

DOI:10.3969/j.issn.1672-0636.2016.01.004

## 贵州 504 矿床铀矿化特征及控矿因素分析

莫帮洪<sup>1</sup>, 朱西养<sup>2</sup>, 姚毅锋<sup>1</sup>, 孙泽轩<sup>1</sup>, 张辑<sup>1</sup>

(1. 核工业二八〇研究所, 四川 广汉 618300; 2. 四川省核工业地质调查院, 成都 610000)

**[摘要]** 504 矿床是贵州省碳酸盐岩中唯一具有工业价值的铀-汞-钼多金属矿床。在野外调查和收集整理前人资料基础上, 从铀矿体空间定位、矿体特征、矿石特征、围岩蚀变、铀的存在形式、铀与某些化学成分及元素的关系、成矿年龄等方面对铀矿化特征进行了深入的分析和总结, 认为铀矿化受  $F_1$ 、 $F_2$  控制, 与黑色蚀变等多种蚀变关系密切, 产于一定层位; 控矿因素主要是断裂构造、岩性-构造组合、围岩蚀变以及有机质。根据该矿床外围找矿工作结果并结合对控矿因素的分析, 指出下一步工作应探索矿床深部的成矿潜力。

**[关键词]** 504 矿床; 铀矿化特征; 控矿因素

**[中图分类号]** P611; P619.14 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-0636(2016)01-0019-07

### Analysis on uranium mineralization characteristics and ore-controlling factors of Deposit 504, Guizhou

MO Banghong<sup>1</sup>, ZHU Xiyang<sup>2</sup>, YAO Yifeng<sup>1</sup>, SUN Zexuan<sup>1</sup>, ZHANG Ji<sup>1</sup>

(1. Research Institute No.280, CNNC, Guanghan, Sichuan 618300, China; 2. Institute of Nuclear Geology, Chengdu 610000, China)

**Abstract:** Deposit 504 is uranium-mercury-molybdenum polymetallic deposit, which is the only one with industrial value in carbonate rock in Guizhou. Based on field survey, collection and complication of previous data, this paper makes a deep analysis and summary on the uranium ore body space location, characteristics of ore, wall rock alteration and existing form of uranium, relationship between uranium and some chemical composition and elements, mineralization age. It is believed that uranium mineralization is produced in the specific strata which controlled by  $F_1$  and  $F_2$ , and closely associated with the black alteration and other alterations. The ore-controlling factors are mainly fractural structure, lithology and fault combination, wall rock alteration and organic matter. According to the results of exploration in the periphery of the deposit and analysis of ore-controlling factors, next efforts should be the exploration of metallogenetic potentiality in the deep.

**Key words:** Deposit 504; uranium mineralization characteristics; ore-controlling factors

贵州省 504 矿床汞矿开采冶炼最早可追溯到唐代, 铀矿的系统勘探、开采始于二十世纪六十年代, 闭坑于九十年代初。矿床富含铀(U)、汞(Hg)、钼(Mo), 伴生铊(Tl)、镍(Ni)、

**[基金项目]** 中国核工业地质局基础地质项目“西南地区非常规铀资源综合评价”(编号: 200840) 资助。

**[收稿日期]** 2015-10-12; **[修回日期]** 2015-12-06

**[作者简介]** 莫帮洪(1981—), 男, 四川广汉人, 工程师, 主要从事地质找矿工作。

E-mail: huntforjob@126.com

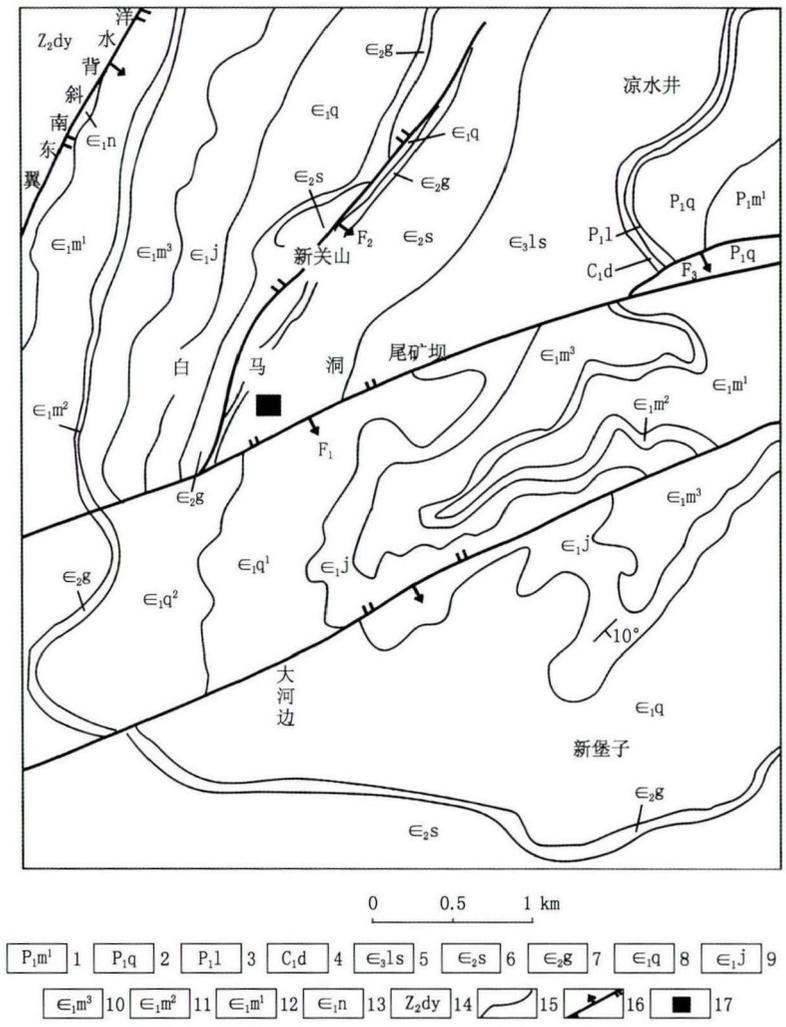
铟(In)、铼(Re)、硒(Se)等稀有元素。近年来,矿区被列为铀矿整装勘查区,新一轮科研及勘查工作相继开展。前人研究主要着重矿床各种稀有元素分布特征<sup>[1]</sup>,清虚洞组成矿的有利条件<sup>[2]</sup>,白马洞断层及其它构造<sup>[3]</sup>,矿床地球化学特征<sup>[4]</sup>等方面,对铀矿的进一步研究相对较少。笔者在矿区外围 1:10 000 地质、伽马能谱及岩石地球化学测量的基础上,对收集钻孔资料进行再认识,分析了 504 矿床铀矿化特征,提出矿化控矿因素,希望对矿床外围及深部找矿工作起到抛砖引玉的作用。

504 矿床地理位置位于开阳县双流镇白马村,距贵阳 61 km(图 1)。大地构造位置处于扬子准地台西南缘黔北台隆中部遵义断拱之贵阳复杂变形区上。

区域上,从新元古界板溪群至第四系均有出露,缺失奥陶系、志留系、泥盆系,以震旦系、寒武系、石炭系、二叠系为主,发育齐全,分布广,厚度大。岩性以浅海相碳酸盐岩和碎屑岩为主。岩浆岩、变质岩不发育。

区内构造发育,尤以断裂构造为主。断裂构造可分为 NNE 向和 NEE 向两组。NEE 向断裂为区域性大断裂,规模大,延伸远,控

### 1 区域地质背景



1—下二叠统茅口组; 2—下二叠统栖霞组; 3—下二叠统梁山组; 4—下石炭统大塘组; 5—上寒武统娄山关群; 6—中寒武统石冷水组; 7—中寒武统高台组; 8—下寒武统清虚洞组; 9—下寒武统金山组; 10—下寒武统明心寺组 3 段; 11—下寒武统明心寺组 2 段; 12—下寒武统明心寺组 1 段; 13—下寒武统牛蹄塘组; 14—上震旦统灯影组; 15—地层界线; 16—断层; 17—矿床位置。

图 1 白马洞地区地质图

Fig. 1 Geological map of Baimadong area

制了上下盘地层的整体展布, 总体上多为倾向南的逆断层, 具多期活动特征; NNE 向断裂规模小, 向南西延伸斜接于 NEE 向断裂之上。褶皱形态往往受断裂控制, 轴向呈 NNE 向和 NEE 向两组。白马洞断裂(F<sub>1</sub>)以北褶皱规模大, 轴向 NNE, 主要褶皱为洋水背斜; 以南褶皱规模小, 轴向 NEE。504 矿床位于洋水背斜南东翼倾没端, 白马洞断裂(F<sub>1</sub>)和犀牛洞断裂(F<sub>2</sub>)夹持部位。

## 2 矿区地质

矿区出露地层: 下寒武统清墟洞组(ε<sub>1q</sub>)、中寒武统高台组(ε<sub>2g</sub>)、石冷水组(ε<sub>3s</sub>)及上寒武统娄山关群(ε<sub>3ls</sub>)。震旦系、

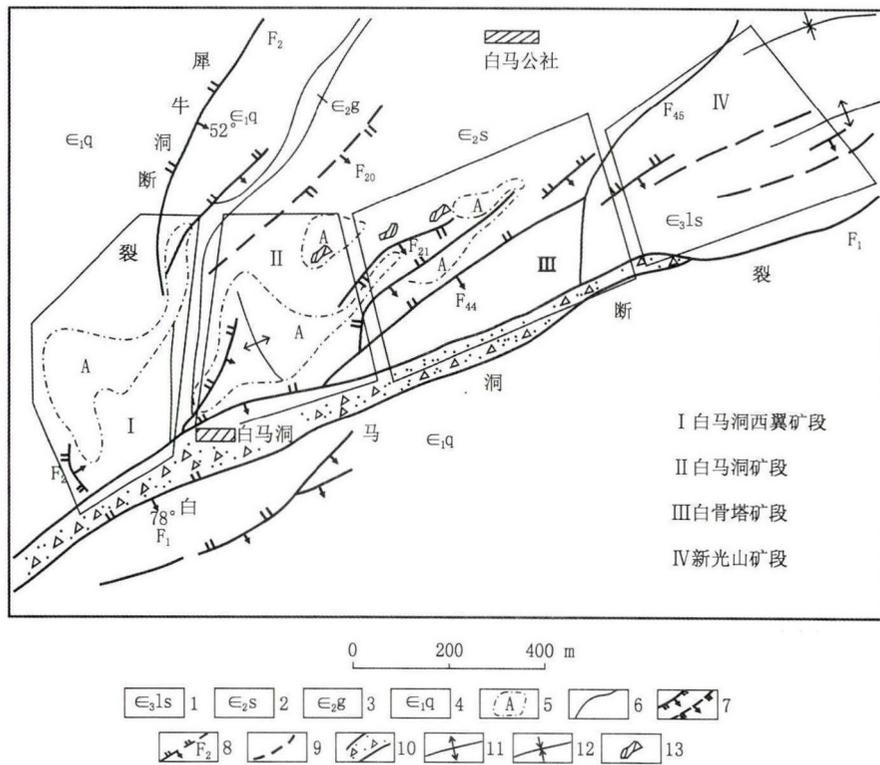
下寒武统出露于矿区西部, 石炭系、二叠系出露于东部。从表 1 可知, 含矿层是 ε<sub>1q</sub>、ε<sub>2g</sub>、ε<sub>2s</sub>, 岩性为黑色蚀变硅化岩, 黑色蚀变白云岩, 原岩蚀变强烈。含矿层下伏 ε<sub>1n</sub> 含铀背景值平均为 25.8×10<sup>-6</sup>, 钍铀比值小于 1, 可视为区域富铀层位, 对铀成矿有利; 含矿层碳酸盐岩含铀背景值高于震旦系、二叠系碳酸盐岩, 显示在沉积成岩过程中铀预富集基础条件好。

矿区断裂构造发育, F<sub>1</sub> 和 F<sub>2</sub> 控制了矿床的产出(图 2)。F<sub>1</sub> 为黔中深断裂的组成部分, 全长大于 54 km, 走向 80°左右, 倾向南, 倾角 50°~85°。破碎带较宽, 一般为 20~80 m, 两侧岩层多形成陡壁, 常见断层泥以及与断

表 1 504 矿床地层及含铀性  
Table 1 Stratigraphy and Uranium content of Deposit 504

系	统	地层及接触关系	岩性	厚度/m	U/10 <sup>-6</sup>	Th/10 <sup>-6</sup>
二叠系	下二叠统	茅口组(P <sub>1m</sub> )	生物碎屑灰岩、夹玄武岩	28~411	2.9	3.8
		栖霞组(P <sub>1q</sub> )	生物碎屑灰岩	123~207	2.9	3.8
		梁山组(P <sub>1l</sub> )	炭质页岩、黏土岩、粉砂岩夹煤	2~35	4.5	8.3
石炭系	下石炭统	大塘组(C <sub>1d</sub> )	铁铝质岩、砂岩、黏土岩	18~53	9.7	
寒武系	上寒武统	娄山关群(ε <sub>3ls</sub> )	含硅质团块微-细晶白云岩	330~368	3.2	4.1
			第 3 段: 上部砂状白云岩、石英粉砂岩; 中部白云岩; 底部砂状白云岩、砂岩。局部具蚀变, 发现异常	66		
	中寒武统	石冷水组(ε <sub>3s</sub> )	第 2 段: 致密状白云岩, 底部有薄板状泥质白云岩, 发育蚀变, 发现零星小矿体	84~96	5.4	5.6
			第 1 段: 鲕粒白云岩, 蚀变强烈, 为上矿带主要含矿层位, 发现工业矿体	34~63		
			第 2 段: 页岩及泥质白云岩, 厚度变化大, 局部完全蚀变为黑色硅化岩, 使上、下蚀变岩连通	7~40		
	下寒武统	高台组(ε <sub>2g</sub> )	第 1 段: 豆状白云岩、碎屑白云岩、泥质白云岩、硅质白云岩, 蚀变强烈, 为下矿带主要含矿层位, 发现工业矿体	14	4.8	7.5
			细晶白云岩, 底为泥质白云岩, 蚀变强烈, 为下矿带主要含矿层位, 发现工业矿体	68~102		
	下寒武统	清墟洞组(ε <sub>1q</sub> )	灰岩、白云质灰岩、泥质灰岩, 局部具蚀变, 发现异常	36~87	4.2	6.9
			含炭质、砂质页岩, 泥灰岩	34		
		金顶山组(ε <sub>1j</sub> )	粉砂岩、细砂岩、粉砂质页岩夹鲕粒灰岩	89~102	4.2	16.2
明星寺组(ε <sub>1m</sub> )		粉砂岩、细砂岩、粉砂质页岩	365~469	3.5	17.1	
牛蹄塘组(ε <sub>1n</sub> )		粉砂质黏土岩, 炭质页岩	126~138	25.8	14.3	
	底部硅质岩夹磷块岩		170.8	9.2		
震旦系	上震旦统	灯影组(Z <sub>2ly</sub> )	碎屑白云岩、藻屑白云岩	239~352	2.9	3.8

数据来源: 项目组使用 FD-3022 能谱仪在矿区外围进行 1:10 000 地质填图实地测量。



1—上寒武统娄山关群；2—中寒武统石冷水组；3—中寒武统高台组；4—下寒武统清虚洞组；5—蚀变硅化岩界；6—实测地质界线；7—实测、推测正断层及编号；8—实测、推测逆断层及编号；9—推测性质不明的断层；10—构造破碎带；11—背斜；12—向斜；13—地表铀矿体。

图 2 504 矿床地质略图 (据二机部三局二〇六地质大队修改, 1981)

Fig. 2 Sketch showing geology of Deposit 504 (Modified from Geologic Party No.206, Third Bureau in Second Ministry of Machinery Industry, 1981)

层泥胶结紧密的上下盘岩石碎块。该断裂破碎带内常见黑色蚀变硅质岩、白云岩、角砾岩, 黄铁矿及胶黄铁矿分布普遍, 黑色蚀变及深色重结晶蚀变发育。断层旁侧次级构造发育, 切割地层从震旦系至三叠系, 形成于燕山期, 喜山期有继承性活动, 是一条具有多期活动特征的压扭性断层, 控制了矿床南界面。F<sub>2</sub> 全长约 8 km 左右, 走向 10°~40°, 倾向南东, 为一压扭性逆冲断层, 南端呈弧形与 F<sub>1</sub> 相交。具弱黑色蚀变现象, 局部地段发现铀矿化, 控制了矿床的北西界面<sup>5</sup>。

受 F<sub>1</sub> 和 F<sub>2</sub> 影响, 在两断裂夹持部位发育 NE 向断裂组, 以及 NW 向、NE 向牵引褶皱<sup>6</sup>。

### 3 铀矿化特征

#### 3.1 铀矿体空间定位

平面上, 铀、汞、钼及其它稀有元素集中分布于 F<sub>1</sub> 和 F<sub>2</sub> 夹持部位层间蚀变带中, F<sub>1</sub> 南侧没有蚀变和矿化现象, F<sub>2</sub> 下盘与 F<sub>1</sub> 斜接

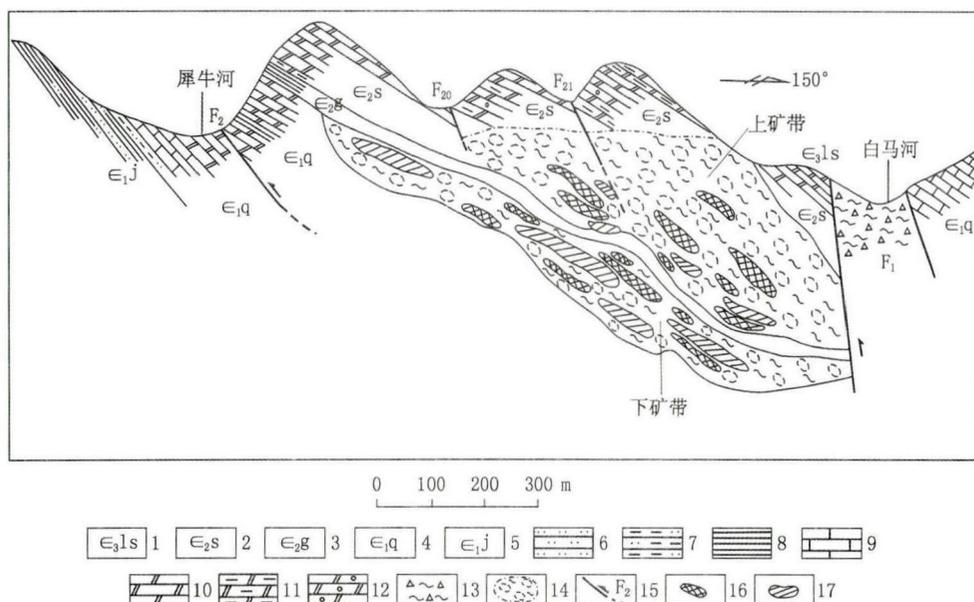
交汇处具弱蚀变, 仅有零星矿化。

剖面上, 根据铀矿体的产出部位、地层岩性及蚀变特征, 以高台组页岩为界, 分为上蚀变带和下蚀变带, 即上矿带和下矿带。上蚀变带走向 NE, 倾向 SE, 倾角一般 20°~30°, 局部近直立, 长 900 m, 延伸 150 m, 厚度 10~30 m, 中心大于 70 m; 下蚀变带走向 NE, 倾向 SE, 倾角 20°~35°, 长 850 m, 延伸 200~350 m, 一般厚度 32~62 m, 似层状, 与地层产状一致, 局部略有斜交, 产状变陡。底界起伏变化大, 形状复杂。就空间关系而言, 汞在上、下蚀变带储量相差不大, 铀主要产于下蚀变带, 80% 铀储量赋存于其中(图 3)。

铀矿体无论是上蚀变带或下蚀变带, 近地表矿体都是小而分散的, 与深部矿体都是不连续的, 产状也不一致。

#### 3.2 矿体特征

铀、汞、钼矿体有时分别单独出现, 有时以铀-汞、铀-钼、汞-钼、铀-汞-钼混合型



1—上寒武统娄山关群; 2—中寒武统石冷水组; 3—中寒武统高台组; 4—下寒武统清虚洞组; 5—下寒武统金山顶组; 6—粉砂岩; 7—粉砂质黏土岩; 8—页岩; 9—灰岩; 10—白云岩; 11—泥质白云岩; 12—鲕状白云岩; 13—断层角砾岩; 14—硅质蚀变岩; 15—实测、推测断层及编号; 16—汞矿体; 17—铀矿体。

图 3 504 矿床剖面示意图 (据二机部三局二〇六地质大队修改, 1981)

Fig. 3 Schematic profile of Deposit 504 (Modified from Geologic Party No.206, Third Bureau in Second Ministry of Machinery Industry, 1981)

矿体出现。单铀或以铀为主的矿体共圈定 142 个, 矿体一般长 30~80 m, 宽 10~20 m, 厚 0.7~5 m, 平均厚度 6.5 m, 铀平均品位 0.098%。赋存标高 1 250~1 100 m, 矿化垂幅 150 m。矿体形状和产状变化大, 小而分散。上蚀变带中矿体形态多呈透镜状、不规则巢状; 下蚀变带中呈似层状、透镜状(图 4)。

### 3.3 矿石特征

矿石可分为酸性矿石(黑色蚀变硅化岩)和碱性矿石(黑色蚀变白云岩)两类, 铀在两类矿石的储量比为 1.004<sup>[5]</sup>, 铀矿化对围岩无选择性, 垂直分带规律性不强。金属矿物为硫铜矿、胶黄铁矿、黄铁矿、辉锑矿、辰砂、赤铁矿、闪锌矿、辉钼矿、自然汞、针镍矿、沥青铀矿等; 非金属矿物为石英、白云石、重晶石、绢云母、石墨、方解石、萤石、固体沥青等。

### 3.4 围岩蚀变

围岩蚀变类型多, 蚀变强烈是 504 矿床的重要特征。蚀变类型主要为黑色蚀变、硅化、其次为黄铁矿化、红化、方解石化、重晶石化、黏土化、萤石化。

黑色蚀变是该矿床分布最广、最为独特的蚀变, 主要包括黑色蚀变硅化岩、黑色蚀

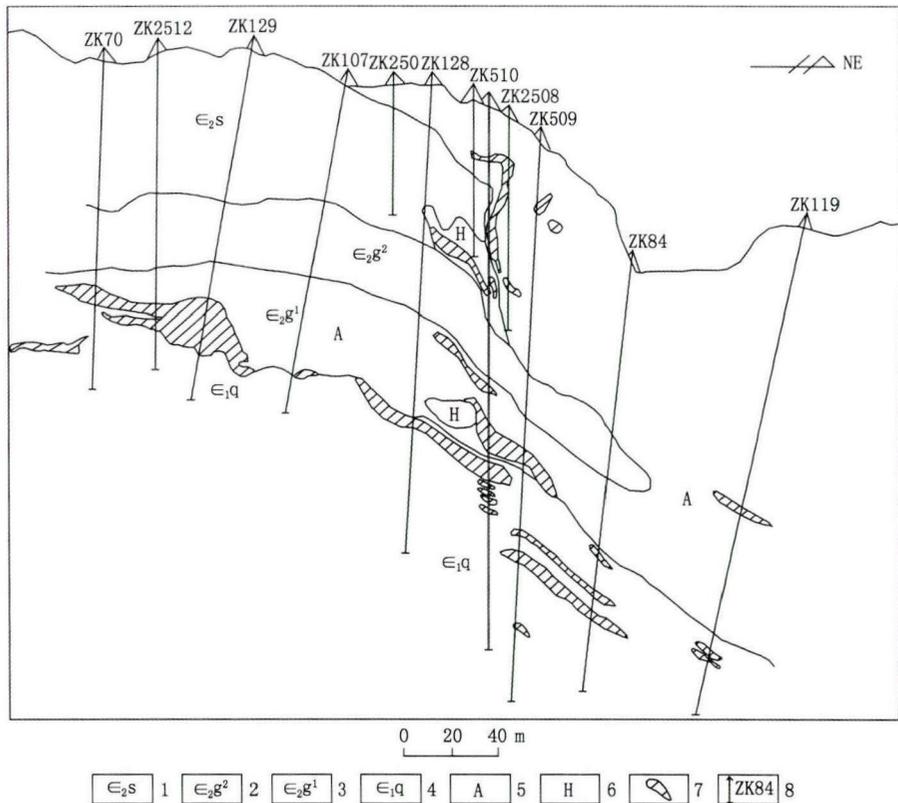
变白云岩、黑色蚀变角砾岩等, 常常叠加硅化及黏土化。矿物成分主要是黑色微细粒黄铁矿、胶黄铁矿、烟灰状金属硫化物和有机质, 少量为沥青和石墨, 呈微细脉状、团块状、云雾状分布在岩石中, 致使原岩黑化。黑色蚀变岩石以黑色蚀变硅化岩为主, 主要化学成分为 SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TFe, 三者含量一般大于 85%。有机碳含量明显增加, 同时还含有原白云岩缺乏的 As、Sb、Ni、Zn、Mo、Co、Ba、Zr、Sr 等元素, 反应强烈的交代作用带来了大量成矿物质<sup>[7]</sup>。

与铀矿化关系密切的其它蚀变还包括黄铁矿化、红化、方解石化, 原生铀矿物常产于黄铁矿、赤铁矿和方解石细脉中。

### 3.5 铀的存在形式

矿石中铀主要以沥青铀矿和吸附状态铀存在。沥青铀矿以显微、超显微粒级, 呈胶状、肾状主要分布于黑色蚀变白云岩中。沥青铀矿产出形式: 沥青铀矿-黄铁矿-辉锑矿-方解石脉、沥青铀矿-黄铁矿-有机质细脉或方解石细脉、沥青铀矿-赤铁矿-方解石脉; 吸附状态铀主要分布于黑色蚀变硅化岩中, 以分散吸附状存在于有机质和烟灰状硫化物中。

地表可见铀黑、钙铀云母、铜铀云母等



1—中寒武统石冷水组；2—中寒武统高台组第1段；3—中寒武统高台组第2段；4—下寒武统清虚洞组；5—黑色蚀变硅化岩；6—黑色蚀变白云岩；7—铀矿体；8—钻孔位置及编号。

图 4 504 矿床 25—25' 勘探线剖面图 (据二机部三局二〇六地质大队修改, 1981)

Fig. 4 Profile along prospecting line 25-25' of Deposit 504 (Modified from Geologic Party No.206, Third Bureau in Second Ministry of Machinery Industry, 1981)

次生铀矿物。

### 3.6 铀与某些化学成分及元素的关系

U、Hg、Mo 相关性不强<sup>[1]</sup>。U 与 Ni、Re、Se、Au、Cu、Co、Zn、Pb 正相关。此外，U 还与 S<sup>2-</sup>、有机碳正相关<sup>[7]</sup>，与 SiO<sub>2</sub> 负相关，与 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 正相关<sup>[8]</sup>。

### 3.7 成矿年龄

根据沥青铀矿铀-铅同位素年龄数据，矿石与含矿主岩时差很大。含矿主岩属于早寒武世晚期-中寒武世(513~507 Ma)，而铀成矿年龄较晚，可分为 3 期：第 1 期 51.5~44.7 Ma<sup>[7]</sup>；第 2 期 37.5~37.3 Ma；第 3 期 28.9~27.8 Ma<sup>[8]</sup>。

## 4 控矿因素

### 4.1 构造控矿

F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub> 控制了矿区地层和构造的展布，构成了矿区基本构造格架。F<sub>1</sub> 以北地区位于洋水背斜 SE 翼，地层倾向 SE。构造简单，以 NNE 向断裂构造为主，斜接交汇于 F<sub>1</sub>，F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub> 控制了蚀变带的边界，铀矿体受两断裂围限。

F<sub>1</sub> 以南，F<sub>2</sub> 以北、以西围岩蚀变弱，仅发现零星矿体。无论是地表还是深部，铀矿体均产于两断裂夹持部位，F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub> 控制了次级构造的分布。受 F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub> 影响，矿区广泛发育 NW、NE 向牵引褶皱以及 F<sub>20</sub>、F<sub>22</sub>、F<sub>44</sub> 等 NE 向断裂，铀矿产于 NE 向与 NW 向小褶皱横跨部位。断裂发育，岩石破碎，进一步促进蚀变发育。铀多富集于黑色松散粉末状硅化岩、黏土状硅化岩以及孔隙较多的黑色蚀变白云岩中；F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub> 多期次活动，为矿液的迁移、富集创造有利条件，对成矿起了叠加改造作用。铀、汞、钼及稀有元素在混合型矿体中更富，以及成矿年龄可分为 3 期便是佐证。

### 4.2 岩性-构造组合控矿

铀矿产于 ε<sub>1q</sub>、ε<sub>2g</sub>、ε<sub>2s</sub>，以 ε<sub>1q</sub> 为主。首先，区域上，ε<sub>1q</sub> 矿产丰富。如务川木油厂超大型汞矿、松桃嗅脑铅锌矿、都匀牛角塘铅锌矿、铜仁穿洞铀矿点和湖南花垣铅锌矿等<sup>[2]</sup>。其次，ε<sub>1q</sub> 底部页岩、黏土岩，ε<sub>2g</sub> 页岩，ε<sub>2s</sub> 顶部石英粉砂岩与碳酸盐岩构成了

页岩-碳酸盐岩-页岩(粉砂岩)组合,碳酸盐岩受力容易破碎,利于构造发育,是良好的储矿场所。而页岩、粉砂岩透水性差,对矿液的迁移起着阻挡作用,易于形成地球化学障。岩性组合与 $F_1$ 、 $F_2$ 共同构成了铀成矿的半封闭-半开放空间,矿液沿着导矿构造运移,在 $F_1$ 、 $F_2$ 断层破碎带及 $\epsilon_{2g}$ 页岩的阻挡下,于 $\epsilon_{1q}$ 、 $\epsilon_{2s}$ 破碎的岩石中进行充分的成矿作用进而富集为矿。

#### 4.3 蚀变控矿

野外露头围岩呈白色而完整,含矿主岩呈黑色夹红色且破碎,这是最直接的找矿标志,从侧面反映了矿床广泛发育以黑色蚀变、黄铁矿化、红化为代表的中-低温热液蚀变。含矿主岩为一套浅海相碳酸盐岩建造,成矿元素含量近于地壳平均值<sup>[1,7]</sup>。上述围岩蚀变改变了原岩白云岩的成分、结构和构造,交代作用本身就是矿化富集的过程。铀、汞、钼矿体均产于蚀变带中,未蚀变的围岩则很少发现异常。U与 $Al_2O_3$ 、TFe、 $S^{2-}$ 等化学成分正相关,与Pb、Zn、Ni、Co等元素也呈正相关,说明铀与以金属硫化物为代表的黑色蚀变、黄铁矿化、红化具有密切关系,这与铀矿体的空间定位相互印证。

#### 4.4 有机质控矿

不论是砂岩型铀矿,还是碳硅泥岩型铀矿,有机质都是铀的重要吸附剂和还原剂<sup>[9]</sup>。铀在沉积-成岩阶段被有机质吸附,易于形成铀的预富集,表现为含矿层 $\epsilon_{1q}$ 、 $\epsilon_{2g}$ 、 $\epsilon_{2s}$ 铀含量背景值高于 $P_{1q}$ 、 $P_{1m}$ 。有机质在分解腐烂的同时会产生大量 $H_2S$ 等还原性气体,降低成矿溶液的Eh值,改变成矿地球化学环境,从而促使铀的沉淀富集。此外,有机质本身含有大量吸附铀。因此,有机质与铀矿化关系密切。沥青铀矿产于有机质细脉中,黑色蚀变硅化岩中的铀主要以吸附状态存在于有机质中,以及铀与有机碳呈正比,这些事实证明了有机质对铀的控制作用。

## 5 结论

综上所述,无论是地表还是深部,铀矿体都位于 $F_1$ 、 $F_2$ 夹持部位,两断裂控制了黑色蚀变岩的分布,从而控制了矿体空间位置,

且分别构成了矿床南界面和北西界面。主要的工业矿体定位于下蚀变带中,与黑色蚀变、黄铁矿化、红化、方解石化密切相关,产于 $\epsilon_{1q}$ 、 $\epsilon_{2g}$ 、 $\epsilon_{2s}$ 破碎强烈、孔隙较多的岩石中。复杂多变的矿体形态,为数众多的矿物共生组合,以及成矿年龄的多期性均说明矿床是在构造-岩性-热液有机配合下相互作用形成的。控矿因素是断裂构造、岩性-构造组合、围岩蚀变以及有机质。

已完成的矿床外围1:10 000地质测量及配套物化探工作并没有发现有价值的异常点(带),也没有较好的物化探异常显示。通过对控矿因素的研究,认为下一步工作应该在 $F_1$ 以北地区,加强对控矿构造基本地质特征的研究,并开展针对矿床深部的物化探方法,探索矿床深部的成矿潜力。

#### 参考文献:

- [1] 张维乾,黄开平,陈广庆.贵州省504铀矿床伴生元素分布规律及对深部找矿的意义[C]//张金带.中国核科学技术进展报告:第二卷.北京:原子能出版社,2011:28-37.
- [2] 李朝阳,刘玉平,叶霖,等.有关贵州成矿研究中的几个问题讨论[J].矿物岩石地球化学通报,2003,22(4):350-355.
- [3] 徐争启,张成江,钟康惠,等.白马洞断裂新认识及其意义[J].矿物学报,2013,31(S1):238-237.
- [4] 杨瑞东,任海利,刘坤,等.贵州开阳白马洞铀矿化层地球化学特征[J].现代地质,2014,28(5):905-914.
- [5] 中南二〇九队第六队调查组.贵州省开阳县白马洞矿床调查报告[R].贵阳:中南二〇九队第六队调查组,1974.
- [6] 二机部三局二〇六地质大队.贵州省铜仁-玉屏地区下中寒武统部分地层铀矿化特征[R].贵阳:二机部三局二〇六地质大队,1981.
- [7] 陈露明.504铀矿床成因探讨[J].铀矿地质,1990,6(3):135-145.
- [8] 黄凯平,张维干,陈广庆,等.贵州504铀汞钼矿床新认识及找矿方向[C]//张金带.中国核科学技术进展报告:第二卷.北京:原子能出版社,2011:1-6.
- [9] 王朋冲,徐争启,李萍,等.373铀矿有机质和铀成矿关系[J].金属矿山,2014,453(3):101-104.