

# 华南晚古生代碳酸盐岩建造中层控铀矿床的地质和成因探讨

李 成

(广东省地质矿产局)

**内容提要:**矿床多出现于晚古生代海盆边缘凹陷中。矿床的产出和分布受泻湖相潮坪碳酸盐沉积所控制。矿体呈似层状、透镜状,与上下围岩整合-半整合接触,沿层分布。矿石即为含铀不纯碳酸盐岩,其特征是色较深,含泥碳质及星散黄铁矿。矿石成分、结构构造、微量元素含量、 $\delta^{34}\text{S}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 值与围岩近于一致,唯矿石中铀含量高,达工业采冶要求。近矿围岩蚀变微弱。

沥青铀矿U-Pb年龄测定多为57—96Ma,主要反映矿石的后生改造年龄,但部分沥青铀矿年龄(380Ma)与所在地层时代(D<sub>1</sub>)相近,表明成岩成矿期矿石仍有存在。且后生改造、叠加富集作用主要发生在原有矿层内,使矿体(层)仍保留原地-准原地特征,因而,应属沉积成岩成矿为主兼有后生改造的层控铀矿床。

矿床的形成经历了沉积、成岩成矿和改造富化三个阶段。

**关键词:**产铀碳酸盐岩建造 成岩成矿 改造富集 层控铀矿床

华南晚古生代碳酸盐岩建造中铀矿床的发现,是近十多年来找铀工作取得的新进展。虽然某些放射性异常早在50年代中期已被发现,然而人们认为它们多系灰岩裂隙控制或风化淋滤成因,未予重视。60年代以来,随着层控理论的兴起和研究的深入,其赋存规律和经济价值,渐为人们所认识。

对于碳酸盐岩建造中铀矿床的成因,众说纷纭:有人认为是热液成因<sup>[1]</sup>,也有人认为是岩溶堆积成因<sup>[2]</sup>,但多数研究者趋向于地下水循环淋积说<sup>[3,4]</sup>。后者认为,就矿床的形成来说,地层是基础,构造是关键。地下水或地下热水浸出矿源层中的铀,在层间破碎带或其他断层中聚集形成矿床。

据笔者研究,华南碳酸盐岩中的铀矿床,按其控矿地质因素和成因,可分为下列三个亚类:①受控于地层层位、岩相,并经后期地下水或地下热水改造而富集的层控铀矿床,以373、3701、3105、387、114矿床为代表,是华南地区碳酸盐岩建造中铀矿床的主要类型。②受控于断层破碎带或不整合面,由地下水热液充填交代形成的似脉状铀矿床,以687、铜鼓堂矿床为代表,多为铀-多金属矿床。③受控于喀斯特溶洞堆积的不规则状铀矿床(点),以桂西南某铀矿床为代表。

它们的成因应当分别地加以探讨。本文主要对第一亚类即碳酸盐岩建造中层控铀矿床的地质特点和成因提出一些初步看法,以便讨论。

## 一、地质环境

### (一) 地质构造环境

华南碳酸盐岩建造中已知的层控铀矿床,多数出现于靠近加里东隆起的晚古生代海盆边缘凹陷中。如3701矿床靠近云开古陆西北缘;3105矿床则位于江南古陆东南缘,直接产在越

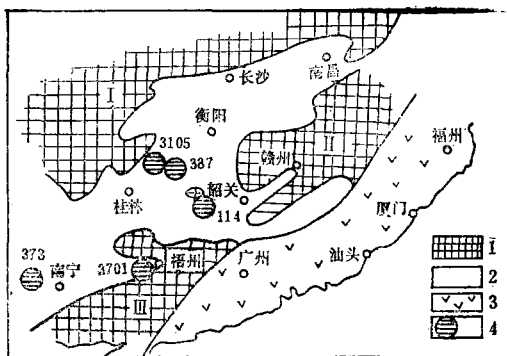


图1 华南(大陆)地区碳酸盐岩建造中层控铀矿床分布示意图

1—隆起区; 2—晚古生代碳酸盐岩沉积区; 3—闽粤沿海火山岩带; 4—碳酸盐岩建造中层控铀矿床; I—江南古陆; II—武夷山加里东后隆起区; III—云开加里东后隆起区

Fig. 1. Sketch map showing distribution of strata-bound uranium deposits in carbonate formation of South China continent.

1—Upwelling area; 2—Depositional area of Late Paleozoic carbonate rocks; 3—Fujian-Guangdong coastal volcanic belt; 4—Strata-bound uranium deposit in carbonate formation; I—Jiangnan old land; II—Wuyishan post-Caledonian upwelling area; III—Yunkai post-Caledonian upwelling area.

也往往有两个甚至三个产铀层位。例如桂东北3105矿床有泥盆系中统应堂组( $D_2i$ )和上统榴江组( $D_3l$ )两个产铀层位;粤北114矿床有下石炭统梓门桥组( $C_1dz$ )和上二叠统龙潭组( $P_2l$ )两个产铀层位等等。

2. 产铀层位在水平方向上的特定性和局限性:即不象含煤建造那样具有广泛区域分布的特点。虽它作为一个地层单元分布是广泛的,但其中铀富集的范围比较局限。这是因为碳酸盐岩沉积、成岩过程中,铀元素富集的条件比较有限。只有在铀源、岩相古地理、地球化学、后生改造等条件有机配合的特定有利环境中才能形成。但是,它们的产出有一定规律,即已知的产铀层位均出现于海进早(中)期或海退(中)晚期,受沉积旋回制约。铀矿床多产于碎屑岩(或含煤建造)与碳酸盐岩交接过渡的地带而偏向于碳酸盐岩一侧。这是不同时代产铀层位和不同层位中的铀矿床产出部位方面所具有的共同特征。

3. 产铀层位随地区不同而具有时空迁移性:由研究区西南至东北,产铀层位有由下中泥盆统一上泥盆统一石炭系一二叠系——层位逐渐增高、变新之势(图2)。这与本区晚古生代海进由研究区西南而东北逐渐扩展的时序相一致。

城岭穹窿旁的海湾中;387、114矿床则出现在九疑山水下隆起边缘的浅海凹陷中(图1)。凹陷方向和大小,在一定程度上决定了矿床的范围和展布。

### (二) 产铀层位

华南晚古生代碳酸盐岩建造中已知的产铀层位有泥盆系下统郁江组( $D_1y$ )、四排组( $D_1s$ )、中统应堂组( $D_2i$ )、上统榴江组( $D_3l$ )、下石炭统大塘阶石磴子组( $C_1ds$ )、梓门桥组( $C_1dz$ )、二叠系下统茅口组( $P_1m$ )、上统龙潭组( $P_2l$ )等。

产铀层位的出现和分布有下列显著特点:

1. 多层性:不仅从总体上看有上述从下泥盆统至上二叠统的多个产铀层位,而且,在一个矿区内

### (三) 产铀碳酸盐建造的特征和沉积相

尽管碳酸盐岩建造中已知层控铀矿床产出的时代和层位不同, 但产铀碳酸盐岩建造的特征却有着很大的相似性。

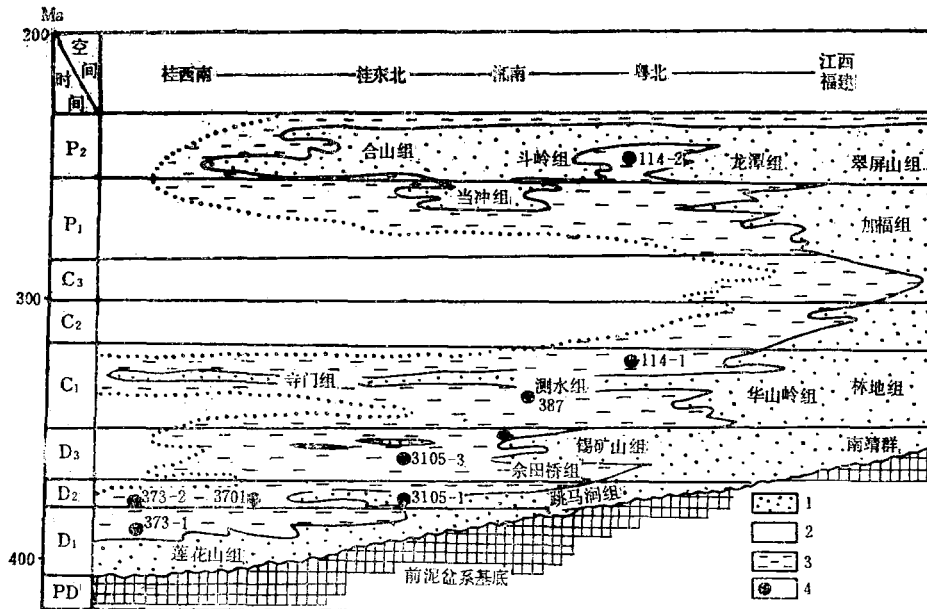


图 2 华南晚古生代碳酸盐岩建造中层控铀矿床的时空分布

1—碎屑岩建造; 2—碳酸盐岩建造; 3—产铀碳酸盐岩建造; 4—层控铀矿床及其代号

Fig. 2. Spatial and temporal distribution of stratabound uranium deposits in late Paleozoic carbonate formation of South China.

1—Clastic formations; 2—Carbonate formations; 3—Uraniferous Carbonate formation; 4—Stratabound uranium deposit and its number.

产铀碳酸盐岩建造的基本特征是:

1. 颜色: 多为深灰—黑色。浅灰及紫红色者仅呈夹层出现。

2. 剖面结构: 以碳酸盐岩为主夹泥质岩或泥质粉砂岩, 二者呈不等厚韵律式互层, 其中常见的有生物屑灰岩、白云岩的夹层(图3)。工作表明, 在大套质地较纯的碳酸盐岩中尚未发现矿床, 放射性异常也少见。114矿床, 工业铀矿化主要产于碳酸盐岩-泥质岩层韵律结构明显的梓门桥组下段( $C_1dz^a$ )里, 而在泥质岩夹层极少的上段( $C_1dz^b$ )里, 则只有极少数透镜状的小矿体。其他矿区情况亦类似。碳酸盐岩-泥质岩韵律剖面结构, 是产铀碳酸盐岩建造的重要特征之一。

3. 岩石类型: 以中-低能水动力条件下形成的泥晶生物屑灰岩、泥晶灰岩、泥质岩或泥质粉砂岩最常见, 间歇性中-高能水动力条件下形成的砂屑、角砾屑灰岩呈夹层出现。其中, 碳酸盐岩部分白云岩化, 部分重结晶成微晶-细晶灰岩或白云岩。骨架性生物灰岩零星分布, 呈点礁状见于产铀碳酸盐岩建造中。

4. 沉积构造: 常见的有水平层理、毫米纹层, 次有微波状层理。小型冲刷面、交错层理及水体搅动构造亦偶尔见到。

5. 生物组合: 表现出广盐度生物与窄盐度生物混生, 而以广盐度生物为主。所见生物

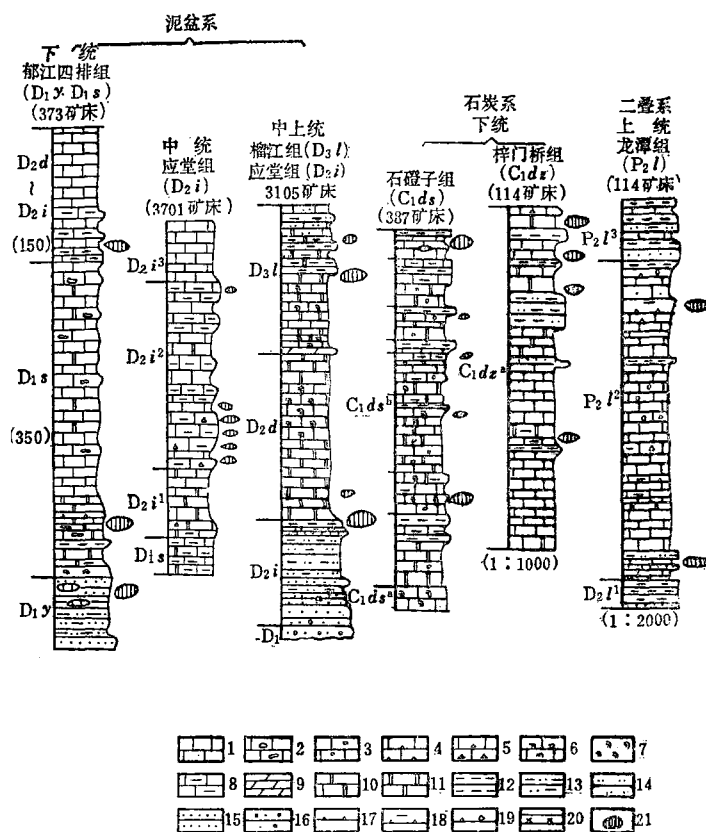


图3 华南晚古生代不同层位产铀碳酸盐岩系剖面结构图  
示不同时代层位的产铀碳酸盐岩系均有细碎屑岩-泥质岩夹层

1—灰岩；2—虫孔灰岩；3—燧石结核灰岩；4—硅质灰岩；5—角砾状灰岩；6—生物屑灰岩；7—礁灰岩（点礁）；8—泥质灰岩；9—泥灰岩；10—白云质灰岩；11—白云岩；12—泥质岩；13—泥质粉砂岩或粉砂质泥页岩；14—粉砂岩；15—细砂岩；16—粗砂岩含砾砂岩或砂砾岩；17—硅质岩或条带状硅质薄层；18—泥质硅岩；19—硅质角砾岩；20—辉绿岩（脉）；21—铀矿化层位（示意）

Fig. 3. Structure of uraniferous carbonate formation profile comprising different horizons of late Paleozoic in South China, showing that uraniferous carbonate sequences of different horizons all contain fine clastic rock-argillite intercalations.  
1—Limestone; 2—Burrow limestone; 3—Flint nodule limestone; 4—Siliceous limestone; 5—Brecciated limestone; 6—Bioclastic limestone; 7—Reef limestone (Point reef); 8—Argillaceous limestone; 9—Marl; 10—Dolomitic limestone; 11—Dolomite; 12—Argillite; 13—Argillaceous siltstone or silty argillite; 14—Siltstone; 15—Fine-grained sandstone; 16—Coarse-grained sandstone, gravel-bearing sandstone or sandy conglomerate; 17—Silicolites or handed siliceous thin layer; 18—Argillaceous silicolites; 19—Siliceous breccia; 20—Diabase (dyke); 21—Horizon of uranium mineralization.

种类以有孔虫（单列或双列串珠虫、内孔虫等）、藻胞（钙球）、棘皮类最为常见，次有绿藻、蓝绿藻、枝状层孔虫、苔藓虫、介形虫、腕足类、瓣鳃类、头足类、鲎科、珊瑚及钙质骨针等。

6. 岩石化学：不同时代、地区产铀碳酸盐岩建造的243个岩石化学全分析或多项分析结果表明，产铀碳酸盐岩中， $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量较高，有些样品 $\text{SiO}_2$ 含量

高达5.88%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 达2.85%。显微镜下观察, 岩石中常混入较多泥质和石英粉砂。表明它是一种含陆缘混入物较多的不纯碳酸盐岩。夹于其中的泥质岩 $\text{SiO}_2$ 含量较低(33.98—50.85%),  $\text{CaO} + \text{MgO}$ 较高(10—12.12%), 属含灰质泥岩类。

7. 铀的丰度: 不同地区不同时代产铀碳酸盐岩建造中, 铀的平均丰度为7.7—19.74 ppm, 比正常碳酸盐岩铀的背景值及图尔基安(1961)<sup>[5]</sup>的平均值(2.2ppm)高出几倍, 有时甚至几十倍。矿区内产铀碳酸盐岩建造中, 铀的分布具有明显的不均匀性, 在垂向剖面上呈跳跃式变化, 低者仅1—2ppm, 高者数十ppm。其中, 尚有若干铀的特高丰度层, 其铀含量可达50—100ppm以上, 这与非产铀碳酸盐岩建造中铀丰度低(1—2ppm)而稳定的区域地球化学背景明显不同。

8. 元素组合: 产铀碳酸盐岩建造中除铀的丰度较高外, Mo、Ni、Cu、Pb、Zn、Sb等造矿元素也有一定程度的浓集(表1)。它们多为亲硫元素, 其富集与生物地球化学作用有一定的联系。这些元素亦多为变价元素: 铀有 $\text{U}^{4+}$ 、 $\text{U}^{6+}$ 是人们所共知的, 钼有 $\text{Mo}^0$ 、 $\text{Mo}^{3+}$ , 铜有 $\text{Cu}^0$ 、 $\text{Cu}^{1+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ , 镍有 $\text{Ni}^0$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ , 硫也是个变价元素, 有 $[\text{S}_2]^{2-}$ 、 $\text{S}^{4-}$ 、 $\text{S}^{6-}$ 等。它们在高价状态下活泼、迁移, 低价状态下稳定、沉淀, 与铀的地球化学性质相似, 故一起富集。

表1 产铀碳酸盐岩建造中某些元素的丰度(ppm)

Table 1. Abundances of some elements in uraniferous carbonate formations (in ppm)

| 矿床                      | 层位                            | 样数(个) | U    | Mo    | Ni    | Cu   | Pb    | Zn    |
|-------------------------|-------------------------------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|
| 3105                    | D <sub>2i</sub>               | 77    | 9.7  | 3     | 35    | 35   | 15    |       |
|                         | D <sub>3l</sub>               | 353   | 9.0  |       | 20    | 40   | 10    |       |
| 387                     | C <sub>1ds</sub>              | 8     | 57.5 | 11.25 | 39.5  | 14.6 | 46.62 | 47.25 |
|                         | C <sub>1ds</sub> <sup>a</sup> | 85    | 16.3 | 2.5①  | 39.82 | 32.0 | 49.3  | 54.0① |
|                         | P <sub>2l</sub>               | 28    | 7.7  | 13.7  | 31.2  | 22.9 | 13.5  | 50.0  |
| 碳酸盐岩平均值<br>(图尔基安, 1961) |                               |       | 2.2  | 4.1   | 2.1   | 4.1  | 9.1   | 2.1   |

① 为4个样品平均值

9. 地球化学相: 鉴于铀对氧化-还原反映敏感, 笔者想借用石油地质学<sup>[6]</sup>中关于沉积地球化学环境的参数—— $C_{\text{org}}$ 、 $\text{S}^{2-}$ 及还原系数( $K$ )等来说明产铀碳酸盐岩建造形成的地球化学环境。已有研究表明, 华南产铀碳酸盐岩建造中有机碳含量(0.1—3.35%)、 $\text{S}^{2-}$ 含量(0.5—10.99%)较高, 新鲜岩石 $\text{Fe}^{2+} > \text{Fe}^{3+}$ 。根据岩石中不同价态铁含量比值计算的还原系数( $K$ )值①多介于0.45—0.55之间, 其地球化学环境应属还原亚相, 矿物相属黄铁矿-菱铁矿相; 少数岩层 $K=0.24—0.26$ , 属弱还原亚相, 菱铁矿相; 个别为强还原亚相( $K>7$ ), 矿物相属菱铁矿-黄铁矿相。

综上, 从地层剖面结构、岩石类型、沉积构造、生物组合、岩石化学、铀的丰度、元素

$$\textcircled{1} K = \frac{0.236 \times \text{Fe}_{(\text{HCl})}^{2+} + \text{Fe}_{(\text{FeS}_2)}^{2+}}{\text{Fe}_{(\text{HCl})}^{2+} + \text{Fe}_{(\text{HCl})}^{3+} + \text{Fe}_{(\text{FeS}_2)}^{2+}}$$

组合及地球化学环境参数等一系列特征来看, 本区晚古生代产铀碳酸盐岩建造应当是形成于:

(1) 陆缘海局限盆地或海湾中, 特别是靠近由富铀老地层组成的古隆起边缘的海盆或海湾中。

(2) 水动力以低能为主, 间或出现中、高能水动力条件下。

(3) 地球化学环境以还原为主, 氧化-还原交替出现的带中。个别矿区(3105)见蒸发相石膏夹层或团块, 因而, 产铀碳酸盐岩建造应属台地相泻湖-潮坪沉积的产物。

#### (四) 地质构造

本区晚古生代碳酸盐岩建造中多数层控铀矿床均处于向斜构造中, 且铀矿体主要赋存在靠近古陆(古隆起)的向斜一翼(373、3105矿床)。从现存情况看, 3701矿床处于一个走向NE倾向南的单斜中, 但它可能是向斜的一翼——北翼, 而其南翼已被花岗岩体吞蚀(或被断块剥蚀)。如果这样, 该矿床也是处于泥盆纪碳酸盐岩组成的向斜中, 而且, 铀矿体也是赋存在靠近奥陶系隆起的一翼(北翼), 与上述矿床矿体产出的构造规律是一致的。

已知矿区内, 断裂构造比较发育, 其中主要是与褶皱或与岩层走向一致的纵断层或层间破碎带, 也有横穿或斜切岩层的张性或张扭性断层。有时, 矿区处在几组不同方向的断层交切复合部位。这些断层、裂隙对于地下水的沟通与运移有重要意义, 并促使已经形成的矿体(层)受到改造、产生新的沥青铀矿细脉, 就在原有矿层中造成叠加富集。

#### (五) 火成岩

已知的碳酸盐岩型层控铀矿床, 矿区内岩浆活动不发育(表2)。除3701矿床外, 未发现岩浆岩体对矿床的明显影响。3701矿床处于大容山复式花岗岩体外接触带0—160m, 被侵入的含矿地层(D<sub>2</sub>i)一部分变成角岩, 沥青铀矿呈麻点状分布于角岩的碳泥质物中。矿体中见有少量萤石细脉, 可能是由花岗岩浆侵入时带来了少量挥发分和矿质形成的。

表2 层控铀矿区岩浆岩发育情况

Table 2. Distribution of magmatic rocks in the region and within stratabound uranium deposits

| 矿床   | 区域内岩浆岩分布情况                     | 矿床内出露的岩浆岩                      |
|------|--------------------------------|--------------------------------|
| 373  | 未见                             | 未见                             |
| 387  | 矿区北东5km有石英闪长岩、闪长玢岩脉、细粒花岗岩株出露   | 未发现                            |
| 3105 | 处于加里东期越城岭花岗岩体( $\gamma_3$ )的东侧 | 矿体离花岗岩体最近距离约100m, 含矿地层不整合于岩体之上 |
| 3701 | 处于海西—印支期大容山花岗岩体之北              | 矿体距花岗岩体0—160m                  |
| 114  | 北东距大东山花岗岩体( $\gamma_5^2$ )8km  | 见辉绿岩脉(K-Ar年龄206Ma)             |

## 二、矿床特征

### (一) 矿体产状及分布

已知的本类矿床, 矿体呈似层状、透镜状产出。单个矿体长数十至三、四百米, 宽数十至一、二百米, 厚数十厘米至数米。矿体与围岩为整合-准整合接触, 沿层分布长1-数公里。个别(114)矿床亦见少数切层的小矿体沿断层带产出。后者为生矿脉。

矿体呈多层产出。在一个产铀层位内往往有几个矿层或矿层组。例如, 产于下石炭统樟门桥组( $C_1dz$ )和上二叠统龙潭组( $P_2l$ )中的114矿床有I—VII等七个矿层(组), 大小几十个矿体。但主要的只1—2个矿层(组), 少数几个矿体。矿层的多少和碳酸盐岩建造中韵律发育有直接相关。韵律多, 矿层也多。但矿体规模主要取决于有利成矿环境的持续稳定发展以及后期改造、叠加富集的条件。

在垂直方向上, 矿体通常出现在泥质岩层上下的不纯碳酸盐岩中, 泥质岩有时也含矿, 故由泥质岩(含矿)—含泥、碳质、星散黄铁矿的不纯碳酸盐岩(矿层)—质纯碳酸盐岩层, 构成一定的含矿岩石序列(图4)。有时, 虽无泥质岩层, 但矿层(含矿岩石)为含

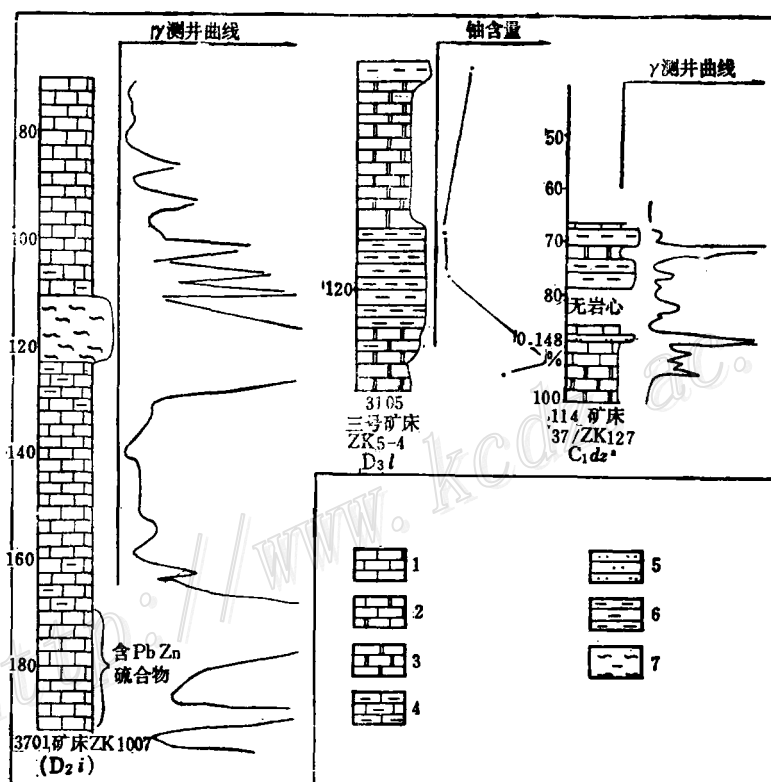


图4 含矿岩石序列示意图(图中含PbZn硫化合物应为含PbZn硫化物)

1—灰岩; 2—白云质灰岩或灰质白云岩; 3—白云岩; 4—含泥质灰岩;  
5—粉砂岩; 6—泥页岩; 7—片理化带

Fig. 4. Schematic section showing sequence of ore-bearing rocks.

1—Limestone; 2—Dolomitic limestone or lime dolomite; 3—Dolomite; 4—Argillaceous limestone; 5—Siltstone; 6—Argillite; 7—Schistosity zone.

泥、碳质较多的不纯碳酸盐岩这一点则是共同的。因此,后者亦构成一个质地较纯的碳酸盐岩—不纯碳酸盐岩(矿层)—再到质纯碳酸盐岩的含矿岩石序列,其实质与前者是相同的。

## (二) 矿石类型

矿石,实质上就是含矿的碳酸盐类岩石,按其岩性可分为:①泥晶生物屑灰岩或含生物屑泥晶灰岩矿石;②角砾屑灰岩矿石;③微晶—细晶灰岩矿石;④细晶灰质白云岩矿石;⑤黑色泥质岩矿石。

角砾屑灰岩矿石是一种较普遍而其成因又有争议的一种矿石类型。由于其角砾屑多具棱角,常被某些研究者认为是“构造角砾岩”矿石。但是,组成(岩)矿石的“角砾”和胶结物是两种截然不同的物质,“角砾”成分为质地较纯的灰岩。而胶结物多为黑色含碳的灰泥质物,不象是与“角砾”成分一致的岩石破裂磨碎的产物。而且:①它们呈清楚的层状、似层状,夹于碳酸盐岩层中,产状较平缓,与上下岩层整合接触;②并非所有“角砾”均呈棱角状,而是部分呈次圆状、长条状,边缘可见溶蚀港湾状,具藻孔或泥晶化边,故应是一种砾屑或角砾屑;③黑色含碳灰泥质胶结物中,有时可见菱面体白云石,后者常是在局限盆地的蒸发相中形成,不大可能出现在构造角砾岩中。因此,它可能是一种在碳酸盐沉积过程中,短暂的高能水动力条件下被冲刷破碎,低能条件下就地堆积的碳酸盐质角砾岩(角砾屑灰岩)。铀是在低能环境下与胶结物——含碳灰泥质一起沉积的,故角砾(屑)本身一般不含铀。

## (三) 铀的赋存状态及矿物共生组合

矿石中铀的赋存状态有三:(1)呈分散吸附状;(2)呈独立铀矿物——沥青铀矿、铀黑及硅钙铀矿等;(3)呈类质同象或机械混入物形式存在于含铀黄铁矿、含铀方解石中。

与铀共生的矿物,以分散状黄铁矿最为常见,其次有方铅矿、闪锌矿,偶见黄铜矿、辉钼矿、辉锑矿等;非金属矿物除碳酸盐矿物外,还有碳质及粘土类矿物。

镜下观察,沥青铀矿呈不规则微粒状, $d=0.001-0.02\text{mm}$ 。有些泥晶灰岩或微晶灰岩中,沥青铀矿呈细小球粒,中心为泥碳质点;在角砾屑灰岩型矿石中,沥青铀矿除一部分呈微粒状分布于胶结物中外,还有围绕角砾屑作环状分布的;在泥质岩、粉砂岩类矿石中,沥青铀矿往往沿层纹产出,组成纹层构造。由于后期地下水或地下热水作用,可见到部分沥青铀矿细脉或沥青铀矿方解石细脉,穿插在早期含矿岩层中,造成叠加富矿。

矿石中的铀浸出率大于90%,水冶性能良好。

## (四) 矿石化学成分

矿石化学成分主要取决于赋矿岩石的成分。本类矿床中300个矿石样品的化学全分析或多项分析表明:矿石与非矿碳酸盐岩化学成分相近,所不同的是矿石中Si、Al、Fe、有机碳、 $\text{S}^{2-}$ 含量更高一些(表3)。

## (五) 伴生元素

已知者仅373矿床中的钼具工业价值,构成铀钼共生矿床。其余矿床中Ni、Mo、Zn也都有明显富集,可达综合利用要求(表4)。但其赋存状态及规模有待研究。Cu、Pb等元素在部分矿床中,也有一定程度的富集。从总体看,本类铀矿床中富集的上述元素与产铀碳

表3 矿石的化学成分 (%)  
Table 3. Chemical composition of ores (in percentage)

| 矿石类别          | 矿石名称           | 层位                                         | 样品个数 | 钛含量     | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | MnO    | CaO   | MgO   | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | S                          | C#    | $\frac{Mg}{Ca}$ | 资料来源                     |
|---------------|----------------|--------------------------------------------|------|---------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|--------|-------|-------|------------------|-------------------|-------------------------------|----------------------------|-------|-----------------|--------------------------|
| 灰岩类矿石         | 114碎裂灰岩        | C <sub>1</sub> d <sub>2</sub> <sup>a</sup> | 16   | 0.191   | 0.53             | 1.08                           | 1.30                           | 0.42 | 0.028  | 50.25 | 4.53  | 0.14             | 0.09              | 0.027                         | 0.661                      | 0.49  | 0.09            | 广东705队(1985)             |
|               | 387糜棱岩(纹层灰岩?)  | C <sub>1</sub> d <sub>2</sub> <sup>c</sup> | 1    |         | 14.80            | 7.91                           | 0.86                           | 0.60 | 0.02   | 32.30 | 4.71  | 1.56             | 0.21              | 0.04                          | 1.22                       |       | 0.14            |                          |
|               | 3701结晶灰岩       | D <sub>2</sub> i <sup>f</sup>              | 7    | 0.098   | 19.04            | 9.73                           |                                |      |        | 30.13 | 2.29  |                  |                   |                               | 2.91                       |       | 0.08            | 中南307大队                  |
| 345个石灰岩的平均成分  |                |                                            |      |         |                  |                                |                                |      |        |       |       |                  |                   |                               |                            |       |                 |                          |
|               |                |                                            |      |         | 0.06             |                                |                                | 0.54 | 0.05   | 42.61 | 7.90  | 0.33             | 0.05              | 0.04                          | 0.09                       |       |                 | 克拉克 <sup>(9)</sup>       |
| 白云岩类矿石        | 114碎裂白云岩       | C <sub>1</sub> d <sub>2</sub> <sup>x</sup> | 8    | 0.721   | 0.57             | 1.05                           | 0.96                           | 0.30 | 0.021  | 42.57 | 9.01  | 0.12             | 0.07              | 0.017                         | 0.162                      | 0.58  | 0.21            | 广东705队                   |
|               | 3105碎裂白云岩      | D <sub>2</sub> i <sup>i</sup>              | 29   | 0.044   | 2.28             | 1.41                           | 0.35                           | 0.26 | 0.025  | 29.75 | 19.19 |                  |                   |                               |                            | 0.146 | 0.65            | 中南310大队                  |
|               | 3105非矿细晶白云岩    | D <sub>3</sub> l <sup>f</sup>              | 7    | 0.00087 | 1.423            | 1.02                           | 0.16                           | 0.15 | 0.0143 | 30.17 | 20.55 |                  |                   |                               |                            | 0.155 | 0.68            | 北京三所二室(1981)             |
| 角砾岩类矿石        | 114碳酸盐质角砾岩     | C <sub>1</sub> d <sub>2</sub> <sup>x</sup> | 6    | 0.273   | 3.07             | 2.43                           | 2.06                           | 0.53 |        | 30.23 | 18.96 | 0.33             | 0.08              | 0.028                         | 0.090                      | 0.33  | 0.63            | 广东705队                   |
|               | 387碳酸盐质角砾岩     | C <sub>1</sub> d <sub>2</sub> <sup>s</sup> | 24   | 0.456   | 26.82            | 10.2                           | 7.06                           | 1.16 |        | 17.1  | 4.82  |                  |                   | 0.021                         |                            | 2.24  | 0.28            | 张振华(1981)                |
|               | 3701碳酸盐质角砾岩    | D <sub>2</sub> i <sup>i</sup>              | 8    | 0.120   | 27.24            | 14.62                          |                                |      |        | 21.55 | 1.96  |                  |                   |                               | 3.34                       |       | 0.09            | 中南307大队                  |
|               | 373碳酸盐质角砾岩     | D <sub>1</sub>                             | 120  | 0.168   | 17.98            | 5.48                           | 3.44                           |      |        | 23.0  | 1.04  |                  |                   |                               | 10.98                      |       | 0.05            | 陈水波(1981)                |
|               | 114粘土板岩        | D <sub>1</sub> d <sub>2</sub> <sup>a</sup> | 1    | 0.61    | 34.29            | 12.21                          | 4.24                           |      | 0.031  | 20.65 | 4.52  | 2.43             | 0.19              | 0.039                         |                            |       | 0.21            | 广东705队(1985)             |
| 页岩类矿石         | 387含碳泥岩        | C <sub>1</sub> d <sub>2</sub> <sup>b</sup> | 11   | 0.982   | 35.0             | 10.2                           | 8.298                          | 3.35 |        | 3.39  | 8.98  |                  |                   |                               |                            | 3.354 | 2.65            | 张振华(1981)                |
|               | 3105黄铁矿白云质页岩   | D <sub>3</sub> l <sup>f</sup>              | 9    | 0.295   | 32.56            | 16.88                          | 9.12                           | 0.73 | 0.025  | 7.52  | 8.11  |                  |                   |                               | 4.92                       | 0.278 | 1.08            | 中南310队                   |
|               | 3105泥质粉砂岩      | D <sub>2</sub> i <sup>i</sup>              | 10   | 0.216   | 49.3             | 10.24                          | 6.01                           | 0.55 | 0.05   | 3.62  | 11.01 |                  |                   |                               | 4.09                       | 0.06  | 3.04            | 中南301队                   |
|               | 373粘土类         | D <sub>1</sub> y-D <sub>2</sub>            | 50   | 0.074   | 39.17            | 22.42                          | 14.75                          |      |        | 1.04  | 1.35  |                  |                   |                               |                            |       | 1.29            | 陈水波(1981)                |
|               | 克拉克从78个页岩分析平均值 |                                            |      |         | 58.38            | 15.47                          | 4.03                           | 2.46 |        | 3.12  | 2.45  | 3.25             | 1.31              | 0.17                          | (SO <sub>3</sub> )<br>0.65 | 0.81  |                 | 《沉积岩石学讲稿》 <sup>(5)</sup> |
| 中国南方寒武系黑色页岩平均 |                |                                            |      |         |                  |                                |                                |      |        |       |       |                  |                   |                               |                            |       |                 |                          |
|               |                | ε <sub>1</sub>                             |      | 0.004   | 56.35            | 12.27                          | TF <sub>Fe</sub>               | 7.08 |        | 0.27  | 1.56  | 5.02             | 0.66              | 1.56                          |                            |       | 5.7             | 陈南生(1982) <sup>(3)</sup> |

酸盐岩建造中元素组合情况十分相似,唯矿石中更为富集些。这在一定程度上,反映了矿石与产铀碳酸盐岩建造之间的内在联系。据研究,U与Mo、Ni、Pb具正相关关系。

表 4 387矿床矿石的元素组合(%)

Table 4. Element association of ores from No.387 ore deposit(in percentage)

|         |                               | 产铀建造<br>(碳酸盐岩) | 矿 石    |        |
|---------|-------------------------------|----------------|--------|--------|
|         |                               |                | 平 均    | 最 高    |
| 样 品 个 数 |                               | 8              | 4      |        |
| 铀 含 量   |                               | 0.0058         | 1.0898 | 2.120  |
| 伴生元素    | Ni                            | 0.00395        | 0.0918 | 0.2930 |
|         | Mo                            | 0.0011         | 0.0338 | 0.890  |
|         | Zn                            | 0.0047         | 0.4657 | 0.9630 |
| 略有富集的元素 | Cu                            | 0.0015         | 0.0067 | 0.0137 |
|         | Pb                            | 0.0046         | 0.0297 | 0.0562 |
|         | Sb                            | 0.0004         | 0.0095 | 0.032  |
|         | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0.029          | 0.0442 | 0.096  |

#### (六) 围岩蚀变

近矿围岩蚀变,仅有微弱碳酸盐化、硅化、粘土化、硫化物矿染及赤铁矿化。

#### (七) 包裹体测温

本类铀矿床中沥青铀矿的包裹体均一化温度为120—160℃(3105矿床),与方铅矿-闪锌矿地质温度计法测得的温度150℃(3701矿床)基本一致。不同矿床的含铀方解石(脉)中存在一些直径0.0038—0.015mm的圆形、椭圆形及不规则状气液包裹体。其气液比为10—20%,其均一化温度为89—285℃。

#### (八) 硫、氧同位素

已知的本类矿床中,黄铁矿的硫同位素以轻硫为主。 $\delta^{34}\text{S}$ 多为负值,变化范围大( $\pm 10$ — $-24\%$ )。在直角坐标图上,点较分散,不成塔式分布(图5),显示以生物硫为主的特征。并且,矿石与非矿碳酸盐岩中黄铁矿的硫同位素组成近于一致。尽管矿床形成后经受了地下水或地下热水不同程度的改造,但矿石中以轻硫为主的总趋势没有改变。说明后期改造、叠加富集过程中,硫同位素分馏作用不大明显。

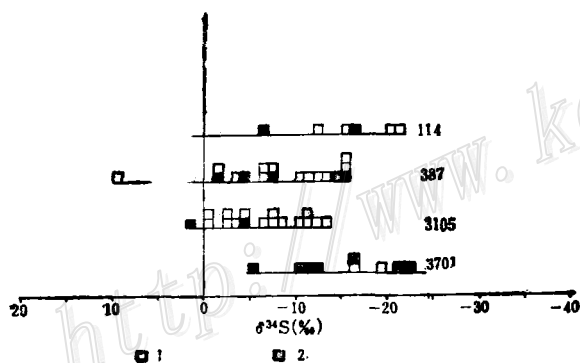


图 5 华南碳酸盐岩建造中层控铀矿床的硫同位素组成  
1—岩石中的黄铁矿; 2—矿石中的黄铁矿

Fig. 5. Sulfur isotopic composition of stratabound uranium deposits in carbonate formation of South China.

1—Pyrite from rocks; 2—Pyrite from ores.

114矿床 8 个碳酸盐矿物样品氧同位素分析结果(表 5)表明,  $\delta^{18}\text{O}$  值介于  $+8.81$ — $+17.34\%$ , 均值为  $12.27\%$ 。不同层位岩石的  $\delta^{18}\text{O}$  值有所差异,以中上石炭统壶天群( $\text{C}_{2+3}\text{ht}$ )

表 5 114铀矿床碳酸盐矿物氧同位素组成  
Table 5. Oxygen isotopic composition of carbonate minerals from  
No.114 uranium deposit

|   | 样 号    | 取样位置  | 层 位                | 测定矿物         | $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$<br>(‰) |
|---|--------|-------|--------------------|--------------|--------------------------------------------|
| 1 | 81-187 | 一号斜井  | $\text{C}_1dz^a$   | 红色方解石 (脉)    | +10.88                                     |
| 2 | 81-188 | 一号斜井  | $\text{C}_1dz^a$   | 白色方解石 (脉)    | +8.81                                      |
| 3 | 81-189 | 一号斜井  | $\text{C}_1dz^a$   | 白色方解石 (脉)    | +11.47                                     |
| 4 | 81-190 | 一号斜井  | $\text{C}_1dz^a$   | 肉红色巨晶方解石 (脉) | +10.63                                     |
| 5 | 81-191 | ZK344 | $\text{P}_2l$      | 方解石          | +12.42                                     |
| 6 | 81-192 | ZK370 | $\text{C}_{2+3}ht$ | 白色白云岩        | +16.81                                     |
| 7 | 81-193 | ZK370 | $\text{C}_{2+3}ht$ | 白色白云岩        | +17.34                                     |
| 8 | 81-194 | ZK370 | $\text{C}_1dz^a$   | 灰岩矿石         | +9.82                                      |

(测定单位: 中国科学院地球化学研究所, 1981)

的  $\delta^{18}\text{O}$  值最高 (+16.81—+17.34‰), 下石炭统梓门桥组下段 ( $\text{C}_1dz^a$ ) 最低, 其值为 +9.82‰ (灰岩矿石), 上二叠统龙潭组 ( $\text{P}_2l$ ) 的  $\delta^{18}\text{O}$  值介于  $\text{C}_{2+3}ht$  与  $\text{C}_1dz^a$  之间, 而接近于  $\text{C}_1dz^a$ 。很多研究者 (Epstein and Mayeda 1953, 张秀莲 1985) 都指出过:  $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$  值都与介质盐度有关, 其变化趋势是, 盐度越大,  $\delta$  值越高<sup>[7]</sup>。本区  $\text{C}_{2+3}ht$  以质地较纯的白云岩为主, 其沉积时, 古海水盐度较高, 故其  $\delta^{18}\text{O}$  值相对较高 (+16.81—+17.34‰); 产铀层位 ( $\text{C}_1dz^a$ ) 的碳酸盐岩  $\delta^{18}\text{O}$  值仅为 +9.82—+12.24‰, 表明其沉积盆地具一定开放性, 有淡水补给, 因而, 应属半封闭的泻湖环境。

#### (九) 矿石年龄

373矿床, 下泥盆统郁江组 ( $\text{D}_1y$ ) 泥质粉砂岩中与黄铁矿一起呈质点状沿层分布的沥青铀矿 U-Pb 年龄为 380Ma<sup>①</sup>, 与所在地层的时代相当。根据矿石结构特征研究, 成岩期的沥青铀矿, 在 387、3105 及 114 矿床也是可能存在的, 只是由于成岩成矿期的沥青铀矿颗粒微小, 直径只有 0.001—0.02mm, 不易获得纯净的单矿物样品, 因而, 测得的年龄数据较少。而我们现在所获得的沥青铀矿 U-Pb 年龄多数为 196—57Ma, 尤集中于 96—57Ma (表 6)。实际上, 这些样品多采自后有生沥青铀矿细脉或叠加富集的矿石中。因而, 测定结果所代表的是这些层控铀矿床的后生改造年龄。

### 三、矿床成因探讨

以上矿床产出地质环境及矿床特征的论述中, 都或多或少涉及了矿床的成因问题, 为便于讨论, 现概括如下:

1. 矿床产于一定的地层层位 ( $\text{D}_1y$ — $\text{P}_2l$ ) 内。这些层位在沉积旋回的时间剖面上, 处于海进早 (中) 期, 或海退 (中) 晚期, 并常常是碎屑岩 (或含煤建造) 与碳酸盐岩建造接触过渡的部位。

① 陈淑德等, 1981, 广西泥盆系产铀层位,《铀矿地质勘探》, No. 1

2. 多数矿床处于向斜翼部, 特别是向斜靠近古陆(或隆起)的一翼, 可能与靠近物源有关。

3. 产铀层位及矿层都不是孤立存在的, 而在其上下层位中都有异常或矿化出现。例如

表 6 层控铀矿床中沥青铀矿的U-Pb同位素年龄  
Table 6. U-Pb isotope age of the pitchblende in the  
stratabound deposits

| 矿床   | 取样位置     | 层位                                       | 含量(%)  |       |        | 同位素组成(%)          |                   |                   |                   | 年龄值(Ma)                                  |                                          |                                           |      | 资料来源    |
|------|----------|------------------------------------------|--------|-------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|------|---------|
|      |          |                                          | U      | Th    | Pb     | $^{204}\text{Pb}$ | $^{206}\text{Pb}$ | $^{207}\text{Pb}$ | $^{208}\text{Pb}$ | $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$ | $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$ | $\frac{^{208}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$ | 采用值  |         |
| 114  | 41/ZK368 | $\text{C}_1\text{dz}^a$                  | 79.046 | 0     | 2.48   | 0.91              | 44.49             | 16.88             | 37.72             | 65                                       | 120                                      | 1446                                      | 65   |         |
|      | 41/ZK368 | $\text{C}_1\text{dz}^a$                  | 77.18  |       | 1.12   | 2.44              | 72.00             | 10.29             | 17.27             | 70                                       | 119                                      | 252                                       | 70   |         |
|      | 9/ZK468  |                                          | 70.10  | 0.064 | 0.7441 | 0.343             | 77.86             | 8.89              | 12.91             | 57                                       | 60                                       | 195                                       | 57   |         |
| 3105 | 三号矿床     | $\text{D}_3\text{i}$                     | 62.52  |       | 0.93   | 0.696             | 54.44             | 13.63             | 31.23             | 96                                       | 124                                      | 102                                       | 96   | 中南310大队 |
|      | 一号矿床     | $\text{D}_2\text{i}$                     |        |       |        |                   |                   |                   |                   |                                          |                                          |                                           | 62   | 中南310大队 |
| 3701 |          | $\text{D}_2\text{i}$                     |        |       |        |                   |                   |                   |                   |                                          |                                          |                                           | 65   | 中南307大队 |
| 373  |          | $\text{D}_2\text{i}$<br>$\text{D}_{1,y}$ |        |       |        |                   |                   |                   |                   |                                          |                                          |                                           | 380① | 陈淑德     |

① 后生沥青铀矿细脉的U-Pb年龄为120.65Ma

114矿床, 由下而上, 由早到晚,  $\text{C}_1\text{ds}$ 开始出现有放射性异常,  $\text{C}_1\text{dc}$ 有小透镜状矿体,  $\text{C}_1\text{dz}^a$ 为主要产铀层段,  $\text{C}_1\text{dz}^b$ 只有极少数小矿体或矿化,  $\text{C}_{2+3}\text{ht}$ 异常甚少。说明对铀富集有利的环境, 不是突然出现和消失的, 而是随着盆地沉积的发展, 成矿作用有一个从发生-发展-结束的演化过程。

4. 矿层受一定的岩性、岩相所控制。含矿岩石是一套深灰-黑色的含陆缘碎屑、泥、碳质及星散黄铁矿的泻湖相潮坪沉积物。离开这套岩性, 矿化就减弱或消失。

5. 矿体呈似层状、透镜状, 沿层分布, 与上下岩层呈整合-准整合接触, 并构成一定的含矿岩石序列。尽管矿床经历了一定程度的改造, 但矿体并没有明显的位移, 更没有离开这套岩系。而在这套产铀碳酸盐岩建造中, 铀的高丰度层的存在及其与工业矿层在空间位置上的一致性, 说明了矿床具有原地-准原地的特征。

6. 近矿围岩蚀变微弱。

7. 矿石, 就是含铀的碳酸盐类岩石(包括部分含铀泥质岩)。其中的铀, 主要以离子或络离子形式被泥碳质吸附, 部分呈独立矿物——沥青铀矿和铀黑的形式存在。矿石矿物组合简单, 常见者仅微粒浸染状铁、铅、锌的硫化物。

矿石多具浸染状构造, 部分具微细纹理等同生构造, 细脉、网脉状构造也较常见。后者常叠加在前者之中形成富矿石。

8. 矿石与所在地层岩石的硫、氧同位素组成基本一致。黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 多为负值(0—-24‰), 表现出以生物硫为主的特征。灰岩矿石的 $\delta^{18}\text{O}$ 值(+9.82‰)偏低, 反映其古水体的盐度不高。

9. 成矿温度89—250℃, 基本上在沉积成岩作用的温度(<250℃)范围内。

10. 矿石(特别是富矿石)的U-Pb同位素年龄数据,比较集中于96—57Ma,相当于中一晚白垩世,与所在地层时代差异明显。但沉积成岩期的沥青铀矿毕竟见及(373矿床),且类似于同生或准同生的矿石,在3105、387及114矿床中均可能存在。

综上各方面情况分析,矿床类型应属碳酸盐岩建造中的层控铀矿床。

矿床的形成过程,可概括为:

(1) 靠近古陆的晚古生代边缘海,优先接受了因风化剥蚀而被搬运至海盆的陆源矿物质,在受局限的泻湖潮坪环境和还原-弱还原条件下,形成含铀碳酸盐质灰泥。

(2) 成岩作用早期,随着上覆沉积物加厚,静压增大,富铀灰泥或碳泥质物渐趋压缩,固化成岩-成矿。同时,由于脱水作用,充填于沉积物中的间隙水及携带部分铀和其它重金属离子,一起进入邻近的孔隙碳酸盐岩中,形成原始铀矿层。成岩晚期,由于埋藏作用,岩层中的部分物质重新调整、组合,并借助于含铀岩层本身的原生水(粒间水、结晶水)的活动,使含矿层中呈离子或离子团吸附状态的,部分凝聚成微粒状沥青铀矿。这是一个较长的过程。

(3) 成岩以后,由于岩层褶皱、断层及裂隙发生,地下水或地下热水循环,与围岩介质发生能量、质量的交换,汲取了地层岩石中的部分铀等元素,在原有矿层内造成含铀碳酸盐岩型叠加富矿,或在附近岩层裂隙中形成新矿石。碳酸盐岩建造中层控铀矿床的这种改造、叠加和迁移富集的作用,可能从成岩成矿时起,一直延续到较近时期甚至今天。但剧烈改造的时期,则与本区中一新生代造山运动热事件出现的时间基本一致。

工作过程中,得到广东705地质大队、中南303、307、310地勘大队的大力支持与协助,谨致谢意。

### 参 考 文 献

- [1] 刘师先 1983 114铀矿床地质特征及成矿作用 矿床地质 第2卷 第4期
- [2] 刘立钧、李佑威、朱海任、王志成 1985 387地洼古岩溶铀矿床成因探讨 铀矿地质 第1卷 第6期
- [3] 谭友镨 1982 华南上古生界若干碳酸盐岩型铀矿床成矿特点及分布规律的初步认识 放射性地质 第2期
- [4] 张待时、罗毅、天华 1989 3105地区泥盆系铀矿床特征和成矿条件 铀矿地质 第5卷 第5期
- [5] 中国科学院地球化学研究所 1977 简明地球化学手册 科学出版社
- [6] 西北大学地质系石油教研室 1979 石油地质学 第70—71页 地质出版社
- [7] 张秀莲 1985 碳酸盐岩中氧、碳同位素与古盐度、古温度的关系 沉积学报 第3卷 第4期
- [8] A. II. 列兹尼柯夫 1959 沉积岩石学讲稿 科学出版社
- [9] 陈南生等 1982 我国南方寒武系黑色岩系及其中的层状矿床 矿床地质 第1卷 第2期

## A PRELIMINARY DISCUSSION ON GEOLOGY AND GENESIS OF STRATABOUND URANIUM DEPOSITS IN LATE PALEOZOIC CARBONATE FORMATION OF SOUTH CHINA

Li Cheng

*(Bureau of Geology and Mineral Resources of Guangdong province, Guangzhou)*

### Abstract

Stratabound uranium deposits in carbonate formation of South China mostly occur in marginal depressions of the Late Paleozoic seabasin adjacent to the post-Caledonian upwarping area. The uraniferous carbonate formation is a suite of tidal flat sediments of lagoon facies characterized by richness in uranium and existence of pelitic and carbonaceous materials as well as disseminated pyrite.

Ore bodies, stratoid and lenticular in form, show conformable or nearly conformable contact with overlying and underlying strata; an ore body (bed) and its wall rocks make up a sequence of ore-bearing rocks, indicating that ore bodies still preserve autochthonous or semi-autochthonous characters. Ores are simply uraniferous micritic bioclastic limestone, micritic limestone containing bioclastic materials, limestone of breccia fragments, fine-crystalline dolomite and argillite. Uranium in ores occurs mainly as disseminations adsorbed by pelitic and carbonaceous materials, and partly as independent minerals such as pitchblende. The near-ore wall rocks have only suffered weak alteration. Ore-forming temperatures are in the range of 250–89°C,  $\delta^{34}\text{S}$  values of pyrite are +10––24‰, and  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$  values of carbonate minerals are +8.81–+17.31‰. Ores are basically consistent with wall rocks in mineral and chemical composition,  $\delta^{34}\text{S}$  values and  $\delta^{18}\text{O}$  values. U–Pb ages of pitchblende are mostly 96–57 Ma with rather remarkable time difference between ore and rock, indicating obvious epigenetic transformation which, however, mainly took place within the original ore beds. It is therefore considered that these ore deposits are stratabound uranium deposits in carbonate formation.

The ore-forming process of these uranium deposits consists of the following three stages: (1) syosedimentary stage, forming uraniferous lime mud layer; (2) diagenetic-metallogenic stage, at which sediments were consolidated to form primitive ore bed first, and then the adsorbed uranium in this bed was partly crystallized to form microgranular pitchblende due to the deep-buried effects; (3) epigenetic enrichment stage, when superimposition and enrichment of uranium took place in the original ore bed as a result of transformation by underground water or heated water,