

文章编号: 1006-6616 (2012) 04-0389-12

相山矿田沙洲铀矿床围岩蚀变地球化学特征

曹小兵¹, 吕古贤², 胡宝群³, 郑光高¹, 姚宏鑫¹, 梁东⁴

(1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

3. 东华理工大学, 江西 抚州 344000

4. 中国冶金地质总局新疆地质勘查院, 乌鲁木齐 830000)

摘要: 江西相山铀矿田沙洲铀矿床的矿体严格受断裂控制, 围岩蚀变分带非常明显。对沙洲铀矿床围岩蚀变的地球化学特征进行的研究表明, 沙洲矿床从矿石到围岩的化学成分具有明显的变化, 这些化学成分的变化与蚀变过程中物质的带入带出是密切相关的。通过对全部样品进行R型聚类分析, 确定矿床成矿元素组合为U、W、HREE、Th、Zn、Zr、Mo、Pb, 这些元素可作为铀成矿预测标志。研究成果在一定程度上充实和丰富了沙洲铀矿床的成因认识。

关键词: 沙洲矿床; 围岩蚀变; 元素相关性; 地球化学特征

中图分类号: P614; P619.14

文献标识码: A

江西相山铀矿田是中国最大的火山岩型铀矿田, 有邹家山、山南一横涧、沙洲、云际等矿床, 根据赋矿围岩的不同, 矿床又可分为火山熔岩型、次火山岩和隐爆角砾岩型3种。前人对其中的沙洲矿床做了一些工作^[1-3], 主要是构造和流体包裹体方面的研究。沙洲矿床的矿体严格受断裂控制, 围岩蚀变分带非常明显。了解其蚀变分带及其地球化学特征, 不仅可提供铀成矿作用信息, 还可为本区铀矿的发现提供一些地球化学标志。

1 研究区地质背景

江西相山铀矿田位于扬子板块与华南板块缝合线南缘, 罗霄褶皱系于山一九连山隆起带上, 遂川—德兴深断裂东南侧, 处在北东向赣杭火山岩带与北北东向大王山—于山花岗岩成矿带交汇部位。相山铀矿田是中国目前规模最大、品位最富的火山岩型铀矿田(见图1)。相山火山盆地总体上为3层结构^[4-5]: 基底主要为震旦系浅变质岩, 岩性以千枚岩、片岩为主, 部分为下石炭统、上三叠统碎屑岩系; 基底之上为上侏罗统火山岩; 盆地火山岩之上有上白垩统红层覆盖, 红层出露在火山盆地的西北侧。火山岩系由酸性、中酸性火山熔岩、火山碎屑岩及少量沉积夹层构成, 总厚度达2900 m, 分为上下2组: 下部打鼓顶组(J_3d)由砂砾岩、粉砂岩、熔结凝灰流纹英安岩等组成; 上部鹅湖岭组(J_3e)由砂砾岩、粉砂岩、

收稿日期: 2012-07-12

基金项目: 中国核工业集团公司重点专项“相山矿田构造体系构建与铀成矿作用研究”

作者简介: 曹小兵(1986-), 男, 中国地质大学(北京)硕士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业。E-mail: 531718792@qq.com

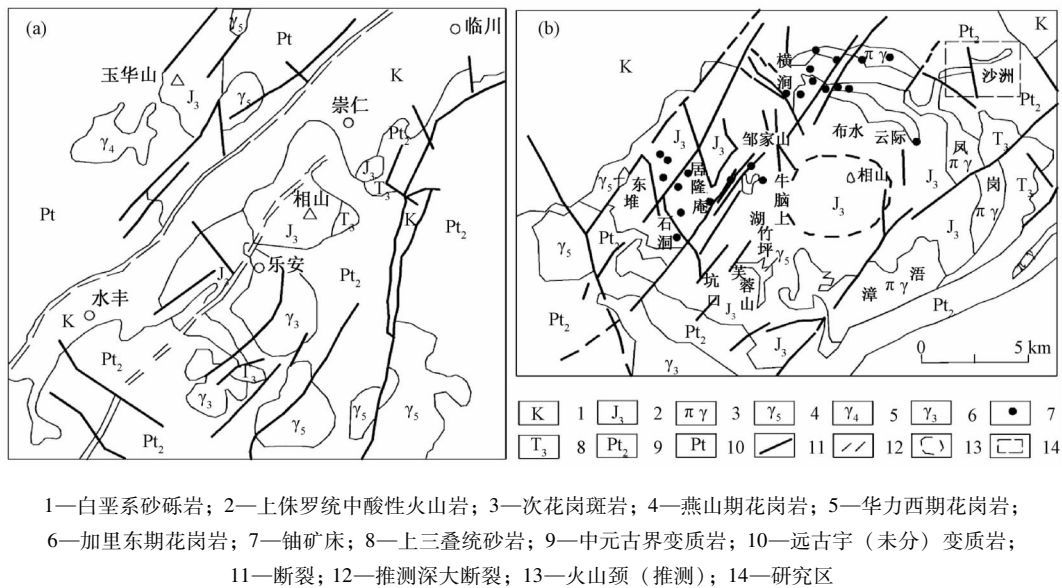


图1 相山铀矿田区域地质与铀矿床分布图^[7]

Fig. 1 The regional geology and uranium deposit distribution of the Xiangshan ore-field

熔结凝灰岩和巨厚层碎斑熔岩组成。以次花岗斑岩为主的次火山岩沿着火山塌陷过程中形成的环状断裂和各种拉张构造贯入。另外在这套火山岩系中有白垩纪煌斑岩（辉绿岩）、英安斑岩、流纹英安斑岩侵入^[6]。

2 沙洲矿床地质特征

沙洲矿床处于相山的北部地段（见图1），地层主要为：出露于矿床西南部的上侏罗统打鼓顶组紫红色砂砾岩夹凝灰岩、凝灰熔岩；前泥盆系变质岩系，有石英片岩和石相石云母两种，前者分布于沙洲矿床的南部，主要为黑云母石英片岩、绢云母石英片岩，呈互层出现，局部夹钙质石英片岩、钙质石英岩，后者分布于沙洲矿床的北部，主要为石榴子石黑云母石英片岩，间夹石英碳酸盐岩、石英角闪石片岩之透镜体。沿火山塌陷构造贯入的次花岗斑岩是沙洲矿床的主体岩石（见图2），据陈小明等^[8]的单颗粒锆石 U-Pb 年龄研究，次花岗斑岩的结晶年龄为 135 Ma。该矿床为中低温热液型矿床^[2-3]，矿体主要赋存于次花岗斑岩的内外接触带，矿化受裂隙控制，以铀—萤石类型为主，铀—绿泥石次之，伴生元素有铅、钼、铜等，但无综合利用价值。

沙洲矿床矿化直接发生在裂隙构造中和两侧围岩中，矿体严格受断裂、裂隙构造控制。控矿裂隙呈平行带状分布在斑状花岗岩岩墙中（见图3），裂隙带的走向大致为 280°—330°，倾向南西，倾角 60°—90°。

当断裂两侧羽状裂隙发育时，两盘围岩就较为破碎；如果在互相邻近的平行裂隙中间有羽状裂隙沟通，或发育有与其垂直的微裂隙，形成似网脉状构造，则围岩最破碎，形成宽度较大的破碎带；在裂隙趋于尖灭时，往往变成一条裂缝。

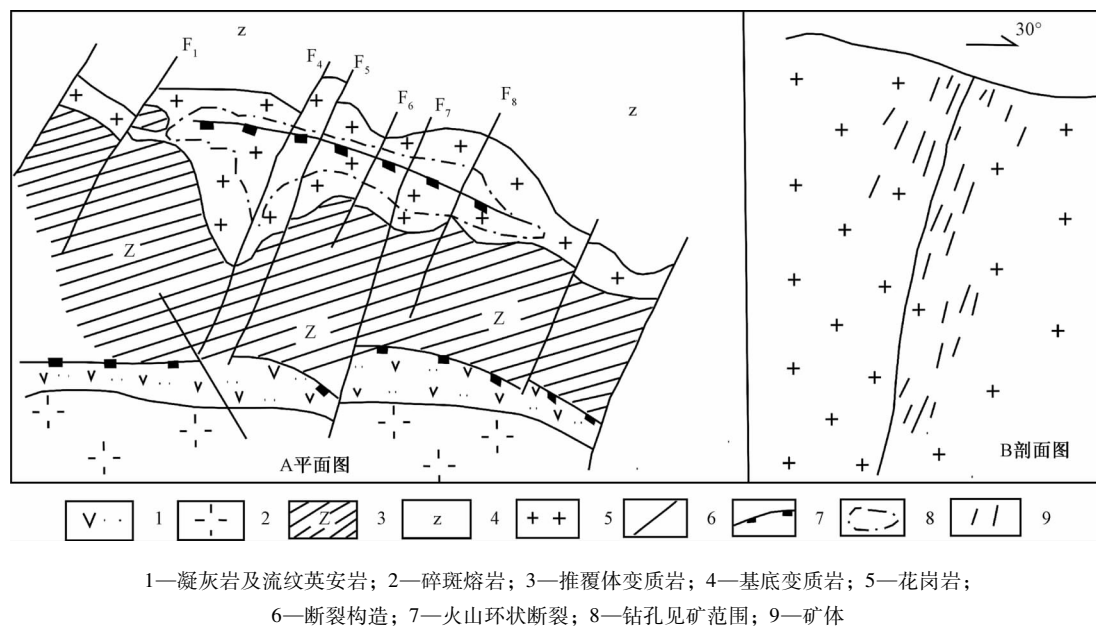


图2 沙洲矿床地质构造与矿化示意图^[3]

Fig. 2 A map showing the geological structure and mineralization of Shazhou deposit

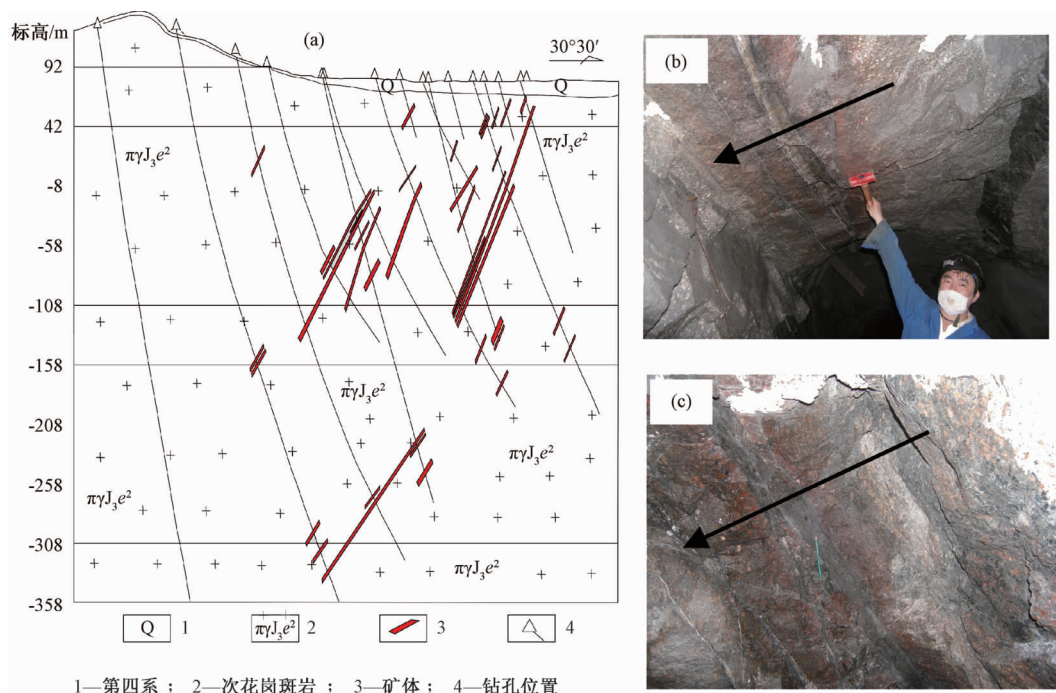


图3 沙洲矿床8号勘探线剖面图和含矿裂隙图

Fig. 3 Maps showing the profile of No. 8 prospecting line and the ore-bearing fractures

3 围岩蚀变

3.1 蚀变类型

沙洲矿床的围岩蚀变发育，热液活动引起了围岩成分的改变。又因构造-脉体活动的多阶段性，使铀矿体的近矿围岩蚀变表现出明显的带状对称分布。矿体中心是强萤石化、绢云母化、绿泥石化、肉红色方解石化，铁锰白云石化、白云石化、黄铁矿化、弱硅化；矿体的两侧是红化、钾长石化、绿泥石化、绢云母化、方解石化，它们相互迭加，很少单独出现。这些呈带状对称分布的热液蚀变可作为找矿标志，而萤石化、赤铁矿化、碳酸盐化强烈伴生出露时，可作为矿化的标志；铁锰白云石化则为铅、锌、银的可靠找矿标志。

矿液多期性的活动使脉体形成多种矿物组合形式，围岩蚀变及成矿可分为钠长石化、赤铁矿化、绿泥石化、萤石化、碳酸盐化等5个阶段（见图4）。

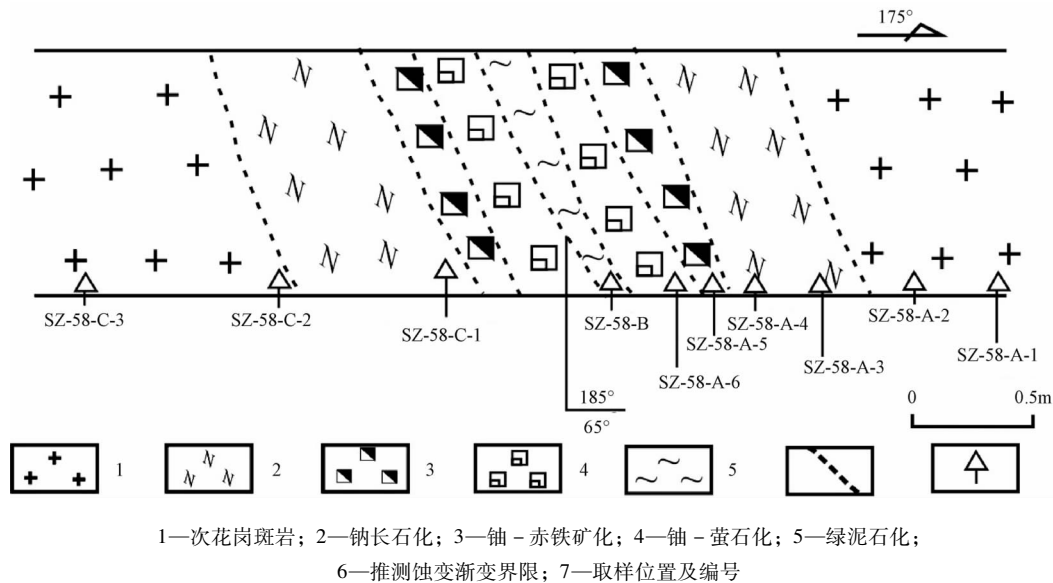


图4 沙洲矿床-58 m中段蚀变剖面素描图

Fig. 4 A sketch map of the alteration profile in the -58 m layer of Shazhou deposit

①钠长石化阶段：是最早的一次蚀变产物，一般分布在矿体两侧，宽度从几厘米至数米，通常大于矿体宽度。具有褪色现象，钠长石化强烈时，石英全被钠长石交代。

②赤铁矿化阶段：分布于矿体两侧，或呈角砾被绿泥石胶结，晚于钠长石化，而早于绿泥石化和萤石化，蚀变宽度由几厘米至0.2 m，蚀变程度随岩性变化而变化。赤铁矿化颗粒呈云雾状与钠长石化紧密伴生。

③绿泥石化阶段：在片岩和花岗岩中比较发育，绿泥石化可能早于萤石化，热液作用的绿泥石，一般呈细脉状，黑色蚀变幅度和强度随矿体变化而变化。绿泥石化除石英外，钠长石、斜长石和正长石均可交代。热液活动携带有沥青铀矿和金属硫化物，黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿，绿泥石化与铀矿化关系密切。

④萤石化阶段：一般在含矿裂隙两侧零星出现。含铀萤石析出早的话，一般呈紫黑色团块状，其后为胶状萤石和紫色萤石，在其孔洞中充填有绢云母。胶状萤石中沉淀的磷灰石、

萤石交代石英和钠长石。

⑤碳酸盐化阶段：分布较广，有铁白云石化和碳酸盐化两种，铁白云石化比萤石化、绿泥石化早，而晚于赤铁矿化。一般呈团块状，结晶较好，表面有小的黑点，与绿泥石紧密共生，晚期白色碳酸盐呈脉状充填形式出现。

3.2 蚀变带岩石地球化学水平分带特征

为研究矿体化学成分的变化，在沙洲井下-8 m、-58 m和-98 m中段各选取了一个典型剖面，采用穿过矿体的方法系统采样，即在含矿裂隙的上盘、含矿裂隙和下盘分别取若干样品，包括矿体、强蚀变岩、弱蚀变岩和围岩（见图3b、图3c、图4）。样品的主量元素测试结果见表1。

表1 沙洲矿床-8 m、-58 m和-98 m中段矿体剖面主量元素化学成分

Table 1 Chemical compositions of the major elements from -8 m, -58 m and -98 m sections of Shazhou deposit

样号	岩性	位置	主量元素化学成分/%														
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	SrO	BaO	LOI	Total
SZ-8-A-1	次花岗斑岩		64.79	14.77	3.99	3.57	0.68	3.51	2.52	0.01	0.33	0.47	0.094	0.01	0.03	5.02	99.77
SZ-8-A-2	次花岗斑岩	-8m中段	64.04	13.95	5.66	3.36	0.77	3.22	2.16	0.01	0.33	0.78	0.089	0.01	0.01	4.98	99.35
SZ-8-A-3	次花岗斑岩	21-23-3	67.66	14.89	3.34	1.93	0.73	2.35	5.33	0.01	0.38	0.11	0.104	0.01	0.05	3.01	99.89
SZ-8-B	矿体	沿脉	18.99	3.91	23.44	9.21	0.98	0.04	0.41	0.01	0.08	4.17	1.254	0.01	0.01	18.65	81.15
SZ-8-C	次花岗斑岩		67.82	14.45	3.75	2.09	0.68	2.20	5.06	0.01	0.34	0.12	0.090	0.01	0.05	3.13	99.78
SZ-58-A-1	次花岗斑岩		61.09	16.57	3.89	4.15	1.00	6.49	1.18	0.01	0.51	0.28	0.158	0.01	0.01	4.49	99.83
SZ-58-A-2	次花岗斑岩		64.56	15.97	3.52	2.94	0.72	4.54	2.99	0.01	0.47	0.12	0.164	0.02	0.04	3.80	99.85
SZ-58-A-3	次花岗斑岩	-58 m中段	42.64	13.49	4.83	15.05	1.01	4.75	1.12	0.01	0.48	0.67	0.370	0.04	0.01	12.15	96.61
SZ-58-A-4	次花岗斑岩	1-1-2	63.52	15.31	3.88	3.72	0.88	4.08	3.35	0.01	0.48	0.14	0.208	0.02	0.05	4.31	99.94
SZ-58-A-5	次花岗斑岩	沿脉	60.37	15.39	4.36	4.61	0.73	5.63	1.60	0.01	0.49	0.20	0.241	0.03	0.02	4.54	98.21
SZ-58-A-6	次花岗斑岩		63.16	16.36	3.37	3.32	0.80	6.60	1.11	0.01	0.48	0.19	0.323	0.02	0.01	3.82	99.56
SZ-58-B	矿体		33.79	11.38	11.36	14.61	1.03	2.96	1.21	0.01	0.36	0.43	2.214	0.06	0.01	8.63	88.02
SZ-58-C-1	次花岗斑岩		63.82	15.68	3.84	3.43	0.88	3.56	3.67	0.01	0.48	0.10	0.146	0.02	0.05	4.17	99.83
SZ-58-C-2	次花岗斑岩		63.57	15.32	4.26	3.62	0.80	5.01	2.02	0.01	0.46	0.09	0.133	0.01	0.01	4.34	99.63
SZ-58-C-3	次花岗斑岩		65.02	16.11	3.86	2.50	0.95	2.98	5.25	0.01	0.50	0.05	0.144	0.03	0.08	2.35	99.82
SZ-98-A	次花岗斑岩		65.59	15.88	3.91	2.63	0.97	2.88	5.14	0.01	0.50	0.05	0.143	0.03	0.07	1.84	99.63
SZ-98-B-1	矿体	-98 m中段	48.63	16.26	7.71	8.51	1.32	5.95	1.06	0.01	0.52	0.27	0.508	0.04	0.02	5.69	96.48
SZ-98-B-2	矿体	8-6-1-1	24.61	10.74	19.87	14.51	0.94	1.42	1.77	0.01	0.40	0.36	0.568	0.03	0.01	14.65	89.87
SZ-98-C-1	次花岗斑岩	沿脉	65.20	16.02	3.80	2.81	0.92	2.89	5.09	0.01	0.50	0.05	0.136	0.03	0.07	2.46	99.96
SZ-98-C-2	次花岗斑岩		65.76	15.60	3.49	2.34	0.90	2.71	5.58	0.01	0.44	0.04	0.130	0.02	0.08	2.83	99.91

注：样号中A代表矿体上盘样品，B代表矿体正中央样品，C代表矿体下盘样品，样品由澳实分析检测（广州）有限公司测试

3.2.1 化学组分的变化特征

从横切过矿体的剖面，比较矿体与上下盘强弱蚀变带和围岩的化学成分可知：

①从围岩到蚀变带再到矿体，铀含量是显著增多的，在裂隙的构造泥里，铀含量最高。很明显，矿体严格受断裂的控制，这与相山邹家山矿床^[6]，横涧一岗上英矿床^[9]是一致的。

②将沙洲矿床所有样品中主量元素按U含量从高到低投影（见图5）并结合表1可以得出，TF₂O₃、CaO、LOI和P₂O₅含量在含矿裂隙（即富矿体）中是明显增高的。

③SiO₂、Al₂O₃、K₂O在富矿体中的含量是明显降低的。

④MgO、Na₂O、TiO₂、MnO、BaO、SrO、Cr₂O₃含量在横切矿体剖面中变化不大或变化规律不明显。

⑤在围岩中，K₂O与Na₂O含量大致呈负相关关系。

综合矿体剖面化学成分的变化推测，在热液成矿过程中形成的黄铁矿必将导致矿石中总

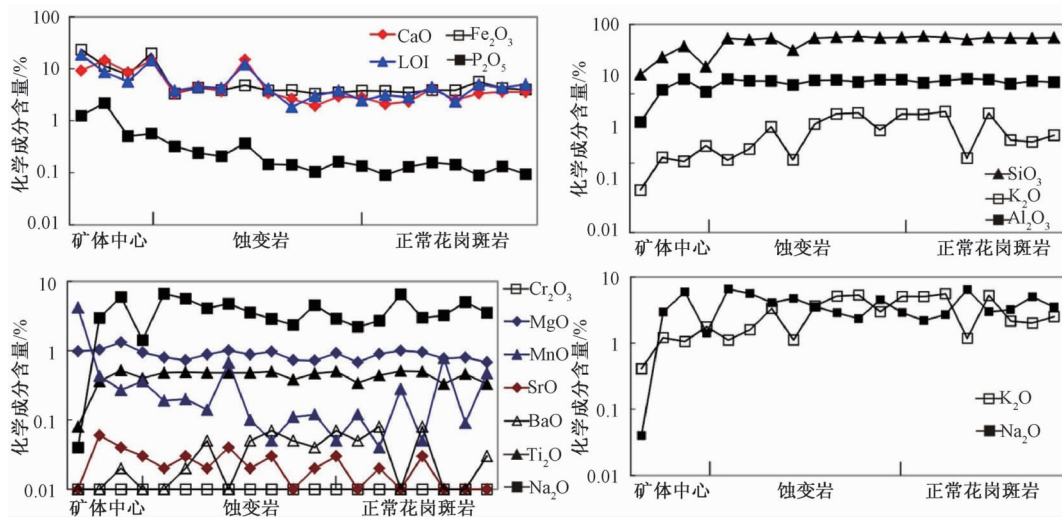


图5 沙洲矿床从矿石到围岩主要元素含量变化

Fig. 5 Content changes of the major elements from ore to wall rock in Shazhou deposit

铁的增高，常量成分上表现为 TFe_2O_3 含量增高，黄铁矿为矿石的伴生金属矿物。铀矿石中含有较多的磷灰石，导致了 P_2O_5 的增高。在水云母化中，Ca 明显富集，CaO 含量的增高与后期叠加的萤石化和碳酸盐化密切相关。碱交代使岩石中碳酸盐矿物、含水矿物（绿泥石、绿帘石、白云母、绢云母等）和硫化物等增多，烧失量明显增加^[10]。矿石中 SiO_2 和 K_2O 含量的降低与钠长石化过程中石英和钾长石被钠长石化有关，在碱性溶液或富盐溶液中石英是矿物中最易溶解迁移者之一^[11]。 K_2O 与 Na_2O 呈负相关关系，表现出交代过程中 K、Na 的不相容性，钠交代时岩石去钾，钾交代时岩石去钠^[9-10]。

3.2.2 微量元素的变化特征

将沙洲矿床所有样品中微量元素按 U 含量从高到低投影（见图6）并结合表2 可以看

表2 沙洲矿床-8 m、-58 m 和 -98 m 中段矿体剖面微量元素含量 (10^{-6})

Table 2 Chemical compositions of the trace elements from -8 m, -58 m and -98 m sections of Shazhou deposit

	Ba	Co	Cr	Cs	Hf	Mo	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Tb	Th	Tl	U	V	W	Zr	Ag	Cu	Ni	Pb	Zn
396	3.6	10	7.21	6.4	4	15.7	194.0	12	91	1.1	0.83	24.1	1	7.65	22	2	254	1	<5	<5	60	20	
234	2.8	20	6.52	6.1	14	15.6	167.5	23	85	1.1	0.75	23.9	0.9	12.35	23	3	241	1	<5	<5	210	125	
590	3.7	20	11.00	7.0	3	16.9	228.0	3	134	1.1	0.84	26.0	1	87.10	26	2	277	<1	<5	<5	208	70	
167	3.4	<10	3.03	12.9	67	11.6	34.6	29	137	0.3	1.34	200.0	5.2	>1000	19	159	1050	34	84	<5	>10000	8960	
563	3.7	10	9.88	6.5	2	16.2	221.0	2	127	1.1	0.84	26.3	1.1	17.95	26	1	251	<1	<5	<5	49	41	
246	5.9	20	4.84	8.5	5	18.7	96.4	10	218	1.2	0.81	22.3	0.5	16.05	42	5	341	<1	<5	<5	12	24	
497	5.5	20	12.65	9.3	4	18.0	198.5	8	218	1.0	0.75	22.3	0.9	31.40	42	7	354	<1	<5	<5	12	31	
256	4.2	10	12.85	8.1	29	18.7	99.2	16	555	1.0	0.94	26.6	0.7	367	76	10	322	<1	<5	<5	30	66	
557	7.0	20	7.11	9.0	3	17.8	159.5	6	291	1.1	0.87	24.8	0.7	398	43	7	348	<1	<5	<5	18	36	
336	5.9	10	10.15	9.6	4	18.8	120.0	11	356	1.1	0.91	28.9	0.8	619	50	9	370	<1	<5	<5	29	72	
256	5.2	10	6.26	9.8	66	18.0	100.5	7	275	1.0	0.93	36.1	1.0	824	55	6	381	<1	<5	<5	26	26	
181	9.3	10	28.40	6.4	467	15.4	121.0	40	630	0.8	2.08	537.0	3.2	>1000	73	67	310	1	8	5	3810	4970	
521	6.1	10	12.35	7.0	21	15.9	214.0	4	200	1.0	0.79	23.8	0.9	192	37	5	287	<1	<5	<5	37	54	
220	7.0	20	10.35	7.7	3	16.6	154.5	9	172	1.0	0.80	20.1	0.7	8.33	39	4	317	<1	<5	<5	8	20	
842	6.3	20	6.48	8.2	2	17.4	190.0	3	311	1.1	0.83	20.2	0.7	13.60	41	1	327	<1	<5	<5	28	51	
790	6.6	10	6.11	8.7	8	18.4	193.5	4	337	1.2	0.86	25.0	0.7	96	42	2	350	<1	<5	<5	31	67	
314	7.5	10	8.81	9.7	39	20.4	94.3	22	379	1.2	0.97	64.0	1.3	>1000	61	19	421	1	<5	<5	780	263	
126	22.9	10	18.35	8.8	885	22.2	139.5	67	318	0.7	2.66	640	14.2	>1000	63	165	628	1	15	8	1300	3280	
818	6.2	10	6.45	7.5	4	17.8	205.0	3	296	1.1	0.84	21.9	0.7	21.80	41		308	<1	<5	<5	24	54	
802	5.6	10	8.64	7.2	5	15.8	214.0	3	250	1.1	0.87	20.9	0.9	17	34		294	<1	<5	<5	29	51	

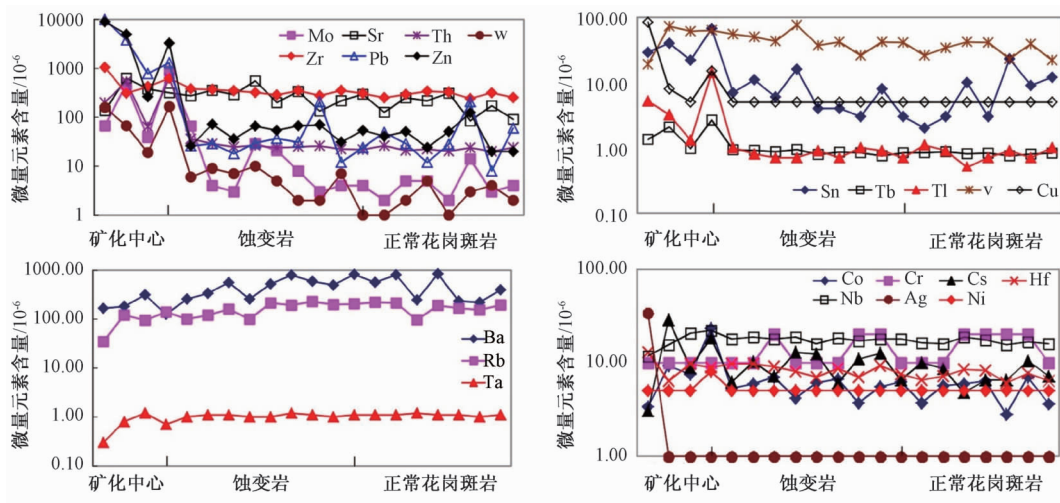


图 6 沙洲矿床从矿石到围岩微量元素含量的变化

Fig. 6 Content changes of the trace elements from ore to wall rock in Shazhou deposit

出，该矿床从未蚀变花岗斑岩到矿化中心，总体趋势递增的有 Mo、Sn、Sr、Tb、Th、Tl、V、W、Cu、Pb、Zr 和 Zn，其中 W、Th、Zn、Zr、Mo、Pb、Sr 和 U 具有明显的正相关性且在矿石中的含量远大于围岩中的含量；总体趋势递减的有 Rb、Ba 和 Ta；变化规律不明显的有 Co、Cr、Cs、Hf、Nb、Ag、和 Ni。元素 Ba ($125 \times 10^{-6} \sim 842 \times 10^{-6}$)、Mo ($2 \times 10^{-6} \sim 885 \times 10^{-6}$)、Rb ($34 \times 10^{-6} \sim 228 \times 10^{-6}$)、Sr ($84.5 \times 10^{-6} \sim 630 \times 10^{-6}$)、Th ($20.1 \times 10^{-6} \sim 640 \times 10^{-6}$)、W ($1 \times 10^{-6} \sim 165 \times 10^{-6}$)、Zr ($241 \times 10^{-6} \sim 1050 \times 10^{-6}$)、Pb ($8 \times 10^{-6} \sim 10000 \times 10^{-6}$)、Zn ($20 \times 10^{-6} \sim 8960 \times 10^{-6}$) 的含量异常高且变化范围大，说明这些元素与矿化蚀变是密切相关的，代表了成矿热液活动中较活动的组分。

从原始地幔标准化微量元素蛛网图（见图 7）可以看出，与相邻元素比较，沙洲矿床的 U、Pb 和 Th 是显著富集的，由于 U 和 Th 具有亲湿岩浆性质，所以在岩浆结晶分异过程中

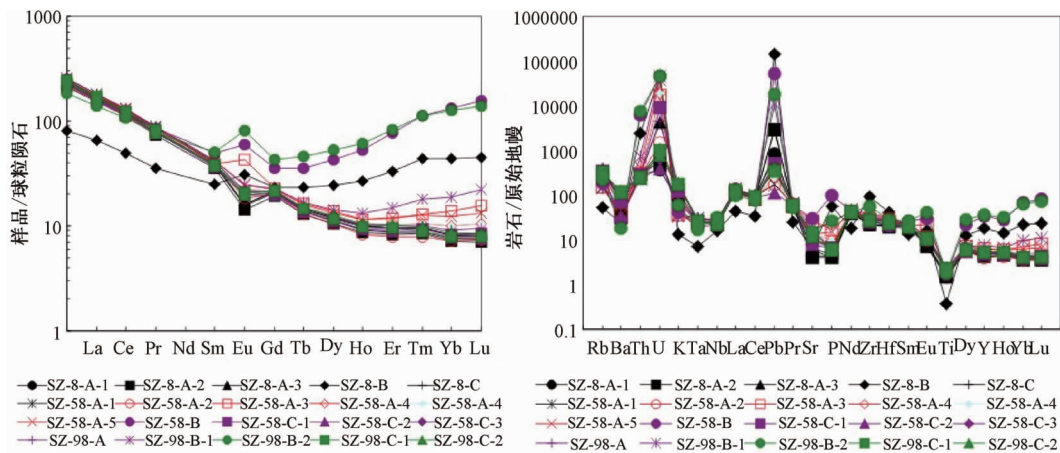


图 7 沙洲矿床花岗斑岩的稀土图谱和微量元素蛛网图^[14-15]

Fig. 7 Chondrite-normalized REE distribution patterns and primitive mantle normalized multi-element patterns of the granite porphyry in Shazhou deposit

富集于残余岩浆之中^[12]。围岩中的 U 含量大于 7.65×10^{-6} , Th 含量大于 20.1×10^{-6} , 具有很高的背景丰度, 说明在岩浆演化过程中 U 和 Th 的预富集作用十分完善。Sr、Ba、Ta、Nb 和 Ti 是明显亏损的, 显示它们可能经历了斜长石、钛铁矿、金红石和榍石等矿物的强烈分离结晶作用, 因为这些矿物富集 Sr、Ba、Ta、Nb 和 Ti 而亏损 Pb。负的 Nb 异常也是大陆地壳的特征, 可能指示了地壳物质参与了岩浆过程^[13]。从图中还可以看出, P 和 Eu 在矿石中比较富集, 而在围岩中比较亏损, 这两种元素的含量是受磷灰石控制的, 表明了磷灰石在矿石中的富集。

3.2.3 稀土元素的变化特征

从沙洲次花岗斑岩的稀土元素配分曲线(见图7)可以看出, 围岩(或者弱蚀变岩)总体为右倾斜型, 左边上翘且比较陡, 右边相对平缓一些。反映在岩石成岩过程中 LREE(轻稀土元素)曾发生较强烈的分馏, 而 HREE(重稀土元素)分馏相对较弱。围岩中具有明显的 Eu 负异常, 表明在岩浆分离结晶过程中, 斜长石大量晶出从而导致残余熔体中亏损 Eu。斜长石从熔体中不断分离结晶, 在相山中生代岩浆房内的结晶分异作用中起着主导作用^[12]。而4个矿石 LREE 配分曲线与围岩一致, 为陡右倾斜型, 但是 HREE 的配分曲线与围岩相比呈明显的异常, 为左倾斜型。通常认为 REE(稀土元素)为最不易溶解的微量元素, 在低级变质作用、风化作用和热液蚀变作用中保持相对的不活泼型。因此, 热液活动对岩石的稀土元素地球化学特征不会造成重大的影响, 除非水/岩比值高^[13], 表明沙洲矿床的热液水/岩比值高, 对 HREE 的分馏产生了很大的影响。矿石中的 Eu 呈明显的正异常, 这可能与相山热液蚀变如萤石化过程中带来的磷灰石有关。

从沙洲矿床 -8 m、-58 m 和 -98 m 中段矿体剖面稀土元素化学成分(见表3)可知, 稀土总量 ΣREE (含 Y)较高, ΣREE 的值为 $258.63 \times 10^{-6} \sim 598.43 \times 10^{-6}$, 围岩的 ΣREE 值为 $336.50 \times 10^{-6} \sim 398.03 \times 10^{-6}$, 矿石的 ΣREE 值总体大于 415×10^{-6} , 而且显示出随着

表3 沙洲矿床 -8 m、-58 m 和 -98 m 中段矿体剖面稀土元素化学成分

Table 3 Chemical compositions of the rare-earth elements from -8 m, -58 m and

-98 m sections of the Shazhou deposit

元素含量/ 10^{-6}																	LREE/	(La/	(La/	(Gd/	δEu	
La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	LREE	HREE	HREE	Yb) _N	Sm) _N		Yb) _N
84.7	156	16.65	57.3	8.73	1.37	6.35	0.83	4.60	0.85	2.35	0.34	2.03	0.31	23.5	340.07	324.75	41.16	7.89	28.20	6.11	2.54	0.54
77.8	145.5	15.35	52.6	8.17	1.23	5.96	0.75	4.00	0.74	2.05	0.30	1.78	0.27	20.0	314.45	300.65	35.85	8.39	29.54	5.99	2.71	0.52
87.2	160	16.90	58.2	8.81	1.38	6.48	0.84	4.56	0.86	2.40	0.34	2.07	0.32	23.6	347.97	332.49	41.47	8.02	28.47	6.23	2.54	0.53
29.9	62.4	6.80	25.0	5.79	2.68	7.07	1.34	9.25	2.26	8.16	1.55	10.90	1.73	83.8	162.20	132.57	126.06	1.05	1.85	3.25	0.53	1.28
89.7	164.5	17.60	59.8	9.16	1.39	6.60	0.84	4.53	0.85	2.36	0.34	1.99	0.30	23.3	357.67	342.15	41.11	8.32	30.46	6.16	2.69	0.52
92.9	171.5	17.95	62.9	9.38	1.87	6.59	0.81	4.24	0.77	2.15	0.31	1.89	0.29	20.2	371.37	356.50	37.25	9.57	33.22	6.23	2.83	0.69
91.7	165.5	17.40	60.6	9.06	1.62	6.17	0.75	3.98	0.70	1.98	0.28	1.80	0.28	18.5	359.74	345.88	34.44	10.04	34.43	6.37	2.78	0.63
79.1	148	15.45	55.2	9.13	3.77	6.96	0.94	5.24	0.99	2.91	0.46	3.41	0.60	28.4	328.15	310.65	49.91	6.22	15.68	5.45	1.65	1.39
81.8	152.5	15.70	57.2	8.85	1.93	6.68	0.87	4.71	0.89	2.57	0.37	2.48	0.40	24.3	334.07	317.98	43.27	7.35	22.29	5.82	2.18	0.74
89.3	164	17.25	61.3	9.57	2.12	6.91	0.91	4.93	0.94	2.78	0.43	2.90	0.49	26.9	360.44	343.54	47.19	7.28	20.81	5.87	1.93	0.76
90.3	167.5	17.55	62.1	9.66	2.16	6.83	0.93	5.09	0.98	3.00	0.45	3.07	0.51	27.9	366.55	349.27	48.76	7.16	19.88	5.88	1.80	0.77
92.7	161.5	17.05	61.0	11.50	5.21	10.90	2.08	16.30	4.56	19.30	4.00	32.90	5.93	153.5	406.10	348.96	249.47	1.40	1.90	5.07	0.27	1.40
83.8	154	16.35	55.5	8.76	1.73	6.31	0.79	4.30	0.80	2.30	0.33	2.04	0.32	22.8	334.97	320.14	39.99	8.01	27.76	6.02	2.51	0.68
82.8	154	16.25	55.6	8.50	1.70	6.07	0.80	4.19	0.80	2.19	0.32	1.91	0.29	22.3	333.22	318.85	38.87	8.20	29.29	6.13	2.58	0.69
82.2	148.5	15.85	54.5	8.74	1.87	6.44	0.83	4.52	0.87	2.36	0.34	2.06	0.31	23.3	327.02	311.66	41.03	7.60	26.96	5.92	2.53	0.73
83	152	15.95	56.3	8.86	1.80	6.60	0.86	4.69	0.88	2.48	0.36	2.24	0.36	24.4	333.78	317.91	42.87	7.42	25.04	5.90	2.39	0.69
93.6	171.5	18.15	62.4	9.64	2.13	6.99	0.97	5.36	1.13	3.71	0.64	4.70	0.84	33.8	376.22	357.42	58.14	6.15	13.46	6.11	1.21	0.76
68.3	134.5	14.60	55.3	11.80	7.10	13.00	2.66	20.30	5.15	20.40	4.03	31.30	5.29	161.5	357.14	291.60	263.63	1.11	1.47	3.64	0.34	1.74
89.4	162.5	17.05	58.4	8.85	1.80	6.57	0.84	4.43	0.84	2.38	0.32	1.96	0.30	23.4	353.38	338.00	41.04	8.24	30.82	6.36	2.72	0.69
83.6	155.5	16.45	55.3	8.71	1.72	6.44	0.87	4.78	0.90	2.52	0.35	2.15	0.32	25.3	337.14	321.28	43.63	7.36	26.28	6.04	2.43	0.67

U 含量的增高稀土总量逐渐增大的趋势。样品的 ΣREE 值均高于地壳的 ΣREE 值 (163.5×10^{-6})^[16], 具有产于大陆边缘中酸性火山岩系的特点^[17]。围岩 LREE/HREE 值为 6.22 ~ 10.04, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 值为 15.68 ~ 34.43, $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 值为 5.45 ~ 6.37, $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ 值为 1.65 ~ 2.83, δEu 值为 0.52 ~ 1.39。这些参数表明 LREE 在围岩中更富集, 并且在成岩过程中轻、重稀土元素特别是轻稀土元素在岩浆喷出地表前发生了一定程度的分馏作用, 或者原岩中本来就富集 LREE 和亏损 Eu。与围岩相比, 矿石的 LREE/HREE 值以及 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 、 $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 和 $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ 的值均降低了, 分别为 1.05 ~ 6.15、1.47 ~ 13.16、3.25 ~ 6.11 和 0.27 ~ 1.21, 而 δEu 值增大了, 总体大于 1.28, 说明矿石与围岩相比 LREE 富集程度有所降低, HREE 富集程度有所增高, 轻、重稀土总的分馏程度降低。目前相山铀矿田中 P 的含量异常高, 相山铀矿田富大铀矿体中都发现有大量的磷灰石存在, 局部地段可达工业品位^[18]。在热液蚀变过程中, 绿泥石化、水云母化、萤石化和磷灰石化等所形成的磷灰石具有很强的富集 MREE (中稀土) 的作用, 从而在很大程度上改变了轻、重稀土之间的分馏程度。

3.3 铀成矿与蚀变带元素的关系

从表 2、表 3 和图 6 中可以看出, Ba、Mo、Rb、Sr、Th、W、Zr、Pb、Zn、LREE 和 HREE 的含量在围岩和矿石中的变化量很大, 因此与蚀变和成矿的关系最为密切。为进一步研究这些微量元素之间的关系, 对沙洲矿床的这几个元素进行相关性分析 (见表 4), 结果表明该矿床与 U 最为相关的元素是 W 和 HREE, 其相关系数分别为 0.702 和 0.700; 与 U 正相关的元素还有 Th、Zn、Zr、Mo、Pb、Sr; U 与 Rb 具有很大的负相关性, 相关系数为 -0.729; 与 U 呈负相关关系的元素还有 Ba 和 LREE, 相关系数分别为 -0.596 和 -0.288。从沙洲矿床微量元素 R 型聚类分析谱系图 (见图 8) 可以看出矿床成矿元素组合为 U、W、HREE、Th、Zn、Zr、Mo、Pb, 这些元素可作为成矿指示元素组合。

表 4 沙洲矿床岩石元素含量相关性分析矩阵

Table 4 Corellation matrix of the elements in rocks from Shazhou deposit

元素	LREE	HREE	Ba	Mo	Rb	Sr	Th	W	Zr	Pb	Zn	U
LREE	1											
HREE	-0.247	1										
Ba	0.221	-0.481	1									
Mo	-0.099	0.934	-0.438	1								
Rb	0.404	-0.348	0.734	-0.210	1							
Sr	0.250	0.450	-0.112	0.363	-0.346	1						
Th	-0.205	0.995	-0.475	0.960	-0.303	0.418	1					
W	-0.688	0.818	-0.514	0.746	-0.521	0.111	0.806	1				
Zr	-0.848	0.449	-0.388	0.325	-0.647	-0.049	0.415	0.855	1			
Pb	-0.833	0.501	-0.391	0.239	-0.590	0.021	0.441	0.768	0.862	1		
Zn	-0.774	0.697	-0.451	0.466	-0.570	0.127	0.647	0.872	0.843	0.968	1	
U	-0.288	0.700	-0.596	0.590	-0.729	0.486	0.667	0.702	0.623	0.576	0.648	1

4 结论

沙洲矿床矿化直接发生在裂隙构造中和两侧围岩中, 矿体严格受断裂、裂隙构造控制。含矿裂隙带的走向大致为 280° — 330° 。

从矿石到蚀变岩, 再到未蚀变岩, 化学组分和微量元素有着明显的差异, 这与热液侵入

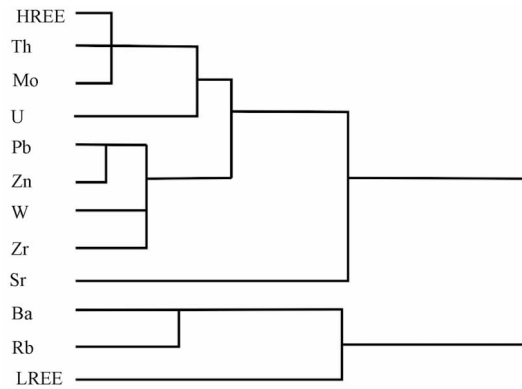


图 8 沙洲矿床微量元素 *R* 型聚类分析谱系图

Fig. 8 Hierarchical diagram of *R-type* cluster analysis of the trace elements in Shazhou deposit

充填过程中与围岩物质的交换密切相关。

矿床成矿元素组合为 U、W、HREE、Th、Zn、Zr、Mo、Pb，这些元素可作为铀成矿预测标志。

参 考 文 献

- [1] 陈正乐, 杨农, 王平安, 等. 江西临川地区相山铀矿田构造应力场分析 [J]. 地质通报, 2011, 30 (4): 514 ~ 531.
CHEN Zheng-le, YANG Nong, WANG Ping-an, et al. Analysis of the tectonic stress field in the Xiangshan uranium ore field, Linchuan area, Jiangxi China [J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30 (4): 514 ~ 531.
- [2] 黄锡强, 陈正乐, 王平安, 等. 江西相山铀矿田沙洲矿床流体包裹体研究 [J]. 地质力学学报, 2008, 14 (2): 176 ~ 185.
HUANG Xi-qiang, CHEN Zheng-le, WANG Ping-an, et al. Fluid inclusion study of the Shazhou uranium ore field in the Xiangshan deposit, Jiangxi [J]. Journal of Geomechanics, 2008, 14 (2): 176 ~ 185.
- [3] 王蕾, 张树明, 蒋振频, 等. 相山铀矿田沙洲矿床流体包裹体研究 [J]. 大地构造与成矿学, 2008, 32 (4): 500 ~ 508.
WANG Lei, ZHANG Shu-ming, JIANG Zhen-pin, et al. The study of fluid inclusion of Shazhou deposit in Xiangshan uranium ore-field [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2008, 32 (4): 500 ~ 508.
- [4] 陈贵华, 陈名佐. 相山铀矿田成矿条件分析 [J]. 铀矿地质, 1999, 15 (6): 329 ~ 338.
CHEN Gui-hua, CHEN Ming-zuo. Analysis of mineral-formation condition in Xiangshan uranium ore-field [J]. Uranium Geology, 1999, 15 (6): 329 ~ 338.
- [5] 邵飞, 陈晓明, 许恒力, 等. 江西省相山铀矿田成矿模式探讨 [J]. 地质力学学报, 2008, 14 (1): 65 ~ 73.
SHAO Fei, CHEN Xiao-ming, XU Heng-li, et al. Metallogenic model of the Xiangshan uranium ore field, Jiangxi Province [J]. Journal of Geomechanics, 2008, 14 (1): 65 ~ 73.
- [6] 胡宝群, 吕古贤, 孙占学, 等. 江西相山铀矿田中断裂与水相变耦合成矿——以邹家山矿床铀成矿作用分析为例 [J]. 大地构造与成矿学, 2011, 35 (4): 502 ~ 512.
HU Bao-qun, LÜ Gu-xian, SUN Zhan-xue, et al. Mineralization and fracture-water phase transition coupling in the Xiangshan Uranium Ore Field, Jiangxi [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2011, 35 (4): 502 ~ 512.
- [7] 曹寿孙, 谢国发, 吴志坚, 等. 居隆庵地段铀成矿的地质条件 [J]. 世界核地质科学, 2009, 26 (4): 187 ~ 196.
CAO Shou-sun, XIE Guo-fa, WU Zhi-jian, et al. Geological conditions on metallogeny in Julong'an segment [J]. World Nuclear Geoscience, 2009, 26 (4): 187 ~ 196.
- [8] 陈小明, 陆建军, 刘昌实, 等. 桐庐、相山火山 - 侵入杂岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄 [J]. 岩石学报, 1999, 15

- (2): 272 ~ 278.
- CHEN Xiao-ming, LU Jian-jun, LIU Chang-shi, et al. Single-grain zircon U-Pb isotopic ages of the volcanic-intrusive complexes in Tonglu and Xiangshan areas [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1999, 15 (2): 272 ~ 278.
- [9] 张鸿, 陈正乐, 杨农. 江西省相山矿田横洞—岗上英矿床构造控矿特征分析 [J]. *地质力学学报*, 2009, 15 (1): 36 ~ 49.
- ZHANG Hong, CHEN Zheng-le, YANG Nong. Structural control over the ore in Hengjian-Gangshangying deposits in Xiangshan ore field, Jiangxi Province [J]. *Journal of Geomechanics*, 2009, 15 (1): 36 ~ 49.
- [10] 余达淦, 吴仁贵, 陈培荣. 铀资源地质学 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2005: 132 ~ 133.
- YU Da-gan, WU Ren-gui, CHEN Pei-rong. *Geology of uranium resources* [M]. Harbin: Harbin Engineering University Press, 2005: 132 ~ 133.
- [11] 杜乐天. 碱交代作用地球化学原理 [J]. *中国科学: B辑*, 1986, (1): 81 ~ 90.
- DU Le-tian. *Geochemical principle of alk metasomasis* [J]. *Scientia Sinica: Edition B*, 1986, (1): 81 ~ 90.
- [12] 夏林圻, 夏祖春, 张诚, 等. 相山中生代含铀火山杂岩岩石地球化学 [M]. 北京: 地质出版社, 1992: 12 ~ 48.
- XIA Lin-qi, XIA Zu-chun, ZHANG Cheng, et al. *Litho geochemistry of the Mesozoic uranium-bearing volcanic complex rock* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992: 12 ~ 48.
- [13] Taylor S R, McLennan S M. *The continental crust: Its composition and evolution* [M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1985.
- [14] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [C] //Saunders A D, Norry M J. *Magmatism in Ocean Basins*. London: Geological Society Publications, 1989: 313 ~ 345.
- [15] Rollison. 岩石地球化学 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2000.
- Rollison. *Litho geochemistry* [M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2000.
- [16] 黎彤. 化学元素的地球丰度 [J]. *地球化学*, 1976, 5 (3): 167 ~ 174.
- LI Tong. Earth abundance of chemical elements [J]. *Geochimica*, 1976, 5 (3): 167 ~ 174.
- [17] Cullers R L, Graf J L. Rare earth elements in igneous rocks of the continental crust: Intermediate and silicic rocks [C] //Henderson P. *Rare Earth Element Geochemistry*. Amsterdam: Elsevier, 1984: 275 ~ 316.
- [18] 薛振华, 蒋振频, 董永杰, 等. 相山铀矿田4号带凝灰岩中的高品位铀矿脉 [J]. *华东地质学院学报*, 2003, 26 (4): 351.
- XUE Zhen-hua, JIANG Zhen-pin, DONG Yong-jie, et al. High quality uranium ore vein in tuff in the Line 4 of Xiangshan uranium ore field [J]. *Journal of East China Geological Institute*, 2003, 26 (4): 351.

THE WALL ROCK ALTERATION AND ITS GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE SHAZHOU DEPOSIT IN XIANGSHAN URANIUM ORE-FIELD

CAO Xiao-bing¹, LÜ Gu-xian², HU Bao-qun³, ZHENG Guang-gao¹,
YAO Hong-xin¹, LIANG Dong⁴

(1. *School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

2. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;*

3. *East China Institute of Technology, Fuzhou 344000, Jiangxi, China*

4. *China Metallurgy Geological Bureau of Geological Exploration Institute of Xinjiang, Urumqi 830000, China)*

Abstract: The ore body of Shazhou deposit in Jiangxi Province is strictly controlled by faults and its wall rock alteration zoning characteristics is very apparent. This paper introduces the geochemical characteristics of the wall rock alteration. The results of whole-rock analysis of Shazhou deposit show that the chemical composition of the ore body is very different from the surrounding rock and the differences are relevant with the migration of chemical elements in the course of alteration. The combinations of metallogenetic elements are U, W, HREE, Th, Zn, Zr, Mo, Pb based on R-mode cluster analysis of all the rock samples and these elements can serve as the criteria for U ore prospecting in the region.

Key words: Shazhou deposit; wall rock alteration; correlation of elements; geochemical characteristics