

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

华南断块运动—陆相红层发育期 与区域铀矿化

陈祖伊 张邻素 陈树崑

郭葆墀 陈伟鹤 王正邦

(北京铀矿地质研究所)

本文试图通过对华南区域铀矿化基本特征和区域地质发展史的综合分析,阐明与区域铀矿化伴生的主要地质事件及其区域地质背景,并进一步探讨四种工业铀矿化之间的联系及可能的成矿机制。

一、华南区域地质发展简史

(一) 前中生代(包括三叠纪)地质史

中晚元古代起,华南进入陆壳发育的初期阶段,尔后,陆壳由西北往东南逐渐增长、增厚并硬结。

已知最早影响本区的是四堡旋迴(堆积了一套由基性火山物质、硅质和复理石沉积所组成的优地槽沉积物)。四堡褶皱造山运动造成了江南古岛弧的雏形,并使四堡群与雪峰旋迴构造层——板溪群(复理石沉积、硬砂岩及基性大山岩等构成的优地槽沉积)形成区域性的不整合接触。雪峰运动进而使江南地背斜基本结束地槽沉积史,至加里东期该处沉积已明显地具有盖层特征。地槽沉积往东南(华南地槽系)迁移,并以地背斜为蚀源区。

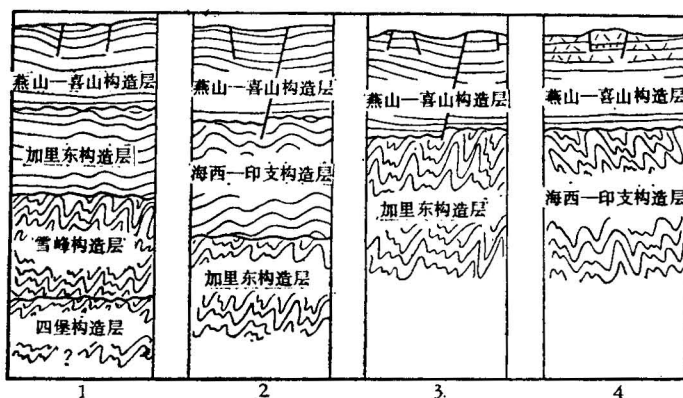


图1 华南不同地区构造层结构示意图

1——江南古隆起; 2——湘桂凹陷; 3——华南地槽系; 4——浙闽粤东部沿海

震旦—寒武纪时,地背斜两侧出现碳硅泥岩过渡型沉积,这可能是华南已知最古老的富铀建造。加里东晚期,丽水-海丰断裂以西的华南地区整体隆起,并伴有较以前历次造山运动更为普遍的大规模花岗岩浆作用以及大量的混合岩化。

海西—印支旋迴期,地槽型沉积移至丽水-海丰断裂以东,及至中三叠世晚期,全区再次隆起,并先后进入陆地发展阶段。

(二) 中生代地质史

自侏罗纪以来,华南进入了岩浆-构造活化的新阶段,主要表现在三个方面:

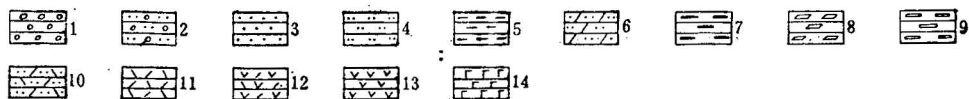
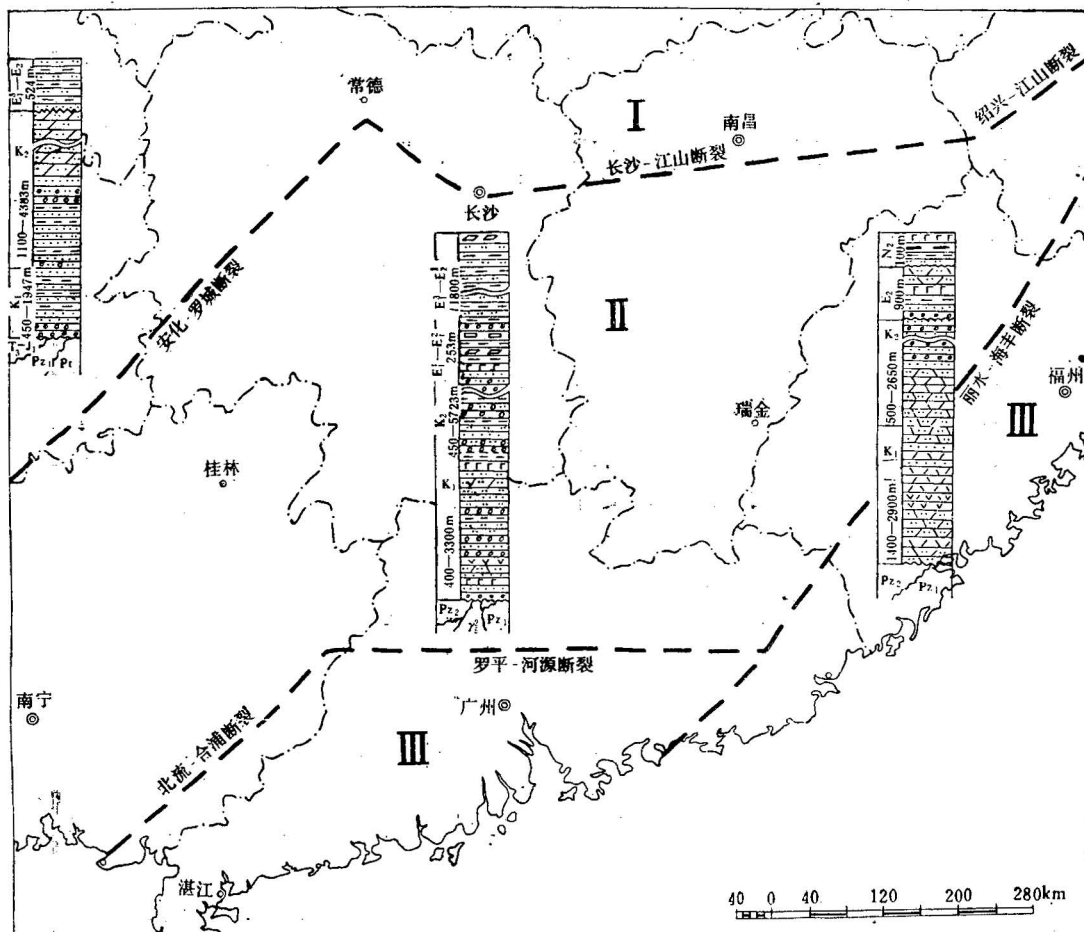


图 2 华南中生代断块分区及白垩—第三系柱状对比图

I——江南断块区; II——桂湘赣断块区; III——东南沿海断块区

1——砾岩; 2——砂砾岩; 3——砂岩; 4——粉砂岩; 5——泥岩; 6——混积岩; 7——炭质页岩;
8——石膏; 9——岩盐; 10——凝灰岩; 11——流纹岩; 12——英安岩; 13——安山岩; 14——玄武岩

1. 频繁的断块运动

华南的燕山-喜山构造层在全区产出平缓或呈单斜,多发育在断陷盆地中,形成颇为特征的“双层”结构(图1)。这种图象表明,尽管华南褶皱基底的时代不同,但进入中生代以后地壳活动具有某种统一性,都表现为断块运动。但活动的强度和特点仍有差异,并由此影响了岩浆作用和沉积作用。据此,可将华南划分为江南、桂湘赣和东南沿海三大断块区(图2)。

2. 广泛的岩浆活动

华南中生代岩浆活动规模之大,分布范围之广都是空前的。且与前中生代不同,多呈线形分布,其成分、活动强度有明显的分带性,在时间上则表现为逐渐向东南方向迁移。花岗岩的侵入贯穿了整个侏罗纪。侏罗纪晚期,东部还出现了同属钙碱性系列的大规模酸性岩浆喷发。

进入白垩纪,岩浆活动呈现分异现象:东南沿海断块区内继续有钙碱性系列岩浆活动;桂湘赣断块区的许多盆地中出现碱性系列的基性火山活动;江南断块区内则无任何岩浆活动(图2)。

至早第三纪,岩浆活动的带状分布继续东移。东南沿海区成为碱性系列基性岩浆活动区,而桂湘赣区内的岩浆活动趋于停息(图2)。

3. 陆相红层的发育

印支运动后,全区上升为陆,只残留了一个粤赣海湾^[1]。中侏罗统在大部分地区缺失,一般为杂色沉积;晚侏罗世时断块运动兴起,断陷盆中开始堆积陆相红层。白垩纪是红层发育的鼎盛时期,其厚度最大,分布范围最广。自古新世末起,红层沉积区普遍收缩。始新世晚期以后,全区结束了红层沉积史,而在东南沿海区内代之以玄武岩浆喷出和暗色含有机质建造的沉积。

二、华南区域铀矿化的主要特征

(一) 区域铀矿化的形成条件

华南铀矿化的围岩主要有四类,即花岗岩、火山岩、碳硅泥岩和砂岩,通常以此划分四种矿化类型。其间有不少相似之处:矿物成分较简单,主要工业矿物都是沥青铀矿;多具有一定的成矿温度(110—250℃)和压力(500—800巴)^[2];有近似的近矿围岩蚀变,其中最普遍的是粘土化。

由此可见,华南区域铀矿化的主体是浅成地质环境下酸性热液作用的产物。

(二) 区域铀矿化的时控性

华南铀矿化时代上有两个令人注目的特点:

1. 矿化围岩年龄的广泛性和矿化时代的集中性

在华南,铀矿化的产出围岩主要有:①雪峰期到燕山期的花岗岩;②前中生代的碳酸盐岩、硅岩、泥岩和炭质泥岩类岩石;③中生代的火山岩,以及④早白垩世至早第三纪

1) 据陈安福,1980,热液铀矿床形成的物理化学条件的讨论。

的砂岩。其中成岩时代最老的为雪峰期的花岗岩, 年龄约为 7.6 亿年; 而时代最新的则为古新世的砂岩, 其成岩年龄约 66 百万年。它们之间的时代跨度极大, 达七亿年之久。但不论上述围岩在岩性、时代上的巨大差异, 华南所有的铀矿化年龄均不出现在地质发展的任意阶段, 几乎全部集中在早白垩世至早第三纪这一小段地质时期内。

种种事实表明, 产于不同时代和岩性中的铀矿化可能是有联系的, 它是独立于围岩成岩作用之外的同一区域地质作用的产物。

2. 铀矿化时代对断块运动的专属性

华南区域铀矿化年龄分布与基底褶皱时代, 花岗岩年龄自西北向东南依次变新等现象均无联系, 然而与中生代晚期开始的断块运动和陆相红层的发生、发展和衰落却有着大体上同步消长的关系。

(三) 区域铀矿化的空间分布特征

1. 矿化与白垩-早第三纪红盆有空间共存性

从区域上看, 大面积无红盆区均是无矿区, 铀矿区多有白垩-早第三纪红盆伴生, 甚至常见不同类型铀矿化沿同一条断裂-红盆带或围绕同一个红盆发育, 显露出受红层底部不整合面控制的特征 (图 3)。有些矿床虽不产于红盆中, 但从地质构造上矿区仍属同时代的断陷带。

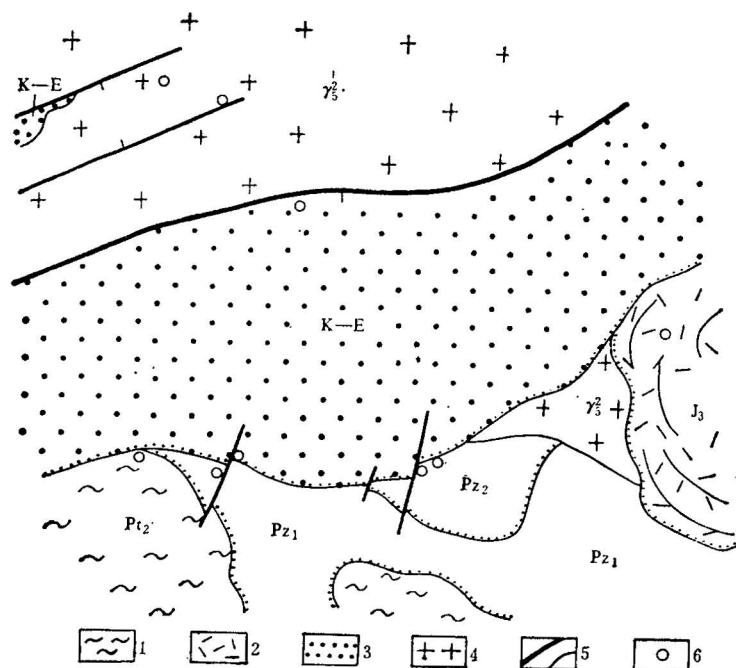


图 3 红层底部不整合面控矿示意图

1——变质岩; 2——中-酸性火山岩; 3——红层; 4——花岗岩; 5——断裂; 6——铀矿床

2. 矿化对富铀层体的趋向性

江南地背斜两侧产有一系列铀矿床的碳硅泥建造, 含铀一般为 8—20ppm, 局部高达

45—76ppm, 华南产铀花岗岩体含铀一般大于 15ppm, 均大大高于非铀矿区同类岩石的平均含铀值。某些赋矿层位其原始含铀值虽不高, 但都有富铀层体为其基底或与其毗邻。因此, 铀源可能即是这类富铀层体, 赋矿层只起了储铀作用。

综上所述, 华南区域铀矿化并不出现在地质发展的任意阶段, 而是中生代岩浆-构造活化的产物, 断块运动和陆相红层的发育是与其伴随的两大主要地质事件。

三、成矿期的主要地质事件及其地质背景

钙碱性系列的中酸性岩浆是敛合板块边界陆壳(或洋壳)重熔的产物;而基性的、特别是碱性系列的基性岩浆则可能源于陆壳下的上地幔分熔, 两者形成的地质背景完全不同^[3]。华南白垩-早第三纪红盆中夹有基性熔岩的类磨拉石沉积是这样一种典型的岩石组合, 它反映了陆壳受拉张裂陷后, 地表的快速剥蚀堆积和深部岩浆作用的综合结果。这种拉张有点类似现代大陆裂谷的形成机制。然而, 裂陷区的地质特征又不同于现代裂谷, 因此暂命名为“断裂-红盆系”。如果说大陆裂谷是陆间裂谷的早期发育形式, 则华南的断裂-红盆系属于一种不成熟的、并在始新世晚期就终止拉张史的雏型裂谷系。

说明华南白垩-早第三纪拉张史的地质证据是: ①地堑式、箕状或阶梯状的盆地或断陷带, 其中有厚可达几千米的陆相碎屑沉积; ②沿某些深断裂出现碱性系列的基性、超基性岩(图 4); ③白垩-早第三纪红盆分布区一般表现为重力负异常地区中的低负异常或重力正异常, 是陆壳增厚区中的局部减薄区; ④华南断裂-红盆系的北东延长方向恰好对着朝鲜海峡和日本海。据称, 日本海形成于“距今 1.2—0.85 亿年时”^[4], 与华南断裂-红盆系发育的时间大致相当。且日本西南近大陆一侧的白垩系(关门群、赤岩亚群)也是一套陆相安山-流纹岩建造^[5], 与浙闽粤东部的下白垩统极为相似。因此, 华南断裂-红盆系确有属于燕山晚期火山山弧后裂谷系一部分的可能性。

然而, 华南断裂-红盆系表现为一组断陷盆地, 仅产有数量不多的碱性玄武岩, 盆缘断裂常具复杂的力学性质和较平缓的倾角等特点, 则又区别于现代大陆裂谷。

裂谷式的拉张力在华南的作用不论是空间上还是时间上都表现出明显的差异。侏罗纪广泛的钙碱性系列岩浆活动反映陆壳全面受压。白垩纪时, 岩浆活动和应力分布出现明显的分带性, 自东南沿海经桂湘赣区至江南区依次为: 钙碱性系列中酸性岩浆活动区(挤压)—碱性(和拉斑)系列中基性岩浆活动区(拉张)—无岩浆活动区(挤压)。显而易见, 受到拉张并表现出陆壳减薄和裂陷、碱性玄武岩浆喷溢的仅仅是华南地区一定范围的地块。这种拉张与边缘海的形成机制很相似。在日本海, “大陆岩石圈可能很脆弱, 致使这些岛屿完全分离出来”^[4]; 但在华南, 拉力未能克服经印支运动加厚的陆壳强度而分散在区内, 形成了断裂-红盆系。

进入喜山期, 扩张已东移至东南沿海及台湾海峡地区, 华南内陆地区断裂-红盆系的发育也就终止了。

在地球演化的早期(中元古代以前)并无红层的发育^[5]。红层的出现, 除构造条件外, 是与大气圈中出现大量游离氧以及干热的古气候等事件相伴随的。“游离氧不是地质成因的^[6]”, 而主要是植物光合作用的产物。现已查明, 华南白垩-第三纪红层是炎热、

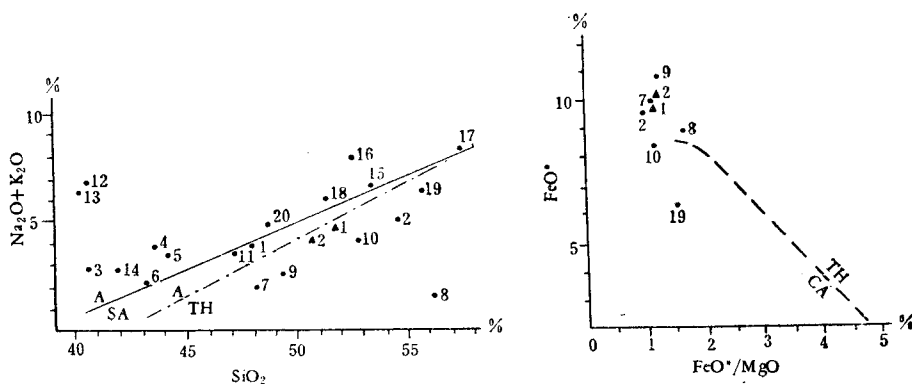


图 4 华南中生代中基性岩浆岩化学分类图解

A/SA——Irvine 碱性岩与亚碱性岩分界线 (1977);

A/TH——夏威夷碱性岩与拉斑玄武岩分界线 (Macdonold 1964);

TH/CA——拉斑玄武岩与钙碱性岩分界线

FeO* 为全铁, $\text{FeO}^* = \text{FeO} + 0.9\text{Fe}_2\text{O}_3$

- 白垩纪中基性岩浆岩: 1——赣县碱性橄榄玄武岩; 2——衡阳橄榄玄武岩; 3——道县玄武岩; 4、5、6——桂阳辉绿玢岩、玄武岩、橄榄玄武岩等; 7、8、9——郴县紫苏辉绿岩、辉绿岩; 10——廉江橄榄辉石玄武岩; 11——广海闪斜煌斑岩; 12、13、14——衡县超基性喷出岩; 15——会昌含橄榄石角闪安山岩; 16——会昌角闪粗安岩; 17——会昌角闪安山岩; 18——会昌辉石玄武岩; 19、20——会昌闪长玢岩
- ▲ 第四纪玄武岩: 1——廉江橄榄玄武岩; 2——廉江玄武岩

干旱-半干旱 (间歇性干旱) 气候条件下形成的^[7]。当时华南正处于中纬度副热带干旱气候带。始新世晚期, 由于地球自转极点的转移, 干热气候带逐渐向北退出华南, 陆相红层的沉积也就此结束。

众所周知, 干热气候区缺少大面积植被, 氧化带发育深度大, 地表、地下水中游离氧浓度以及总矿化度均相应地增高, 这就赋予并提高了这些水体改造富铀体和携铀的能力。据称, 现代干旱区不同水域中的铀含量比起潮湿区的相同水域来, 大致上要高出一至二个数量级^[8]。当富氧富铀的高矿化度地下水渗入深部, 被热源体加热, 有可能构成含铀热液 (水) 的循环对流系统, 最终在有利的部位形成渗流热液铀矿床。或者, 上述含氧大气降水直接将铀携至氧化-还原过渡带经还原、沉淀, 形成淋积铀矿床。

脉状沥青铀矿床的形成时期常与区域陆壳风化剥蚀和红层发育期重合的现象, 在世界其它地区亦不乏其例, 且已引起越来越多的地质学家的重视。即使是一贯坚持岩浆分异成矿的苏联学者在描述中亚区域铀矿化时, 也无法回避矿区具“双层”结构这一事实, 即由早古生代碎屑-碳酸盐沉积和火山物质组成的下部地槽构造层被中晚泥盆世红色碎屑岩-火山岩组成的上部构造层所不整合覆盖。上构造层产状平缓, 并被个别的中基性岩墙所切割^[9]。下伏构造层中铀矿化的年龄为 350—380 百万年, 与盖层沉积大体同时。

可以认为: 早期经褶皱增厚的华南陆壳遭受拉张而裂隙, 导致深部碱性系列岩浆的广泛活动和地幔底辟、热流的升流, 对拉张区的陆壳产生改造; 同时, 在浅部强氧化环境中堆积陆相红层, 这是华南区域铀矿化出现时极为典型的区域地质背景, 也是本文要强调的基本点。华南的主体热液铀矿化可能是深部和表生地质作用的综合结果, 看来, 排斥或忽视任何一方面的作用都是不适宜的。

四、区域成矿机制的设想

华南铀矿区的“双层”结构为区域成矿机制提供了重要信息。

华南区域铀矿化与断陷盆地、断陷带的密切空间联系及经常赋存在地形的相对低洼处^[10]等地质事实表明,含铀热液中大气降水可能占主导地位。对粘土化蚀变中的粘土矿物所作的大量氢、氧同位素研究^[11]以及华南某花岗岩型铀矿床的氧同位素研究的初步成果(与铀矿化有关的热液脉体中矿物的 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $+5.51\text{---}-15.44\text{‰}$)¹⁾均不同程度地证实了以上推断。

华南铀矿床、矿田的定位受富铀地质体控制表明:铀主要来自原始的岩石,可能既包括近地表的风化岩石,也包括矿床(田)深部(甚至下构造层)的岩石。碱性玄武岩中的铀含量约 0.5ppm ^[3],上地幔岩石中铀的含量更低,仅为 0.014ppm ^[12],很难设想能从中分异出富铀热液。

然而,成矿溶液中的某些组分可能是与碱性玄武岩浆有成因联系的,如 F 、 Cl 、 CO_2 、 H_2S 、等。许多现代火山——包括大陆裂谷地区的火山活动都证明了这一点。

因此,成矿热液本身就是多途来源的:溶液中的水主要是大气降水,成矿物质——铀是从富铀地质体中活化转移来的,其中还有一些组分(主要是挥发组分)则来自碱性系列的岩浆活动。当然,在承认主要来源的同时,并不排斥其它可能的次要来源。

必须强调指出,华南区域铀矿化产出的地质背景与区内其它内生金属矿产极为不同。铀矿化与它们之间为两起地质事件所分割:一是断陷红盆的出现;二是中基性岩墙的侵入²⁾。很明显,区域铀矿化是一种非造山环境中的矿化,或可称为与“裂陷作用”有关的矿化^[13]。裂陷作用既为深部物质的上升开辟了通道,又给地下水的循环对流系统提供了热能。在深循环渗流水的作用下,铀被活化,向减压方向迁移,并在有利的部位富集成矿。由此可以推断,华南有两个中新世代的矿化系列:一个较早的系列与陆壳的挤压、钙碱性系列岩浆活动直接有关,稀土、铌钽、钨锡等矿产属于这个系列;另一个较晚的系列与陆壳的拉张、局部减薄和碱性系列的岩浆活动相联系,属于这个系列的有热液铀矿化和经常与其伴生的萤石矿化。

从上述设想出发,铀成矿的时间应是陆壳拉张和红层发育在时间上的重合;而成矿空间应是断裂-红盆系与富铀地质体的迭置区。在剖面上,红层底部不整合面在矿床、矿体的定位上有重要意义。区域铀矿化的时空分布规律可归纳为时间和空间上的“两个重合”。

我们对华南区域铀矿化形成机制的设想,可以图 5 示意。这个图式表明,富铀地质体、陆壳裂陷产生的断裂-红盆系和碱性系列的岩浆活动以及红层期的表生地质作用是控制华南区域铀矿化的三个基本因素。

1) 据徐国庆等,1981,某铀矿田的成矿模式及找矿意义。

2) 据胡绍康,1975,花岗岩型铀矿床基本地质特征。

五、几点结论

1. 白垩-早第三纪红盆是华南中生代出现的特殊地质单元, 它反映了岩浆-构造活化晚期固有的地质构造背景和干热的古气候环境。桂湘赣断块区中发育的断陷红盆, 据其巨厚红色类磨拉石建造夹碱性(拉斑)玄武岩的特殊岩石组合和产出位置, 有可能属于白垩纪陆相火山岩带一侧拉张作用的产物。

2. 华南区域铀矿化与断裂-红盆系的紧密时空联系, 说明断块运动和陆相红层的发育是与区域铀矿化伴随的两大地质事件。世界上许多铀矿区的地质构造特征表明, 断块-红层有一定的普遍意义。

3. 就形成的地质背景而言, 华南中生代矿化分别属于两个系列, 区域铀矿化是一种与造山带环境完全不同的, 而与陆壳裂陷作用有关的矿化系列中的一员。

4. 华南区域铀矿化在成因上是深部和表生地质作用对经过褶皱而增厚的硅铝壳进行改造的结果, 其成矿时间是陆壳裂陷作用与红层发育在时间上的重合, 而成矿空间则是富铀地质体与断裂-红盆系的迭置区。

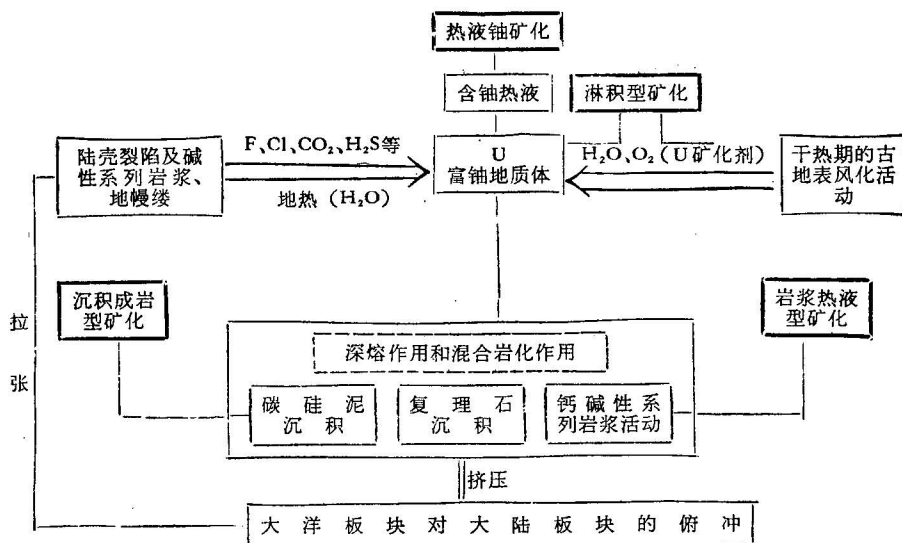


图5 华南中生代铀矿化形成机制示意图

* 括号中表示次要的来源

参考文献

- [1] 陈丕基, 1979, 中国侏罗、白垩纪古地理轮廓——兼论长江起源。北京大学学报, 3 期。
- [2] 李耀松等, 1980, 我国内生铀矿床成矿时代概述。放射性地质, 1 期。
- [3] Condie, Kent C, 1976, Plate Tectonics and Crustal Evolution. New York, Pergamon.
- [4] 上田诚也、都城秋穗, 1975, 板块构造和日本列岛的构造史。国外地质, 7 期。
- [5] Анато́льева, А. И. 1978, Главные рубежи эволюции красноцветных формации. Новосибирск, Изд. "Наука."
- [6] Schidlowski, M. 1976. Archean atmosphere and evolution of the terrestrial oxygen budget: "The

Early History of The Earth'' NATO Advanced Study Institute. London, John Wiley & Sons.

- [7] 吴萍等, 1979, 中南地区白垩-第三纪岩相古地理. 地质出版社.
- [8] Барулин С. Г. и др., 1965, Экзогенные эпигенетические месторождения урана, АТОМИЗДАТ.
- [9] Казанский В. И. и др., 1978, Эволюция уранового оруденения. Атомиздат.
- [10] 陈祖伊, 1978, 断陷带——花岗岩型热液铀矿田的一种重要构造类型. 放射性地质, 2期.
- [11] Taylor J. & Hugh P., 1974 The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposits. Econ. Geol. No. 6.
- [12] Белевцев Я. Н., Данчев В. И. и др., 1980, Геология и генезис месторождений урана в осадочных и метоморфических толщах. Москва, Изд. Недра.
- [13] Gabelman J. W., 1977, Orogenic and taphrogenic uranium concentration: "Tech. Comm. Meeting on Recognition and Evaluation of Uraniferous Areas", IAEA.

THE STAGES OF DEVELOPMENT OF FAULT-BLOCK MOVEMENT AND CONTINENTAL RED BEDS WITH RESPECT TO THE REGIONAL URANIUM MINERALIZATION IN SOUTH CHINA

Chen Zuyi Zhang Linsu Chen Shukun Guo Baochi Chen Weihe Wang Zhengbang
(Beijing Uranium Geology Research Institute)

Abstract

A new stage of tectonic-magmatic mobilization began in the early Jurassic in South China, represented by extensive magmatic activity, intensive fault-block movement, and the development of continental red beds. There was an apparent differentiation of tectonic, magmatic and sedimentary processes during Mesozoic and Cenozoic times in the whole region.

Most of the economic uranium deposits discovered in South China are of "hydrothermal" origin. In spite of the difference in the types of country rocks (granite, volcanics, calcareous-siliceous-pelitic rocks, and sandstones), there are many similarities for these deposits, such as the environment of their occurrence and spatial distribution. For example, they have similar mineralogical composition and type of wall-rock alteration (argillization); the age of all uranium mineralizations fall within the Cretaceous-Paleogene period, regardless of the variation in lithology and age of the country rocks, and the phase of basement folding; and finally the uranium mineralizations are in close relations with the Cretaceous-Paleogene red basins. It is characteristic for many uranium mineralization districts in South China, that the basement rocks rich in uranium are unconformably overlain by continental red beds in down-faulted basins, resulting in the formation of a special "double-storey" structure type. There is a roughly synchronous relationship between the formation of uranium mineralization in the region and the development of the fault-block movement and the continental red beds both in time and space.

The above-mentioned fact indicates that different types of uranium mineralization occurring in various country rocks are connected with each other and are considered as the products of the same regional geological process. Therefore, the faultblock movement and

the development of continental red beds are the two major geological events accompanying the regional uranium mineralization.

According to the sedimentary formations and the composition of magmatic rocks of Cretaceous-Paleogene ages, gravitational data and the distributional characteristics of Cretaceous-Paleogene basins, it is suggested that the fault-basin system occurring in South China is a result of crustal tension and is an immature rift or an embryonic-rift system, which terminated its tensional history by the end of the Eocene. The tensional force might be originated from the mantle heat-convection beneath the obducted part of continental plate.

Geological evidence from many uranium districts shows that the uranium-ore-formation might have resulted from the combination of both deep (including the upper mantle) and the superficial geological processes, so the uranium-rich terrains, the taphrogeny of continental crust and the superficial geological processes in the period of red-bed formation are the three major factors controlling the regional uranium mineralization in South China. The ore location is controlled by the superimposition of the fault-basin system and the uranium-rich terrains, but the uranium mineralization was formed contemporaneously with the period of crustal tension and the development of continental red beds. It is inferred, as regards to their regional geological setting of occurrence, that the Mesozoic-Cenozoic mineralization can be divided into two distinct series respectively: the earlier one (such as REE, Nb-Ta and W-Sn mineralization) is related to a compressive-stress regime of continental crust and the activity of calc-alkaline magmas, and the later one is connected with tensional action and local thinning of the continental crust and the activity of alkaline magmas. The regional uranium mineralization in South China is just one of this later series.