

## 某矿床钍、铀分带性的研究

戴杰敏 陶代廉

(核工业部地质局二〇九大队)

钍和铀的地球化学性质比较相似,但也有差异,这就使钍、铀矿化作用既相互联系,显示共生性,又相互区别,表现分带性。本文探讨了某钍铀混合矿床的钍、铀分带性。文中应用数理统计所得结果与地质分析基本一致,并阐述了钍、铀分带富集与蚀变岩石演化的本质联系。

### 一、矿床地质概况

矿区内分布有燕山晚期花岗岩杂岩体,杂岩体中碱性岩(霞石正长岩、霓霞正长岩)沿北东向断裂分布,与中三叠统碳酸盐岩和砂页岩呈侵入接触关系。碱性岩体岩石种类和结构简单,分相不明显。内部相以霞石正长岩为主,顶部边缘相同化系列以云霞正长岩和钙霞正长岩为主,分异系列以方钠霓霞正长岩为主。内部相岩石 $(K+Na)/Al=0.79$ ,  $K/Na=1.24$ ,属正常系列;而顶部边缘相岩石因遭受残浆-气液作用的改造, $(K+Na)/Al=0.85-1.26$ ,  $K/Na=0.49-0.89$ ,属钠质霞石正长岩,且往往为近矿围岩。

在碱性岩与碳酸盐岩的接触处,形成了十分发育的矽卡岩化带,宽达200米,深亦达200多米。并伴有钠长石化、镁钠铁闪石化、镁铁云母化、碳酸盐化、赤铁矿化、萤石化、硅化、黄铁矿化、方铅矿化和绢云母化等蚀变。这些交代蚀变作用在不同时期、不同部位相继发育,形成各种不同的蚀变矿物组合及交代蚀变分带。从碳酸盐岩向碱性岩体方向可见以下的交代蚀变带:

**红色带:** 为紫红色强赤铁矿化碳酸盐化矽卡岩。

**绿色带:** 为灰绿色镁钠铁闪石矽卡岩、镁铁云母岩,后者更靠近红色带,当其很发育时可单独划分出云母带。

**浅色带:** 为碱性岩的交代蚀变带,由钠长岩、变生正长岩、变生霞石正长岩及变生霓霞正长岩等组成,与碱性岩呈渐变过渡关系。

钍、铀矿化属气成热液接触交代型。矿体主要赋存于矽卡岩带内,受交代蚀变岩的严格控制,交代蚀变岩本身往往就是矿石。矿体形态较复杂,为不规则的似层状、透镜状、似脉状、树枝状等,产状一般随接触带产状的变化而变化。

基于对交代蚀变作用的研究和矿石矿物共生组合及生成顺序的分析,认为钍、铀矿化与交代蚀变岩石不仅存在空间上的对应关系,而且在时间演化上也是密切相关的。碱性岩浆活动晚期,残浆和气液向岩体边缘和顶部集中,残浆期广泛发育了镁钠铁闪石化,并有方钍石、

钍石、烧绿石、锆石、晶质铀矿和变生钍铀矿的晶出，为早期成矿阶段；气成期在接触带附近大量生成铁锂云母、富镁黑云母、金云母及方解石等，叠加在早期的蚀变交代岩上，并有大量的烧绿石、锆石、晶质铀矿、变生钍铀矿及部分方钍石、钍石晶出，为主要成矿阶段；热液期主要生成黄铁矿、方铅矿及萤石、方解石等，钍、铀矿化作用微弱。

矿石中钍、铀的赋存状态有三种：(1) 独立矿物：如晶质铀矿、变生钍铀矿、方钍石、钍石；(2) 类质同象：铀赋存于方钍石、钍石、烧绿石中，钍赋存于烧绿石、锆石中等；(3) 分散吸附状态赋存于造岩矿物（长石、霞石）及粘土、褐铁矿中。独立矿物和类质同象是主要的赋存状态。

表 1 蚀变岩石分带与Th/U比值

蚀变分带	红色带	绿色带	浅色带	样品来源
Th/U比值	12.7	6.8	3.2	矿心分析 表 2 成果
	10.6	8.1	0.6	

矿床虽以钍、铀紧密共生为其显著特点，但依据各蚀变带中矿石的 Th/U 比值，可划分出与交代蚀变分带相对应的钍、铀分带，即从红色带—绿色带—浅色带，矿化相应为钍相对富集带—钍铀带—铀相对富集带（表1）。

## 二、钍、铀的相关性分析

根据该矿床的钍、铀混合性质，选择 Th/U 比值的对数为统计量，子样来源于能谱测井解释的 100 ppm 以上的钍、铀含量，共 1219 个。

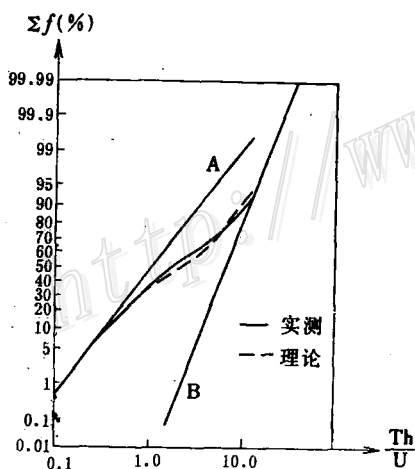


图 1 矿床钍铀比值 (Th/U) 累积频率分布的复合分解

Fig. 1. Composite resolution of accumulative frequency distribution of Th/U ratios in the deposit.

所得频率分布曲线（图1）说明这一套子样包含有两个母体的子体，用正态概率格纸可分解为 A 和 B 两个对数正态的母体。A、B 在总子体中的权重分别是 0.65 和 0.35，其分布参数也有着显著差异。显然，母体 A 反映了以铀为主的矿化样品，母体 B 反映了以钍为主的矿化样品。

矿床的钍铀相关线（图 2）更进一步说明了钍、铀既具共生性，又表现了各自的独立性。 $C_U < 300 \text{ ppm}$  与  $C_{Th} < 400 \text{ ppm}$  的样点密集在一起，无法区别；但当  $C_U > 300 \text{ ppm}$ ， $C_{Th} > 400 \text{ ppm}$  时，426 个样点在钍铀平面上明显分成两股（曲线 I 和曲线 II，I 与 II 间的三角区内样点仅占 5.4%）。这两条回归线拟合的方程是：

$$I: Th = 1.801U^{0.787}$$

$$N = 22 \text{ 组 (子样 65 个)}$$

$$r = 0.784$$

$$II: Th = 2.397U^{1.254}$$

$$N = 43 \text{ 组 (子样 361 个)}$$

$$r = 0.938$$

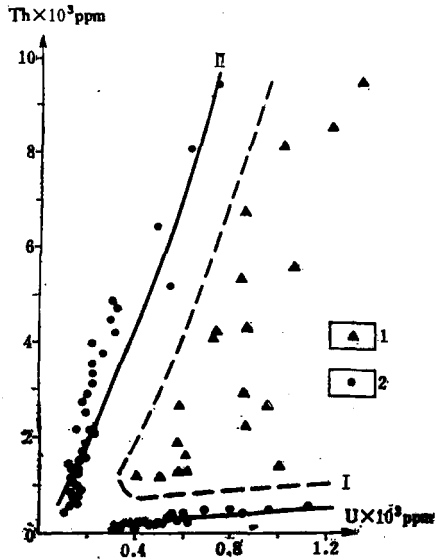


图 2 矿床的钍铀回归线

1—子样点; 2—分组归纳后的样点, 代表 426 个子样点; 虚线所示三角区分布子样点 23 个, 占总子样点的 5.4%;  $U > 1350 \text{ ppm}$ ,  $Th > 10000 \text{ ppm}$  的样点未标

Fig. 2. Thorium-Uranium regression curve of the deposit.

1. subsample point; 2. sample point after grouping, representing 426 subsample points; triangular area as delineated by dash line has 23 subsample points, which make up 5.4 per cent of the total subsample points; sample points of  $U > 1350 \text{ ppm}$ ,  $Th > 10,000 \text{ ppm}$  are not indicated.

两条回归拟合线说明钍、铀之间虽然存在着正相关关系, 但它们的富集又是相对独立的。同时, 从两条拟合线的特征来看, 两条曲线方程的幂是以大于 1 和小于 1 并近似互为倒数而互相呼应。图 2 告诉我们, 钍、铀间, 一个元素的富集伴随着另一个元素的富集, 并且随着富集程度的增长, 铀或钍的单独富集越来越占优势。因此, 曲线 I、II 分别代表着矿床中钍和铀相对富集的趋势。

### 三、钍、铀与其它元素的相关性

对矿床所取 18 个矿化样品的化学全分析结果 (表 2) 进行了钍、铀与各氧化物之间的回归分析。从样点的分布特征来看, 变量之间的相关形式也均接近于  $y = ax^b$  的函数类型。表 3 列出了 Th、U、Th/U 比值与各种氧化物之间简单相关关系的相关系数和方程幂。从表 3 可见, 与钍密切有关的是硅 (负相关)、铁、锰、钛 (以上正相关); 与铀密切有关的是硅、钙 (以上负相关) 和铁、锰、钛 (以上正相关)。相关元素和相关符号的同一, 恰好反映了钍、铀同步富集的特征。

对与钍、铀矿化密切有关的硅、铁、钛、锰、钙还做了复相关分析, 计算所得的偏相关系数列于表 4。对比相关系数和偏相关系数, 对于钍相关稳定度较高的是铁、锰, 对于铀是钛, 对于钍铀比是硅。变符号的只有铀与硅, 偏相关系数说明它们之间呈微弱的正相关。

表 3 反映的另一特点是回归方程幂  $b$  的绝对值, 均是钍与各氧化物回归方程的幂值大于铀与同一氧化物回归方程的幂值。这表明, 随着相关氧化物含量的增长, 钍含量增长 (或减小) 的速度均大于铀含量增长 (或减小) 的速度, Th/U 值也相应地起变化, 反映为钍、铀

表 2 矿床中各类岩石、矿石的化学成分和钠、钛含量 (%)

蚀变分带	岩石名称	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	烧失量	合计	U	T'h	T'h/U	
红色带	赤铁矿碳酸盐化砂卡岩	52.42	41.10	15.97	0.68	1.38	0.61	2.19	0.07	0.50	0.03	3.42	7.05	98.42	0.079	1.124	14.23	
		33.29	14.37	25.26	5.85	1.21	1.59	1.59	1.85	0.07	0.13	0.04	1.14	11.32	95.12	0.078	0.623	7.99
		28.42	23.38	19.52	4.78	1.26	0.51	3.46	3.46	0.07	0.77	0.19	1.64	9.51	95.51	0.195	1.737	18.28
绿色带	碳酸盐化砂卡岩	36.25	7.19	8.26	0.32	0.34	15.19	5.95		0.21	0.04	0.57	20.54	94.86	0.010	0.020	2.00	
		49.45	6.12	16.63	0.51	0.27	3.72	3.27			3.92	2.73	3.19	8.53	98.34	0.021	0.021	1.00
	镁钠铁闪石砂卡岩	45.25	4.24	15.22	0.36	0.18	5.32	5.50			1.27	0.27	9.00	11.56	98.17	0.057	0.081	0.54
		44.04	6.44	10.60	0.58	0.58	3.08	16.24	0.05		6.38	0.93	1.63	8.22	98.77	0.072	0.195	2.71
	铁锂云母岩	46.03	8.86	7.83	0.65	0.65	1.73	17.46			8.29	0.28	0.59	5.72	98.09	0.045	0.032	0.71
		41.88	6.17	8.37	0.60	0.63	4.72	19.64	0.04		7.71	0.56	0.50	7.75	98.57	0.077	0.337	4.38
	高镁黑云母岩	36.58	4.45	11.17	0.26	0.37	5.91	21.03			9.11	0.14	0.32	7.35	96.69	0.006	0.018	3.00
		34.81	8.46	15.62	1.66	0.24	0.65	19.22			2.03	0.17	3.13	10.01	96.00	0.041	1.628	39.71
	II	蚀变铁钠闪石砂卡岩	33.23	19.56	25.98	1.12	1.05	0.90	0.92	0.95	0.22	0.09	1.38	10.94	96.34	0.069	1.266	18.35
			37.58	17.96	21.84	4.99	0.65	0.75	1.35	1.35	0.35	0.61	0.09	1.23	8.92	96.32	0.255	0.591
浅色带	变生霞石正长岩	52.46	6.47	13.65	1.08	0.09	0.41	4.90	0.03	1.76	0.13	8.07	7.44	96.49	0.035	0.024	0.69	
		57.46	9.16	15.01	0.33	0.04	0.35	1.64	0.08	0.24	0.06	7.09	7.19	98.65	0.039	0.026	0.67	
	52.38	8.26	17.26	0.20	0.60	0.33	2.71	0.28	1.49	0.13	3.68	7.68	95.00	0.082	0.036	0.44		
	霓霞正长岩	53.20	4.09	19.50	0.28	0.23	4.30	0.78		6.90	5.12	0.75	4.38	99.53	0.010	0.014	1.40	
	方钠霓霞正长岩	51.92	3.77	19.88	0.31	0.13	1.96	0.34		8.00	6.75	0.25	3.55	96.86	0.038	0.019	2.38	

(分析资料引自本矿床的勘探报告)

表 3 钍、铀与氧化物的相关系数 (r) 与相关方程的幂 (b)

$\frac{r}{b}$ lgx lgy	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + FeO	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO
	Th	-0.82 -5.55	0.78 2.58	0.66 1.25	0.40 0.04	0.75 1.32	-0.44 -0.07	-0.40 -0.46	-0.40 -0.50
U	-0.41 -1.51	0.74 1.66	0.51 0.55	0.35 0.004	0.67 0.67	-0.57 -0.52	-0.41 -0.27	-0.38 -0.28	-0.20
Th/U	-0.67	0.53	0.53	0.24	0.56	-0.18	-0.23	-0.26	-0.20

(样品数 N = 18 r<sub>0.05</sub> = 0.4683)

表 4 钍、铀与氧化物的偏相关系数

r lgy	lgx	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + FeO	MnO	TiO <sub>2</sub>	CaO
	Th	-0.21	0.43	0.43	0.25	-0.28
U	0.26	0.25	0.29	0.36	0.17	
Th/U	-0.40	0.12	0.17	0.06		

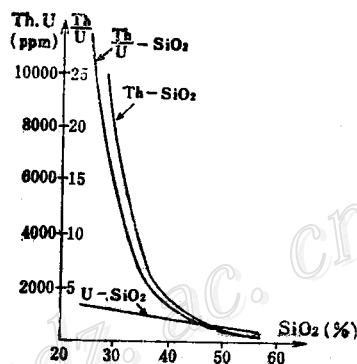


图 3 Th、U、Th/U对SiO<sub>2</sub>的回归线

Fig. 3. Regression curves of Th/U—SiO<sub>2</sub>, Th—SiO<sub>2</sub> and U—SiO<sub>2</sub>.

分带相对富集。幂值差异最大的是硅,钍、铀与硅的回归方程幂分别为-5.55和-1.51。说明随着硅的耗损,铀的增长速度远落后于钍的增长速度,形成了钍的相对富集;铀的相对富集,由于样品数量不足(18个样品中只有3个是铀矿化为主的)没得到很好的反映。然而,硅、铀间偏相关呈现微弱正相关即是一种显示,说明铀富集是在硅较少耗损的条件下形成的。因此,控制钍铀比的因素主要是硅(图3)。

上述分析说明,钍和铀的富集与蚀变岩石的演化有关,也可以说,蚀变岩石化学成分的差异决定了钍和铀分带富集的特点。

#### 四、钍、铀分带与蚀变分带的关系

铀主要与钍呈正相关,钍主要与铁、锰呈正相关,钍铀比主要与硅呈负相关,结合各蚀变带化学成分的变化(表5),便可发现钍、铀分带相对富集的端倪。

从红色带→浅色带,钍、铁、锰的含量逐渐减少,硅的含量逐渐增多,而钍、铀的富集却逐渐减弱。同时,钍铀比值也逐渐减小,即从钍的相对富集逐渐过渡到铀的相对富集。因此,对应于红色带、绿色带、浅色带,呈现出钍相对富集带、钍铀带和铀相对富集带的宏观趋向。

钍铀的这种分带相对富集特征及分别与钍、铁、锰的相关性在各蚀变带主要矿石矿物的

表5 几种主要氧化物及铀、钍含量的变化范围和均值(%)

蚀变分带	SiO <sub>2</sub>		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + FeO		MnO		TiO <sub>2</sub>		
	变化范围	均值	变化范围	均值	变化范围	均值	变化范围	均值	
红色带	28.42—52.42	37.60	7.19—23.38	14.76	0.34—1.38	1.05	0.32—5.85	2.91	
绿色带	I	34.81—49.45	42.58	4.24—8.86	6.39	0.24—0.65	0.42	0.26—1.66	0.66
	II	33.23—37.58	35.41	17.96—19.56	18.76	0.65—1.05	0.85	1.12—4.99	2.74
浅色带	52.38—57.46	54.10	6.47—9.16	7.96	0.04—0.60	0.24	0.20—1.08	0.54	

蚀变分带	U		Th		Th/U		
	变化范围	均值	变化范围	均值	变化范围	均值	
红色带	0.010—0.195	0.091	0.020—1.737	0.876	2.00—18.28	10.63	
绿色带	I	0.006—0.077	0.046	0.018—1.628	0.323	0.54—39.71	7.44
	II	0.069—0.255	0.162	0.591—1.266	0.929	2.32—18.35	10.34
浅色带	0.035—0.082	0.052	0.024—0.036	0.029	0.44—0.69	0.60	

(分析资料引自本矿床勘探报告)

表6 各蚀变带中主要矿石矿物的铀、钍含量(ppm)及钍铀比值平均值

蚀变分带	钍、铀含量及比值	全岩	主要矿石矿物							样品数	
			方钍石	钍石	晶质铀矿	变生钍铀矿	铀钍铀矿	烧绿石	锆石		合计
红色带	U	3033	500.75	153.77	214.74	38.52	335.75	410.36	136.18	1790.07	3
	Th	26239	11579.27	2476.96	178.43	2.62	249.27	254.52	2547.81	17288.88	
	Th/U	8.65	23.12	16.11	0.83	0.07	0.74	0.62	18.71	9.66	
绿色带	U	3757	680.02	44.71	144.64	34.94	219.41	764.55	254.72	2142.99	3
	Th	29892	6483.57	1458.73	125.55	71.74	272.02	657.62	6618.09	15687.32	
	Th/U	7.96	9.53	32.63	0.87	2.05	1.24	0.86	25.98	7.32	
浅色带	U	695	5.28	0.23	193.70	1.88	30.51	108.84	33.64	374.08	2
	Th	335	27.81	7.27	12.76	0.13	1.14	2.55	100.06	151.72	
	Th/U	0.48	5.27	31.81	0.07	0.07	0.04	0.02	2.97	0.41	

(分析数据引自本矿床勘探报告)

钍铀比值中也得到了反映。表6来自人工重砂样品的分析成果。从表6可见,产于各蚀变带中的同一种矿石矿物,其钍铀比也呈现出从红色带→浅色带逐渐降低的变化规律。

处于过渡部位的绿色带,特别是蚀变强烈部位(表5中的镁钠铁闪石矽卡岩)还伴有硅的大量耗损和铁、锰、钨的增加,造成了于钍、铀矿化有利的地球化学环境。这就是何以绿色带中集中了该矿床主要工业储量的原因,也说明了绿色带中甚至存在几个几乎是纯铀矿体的原

因。

## 结 论

上述分析使我们认识到, 蚀变岩石演化所造成的的地质地球化学环境(矿捕)对含矿溶液中钍、铀的捕捉能力有相对大小之别, 从而造成钍或铀的相对富集优势。从总体上看, 钍、铀对蚀变岩石的演化具有同步的选择能力(反映于对同一氧化物相同的相关关系), 因而它们密切共生于一个矿床中。从富集部位看, 不同部位因蚀变岩石演化的不均一, 势必对钍、铀中某一个元素造成富集优势, 富集程度越高, 钍或铀的单独富集优势越强。因此, 有利的成矿环境对钍、铀的富集作用并不完全是同步的。

由于钍铀比是受富集程度制约的一个变量, 因此在找矿工作中根据钍铀比值来给异常定性, 往往因缺乏有依据的量限而使定性工作的灵活度过大, 另一方面, 又容易对钍铀混合异常和钍异常抱轻率的态度, 断定无找铀的可能。实际上, 在一定地质条件下, 钍、铀常常共生并显示分带相对富集的特征, 钍性或钍铀混合性异常有时可成为找铀的线索。

文中氧化物化学全分析成果, 因样品数量较少, 使形成铀富集的讨论带有局限性。文中资料引自该矿床的勘探报告。

## 参 考 文 献

- (1) 北京铀矿地质研究所赛马矿床研究组 1977 我国东北赛马碱性岩体中铀矿床 中国科学 第5期

## A STUDY OF THORIUM-URANIUM ZONING IN A CERTAIN DEPOSIT

Dai Jiemin and Tao Dailian

(Team No.209, Geological Bureau of Ministry of Nuclear Industry)

### Abstract

The problem of zonal enrichment of thorium and uranium is dealt with in this paper through an investigation of a certain deposit. Although characterized by close paragenetic association, thorium and uranium in this deposit show relative zonal enrichment corresponding to the zoning of altered rocks, three gradational mineralization zones or thorium enrichment zone→thorium-uranium zone→uranium enrichment zone can be recognized correspondant with three alteration zones or red zone→green zone→light-colored zone.

Frequency distribution of Th/U indicates that the samples can be assigned

to two parent populations of logarithmic normal distribution which represent two connected yet different geologic-geochemical processes dominated respectively by uranium and by thorium. The regression equations fitting Th to U are:

$$\text{Th} = 1.801\text{U}^{0.787}$$

$$\text{Th} = 2.397\text{U}^{1.254}$$

Regression analyses of uranium and thorium versus oxides imply that correlation between two variables approximates to the function  $y = ax^b$ . Thorium and uranium have identical correlated variables and symbols, yet the differences in absolute values of the power b of the correlated equations suggest that diverse extent of enrichment of thorium and uranium is reflected in the variation in Th/U ratios. Although these two elements tend to be concentrated simultaneously, one element was probably getting more dominant as the processes of enrichment advanced, that accounts for the zonal enrichment of thorium and uranium.

Investigations show that, as two correlated yet different geologic-geochemical processes, the thorium and uranium mineralizations must have had a direct connection with the evolution of altered rocks. The general tendency of petrochemical evolution of altered rocks resulted in the zonal enrichment of thorium and uranium, and the uneven evolution of altered rocks decided the locations of thorium and uranium mineralizations.

<http://www.kczq.com>