

# 中国东南部中生代含铀花岗岩 成岩物质来源与铀成矿作用

成都地质学院

金景福

几年来野外实地调查和室内大量的实际资料表明,我国东南部中生代含铀花岗岩体大多数属原来大陆壳硅铝层浅海相陆源沉积岩和火山沉积岩,以及少量的花岗岩等物质在深部增温增压下经受重熔作用而产生的酸性岩浆侵入于距当时地表约为2—4公里深处,经过充分而完善的结晶分异作用和射气分异作用而导致的产物。为了进一步阐明和解释含铀花岗岩成岩物质来源与铀成矿作用之关系,作者在本文里试图首先对含铀花岗岩成岩物质来源进行探讨,在此基础上提出对铀成矿作用的不成熟看法。

## 一、对含铀花岗岩成岩物质来源的探讨

### (一) 含铀花岗岩产出的岩石组合

经过对实际资料的研究表明,我国东南部中生代含铀花岗岩大部分是由大陆壳硅铝层物质经受重熔—后来改造而形成的。其成分大多数属二长花岗岩和正常花岗岩,就其造岩矿物来说,石英、钾长石和斜长石等矿物含量约各占三分之一(图1)。此外,尚有少量的钾长石花岗岩和花岗正长岩,基本上

都属碱性系列花岗岩。在空间上它很少或几乎不与其同源的火山岩共生或伴生，更没有发现含铀花岗岩体与中性—基性侵入体分布在一起。含铀花岗岩体无论在空间上还是在时间上都独自呈大型岩基状产出。

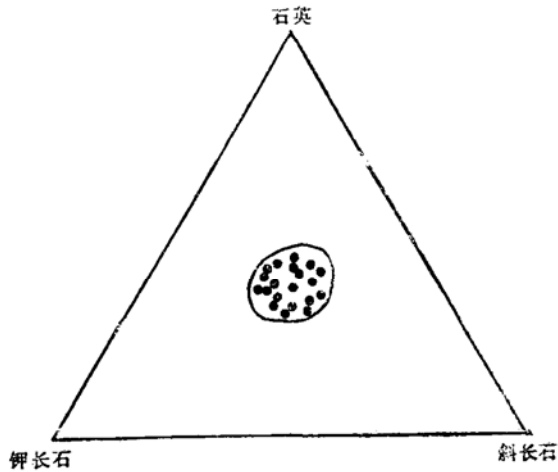


图 1 花岗岩石英—钾长石—斜长石图  
(三角图中心为含铀花岗岩)

(二) 含铀花岗岩类岩石化学成分

从大量的岩石化学分析资料<sup>①</sup>可见，含铀花岗岩类岩石通常富硅、富碱、富铝，缺钙。其中，SiO<sub>2</sub>含量一般为70—76%，平均

值为73%，大大地超过世界正常花岗岩平均值(63%)；K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O普遍较高，其含量通常为7.5—8%，其中K<sub>2</sub>O>Na<sub>2</sub>O；Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量亦较高，一般介于13—15%之间，Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>>K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O+ $\frac{1}{2}$ CaO，即达铝过饱和。

为了进一步弄清楚和解释花岗岩成岩物质来源，我们将已知的几个含铀花岗岩化学组分中的Al、K、Na、Ca等元素含量分别换算为原子数，并计算出Al/(K+Na+ $\frac{1}{2}$ Ca)<sup>[3]</sup>的比值(表1)。从表1可见，Z含铀花岗岩体平均值为1.302；G含铀花岗岩体平均值为1.283；T含铀花岗岩体平均值为1.293。总的来看，上述的几个含铀花岗岩体的Al/(K+Na+ $\frac{1}{2}$ Ca)的平均值均大于大陆壳物质下限值1.2，而且它们的岩石化学成分稳定而又相近，这一点反映了它们成岩物质大部分来源于大陆壳硅铝层本身，并有少量上地幔物质参与。

(三) 含铀花岗岩中的黑云母组分

通过对几个含铀花岗岩体中的黑云母单矿物化学分析<sup>②</sup>我们发现，含铀花岗岩中的

含铀花岗岩Al/(K+Na+ $\frac{1}{2}$ Ca)参数

表 1

岩 性	Al	K	Na	Ca	Al/(K+Na+ $\frac{1}{2}$ Ca)
Z 岩体中粗粒黑云母花岗岩	265	96	80	15	1.387
Z 岩体粗粒斑状黑云母花岗岩	280	116	96	19	1.212
Z 岩体中粒二云母花岗岩	278	112	94	9	1.293
平 均 值					1.302
G 岩体巨斑状黑云母花岗岩	260	100	78	20	1.300
G 岩体中细粒白云母花岗岩	248	76	126	10	1.280
G 岩体中细粒黑云母花岗岩	239	106	122	6	1.270
平 均 值					1.283
T 岩体中粒斑状黑云母花岗岩	278	102	97	14	1.305
T 岩体黑云母二长花岗岩	277	104	98	17	1.270
T 岩体黑云母花岗岩	283	108	98	12	1.287
平 均 值					1.293
总 平 均 值					1.290

黑云母普遍贫Mg和Ca，Mg含量一般在1.50—8.37%范围内，平均值为3.97%，Ca含量在0.75—3.10%之间，平均值为1.92%

但富含Fe<sup>2+</sup>，其含量在6.00—26.20%之

① 由成都地质学院中心实验室完成

② 由成都地质学院三系曾德森完成

间,平均值为15.27%;  $Fe^{3+}$  含量则相对低,一般介于0.90—10.05%之间,其平均值为5.43%。基于上述分析资料,含铀花岗岩中的黑云母大多数以  $Fe^{2+}$  为主,  $Mg^{2+}$  和  $Fe^{3+}$  的含量则相对较低,因而,各个含铀花岗岩体的黑云母中  $Mg^{2+}-Fe^{3+}-Fe^{2+}$  等三种组分在三角图中投点大部分偏  $Fe^{2+}$  一侧,少数的偏于  $Mg^{2+}/Fe^{2+}=1$  (图2—4)。从图中不难看出,含铀花岗岩中的黑云母大多数属铁黑云母,极少数为镁铁黑云母。

结合野外产状的研究还看出,黑云母中的  $Mg^{2+}/Fe^{2+}$  比值与花岗岩演化有着密切的

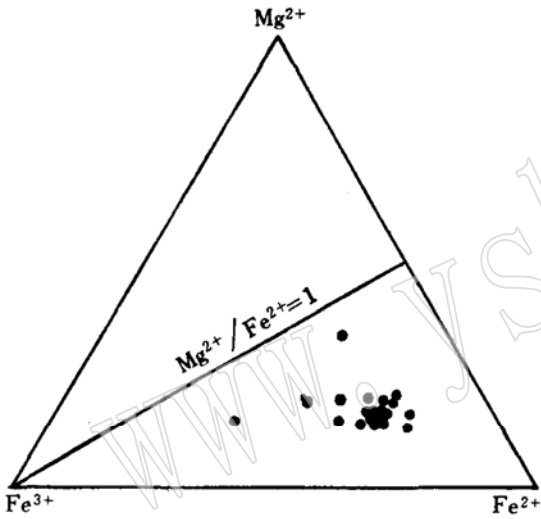


图2 T含铀花岗岩体黑云母  $Mg^{2+}-Fe^{3+}-Fe^{2+}$  图

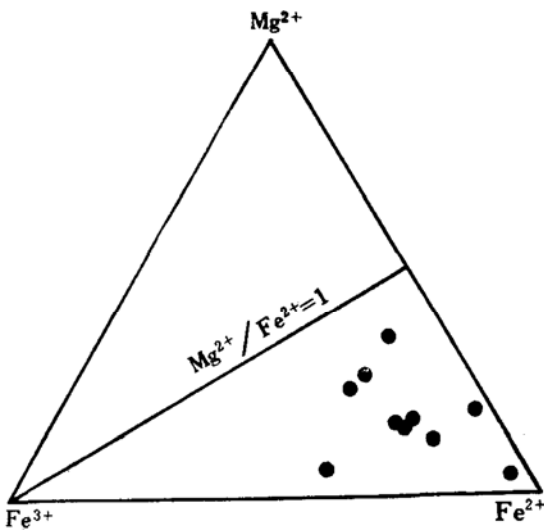


图3 Z含铀花岗岩体黑云母  $Mg^{2+}-Fe^{3+}-Fe^{2+}$  图

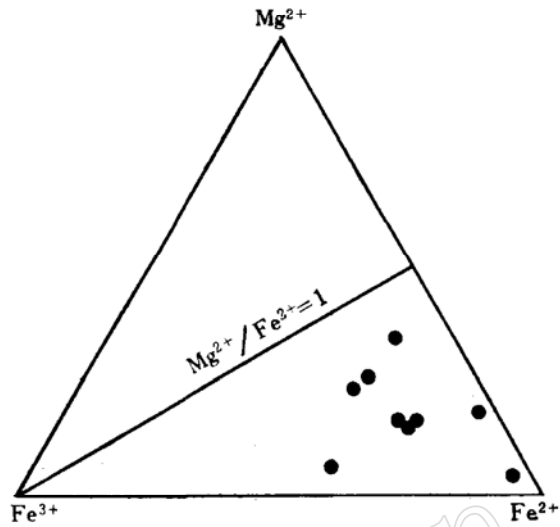


图4 G含铀花岗岩体黑云母  $Mg^{2+}-Fe^{3+}-Fe^{2+}$  图

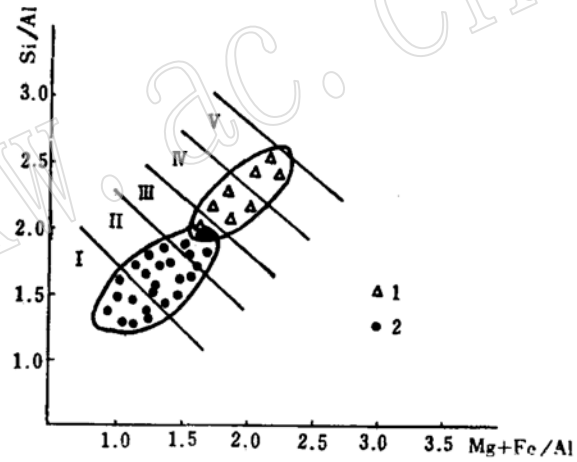


图5 含铀花岗岩与非含铀花岗岩中黑云母  $Si/Al$  与  $Mg+Fe/Al$  相关图

关系。例如早期形成的表现为  $Mg^{2+}/Fe^{2+}$  比值较高,而  $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Fe^{2+})$  比值则较低;晚期形成的表现为  $Mg^{2+}/Fe^{2+}$  相对低,而  $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Fe^{2+})$  比值较高。此外,若以含铀花岗岩与非含铀花岗岩中的黑云母  $Si/Al$  和  $Fe+Mg/Al$  比值进行对比,还可以发现两者之间有着明显的区别;含铀花岗岩中的黑云母投点大多数落在 I—III 范围内,而非含铀花岗岩中的黑云母投点则落在 IV—V 范围内 (图5)。

从上述的基本事实我们推测,含铀花岗岩很可能属大陆壳硅铝层范围内所形成的产物。

#### (四) 含铀花岗岩中的副矿物

含铀花岗岩通常含有较多的副矿物,其含量大多数在1%以下,有时>1%。副矿物种类也较多,主要有磁铁矿、黄铁矿、钛铁矿、榍石、含铀锆石、石榴石、磷灰石及电气石,尚见有少量的独居石、磷钇矿及显微粒状晶质铀矿,偶而还可见板钛矿、锐钛矿和白钛石。其中,与铀成矿作用有联系的副矿物主要有含铀锆石(或含铀磷灰石)和微粒晶质铀矿。

据不完全统计,含铀花岗岩中的上述的副矿物含量与非含铀花岗岩相比,一般高出几倍,有时甚至高出几十倍。就副矿物来说,含铀花岗岩大多数属磁铁矿+钛铁矿型,钛铁矿型次之。因此,我们东南部中生代含铀花岗岩与日本的钛铁矿型花岗岩比较,有着明显的区别,而且与磁铁矿型花岗岩也不相同,即两者兼而有之。这种副矿物组合可能是与大陆壳下部岩层有关。

#### (五) 含铀花岗岩中的Th/U比值

大量的统计资料表明,含铀花岗岩中的铀含量<sup>③</sup>普遍较高,但有一定的变化,其变化范围在8—24ppm,其平均含量为15ppm左右,而且其中活性铀占很大的比重。对钍<sup>④</sup>来说,其含量也相应地增高,其变化一般在14—42ppm之间,其平均值为28ppm。但是,Th/U比值普遍较低,通常在1.7—2.57之间,其平均值很少超过3(正常花岗岩中的Th/U值)。这意味着含铀花岗岩成岩物质来源于大陆壳硅铝层本身,并还有少量的上地幔物质参与。

#### (六) 含铀花岗岩中的微量元素

根据样品分析资料,含铀花岗岩中碱金属含量<sup>⑤</sup>较高,除了常见的K和Na之外,Rb、Cs、Li、Ba含量亦较高,Rb含量为270—583.3ppm,平均含量为427ppm;Cs含量为5.2—47.9ppm,平均含量为26ppm;Li含量一般在71—188ppm之间,其平均含量为

95ppm。此外,Ba含量特别高,通常在316—1206ppm之间,平均值为645ppm。但Sr含量普遍较低,一般仅100—415ppm,其平均值为150ppm。

不仅如此,成矿元素<sup>⑥</sup>,特别是亲氧元素含量也较高:W含量为3—12ppm,平均值为7ppm;Sn含量大多数在4—30ppm范围内,平均含量为8.5ppm;Nb含量普遍为3—20ppm,平均含量为5ppm;Ta含量一般在0.65—4.5ppm之间,其平均值为2.8ppm;Zr含量大多数为66—425ppm范围内,其平均值为180ppm。从地球化学角度来看,上述的微量元素,除了Sr元素之外,大部分是在大陆壳上部硅铝层中极为常见的,而且它们的丰度又较高,这可以证实,含铀花岗岩成岩物质与大陆壳上部硅铝层有着一定的联系。

#### (七) 含铀花岗岩中的挥发份

含铀花岗岩中的挥发份含量<sup>⑦</sup>普遍较高,其中,H<sub>2</sub>O含量一般为1—3%,平均值为1.5%;F含量为0.1—0.4%,平均含量为0.2%;P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>含量一般为0.05—0.3%,其平均含量为0.1%。特别应当指出的是F/Cl比值较高,一般在4—30之间,大多数平均值均超过3(大陆壳硅铝层中F/Cl比值大于3)。这一点可以反映出含铀花岗岩成岩物质大多数与大陆壳上部岩层有关。

#### (八) 含铀花岗岩稀土元素配分型式

根据样品分析资料<sup>⑧</sup>,我国东南部中生代含铀花岗岩体中REE含量较高,通常在50—347.7ppm之间,平均值为184.2ppm。其中,LREE含量普遍较高,一般在56.90—328.6ppm,其平均值为168.20ppm;HREE含量则相对较低,一般在4.85—32.59ppm之间,其平均值为16.50ppm;LREE/HREE

③ 由成都地质学院三系活化分析组完成

④ 由成都地质学院三系童纯函完成

⑤ 由成都冶金勘探公司实验室完成

比值较高，一般介于 2.80—28.40 之间，平均值为 13.4。此外，Eu/Eu\* 除了极个别

样品之外，大部分为 0.70—1.0，基本上属平坦型和负异常型（表 2）。

含铀花岗岩稀土元素配分特征参数

表 2

样品号	岩性	LREE	HREE	$\frac{LREE}{HREE}$	REE	Eu/Eu*
T-3	粗粒斑状黑云母花岗岩	264.91	10.63	24.92	275.54	0.90
T-6	中粒斑状黑云母花岗岩	56.90	7.96	7.80	64.80	1.00
T-16	斑状黑云母花岗岩	127.90	4.85	26.37	137.75	0.40
T-24	二云母花岗岩	180.60	8.28	21.79	188.78	0.68
Yp-43	中粒斑状黑云母花岗岩	74.65	26.64	2.80	101.23	0.40
Yk-43	中粒黑云母花岗岩	108.00	11.00	9.81	119.00	0.27
E-F-09	粗粒二云母花岗岩	234.59	8.26	28.40	242.85	0.70
E-F-10	少斑状黑云母花岗岩	147.20	5.56	26.47	152.76	0.80
G-1-03	角闪石黑云母花岗岩	157.84	13.06	17.00	170.87	0.90
G-6-8	中粒斑状黑云母花岗岩	328.60	19.10	17.19	347.70	0.60
G-10-2	中粒少斑状黑云母花岗岩	279.40	32.57	8.57	311.97	1.00
	大陆壳下部平均值	40.40	38.31	1.05	78.71	1.10
	大陆壳上部平均值	165.60	44.47	3.72	210.07	0.67

为了进一步了解和解释含铀花岗岩成岩物质来源，我们将样品分析数据又经过标准化（即与标准球粒陨石进行对比后），分别绘制出三个含铀花岗岩体REE配分型式图（图

6—8）。从这些图中不难看出，含铀花岗岩中轻稀土元素如 La—Sm 含量相对较高，而重稀土元素如 Tb—Lu 含量则相对较低。显然，大多数都属富集型花岗岩，只有少数接近于平坦型花岗岩<sup>[2]</sup>。

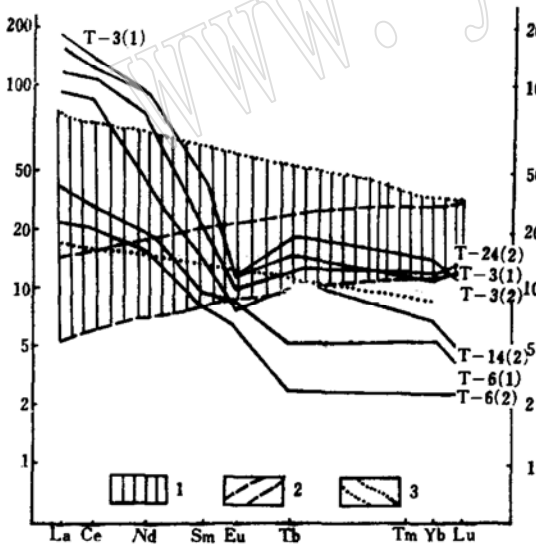


图 6 T含铀花岗岩体REE配分曲线图

1—拉斑玄武岩范围；2—岛弧型拉斑玄武岩范围；3—大陆壳型拉斑玄武岩范围；T-3（1）—粗粒黑云母花岗岩；T-3（2）—斑状黑云母花岗岩；T-6（1）—中粒黑云母花岗岩；T-6（2）—中粒黑云母花岗岩；T-14（2）—细粒黑云母花岗岩；T-24（2）—二云母花岗岩

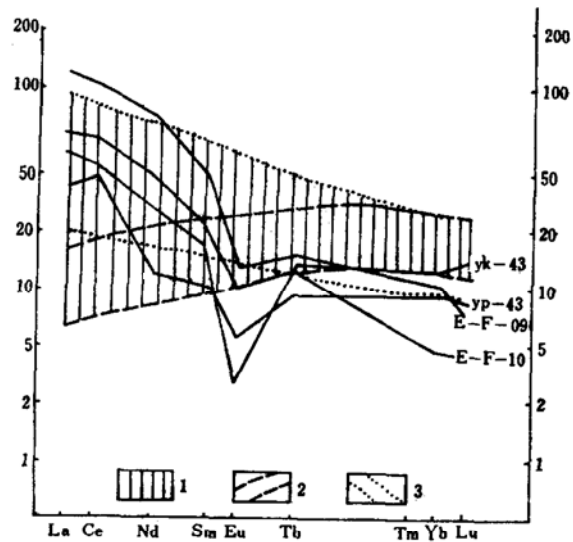


图 7 Z含铀花岗岩体REE配分曲线图

1—3图例同图 6，Yp-43—粗粒黑云母花岗岩；Yk-43—中粒黑云母花岗岩；E-F-09—二云母花岗岩；E-F-10—斑状黑云母花岗岩

● 同①

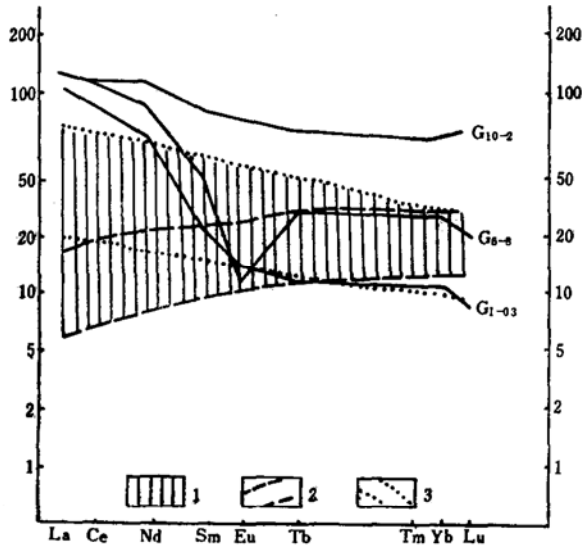


图 8 G 含铀花岗岩体 REE 配分曲线图  
1—2 图例同图 6；3—大陆壳型玄武岩范围；G 1-3—巨斑状黑云母花岗岩；G6-8—中粒黑云母花岗岩；G10-2—少斑状黑云母花岗岩

从上述含铀花岗岩稀土元素配分型式和  $Eu/Eu^*$  的特征可知，它与大陆壳上部硅铝层平均值基本相近。但是应当指出，我国东南部中生代含铀花岗岩中 HREE 含量与法国含铀花岗岩体相对比，稍低一些。由此我们

认为，含铀花岗岩成岩物质虽然大多数来自大陆壳上部硅铝层，但根据 LREE 含量相对较高的现象推测，可能有少量的上地幔物质参与。

(九) 含铀花岗岩中的稳定同位素组份

根据样品分析资料，含铀花岗岩的  $Sr^{87}/Sr^{86}$  初始比值较高，一般介于 0.713—0.735<sup>[1]</sup> 之间，其平均值大于 0.710<sup>[3]</sup>；全岩的  $\delta O^{18}$  亦较高，一般在 10—12‰ 之间，均高于正常花岗岩值 (6—10‰)； $\delta S^{34}$  值变化幅度较大，通常为 -9.1—+13‰，其平均值大部分为 -1.3‰ 左右。由此可见，含铀花岗岩与大陆壳上部沉积岩和沉积变质岩相比较，具有相同的特征，这就表明，含铀花岗岩是由大陆壳硅铝层沉积岩和沉积变质岩经受重熔作用的产物。

(十) 含铀花岗岩的形成温度

含铀花岗岩的形成温度是通过包体测温来获得的。各岩体成岩时的平均温度见表 3。从表中可以看出，各个含铀花岗岩体成岩温度上限为 730℃，下限为 530℃。其中，

含铀花岗岩成岩温度

表 3

岩 性	G 岩 体	T 岩 体	Z 岩 体
巨斑状黑云母花岗岩	700—600℃	730—650℃	730—650℃
中粗粒斑状黑云母花岗岩	650—570℃	700—610℃	710—640℃
二云母、白云母花岗岩	600—530℃	650—570℃	620—600℃

各个岩体由于形成时间不同而有所不一样：早期花岗岩成岩温度较高，其变化范围均在 700—730℃ 之间；中期花岗岩成岩温度区间为 600—690℃；晚期花岗岩成岩温度一般在 530—620℃ 之间，有时甚至可低到 450—500℃。由此可见，含铀花岗岩温度是不会太高的，大都属低温花岗岩，也可以说，大多数为富含挥发份花岗岩。此外，含铀花岗岩普遍还受后期改造 (即自变质作用)，其温度一般在 280—550℃ 之间 (图 9)，其平均温度为

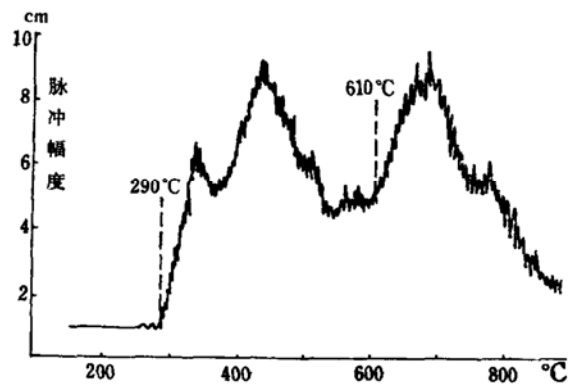


图 9 含铀花岗岩样品爆裂曲线图

400℃。由此可以推测，含铀花岗岩是由大陆壳上部富含挥发份硅铝层物质经受重熔—后来改造而形成的产物。

## 二、铀成矿作用

如前所述，含铀花岗岩体大多数是由原来大陆壳富铀岩层经受重熔作用而导致的岩浆分异作用的产物。据推测，这样的含铀岩层大部分属早古生代以前形成的晚元古代沉积变质岩，这就决定了重熔成因的岩浆中的铀丰度。当这样重熔成因的富铀花岗岩浆一旦侵入于下古生界富铀浅变质岩层时，又可从其中汲取部分的铀，从而更提高富铀花岗岩中的铀丰度。也可以说，富铀花岗岩的形成，实质上就是原来富铀岩浆与围岩富铀构造层紧密配合的产物。

通过对铀在花岗岩中配分形式的研究表明，铀赋存形式与花岗岩演化作用有着密切的关系。绝大多数未被后期改造的早期含铀花岗岩，其中铀主要以类质同象形式赋存于锆石和磷灰石等副矿物中，少量以吸附形式存在于黑云母和角闪石等暗色矿物中，而浅色矿物中则只发现有极少量的铀。据不完全统计，早期花岗岩中副矿物和黑云母的铀占全岩铀含量的90%以上。反之，至演化晚期二云母花岗岩和白云母花岗岩时，其中铀存在形式却发生了很大的变化，大部分以吸附和活性形式存在于长石和石英等浅色矿物中，而且占全岩铀含量的80—90%以上，而黑云母和副矿物中却极为少见，只占全岩铀含量的5—10%。

在含铀花岗岩体形成之后，普遍地还遭受了后期气成热液改造，即自变质作用或其他变质作用，其改造温度大体在340—550℃之间。这时促使含铀花岗岩中的铀发生活化并转移到长石和石英等浅色矿物颗粒之间和微裂隙中相对集中，有时被铁绿泥石、水云母

和粘土矿物所吸附，进而普遍导致了花岗岩中铀的增高，为构成工业铀矿体提供了铀源。

在含铀花岗岩得到自变质作用改造之后，又经受热水（或动力热）作用的充分改造，从而发生了铀的重新活化，并沿着一定方向的构造裂隙带迁移富集成工业铀矿体。据包体测温资料，热水改造温度一般在300—100℃之间，其中，沥青铀矿形成温度大体上为200—150℃。

但是应当指出，除了含铀花岗岩体本身提供铀源之外，更重要的是还有来自深部上升的富含CO<sub>2</sub>和F的富铀热水溶液。这是因为富铀热水的上升并没有使矿体周围花岗岩中铀的丰度大幅度减少，而基本上保持了原来铀的丰度，甚至有增高的趋势。它对构成工业铀矿体起着决定性的作用，这一点绝不能忽视。因此，富铀花岗岩体是铀成矿的物质基础，后来的一系列改造（包括自变质作用、热水作用及动力作用）是使其中的铀发生活化、转移和富集的极为重要的条件，来自深部上升的富铀热液活动是构成工业铀矿体的关键。可见，铀的富集过程极为复杂，经历了各种不同的作用，因而，铀矿床的形成是多源多种作用叠加的产物。

在野外工作中，生产单位的同志们给予了大力的协助，在室内工作中又得到了本教研室同志们的大力支持和帮助，在这里，一并向他们致以谢意。由于工作程度较低，作者水平有限，本文中缺点和错误在所难免，敬请同志们批评指正。

## 参 考 文 献

- 〔1〕 南京大学地质系著：1981，华南不同时代花岗岩类及其与成矿关系。
- 〔2〕 牛来正夫：1975，火成论，1983，林强、朴春燮译，地质出版社。
- 〔3〕 Leake, B.E., 1980, Journal of the Geological Society, Vol. 137.
- 〔4〕 Ушакова, Е. А.: 1980, Биотиты магматических пород.

## The Material Source and Mineralization of the Mesozoic Uraniferous Granitic Rocks in the Southeast of China

Jin Jingfu

### Abstract

On the basis of the field observations and laboratory works in recent years, the author has an attempt to discuss the relationship between the material source of uraniferous granitic rocks and uranium-mineralization. The mesozoic uraniferous granites in the southeast of China are formed by partial remelting and palingenesis of continental crust type sediments, volcano-sediments and small numbers of original granite under the condition of increasing temperature and pressure in the tectonic acts.

In this paper the author explained chiefly the characteristics of material source of uraniferous granitic rocks from the following ten respects; 1) the association of granitic rocks; 2) the petrochemical composition of granitic rocks; 3) the composition of biotites; 4) Th/U ratio; 5) the accessory minerals; 6) the trace elements; 7) volatile compositions; 8) the distribution patterns of the rare earth elements; 9) the composition of stable isotops and 10) the temperature for formation of granites.