

华南花岗岩型铀矿床的形成与活动 大陆边缘陆壳演化的关系

章邦桐 倪琦生 戴永善 王湘云

(南京大学地球科学系)

内容提要: 我国花岗岩型铀矿床集中产出在华南陆壳成熟度较高的特定部位, 其特征是: 地壳厚度大(莫霍面深度大于36km); 陆壳增生范围宽(1000km以上), 地壳铀含量偏高, 其中沉积壳层平均铀含量为5.69ppm, 花岗岩的平均铀含量为10.5ppm。产铀花岗岩体的源岩物质来自地壳, 是陆壳多次增生和重熔分异的产物。对花岗岩型铀矿床的物质成分、元素组合及同位素组成的研究表明, 成矿物质主要来自地壳岩石, 是华南地壳多次活化改造的结果。

主题词: 花岗岩型铀矿床 活动大陆边缘 地壳演化 改造型花岗岩 同熔型花岗岩

花岗岩型铀矿床在我国东南地区分布广泛, 具有重要的经济价值, 又是著名华南铀成矿区的重要组成部分。本文通过对华南陆壳的含铀性和七个主要产铀花岗岩体及其铀矿床的研究, 探讨了花岗岩型铀矿床的形成与华南大陆地壳演化的关系。

一、华南大陆地壳的含铀性

华南产铀花岗岩及其铀矿床集中产在华南活动大陆边缘、陆壳成熟度较高的特定部位。由于铀的地球化学性质十分活泼, 因此它在探索地壳发展和演化过程中可作为灵敏的地球化学示踪元素。地壳的含铀性可以成为衡量地壳发育程度高低的重要标志之一。为此, 我们收集了华南上部地壳不同沉积岩层中629件样品的铀、钍含量分析数据, 然后按陆源碎屑岩和碳酸盐岩两种岩性及其所属地层时代, 分别进行统计归纳(表1)。

根据表1数据计算结果, 华南碎屑岩的平均铀含量为5.69ppm, 钍含量为14.01ppm, Th/U比值为2.46; 碳酸盐岩的平均含量铀为2.67ppm, 钍为4.07ppm, Th/U比值为1.52。我们再将碎屑岩和碳酸盐岩两种岩性的平均铀、钍含量, 按他们在地壳发展中所占的比例^[8], 分别进行加权计算, 得出能代表华南沉积陆壳的平均含量铀为4.94ppm, 钍为11.53ppm, Th/U比值为2.33。由此可见, 华南陆壳沉积岩层中铀、钍的平均含量分别是地壳沉积岩平均铀(3.33ppm)和钍(9.43ppm)的1.5倍和1.2倍, Th/U比值(2.64)也低于地壳的Th/U比值(2.83)。从而显示出华南陆壳成熟度较高的特点。

表 1 华南陆壳沉积岩铀、钍含量及钍铀比值
Table 1. U, Th contents and Th/U ratios of continental crustal sedimentary rocks in South China

地 层 单 元	岩 性	样品件数	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	
中生界 (Mz)	白垩系	碎屑岩	33	3.97	8.76	2.21
	侏罗系	碎屑岩	64	3.16	12.9	4.08
	三叠系	碎屑岩	31	3.72	13.9	3.74
		碳酸盐岩	20	2.7	4.55	1.69
古生界 (Pz)	二叠系	碎屑岩	15	7.35	16.5	2.25
		碳酸盐岩	16	3.4	8.45	2.49
	石炭系	碎屑岩	10	7.0	22.4	3.2
		碳酸盐岩	174	4.46	3.03	0.68
	泥盆系	碎屑岩	25	5.43	15.9	2.93
		碳酸盐岩	45	3.39	5.0	1.47
	志留系	碎屑岩	14	4.85	16.05	3.31
	奥陶系	碎屑岩	9	5.31	17.2	3.24
		碳酸盐岩	19	2.06	—	—
	寒武系	碎屑岩	108	10.47	9.85	0.941
		碳酸盐岩	7	2.35	1.65	0.702
	元古界(Pt)	碎屑岩	33	5.6	6.64	1.19
碳酸盐岩		10	1.3	1.75	1.35	
华南陆壳碎屑岩 (平均值)			5.69	14.01	2.46	
华南陆壳碳酸盐岩 (平均值)			2.67	4.07	1.52	
华南平均地壳 (沉积岩)			4.94	11.53	2.33	
世界平均地壳 (沉积岩)			3.33	9.43	2.83	

二、华南陆壳增生与产铀花岗岩体的形成

目前,国内许多学者认为,华南地壳自元古代以来,由于板块碰撞,活动大陆边缘不断从北西向南东扩展,陆壳随之增生^[1,2]。大量地球物理资料证实,亚洲大陆在太古代和美洲大陆分离而形成太平洋板块。随着海底扩张,两岸的被动型板块边界被活动型大陆边缘所取代。据华南现有资料表明:板块间开始碰撞不晚于四堡期(14.5亿年);雪峰期的碰撞作用连续发生在早期活动的大陆边缘,形成了江南元古代古岛弧褶皱系,为华南陆壳增生的第一步;加里东期的碰撞作用,使江南古岛弧拼合到中国地台之上,同时形成了与早期古岛弧近于平行的武夷—云开加里东期岛弧褶皱系;在海西—印支期,碰撞带继续东移,形成了台湾—

琉球岛弧系，并完成了加里东期岛弧和大陆的拼接；至燕山期，中国东南部表现为火山岛弧型活动的大陆边缘。同时，华南全部隆起成陆，并伴随形成大量陆相断陷盆地，大规模的火山活动和岩浆侵入；喜山期碰撞带似是台湾叠加岛弧系。这表明华南陆壳经历了一个活动大陆边缘不断自北西向南东扩展，陆壳不断增生的过程。

在不同的构造旋回中，西太平洋板块和大陆的碰撞，不仅在活动大陆边缘范围内使沉积岩褶皱隆起，而且在这种活动大陆边缘及内部发生了岩浆活动。在俯冲带内，洋壳部分熔融，分异出高温、高压、富含碱质和挥发组分的“岩汁”。岩汁沿深大断裂上升，使大量地壳物质重熔，形成花岗岩浆。在华南活动大陆边缘的不同部位，不同板块活动时期所形成的各种花岗岩，其分布规律、各种地质特征、成矿特点都有明显的差异。

如前所述，华南产铀花岗岩^①集中产在我国东南部活动大陆边缘陆壳成熟度较高的特定部位。其陆壳成熟度高的标志是：地壳厚度大（莫霍面深度大于36km）；陆壳多次增生，宽度达1000km以上；华南地壳铀含量偏高，其中沉积岩壳层平均铀含量为全球沉积岩平均铀

表 2 华南产铀花岗岩体岩石化学和地球化学特征

Table 2. Petrochemical and geochemical characteristics of uranium-bearing granites in South China

特 征	区域分布 岩体	江南古陆核						
		MT	ME	LC	JN	ZG	GD	TS
时 代		雪峰期	加里东一印支期	海西一印支期	加里东一燕山期	加里东一燕山期	印支一燕山期	印支一燕山期
岩 性		巨斑状黑云母花岗岩	中细粒二云母花岗岩	黑云母花岗岩	黑云母花岗岩	中细粒二云母花岗岩	巨斑状黑云母花岗岩	似斑状二云母花岗岩
成分(%)								
SiO ₂		74.91	74.32	73.85	75.84	72.51	72.18	71.49
Al ₂ O ₃		12.9	13.62	12.51	12.30	14.24	13.76	14.21
MgO		0.45	0.33	0.40	0.07	0.41	0.36	0.52
CaO		0.40	0.71	1.18	0.48	0.77	1.14	1.22
TiO ₂		0.07	0.12	0.29	0.12	0.21	0.27	0.15
K ₂ O		5.12	4.98	4.85	5.48	5.44	5.24	5.12
Na ₂ O		2.45	2.78	2.98	3.41	2.52	3.01	3.0
K ₂ O/Na ₂ O		2.09	1.79	1.63	1.61	2.16	1.74	1.70
ΣREE(ppm)		83.1	135.5	295.5	354.3	143.9	227.4	230.4
δEu		0.17	0.195	0.29	0.15	0.26	0.20	0.35
U(ppm)		7.7	13.6	7.15	10.47	13.4	14.8	14.15
Th(ppm)		10.7	28.9	29.53	50.15	11.76	40.3	25.2
Th/U		1.39	2.13	3.94	4.79	0.88	2.72	1.78
Rb(ppm)		331.23	455.7	278.8	447.0	—	401	338
Sr(ppm)		19.85	41.7	96.7	36.8	—	66.4	101.1
Rb/Sr		16.7	10.7	2.9	12.1	—	6.04	3.34
Ba(ppm)		110.6	133.1	402.7	150.2	48.34	144.8	259.1
(⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr) _{初始}		0.735	0.719	0.716	0.721	0.715	0.724	0.7233

与铀成矿关系密切的花岗岩(主岩)

① 系指目前已发现有工业铀矿床或铀矿化的花岗岩类岩体

含量的1.5倍(表1), 华南花岗岩的平均铀含量(27个岩体)为10.5ppm, 是世界花岗岩平均铀含量(3.5ppm, 维诺格拉多夫, 1962)的3倍(表1)。

华南七个产铀花岗岩体成矿主岩的主要特征列于表2。根据表2, 结合这些产铀岩体在我国东南部活动大陆边缘的分布特点(图1), 可以看出, 华南产铀花岗岩的形成时代、岩石化学成分和稀土、微量元素的时空分布具有明显的变化规律:

(1) 产铀花岗岩体形成时代, 从江南古陆核向东逐渐变新, 依次出现雪峰期(MT岩体)、加里东—印支期(ME岩体)、海西—印支期(LC岩体)、加里东—燕山期(JN、ZG岩体)、印支—燕山期(GD岩体)等多期多阶段复式产铀花岗岩体。

(2) 产铀花岗岩体中的成矿主岩的 SiO_2 含量及 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值由西向东呈明显降低趋势, 而 Al_2O_3 、 MgO 、 TiO_2 、 CaO 含量则有所增高。

(3) 产铀花岗岩体的稀土元素总量(ΣREE)及 Th/U 、 Rb/Sr 比值由西向东除个别岩体外, 总的呈增高趋势, 铀亏损十分明显($\delta\text{Eu} < 0.35$)且呈波浪式上升趋势。

(4) 产铀花岗岩中容矿主岩的铀含量在空间分布上, 从西向东呈增高趋势(MT岩体为7.7ppm, LC岩体为7.15ppm, JN岩体为10.47ppm, ZG岩体为13.4ppm, GD岩体为14.8ppm)。而且, 铀矿床规模明显变大。这充分说明, 铀是一种地球化学性质活泼的大离

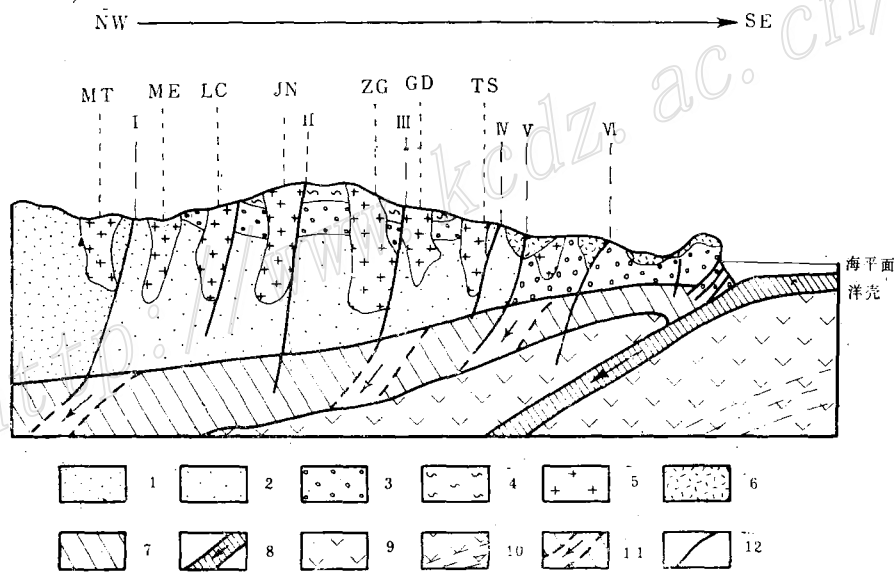


图1 华南大陆地壳演化和产铀花岗岩体分布示意图

1—雪峰期构造层; 2—加里东期构造层; 3—海西—印支期构造层; 4—燕山期构造层; 5—花岗岩; 6—火山岩; 7—下地壳硅镁层; 8—现代俯冲带; 9—地幔; 10—软流圈; 11—古俯冲带; 12—深断裂; I—武桂断裂; II—灵山断裂; III—吴川断裂; IV—河源断裂; V—政和断裂; VI—滨海断裂

Fig. 1. Schematic geological section showing evolution of the continental crust and distribution of uranium-bearing granites in South China.

1—Xuefengian structural layer; 2—Caledonian structural layer; 3—Hercynian—Indosinian structural layer; 4—Yanshanian structural layer; 5—Granite; 6—Volcanic rocks; 7—Lower crustal sialma; 8—Modern subduction zone; 9—Mantle; 10—Asthenosphere; 11—Paleo-subduction zone; 12—Deep fault; I—Wugui deep fault; II—Lingshan deep fault; III—Wuchuan deep fault; IV—Heyuan deep fault; V—Zhenghe deep fault; VI—Coastal deep fault.

子亲石(LIL)不相容元素,它在陆壳演化和产铀岩体的形成过程中,多次被活化转移,并向晚期花岗质熔体中聚集。

(5) 华南产铀复式岩体受一系列北东向断裂构造-岩浆活动带控制。锶同位素($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)初始比值很高,都大于0.715(表2)。这表明岩体的源岩物质是地壳物质多次重熔分异的产物。

笔者认为,造成华南产铀花岗岩上述分布特点的主要原因是:华南陆壳自元古代以来,在西太平洋板块多次碰撞下,由江南古陆核向南东方向不断增生的结果,导致朝东南方向地壳厚度变薄、成熟度变低、花岗岩浆中地壳物质相对减少(图1)。

进一步研究表明,虽然华南产铀花岗岩都是多期多阶段复式岩体,但是与铀成矿关系密切的是印支-燕山期花岗岩,而且分布范围甚广。这可能是在中生代时期,太平洋板块与亚洲陆块又一次剧烈碰撞,西太平洋洋壳俯冲角度由陡变缓(小于 20°)^[3],其影响范围变宽,从而在早期陆壳增生带中广泛发育印支、燕山期花岗岩。但是向大陆内侧花岗岩的数量和规模逐渐减少、变小。

上述华南产铀花岗岩的空间分布特点,说明华南加里东期、海西期的活动大陆边缘在印支-燕山期已具有相对稳定的陆壳性质。但是同江南古岛弧带相比,其基底断裂的焊接程度较差,具有相对活动性,我们称这种构造环境为“准活动大陆边缘”。这种地带可以在板块强烈碰撞时,表现出相对活动性,有利于岩浆侵入。同时由于其地壳厚度较大,具有相对稳定性,有利于岩浆演化和铀等亲石元素的富集,所以“准活动大陆边缘”是产铀岩体形成的有利环境。

总之,华南产铀花岗岩体的上述一系列特征,进一步论证了我国东南部陆壳从北西南东不断增生的特点。反之,活动大陆边缘增生模式也可以用来探讨产铀花岗岩体的形成机制。

三、华南花岗岩型铀矿床与活动大陆边缘陆壳演化的关系

华南花岗岩型铀矿床按其产出的区域地质背景可分为两类^[7]:一类位于中生代活动大陆边缘碰撞带的内侧,与地壳改造型花岗岩体有关,简称改造花岗岩型铀矿床;另一类产于内陆裂谷带,与地壳同熔型花岗岩有成因联系,简称同熔花岗岩型铀矿床。现有资料表明^[5,7],华南花岗岩型铀矿床多数与地壳改造型复式产铀花岗岩体有密切的成因联系。产铀矿的主岩除个别例外,大多属于燕山期花岗岩或与其相接触的沉积围岩。在形成时间上,铀矿化与主岩体的形成明显不同步,铀成矿年龄较主岩体形成年龄晚50Ma以上,从而反映出改造花岗岩型铀矿床形成的后生性质。与其他类型(如火山岩型、碳硅泥岩型和不整合型)铀矿床相比,产生在岩体内部的改造花岗岩型铀矿床的物质成分简单,成矿元素多属单铀型,矿石矿物以沥青铀矿为主,除有少量黄铁矿外,其他硫化物很少见到,脉石矿物以微晶石英、水云母和铁绿泥石为主。对矿床氢氧同位素组成的研究表明,成矿溶液的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值变化很大。以6217及322铀矿床为例,其成矿溶液的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值从+9.8‰至-10.6‰, $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值为-50‰至-67‰。在 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ 图解上,它们位于以大气降水为主的同生水范围内(图2)。矿床内不同世代沥青铀矿的U-Pb同位素年龄数据有较大的差别,如339矿床中两个不同世代沥青铀矿的U-Pb年龄值分别为125.3Ma和75Ma,3701矿床中分别为60Ma和30.7Ma。这些成矿特征

充分表明, 华南改造花岗岩型铀矿床是一种壳源浅成并经多次活化改造的热液铀矿床, 其成矿物质来自地壳岩石。可是, 现有资料表明, 华南地区花岗岩的分布面积远远超过已知产铀花岗岩的面积, 而且具有经济价值的花岗岩型铀矿床只分布在产铀花岗岩体中的特定部位。它们的形成与华南活动大陆边缘陆壳的演化密切相关, 具体表现在以下三个方面:

1. 含铀性较高的陆壳褶皱基底控制产铀岩体的分布。目前已知的主要产铀花岗岩体及其铀矿床皆产于大浦一政和深断裂西侧的华南加里东褶皱基底分布范围内。该断裂东侧属海西—印支褶皱基底(郭令智、施央申等, 1983)^[4]。其中虽然有中生代酸性火山岩和侵入岩广泛分布, 然而铀矿化情况较差。王炎庭等(1984)^[6]对粤东花岗岩的铀、钍含量作了系统研究后指出:“以莲花山断裂带(实际是政和一大浦断裂的南延)为界, 东西两侧花岗岩的铀、钍含量有较大差别。东侧为低场区, 铀平均含量为11.9ppm; 西侧为高场区, 铀平均含量为17.9ppm”。据我们统计, 华南海西—印支沉积岩褶皱基底的铀平均含量为4.51ppm, 而加里东褶皱基底的铀平均含量为5.71ppm。由此可见, 上述莲花山断裂东侧的铀的低场区是与华南海西—印支基底铀的地球化学背景值较低有关。这也说明华南花岗岩的富铀特点在一定程度上与其基底含铀性有关, 基底可以在花岗岩形成过程中提供铀源。除此之外, 产铀花岗岩的形成还必须存在使铀多次活化转移和富集的条件, 否则即使有良好的富铀基底也难以形成产铀花岗岩。如大浦一政和断裂的东侧地区, 在印支和燕山期, 虽然也处在活动大陆边缘环境中, 但是岩体在形成过程中没有经受多次改造, 因而不利于产铀花岗岩的形成。

2. 进一步研究表明, 华南产铀花岗岩体及其铀矿床都集中分布于加里东褶皱基底, 在古生界—震旦系碎屑岩出露的范围内, 而不是分布在碳酸盐岩石出露的地区。杜乐天

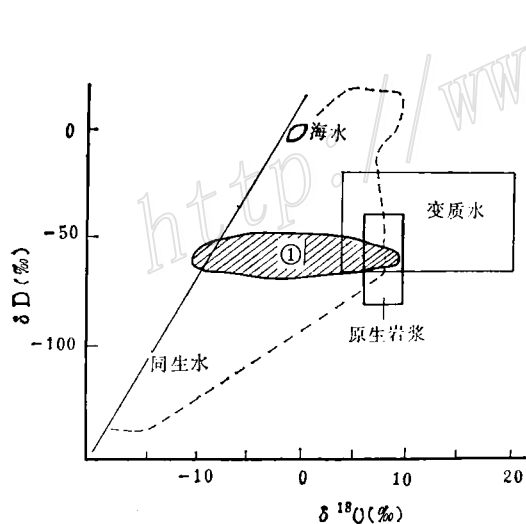


图2 华南部分花岗岩型铀矿床的 $\delta D_{H_2O}-\delta^{18}O_{H_2O}$ 图解
图中①为6217及322矿床氢氧同位素组成分布范围
Fig. 2. $\delta D_{H_2O}-\delta^{18}O_{H_2O}$ diagram of some granite type uranium deposits in South China.

① represents distribution range of hydrogen and oxygen isotopic composition of No. 6217 and No. 322 ore deposits.

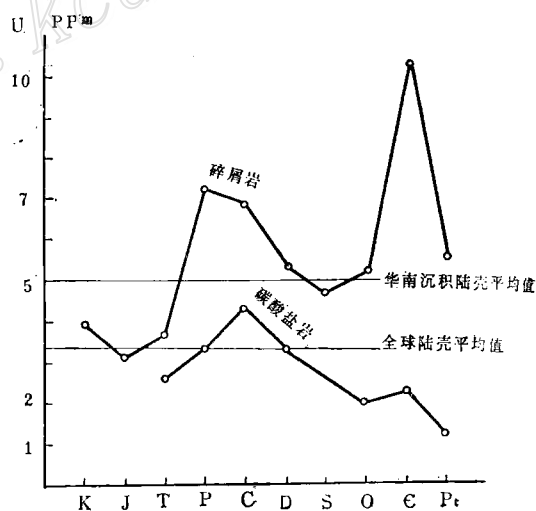


图3 华南沉积陆壳各时代地层的铀含量分布图
Fig. 3. Uranium contents of strata of various epochs in South China sedimentary continental crust.

(1982)^[5]曾经指出过,在以大片厚层纯灰岩、白云岩为围岩的花岗岩体内部,铀矿化情况不佳,这是被多年的找矿勘探实践所证明了的。对比表1可见,华南地区碳酸盐岩的平均含铀量为2.67ppm,仅为碎屑岩平均铀含量的1/2左右。说明褶皱基底含铀性对产铀花岗岩体的形成和分布起着明显的控制作用。

3. 华南陆壳(沉积壳层)在其演化发展的不同时代,铀元素的分布是不均衡的。华南沉积地壳的铀含量与时代分布关系示于图3。由图3可见,铀元素在该区不同时代的演化过程中,出现两个高峰位:一个在早古生代(寒武纪);另一个位于晚古生代(石炭一二叠纪),而中一新生代地层的含铀性则明显降低。华南陆壳中铀的区域地球化学分布的这一特征,既制约了华南地区富铀地层(铀源层)的分布,也影响了花岗岩型铀矿床的产出。在华南地区,当规模较大的产铀岩体与不同时代地层相接触时,花岗岩型铀矿一般选择性地出现在岩体与含铀性较高的以碎屑岩为主的下古生代地层相接触处的部位,并以矿量较大,品位较高为特征。例如印支—燕山期GD斑状黑云母花岗岩岩体中的铀矿床,集中分布在岩体东部外围的寒武纪地层中,而与泥盆系广泛接触的岩体西部未发现工业铀矿床(图4)。其他的加里东—燕山期的中细粒花岗岩、黑云母花岗岩、加里东—印支期的中细粒二云母花岗岩岩体中的铀矿床也具有类似的分布规律。

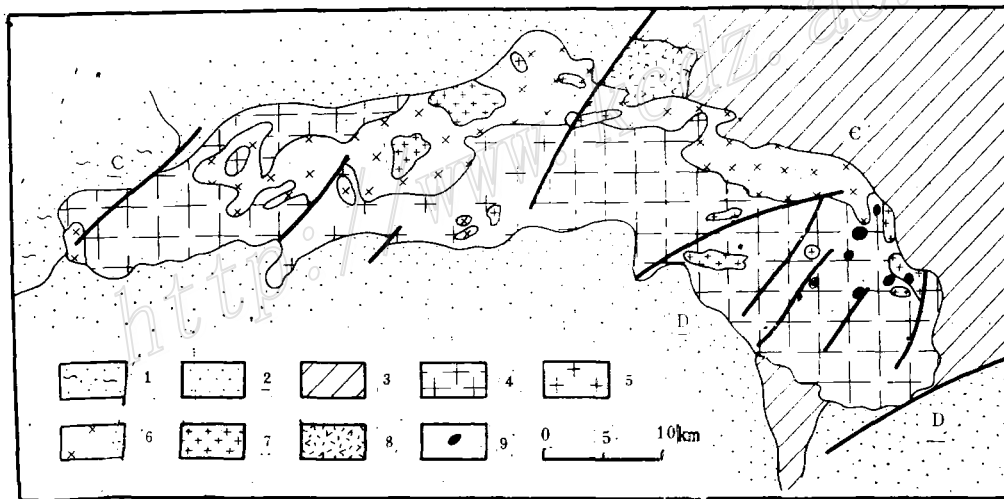


图4 GD复式花岗岩体及铀矿床分布示意图

(据293地质队)

1—石炭系; 2—泥盆系; 3—寒武系; 4—似斑状黑云母花岗岩; 5—细粒黑云母花岗岩; 6—黑云母花岗岩;
7—白云母花岗岩; 8—英安斑岩; 9—铀矿床

Fig. 4. Schematic geological map showing distribution of GD complex granite bodies and uranium deposits.

1—Carboniferous; 2—Devonian; 3—Cambrian; 4—Porphyroid biotite granite; 5—Fine-grained biotite granite; 6—Biotite granite; 7—Muscovite granite; 8—Dacite porphyry; 9—Uranium deposit.

四、结 论

1. 华南陆壳沉积岩层的平均铀含量为4.94ppm,是世界沉积岩平均铀含量的1.5倍,其中碎屑岩的平均铀含量为5.69ppm,是华南陆壳成熟度高的重要标志之一,为华南产铀花岗岩及花岗岩型铀矿床的形成提供了一定的物质基础。

2. 我国东南部大陆边缘陆壳由北西向南东方向多次增生致使产铀复式花岗岩体有规律的分布,而中生代时西太平洋板块活动增强和俯冲角度变缓,造成燕山期花岗岩的广泛分布,为铀的再次活化和聚集成矿创造了有利条件。

3. 花岗岩型铀矿床按所处的区域构造背景可分为两类:一类为碰撞带型,具有壳源浅成后生成因,与改造型花岗岩关系密切;另一类为裂谷带型。“准活动大陆边缘带”是产铀花岗岩及其铀矿床形成的有利部位。

4. 华南花岗岩型铀矿床集中分布在以加里东褶皱为基底中含铀性偏高的古生代碎屑岩中,表现了华南陆壳演化与铀成矿作用的密切关系。

本文初稿承蒙张祖还教授、郭令智教授审阅并提出宝贵意见,谨此致谢。

参 考 文 献

- 〔1〕 郭令智、施央申、马瑞士 1979 华南大地构造格架和地壳演化 国际交流地质学术论文集 I 地质出版社
- 〔2〕 刘以宣 1981 华南沿海区域断裂构造分析 地震出版社
- 〔3〕 陈肇博 1985 显生宙脉型铀矿床成矿理论的几个基本问题 铀矿地质 第1卷 第1期
- 〔4〕 郭令智、施央申、马瑞士 1983 西太平洋中、新生代活动大陆边缘和岛弧构造的形成及演化 地质学报 第57卷 第1期
- 〔5〕 杜乐天 1982 花岗岩型铀矿文集 原子能出版社
- 〔6〕 王炎庭、冯明月、沈珠勇 1984 粤东花岗岩中铀的地球化学 花岗岩地质和成矿关系论文集 江苏科学技术出版社
- 〔7〕 张祖还、章邦桐、沈渭州、闵茂中、倪琦生 华南两种类型花岗岩及其与铀矿床关系 花岗岩地质和成矿关系论文集 江苏科学技术出版社
- 〔8〕 Ронов А. Б., 1964, Общие Тенденции В эволюции состава земной Коры, океана и атмосферы, Геохимия, №. 8, стр. 714—741.

THE RELATIONSHIPS OF THE FORMATION OF GRANITE-TYPE URANIUM DEPOSITS WITH THE CRUSTAL EVOLUTION ALONG THE ACTIVE CONTINENTAL MARGIN OF SOUTH CHINA

Zhang Bangtong, Ni Qisheng, Dai Yongshan and Wang Xiangyun

(Department of Geology, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu)

Abstract

The granite-type uranium deposits are widespread in South China and

possess great economic significance in China. The continental crust of South China in which the uranium deposits occur has three main features: (1) great thickness; the Moho surface is more than 36 km in depth; (2) wide continental accretion zone, with its width more than 1000 km; and (3) higher uranium contents: the average uranium content of the sedimentary rocks is 5.69ppm (619 samples), being 1.71 times that of sedimentary rocks of the world, and the average uranium content of the granite rocks is 10.5 ppm, being 3 times as high as that of the granite rocks of the whole world (3.5 ppm).

The geological ages of the granites get younger from northwest to southeast, and there occur sequentially Xuefengian, Caledonian—Indo-Sinian, Hercynian—Indo-Sinian, Caledonian—Yanshanian and Indo-Sinian—Yanshanian polycyclic granite bodies. The initial ratios of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ for these granites are higher than 0.715. The SiO_2 contents and K/Na ratios seem to decrease progressively from northwest to southeast, while the Al_2O_3 and the total REE contents tend to go up. These features indicate that the uranium ore-forming granites were derived from the upper crust and were the products of the repeated remelting and differentiation of the crustal materials.

The granite-type uranium deposits are similar to their host rocks in composition and element association. Their hydrogen and oxygen isotopes fall into the range of connate water in the $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}(\text{‰}) - \delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}(\text{‰})$ diagram. In addition, the abnormal initial Pb isotopic composition, disperse $\delta^{34}\text{S}$ and multiple ore-forming ages are characteristic of this type of uranium deposits. These facts suggest that the ore-forming materials of these deposits are derived from the upper crust and the enrichment of these ore-forming materials results from the repeated mobilization and transformation of the earth's crust in this area.