8%	184	
21			石英	液烃包裹体	4×6	≤8%	183	
22			石英	液烃包裹体	5×10	≤8%	178	0.88
23	X08-492	地沥青砂岩	石英	液烃包裹体	8×12	≤5%	175	23.05
24			石英	液烃包裹体	4×5	≤5%	173	22.38
25			石英	液烃包裹体	4×5	≤5%	160	20.97
26			石英	液烃包裹体	2×5	≤5%	161	21.11
27			石英	液烃包裹体	1×4	≤5%	160	21.11
28			石英	液烃包裹体	4×6	≤8%	185	8.95
29			石英	液烃包裹体	3×4	≤8%	188	9.21
30			石英	液烃包裹体	3×5	≤8%	193	9.21

表 2 巴什布拉克铀矿氯仿沥青“A”及其族组成(单位:wt%)

Table 2 Chloroform bitumen “A” and its family compositions of organic matter from the Bashibulake uranium deposit

样号	岩性	有机质特征	氯仿沥青“A”	饱和烃	芳烃	非烃	沥青质	总量	总烃	饱和烃/芳烃	非烃/沥青质
X08-491	地沥青砂岩	沥青	0.0026	27.28	3.30	50.24	19.18	100.00	30.58	8.27	2.62
X08-492	地沥青砂岩	沥青	0.0019	22.71	2.49	52.31	22.49	100.00	25.20	9.12	2.33

表 3 巴什布拉克铀矿饱和烃气相色谱参数特征

Table3 Characteristics of vapor-phase chromatography of saturated hydrocarbon from the Bashibulake uranium deposit

样号	饱和烃碳数分布范围	峰形特征	主峰碳数	C21-/C22+	C(21+22)/C(28+29)	Pr/Ph	Pr/nC_{17}	Pr/nC_{18}	CPI	OEP
X08-491	C14-C34	前高单峰	C16	2.21	2.99	0.77	0.54	0.85	1.16	0.72
X08-492	C13-C33	前高单峰	C16	1.64	2.37	1.01	0.51	0.48	1.35	0.84

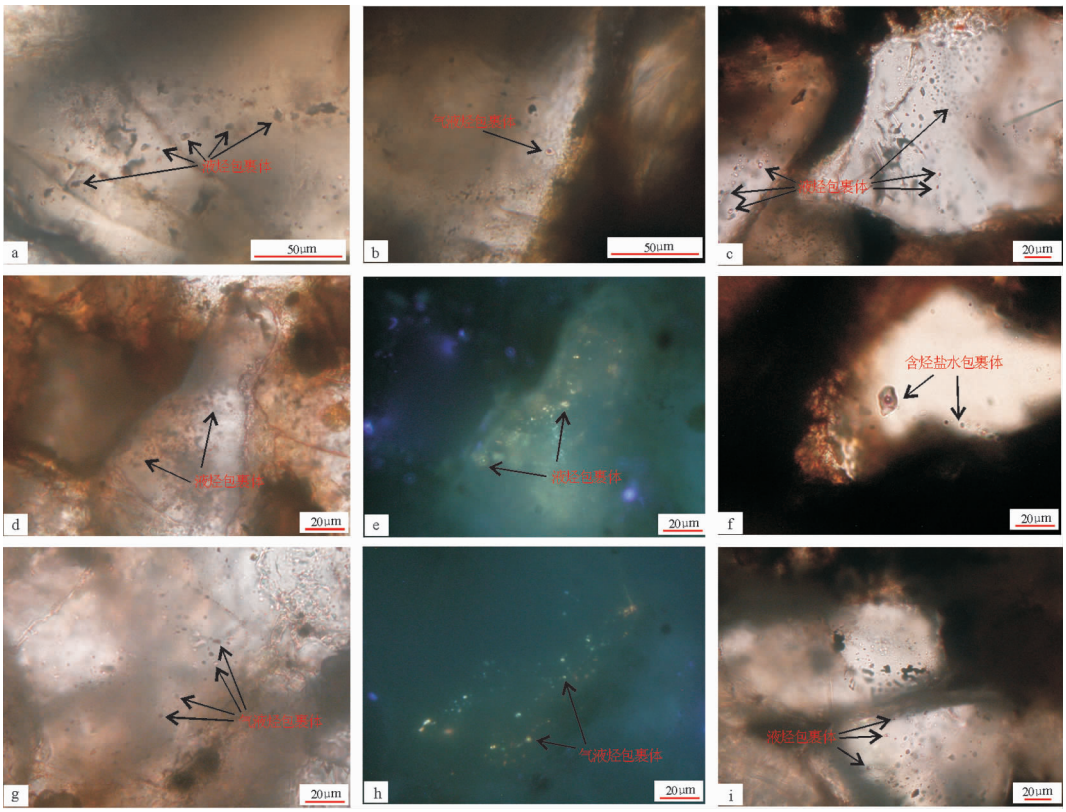


图 4 巴什布拉克铀矿流体包裹体镜下特征

a、b—样品 X08-491,单偏光下:沿切穿石英碎屑的微裂隙成带状分布、呈淡黄色的液烃、气液烃包裹体;c—样品 X08-49,单偏光下:沿石英碎屑内的微裂隙成带状分布,呈深褐色、灰褐色的液烃包裹体;d—样品 X08-49,单偏光下,e—样品 X08-49,UV 激发荧光下:沿切穿长石碎屑的微裂隙成带状分布、呈淡黄色的液烃、气液烃包裹体,显示较强的浅褐黄色及浅黄绿色荧光;f-样品 X08-49,单偏光下:沿石英碎屑内的微裂隙成带状分布、呈浅灰-灰色的含烃盐水包裹体;g—样品 X08-492,单偏光下,h—样品 X08-492,UV 激发荧光下:沿切穿石英碎屑的微裂隙成带状分布、呈淡黄色、淡黄-灰色的液烃、气液烃包裹体,显示较强的浅褐黄色及浅黄绿色荧光;i—样品 X08-492,单偏光下:沿石英碎屑内的微裂隙成带状分布,呈深褐色、灰褐色的液烃包裹体

Fig.4 Characteristics of fluid inclusions from the Bashibulake uranium deposit under microscope and fluorescence

a、b—Sample X08-491, plainlight: pale yellow liquid hydrocarbon and gas liquid hydrocarbon inclusions distributed along microfractures in detrital quartz with zonal distribution; c—Sample X08-49, plainlight: dark brown, gray brown liquid hydrocarbon inclusions along microfractures in detrital quartz with zonal distribution; d—Sample X08-49, plainlight, e—Sample X08-49, UV excitation fluorescence microscope: pale yellow liquid hydrocarbon, gas liquid hydrocarbon inclusions, showing strong light brown and yellowish green fluorescence along detrital feldspar microcracks with zonal distribution; f—Sample X08-49, plainlight: a light gray-gray hydrocarbon-bearing brine inclusions along microfissures of detrital quartz with zonal distribution; g—Sample X08-492, plainlight, UV excitation fluorescence microscope: pale yellow, light yellow and gray liquid hydrocarbon, gas liquid hydrocarbon inclusions, showing strong light brown and yellowish green fluorescence along microfractures in detrital quartz with zonal distribution; i—Sample X08-492, plainlight: dark brown, gray brown liquid hydrocarbon inclusions along microfractures in detrital quartz with zonal distribution

包裹体。

探讨巴什布拉克砂岩型铀矿成矿流体，必须确认所研究的包裹体是铀矿成矿期的流体包裹体。因此,测温对象首选的是石英、长石、方解石等颗粒微裂隙中的次生流体包裹体，其次是颗粒沉积成岩之后形成的原生流体包裹体，如石英加大边中的原生流体包裹体。镜下观察发现,含矿砂岩中的包裹体主要分布在石英碎屑的微裂隙中，石英加大边中较少(图 4)。包裹体主要沿微裂隙呈带状分布(图 4),大小在 1~22 μm,呈单点状分布的一般较大,形态多为椭圆状及不规则状。UV 激发荧光显微镜下观察表明,含矿砂岩中的油气包裹体以液烃包裹体为主,还有少量气液烃包裹体和含烃盐水包裹体。

样品 X08-491(图 4-a、b)大部分粒间孔隙为深褐色的沥青所充填,沥青充填物显示暗褐色荧光,局部微空隙内含油，显示较强的浅黄色、浅黄绿色荧光。样品内主要发育两期油气包裹体:第 1 期发育丰度高(GOI 为 8%±),包裹体沿石英碎屑内的微裂隙

成线带状分布,为呈深褐色、灰褐色的液烃包裹体。第 2 期发育丰度低(GOI<1%),包裹体沿切穿石英颗粒的微裂隙成线状/带状分布。包裹体内液烃呈透明无色及淡黄色, 显示较强的浅黄色、浅黄绿色荧光,气烃呈灰色。其中,液烃包裹体占 10%±,气液烃包裹体占 90%±。

样品 X08-49(图 4-c、d、e、f)粒间孔隙及微裂缝普遍为深褐色的沥青所充填, 且沥青充填物显示黑褐色荧光。样品内发育两期油气包裹体:第 1 期发育丰度较高(GOI 为 4%~5%),包裹体沿石英、长石碎屑内的微裂隙成线带状分布,主要为呈深褐色、灰褐色的液烃包裹体, 并见少量灰色的气烃包裹体发育。第 2 期发育丰度低(见于个别碎屑内),包裹体沿切穿石英、长石颗粒的微裂隙成带状分布。包裹体中的液烃呈淡黄色, 显示较强的浅褐黄色及浅黄绿色荧光,气烃呈灰色,见少量的液烃、气液烃包裹体发育。

样品 X08-492(图 4-g,h,i)大部分粒间孔隙内不含油,荧光显示微弱(弱黄色),仅部分微孔隙内含油而显示较强的浅黄色及浅蓝色荧光。样品内主要发育两期油气包裹体: 第 1 期发育丰度中等(GOI 为 2%~3%), 包裹体沿石英碎屑内的微裂隙成线带状分布,主要为呈深褐色、灰褐色的液烃包裹体。第 2 期发育丰度低, 包裹体沿切穿石英颗粒的微裂隙面成带状分布。包裹体中的液烃呈淡黄色,显示较强的浅褐黄色及浅黄绿色荧光,气烃呈灰色,见少量的液烃、气液烃包裹体发育。

液烃包裹体由液态烃组成,有时含盐水。气液烃包裹体由气态烃和液态烃组成,有时也含盐水。二者是根据碳氢化合物物理相态的区别而划分的。在气液两相包裹体特征描述中, 气液比是指包裹体中气体(泡)占包裹体总体积的百分数。本次所测得的包裹体的气液比均小于或等于 8%,在盐度相同的情况下,气液比值越大,则均一温度越高。利用均一法测温获取的流体包裹体均一温度可以代表成矿温度,对讨论矿床成因有重要的指示意义。本次所测的包裹体均一温度中, 仅有的两个气液烃包裹体的均一温度均小于液烃包裹体的均一温度, 推测可能是由气液烃包裹体所含的气烃造成的。此次测得,巴什布拉克铀矿油气流体包裹体均一温度为 71~193℃(表 1),有 2 个区间(图 5):一个是 80~140℃,一个是 160~200℃,均值是 110℃和 180℃。推测成矿流体的温度有两个峰值, 高温段为 160~200℃, 低温段为 80~140℃,表明成矿流体属低温热液流体。结合薄片观测,温度高时,砂岩大部分粒间孔隙内不含油;温度低时,砂岩粒间孔隙及微裂缝普遍为沥青所充填。

所测包裹体均为气液两相包裹体, 通过测定冰点温度即可得出盐度,详见表 1。从中可以看出,巴什布拉克铀矿的盐度值在 0.71~23.05 (% NaCl),均值为 9.38 (% NaCl),集中于 0~4 (% NaCl)、6~10 (% NaCl)和 20~24(% NaCl)3 个区间内(图 6)。整体上成矿流体的盐度较低。

参照成矿压力和成矿深度经验公式[46]T_0(初始温度)=374+920×N(盐度)(℃)、P_0(初始压力)=219+2620×N (盐度)(10^5 Pa) 和 H_0 (初始深度)=P_0×1/300×10^5(km),可先依次计算出初始温度、压力和深度,再依据公式 P_1(成矿压力)=P_0×T_1(矿区实测成

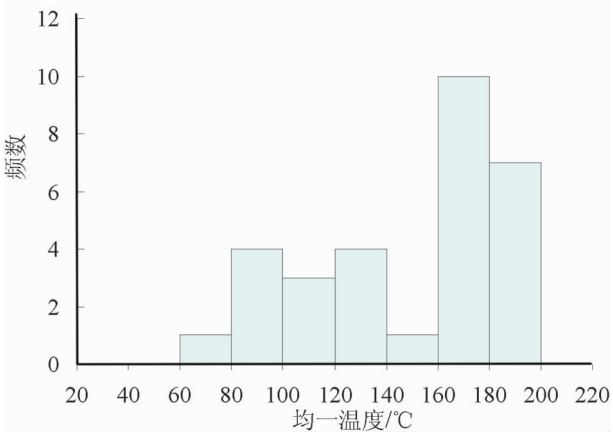


图 5 地沥青砂岩矿石中石英包裹体均一温度分布频率
Fig.5 Distribution frequency of homogeneous temperature of inclusions in quartz of ore-bearing asphalt sandstone

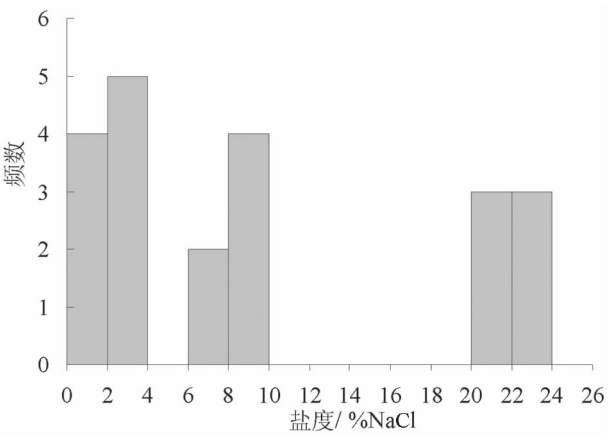


图 6 地沥青砂岩矿石中石英包裹体盐度分布频率
Fig.6 Distribution frequency of salinity of inclusions in quartz of ore-bearing asphalt sandstone

矿温度)/T_0 (10^5Pa)、H_1 (成矿深度)=P_1×1/300×10^5 (km)求得成矿压力和成矿深度。根据表 3 和上述经验公式，求得巴什布拉克矿区成矿压力为 77.90~211.75(10^5Pa)，均值为 144.83(10^5Pa)；成矿深度在 0.26~0.71 km，均值为 0.48 km。

4.2 有机地球化学特征

巴什布拉克铀矿样品的氯仿沥青 "A" 变化不大，为 (0.0019~0.0026)wt%(表 2)、平均为 0.0023 wt%，表明其经历了相同的成矿过程。A 的族组份中，饱和烃为(22.71~27.28)wt%、平均为 24.99 wt%。所测样品的总烃均值为 27.89，饱和烃/芳香烃均值为 8.70，非烃/沥青质均值为 2.48(表 2)。其中饱和烃/芳香烃均大于 1，具 I 型有机母质特征。OEP(奇偶优势指数)可以用来指示有机质的成熟度。所测样品的 OEP 为 0.72~0.84(表 3)，平均为 0.78，无明显的奇偶优势，显示了有机质高成熟度特征。CPI(碳优势指数)为 1.16~1.35(表 3)，平均为 1.25，指示热演化程度较高。

正构烷烃主峰碳的分布与原始母质性质有关。以藻类为主的有机质表现为低碳数主峰的特点，其主峰多位于 C15~C21 之间，如绿藻 nC17 占优势，褐藻 nC15 占优势[47]；以高等植物为主的有机质表现为高碳数主峰的特点，主峰碳数多在 C25~C29 [48]。从表 3 和图 7 可以看出，巴什布拉克铀矿饱和烃碳数介于 C13~C34(图 7)，集中在 C15~C21，轻烃组分占优势，表明原始母质以海相有机质为主，其来源是绿藻占优势的水生低等的藻类生物 [49]。(nC21+nC22)/(nC28+nC29)比值的大小可以区别海相或陆相生物成因的母质类型。当比值为 0.6~1.2 时，属于陆相有机质输入型；当比值为 1.5~5.0 时，则为海相有机质输入。本次测试样品的(nC21+nC22)/(nC28+nC29)值为 2.37~2.99(表 3)，平均为 2.68，暗示原始有机质来自海相藻类生物。

同时样品中检测出了姥鲛烷(Pr)和植烷(Ph)。姥鲛烷是在氧化条件下植醇基团经氧化为植烷酸再经脱羧而成的，植烷则是在还原条件下植醇基团加氢脱水而成的[50]。Pr/ Ph 值可以指示沉积环境。在强还原的沉积环境中，植烷具有强烈优势；在高含盐环境中，嗜盐菌等参加到沉积物有机质中并在成岩过程中被降解，也可释放出大量的植烷[51]；而在弱氧化–弱还原环境中，姥鲛烷常具有优势。巴什布拉克样品的 Pr/Ph 值为 0.77~1.01(表 3)，平均为 0.89，姥鲛烷不具优势，这说明有机质是处在还原环境中的。Pr/nC17 和 Ph/nC18 均值为 0.53 和 0.66，均小于 1，不具明显的奇偶优势，指示有机质形成于较强的还原环境[52,53]。

5 讨 论

5.1 油气还原成矿机理

铀地球化学性质活泼，与氧有强烈的亲和力。铀一般以 U^{4+}和 U^{6+}两种价态存在于铀矿物或者类质同象替换含铀矿物以及分散吸附状含铀矿物中。

研究表明，在油气的生成和运移过程中，油气对分散的金属元素具有强烈的活化和富集能力，即油气能作为成矿金属元素运移的载体[5,54]。油气等有机流体对铀的迁移、富集等作用是各种地表氧化水的数倍乃至数千倍[55]。T. F. Schworzer et al. (1973)[56]、J. G. Morse et al. (1983)[56]认为，向上运移的油气能从其所接触的岩层里萃取出铀；如果遇到构造裂隙，油气能携带这些铀运移到地表；向上运移的含铀油

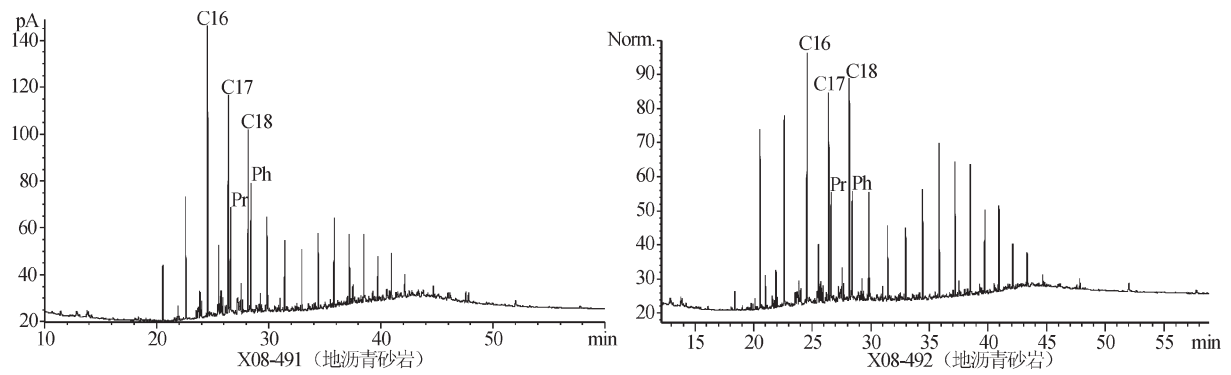


图 7 地沥青砂岩饱和烃气相色谱图

Fig.7 Gas chromatograms of saturated hydrocarbons from ore-bearing asphalt sandstone

气在运移过程中如遇到氧化还原界面，则会受到氧化而产生各种中间产物。在氧化环境条件下,铀在油气水中,易于以 U^{6+}迁移;在还原条件下,U^{6+}被有机质(油气和微生物等)、还原硫(黄铁矿等硫化物)等还原为 U^{4+}并在有利地段沉淀成矿。

据权建平等(2007)[57]总结,有机质从埋藏到成油、成藏过程中对砂岩铀矿化的作用主要体现在三个方面:第一,油气初次运移富集铀。在油气初次运移过程中,由于油气的吸附、络合能力,烃源岩中的铀被萃取而随油气一起进入储层。铀富集的标志是形成放射性偏高的钙质层，且其中发育少量油气包裹体。第二,油气二次运移促进了铀矿化。油气二次运移指油气从储层进入圈闭形成油气藏的过程。在此过程中，部分油气未进入油气藏而进入砂岩铀矿带,使早期形成的铀矿床被保存在二次还原带之中,而含矿层上部新的层间氧化型砂岩型铀矿化开始形成。第三,油气成藏后的再次运移对砂岩型铀矿化的影响。位于油气藏之上的砂岩型铀矿的成因与油气成藏后的再次运移有关。该类型砂岩型铀矿的主要还原剂来自盆地下部层中油气藏的再次运移。

巴什布拉克铀矿床中铀矿石裂隙中发育大量沥青,说明该区发生过油气充注事件。本铀矿含矿地层原为以红色为主的一套碎屑沉积岩，矿化地段蚀变岩的颜色为灰色、灰绿色,灰色、灰绿色砂岩受后期地下水或地表水氧化后在浅表处变为黄色、浅黄色。这说明，矿区原生的红色碎屑沉积岩经历了一次较强的油气还原蚀变,改变了岩层的氧化还原条件,而且后期又遭受了二次氧化-还原作用。

通常认为 60~150℃是石油生成的温度区间。本次研究测得成矿温度区间在 80~140℃,且包裹体内含有大量油气残留，表明铀是在油气生成并运移的过程中活化并且迁移的，油气的形成和运移正是铀矿形成的基础。油气包裹体研究表明,巴什布拉克盆地至少发育过一期油气聚集、运移过程,油气一方面消耗了岩层中的大量氧气,造就了较强的还原环境;另一方面也参与了铀成矿过程的氧化还原反应,加速了铀还原、沉淀、富集成矿。同时,氯仿沥青“A”及其族组成和饱和烃气相色谱等研究表明，巴什布拉克矿区有机质的 Pr/Ph 值平均为 0.89，姥鲛烷不具优势,说明有机质是处在还原环境中的;Pr/nC17 和 Ph/nC18 均值为 0.53 和 0.66,均小于 1,指示有机质形成于较强的还原环境[52,53]。这证明了油气还原导致了本铀矿的形成:含铀(U^{6+})油气水进入顶底板有泥岩隔水层的透水性砂岩体迁移时,当遇到还原障时,U^{6+}在氧化还原界面附近还原沉淀[58,59]。

5.2 巴什布拉克铀矿成矿过程

前人已从区域大地构造演化[38,41,42]和地球化学[30,34,36]等方面对巴什布拉克铀矿成因进行了讨论,主要认识集中在以下两点：一是认为巴什布拉克铀矿是与油气次生还原有关的铀矿床[30,34,38,42];二是认为巴什布拉克铀矿床属层间氧化带型铀矿床[36,41],但都强调了油气活动在巴什布拉克铀矿成矿过程中的作用。

喀什凹陷为长期稳定下沉的凹陷，沉积了大量碳酸盐岩、碎屑岩地层,造山带基底和盖层富含 U 等金属元素。在喀什凹陷后期演化中,下部烃源岩中有油气形成,部分油气向上部运移并形成油气藏。部分未进入油气藏的油气构成了砂岩铀矿化的还原剂,对上部砂岩铀矿化起促进作用,这样则形成了油气藏与铀矿床共生的聚集带。巴什布拉克铀矿一带的烃源岩主要为中、下侏罗统湖相泥岩和页岩[60],最主要的储层为下白垩统克孜勒苏群(K_1kz)粗碎屑岩[61]。中新生代以来，塔里木盆地周缘西南天山和西昆仑地区发生了多次强烈地逆冲推覆。尤其是晚新生代以来，印度板块与青藏板块的碰撞引起持续强烈的陆内造山作用。造山带的隆升导致了盆地的下沉和变形,而隆升剥蚀作用又为盆地提供了大量的物源。区域铀的主要来源为元古宇浅变质岩[30-42]。盆山耦合控制着铀成矿的构造背景和成矿空间。盆地边缘近造山带的部位即是不同性质流体交汇、混合、卸载成矿的空间[62]。塔里木盆地富含油气,由于受喜马拉雅造山影响较大,断裂构造发育,古油气藏普遍遭到破坏[41],因此区域内广泛发育了油气还原作用。

推测本矿区低温成矿流体的形成与以下两方面作用有关,一是区域内盆地演化和沉积物成岩作用,二是中新生代以来周围构造-热事件有关。首先,随着上覆沉积物的增厚，侏罗系及下部地层中压力增大,产生大量的流体,这种流体温度较低,往往混入了一部分油气成分。同时,位于矿区东部的托云盆地在早白垩世至古近纪期间发生了大规模的玄武质火山活动[45],岩浆活动的热效应提高了该区中生界烃源岩的热演化程度,使其达到生油门限,并因油气的参与极大地提高了下白垩统红色岩系的还原能力。因此,巴什布拉克的成矿流体至少有两期,一是含矿

地层“去流体作用”形成的;二是托云盆地火山喷发引发的构造-热效应产生的。这种混有下部层位来源油气的低温低盐度热液流体与有一定温度的沉积水的热液流体对本铀矿床的形成起了巨大作用,这也是本矿床含矿砂岩石英次生加大边中存在大量油气流体包裹体和盐水流体包裹体的原因, 而且成矿深度相对较浅,此次求得成矿深度均小于 1 km。在压力和热力作用下, 含油气成矿流体沿着渗透性较好的岩性段、节理和断裂以及不整合面流动。研究认为, 矿区内与喜马拉雅构造运动有关的巴什布拉克盆地边缘断层导致深部油气沿断裂上升, 诱发了矿区内大规模的油气还原蚀变, 促使了铀元素的富集沉淀成矿。

6 结 论

(1)巴什布拉克铀矿含矿地沥青砂岩中的流体包裹体为油气包裹体,以液烃包裹体为主,有少量气液烃包裹体和含烃盐水包裹体。成矿流体均一温度为 71~193℃,盐度为(0.71~23.05)wt% NaCl,属于低温低盐度的成矿流体。成矿压力为 (77.90~211.75) 10^5Pa,成矿深度在 0.26~0.71 km。

(2)巴什布拉克铀矿含矿地沥青砂岩中含有大量油气有机质。其氯仿沥青“A”为(0.0019~0.0026) wt%,变化不大。A 的族组份中,饱和烃为(22.71~27.28)wt%,所测样品的总烃均值为 27.89,饱和烃/芳香烃均值为 8.70, 非烃/沥青质均值为 2.48。具 I 型有机母质特征,有机质来源以海相藻类为主。样品的 OEP 为 0.72~0.84, 无明显的奇偶优势。CPI 为 1.16~1.35, 指示热演化程度较高。样品 Pr/Ph 为 0.77~1.01,平均为 0.89,说明有机质是处在还原环境中的。

(3)巴什布拉克铀矿床为油气还原成因,沿断裂和岩石孔隙上升的油气是铀成矿的主要因素。

致谢:有机地球化学和油气流体包裹体测试分别得到了中国石油勘探开发研究院石油地质实验研究中心侯冬苓老师和核工业北京地质研究院分析测试研究中心欧光习老师的帮助,在此深表感谢!

参考文献(References):

[1] Saxby J D. The significance of organic matter in ore genesis[M]// Wolf K H (eds.). Handbook of Strata-bound and Stratiform Ore Deposits, Vol H. Oxford: Elsveier, 1977, 111-129.

[2] 傅家谟, 刘德汉. 有机质演化与沉积矿床成因——煤成烃类与层控矿床[J]. 沉积学报, 1983, 1(4):15-18.
Fu Jiamo, Liu Dehan. Evolution of organic matter and origin of sedimentary deposits (Ⅱ) —— Hydrocarbons originating from coal and strata-bound deposits [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1983, 1 (4):15-18 (in Chinese with English abstract).

[3] 涂光炽. 中国层控矿床地球化学(第三卷) [M]. 北京:科学出版社, 1988:1-35.
Tu Guangchi. Geochemistry of Stratabound Deposits in China (III) [M]. Beijing:Science Press, 1998:1- 35(in Chinese).

[4] 叶连俊. 生物有机质成矿作用和成矿背景[M]. 北京:海洋出版社, 1998:1-460.
Ye Lianjun. Microbial-organic Minerallization and the Background [M]. Beijing:Ocean Press, 1998:1-460(in Chinese).

[5] 卢家烂, 傅家谟, 彭平安, 等. 金属成矿中的有机地球化学研究[M]. 广州:广东科技出版社, 2004, 1-349.
Lu Jialan, Fu Jiamo, Peng Ping'an, et al. Research on Organic Geochemistry in Polymetallic Mineralization [M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 2004:1 -349 (in Chinese).

[6] 刘文均, 郑荣才, 李元林, 等. 花垣铅锌矿床中沥青的初步研究——MVT 铅锌矿床有机地化研究(Ⅰ)[J].沉积学报, 1999, 17 (1):19-23.
Liu Wenjun, Zheng Rongcai, Li Yuanlin, et al. Study of bitumen in the Huayuan lead-zinc deposit organic geochemistry study of MVT lead-zinc deposit [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17 (1):19-23 (in Chinese with English abstract).

[7] 刘文均, 卢家烂. 湘西下寒武统有机地化特征——MVT 铅锌矿床有机成矿作用研究(Ⅲ)[J]. 沉积学报, 2000, 18(2):290- 296.
Liu Wenjun, Lu Jialan. Characteristics of organic geochemistry of Lower Cambrian in Western Hunan ——organic-mineralization study on MVT lead-zinc ore deposits [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(2):290- 296(in Chinese with English abstract).

[8] Hausen D M, Park W C. Observations on the association of gold mineralization with organic matter in Carlin type ores[C]//Dean W E (eds.). Organism and Ore Deposits, Proceedings of the Denver Region Exploration Geologist Society Symposium, 1986:119-136.

[9] 胡凯, 刘英俊, 王鹤年, 等. 华南碳质岩系层控金矿的有机地球化学特征和成因[J]. 中国科学(B 辑) , 1995, 25(10):1099-1107.
Hu Kai, Liu Yingjun, Wang Henian, et al. The organic geochemistry and genesis of carbonaceous rock stratabound gold deposits in South China [J]. Science in China, (Ser. B), 1995, 25 (10):1099-1107(in Chinese with English abstract).

[10] 张金亮, 常象春. 金顶铅锌矿油气地球化学特征及其成矿作用探讨[J]. 青岛海洋大学学报, 2003, 33(2):264-274.
Zhang Jinliang, Chang Xiangchun. Geochemical characteristics of hydrocarbonearing area Pb-Zn ore deposits in Jinding and their metallogenic role [J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 2003, 33(2):264-274(in Chinese with English abstract).

[11] Xue C J, Zeng R, Liu S W, et al. Geologic, fluid inclusion and isotopic characteristics of the Jinding Zn-Pb deposit, western

Yunnan, South China:A review [J].Ore Geology Reviews, 2007, 31:337-359.

[12] 薛春纪, 高永宝, 曾荣, 等. 滇西北兰坪盆地金顶超大型矿床有机岩相学和地球化学[J]. 岩石学报, 2007, 23(11):2889- 2900.
Xue Chunji, Gao Yongbao, Zeng Rong, et al. Organic petrography and geochemistry of the giant Jinding deposit, Lanping basin, northwestern Yunnan, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(11):2889-2900 (in Chinese with English abstract).

[13] 薛春纪, 高永宝, Chi Guoxiang, 等. 滇西北兰坪金顶可能的古油气藏及对铅锌大规模成矿的作用 [J]. 地球科学与环境学报, 2009, 31(3):221- 229.
Xue Chunji, Gao Yongbao, Chi Guoxiang, et al. Possible former oil-gas reservoir in the giant Jinding Pb-Zn deposit, Lanping, NW-Yunnan:the role in the ore accumulation [J]. Journa1 of Earth Sciences and Environment, 2009, 31(3):221-229(in Chinese with English abstract).

[14] 庄汉平, 冉崇英, 何明勤, 等. 楚雄盆地铜、盐、有机质相互作用与砂岩铜矿生成[J]. 地质学报, 1996, 70(2):162-173.
Zhuang Hanping, Ran Chongying, He Mingqin, et al. Interactions of copper, evaporite, and organic matter and genesis of sandstone-hosted copper deposits in the Chuxiong basin, Yunnan Province [J]. Acta Geologica Sinica, 1996, 70(2):162-173 (in Chinese with English abstract).

[15] 肖建新, 张爱云. 广西金牙金矿床中饱和烃丰度分布特征及其意义[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 1997, 22(3):177-180.
Xiao Jianxin, Zhang Aiyun. Distribution characteristics of saturated hydrocarbon abundance in Jinya gold deposit and their significance [J]. Earth Science——Journal of China University of Geosciences, 1997, 22(3):177-180(in Chinese with English abstract).

[16] 王红梅, 张文淮, 祁士华. 广西金牙金矿床成矿流体地球化学[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1998, 17(4):252-254.
Wang Hongmei, Zhang Wenhuai, Qi Shihua. Ore forming fluid geochemistry of the Jinya gold deposit in Guangxi [J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 1998, 17(4):252-254 (in Chinese with English abstract).

[17] 王红梅, 张文淮, 谢树成, 等. 广西金牙金矿床的有机地球化学特征[J]. 岩石学报, 2000, 16(4):602-608.
Wang Hongmei, Zhang Wenhuai, Xie Shucheng, et al. The organic geochemistry characteristics of Jinya gold deposit, Guangxi [J]. Acta Petrologica Sinica, 2000, 16(4):602-608 (in Chinese with English abstract).

[18] 李胜祥, 欧光习, 韩效忠, 等. 伊犁盆地油气与地浸砂岩型铀矿成矿关系研究[J]. 地质学报, 2006, 80(1):112- 119.
Li Shengxiang, Ou Guangxi, Han Xiaozhong, et al. Study on the relationship between oil-gas and ore-formation of the in-situ leachable sandstone-type uranium deposit in Yili Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80 (1):112-119 (in Chinese with English abstract).

[19] Shikazono N, Utada M. Stable isotope geochemistry and diagenetic mineralization associated with the Tono sandstone-type uranium deposit in Japan [J]. Mineral. Deposita, 1997, 32(5):596-606.

[20] Spirakis C S. The roles of organic matter in the formation of uranium deposits in sedimentary rocks [J]. Ore Geol. Rev., 1996, 11(1):53-69.

[21] Min Maozhong, Xu Huifang, Chen Jia, et al. Evidence of uranium biomineralization in sandstone-hosted roll-front uranium deposits, northwestern China[J]. Ore Geol. Rev., 2005, 26(2):198- 206.

[22] 刘池阳. 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, 2005:1-264.
Liu Chiyang. The Research Progress from the Formational Mechanism for Multi-energy Mineral Deposits Coexisting in the Same Basin [M]. Beijing:Science Press, 2005:1-264(in Chinese).

[23] 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 diagenes is 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(in Chinese with English abstract).

[24] 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 (in Chinese with English abstract).

[26] 柳益群, 冯乔, 杨仁超, 等. 鄂尔多斯盆地东胜地区砂岩型铀矿成因探讨[J]. 地质学报, 2006, 80(5):761-770.
Liu Yiqun, Feng Qiao, Yang Renchao, et al. Discussion on genesis of sandstone-type uranium deposits in Dongsheng area, Ordos Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(5):761-770(in Chinese with English abstract).

[27] 李宏涛, 吴世祥, 蔡春芳, 等. 油气相关砂岩型铀矿的形成过程:以钱家店铀矿床为例[J]. 地球化学, 2008, 37(6):523-532.
Li Hongtao, Wu Shixiang, Cai Chunfang,et al. Forming processes of petroleum-related sandstone-type uranium ore:Example from Qianjiadian uranium deposit[J]. Geochimica, 2008, 37(6):523-532 (in Chinese with English abstract).

[28] 杨晓勇, 凌明星, 孙卫, 等. 鄂尔多斯盆地砂岩型铀矿流体包裹体特征[J]. 石油学报, 2006, 27(6):28-33.
Yang Xiaoyong, Ling Mingxing, Sun Wei, et al. Characteristics of fluid inclusions in sandstone-type uranium deposit of Ordos Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(6):28-33(in Chinese).

[29] 林潼, 罗静兰, 刘小洪, 等. 东胜地区直罗组砂岩型铀矿包裹体特征与铀矿成因研究[J]. 石油学报, 2007, 28(5):72-78.
Lin Tong, Luo Jinglan, Liu Xiaohong, et al. Characteristics of fluid inclusions in sandstone-type uranium deposit and origin of uranium mineralization in Zhiluo Formation of Dongsheng area[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28 (5):72-78 (in Chinese with English abstract).

[30] 刘章月, 邓华波, 董文明, 等. 新疆巴什布拉克铀矿床成矿地球

化学环境分析[J]. 世界核地质科学, 2011, 28(3):125- 132.
Liu Zhangyue, Deng Huabo, Dong Wenming, et al. Analysis on geochemical conditions of uranium mineralization in Bashibulake uranium deposit, Xinjiang[J]. World Nuclear Geoscience, 2011, 28(3):125-132(in Chinese with English abstract).

[31] 叶发旺. ASTER 数据与 ETM 数据蚀变信息提取的对比研究——以巴什布拉克铀矿区油气还原蚀变分析为例 [J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(3):274-281.
Ye Fawang. Discussion on applicational comparison between new type of multi-spectral ASTER data and ETM+ data:A case study on extracting the reduced alteration information of gas and oil in Bashibulake uranium ore district [J]. Journal of Geo-Information Science, 2009, 11(3):274-281(in Chinese with English abstract).

[32] 叶发旺, 刘德长. 巴什布拉克铀矿区遥感油气还原蚀变信息提取[J]. 国土资源遥感, 2008, 4:39-42.
Ye Fawang, Liu Dechang. The application of remote sensing data to the extraction of reducing alteration information of gas and oil in the Bashibalake uranium ore district[J]. Remote sensing for Land & Resources, 2008, 4:39-42(in Chinese with English abstract).

[33] 叶发旺, 刘德长, 赵英俊, 等.基于 ASTER 数据的巴什布拉克铀矿区油气还原蚀变信息提取与分析 [J]. 世界核地质科学, 2008, 25(4):223-230.
Ye Fawang, Liu Dechang, Zhao Yingjun, et al. Extraction and analysis of reducing alteration information of oil-gas in Bashibulake uranium ore district based on ASTER remote sensing data[J].World Nuclear Geoscience, 2008, 25(4):223-230(in Chinese with English abstract).

[34] 李盛富, 王成. 巴什布拉克铀矿床形成机理及其找矿标志[J]. 世界核地质科学, 2008, 25(3):143- 150.
Li Shengfu, Wang Cheng. Metallogenic mechanism and its prospecting guides of Bashibulake uranium deposit [J]. World Nuclear Geoscience, 2008, 25(3):143-150(in Chinese with English abstract).

[35] 黄贤芳, 刘德长, 董秀珍. 巴什布拉克铀矿区蚀变信息的增强和提取[J]. 世界核地质科学, 2007, 24(3):161-165.
Huang Xianfang, Liu Dechang, Dong Xiuzhen. Enhancement and extraction of alteration information in Bashibulake uranium ore-district [J]. World Nuclear Geoscience, 2007, 24 (3):161-165 (in Chinese with English abstract).

[36] 秦明宽, 赵瑞全. 对塔里木盆地巴什布拉克铀矿床成因的新认识[J]. 铀矿地质, 2000, 16(1):26-30.
Qin Mingkuan, Zhao Ruiquan. New understanding in genesis of uranium deposit Bashblak in Tarim Basin [J]. Uranium Geology, 2000, 16(1):26-30(in Chinese with English abstract).

[37] 杨旭, 刘德长, 张杰林. 基于高分辨率卫星数据铀矿找矿信息提取——以巴什布拉克地区为例 [J]. 世界核地质科学, 2008, 25(3):167-171.
Yang Xu, Liu Dechang, Zhang Jielin. Extraction of prospecting information of uranium deposit based on high spatial resolution satellite data——taking Bashibulake region as an example[J]. World Nuclear Geoscience, 2008, 25(3):167-171(in Chinese with English abstract).

[38] 李盛富, 曾耀明. 喀什凹陷构造演化与砂岩型铀成矿关系[J]. 新疆地质, 2007, 25(3):302-306.
Li Shengfu, Zeng Yaoming. Relation of tectonic evolvement and sandstone type uranium deposits forming in Kashi Sag [J]. Xinjiang Geology, 2007, 25(3):302-306(in Chinese with English abstract).

[39] 黄贤芳, 刘德长, 叶发旺, 等. 控铀构造-蚀变带研究及找矿意义[J]. 世界核地质科学, 2008, 25(1):35-40.
Huang Xianfang, Liu Dechang, Ye Fawang, et al. Research on structure-alteration zone related to uranium mineralization and its exploration significance [J]. World Nuclear Geoscience, 2008, 25(1):35-40(in Chinese with English abstract).

[40] 尚新璐, 陈新卫, 吴超, 等. 塔里木盆地西部喀什地区的新生代冲断构造[J]. 地质科学, 2004, 39(4):543-550.
Shang Xinlu, Chen Xinwei, Wu Chao, et al. Cenozoic thrust structures in the Kashi area, western Tarim Basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2004, 39(4):543-550(in Chinese with English abstract).

[41] 刘武生, 漆富成, 谢佑新, 等. 塔里木盆地中新生代地质构造演化与砂岩型铀成矿作用关系探讨[J]. 世界核地质科学, 2006, 23(4):187-193.
Liu Wusheng, Qi Fucheng, Xie Youxin, et al. Meso-Cenozoic tectonic evolution character and metallogenesis of sandstone-type uranium deposits in Tarim Basin [J]. World Nuclear Geoscience, 2006, 23(4):187-193(in Chinese with English abstract).

[42] 黄以. 塔里木盆地中新生代红层的次生还原作用与铀矿化[J]. 新疆地质, 1997, 15(1):84-89.
Huang Yi. Secondary reduction and uranium mineralization of Meso-Cenozoic red beds in Tarim Basin [J]. Xinjiang Geology, 1997, 15(1):84-89(in Chinese with English abstract).

[43] 李向东, 王克卓. 塔里木盆地西南及邻区特提斯格局和构造意义[J]. 新疆地质, 2000, 18(2):113-120.
Li Xiangdong, Wang Kezhuo. The Tethys framwork and its tectonic signeficance of Southwest Tarim and the adjacent region [J]. Xinjiang Geology, 2000, 18 (2):113-120 (in Chinese with English abstract).

[44] 康玉柱. 中国塔里木盆地石油地质特征及资源评价 [M]. 北京:地质出版社, 1996:1-141.
Kang Yuzhu. Petroleum Geology and Resource Assessment in the Tarim Basin, Xinjiang, China [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1996:1-141(in Chinese).

[45] 罗金海, 周新源, 邱斌, 等. 塔里木盆地西部中、新生代 5 次构造事件及其石油地质学意义[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(1):18-22.
Luo Jinhai, Zhou Xinyuan, Qiu Bin, et al. Mesozoic-Cenozoic five tectonic events and their petroleum geologic significances in west Tarim Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(1):18- 22(in Chinese with English abstract).

[46] 邵洁涟, 梅建明. 江火山岩区金矿床的矿物包裹体标型特征研

究及其成因与找矿意义[J]. 矿物岩石, 1986, 6(3):103−112.
Shao Jielian, Mei Jianming. On the study of typomorphic characteristics of mineral inclusion in the gold deposits from volcanic terrain in Zejiang and its genetic and prospecting significance [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 1986, 6(3): 103−112(in Chinese with English abstract).

[47] Clark R C, Blumer M. Distribution of n poraffines in marine organisms and sediment [J]. Limnol Oceanogr, 1967, 12:79−87.

[48] 易发成, 杨剑, 陈兴长, 等. 贵州金鼎山下寒武统黑色页岩的有机地球化学特征[J]. 岩石矿物学杂志, 2005, 24(4):294−300.
Yi Facheng, Yang Jian, Chen Xingchang, et al. Organic geochemical characteristics of Lower Cambrian black shales in Jindingshan, Guizhou Province[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2005, 24(4):294−300(in Chinese with English abstract).

[49] Caldicott A B, Englinton G. Surface waxes [C]//Miller LP (eds.). Phytochemistry 3. New York:Inorganic Elements and Special Groups of Chemicals, 1973:162−194.

[50] 李厚民, 毛景文, 张长青, 等. 滇黔交界地区玄武岩铜矿中有机质的生物标志物特征及其地质意义 [J]. 地质论评, 2005, 51(5): 541−549.
Li Houmin, Mao Jingwen, Zhang Changqing, et al. Biomarkers of organic matter in basalt copper ores from Northeastern Yunnan Province and Western Guizhou Province and their geological significance [J]. Geological Review, 2005, 51 (5):541 −549 (in Chinese with English abstract).

[51] 王铁冠. 试论我国某些原油与生油岩中的沉积环境生物标志化合物[J]. 地球化学, 1990, 19(3):256−263.
Wang Tieguan. A contribution to some sedimentary environmental biomarkers in crude oils and source rocks in China [J]. Geochimica, 1990, 19 (3):256 −263 (in Chinese with English abstract).

[52] Peters K E, Moldowan J M. The Biomarker Guide:Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments [M]. New York:Prentice Hall Inc., 1993:1−347.

[53] Tissot B P, Welte D H. Petroleum Formation and Occurrence[M]. New York:Industring Press, 1989:1−176.

[54] 庄汉平, 卢家烂. 与有机质有成因联系的金属矿床[J]. 地质地球化学, 1996, 4:6−11.
Zhuang Hanping, Lu Jialan. The origin of metallic deposit related to the organic matter [J]. Geology Geochemistry, 1996, 4:6−11(in Chinese with English abstract).

[55] 杜乐天, 欧光习. 油气在北方砂岩型铀矿形成和找矿中的作用[C]. 核工业北京地质研究院, 2003:9−50.
Du Letian, Ou Guangxi. The effect from Oil and gas in prospecting of the north of sandstone type uranium deposits [C]. Beijing Research Institute of Uranium Geology, 2003:9− 50 (in Chinese).

[56] 张德斐, 王有翔. 川北砂岩型铀成矿条件与油气运移过程中的物理−化学条件[J]. 矿物岩石, 1994, 14(2):83.
Zhang Deji, Wang Youxiang. The mineralization conditions of sandstone type uranium and removal conditions of petroleum and gas in north Sichuan [J].Journal of mineralogy and petrology, 1994, 14(2):83 (in Chinese with English abstract).

[57] 权建平, 樊太亮, 徐高中, 等. 中国北方盆地中油气运移对砂岩型铀矿成矿作用讨论[J]. 中国地质, 2007, 34(3):470− 477.
Quan Jianping, Fan Tailiang, Xu Gaozhong, et al. Effects of hydrocarbon migration on sandstone−type uranium mineralization in basins of northern China [J]. Geology in China, 2007, 34(3): 470−477 (in Chinese with English abstract).

[58] 黄世杰. 层间氧化带砂岩型铀矿的形成条件及找矿判据[J]. 铀矿地质, 1994, 10(1):6−13.
Huang Shijie. Formation conditions and prospecting criteria for sandstone uranium deposit of inter layered oxidation type [J]. Uranium Deposit, 1994, 10 (1):6 −13 (in Chinese with English abstract).

[59] 刘正义, 秦明宽. 油气对砂岩型铀矿中铀等伴生元素富集成矿的模拟实验[J]. 世界核地质科学, 2008, 25(3):125−132.
Liu Zhengyi, Qin Mingkuan. A simulating experiment on oil−gas to the enrichment and formation model of associated elements (U, etc.) in sandstone −type uranium deposits [J]. World Nuclear Geoscience, 2008, 25 (3):125 −132 (in Chinese with English abstract).

[60] 赵孟军, 王招明, 宋岩, 等. 塔里木盆地喀什凹陷油气来源及其成藏过程[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(2):50−54.
Zhao Mengjun, Wang Zhaoming, Song Yan, et al. Source and accumulation of oil and gas in Kashi Sag, Tarim Basin, NW China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32 (2):50−54 (in Chinese with English abstract).

[61] 张桂权, 吕勇, 丁维敏. 喀什凹陷北部下白垩统克孜勒苏群(K_1kz)储层评价[J]. 南方油气, 2003, 16(2):25−30.
Zhang Guiquan, Lv Yong, Ding Weimin. Reservoirs evaluation of lower Cretaceous Kezilesu Group (K1kz) in the Northern Kashi Depression[J]. Southern China Oil & Gas, 2003, 16(2):25−30 (in Chinese with English abstract).

[62] 杨晓勇, 凌明星, 赖小东. 鄂尔多斯盆地东胜地区地浸砂岩型铀矿成矿模型[J]. 地学前缘, 2009, 16(2):239−249.
Yang Xiaoyong, Ling Mingxing, Lai Xiaodong. Metallogenic model of the Dongsheng in−situ leaching sandstone type uranium deposit in the Ordos Basin [J].Earth Science Frontiers, 2009, 16(2): 239−249(in Chinese with English abstract).

Fluid inclusion and organic geochemistry characteristics of the Bashibulake uranium deposit in Kashi Sag, Xinjiang

HAN Feng-bin[1], CHEN Zheng-le[1], CHEN Bai-lin[1], LI Xi-gen[2], LIU Zeng-ren[3]

(1.*Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 100081, *China*;2.*No.216 Geological Party, CNNC, Urumqi* 830011, *Xinjiang, China*; 3.*Xinjiang Geological Survey, China Non-ferrous Metals Resources Geological Survey, Urumqi* 830011, *Xinjiang, China*)

Abstract: Located in Kashi Sag on the northwestern margin of Tarim basin, Xinjiang, the Bashibulake uranium deposit is hosted in clastic sedimentary rocks of continental facies, where lots of organic matters are widely spread, such as residues of oil, gas and asphalt. This paper mainly presents analytical data of fluid inclusions and organic geochemistry of asphalt sandstone ore bodies, with the purpose of constraining the ore-forming fluid temperature, salinity and ore-forming physical-chemical background, tracing the organic matter source and discussing uranium mineralization. Fluid inclusions in the ore-hosting sandstone under microscope are predominantly petroleum inclusions, composed mostly of liquid hydrocarbon inclusions with minor hydrocarbon-bearing brine inclusions. The homogenization temperature of the ore-forming fluid changes from 71 to 193℃, and the salinity varies from 0.71 to 23.05 (wt% NaCl), indicating a kind of low temperature and low salinity ore-forming fluid. The mineralization pressure varies from 77.90 to 211.75 $\times 10^5$Pa, and the mineralization depth varies from 0.26 to 0.71 km. The content of chloroform bitumen "A" in organic matter changes insignificantly from 0.0019 to 0.0026 wt%, suggesting that the organic matter should be derived from the marine algae. The ratio of pristine to phytane (Pr/Ph) from samples changes from 0.77 to 1.01, 0.89 on average, indicating a deoxidization environment for the organic matter. Odd-even predominance index (OEP) varies from 0.72 to 0.84, 0.78 on average, implying that the maturity of the organic matter is relatively high. Carbon preference index (CPI) is from 1.16 to 1.35, 1.25 on average, indicating a higher degree in thermal evolution. Combined with field geological characteristics, the authors hold that the uranium mineralization of this ore deposit was intimately related to the reduction of oil and gas which migrated upward along fractures and rock pores.

Key words: fluid inclusion; organic geochemistry; uranium deposit; Bashibulake; Kashi Sag

---

About the first author: HAN Feng-bin, male, born in 1981, doctor candidate, engages in the study of mineral deposit and ore field structure; E-mail: liclei@126.com.