

DOI:10.19431/j.cnki.1673-0062.2022.01.011

## 四川省攀枝花大田地区铀矿化分布特征、 控制因素及找矿方向

王凤岗<sup>1</sup>,姚建<sup>2</sup>,吴玉<sup>1</sup>,孙泽轩<sup>2</sup>,李秋实<sup>1</sup>

(1.核工业北京地质研究院,北京 100029;2.核工业 280 研究所,四川 广汉 618300)

**摘要:**康滇地轴铀矿化在形成时代、矿化特征、矿化成因上均与我国其他地区区别明显,其中四川省攀枝花大田地区是康滇地轴铀矿地质研究程度最高的地区。近年来通过开展物探测量、钻探工程揭露及室内综合研究等工作,在矿区内共发现了 I 号、II 号及 III 号铀矿化带,铀矿体主要产于 I 号铀矿化带中,铀矿体主要呈透镜状分布。本文根据含矿围岩类型并结合矿化特征,初步将研究区铀矿化划分为蚀变斜长岩型、糜棱岩型及接触变质岩型砂 3 种类型,并分析了不同类型铀矿化的主要控制因素,初步探讨了不同类型铀矿化成因。综合研究认为,大田地区地表找矿方向应集中于 I 号、II 号铀矿化西部及黄泥田岩体边缘,深部找矿方向应聚焦于花岗质岩体与变质围岩接触界面。

**关键词:**铀矿化;控制因素;接触变质作用;分异作用;攀枝花大田地区

**中图分类号:**P619.14 **文献标志码:**A

**文章编号:**1673-0062(2022)01-0072-08

## Distribution Characteristics, Controlling Factors and Prospecting Direction of Uranium Mineralization in Panzhihua Datian Area, Sichuan Province

WANG Fenggang<sup>1</sup>, YAO Jian<sup>2</sup>, WU Yu<sup>1</sup>, SUN Zexuan<sup>2</sup>, LI Qiushi<sup>1</sup>

(1. Beijing Research Institute of Uranium Geology, China National Corporation, Beijing 100029, China;

2. Research Institute No. 280, China National Corporation, Guanghan, Sichuan 618300, China)

**Abstract:** The uranium mineralization age, mineralization characteristics and mineralization genesis in Kangdian axis are unique in China. So far, Datian uranium deposit, located in Panzhihua, Sichuan Province, is the area with the highest research degree. In recent years, I, II and III uranium mineralization belts have been found through geophysical survey, drilling engineering and comprehensive study indoor. Uranium orebodies are

收稿日期:2021-10-24

基金项目:中国核工业地质局“康滇地轴铀成矿环境及选区研究”项目支助(202137-3)

作者简介:王凤岗(1977—),男,正高级工程师,主要从事岩石矿物学及铀矿地质方面的研究。E-mail:wfg9818@163.com

mainly found in the I uranium mineralization belt, which distributed discontinuously in the shape of lens. Three uranium mineralization types are divided according to the ore-bearing wall rock and mineralization characteristics, including altered plagioclase type, mylonite type and contact metamorphism type. The main controlling factors of different types of uranium mineralization are analyzed, and the genesis of different types of uranium mineralization is discussed. According to comprehensive research, it is considered that the surface prospecting direction should be concentrated in the west of I, II uranium mineralization belt and the edge of Huangnitian rock mass. The deep prospecting direction should focus on the contact interface between granitic rock mass and metamorphic surrounding rock.

**key words:** Uranium mineralization; controlling factor; contact metamorphism; differentiation Datian area in Panzhihua

## 0 引言

四川省攀枝花大田地区隶属于康滇地轴,是该地轴区最重要的铀矿化区,目前工作程度最高,该地区开展的钻探工作量累计超过 20 000 m,所控制的铀资源量达到了小型铀矿床规模,成为康滇地轴首个铀矿床<sup>[1]</sup>。

自 20 世纪 50 年代在该地区发现铀异常以来,陆续在该地区开展了几轮铀矿找矿工作,但受矿化类型特殊、基础地质研究程度薄弱等因素影响,铀矿地质研究中一些关键的问题仍存在较大争议,如该地区铀矿化表现形式多样,不同表现形式可能是同一期同一成矿作用下形成的不同的表现形式,还可能是多期不同铀成矿作用的结果。该地区铀矿化的成因也一直是争议的焦点,存在构造—热液型<sup>[1]</sup>、热液型<sup>[2]</sup>及深变质岩或混合岩型<sup>[3]</sup>等多种观点。不同的成因观点表现在控制因素上也存在明显的差异,如构造热液型优先考虑构造蚀变对铀成矿的控制作用,深变质岩或混合岩型则优先考虑区域变质作用对铀成矿作用的控制。控制因素上的认识不清导致在找矿方向目标不明确,进而影响了该地区铀矿找矿工作有效开展。

近年来,国家对该地区铀矿找矿工作越发重视,通过开展大比例尺地质填图及物探面积测量等工作,不仅在已知铀矿化外围发现了新的铀矿化,而且对该地区铀成矿作用的研究也取得了一些新的认识。本文根据最近几年取得的最新勘查进展,综合研究结果及工作区存在的主要问题,重点对该地区铀矿化空间展布、类型、控制因素进行论述,并根据最新认识提出了找矿方向,为该地区今后取得铀矿深入研究及找矿新突破提供依据。

## 1 区域及矿床地质

四川省攀枝花大田铀矿化区位于扬子陆块西缘(图 1(a))的康滇地轴中部(图 1(b)),区内发育一套太古宇—元古界角闪岩相变的中高级变质岩基底,以混合岩、黑云斜长片麻岩、变粒岩、斜长角闪岩为主,原岩为一套基性火山岩和中酸性火山—沉积岩。盖层为震旦系和古生界、中生界以及零星出露的新近系和第四系。区域构造以近南北向断裂为主,大田铀矿化区内的构造主要为北西向的  $F_3$  以及近东西向的  $F_1$ 、 $F_2$  及  $F_4$ 。区内岩浆岩以新元古界石英闪长岩、片麻状钾长花岗岩和黑云斜长花岗岩为主(图 1(b))。

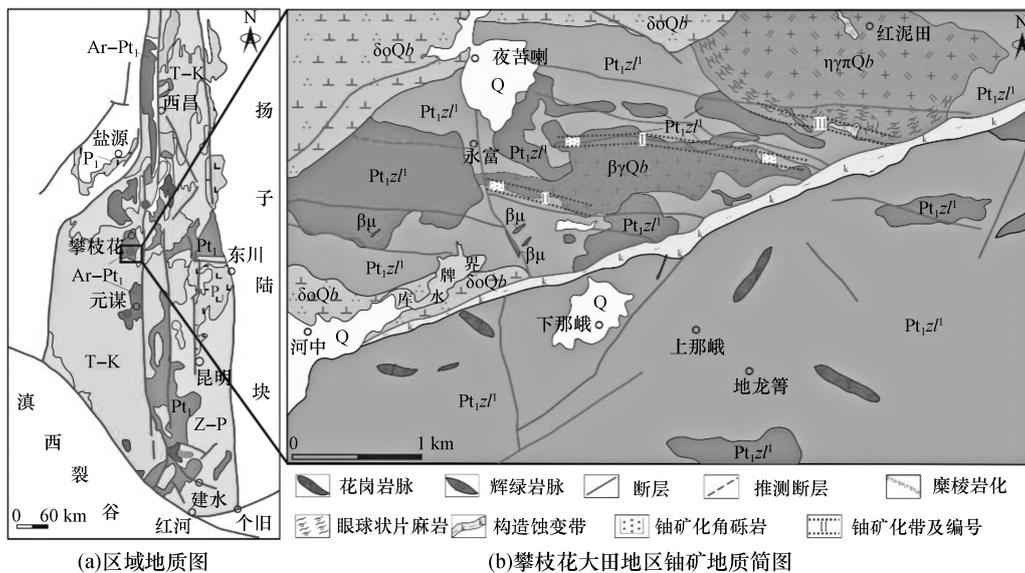
## 2 铀矿化分布规律及表现特征

### 2.1 铀矿化分布特征

早期在攀枝花大田地区共发现了 I 号和 II 号矿化带,二者呈近东西向平行展布。近年,通过地表 1:10 000 比例尺  $^{210}\text{Po}$  和氡气面积测量,在 I 号和 II 号矿化带北侧发现存在呈带状展布的铀异常,后经地表查证,在放射性异常高值区内发现了地表出露的铀矿化,进而确认在已知矿化区北部存在 III 号铀矿化带。

I 号矿化带位于矿区中部,对应于  $F_1$  断裂,长度约 3 km,该带目前是攀枝花大田地区最主要的铀矿化带,无论是规模、地表铀异常发育强度还是钻探工程揭露深部铀矿化情况均最好,地表及深部铀矿化均不连续,铀矿化主要以透镜状为主。II 号矿化带位于矿区南部,对应于  $F_2$  断裂,矿化连续性较差,仅在地表发现一处铀矿化,此外,在该带向东延伸方向发现了铀矿化,总体显示具有

一定的规模。Ⅲ号矿化带位于矿区最北部,对应于  $F_4$  断裂,长度约 2.3 km,铀矿化连续性较差,放射性强度在 3 个矿化带中最弱。



Q—第四系; $P_1L_2^2$ —康定群咱里组二段含石墨黑云母斜长片麻岩、黑云斜长混合岩; $P_1L_1^1$ —康定群咱里组一段斜长角闪岩、斜长角闪混合岩; $\beta\gamma Q_b$ —晋宁期黑云斜长花岗岩; $\eta\gamma\pi Q_b$ —晋宁期斑状二长花岗岩; $\delta\sigma Q_b$ —晋宁期石英闪长岩。

图1 攀枝花大田地区地质简图  
Fig.1 Schematic geological map of Datian area in Panzhihua

通过槽探揭露,在地表共圈定铀矿(化)体 15 个,其中 I 号矿化带圈定铀矿体 7 个,铀矿化体 4 个,II 号矿化带圈定铀矿体 1 个,III 号矿化带内圈定铀矿化体 3 个<sup>[1]</sup>。赋矿围岩十分复杂,主要有蚀变斜长岩、眼球状糜棱岩、接触变质岩等。

通过钻探查证,在深部圈定铀矿体 18 个,其中 I 号矿化带 17 个,II 号矿化带 1 个。矿体多呈透镜状,少量脉状,走向近东西,沿走向长约 200 ~ 500 m,沿倾向延伸 100 ~ 200 m,平均水平厚度 0.73 ~ 1.14 m,平均品位 0.077% ~ 0.321%<sup>[1]</sup>。III 号矿化带由于发现较晚,仅施工了 2 个钻探工程,没有落实铀矿体。

### 2.2 铀矿化特征

根据赋矿围岩并结合铀成矿年龄、铀矿化特征等,初步将攀枝花大田地区铀矿化划分为接触变质岩型、蚀变斜长岩型及糜棱岩型 3 种类型。

#### 1) 接触变质岩型

接触变质岩型铀矿化主要产于片麻状黑云斜长花岗岩与富钙变质围岩接触部位,接触处多形成角砾状岩石,地表矿化角砾岩露头规模一般长约 20 ~ 30 m,宽约 5 ~ 6 m,个别地段宽度可达 10 ~ 20 m。角砾岩主要由两部分组成,即暗色的角砾及浅色的胶结物,二者各自比例不固定,即使

同一地点不同地方也存在较大差异。暗色角砾主要为富钙的变质围岩,以斜长角闪岩类为主,暗色角砾粒径大小不一,小者一般 5 ~ 6 cm,大者可达 1 ~ 2 m,暗色角砾通常棱角分明,很少呈浑圆状,暗色角砾的可拼接性也因地而异,有的地方暗色角砾显示具有较好的拼接性,有的地段则较凌乱,可拼接性较差(图 2(a))。浅色胶结物主要为片麻状黑云斜长花岗岩,主要由黑云母、石英、斜长石组成,且上述各组成含量较稳定,总体以中细粒为主(图 2(b)),局部可见呈“囊状”的伟晶状岩石。浅色胶结物中的黑云母具有定向排列特征,形成片麻状构造。暗色角砾被浅色花岗岩细脉切割的现象较普遍(图 2(a),(b))。角砾岩中的铀矿化总体呈“星点状”分布,铀异常的范围长约 10 ~ 30 cm,最长可达 40 ~ 50 cm,宽与长相当或稍短。铀异常主要分布于浅色胶结物与暗色角砾接触部位(图 2(b))。花岗岩胶结物中铀矿化则很少,铀矿化发育处往往伴随有钠交代现象。铀矿物基本都为晶质铀矿,产于接触变质作用及混染交代作用所形成的接触变质岩及混染岩带内,以接触变质带内为主,该带内广泛发育接触变质作用所形成的钙铁辉石、透辉石、阳起石及透闪石等典型接触变质矿物,有些晶质铀矿被钙铁辉石、透

辉石等矿物包裹,形成典型的接触变质岩型铀矿化(图 2(c))。

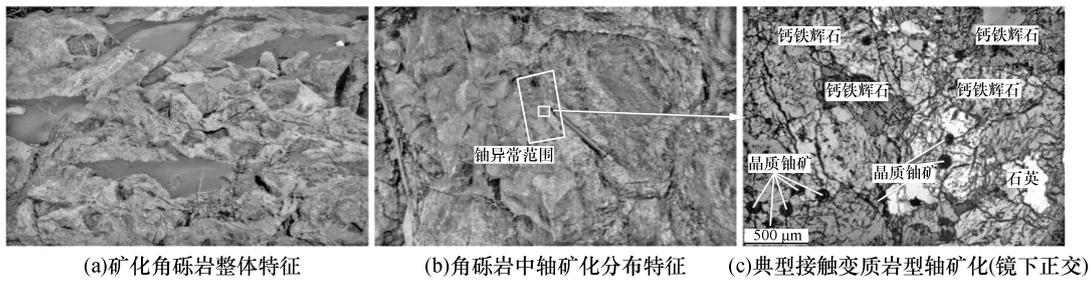


图 2 攀枝花大田地区接触变质岩型铀矿化

Fig. 2 Contact metamorphic type uranium mineralization in Datian area, Panzhihua

2) 蚀变斜长岩型

包括 II 号矿化带铀矿化透镜体露头及富铀滚石两个方面,该类型铀矿化具有两个主要的特点:一是含矿围岩特殊;二是铀赋存状态特殊。铀矿化透镜体露头呈雁列式展布,与外围岩石接触界限清晰、截然,铀矿化透镜体与围岩在岩性特征上也明显不同,含矿透镜体坚硬致密,主要以强烈钠黝帘石化的斜长石为主,见少量石英,基本不含暗色矿物。其中斜长石多为短柱状,聚片双晶发育,半自形-自形为主,粒度一般为 0.5 cm 左右,中细粒为主,矿物间呈镶嵌结构。铀矿化透镜体露头可见次生铀矿物发育,个别部位可见晶质铀矿,伽马能谱测量值最高可达  $7\,000 \times 10^{-6}$ , 取样化学分析结果显示 U 含量为 0.96%, Th 含量为 0.05%。围岩风化强烈,主要由石英、斜长石和少量黑云母组成,并因风化而疏松,识别原岩较为困难,推测原岩可能为风化的花岗岩或混合岩的浅色体。岩石无钠交代现象,并包裹较多的暗色岩石团块,推测为捕虏体或混合岩的古成体。透镜体中铀主要呈独特的“铀钛矿物聚集”形式存在,主要由“金红石+铀钛混合物+钛铀矿+晶质铀矿+锆石”等矿物组成,且具有由“金红石(Ti)→铀钛混合

物(Ti>U)→钛铀矿(Ti<U)→晶质铀矿(U)”的演化特征,该现象目前仅发现于康滇地轴。根据铀矿物与透镜体的关系及铀矿物稀土元素示踪等综合判断,铀矿化具有岩浆成因属性,推测在深部高温(>700 °C)高压(>1.5×10<sup>9</sup> Pa)的环境中形成<sup>[4]</sup>。

富铀滚石主要发现于大田铀矿化区 I、II 号铀矿化带之间的水沟下游,富铀滚石散落长度超过 200 m,已发现的富铀滚石块度大小不一,小者仅 2~3 cm,大者超过 10 cm,多呈磨圆-次棱角状。富铀滚石基本由铀矿物组成,很少见富铀围岩,黑色的铀矿物为原生的晶质铀矿,而浅色的主要为次生铀矿物,主要为硅钙铀矿,受次生铀矿物影响,富铀滚石多呈鲜土黄色(图 3(a)),个别受表面镁铁质氧化薄膜的影响而显黑色。滚石几乎全部由晶质铀矿及次生铀矿物组成,化学分析结果显示铀含量高达 50% 以上。富铀滚石中的铀主要以晶质铀矿形式存在,且以巨粒的晶质铀矿为主(图 3(a),(b)),大者可达 1 cm 左右。粒度较大的晶质铀矿微裂纹发育,在微裂纹中可见呈脉状的沥青铀矿(图 3(b))。因遭受长期的表生作用影响,次生铀矿十分发育,主要有硅钙铀矿、硅铅铀矿等。

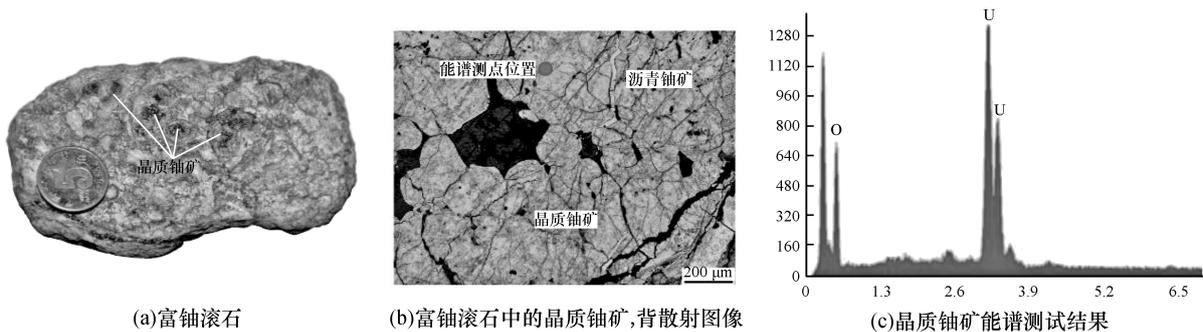


图 3 大田地区富铀滚石岩石及铀矿物特征

Fig. 3 characteristics of uranium-rich rolling stone rocks and uranium minerals in Datian area

### 3) 糜棱岩型

糜棱岩型铀矿化主要分布于黄泥田岩体边缘的糜棱岩化带中(即Ⅲ号铀矿化带),局部可见黑灰色钾长石呈眼球状定向排列,眼球状方向与区域片理方向一致,总体呈东西向。矿化糜棱岩主要由钾长石及石英组成,矿物定向排列现象极为强烈。经 $\gamma$ 辐射仪测量发现,铀异常值一般为地表本底值的3倍左右,最高可超过 $300 \times 10^{-6}$ (图5(c))。由于矿化强度总体不高,地表基本看不到原生铀矿化存在,仅在局部见少量次生铀矿物。地表控制铀矿化长度百余米,总体呈近东西向展布。

## 3 控制因素分析

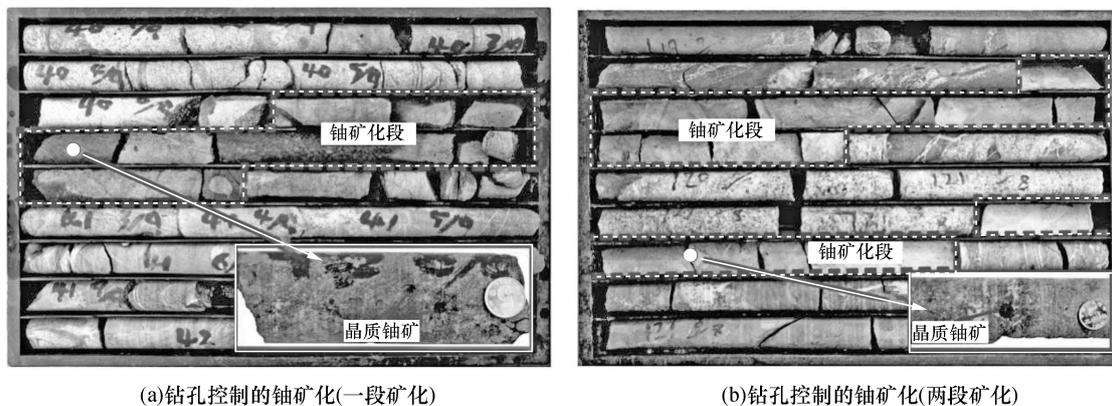
初步研究发现,不同的铀矿化类型主要的控制因素也不同。

### 3.1 接触变质岩型铀矿化控制因素分析

接触变质岩型铀矿化均产出于花岗岩与富钙变质围岩接触部位(见图2及图4),花岗岩在侵

位过程中发生了分异作用,在岩体边缘与刚性暗色富钙围岩接触的某些部位形成了P、Ti、Na、Cl、F等挥发组分的高度聚集,随着岩浆分异作用的不断增强,内压不断增大,当压力超过岩层静压力后就形成了角砾岩。

在深部封闭的环境中,花岗岩与富钙变质围岩发生了广泛的接触变质和混染交代作用,作用的结果形成了钙铁辉石-透辉石及阳起石-透闪石等典型接触变质矿物。同时,因热作用导致变质围岩中的暗色矿物发生分解,且花岗岩体分异出的Na交代了富钙围岩中斜长石为主的富Ca矿物,从而形成了混染交代作用。在接触变质及混染交代作用中,被Na替换出的Ca与Ti、P等形成榍石、磷灰石,导致U与Ti、Na、P等组成的络合物发生分解,从而形成了U的结晶,形成铀矿化。无论是接触变质作用还是混染交代作用均需要一个较长的阶段,有利于晶质铀矿的生长,从而形成大颗粒的晶质铀矿。



(a) 钻孔控制的铀矿化(一段矿化)

(b) 钻孔控制的铀矿化(两段矿化)

图4 大田地区铀矿化岩心特征

Fig. 4 Characteristics of uranium mineralization core in Datian area

由上可知,该类型铀矿化在整体上受花岗岩体与变质围岩接触界面控制,进一步细化可分为“聚、运、沉淀”3个方面。聚是指花岗岩的分异作用,分异的结果使U、Ti、P、Na等成矿组分趋向于在岩体的边缘聚集,在此过程中形成了铀的富集;运是指络合迁移方式,可与U形成络合物的主要是Ti、P、Na等,特别是U可与Ti、Na形成复杂的络合物并进行迁移<sup>[4-5]</sup>;沉淀是花岗岩与富钙变质围岩之间发生的接触变质作用和混染交代作用,该作用过程中导致络合物发生分解,促使铀沉淀,并在接触部位的接触变质岩中形成铀矿化。

### 3.2 蚀变斜长岩型铀矿化控制因素分析

蚀变斜长岩型铀矿化的赋矿围岩主要为蚀变斜长岩,且铀与斜长岩具有同源、同时形成的特征,因此,该类型的铀矿化主要受斜长岩控制,其中斜长岩中的Ti是U迁移富集的关键<sup>[4]</sup>。

### 3.3 糜棱岩型铀矿化控制因素分析

糜棱岩型铀矿化产于黄泥田岩体边缘,因该岩体边缘广泛发育眼球状构造,故以往一直将其看作是眼球状混合岩。近年来通过野外地质调查及室内综合研究证实为花岗岩体,主要证据如下: 1) 经野外地质调查,在该岩体中心部位发现了未

变形的核部(图5(a)),且该岩体从中心到边缘具有由未变形粗粒钾长花岗岩—粗粒眼球状钾长花岗岩—细粒眼球状钾长花岗岩—糜棱岩的变化规律(图5),该现象否定其为区域变质作用形成的混合岩的可能性;2)野外及室内综合研究发现,组成眼球的为钾长石单矿物而不是多种矿物组成的聚斑晶,因此该眼球为矿物变形而不是混合岩化所致<sup>[6]</sup>;3)采自眼球状花岗岩样品中的锆石具有典型的岩浆锆石特征而无变质锆石特征;4)岩

体与变质围岩接触部位可见二者明显呈侵入接触关系。

铀矿化主要产于岩体最外缘的糜棱岩带中(图5(c)),虽然该矿化带中铀的存在形式尚未查明,但从矿化表现形式看,铀矿化强烈处并未见明显的构造及热液蚀变现象,排除了热液铀成矿的可能性,由此推断,铀矿化主要与岩体边缘的糜棱岩有关,受控于岩体边缘的糜棱岩化带。

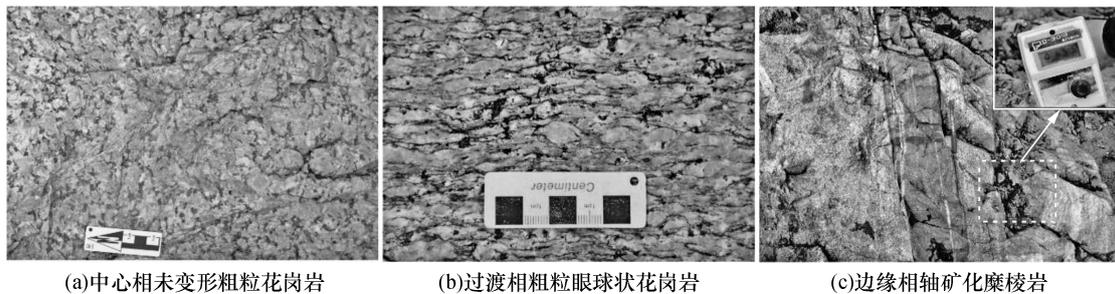


图5 大田地区黄泥田岩体演化特征

Fig. 5 Evolution characteristics of Huangnitian rock mass in Datian area

## 4 讨论

### 4.1 铀矿化时间及期次

攀枝花大田地区铀矿化是康滇地轴最为复杂的地区,这种复杂性既表现在矿化形式多样性方面,也体现在成矿多期次性上。王凤岗<sup>①</sup>等系统研究了该地区铀矿化年龄,研究结果显示,蚀变斜长岩透镜体中铀矿物 LA-ICPMS 原位 U-Pb 年龄为 889 Ma,富铀滚石中晶质铀矿 LA-ICPMS 原位 U-Pb 年龄为 887 Ma,二者在产出位置及赋矿围岩都具有很好的可比性,二者共同形成了该地区最早一期铀矿化,在成因上与蚀变斜长岩关系紧密,属蚀变斜长岩型铀矿化。Ⅲ号铀矿化带中黄泥田岩体矿化糜棱岩及粗粒眼球状花岗岩 SIMS 锆石 U-Pb 同位素年龄分别为 813 Ma 和 840 Ma,且均具有岩浆岩锆石特征,可代表岩体及矿化糜棱岩形成年龄,目前暂未获取铀矿物年龄,但根据铀矿化与岩体之间的关系推断,铀矿化年龄应与岩体年龄应该接近,糜棱岩型铀矿化形成该地区的第二期铀矿化。地表及深部钻孔矿化岩心中接触变质岩中晶质铀矿 LA-ICPMS 原位 U-Pb 年龄测试结果主要集中于 746 Ma ~ 751 Ma 之间,代表

了该地区最晚一期铀成矿作用,同时也是最主要的找矿目标类型。由此可见,大田地区铀矿化可初步划分为 3 个期次,最早一期铀矿化形成于 889 Ma ~ 880 Ma,第二期铀矿化形成时间约 813 Ma ~ 840 Ma,第三期铀矿化形成于 746 Ma ~ 751 Ma,分别对应于蚀变斜长岩型、糜棱岩型及接触变质岩型铀矿化。

### 4.2 接触变质作用、混染交代作用、角砾岩化及铀矿化之间的联系

典型的接触变质作用形成于基性-酸性岩体与碳酸盐接触部位,而攀枝花大田地区富钙围岩主要为斜长角闪岩类,因此接触变质作用发生的强度和范围均较为有限,接触变质作用形成的规模通常集中于花岗岩体与变质围岩接触部位数厘米到数十厘米范围内,铀矿化即产出在接触变质岩范围内。因受岩浆侵位过程中热作用影响,除形成接触变质岩外,还形成了更为广泛的混染交代作用,主要表现为围岩中暗色矿物分解及浅色花岗质熔体不同程度地混入到围岩中,形成既不同花岗岩也不同于正常围岩的复杂岩石,并形成一系列复杂的地质现象,如特殊的岩石结构,不同

① 王凤岗. 康滇地轴永郎—禄丰地区铀成矿远景预测评价[R]. 北京:核工业北京地质研究院, 2017: 69-85.

世代矿物共存,某些矿物的超常富集等,同时伴随着强烈的交代现象,主要有黄铁矿化、钠黝帘石化、绿泥石化、硅化等。

接触变质作用、混染交代作用、铀矿化等通常都与角砾岩化相联系,前文对角砾岩的形成已有论述,主要与花岗岩体分异出的挥发分有关,而挥发分则是铀重要的矿化剂,与铀形成络合物进行迁移并在岩体边缘聚集,铀络合物因接触变质作用而分解,从而在接触变质岩内形成了铀矿化。

#### 4.3 成因初探

攀枝花大田地区铀矿化成因目前还存在较大争议,因某些铀矿化在表观上与混合岩十分相似,因此很容易认为铀矿化与混合岩化有关,但一些关键的地质现象明显与混合岩化不符:一是变质作用时间与铀矿化时间不对应,徐争启等测得大田地区变质作用时间为840 Ma~900 Ma<sup>[2]</sup>,柏勇等通过基性岩脉年龄限定该地区混合岩化时间早于780 Ma<sup>[7]</sup>,且铀矿化具有多期性,变质作用与铀矿化时代不对应,特别是主要找矿目标类型的铀成矿时代(约750 Ma)与变质作用时间间隔很大。二是通过野外地质调查发现,混合岩化作用并不普遍,仅在局部发育,且混合岩的岩石中无明显的铀异常甚至铀含量增高现象,结合混合岩形成机理,混合岩化作用过程中铀经历了一个“由分散到分散”的过程,不利于铀的聚集也不能够提供足够的铀源。三是主要找矿目标类型铀矿化主要产在暗色岩石中,如为混合岩化作用形成的铀矿化必然会产于浅色体中而不是暗色岩石中。

因该地区具有多期、多类型的成矿特征,因此很难运用一种成因模式去解释该地区所有的铀矿化,但该地区所有铀矿化一个共同的特点就是铀矿化都与熔体有关,结晶分异及部分熔融是熔体中铀矿化形成最主要的两个方面<sup>[8-9]</sup>,熔体分异作用会促使铀趋向于在岩体的边缘、接触带及捕虏体中富集<sup>[10-11]</sup>。攀枝花大田地区I号、II号矿化角砾岩及钻孔中揭示的铀矿化都产于弱片麻状黑云斜长花岗岩体边缘与变质围岩接触带附近,弱片麻状黑云斜长花岗岩分异作用导致U、Ti、P、Na等组分在岩体边缘富集,并因接触变质作用导致铀矿物形成。III号铀矿化带在成因上与黄泥田岩体分异有关,黄泥田岩体由中心到边缘具有“未变形粗粒钾长花岗岩—粗粒眼球状钾长花岗岩—细粒眼球状花岗岩—糜棱岩”的演化过程,铀矿化随岩体演化在边缘富集,并因侵位深致使在侵位过程中因与围岩发生作用而导致边缘发生糜棱

岩化。蚀变斜长岩中的铀矿化无论是富矿围岩还是铀的存在形式均极为罕见,目前仅见于攀枝花大田地区,具有特殊的成因,钠长石化则为斜长岩熔体演化到最晚期自交代作用形成,推测为铀矿化也在此过程中形成。

不同产出环境、成因类型、物理-化学条件下的铀矿床,其铀矿物的主量元素、稀土元素可以用来表征铀矿床的成因<sup>[12-15]</sup>,王凤岗系统研究了大田地区铀矿物特征,研究结果显示铀矿物稀土配分曲线与纳米比亚罗辛等典型岩浆成因矿床一致, $\sum \text{REE}-(\text{U}/\text{Th})$ 图解显示,铀矿物形成与高温(>450 °C)岩浆作用有关,进一步验证了岩浆作用有关的观点。

## 5 找矿方向

根据目前研究,攀枝花大田地区今后找矿方向应从以下几个方面开展:

### 1) 接触变质岩型铀矿化

该类型是最主要的找矿目标类型,找矿方向宜从两个方面开展:即外围和深部。大田地区I、II号铀矿化带实为花岗岩体与变质围岩的接触带,该带在西部未封闭,且在II号铀矿化带西部延长方向地表发现了至少2处矿化角砾岩露头,总规模与I号铀矿化带规模相当,显示在西侧仍具有找矿潜力。此外,通过氦气面积测量,在F<sub>3</sub>断裂东侧也发现了明显的放射性异常显示,值得开展进一步的工作。目前深部找矿工作难度较大,一是矿化不连续,二是控制铀矿化的花岗岩与变质围岩接触界面产状较陡,钻孔部署近则控制矿化深度浅,钻孔部署远则不容易控制铀矿化,因此深部找矿应从两个方面开展:一是通过有效的物探方法查明花岗岩体与变质围岩接触界面在深部延展情况,为钻探工程部署提供依据;二是钻孔施工过程中不宜部署直钻,倾斜施工钻探工程找矿效果会更好。

### 2) 糜棱岩型铀矿化

该类型铀矿化主要分布于III号铀矿化带,该带目前无论是研究程度还是深部控制程度均最低,需进一步加强地质调查、物化探工作及深部钻探查证工作,因铀矿化主要受黄泥田岩体边缘糜棱岩带控制,故浅表找矿工作重点应围绕黄泥田岩体边缘与变质围岩接触界面的糜棱岩带为重点,深部找矿工作应通过有效的物探方法掌握黄泥田岩体与变质围岩接触界面在深部延展情况,

然后通过钻探进行查证。

此外,黄泥田岩体被更晚期的大田石英闪长岩分割为两个部分,规模较大的部分为黄泥田岩体,该部分控制了Ⅲ号铀矿化带产出,规模较小的部分位于矿区北部中坝地区,控制了该地区一些铀异常,但受岩体规模所限,总体找矿潜力有限。

3) Ⅱ号铀矿化带中的铀矿化蚀变斜长岩透镜体该类型铀矿化较为特殊,目前仅发现于攀枝花大田地区,经地表工程揭露,在深部仍存在铀矿化的透镜体,目前应以地表露头为线索就矿找矿。

## 6 结 论

通过野外地质调查、钻探工程揭露及室内综合研究,初步形成如下结论:

1) 攀枝花大田地区具有Ⅰ号、Ⅱ号及Ⅲ号共三个铀矿化带,目前发现的铀矿体主要集中于Ⅰ号铀矿化带中,铀矿体不连续,主要以透镜状为主。

2) 研究区的铀矿化可分为接触变质岩型,蚀变斜长岩型和糜棱岩型3种,其中接触变质岩型铀矿化受控于弱片麻状斜长花岗岩分异作用及其与富钙变质围岩之间发生的接触变质作用和混染交代作用,蚀变斜长岩中的铀矿化受控于蚀变斜长岩,糜棱岩中的铀矿化受控于黄泥田岩体边缘的糜棱岩带。

3) 根据不同的铀矿化类型和控制因素,今后找矿方向应集中于Ⅰ号、Ⅱ号铀矿化带西部及黄泥田岩体边缘(包括中坝地区),在深部找矿重点应集中于岩体与变质围岩接触部位。

### 参考文献:

- [1] 孙泽轩,陈友良,姚建,等. 攀枝花大田铀矿床基本特征及成因[J]. 地质论评,2020,66(4):1005-1018.
- [2] 徐争启,张成江,欧阳鑫东,等. 攀枝花大田铀矿床年代学特征及其意义[J]. 铀矿地质,2017,33(5):

280-287.

- [3] 姚建. 攀枝花市大田地区混合岩成因研究[D]. 成都:成都理工大学,2014:58-60.
- [4] 王凤岗,姚建,吴玉,等. 四川攀枝花大田铀矿化透镜体地质特征、成因及其对深源铀成矿的启示[J]. 中国地质,2020:1-22(2020-08-04)[2021-10-06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20200804.1016.006.html>.
- [5] 王凤岗,姚建. 云南牟定地区巨粒晶质铀矿成因新认识:一种与钠长岩有关的新型铀矿化[J]. 地质论评,2020,66(3):739-754.
- [6] 杨振升,徐仲元,刘正宏,等. 高级变质区地质调查与综合研究方法[M]. 北京:地质出版社,2008:133-135.
- [7] 柏勇,徐争启,秦琪瑞,等. 攀枝花大田地区辉绿岩脉/花岗质岩脉年代学特征及其地质意义[J]. 铀矿地质,2019,35(2):80-87.
- [8] CUNEY M. The extreme diversity of uranium deposits[J]. Miner deposita,2009,44:3-9.
- [9] CUNEY M. Felsic magmatism and uranium deposits[J]. Bulletin de la société géologique de France,2014,185(2):75-92.
- [10] 刘英俊,曹励明,李兆麟,等. 元素地球化学[M]. 北京:科学出版社,1984:220-223.
- [11] 罗朝文,王剑锋. 铀成矿原理[M]. 北京:原子能出版社,1990:40-42.
- [12] MERCADIER J,CUNEY M,LACH P,et al. Origin of uranium deposits revealed by their rare earth element signature[J]. Terra nova,2011,23(4):264-269.
- [13] FRIMMEL H E,SCHEDDEL S,BRÄTZ H. Uraninites chemistry as forensic tool for provenance analysis[J]. Applied geochemistry,2014,48:104-121.
- [14] ALEXANDRE P,KYSER T K,LAYTON M K,et al. Chemical compositions of natural uraninite[J]. The canadian mineralogist,2015,53(4):595-622.
- [15] SPANO T L,SIMONETTI A,WHEELER T,et al. A novel nuclear forensic tool involving deposit type normalized rare earth element signatures[J]. Terra nova,2017,29(5):294-305.