

文章编号: 1671-4814(2009)04-271-07

粤北下庄矿田小水铀矿床地球化学特征分析*

蒙毅¹, 王正其¹, 吴烈勤²

(1 东华理工大学, 江西 抚州 344000)

(2 核工业290研究所, 广东 韶关 512026)

摘要: 粤北小水矿床是下庄矿田典型的交点型铀矿床。通过对矿床内发育的花岗岩、辉绿岩及铀矿石采样分析, 发现小水矿床矿石具有轻稀土富集的稀土元素特征和富集大离子亲石元素 Rb、Th 的微量元素特征, 与辉绿岩的相应特征十分吻合, 与花岗岩的相应特征差异很大, 推测其成矿物质来源于深部地幔流体(富含 U、F、CO₂), 且交点型矿石的形成很有可能伴有幔源成矿流体对与花岗岩有关的早期红化矿石的叠加改造作用。

关键词: 稀土元素; 微量元素; 地幔流体; 交点型铀矿床

中图分类号: P59

文献标识码: A

下庄矿田是我国最大的花岗岩型铀矿田, 其构造与成矿作用极其复杂。40多年来, 针对下庄矿田的岩浆作用、成矿构造、矿床成因方面前人进行了不同程度的研究^[1]。但是在下庄铀矿田的成矿流体来源示踪方面相对欠缺。笔者依据微量元素之间地球化学性质相似, 行为相近, 以及其整体参与地质作用的成岩、成矿过程和示踪作用的特点, 通过对小水矿床野外地质调研和围岩、矿石的微量元素及稀土元素地球化学特征对比, 利用围岩和矿石的微量元素及其稀土元素组成特征, 判断成矿环境和物化条件, 试图解决成矿物质来源和成矿条件等问题, 以加深认识铀成矿作用, 为指导该区下一步找矿活动提供依据。

1 地质背景与成矿地质特征

下庄矿田处于南岭花岗岩带南段的贵东复式岩体东部, 区域上位于华南后加里东褶皱隆起带与海西-印支期拗陷带的交界部位, 多个不同方向的深大断裂的相互交汇部位。矿田内断裂构造非常发育, 往往成群、成组出现, 具有规模大、方向多、性质多变、活动频繁及近等间距分布等特点, 以北西西向、北东东向和北北东向三组断裂尤为重要。它们相互交织、切割构成下庄矿田棋盘格子状的构造格局(图1), 控制着区内铀矿床的分布。下庄铀矿田主要赋存在燕山期花岗岩体内(185~140 Ma), 主要岩性为粗粒黑云母花岗岩等, 白垩世有辉绿岩形成。基底岩性主要是经历了中-深变质作用及混合岩化作用的震旦—奥陶纪的陆相碎屑

* 收稿日期: 2009-06-26

基金项目: 核工业地质勘查基金资助。

第一作者简介: 蒙毅(1978~), 男, 硕士研究生, 矿产普查与勘探专业。

岩夹海底火山岩,其深部可能存在古老的变质结晶基底^[2,3]。

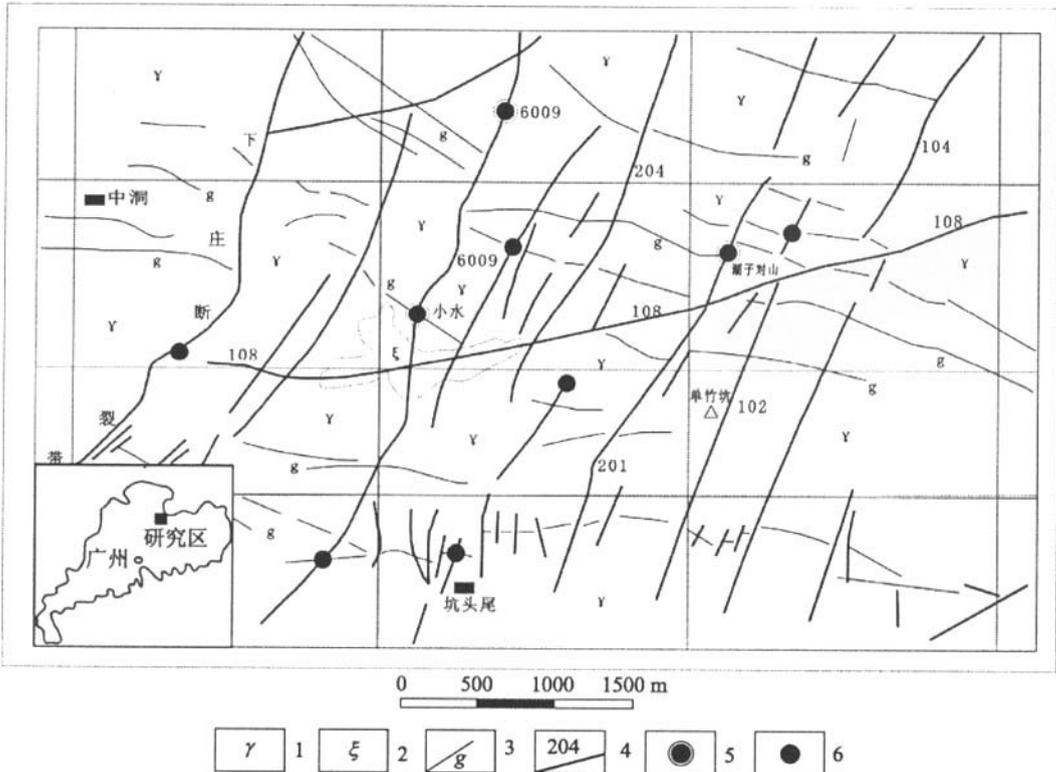


图1 粤北小水铀矿床区域地质图

Fig.1 Regional geological map of Xiaoshui uranium deposit, Northern Guangdong Province

1-花岗岩;2-碱交代岩;3-辉绿岩;4-断裂带;5-矿床;6-铀矿点

小水矿床主要受近北东向的6009断裂所控制^[4]。矿体大多赋存于该断裂与近东西向的辉绿岩脉的交汇处。矿体多呈板状、脉状、网脉状、透镜状及柱状。矿床附近发育有碱交代岩。围岩类型为:新鲜辉绿岩、块状新鲜花岗岩。铀成矿与其围岩关系密切,辉绿岩的厚度即为矿体长度,含矿构造穿过辉绿岩脉,矿体随之尖灭。辉绿岩呈墨绿色、深绿色,块状,可见到浸染状分布的黄铁矿晶体;肉红色花岗岩呈块状,斑晶主要为油脂光泽的白色石英、肉红色的钾长石。围岩蚀变有硅化、黄铁矿化、萤石化、碳酸盐化。矿石类型为:下庄矿田中普遍存在的早期红化花岗岩矿石、晚期的“交点型”矿石;“交点型”矿石主要为沥青铀矿-微晶石英-萤石型,多以脉体充填形式产出,系晚期地幔热液流体改造早期红化花岗岩矿石的产物。晚期的“交点型”矿石成矿年龄(U-Pb法)平均为73.5 Ma^[4],与下庄矿田存在早(138~122 Ma)、晚(96~54 Ma)两期不同成因类型的花岗岩型铀矿这一观点^[5]较为吻合。

2 样品采集与测试

本次研究样品包括交点型铀矿石(3个)、辉绿岩(2个)、花岗岩(3个),均采自小水矿床开采坑道内。采集方法为拣块法;所采样品新鲜,基本未遭受热液流体蚀变和表生风化作用。稀土元素、微量元素含量测试均由核工业北京地质研究院分析测试中心完成,分析测试方法为高分辨率电感耦合等离子质谱法(ICP-MS),仪器型号是德国Finnigan2MAT公司生产的

ELEMENTI,标准物质为GSD2-1和GSD6-1,精度优于5%。分析结果(表1)。

表1 岩石和矿石稀土元素与微量元素含量分析结果($\times 10^{-6}$)

Table 1 Analysis results of rare earth elements and trace elements for rocks and ores from Xiaoshui deposit($\times 10^{-6}$)

样品号	53-3	53-20	53-14	53-16	53-15	53-42	53-46	53-40
样品名称	辉绿岩			花岗岩		铀矿石		
稀 土 元 素	La	13.8	13.7	24	52.5	26.6	35.3	28.4
	Ce	33.4	34	49	103	58.4	86.6	73.4
	Pr	4.54	4.79	5.95	12.2	6.54	11.8	10.1
	Nd	20.3	22.2	20.7	42.7	22.5	49.6	46.4
	Sm	5.15	6.21	4.71	8.51	5.15	15.9	13.1
	Eu	1.73	2.15	0.424	0.869	0.416	3.95	5.21
	Gd	5.41	7.13	4.37	7.25	4.72	18.1	15.2
	Tb	0.893	1.22	0.732	1.12	0.761	3.29	2.6
	Dy	5.16	7.58	4.33	6.25	4.3	18.3	15.5
	Ho	1	1.58	0.858	1.22	0.772	3.41	3.01
	Er	2.67	4.39	2.49	3.55	2.12	8.85	8.01
	Tm	0.363	0.634	0.388	0.521	0.315	1.22	1.09
	Yb	2.23	3.99	2.63	3.51	2.17	8.69	6.66
	Lu	0.312	0.561	0.373	0.497	0.31	1.28	0.927
	\sum REE	96.96	110.14	120.96	243.7	135.07	266.29	229.61
LREE	78.92	83.05	104.78	219.78	119.61	203.15	176.61	
HREE	18.04	27.09	16.17	23.92	15.47	63.14	53	
LREE/HREE	4.37	3.07	6.48	9.18	7.73	3.22	3.33	
δ Eu	1.1	1.09	0.31	0.36	0.28	0.78	1.25	
微 量 元 素	Sr	316	140	20.8	72.6	32.9	82.7	77.8
	La	13.8	13.7	24	52.5	26.6	35.3	28.4
	Rb	53	181	546	413	488	105	182
	Ba	153	93.8	181	419	190	52.8	249
	Th	1.74	1.82	25.4	40.4	25.4	0.829	3.15
	Ta	0.886	0.878	4.76	3.25	5.78	0.404	1.97
	Nb	10.1	10.3	24.4	17.5	25.2	5.99	20.4
	Ce	33.4	34	49	103	58.4	86.6	73.4
	Zr	103	146	159	141	141	81	198
	Hf	3.38	5.06	6.35	5.5	5.58	5.1	6.81
	Sm	5.15	6.21	4.71	8.51	5.15	15.9	13.1
	Ti	12437	16075	722	1769	731	4725	124725426
	Y	24.9	39.5	25.8	34.7	21.6	105	87.1
	Yb	2.23	3.99	2.63	3.51	2.17	8.69	6.66

3 稀土元素地球化学特征

3.1 辉绿岩

稀土元素总量介于 $96.96 \times 10^{-6} \sim 110.14 \times 10^{-6}$ 之间,平均值为 103.55×10^{-6} ;LREE/万方数据

HREE 比值介于 3.07~4.37, 平均值为 3.72; δEu 值介于 1.09~1.1, 平均值为 1.095。辉绿岩球粒陨石标准化稀土元素分布曲线(图 2) 表现为平滑且略微右倾、轻稀土弱富集特征, 分布曲线相互平行且基本一致, 显示样品之间稀土元素分馏程度相同; 也反映出辉绿岩成岩过程中轻稀土元素分馏作用不明显, 重稀土元素分馏作用更弱; 无 Eu 异常或亏损, 反映岩浆演化过程基本不存在斜长石的结晶分异作用。

3.2 花岗岩

稀土元素总量介于 $120.96 \times 10^{-6} \sim 243.7 \times 10^{-6}$ 之间, 平均值为 166.577×10^{-6} , 高于地壳稀土元素总量平均值 (163.5×10^{-6})^[6]; LREE/HREE 比值介于 6.48~9.18, 平均值为 7.8, 低于陆壳平均值 (9.53)^[6]。 δEu 值介于 0.28~0.36, 平均值为 0.32。花岗岩球粒陨石标准化稀土元素分布曲线(图 2) 表现为向右倾斜, 左边上翘并较陡, 右边相对平缓的轻稀土富集特征, 具有明显的 Eu 负异常。反映出花岗岩成岩过程岩浆内的轻稀土元素发生了强烈的分馏作用, 而重稀土元素分馏作用弱; 三个样品稀土元素分布曲线大致相似, 表明花岗岩各样品稀土元素分馏程度相同。

3.3 矿石

矿石稀土元素总量介于 $229.61 \times 10^{-6} \sim 298.83 \times 10^{-6}$, 平均值为 264.91×10^{-6} ; LREE/HREE 比值介于 2.51~3.33, 平均值为 3.02; δEu 值介于 0.78~1.25, 平均值为 1.01。样品 53-46、53-40 无 Eu 异常, 可能是因为没有发生分异作用而造成的, 这和辉绿岩基本一样, 显示出成矿流体具有深源性。样品 53-42 有点特殊, 它具有弱 Eu 负异常, 有别于辉绿岩而趋向于花岗岩, 说明交点型矿石对于花岗岩的物质组成具有一定的继承性, 交点型矿石的成矿受到花岗岩物质的混染。

与围岩相比, 它们的球粒陨石标准化稀土元素配分曲线(图 2) 可以看出, 小水矿床矿石与辉绿岩的曲线十分吻合, 说明成矿流体具有地幔来源特点。

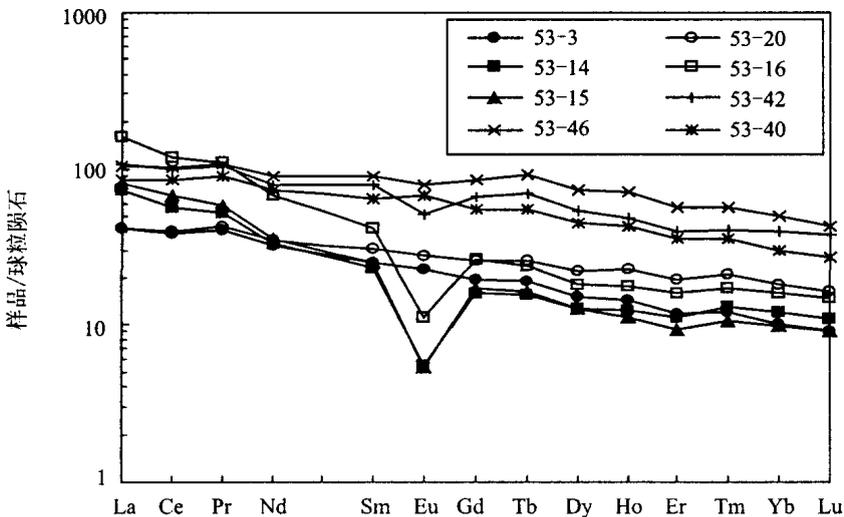


图 2 岩石和矿石球粒陨石标准化稀土元素配分模式图(样号参见表 1)

Fig. 2 Chondrite-normalized REE patterns for rocks and ores(据 Nakamura, 1977)

4 微量元素地球化学特征

4.1 辉绿岩

高度富集大离子亲石元素和强不相容元素 Rb、Ba、Th、Ta、Ce 等,曲线形态呈现左侧显著“隆起”,高场强元素普遍高于原始地幔值(图3),并随不相容性增强富集程度增加,类似于原始地幔;除 Sr 较相邻元素有较大亏损、Ba 较相邻元素有弱亏损外,其余元素如 Nb、Ce、Ta、Zr、Hf 等无亏损, Ti 无异常;其部分微量元素比值(表2)Zr/Nb 比值介于 10.2~14.17,平均值为 12.185;La/Nb 比值介于 1.33~1.37,平均值为 1.35;Ba/La 比值介于 6.85~11.09,平均值为 8.97;Rb/Nb 比值介于 5.25~17.57,平均值为 11.41;Ba/Nb 比值介于 9.11~15.15,平均值为 12.13。反映出辉绿岩形成过程中没有受到地壳物质的混染,其地幔物质未被地壳的流体交代作用的特征。

4.2 花岗岩

富集大离子亲石元素如 Rb、Th、Ce;高场强元素相对亏损,特别是 Sr、Ba、Ti 表现出强烈亏损,属于低 Sr、Ba 花岗岩,类似于南岭东段强过铝花岗岩。花岗岩原始地幔标准化蛛网图表明曲线在 Rb、Th、Ce 处表现出明显的正异常,在 Sr、Ti 处表现出较大的负异常(图3),整体上呈现大离子亲石元素富集的左侧“隆起”特征。Rb/Nb 比值介于 19.37~23.6(表2),平均值为 21.783。明显高于我国东部地壳平均值(6.8)^[7]和全球上部地壳平均值(4.5)^[8]。

表2 岩石和矿石微量元素比值

Table 2 Ratios of trace elements for rocks and ores

样品名称	辉绿岩		花岗岩				交点型矿石	
样品号	53-3	53-20	53-14	53-16	53-15	53-42	53-46	53-40
Zr/Nb	10.2	14.17	6.52	8.06	5.6	13.52	28.19	9.71
La/Nb	1.37	1.33	0.98	3	1.06	5.89	3.28	1.39
Ba/La	11.09	6.85	7.54	7.98	7.14	1.5	1.06	8.77
Rb/Nb	5.25	17.57	22.38	23.6	19.37	17.53	11.43	8.92
Ba/Nb	15.15	9.11	7.42	23.94	7.54	8.81	3.46	12.21

4.3 矿石微量元素特征

矿石整体表现出大离子亲石元素 Rb、Th 富集(图3);样品 53-42、53-46 曲线幅度稍下降,可能样品代表性稍有差别。矿石中高场强元素(Sm、Y、Yb)有增高现象,在 Ti 处,曲线表现出“V 字形”特征, Ti 明显亏损。交点型矿石的部分不相容元素比值的数值(表2)中 Zr/Nb 平均值为 17.14, La/Nb 平均值为 3.52, Ba/La 平均值为 3.78, Rb/Nb 平均值为 12.63, Ba/Nb 平均值为 8.16。表明成矿物质中富含含有 Zr、Ba、Rb 等元素。

5 讨论与结论

5.1 物源探讨

矿石与辉绿岩相比稀土元素分布曲线十分吻合,没有 Eu 亏损特征,形态平缓,分馏程度极为相似。矿石 LREE/HREE 比值都比辉绿岩 LREE/HREE 比值略有下降,从 3.72 下降到 3.02。与花岗岩相比,矿石稀土元素分布曲线则不吻合,它们没有同源成生关系。初步推测万方数据

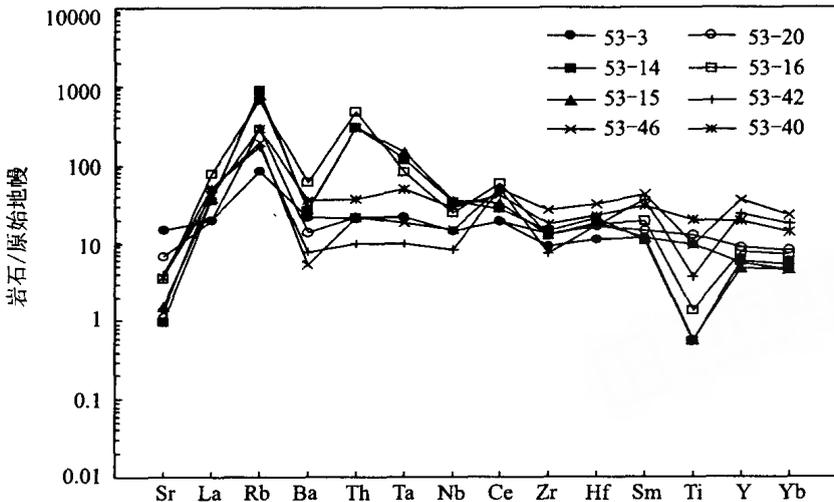


图3 岩石和矿石原始地幔标准化微量元素蛛网图

Fig. 3 Primitive mantle-normalized trace-element spidergram for rocks and ores (据 Sun and McDonough, 1989)

成矿流体具有地幔来源特点。

矿石与辉绿岩相比微量元素特征类似,曲线形态十分吻合,说明两者具有同源成生关系。矿石与花岗岩相比,其微量元素特征差异大,曲线形态差异也很大,不相容元素的含量明显整体下降,说明两者成生关系不大。同时矿岩时差大(花岗岩成岩年龄:185~140 Ma,矿石成矿年龄73.5 Ma)^[4],则进一步说明两者没有成生关系。这进一步启示了矿石与辉绿岩可能具有同源成生关系,且成矿物质主要来源于该区下部的富集地幔。样品53-42的稀土元素特征只佐证“交点型”矿石可能为地幔成矿流体对与花岗岩有关的早期红化矿石的叠加改造产物。

5.2 成因简析

小水矿床成矿作用背景是华南地壳强烈伸展时期,地壳构造拉张作用及破碎带,有利于辉绿岩的侵入^[9-12],也有利于地幔流体向地壳迁移、参与成矿流体的组成。辉绿岩脉中还还原性离子 Fe^{2+} 含量很高,有利于使 U^{6+} 还原成 U^{4+} (沥青铀矿)沉淀;基性岩浆活动导致了大量富 CO_2 、 H_2S 、 F 的流体矿化剂形成。成矿流体从复杂的断裂构造中运移,沟通了深部流体或地幔流体,汇聚成成矿流体。

“交点型”铀矿石其成矿主要受富铀幔源流体、复合断裂系统及辉绿岩等多因素共同控制。当成矿流体达到地壳浅部时,在强烈的碱交代作用参与下,能够导致壳源成矿元素大规模活化转移^[13],从而使成矿流体中的铀得到富集,并且在构造破碎带等压力降低、去气作用等原因,导致 CO_2 、 HF 逸出发生铀矿成矿作用。

野外地质调查查明岩矿石的充填穿插结构及碳酸盐、黄铁矿、萤石等矿物、碱性交代岩的出现,验证了上述幔源流体活动的存在。可以认为矿区发育错综复杂的断裂构造及铀矿化与辉绿岩在时空分布上都具有密切的关系;这反映了成矿流体具有地幔流体的参与。

基于以上认识,则推断小水矿床的交点型矿石具有幔源性质,其形成与深部幔源成矿流体有成生关联,可能与该区下部富集地幔有关。“交点型”铀矿石可能为后期幔源成矿流体对

前期产物(即红化花岗岩矿石)的改造和叠加形成。

参考文献

- [1] 邓平,沈渭洲,凌洪飞,等.地幔流体与铀成矿作用-以下庄矿田仙石铀矿床为例[J].地球化学,2003,(6):520-528.
- [2] 吴烈勤,黄国龙,沈渭洲,等.粤北下庄花岗岩的地球化学特征与成因研究[J].铀矿地质,2005,21(2):65-72.
- [3] 蒙晓莲.诸广岩体南部201矿床地质特征及富矿形成条件探讨[D].华东地质学院硕士研究生论文,1988.
- [4] 王正其,吴烈勤,张国玉,等.粤北中洞地区“交点型”铀矿成矿控制因素研究[R].中国核科技报告,2006.
- [5] 吴烈勤,谭正中,刘汝洲,等.粤北下庄矿田铀矿成矿时代探讨[J].铀矿地质,2003,19(1):28-34.
- [6] 黎彤,倪守斌.中国大陆岩石圈的化学元素丰度[J].地质与勘探,1997,33(1):31-38.
- [7] 高山,等.中国东部地壳的结构和组成[J].中国科学(D辑),1999,29(3):204-213.
- [8] Taylor S R, McLennan S M. The geochemical evolution of the continental crust[J]. Rev. Geophys., 1995, 33(4):241-265.
- [9] 陈跃辉,陈祖伊,蔡煜琦,等.华东南中生代伸展构造与铀成矿作用[R].中国核科技报告,1998.
- [10] 胡瑞忠.花岗岩型铀矿床成因讨论-以华南为例[J].地球科学进展,1994,9(2):41-46.
- [11] 李献华,胡瑞忠,饶冰.粤北白垩纪基性岩脉的年代学和地球化学[J].地球化学,1997,26(2):14-29.
- [12] 朱捌,凌洪飞,沈渭洲,等.粤北下庄矿田晚白垩世辉绿岩的地球化学特征及其构造意义[J].地质论评,2008,54(1):26-37.
- [13] 杜乐天.中国热液铀矿基本成矿规律和一般热液成矿学[M].北京:原子能出版社,2001:153-168.

Analysis of geochemical characteristics of Xiaoshui uranium deposit in Xiazhuang ore-field, Northern Guangdong Province

MENG Yi¹, WANG Zheng-qi¹, WU Lie-qin²

(1 East China Institute of Technology, Fuzhou 344000, China)

(2 Research Institute No. 290, CNNC, Shaoguan, Guangdong, 512026, China)

Abstract

Xiaoshui deposit is a typical intersection-type uranium deposit in Xiazhuang ore-field, Northern Guangdong Province. Basing on the analysis of rocks and ores sampled from granite, diabase and uranium ore occurred in the deposit, it is revealed that the uranium ore is characterized by enrichment of LREE and large-ion lithophile trace elements Rb and Th, being coincided with correspondent characteristics of the diabase but quite different from those of the granite. It can be inferred that the ore-forming material source is the deep mantle fluid (rich in U, F, CO₂) and the formation of intersection-type ore is possibly accompanied by overlapping-reformation of the mantle fluid acted on the early-stage reddened ore genetically related to the granite.

Key words: rare earth elements; trace elements; mantle fluid; intersection-type uranium deposit