

文章编号:0258-7106 (2001) 02-0129-08

论长英质隐爆角砾岩的气热流体溶浸成矿机制*

——以赣南 6722 铀矿床为例

章邦桐 饶冰 陈培荣 孔兴功

(南京大学地球科学系;内生金属矿床成矿机制国家重点实验室,南京 210093)

提 要 通过对 6722 铀矿床地质-地球化学特征及长英质隐爆角砾岩和围岩超微构造研究,结合 U、Th 等元素溶浸实验结果,得出“隐爆气热流体溶浸成矿富集机制”:来自深部的富含挥发组分(H_2O 、F、 CO_2 等)的高热安粗岩浆,在早白垩世末(107 Ma)沿富城花岗岩体西部蚀变带发育的火山机构中发生隐爆作用,致使围岩发生强烈脆性变形,生长英质隐爆角砾岩带和震裂花岗岩带;压力、温度降低导致安粗岩浆中挥发组分逸出形成气热流体进入隐爆裂隙中,并将蚀变花岗岩中的活动性成矿元素(U)浸出转移;成矿物质在物理化学条件(p , t , E_h , pH, 化学组分等)急剧变化的部位(局部长英质隐爆角砾岩及碎裂花岗岩)沉淀富集。

关键词 长英质隐爆角砾岩 气热流体 溶浸作用 6722 铀矿床 赣南

中图分类号 P619.4

文献标识码: A

“长英质隐爆角砾岩”是指在距地表一定深度的特定封闭条件下由中酸性岩浆及所含气热流体的爆发作用而形成的角砾岩。近年来的研究表明,赣、闽、浙一系列大型铜、铀、银、锡、铅、锌等金属矿床多以品位富,规模大,可供综合利用的伴生元素种类多为特征,如闽北 570 U-Mo-Ag 矿床受流纹质隐爆角砾岩控制(章邦桐等,1996),赣东北银山铅-锌-银-铜矿床受英安质隐爆角砾岩控制(刘家远,1994),赣中冷水坑超大型银-铅-锌矿床与花岗质隐爆角砾岩有关(罗诒爵,1991),浙西 670 铀、钼矿床受似层状长英质隐爆角砾岩控制(丘志力等,1990),赣南 6722 铀矿床产出在长英质隐爆角砾岩中。在国外,受隐爆角砾岩控制的各种金属矿床实例也很多。因此,近年来有关长英质隐爆角砾岩形成机制的研究成为国内外地质学者关注的热点之一。学者们提出了多种成因观点和学说。目前较多学者赞同 Burnham (1985)提出的岩浆热液流体在高侵位(减压)条件下产生的膨胀爆发模式。McCallum (1985)则用“流化作用”对隐爆角砾岩中存在的磨圆砾石的形成作出了合理的解释。但迄今为止,国内外学者大多根据隐爆角砾岩的地质特征对隐爆角砾岩的形成机制进行研究和讨论,很少涉及有关隐爆碎屑(角砾)岩在

成矿富集作用方面的研究。6722 铀矿床的火山岩属中(基)性的橄榄安粗岩系列,它们的岩性和成矿金属(铀)含量与构成基底的花岗岩差别十分明显,这为研究隐爆角砾岩及其成矿富集作用提供了一个十分理想的矿床实例。本文通过对 6722 铀矿床中隐爆角砾岩及围岩的物质成分和超微结构特征的研究,结合水-岩作用模拟实验结果,讨论隐爆角砾岩的成矿富集作用,并提出隐爆气热流体溶浸成矿富集作用的新认识。

1 6722(草桃背)铀矿床地质特征

6722 铀矿床位于武夷山隆起带西侧,会昌白垩纪断陷盆地东缘,产出在受早白垩世安粗岩系草桃背火山机构控制的隐爆角砾岩内,其基底为海西期黑云母花岗岩(富城花岗岩体)(图 1)。

草桃背火山机构在平面上呈不规则似椭圆形,东西长 450 m 左右,南北宽约 350 m,在剖面上呈漏斗状,向中心倾斜。该火山机构中心为安粗岩组成的岩颈,其形成时代为早白垩世,同位素地质年龄为 107 Ma(Rb-Sr 法)。长英质隐爆角砾岩围绕安粗岩岩颈呈不规则环状分布,分带明显,由中心向外依次

* 国家自然科学基金资助项目(编号:49472107)成果之一。

第一作者简介:章邦桐,男,1934 年生,教授,长期从事铀矿地质及成矿理论研究。

收稿日期 2000-02-01;改回日期 2000-12-14。张绮玲编辑。

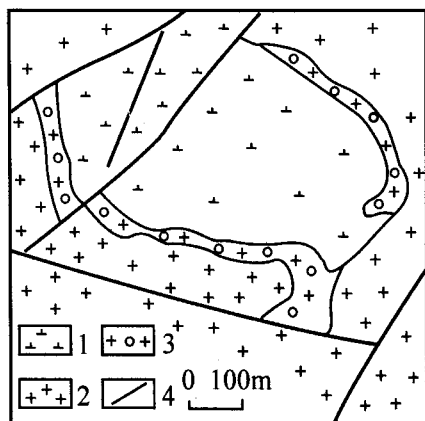


图1 6722铀矿床地质构造略图

(据核工业264大队资料简化)

1—安粗岩;2—花岗岩;3—长英质隐爆角砾岩;4—断裂

Fig. 1 Geological sketch map of No. 6722 uranium deposit

1—Latite; 2—Granite; 3—Felsic cryptoexplosive breccia; 4—Fault

为安粗岩—隐爆角砾岩带—震裂花岗岩带—花岗岩。震裂带中的花岗岩破裂成不规则集块,位移不明显,裂隙由花岗质碎屑物充填。

6722矿床的铀矿体呈不规则凸镜状,似层状及团块状赋存在长英质隐爆角砾岩带和震裂花岗岩带中。矿体埋深150~450 m甚至450 m以下,矿石品位高,成分简单,主要由沥青铀矿、微晶石英、萤石、方解石、水云母、黄铁矿、赤铁矿等组成。早期成矿年龄为103 Ma,晚期(后生)成矿年龄为52 Ma(铀铅法,徐礼中,1984)。

2 长英质隐爆角砾岩特征

长英质隐爆角砾岩呈灰白色、灰绿色,与基底花岗岩呈突变爆发接触关系,其中的碎屑物粒径相差十分悬殊,由数十厘米的集块,到毫米以下的颗粒,大小混杂在一起,无分选性,形态呈不规则棱角状、次棱角状。角砾成分以花岗质岩石为主(照片1),在靠近安粗质火山岩一侧偶见安粗岩角砾。碎屑物主要由长英质岩屑、碎屑状石英、长石、云母组成,偶见焰状、撕裂状浆屑。胶结物主要为水云母,其次为绿泥石和碳酸盐(方解石)及铁质矿物(照片2)。在靠近火山机构中心一侧出现安粗岩胶结物。在地表及平硐中见有呈不规则脉状产出的长英质隐爆碎屑岩(脉直径<2 mm)穿插贯入花岗岩的现象。

草桃背长英质隐爆角砾岩胶结物中存在较多的富挥发组分的磷灰石、萤石、方解石。磷灰石呈短柱

状(照片3),与花岗岩中常见的岩浆结晶成因的针状磷灰石有很大区别,是气化热液的产物。萤石呈不规则粒状及脉状产出,常交代云母及石英等碎屑矿物(照片4)。

本地区长英质隐爆角砾岩的另一特征是蚀变强烈,热液蚀变种类多,具多期性。主要蚀变类型有水云母化、绿泥石化、红化(赤铁矿化)、碳酸盐化及硅化。

3 长英质隐爆角砾岩与花岗岩及火山岩的地球化学特征

3.1 铀、钍地球化学特征

利用反相色层分离分光光度法测定的长英质隐爆角砾岩,富城岩体黑云母花岗岩、二云母花岗岩及会昌地区安粗岩U、Th元素量列于表1。

表1 草桃背隐爆角砾岩及围岩的U、Th质量分数及比值

Table 1 U, Th contents and Th/U ratios of Caotaobei cryptoexplosive breccia and country rocks

岩性	$w(\text{U})/10^{-6}$	$w(\text{Th})/10^{-6}$	$w(\text{Th})/w(\text{U})$
长英质隐爆角砾岩	$\frac{20.3(2)}{18.6\sim 22.0}$	$\frac{7.5(2)}{4\sim 11}$	0.37
黑云母花岗岩	$\frac{11.9(4)}{4.0\sim 20.7}$	$\frac{10.5(4)}{10.3\sim 11.0}$	0.88
二云母花岗岩	$\frac{5.03(3)}{2.8\sim 6.8}$	$\frac{9.6(3)}{4\sim 12.5}$	1.91
安粗岩	$\frac{3.53(6)}{1.2\sim 6.1}$	$\frac{6.6(6)}{2.5\sim 14.5}$	1.87

注:分子为平均质量分数,括号内为样品数;分母为质量分数变化范围。

从表1可知,草桃背地区长英质隐爆角砾岩的铀质量分数最高,其平均值 $w(\text{U})=20.3\times 10^{-6}$,而安粗岩铀质量分数最低, $w(\text{U})$ 仅为 3.5×10^{-6} (平均值)。富城黑云母花岗岩(未蚀变)的铀质量分数 $[w(\text{U})=11.9\times 10^{-6}]$ 不仅高于世界花岗岩平均值 $[w(\text{U})=3.5\times 10^{-6}]$,而且变化范围大 $[w(\text{U})=4.0\times 10^{-6}\sim 20.7\times 10^{-6}]$,表明铀在岩体中分布不均匀,可能是部分铀活化再分配造成的。钍质量分数的变化情况与铀不同,3种岩石中的质量分数较为接近,而长英质隐爆角砾岩中钍质量分数 $[w(\text{Th})=7.5\times 10^{-6}]$ 低于花岗岩中钍质量分数 $[w(\text{Th})=10.5\times 10^{-6}\sim 9.6\times 10^{-6}]$ 。这与4价钍在热液中地球化学性质不活泼有关,隐爆角砾岩中热液蚀变的

发育也证明了这一点。钍铀比值是反映岩石铀成矿潜力的一个重要的地球化学参数,长英质隐爆角砾岩和黑云母花岗岩的 $w(\text{Th})/w(\text{U}) < 1$,表明其有较大的产铀潜力,而二云母花岗岩中 $w(\text{Th})/w(\text{U})$ 比值的增高,可能与部分铀的活化转移有关。

3.2 稀土元素地球化学特征

表2列出了草桃背地区隐爆角砾岩、花岗岩和安粗岩的稀土元素测定结果,并将相对于球粒陨石的分布型式示于图2,其主要特征是:隐爆角砾岩总稀土质量分数为 148.3×10^{-6} ,低于花岗岩(242.2×10^{-6})和安粗岩(161.9×10^{-6}),这可能与隐爆角砾岩中热液蚀变发育,而稀土元素在热液蚀变过程中化学性质活动性低有关;隐爆角砾岩中轻稀土富集,轻重稀土比值为4.43,在图2中表现为与花岗岩及安粗岩一致的右倾斜曲线;隐爆角砾岩的钕亏损明显, $\delta\text{Eu} = 0.17$,与花岗岩的 δEu 值(0.23)一致,而明显区别于安粗岩($\delta\text{Eu} = 0.76$)(图2);隐爆角砾岩的重稀土元素质量分数也与花岗岩十分接近,但略偏低,显示出受安粗岩成分的影响。

3.3 微量元素地球化学特征

表3列出了草桃背地区隐爆角砾岩及花岗岩、安粗岩的微量元素测定结果,同时将相对于全陆壳平均含量的标准化分布型式示于图3。从表3可知,草桃背长英质隐爆角砾岩以U、Rb富集为特征,分别为全陆壳平均值的16(Rb)和24(U)倍;Y、Pb略高,为全陆壳平均值的2.1(Y)和3.4(Pb)倍;Sr、Cu、Zn、Co、Ni等元素质量分数则明显低于全陆壳平均

值。从图3可见,草桃背隐爆角砾岩微量元素质量分数变化的规律与作为基底的富城花岗岩完全一致,而与安粗岩有明显差别。

4 长英质隐爆角砾岩及其围岩中成矿元素的水-岩溶浸实验

现代金属矿床成矿理论认为,成矿物质主要来自各种地质体中易与各种矿化剂结合并转移进入水溶液的所谓“活动性成矿元素”,换言之,各种地质体对成矿物质的贡献主要取决于其中活动性成矿元素的含量及所占份额。活动性成矿元素,以铀元素为例,系指岩石中可以用稀酸(或碱)溶液浸出而不破坏造岩矿物及副矿物内部结构的部分铀。对6722矿床石英中流体包裹体的研究表明,其中含有 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 、 Cl^- 、 F^- 等多种阴离子组分。据此,笔者用去离子水配制成含 $\Sigma\text{S} = 3.2 \times 10^{-4}$ 、 $\Sigma\text{Cl} = 3.5 \times 10^{-4}$ 和 $\Sigma\text{F} = 3 \times 10^{-5}$ 的水溶液作为活动性铀的浸取溶液,对草桃背地区长英质隐爆角砾岩、安粗岩及组成基底的黑云母花岗岩、蚀变花岗岩样品进行水-岩作用的浸取实验。具体操作方法是,将粒级为160目的岩样,用上述浸取溶液,在90℃恒温条件下进行4次浸取(每次100 ml溶液)。尔后采用X射线荧光光谱法(XRFS)同时测定原岩样品及浸取过滤后的“残渣”样品中的U、Th、Pb、Zn、 K_2O 质量分数,两者之差(ΔU 、 ΔTh 、 ΔPb 、 ΔZn 、 ΔK)即为已被浸出的活动

表2 草桃背隐爆角砾岩及围岩的稀土元素质量分数及参数

Table 2 REE contents and parameters of Caotaobei cryptoexplosive breccia and country rocks

岩性	$w_B/10^{-6}$															LRE/HRE	δEu
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	TREE		
长英质隐爆角砾岩	27.9	58.4	6.8	22.2	5.4	0.3	5.6	1.1	7.4	1.5	4.8	0.8	5.3	0.8	148.3	4.43	0.17
黑云母花岗岩(4)	46.9	99.1	12.0	41	9.2	0.69	7.9	1.4	8.8	1.7	5.1	0.8	5.1	0.7	240.4	6.69	0.23
安粗岩(5)	33.1	64.8	8.4	31	6.3	1.47	5.31	0.73	4.25	0.86	2.49	0.38	2.46	0.33	161.9	8.63	0.76

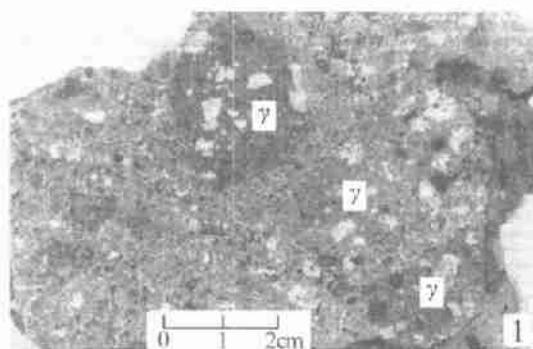
注:括号中为样品数。

表3 草桃背隐爆角砾岩及围岩的微量元素质量分数

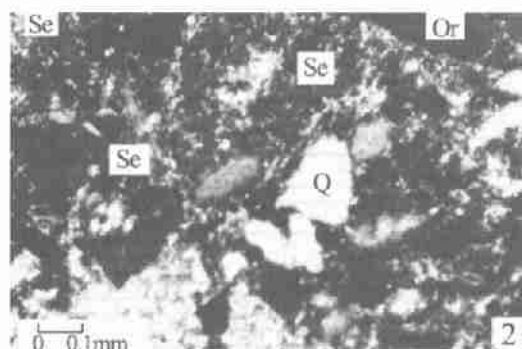
Table 3 Trace element contents of Caotaobei cryptoexplosive breccia and country rocks

岩性	$w_B/10^{-6}$													
	Rb	Ba	Sr	Th	U	Nb	Zr	Ga	Cu	Pb	Zn	Y	Co	Ni
长英质隐爆角砾岩	513	173	23.3	4.0	22	19.3	99.7	24.4	12.9	27.2	24.4	42.2	4.8	5.7
黑云母花岗岩(4)	404	229	54.6	10.7	11.8	22.5	155.5	19.5	11.3	36.5	55.8	47.3	4.3	3.9
安粗岩(4)	236	857	412	9.4	4.4	10.8	165	20.2	34.8	21.0	99.1	25.7	20.6	20.9

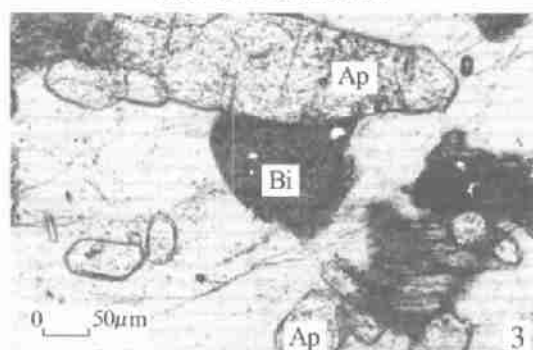
测试单位:南京大学现代分析中心 XRFS 分析室,括号中为样品数。



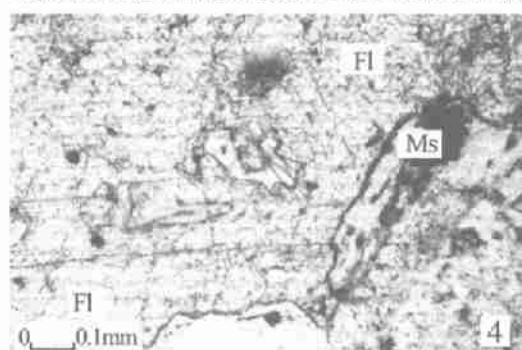
照片1 草桃背(6722矿床)长英质隐爆角砾岩手标本
γ为红化蚀变花岗岩角砾



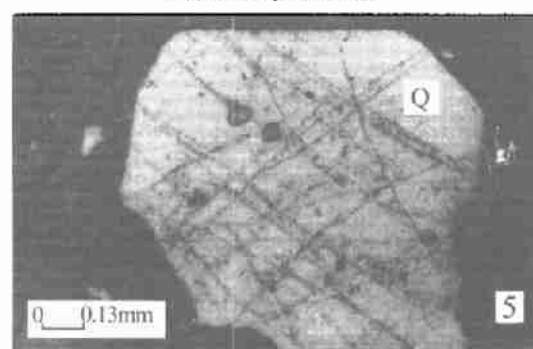
照片2 长英质隐爆角砾岩胶结物中的棱角状石英(Q)钾长石(Or)碎屑及蚀变水云母(Se),正交偏光



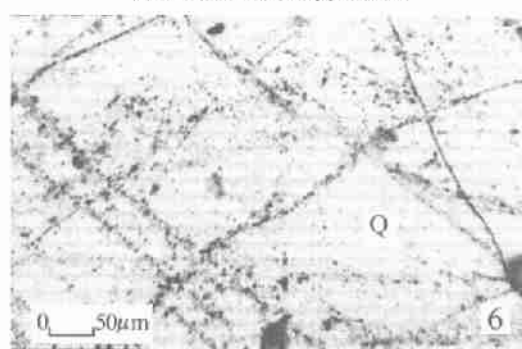
照片3 长英质隐爆角砾岩胶结物中的短柱状磷灰石(Ap),单偏光



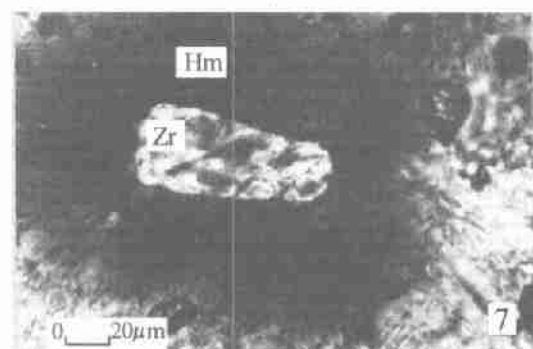
照片4 长英质隐爆角砾岩胶结物中的萤石(Fl)及白云母包裹物(Ms),单偏光



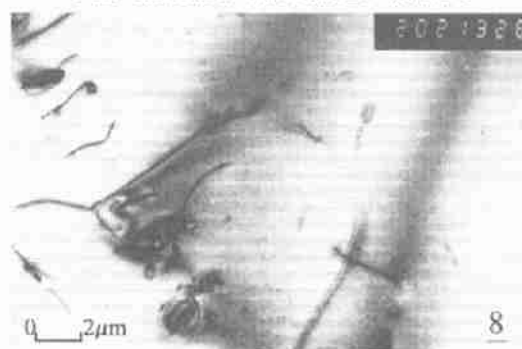
照片5 长英质隐爆角砾岩中石英内存在的三组密集微裂隙,正交偏光



照片6 长英质隐爆角砾岩中石英内细小密集的次生气液包裹体沿微裂隙生长,单偏光



照片7 长英质隐爆角砾岩中锆石(Zr)晶体上的炸裂纹,其周围存在放射成因的赤铁矿化晕圈,单偏光



照片8 富城黑云母花岗岩中石英内存在的位错壁(由一系列自由位错排列组成),透射电子显微镜

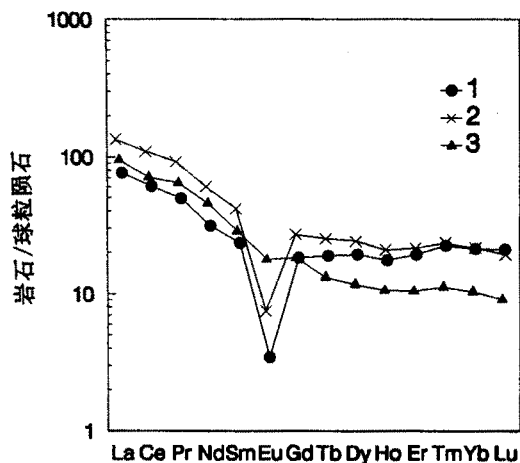


图2 草桃背隐爆角砾岩及围岩的稀土元素分布型式
1—长英质隐爆角砾岩; 2—花岗岩; 3—安粗岩

Fig. 2 Chondrite-normalized REE patterns of Caotaobei cryptoexplosive breccia and country rocks
1—Felsic cryptoexplosive breccia; 2—Granite; 3—Latite

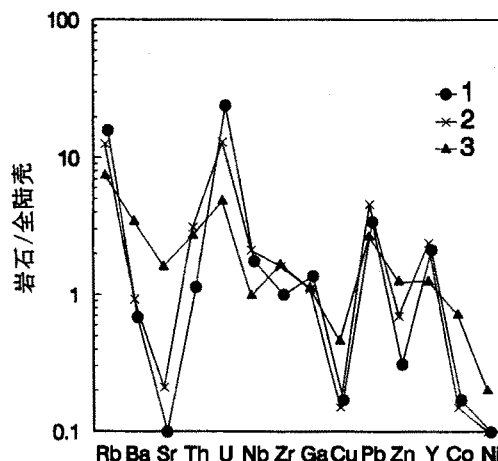


图3 草桃背长英质隐爆角砾岩及围岩的微量元素分布型式 (图例同图2)

Fig. 3 Crust-normalized trace element patterns of Caotaobei cryptoexplosive breccia and country rocks

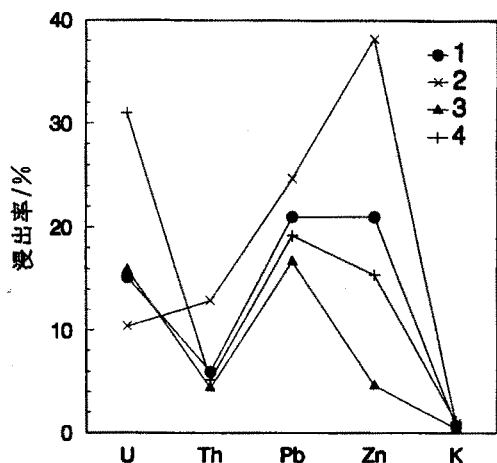


图4 草桃背长英质隐爆角砾岩及围岩的U、Th、Pb、Zn、K浸出率曲线

1—长英质隐爆角砾岩; 2—黑云母花岗岩; 3—安粗岩;
4—蚀变花岗岩

Fig. 4 Leaching rates of U, Th, Pb, Zn, K from Caotaobei cryptoexplosive breccia and country rocks
1—Felsic cryptoexplosive breccia; 2—Granite;
3—Latite; 4—Altered granite

性铀、钍、铅、锌、钾质量分数及其在全岩铀、钍、铅、锌中所占份额(浸出率/%)。

浸出实验结果列于表4,并将各种岩石中有关元素的浸出率示于图4,可得出以下结论:

(1) 表4中各岩样的主要造岩组分 K_2O 质量分数变化很小 [$w(K_2O) < 1\%$],表明所进行的水-岩作

用实验没有溶解破坏主要造岩矿物,从而为活动性成矿元素的浸出提供了间接佐证。

(2) 组成6722矿床基底的未蚀变黑云母花岗岩(富城花岗岩体)中活动铀(ΔU)较低,占全岩铀的10.4%,但交代蚀变花岗岩的活动铀质量分数所占份额明显增高到31%,其活化系数(蚀变岩石的铀浸取率/原岩的铀浸取率)大于1,为2.98。这表明交代蚀变作用能使部分“非活动铀”转变为活动性铀,提高了活动铀所占份额,从而为铀成矿作了物质准备。这一实验结果与6722矿床产出在基底花岗岩遭受矿前期强烈水热蚀变改造部位的地质特点相一致。

(3) 6722矿床中长英质隐爆角砾岩的活动性铀质量分数(ΔU)所占全岩铀的份额为15.2%,与安粗岩(15.9%)相当,但安粗岩的铀质量分数($w(U) = 4.4 \times 10^{-6}$)偏低,仅为蚀变花岗岩铀质量分数($w(U) = 17.7 \times 10^{-6}$)的1/4左右。所以安粗岩不是成矿物质的主要贡献者。

(4) 实验结果表明,所有样品中活动性钍在全岩钍中所占份额都较低, $\Delta Th = 4.4\% \sim 12.9\%$,平均值为9.3%,与铀的区别很大。这反映出钍在水热体系中地球化学活动性低的特点。

(5) 活动性铅、锌质量分数在长英质隐爆角砾岩、各种围岩和基底中的变化很大($\Delta Pb = 3 \times 10^{-6} \sim 9.2 \times 10^{-6}$, $\Delta Zn = 4 \times 10^{-6} \sim 16.1 \times 10^{-6}$)。与铀元素明显的区别在于,活动性铅、锌受交代蚀变作用的影响很小。这反映出铅、锌的成矿地球化学条件与

表 4 草桃背长英质隐爆角砾岩及围岩中 U, Th, Pb, Zn 浸出实验结果

Table 4 Experiment results of leaching U, Th, Pb, Zn from Caotaobel cryptoexplosive breccia and country rocks

岩 性	样号	U/10 ⁻⁶	ΔU		Th/10 ⁻⁶	ΔTh		Pb/10 ⁻⁶	ΔPb		Zn/10 ⁻⁶	ΔZn		K ₂ O/%
			浸出量/ 10 ⁻⁶	浸出率/ %		浸出量/ 10 ⁻⁶	浸出率/ %		浸出量/ 10 ⁻⁶	浸出率/ %		浸出量/ 10 ⁻⁶	浸出率/ %	
黑云母花岗岩	F01	4.8	0.5	10.4	31	4	12.9	37.2	9.2	24.7	42.1	16.1	38.2	5.81
	F01a	4.3			27			28			26			5.76
蚀变花岗岩	Z08	17.7	5.5	31	21.1	1.1	5.2	26	5	19.2	39	6	15.4	5.53
	Z08a	12.2			20			21			33			5.47
安粗岩	6759-06	4.4	0.7	15.9	9.1	0.4	4.4	18	3	16.7	87	4	4.6	2.63
	6759-06a	3.7			8.7			15			83			2.62
隐爆角砾岩	PD2-4	16.4	2.5	15.2	29.8	1.8	6	30.5	6.4	21	34.2	7.2	21	6.06
	PD2-4a	13.9			28			24			27			6.02

铀有较大差别。

5 草桃背长英质隐爆角砾岩的显微和超微构造特征

石英是长英质隐爆角砾岩中最常见而且对压应力十分敏感的矿物。笔者选择性地研究了 6722 矿床隐爆岩中石英的显微构造和超微构造特征,以期阐明隐爆角砾岩形成时产生的形变特征和自由位错密度的变化规律。

5.1 石英的显微构造特征

对草桃背长英质隐爆角砾岩中石英晶粒进行的镜下研究,发现其中显微裂隙非常发育,且呈三组定向密集排列(照片 5),但不具波状消光现象。这种呈定向排列的显微裂隙类似于德国著名的里斯(Ries)陨石坑中冲击角砾岩内石英颗粒中发育的“冲击微页理构造”(赵景德等,1989)。值得注意的是,沿这几组微裂隙生长着一连串的微小的次生气液包裹体(照片 6)。此外,在锆石晶体内部也发现有炸裂纹的存在(照片 7)。可是,在远离 6722 矿床的黑云母花岗岩(富城花岗岩体)内的石英颗粒中显微裂隙不发育,仅存在零星不规则的裂纹。这一对比研究表明,草桃背隐爆碎屑岩曾经受了强烈的冲击作用,产生了以冲击微页理构造为特征的形变。

5.2 石英的超微构造

透射电镜(TEM)观察表明,在 6722 矿床外围黑云母花岗岩的石英晶粒中存在零星稀疏的自由位错线和位错环,偶见由一系列呈定向排列位错组成的位错壁(照片 8)。显然富城花岗岩体形成后未经受过强烈的构造变形作用。令笔者感到十分意外的是,对 6722 隐爆角砾岩中的石英晶粒进行 TEM 观

察时,在多数视域内观察不到自由位错线或位错壁的存在。经检查,样品的减薄厚度及 TEM 工作情况均属正常。6722 隐爆碎屑(角砾)岩中石英晶粒内缺失各种位错的现象与前述显微裂隙构造发育的特征是十分矛盾的。产生这一现象的原因,笔者认为是由于高温退火而导致石英晶粒中原有位错类型和密度锐减甚至消失。据李林(1984)资料,石英晶体在临界温度($t_c=400^\circ\text{C}$)以上时将发生退火,位错密度急剧减少,在 700°C 退火 2 h 将发生重结晶,在 900°C 时,仅需几分钟就全部重结晶。因此,长英质隐爆角砾岩中石英晶粒内位错消失的现象,恰好为隐爆作用的高温($t>400^\circ\text{C}$)环境提供了重要证据。同时,根据显微镜下观察到石英中显微裂隙十分发育但不存在重结晶现象,结合上述实验结果,判断隐爆作用形成时的温度上限为 700°C 左右。

6 关于“隐爆气热流体溶浸成矿富集机制”的讨论

根据上述有关 6722 铀矿床地质-地球化学和构造特征,对该矿床的形成机制分析讨论如下:

(1) 草桃背隐爆角砾岩的形成是一个突发的高温爆炸事件。长英质隐爆角砾岩中石英颗粒内大量密集微裂隙发育(照片 5),但不具波状消光现象,表明该隐爆作用属一种具有很高压力的脆性变形作用。根据石英颗粒中存在的微裂隙,估算出隐爆角砾岩中存在的微裂隙密度为 10 条/毫米左右,与花岗岩中存在的节理裂隙度(条/米)相比,长英质隐爆角砾岩中的微裂隙密度增大 2~3 个数量级,而且是相互交叉贯通的,它们为尔后产生的高热流体提供了储存空间和传输通道。通过透射电镜研究发现了

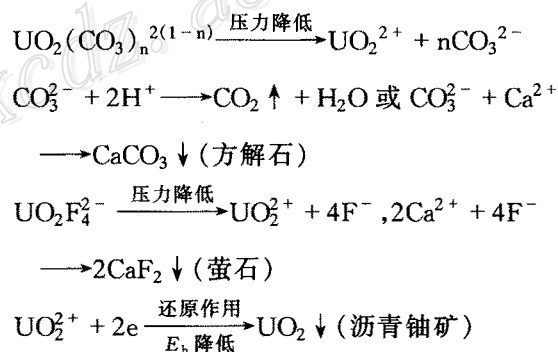
长英质隐爆角砾岩石英颗粒中自由位错减少甚至消失的高温退火现象,证明隐爆作用是在高温(>400℃)环境下发生的。草桃背地区长英质隐爆角砾岩的主岩为安粗质火山岩。据 J. K. Meen(1987)对橄榄安粗岩所做的熔融实验,安粗岩的熔融温度为1250℃左右。这表明草桃背火山机构产生时,其安粗质岩浆的温度远高于一般花岗岩的形成温度(<800℃),因而可以为隐爆角砾岩的形成及其后产生的流体提供足够的热能源。

(2) 草桃背安粗质火山岩提供了富含 F^- 、 Cl^- 、 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 等矿化剂的流体。草桃背安粗岩的特征之一是存在大量角闪石斑晶,其周围存在铁质暗化边,表明其深部原始岩浆 $w(H_2O) \approx 3\%$ 。据 Burnham(1985)对 $w(H_2O) = 2.7\%$ 的花岗闪长岩的研究表明,这种岩浆一旦侵位到压力较低的浅成环境(~2.3 km)并结晶时, H_2O 将呈气相析出,发生二次沸腾并产生巨大的机械能(每公斤岩浆 $E = 9.7 \times 10^3 J$),与此同时,将有丰富的气热流体析出。据刘小宇(1996)研究,草桃背安粗岩中 $w(F)$ 高达 1110×10^{-6} , $w(Cl) = 66.1 \times 10^{-6}$, $w(S) = 260 \times 10^{-6}$,这表明草桃背安粗岩的 $w(F)$ 高于平均基性岩($w(F) = 400 \times 10^{-6}$)和平均花岗岩($w(F) = 800 \times 10^{-6}$)。由此可推测,草桃背原生安粗岩浆中这些挥发组分的质量分数将高于现存岩石中的质量分数。在安粗岩中广泛发育的碳酸盐化蚀变(方解石)可作为富含 CO_2 的间接证明。草桃背长英质隐爆角砾岩中石英内大量沿微裂隙生长的次生气液包裹体(照片6)就是气热流体存在的最好证据。应当指出,这些挥发组分(H_2O , F , Cl , CO_2 , SO_2 等)是一种良好的矿化剂,其阴离子配位体(CO_3^{2-} , F^- , Cl^- , SO_4^{2-})具有很强的络合能力,能与岩石中的六价铀组成多种络合离子 [$UO_2(CO_3)_n^{2(1-n)}$, $UO_2(F, Cl)_n^{2-n}$, $UO_2(SO_4)_n^{2(1-n)}$] 而发生活化转移。

(3) 成矿物质(铀)主要来自蚀变花岗岩基底。草桃背长英质隐爆角砾岩与火山岩、花岗岩的铀、钍、稀土及微量元素地球化学特征(表1,表2,表3)对比表明,基底产出的花岗岩(富城岩体)与隐爆角砾岩显示出成岩物质的同源性。对长英质隐爆角砾岩及其围岩,用含 $\Sigma F = 3 \times 10^{-5}$, $\Sigma Cl = 3.5 \times 10^{-4}$, $\Sigma S = 3.2 \times 10^{-4}$ 的水溶液在 90℃ 条件下进行的溶浸实验表明,水云母化蚀变花岗岩的铀浸出率为 31%,浸出量为 5.5×10^{-6} ,而安粗岩的铀浸出率为 15.9%,浸出量仅为 0.7×10^{-6} 。这意味着,作为火

山岩基底的花岗岩,特别是矿前期的蚀变花岗岩在富含矿化剂(F^- , SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^-)的流体作用下将有较多数量的活动铀被溶浸带出。值得注意的是,6722 铀矿床位于富城花岗岩体西部,沿会昌断陷红盆边缘分布的宽约 1.5 km 的水云母-绿泥石化蚀变带(简称绿色蚀变带)内,在长英质隐爆角砾岩中常见到蚀变花岗岩的角砾(照片1)。

(4) 长英质隐爆角砾岩带是促使成矿物质富集的物理、地球化学变异带。长英质隐爆角砾岩带的形成不仅为高温溶浸成矿流体的汇聚提供了空间,而且是一个物理化学条件(压力、温度)和地球化学性质急剧变化的过渡带。在隐爆作用过程中及其后形成的溶浸成矿流体进入隐爆角砾岩带后,由于压力骤减、温度降低及岩石矿物组成和地球化学性质发生变化,引起了成矿流体中络合物的解体。隐爆角砾岩实际上是一个岩性和矿物组成复杂的混合带。与花岗岩相比,长英质隐爆角砾岩由于安粗岩组分的加入而使岩石的 E_h 值降低, CaO 等组分增加,从而为络离子离解产生的阴离子配位体(F^- , CO_3^{2-} , PO_4^{3-})提供了阳离子配体(Ca^{2+} 等),并形成方解石、萤石、磷灰石沉淀(照片3,4)。这种化学反应使流体中所含 CO_3^{2-} , F^- , PO_4^{3-} 减少,又可进一步引起铀酰络离子的解体,使更多的 UO_2 沉淀富集,并在局部最有利的地段形成铀矿体。这一地球化学过程可以用以下化学反应式表示:



(5) 隐爆角砾岩的上覆地质体能阻止挥发组分逸散和防止热量过快散失(长时间保温),从而有利于成矿热流体的形成。

笔者将上述成矿富集作用称之为“隐爆气(热流体)溶浸成矿富集机制”,并示于图5。

总之,6722 铀矿床的形成与定位,是成矿构造、成矿热源、成矿物质来源、成矿流体、成矿地球化学及动力学等一系列因素长期匹配并相互作用的结果,而隐爆角砾岩的形成代表着一个特殊的地质构

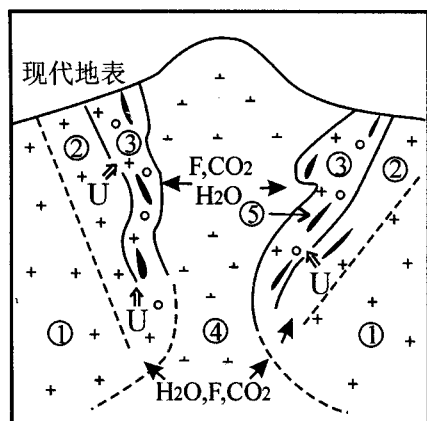


图 5 隐爆气热流体溶浸成矿富集机制示意图

①—黑云母花岗岩；②—震裂花岗岩；③—长英质隐爆角砾；
④—安粗岩；⑤—铀矿体

Fig. 5 Sketch map showing cryptatoexplosive pneumatothermal fluid leaching mechanism for uranium metallogenetic enrichment

①—Biotite granite; ②—Shocked granite; ③—Felsic cryptoexplosive breccia; ④—Latite; ⑤—Uranium orebody

造事件,是有利于成矿的一个重要因素。

笔者在野外工作期间得到核工业 264 大队倪修义总工程师的热情帮助,在此深表谢意!

参考文献

- 李 林. 1984. 矿物的电子显微镜研究[M]. 北京:地质出版社. 135~149.
- 刘家远. 1994. 江西银山次火山岩浆作用与金铜多金属成矿[J]. 桂林冶金地质学院学报, 14(3): 244~253.
- 刘小宇, 陈肇博. 1996. 大陆火山作用与铀成矿[M]. 北京:原子能出版社. 122~128.
- 罗治爵. 1991. 冷水坑斑岩型银铅锌矿床围岩蚀变特征[J]. 江西地质, 5(1): 7~12.
- 丘志力, 章邦桐, 倪琦生, 等. 1990. 670 铀矿床贯入角砾岩成因及其控矿机制的研究[J]. 南京大学学报(地球科学), (2): 85~95.
- 徐礼中. 1984. 江西中生代火山型铀矿床[J]. 华东铀矿地质, (1): 7~21.
- 赵景德, 谢先德. 1989. 地质研究的微矿物学技术[M]. 北京:科学出版社. 114~127.
- 章邦桐, 陈培荣, 陈迪云, 等. 1996. 闽北 570 隐爆碎屑岩型铀(银、钼)矿床成矿物理化学条件及物质来源研究[J]. 高校地质学报, 2(2): 187~197.
- Burnham C. W. 1985. Energy release in subvolcanic environments: Implications for breccia formation[J]. Econ. Geol., 80: 1515~1522.
- McCallum M. E. 1985. Experimental evidence for fluidization processes in breccia pipe formation[J]. Econ. Geol., 80: 1523~1543.
- Meen J. K. 1987. Formation of shoshonites from calc-alkaline basalt magmas: Geochemical and experimental constraints [J]. Contrib. Mineral. Petrol., 104: 309~331.

The Pneumatothermal Fluid Leaching Metallogenic Mechanism of Felsic Cryptoexplosive Breccia —Exemplified by No.6722 Uranium Deposit in South Jiangxi

Zhang Bangtong, Rao Bing, Chen Peirong, Kong Xingong

(Department of Earth Sciences, Nanjing University; State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, Nanjing 210093)

Key words: felsic cryptoexplosive breccia, pneumatothermal fluid, leaching, No. 6722 uranium deposit, south Jiangxi

Abstract

Based on geological-geochemical characteristics of No. 6722 uranium deposit and the ultrastructures of felsic cryptoexplosive breccia and country rocks, in combination with leaching experiments result of active U and Th elements in rocks, the present paper advances the cryptatoexplosive pneumatothermal fluid leaching mechanism for metallogenetic enrichment. At the end of Early Cretaceous (107 Ma), the extremely hot shoshonite magma

(下转第 111 页)(to be continued on p.111)

Biotite as A Tracer of Cu and Au Mineralization in Hypogene-Subvolcanic Plutons

Xiong Xiaolin, Shi Manquan and Chen Fanrong

(Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640)

Key words: hypogene-subvolcanic plutons, biotite, tracer of Cu and Au mineralization

Abstract

Hypogene-subvolcanic plutons serve as important sources of ore-forming materials and fluids in many porphyry-type and epithermal Cu (Au) ore deposits. Cu and Au abundances, concentrations of such volatiles as Cl, F and S and oxygen fugacity (f_{O_2}) of the initial magma are key factors controlling the formation of Cu- and Au-bearing fluids during the late magmatic stage. Biotite is the most common Fe-Mg mineral in the intermediate-acidic hypogene-subvolcanic plutons; its phenocryst composition can usually show initial Cu, Au abundances and Cl, F contents of the parent magma, whereas the $Fe^{3+}/(Fe^{2+} + Mg^{2+})$ ratio of biotite may indicate the relative oxygen fugacity of the magma. Biotite can therefore be used as an ideal tracer mineral for Cu and Au mineralization in hypogene-subvolcanic rocks. It is practical for us to carry out an investigation with biotite as a tracer of Cu, Au mineralization in some areas of hypogene-subvolcanic rocks so as to better understand ore genesis and guide ore exploration.

(上接第 136 页)(Continued from p. 136)

enriched with such volatiles as H_2O , F and CO_2 caused cryptoexplosion in the volcanic apparatus situated along the alteration zone in the western Fucheng granite massive, forming the felsic cryptoexplosive breccia zone and the shattered granite zone due to strong brittle deformation of country rocks. With the drop of pressure and temperature, volatiles escaped from shoshonite magma and formed pneumatothermal fluids, which permeated into cryptoexplosive microfissure and leached out mobile uranium from altered granite. The ore-forming material experienced enrichment and precipitation at positions (local area of felsic cryptoexplosive breccia and shattered granite) where such physico-geochemical conditions as p , t , E_h and pH changed abruptly.