

暗色岩脉与铀成矿关系研究

王学成

章邦桐 张祖还

(江苏地矿局地质矿产研究所) (南京大学地球科学系)

内容提要: 本文对暗色岩脉与铀成矿关系在铀成矿的源—运—储三方面进行了较为深入的研究。结果表明,暗色岩脉对铀成矿所起的作用主要是提供有利于铀沉淀富集的场所。岩脉的铀含量数倍于同类岩石是花岗岩地区暗色岩脉的特点,但不代表暗色岩脉能够为铀成矿提供铀源。根据暗色岩脉富含挥发分、所代表的岩浆活动与铀成矿作用最接近、成脉与成矿构造上的关联性以及暗色岩脉是深部岩浆浅部表现形式的成因特点,认为暗色岩脉所代表的岩浆活动、构造运动还可以为铀从花岗岩中的活化转移创造有利条件,岩脉的侵入作用虽然对围岩具有一定的加热作用,但还不能成为铀成矿的主要热源。

主题词: 暗色岩脉 铀成矿 活化转移 热源

暗色岩脉是指具有中基性成分的脉状侵入体。岩石类型以煌斑岩、辉绿岩为主,辉长岩、辉绿玢岩、闪长岩次之。这类脉岩是花岗岩地区的组成岩石之一,通常发育于花岗岩成岩序列晚期。人们很早就已经发现,华南某些花岗岩型铀矿床与这类脉岩有密切的联系。事实上,其它矿种诸如钨矿、铁矿、特别是金矿都与暗色岩脉存在一定的关系,但这种关系在铀矿床中表现的尤为明显。在GD岩体的下庄矿田内,许多铀矿床定位于暗色岩脉与硅化断裂带的交点部位,而且这些铀矿床都是品位相当高的富矿。在国内许多其它铀矿床中也存在类似的情形^[1]。国外类似的成矿实例也不鲜见^[2]。因此,这类脉岩与铀成矿关系的研究已成为铀成矿研究领域中的一个迫切的课题,引起了许多学者的关注。对这一现象进行理论上的研究不仅会丰富现有的铀成矿理论,也有助于铀资源特别是富铀矿的寻找和勘探。为此,我们选择了不同成因类型、不同含铀性的花岗岩体中的暗色岩脉进行了这方面的研究。这些岩体是:GD岩体(改造型、产铀)、ZG岩体(改造型、产铀)、AG岩体(改造型、产铀)、DL岩体(同熔型、产铀)、YC岩体(同熔型、产铀)以及NZ岩体(同熔型、非产铀)。

一、与暗色岩脉有关的铀成矿作用

与暗色岩脉有关的铀矿床在我国华南的南岭花岗岩内比较普遍、典型。由于这类矿床在矿石物质组成等方面与其它花岗岩类铀矿床有所不同,因此已将其单独列为一种矿床类型——中基性脉岩型铀矿床。此类矿床在法国也比较普遍,占有一定的储量。

在这种类型矿床中,暗色岩脉对铀的富集以及铀矿床的定位起着重要的控制作用。GD岩体东部下庄矿田广泛发育的暗色岩脉对铀矿化的这一控制作用相当明显,绝大多数矿床都产于暗色岩脉与硅化带的交点部位(图1)。因此又称这类矿床为交点矿床。许多矿床实例

表明, 暗色脉岩不仅控制了矿床的定位, 也控制着具体的铀矿体, 使多数矿体 (通常都是富矿体) 限制在岩脉内部或岩脉边部, 如图 2 所示。在岩脉的破碎角砾面上, 常发育有鲕状沥

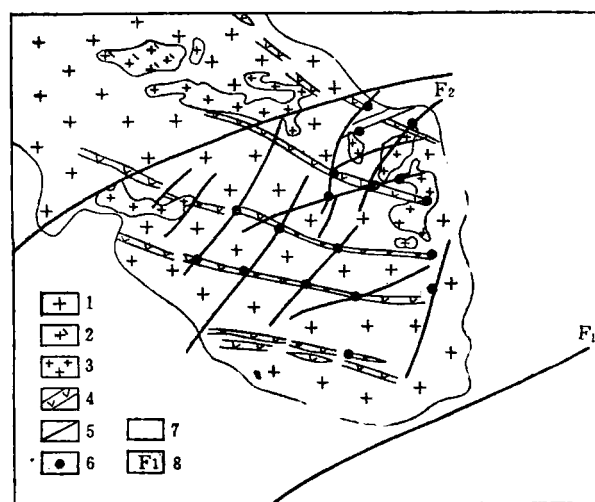


图 1 下庄矿田地质简图

(据华南地勘局293大队资料简化)

1—粗粒黑云母花岗岩; 2—中细粒黑云母花岗岩;
3—细粒二云母花岗岩; 4—暗色岩脉 (组); 5—
硅化断裂带; 6—铀矿床、矿点; 7—下古生代浅
变质岩; 8—区域断裂

Fig.1. Sketch geological map of the Xia-zhuang ore field.

1—Coarse-grained biotite granite; 2—Medium-fine grained two-mica granite; 3—Fine-grained two-mica granite; 4—Dark dyke (group); 5—Silicified fault zone; 6—Uranium deposit or occurrence; 7—Lower Paleozoic epimetamorphic rock; 8—Regional fault.

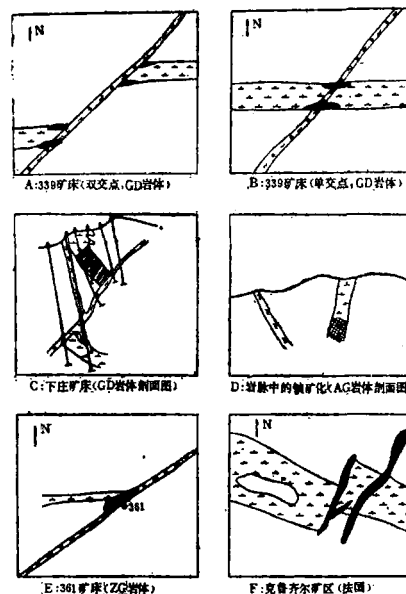


图 2 与暗色岩脉有关的铀矿化示意图

1—花岗岩; 2—暗色岩脉; 3—硅化断裂带;
4—石英脉; 5—铀矿体; 6—铀矿化

Fig.2. Sketches of uranium mineralization related to dark dykes.

1—Granite; 2—Dark dyke; 3—Silicified fault zone; 4—Quartz vein; 5—Uranium ore body; 6—Uranium mineralization.

青铀矿; 岩脉的裂隙中, 充填有方解石沥青铀矿团块或细脉。说明暗色岩脉对铀矿化富集起着很重要的控制作用。

与暗色岩脉有关的铀矿床一般具有如下特点:

1. 属中低温热液矿床, 矿床物质成分简单。铀矿物主要是沥青铀矿, 伴生金属矿物主要有黄铁矿、方铅矿、赤铁矿; 脉石矿物以方解石、石英、玉髓、萤石、水云母以及粘土矿物为主。矿化类型属沥青铀矿-方解石型、沥青铀矿-玉髓型以及沥青铀矿-萤石型。

2. 矿床多属工业品位很高的富矿。在岩脉与硅化断裂带交点部位或岩脉本身内部, 常可形成富矿体。如法国曾报道, Miargnal矿床铀矿脉穿过煌斑岩脉部位形成很大的沥青铀矿结, 其长度和宽度均达12m, 厚度达4m, 平均品位达15%。在下庄矿田内也常常见到以沥青铀矿为主的致密块状铀矿石。方解石脉中常发育拳头大小的肾状沥青铀矿。这类矿床内矿体规模的大小主要取决于含矿硅化带的规模和它与岩脉的交接方式。在含矿硅化带与岩脉的重接 (即重叠) 部位成矿最佳, 可以形成规模较大的板状、脉状矿体, 如下庄矿田内的333矿床; 当硅化带与岩脉呈近于正交的斜接复合成矿时, 则可以形成品位相当高的矿柱, 如

331矿床；斜接时，双交点又比单交点矿化情况好，如339矿床。

3. 近矿围岩蚀变主要是绿泥石化、绿帘石化、硅化、赤铁矿化、碳酸盐化和粘土化等。

二、暗色岩脉中铀、钍分布特征

六个花岗岩体内暗色岩脉铀钍分析结果列于表1。将表中数据按照S区岩脉（华南加里东褶皱带内的赣南武夷山后加里东隆起之南缘的GD、ZG和AG三个改造型产铀岩体中的岩脉）、I区岩脉（下扬子断裂拗陷带内的三个同熔型岩体中的岩脉，据岩体含铀性又进一步分成产铀岩体中岩脉与非产铀岩体（NZ岩体）中岩脉）分别计算了均值、均方差及变异系数。在计算过程中，逐步剔出了那些受矿化或花岗岩影响的异常值样品（即铀、钍含量大于

表1 暗色岩脉的铀钍含量(ppm)
Table 1. U and Th contents of dark dykes (in ppm)

样号	U	Th	样号	U	Th
112	14.0	—	039	1.6	5.0
113	7.4	6.1	044	2.9	6.0
114	7.4	—	054	1.7	7.0
118	4.4	—	055	3.1	7.0
119	14.8	—	056	6.0	4.0
120	3.1	—	090	3.9	4.2
121	3.1	—	114-2	13.3	5.5
001	1.7	—	133	6.8	3.1
002	2.7	—	140	29.6	5.0
003	1.9	—	144	6.4	4.5
004	1.8	—	701	2.5	5.3
053	1.6	—	702	1.6	5.5
056	2.6	—	704	2.5	5.3
005	2.6	—	706	2.2	3.0
006	3.4	—	711	2.5	5.8
008	3.8	—	906	1.4	6.5
009	3.8	—	907	42.0	9.5
010	3.3	—	ZK5937-1	3.6	8.8
011	2.6	—	801	2.1	6.3
012	7.0	—	802-1	4.6	8.3
018	2.0	—	802-6	2.6	8.5
019	2.7	—	803-1	2.2	8.3
033	2.6	—	宁01	2.0	9.0
315	3.1	6.0	宁02	2.7	8.8
320	2.6	5.4	宁04	1.0	7.5
030	3.8	6.5	宁041	2.6	13.5
031	3.0	6.0	宁051	2.2	8.0
032	3.0	6.2	宁054	2.7	8.0
034	2.6	8.7	刘1	3.8	10.5

测试单位：南大地球科学系铀矿地质教研室

均值与两倍均方差之和的样品)。计算结果列于表2。计算结果表明,无论是S区岩脉还是I区岩脉,其铀、钍含量离散程度都较低,数值比较集中。S区岩脉铀平均含量为2.65ppm,

表2 铀钍统计参数

Table 2. Statistical parameters of U and Th

S 区					I 区											
					全 部				产 铀				不 产 铀			
	N	X	S	Cv	N	X	S	Cv	N	X	S	Cv	N	X	S	Cv
U	35	2.65	0.70	0.26	9	2.37	0.70	0.30	3	2.30	0.22	0.09	6	2.40	0.85	0.35
Th	25	5.84	1.55	0.27	10	8.32	1.02	0.12	4	7.85	0.90	0.11	6	8.63	0.98	0.11
Th/U		2.20				3.51				3.41				3.60		

N = 样品数 X = 均值 S = 均方差 Cv = 变异系数

钍含量为5.84ppm, 钍铀比值为2.20; I区岩脉铀平均含量为2.37ppm, 钍为8.32ppm, 钍铀比值为3.51。上述数据表明两类花岗岩中暗色岩脉在铀含量方面无明显区别, 但钍含量上存在较显著的差异。I区的产铀岩体中岩脉与非产铀岩体中岩脉诸参数特征基本一致。维诺格拉多夫1962年统计的基性岩中铀钍丰度分别为0.5ppm和3.0ppm, 以此为计算基础, S区、I区岩脉铀富集系数分别为5.3和4.74; 钍富集系数分别为1.95和2.77。可见与同类岩石相比暗色岩脉的铀钍尤其是铀的富集程度很高。

铀钍在岩脉演化过程中都具有向晚期熔体中富集的倾向, 但铀相对钍而言增长更快些。因此, 上述岩脉中铀钍的富集特点除了与花岗岩的混染作用有关外, 表明岩石的分异程度比较高。两岩区岩脉钍铀比值的差别应归结于岩石分异程度和源区性质的不同。结合岩脉的微量元素、稀土元素的研究结果^①, 可能主要和源区性质有关。

图3是S区暗色岩脉铀钍含量的分布频率直方图。钍基本上呈正态分布, 说明在岩石形成后的地质作用过程中, 钍没有发生明显的集散, 仍保持岩浆结晶阶段形成的那种均匀分布状态。而铀与钍不同, 呈多峰分布的特点。这种分布的不均一性表明岩脉成岩后受到了一定

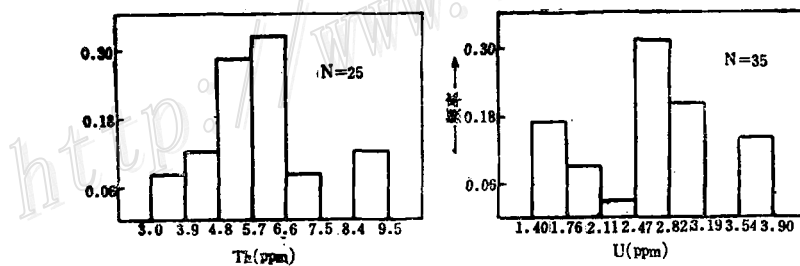


图3 S区岩脉铀钍分布频率直方图

Fig.3. Histogram showing distribution of U and Th in dykes of S area.

① 王学成, 1989, 博士学位论文

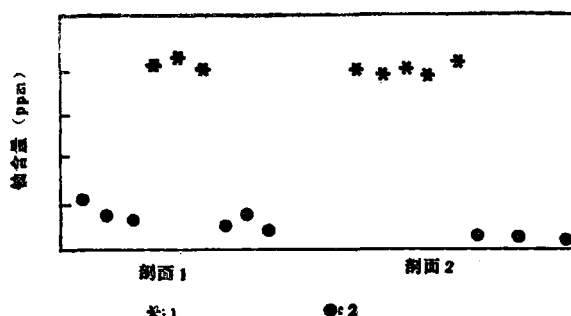


图4 花岗岩和辉绿岩中的铀含量变异图解

1—花岗岩; 2—辉绿岩

Fig.4. Variation diagram of uranium contents in granite and diabase.

1—Granite; 2—Diabase.

程度的铀成矿作用或者是花岗岩混染作用的影响。

为了了解岩脉定位后同化混染作用对其中铀含量的影响,在GD岩体内选择了两个剖面,通过系统取样分析表明,岩脉中铀含量在接触带上相对岩脉中心部位没有增高现象,接触带上的花岗岩也未显示铀含量降低的趋势(图4)。上述特征表明,岩脉中铀的富集除与岩石分异程度高有关外,如果与花岗岩有关的话,也不是由于岩脉定位后

花岗岩的原地混染作用造成的,而很可能是在基性岩浆侵位过程中伴随构造运动与其它活动组分一起带入岩脉的。

通过对暗色岩脉中铀钍含量分布特征的分析表明,S区、I区、产铀岩体、非产铀岩体中岩脉的铀含量没有明显差别。根据这一特点并结合铀在岩浆作用过程中的地球化学特点有理由认为尽管岩脉铀含量高出同类岩石数倍,但在铀源方面,暗色岩脉与铀成矿作用没有联系。

三、暗色岩脉与铀成矿关系

铀元素从分散状态到逐步富集成矿经历了一个源—运—储的地质过程。对热液铀矿床而言,这一过程即是铀从作为铀源的地质体中通过一定的地质作用转入热液以某种方式迁移,在适当的地质环境下富集成矿。任何一个热液铀矿床的形成都离不开这三个方面。因此,考查暗色岩脉与铀的成矿关系实质上就是解决与源—运—储有关的以下三个问题:

1. 暗色岩脉能否为铀成矿提供铀源

根据上面岩脉铀钍含量分布特点的研究,结合花岗岩中铀的高含量及活动性,完全可以否定第一个问题,即暗色岩脉不可能成为铀源体。

2. 暗色岩脉能否为铀的运移创造有利条件

花岗岩地区暗色岩脉的最大特点是它的晚期侵位,通常它是一个地区某期岩浆活动的最晚阶段产物。因此从时间上形成岩脉的岩浆活动和铀的成矿作用最为接近。针对这一特点,一些学者认为岩脉所代表的基性岩浆活动可能会为铀的活化转移创造有利条件。看来深入地论证这一问题的关键所在是首先确定暗色岩脉和与之有关的铀矿床成岩、成矿时代。为此我们对GD岩体东部下庄矿田内的暗色岩脉和铀矿床分别进行了Rb—Sr及U—Pb等时年龄测定。图5是辉绿岩脉的一个单矿物磷灰石和两个全岩铷锶分析结果构成的等时线。获得的岩脉形成年龄为 $100 \pm 3.21\text{Ma}$,这一结果与野外根据穿插关系推测的成岩年龄(90—100Ma)非常接近。图6是根据沥青铀矿的铀铅同位素测定结果①构成的下庄矿田内102—石角围硅化断

① 部分数据引自其他作者资料

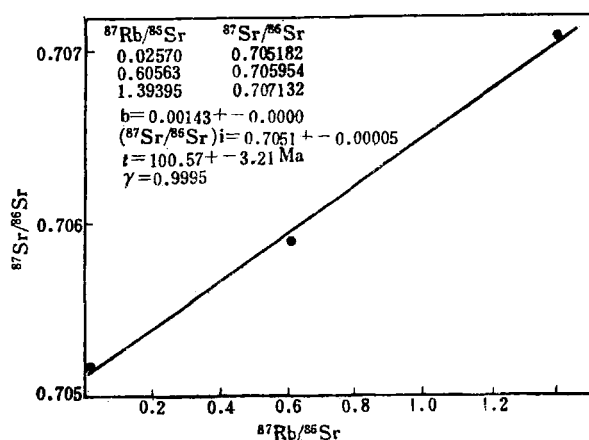


图5 GD岩体内辉绿岩脉Rb-Sr等时线图解

Fig.5. Rb-Sr isochron diagram of diabase dykes in GD granite.

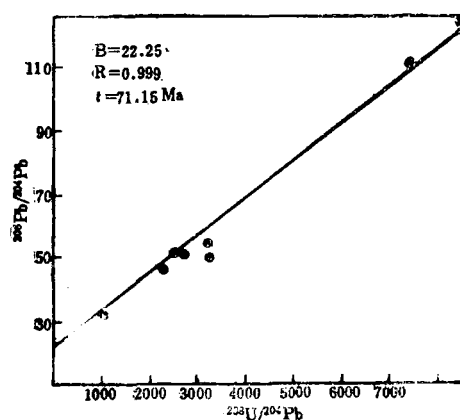


图6 沥青铀矿U-Pb等时线

Fig.6. U-Pb isochron diagram of pitchblende.

裂上各矿床(339、335、333、331)的等时线。获得成矿年龄为71Ma。结合GD岩体主、补体形成年龄(分别为158Ma、131Ma)^①,可以看出,下庄矿田从成岩、成脉到铀成矿时间上构成一个序列。据野外穿插关系,其它一些产铀矿岩体的花岗岩、暗色岩脉、铀矿化也存在类似的时间关系。总的看来,暗色岩脉的形成年龄具有与铀矿化时间较为接近并早于铀矿化的特点。

目前我们所见到的暗色岩脉具有双重意义:它既是一次(或几次)基性岩浆活动的产物,又是一定规模的构造运动的物质表现形式。人们通常认为岩脉与张性构造是相伴而生的,它的发育代表了当时的一种拉张环境。从所研究的改造型花岗岩区三个产铀岩体中暗色岩脉走向的一致性表明,这一构造运动和岩浆活动具有区域性,其作用范围不应也不可能仅仅局限于目前岩脉分布的地段。考虑到上述情况,花岗岩固结后的基性岩浆活动可能会在如下几个方面为铀的运移创造条件:

(1) 张性的构造运动和与之伴生的基性岩浆活动打破了原来岩石的应力平衡和热平衡,在花岗岩中形成一定的压力梯度和温度梯度,促进热液的对流作用。同时,暗色岩脉在侵入过程中还会在围岩中产生新的裂隙系统。例如R. D. Rogers^[4]在Skaergard侵入体中确认了几类矿化断裂系统,其中的一组断裂充填有相同的蚀变矿物组合(石英-绿泥石),而且它们无例外地都发育于铁镁质脉岩附近。相对年龄、几何图形关系以及分布特点都表明,这组断裂系统是岩脉侵入过程中的伴生产物。这些裂隙大多数情况下在岩脉两侧1—5m范围内平行岩脉产出。在靠近岩脉边部平均每米内有10—15条之多。远离岩脉逐渐减少。作者应用弹性模型解释了这种与岩脉侵入有关的裂隙的形成机制并分析讨论了其发展过程。许多其他作者^[4,5]也都注意到了类似上述与岩脉有关的裂隙发生作用。这说明伴随岩脉侵入作用所引发的次生裂隙具有一定的普遍性。岩脉周围这类裂隙的发育加上岩浆侵入作用造成的温度梯度无疑会给热液的活动提供有利条件。

① 王学成, 1986, 硕士论文

(2) 富含挥发分的基性岩浆可以给铀成矿提供矿化剂

华南地勘局一些科研人员^①按地质力学观点对下庄矿田破裂构造特征分析后认为,矿田内与铀成矿关系最密切的是新华夏构造体系。这一体系的构造要素有(图7):

a. NNE向压性构造形迹:以硅化断裂带为主,白色石英断裂带次之。主要构造带有15条之多,是控制铀矿化的主要构造。矿体主要赋存在硅化带内及其上下盘的围岩内。前面提到的102—石角围硅化石英断裂带即属其中规模较大的一条。

b. NEE向压扭性构造:以硅化断裂带为主,白色石英断裂带次之,是继承区域性华夏构造的一段,它们也控制铀矿化。

c. NNW向张性构造:主要充填规模不等的辉绿岩脉。

d. NNW向张扭性构造,这组构造在矿田内不太发育、规模较小。

上述构造分析表明,暗色岩脉与铀矿床是属于同一构造体系、具有成生联系的不同构造序次岩浆作用、热液活动的产物,与花岗岩浆相比,基性岩浆含较高的水及其它挥发组分。表3是笔者应用气相色谱方法对下庄矿田内岩脉主要造岩矿物角闪石、石英、长石内包裹体中微量气体测定结果。从表3可见,岩脉中气相组分含量较高,主要有CO₂、CO、CH₄及H₂S。其中以CO、CO₂居多。据希塔罗夫研究,基性岩浆从深部向上侵位时由于减压作用可

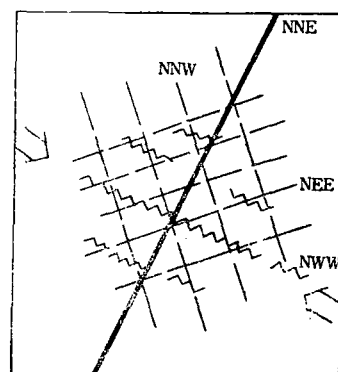


图7 下庄矿田主要构造生成机理示意图

Fig.7. Sketch diagram showing formation mechanism of main structures in the Xiaozhuang ore field.

表3 辉绿岩中包裹体的气相成分(mol/100g)

Table 3. Gaseous composition of inclusions in diabase (mol/100g)

样号	矿物	CO	CH ₄	CO ₂	H ₂ O	H ₂ S
SGU140	角闪石	182.74	少	10.76	145.90	有
SGS990	角闪石	218.60	少	11.25	50.91	有
SGS090	长石、石英	47.35	1.97	22.39	214.62	有

释放大量的水,且熔体温度越高,释放的水量越多。这说明从深部上侵的基性岩浆中水及挥发分的含量要远远超出目前岩石中主要矿物的测定结果。对暗色岩脉侵位机制的研究也表明使裂隙引开的动力来自饱和了挥发分的岩浆上侵时因减压去气作用在其前缘形成的低粘度高速的稀薄硅酸盐流体^[7]。基性岩浆中以H₂O、CO₂、CO为主的挥发组分通过裂隙构造进入岩体或热液中,显然会有助于岩石中铀的活化转移,提高热液对铀的携带能力。对下庄矿田内

① 华南地勘局,1978,下庄矿田成矿规律

339矿床中成矿期方解石包裹体液相成分分析(表4)表明,成矿热液阴离子以 HCO_3^- 为主,表明铀主要是以碳酸铀酰离子形式迁移;方解石的碳同位素组成($\delta^{13}\text{C}$ 集中在 -6‰ — -8‰ 之间)也显示了深成碳的特征,说明成矿热液中 CO_2 很可能来自基性岩浆的去气作用。

表4 339矿床方解石中包裹体液相成分(ppm)

Table 4. Liquid composition of inclusions in calcite from No.339 ore deposit (in ppm)

No	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Fe^{3+}	Cu^{2+}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	I^-	Cl^-
1	0.02	0.04	5.08	0.02	0.05	微	8.82	0.80	0.23	0.35
2	0.06	0.03	4.36	0.03	0.05	微	7.51	0.80	0.12	0.40

对现代地热田中一些气体的同位素分析结果也表明有深部物质的参与。例如一些地热系统的碳同位素组成 $\delta^{13}\text{C}$ 介于 -2‰ — -8‰ 之间,大部分数据接近深源碳的同位素组成;氦同位素 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值大约在 0.5×10^{-5} — 2×10^{-5} 之间(地幔衍生氦比值约为 3×10^{-5} 、地壳 3×10^{-8} ,大气中 1.4×10^{-6}),这一比值表明地热系统中的氦可能是直接来自地幔物质的扩散;部分地热区 ^{40}Ar 丰度较高,具有深部来源氦特征,且 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 比值随 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值的增加而增加。上述这些特征表明,部分现代水热系统中确有深部物质的加入,加入的途径一般认为是深大断裂。根据地质学中“今论古”的原则,不难推测深部挥发组分在热液矿床中所起的作用。

综上所述,笔者认为,花岗岩体内暗色岩脉的出现标志着一个新的以拉张为主的构造幕的开端。这一构造幕与作为铀源体的花岗岩以及作为铀沉淀富集场所的暗色岩脉共同奠定了铀成矿的基础。自此以后,与断裂构造有关的连续不断的热液活动实现了铀成矿过程中从“源”到“运”的飞跃。

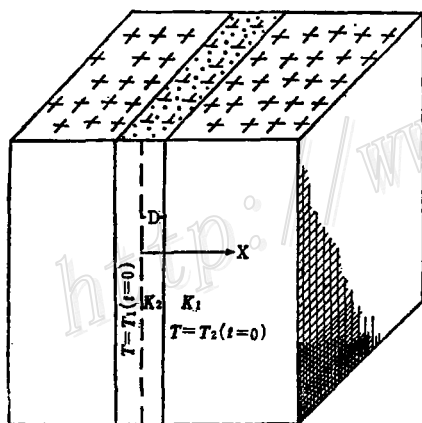


图8 用于计算温度的模型

Fig.8. Model for calculating temperature distribution in dyke and host rock.

(3) 国内外一些学者认为,基性岩浆活动可以为铀成矿提供热源,使花岗岩体中的冷水得到加热;也有人根据岩脉的规模较小、数量较多、热作用有限,对上述看法持怀疑态度。笔者试图通过岩脉定位后对围岩加热程度的定量计算来探讨这一问题。

岩浆定位后,由于其温度高于围岩,在其逐渐冷却的过程中将围岩加热,加热的程度不仅取决于岩浆初始温度、岩脉规模、距离岩脉的远近,还决定于岩脉和围岩的热学性质等一系列边界条件。为了便于计算,在不失去计算意义的情况下,对一些条件进行了简化处理,将岩浆对围岩的加热作用简化为传导传热,忽略对流传热,假定岩浆瞬间进入围岩,围岩假定为各向同性均质,不考虑温

度对岩石热导率、热扩散率的影响,忽略岩浆结晶时所释放出的熔解热等等。图8是计算模型。这一模型将问题从三维简化成一维。可以证明,当岩脉厚度远远小于其长度和宽度时(客观上是满足的),这一简化处理是正确的。假定暗色岩脉和花岗岩具有相同的热学性质(岩石间热导率的差异通常小于2倍,例如辉长岩 $K=2.1$,花岗岩 $K=2.6$,由这一假定引起的误差相当小),则与时间和空间位置相关的温度场由下式决定^[3]:

$$T(x, t) = T_2 + \frac{T_1 - T_2}{2} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{D+X}{2\sqrt{Kt}}\right) + \operatorname{erf}\left(\frac{D-X}{2\sqrt{Kt}}\right) \right]$$

式中 T_1 : 侵入岩脉 $t=0$ 时的初始温度(℃)

T_2 : $t=0$ 时的围岩温度(℃)

D : 岩脉的1/2厚度(m)

X : 岩脉中心到计算点的距离(m)

T : 从岩脉定位后算起的时间(s)

K : 岩石的热扩散系数,这里取花岗岩的 $K=1.4 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ 。

式中的 $\operatorname{erf}(X)$ 是误差函数:

$$\operatorname{erf}(X) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^X \exp(-t^2) dt$$

表5是取岩浆初始温度 $T_1=1200^\circ\text{C}$ (据包裹体测温结果),假定围岩初始温度 $T_2=100^\circ\text{C}$,岩脉宽度 $2D=10\text{m}$,按照上述公式计算的结果。表5表明,在一定的时间内,暗色岩脉对其围

表5 围岩加热后的温度分布

Table 5. Temperature distribution in heated host rock

x (m) \ t (a)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
1	525	471	394	313	240	183	145	122	110	100
10	217	242	241	237	228	221	216	207	198	189
100	146	146	146	146	145	145	145	144	144	144
1000	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115

岩一定距离内的岩石确能起到较强的加热作用。例如,岩脉经一年时间的冷却后,其两侧13m距离内的围岩可提高温度100—300℃。但是我们必须认识到对热液成矿作用而言,维持热液系统的热源,不仅在于它能使围岩升高多少温度,重要的是其维持时间的长短和作用距离的远近。只有那些维持时间长、作用距离远的热源对成矿才有意义。图9是根据上面公式计算的岩脉和围岩中相对温度随时间和距离的变化情况。图中的横坐标是从岩脉中心算起的距离,纵坐标是任一时刻的围岩增温($T-T_2$)与 $t=0$ 时岩浆、围岩温差(T_1-T_2)之比。从这张图上可以看出围岩中温度随时间和距离的变化特点是:在最初的几年内,岩脉对围岩的加热作用比较显著,围岩的温度梯度较大,但相应影响距离较短,限制在距岩脉15m的范围内;随着时间的增加,加热作用越来越不明显,但作用距离相应较长,围岩中温度梯度很

小, 到1000年后岩脉与围岩的温度已基本达到平衡。取 $(T-T_2)/(T_1-T_2)=0.1$, 则岩脉使围岩升高温度100℃以上所能维持的时间仅10年左右, 作用距离大约 30m。考虑到通常岩脉厚度达不到 10m, 其作为热源所能维持的时间和作用距离就更为有限了。对下庄矿田而言, 铀矿床和岩脉的时差达几十个百万年, 这么长的时间是岩脉这类寿命比较短的热源远远不能维持的。

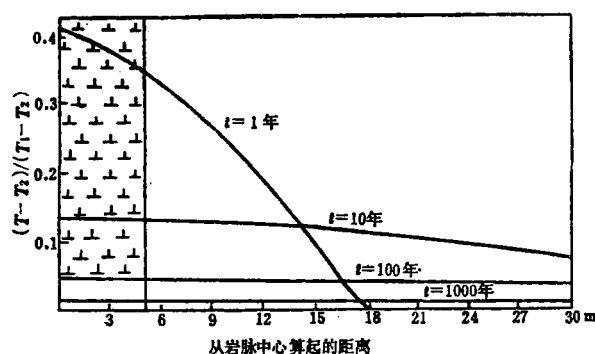


图 9 岩脉和围岩中的相对温度

Fig.9. Relative temperature in dyke and host rock.

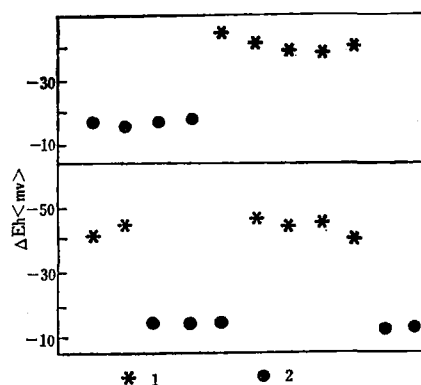
上面的计算结果表明, 暗色岩脉虽然对围岩具有一定的加热作用, 它还不能够为铀成矿提供热源。但它在定位最初的一段时间内能够在围岩中形成明显的地温梯度, 成为热液对流的驱动力。考虑到暗

色岩脉是深部岩浆浅部表现的这一成因特点以及铀矿床的中低温性质, 认为深成基性岩浆活动所造成的区域热流增高加上花岗岩的结晶余热就足以为铀成矿提供热源。

3. 暗色岩脉能够提供一个有利于铀沉淀富集的场所

许多与岩脉有关的铀成矿实例都证明了这一论点。暗色岩脉对铀的沉淀富集作用主要在于岩脉与花岗岩的物理性质和化学性质截然不同而导致在两者接触处形成的“界面效应”。从机械物理性质上看, 岩脉结构致密、性脆, 受力超过抗压强度时很易破碎, 从而产生裂隙, 为成矿热液的活动及铀沉淀提供空间; 从化学性质上看, 相对花岗岩而言, 暗色岩脉中 Fe^{2+} 等低价元素含量高, 还原能力强, 从而在两种岩石的接触部位形成氧化还原界面。尤其是主要造岩矿物包裹体中含有许多强还原气体 H_2S 、 CH_4 、 CO (表 3), 当含铀热液流经岩石时, 这些气体起着沉淀障的作用, 导致铀沉淀。从辉绿岩脉到花岗岩剖面氧化还原电位测定结果表明, 辉绿岩的氧化电位大大低于花岗岩 (图10), ΔEh 从花岗岩的 -20 mV 左右突降到辉绿岩的 -40 mV 左右 (实际上岩脉中的 ΔEh 比实验结果还要低得多, 因为测定时样品均粉碎到200目以下, 使其中的还原性气体逸散, 造成测定值增高), 因此当含铀热液从花岗岩流经岩脉时, 由于物理化学环境的强烈变化, 促使六价铀还原成四价铀沉淀成矿。矿化辉绿岩与正常辉绿岩的化学分析对比结果也显示了较大的差异。如图 11 所示, 岩脉矿化后 FeO 、 CaO 、 MgO 含量明显降低, 而 SiO_2 、 Fe_2O_3 显著增高, 但矿化前后 FeO 、 Fe_2O_3 在岩石中的总量没有多大变化, 说明在矿化过程中存在 $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ 的转化。 CaO 的降低 (转入热液) SiO_2 的升高 (带入围岩) 都有助于使成矿热液中的碳酸铀酰离子、硅酸铀酰离子解体, 使铀沉淀富集。

结论: 暗色岩脉与铀成矿关系的主要表现形式是岩脉控制铀矿床的定位。岩脉中铀钍分布特点不依赖于岩体的成因类型及其含铀性, 尽管岩脉的铀钍含量显著高于同类岩石, 但它不能为成矿提供铀源。暗色岩脉在铀成矿过程中所起的作用主要是提供有利于铀沉淀富集的场所。此外, 根据暗色岩脉富含挥发分、成岩年龄与铀成矿年龄接近、成脉和成矿构造上的关联性以及暗色岩脉是深部岩浆浅部表现形式的成因特点, 认为暗色岩脉所代表的岩浆活

图 10 ΔE_h 变异图

1—花岗岩; 2—辉绿岩

Fig.10. Variation diagram of ΔE_h .

1—Granite; 2—Diabase.

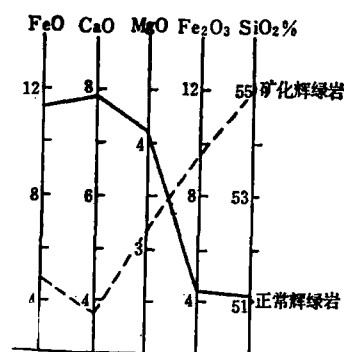


图 11 岩脉矿化前后化学组分的变化

Fig.11. Variation in chemical composition of a dyke as a result of mineralization.

动、构造作用可以为铀从花岗岩中的活化转移创造有利条件。岩脉的侵入作用虽然对围岩具有一定的加热作用,但还不能做为铀成矿的热源。

参 考 文 献

- [1] 王从周 1985 中国花岗岩型铀矿床地质特征 原子能出版社
- [2] J. 勒鲁瓦 1982 法国克鲁齐尔铀矿地质及成因 (孙维新译) 原子能出版社
- [3] G. 邦特巴思 1988 地热学导论 (易志新译) 地震出版社
- [4] Rogers, R. D., 1987, Fracture propagation associated with dike emplacement at the Skaergaard Intrusions, East Greenland, Journal of Structure Geology, Vol. 9, No. 9, p. 71—86.
- [5] Delance, D. T. et al., 1986, Field relation between dikes and joints: emplacement processes and palco-stress analysis, J. Geophys. Res. Vol. 91, No. B5, p. 4920—4938.
- [6] Pollard, D. D., 1973, Derivation and evaluation of a mechanical model for sheet intrusion, Tectonophysics, Vol. 19, No. 3, p. 233—269.
- [7] Currie K. L., etc., 1970, The mechanism of intrusion of lamprophyre dikes indicated by offsetting of dykes, Tectonophysics, Vol. 9, No. 6, p. 525—535.

A STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE DARK DYKE AND THE URANIUM MINERALIZATION

Wang Xuecheng, Zhang Bangtong and Zhang Zuhuan

(Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu Province)

Abstract

Uranium deposits related to dark dykes are rather common and typical in uranium-bearing granite of Nanling region. This sort of deposits belong to

mesothermal-epithermal type and are distinguished from other types by simple mineral assemblage and higher industrial grade. This paper makes a fairly thorough study on the relationship between the dark dyke and the uranium mineralization in three aspects of the ore-forming process, i. e., source materials, transportation and deposition.

Studies on uranium content of dark dykes demonstrate that dark dykes from S area, I area, uranium-bearing granite and uranium-barren granite do not show obvious difference in uranium content. This fact, combined with metallogenic characters of this type of deposits, leads to the conclusion that it was quite impossible for dark dykes to provide uranium mineralization with source materials.

Based on the fact that dark dykes are rich in volatiles, that their magmatic activity is close to uranium mineralization in time, that dykes are tectonically related to uranium deposits, and that the genetic features of dykes are manifestations of magmatic activity at depth, it is considered that the magmatic activity and tectonic movement represented by dark dykes might have created a favorable condition for mobilization and transference of uranium from granite. Though playing some heating role, the invasion of dark dykes could not act as the main heat source for uranium mineralization.

Studies show that the major role played by dark dykes in the process of uranium mineralization seemed to provide favorable places for the deposition of uranium. The enrichment and precipitation of uranium in dark dykes are mainly attributed to the "boundary effect" between the dark dyke and granite caused by physical-chemical difference between the two sorts of rocks. The determination along a section shows that ΔEh value of dark dykes is much lower than that of granite, i. e., it decreases abruptly from -20mV in granite to -40mV in dark dykes. Considering the existence of such reducing gases as H_2S , CH_4 and CO in the dykes, the actual ΔEh value difference should be much greater than that observed. It is therefore conceivable that when uranium-bearing hydrothermal fluids passed through dark dykes from granite, the abrupt change in physical-chemical condition must have resulted in the reduction of U^{6+} to U^{4+} and caused uranium precipitation and mineralization.