

文章编号: 0258-7106(2012)02-0369-11

赣南大富足花岗岩体西部铀成矿条件及找矿前景*

张运涛^{1,2}, 张小平², 裴荣富¹, 陈永飞², 倪修义², 王浩琳¹, 邱小平³, 于波^{1,4}

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 江西省核工业地质局二六四大队, 江西 赣州 341000;

3 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 4 广东省地质建设工程集团公司, 广东 广州 510080)

摘 要 赣南大富足花岗岩体位于南岭构造带北部, 与武夷山构造带南段交汇处, 为印支-燕山期复式花岗岩岩体。岩体西部的河草坑铀矿田是中国重要的铀矿田之一。大富足花岗岩基由小富足、上寮、赤泥、富城、草桃背 5 个岩体组成, 均为富硅、贫铁镁、铝过饱和的钙碱性花岗岩, 具有较高的铀背景值。岩体西部边缘有一长 10 km、宽 1 km 的紫色蚀变带, 其下为绿色蚀变带, 铀矿体赋存于紫色带底部与绿色带界面上下。铀矿经过了花岗岩成矿阶段、火山岩成矿阶段和淋积叠加成矿阶段。文章通过分析基底地层、岩体特征、构造、区域蚀变及铀矿化控制因素等, 总结了该区“铀源丰富、热源充足、构造发育、蚀变强烈、剥蚀适中”等 5 个有利铀成矿条件, 在此基础上确定半岭及大坪山 2 处为最有远景的地段, 分别位于岩体西部火山机构附近铀矿隐伏区及北部地堑区。

关键词 地质学; 花岗岩体; 铀矿产地; 成矿作用; 成矿条件; 远景地段

中图分类号: P619.14

文献标志码: A

Uranium metallogenic condition and ore-search prospect of western Dafuzu massif in southern Jiangxi Province

ZHANG YunTao^{1,2}, ZHANG XiaoPing², PEI RongFu¹, CHEN YongFei², NI XiuYi²,
WANG HaoLin¹, QIU XiaoPing³ and YU Bo^{1,4}

(1 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 No. 264 Geological Party of Jiangxi Nuclear Industry, Ganzhou 341000, Jiangxi, China; 3 Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 4 Geological Construction Group of Guangdong Province, Guangzhou 510080, Guangdong, China)

Abstract

Lying in the conjunction between northern Nanling tectonic belt and southern Wuyishan tectonic belt, Dafuzu massif belongs to Indosinian-Yanshanian period in age. In its western part, the Hecaokeng uranium orefield was recently discovery. As one of the most important uranium ore fields in China, the Hecaokeng uranium ore-field consists of 7 uranium deposits and 20 uranium ore spots. The massif is composed of 5 granite plutons, namely Xiaofuzu, Shangliao, Chinie, Fucheng and Caotaobei, which are calc-alkali granites with rich silica, poor femic, oversaturated alumina and rich uranium. There exists a purple alteration zone 10 kilometers long and 1 kilometer wide within the western margin of the massif, beneath which is a green alteration zone. Uranium ore bodies are located near the interface between the two alteration zones. Based on an analysis of uranium ore-forming geological conditions in the study area such as regional geological background, pluton condition, tectonic

* 本文由国家科技部支撑计划项目(编号: 2009BAB43B04) 中央地质勘查基金项目(编号: 2011360003) 和江西省地勘基金项目(编号: 20110211) 联合资助

第一作者简介 张运涛, 男, 1967 年生, 在职博士研究生, 高级工程师, 从事矿床学、大比例尺成矿预测等研究。Email: zhangyuntao264@163.com

收稿日期 2011-03-31; 修回日期 2012-02-11。张绮玲编辑。

framework, regional alteration and uranium characteristics, the authors hold that rich uranium backgrounds, plentiful thermal sources, well-developed structures, intense alterations and moderate erosions constitute the main favorable prospecting conditions in the massif. The direction of future work is pointed out, and two favorable targets for further uranium exploration are delineated. One is located in the buried EW-trending fractures beneath western Dafuzu massif near the volcanic apparatus, and the other lies in the NEE-trending graben-like downfaulted zone of northern Dafuzu massif. These results are of guiding significance in search for deep-seated uranium deposits in the ore district and similar areas.

Key words: geology, granite body, uranium property, metallogenesis, metallogenic condition, potential target

大富足花岗岩体呈东西向展布, 横跨赣闽两省, 面积 1 100 km², 属印支-燕山期复式花岗岩岩体。在大富足岩体西部的小富足岩体、上寮岩体、草桃背岩体中, 前人先后发现了小富足、坳子背、上寮、草桃背、河草坑等铀矿床, 以及 20 余处铀矿点, 构成了河草坑铀矿田(张运涛等, 2012), 并于上世纪 90 年代初开发利用, 使之成为了中国重要的铀矿产地^①。本文根据大富足岩体的最新研究成果, 结合作者在野外的工作实践以及矿山开采验证, 着重阐述了大富足岩体西部铀矿的特征、有利成矿条件、不同成矿阶段和地质作用, 以及可供进一步扩大远景区的依据。

1 区域地质背景

大富足花岗岩体位于华南褶皱系武夷山北北东向隆起带南段, 与南岭带大余-会昌东西向构造带交接的复合部位。

1.1 基底地层及铀含量

大富足岩体基底由震旦系—寒武系组成(图 1)。赣南加里东运动后, 地槽开始回返, 并经挤压作用, 基底地层产生了强烈褶皱, 形成东西走向复式背、向斜, 并发生区域变质。震旦系为变质砂岩、硅质板岩, 寒武系为变质粉砂岩、碳质板岩, 底部为高碳质板岩。受大富足岩体侵入影响, 接触带产生了热变质, 常见斑点板岩、云母角岩或角岩化变质砂岩。基底地层属浅海相类复理石砂质碎屑岩建造, 铀含量较高, 震旦系 $\omega(\text{U})$ 为 $4.69 \times 10^{-6} \sim 5.4 \times 10^{-6}$, 寒武系 $\omega(\text{U})$ 为 $5.0 \times 10^{-6} \sim 8.4 \times 10^{-6}$, 大富足花岗岩体的热接触变质带的 $\omega(\text{U})$ 为 $3.8 \times 10^{-6} \sim 5.3 \times 10^{-6}$, 高出地壳同类岩石克拉克值(2.5×10^{-6})的 2~3 倍, 尤其是下寒武统牛角河群底部高碳质板岩,

$\omega(\text{U})$ 达 16.5×10^{-6} (张运涛等, 2010), 为铀的矿源层位和赋矿层位之一。岩体盖层为上白垩统红色砂岩, 组成了北东向展布的弧形弯曲断陷盆地(蔡煜琦等, 1997; 胡瑞忠等, 2004), 即“会昌红盆”, 约 700 km², 总厚度大于 1 500 m(张万良, 2007a), 不整合覆盖在岩体西部之上。上白垩统 $\omega(\text{U})$ 为 $2.9 \times 10^{-6} \sim 4.3 \times 10^{-6}$ 。

1.2 构造

大富足岩体西部处于武夷山幔坪-幔坡深层构造过渡带, 地壳厚度仅 31 km(付湘, 2002)。由此产生的邵武-河源深断裂长度超过 300 km, 深度已达上地幔(江西省地质矿产局, 1984)。南岭构造带和武夷构造带的长期联合作用, 形成了武夷山环状构造, 使该区的构造更为发育、更为复杂。岩体内断裂构造主要有 NNE 向、EW 向、NNW 向、NE 向 4 组。NNE 向断裂构造以碎裂花岗岩蚀变带为主要表现特征, EW 向断裂构造以硅化破碎带为主要特征, NE 向断裂构造以硅化破碎角砾岩带为特征, NNW 向断裂构造充填了中基性岩脉。EW 向构造形成时间最早、规模较小、形迹模糊, 构造带两侧岩石强烈破碎, 具多次活动, 且先压后扭, 为成矿前构造, 也为后期赋存铀矿提供了空间。NNE 向构造主要受石城-寻乌深断裂(邵武-河源深断裂南段)影响, 如松山排-上富构造、柏竹窝构造、蛇形构造等, 形成时间晚于 EW 向构造, 但活动时间长, 既为成矿期构造, 也是成矿后破坏性构造, 规模大、形迹清楚、等间距(约 1 km), 多为正断层。NE 向正断裂受武夷山环状构造影响, 内环逆时针牵引而成, 形成时间最晚, 具压扭性特征。

该区铀矿体的定位与断裂构造在空间上密切相关。区内坳子背-园段断裂与古坊-禾塘断裂之间的

① 周庭华. 1998. 会昌—寻乌火山岩带铀成矿远景调查报告. 内部资料.

铀矿暴露区内发现了坳子背、草桃背、河草坑等铀矿床及大量铀矿点,在地垒构造的铀矿剥蚀区内还残存着诸多异常点、带和矿根相铀矿体,在铀矿隐伏区保存着大量的盲矿体。NE 向柏竹窝构造、上富-松山排构造均为导矿构造,EW 向构造产生的次级断裂为储矿构造。铀矿体主要赋存于 NE 向与 EW 向构造交汇处附近的 EW 向构造内,在距主构造 0~80 m 范围内,矿体产状与构造带产状一致。

铀矿体形态、规模、质量与控矿构造性质、形态有一定关系。线型压性构造控制的矿体呈细脉状、串珠状,沿走向、倾向延伸短,形成质量较差矿体;密集细脉、网脉状裂隙群组成的控矿构造带,往往形成规模大、品位富的大矿体;糜棱岩、构造角砾岩组成的控矿构造,因围岩过于开放,不利于容矿,形成矿体质量较差。

2 岩体地质特征

2.1 岩体特征

大富足花岗岩体为印支-燕山期大型复式岩体。北部侵入于震旦系—寒武系内,西部被“会昌红盆”覆盖。大富足岩体西部由 5 个岩体组成(图 1),分别为小富足岩体、上寮岩体、赤泥岩体、富城岩体及草桃背岩体,均为富硅、贫铁镁, $K > Na$, 铝过饱和的钙碱性花岗岩(表 1)。主体花岗岩 $\delta Eu = 0.09 \sim 0.35$, 平均 0.20,属壳源岩石类型(章邦桐等,2002;张万良,2007b),显示出正常 S 型花岗岩的特征(周新民等,2006)。

小富足岩体面积 168 km²,主要分布于小富足、

园段、坳子背、河草坑等地,黑云母同位素年龄 212 Ma、214 Ma 和 250 Ma,锆石年龄 209 Ma、219 Ma、232 Ma^①,为印支期花岗岩(章邦桐等,2001;周新民等,2006;于津海等,2007),岩性为中粗粒似斑状黑云母花岗岩。小富足岩体斑晶有长石、石英,含量 10%。斜长石有较强的绢云母化,黑云母大多绿泥石化。小富足岩体 $\omega(U)$ 平均为 30×10^{-6} ,晶质铀矿占全岩铀的 7.2%,主要造岩矿物(占全岩 91.46%)的 $\omega(U)$ 为 24.69×10^{-6} 。与细粒似斑状黑云母花岗岩呈渐变接触关系。岩体内赋存有小富足铀矿床、河草坑铀矿床、坳子背铀金矿床及数个萤石矿床。

上寮岩体面积 44 km²,分布在上寮、古坊一带。岩性为细粒斑状黑云母花岗岩,斑晶为钾长石、斜长石、石英、白云母。斜长石斑晶和基质均已绢云母化,黑云母大多绿泥石化。岩体接触带部位,往往有 20~30 cm 宽的冷凝边。在垂向上存在着上细下粗的分带趋势。黑云母同位素年龄 209 Ma、212 Ma,锆石年龄 189 Ma、171 Ma^①。上寮岩体平均 $\omega(U)$ 为 16.5×10^{-6} ,全岩中晶质铀矿 $\omega(U)$ 为 15.21×10^{-6} ,占全岩铀的 84.5%。岩体内赋存有小富足铀矿床。

赤泥岩体呈岩瘤状分布于瑞金赤泥北部,面积 7 km²。岩性为中细粒含斑黑云母花岗岩,与中粒斑状黑云母花岗岩直接接触,同位素年龄 150 Ma^②,形成于燕山早期早阶段。岩石显示出微弱的钠交代作用,斜长石边缘和钾长石接触处见有钠长石净边,斜长石具绢云母化。主要造岩矿物颗粒之间界线不规则,表明岩石结晶条件较差。 $\omega(U)$ 为 8.6×10^{-6} 。

富城岩体仅出露在南部的会昌富城一带,分布

表 1 大富足岩体岩石化学成分及主要参数
Table 1 Chemical analyses of Dafuzu massif

岩体名称	$\omega(B)\%$												σ	K ₂ O+	K ₂ O/	ANKC	X
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	总和		Na ₂ O	Na ₂ O		
小富足	75.17	0.202	11.99	0.32	1.76	0.069	0.31	0.69	2.76	5.31	0.084	98.665	2.02	8.07	1.92	1.04	22.95
上寮	75.02	0.161	12.37	0.27	1.72	0.067	0.28	0.47	2.85	5.14	0.08	98.428	1.99	7.99	1.81	1.11	22.69
赤泥	72.91	0.219	13.64	0.62	1.19	0.045	0.27	0.50	3.10	4.95	0.151	97.595	2.17	8.05	1.68	1.19	21.79
富城	75.30	0.224	12.53	0.38	1.31	0.057	0.20	0.40	3.33	4.63	0.153	98.514	1.96	7.96	1.39	1.13	20.90
草桃背	74.18	0.124	13.63	0.22	1.28	0.088	0.43	0.47	2.95	5.26	0.15	98.782	2.16	8.21	1.78	1.18	22.66

注:化学全分析由江西省核工业地质局二六四大队实验室测定,硅酸盐全分析方法 GB-T14506-93,误差:0.7%。 σ 为里特曼指数,
 $ANKC = \frac{Al_2O_3}{Na_2O + K_2O + CaO}$ (分子比), $X = \frac{1}{5} SiO_2 + \frac{3}{5} \frac{K_2O}{Na_2O} (K_2O + Na_2O) - 2 CaO$ (质量分数)

① 核工业北京第三研究所,1988. 江西省会昌岩体的特征及其含铀性的研究. 内部资料.
② 周庭华,1998. 会昌—寻乌火山岩带铀成矿远景调查报告. 内部资料.

面积小,仅500 m宽。与上寮岩体呈侵入接触。岩性为细粒黑云母花岗岩,斜长石普遍绢云母化,黑云母大多绿泥石化。岩浆中的钠质较富,成岩后,钠的作用仍较强,产生大量新生钠长石。岩石中可见有电气石、黄玉。富城岩体 $\omega(\text{U})$ 为 20×10^{-6} ,人工重砂中晶质铀矿 $\omega(\text{U})$ 为20 g/t。

草桃背岩体面积 1.5 km^2 ,仅见于草桃背铀矿区南部,岩性为细粒似斑状黑云母花岗岩。蚀变发育,主要有绿泥石化、白云母化和水云母化。斜长石多蚀变为绢云母、水云母。草桃背岩体呈脉状贯入细粒斑状黑云母花岗岩中,与变质岩、混合岩及中粗粒斑状黑云母花岗岩呈侵入接触关系。岩体的 $\omega(\text{U})$ 为 37×10^{-6} 。

2.2 区域蚀变

由于石城-寻乌深断裂的多期多次活动,深断裂边缘的花岗岩岩体产生了强烈碱交代,在此基础上,在构造发育区,受湿热、半干燥气候影响,花岗岩顶部碎裂带加速矿物的改造,尤其在地表水或火山热液作用下,改造越来越彻底,黄铁矿氧化成褐铁矿、水针铁矿,整个岩石呈紫褐色,形成“紫色蚀变带”。紫色蚀变带主要分布于大富足岩体西部靠近“红盆”边缘,西部进入红盆,呈NE向展布,长约10 km、宽1 km,倾向向红盆基底内侧伏(王凤岗等,2009;黄斌等,2009)。草桃背、河草坑、上寮、古坊均有分布(图2)。草桃背铀矿床火山口周围隐爆角砾岩内的紫色带,受火山热液影响呈漏斗状向火山口深部延伸。紫色蚀变带中主要矿物为褐铁矿、水针铁矿、沥青铀矿、脂铅铀矿、硅钙铀矿、萤石、微晶石英、水云母、绢云母、白云母等。剖面上,紫色带只发育于浅部,浅者几米、几十米,深者一二百米,往下为“绿色蚀变带”。绿色蚀变带主要表现为黑云母绿泥石化和斜长石水云母化。大富足岩体西部的铀矿化在空间上受紫色带制约,地表常形成伽玛偏低场。铀矿体赋存在紫色带底部与绿色带界面的上下,随紫色带变化而变化。据统计,紫色带界面5 m以上矿体约占19.79%,界面上、下5 m之内矿体占18.75%,界面以下5 m矿体占61.46%。根据蚀变的强弱和颜色的深浅,紫色带大致可分为2级。一级紫色带蚀变程度弱、颜色浅、分布范围广,剖面上呈似层状,厚度由东向西加厚,可达200 m;二级紫色带分布面

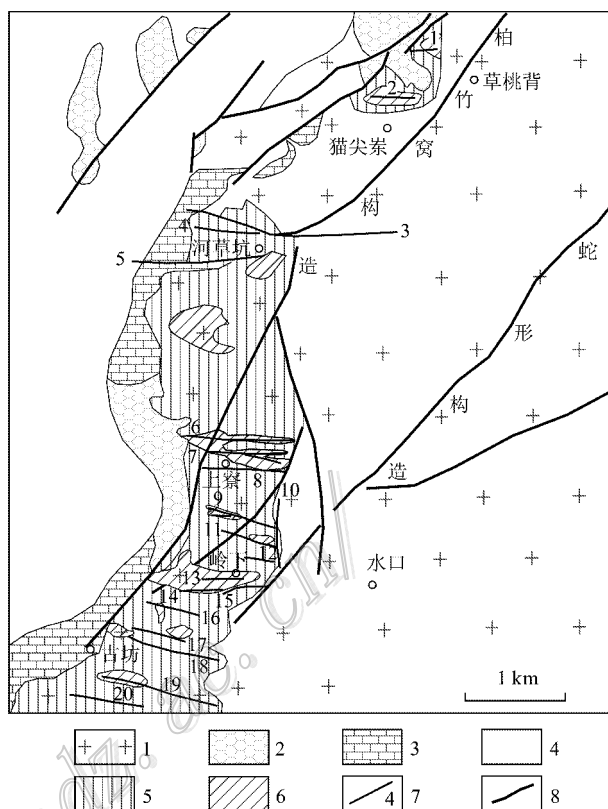


图2 大富足岩体靠近红盆边缘紫色带分布略图

1—花岗岩;2—安山岩;3—上白垩统红盆下段砂岩;4—上白垩统红盆上段砂岩;5—一级紫色带;6—二级紫色带;7—地表矿带编号;8—构造线

Fig. 2 Sketch geological map showing purple zone distribution in the western margin of Dafuzhu massif

1—Granite; 2—Andesite; 3—Lower Member sandstone of Upper Cretaceous; 4—Upper Member sandstone of Upper Cretaceous; 5—First class purple zone; 6—Second class purple zone; 7—Name of surface ore belt; 8—Fault

积小,构造控制,带状分布,蚀变程度强,与构造线方向一致,当几组构造交叉或平行相间出现时,往往呈面状产出。一级紫色带控制贫铀矿,二级紫色带控制富铀矿,紫色蚀变带向下迁移、富集,使铀元素重新配分(表2)。绿色蚀变带中铁质沿裂隙析出,晶质铀矿明显减少,副矿物菱铁矿、磷灰石等也随之减少(表3)。裂隙研究表明^①,晶质铀矿所含的铀在正常花岗岩中占全岩铀的84.5%。岩石经过强烈碱交代,晶质铀矿的 $\omega(\text{U})$ 从原来的 15.21×10^{-6} 下降到 6.24×10^{-6} ,而全岩 $\omega(\text{U})$ 增加了 11×10^{-6} ,裂隙铀

① 核工业北京第三研究所,1988.江西省会昌岩体的特征及其含铀性的研究.内部资料.

表 2 大富足岩体西部细粒花岗岩中铀配分变化表
Table 2 Uranium variation in fine-grained granite of western Dafuzu massif

矿物中铀总量 $\mu\text{(U)}/10^{-6}$	裂隙中铀总量 $\mu\text{(U)}/10^{-6}$ 及百分比	$\mu\text{(U)}/10^{-6}$	浸出率/ 10^{-6} 及百分比	
正常花岗岩	15.95	2.05 (11.39%)	18	0.86 (4.8%)
紫色蚀变带	3.93	11.22 (74.94%)	15	1.20 (8.0%)
绿色蚀变带	8.39	20.38 (71.10%)	29	1.80 (6.2%)

注：样品由江西省核工业地质局二六四大队实验室测试。

表 3 中粗粒黑云母花岗岩中各种蚀变岩石副矿物变化表(g/t)^①
Table 3 Accessory minerals in medium-coarse grained biotite granite in different localities

地点	样号	蚀变程度	晶质铀矿	黄铁矿	钛铁矿	锐钛矿	锆石	独居石	磷钇矿	磷灰石	电气石	萤石	菱铁矿	辉钼矿	石榴子石
河草坑	H-87	新鲜岩石	24	4.8		<0.1	1.59	111	7.8	47.4	<0.1	<0.1		4.5	5.7
岭下	H-64-5	紫色带		1.8	5.1	20.7	5.1	16.5	2.1	40.2		5.1	43.8		
草桃背	H-115	绿色带	<0.1	6	<0.1	6	53.4	2.55		6.9					

$\mu\text{(U)}$ 增加了 18.72×10^{-6} ,说明晶质铀矿中被淋滤出来的铀大量转入强烈碱交代岩石的裂隙中和矿物颗粒之间。紫色蚀变带中,全岩 $\mu\text{(U)}$ 明显减少了 14×10^{-6} ,而晶质铀矿全部淋失。

3 铀矿特征

3.1 分布特征

在大富足花岗岩体西部已发现铀矿床 7 个、铀矿点 5 处、铀矿化点 15 处,以及大量的放射性物、化探成矿信息。铀矿床集中分布在柏竹窝构造与松山排-上富构造之间的暴露区内,铀矿化点主要分布在柏竹窝构造以东的铀矿剥蚀区内(图 1)。铀矿床多定位在石城-寻乌深断裂旁侧,武夷山环状构造西北缘的花岗岩体内带,花岗岩外带矿床、矿点多定位在北部寒武系热变质带内。空间上,铀矿体埋深由东至西逐渐加深。东部剥蚀区内地表异常点、带遍布,矿体埋深 0~50 m,暴露区铀矿体埋深 150~250 m,并逐渐向西增大,多数以盲矿体形式向西侧伏。

3.2 矿化特征

该区铀矿体的规模和质量变化较大。矿体多受东西向构造及其次级裂隙控制,多倾向北,陡倾角,呈脉状或透镜状。花岗岩体内的矿体规模小,长度一般 100 m 左右,倾向延伸 50~100 m,品位一般 0.05%~0.08%,厚度 1 m 左右,成群成组出现;受火山机构控制的矿体品位 0.10%~0.20%,厚度 2~3 m,甚至成富矿段,产状和形态随火山机构形态而变化,受热变质控制的外带型矿体,品位可达 1% 以上,并常出现沥青铀矿脉,但规模较小;受紫色蚀

变带控制的铀矿体,规模稍大,品位中等,多呈缓倾斜向西侧伏的铀矿层。

沥青铀矿是区内唯一的原生铀矿石,呈暗灰黑色,沥青光泽,均质,反射率 12~14,呈球粒状、葡萄状集合体或脉状,脉宽 1~3 mm,常在黄铁矿周围或萤石脉中呈浸染状,或交代黄铁矿。常见的次生铀矿物有钙铀云母、铜铀云母、脂铅铀矿和残余铀黑。矿石矿物有黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、方铅矿,脉石矿物有石英、萤石和绿泥石。近矿围岩蚀变主要为黄铁矿化、赤铁矿化(红化)、硅化和紫黑色萤石化。

3.3 铀成矿作用

河草坑铀矿田的地质特征及铀成矿同位素年龄明显反映了 3 期成矿作用,形成了 3 种成因类型,分别来自 3 次地质事件(表 4)。第一期成矿作用(103~90 Ma)与华南地区铀成矿期一致,发生在华南地台开始活化的晚白垩世,地壳产生拉张(胡瑞忠等,2004),燕山晚期岩浆大量侵位,以及地幔流体作用于富铀岩体或地层,形成了花岗岩型铀矿,并造成了成岩作用与成矿作用的时差(华仁民,2005),随后拉张继续延续,赣南接受红盆沉积的同时,沿石城-寻乌深断裂,上地幔岩汁上涌,产生赣南最后一次火山活动旋回(王定生等,1995;毛孟才等,2003),使第一期形成的花岗岩型铀矿体、铀矿化或铀元素在火山热动力条件下发生迁移、富集,形成第二期火山岩型铀矿(70~50 Ma);最后,随着武夷山继续隆起并剥蚀,在武夷山环状构造影响下,蚀变作用增强,在地表水及火山热水的参与下,原来形成的第一、二期铀矿体、铀矿化或铀元素继续向下活化、迁移至紫色、绿色蚀变的氧化-还原界面,形成淋积型铀矿(40~

① 核工业北京第三研究所. 1988. 江西省会昌岩体的特征及其含铀性的研究. 内部资料.

表 4 大富足岩体西部铀成矿阶段及其特征表^①
Table 4 Uranium ore-forming stages and their features in western Dafuzu massif ?

成矿 期次	成因类型	成矿年龄/Ma	成矿时代	规模	质量	铀矿化 产状	数量	近矿蚀变	典型矿床
I	花岗岩型	103、89、94、 90	晚白垩世 (燕山晚期)	小、散	品位低、 厚度薄	EW/N \angle 75°	多	黄铁矿化、 黄铜矿化	河草坑、上寮、 黄田(外带)
II	火山岩型	72、67、56、 52、49	晚白垩世— 古新世	较大、集中	品位较高、 厚度中等	不规则	少	赤铁矿化、 萤石化	草桃背、坳子 背、小富足
III	淋积型	40、19、14	始新世—今	较大、集中	品位中等、 矿层厚	缓倾斜	少	赤铁矿化、 绿泥石化	上寮、车下 坳、古坊

注：成矿年龄引自张运涛等，2010，2012。

14 Ma)，即第三期铀矿体，这种淋积作用至今仍在进行(张运涛等，2010)。

3.4 草桃背矿床

三期成矿最有代表性的矿床是草桃背铀矿床。矿床位于河草坑铀矿田中心部位，南为河草坑铀矿床，北为坳子背铀矿床。矿床内主要有 3 条铀矿带，均集中分布于柏竹窝构造与松山排-上富构造夹持区(图 3)。I、II 号矿带受柏竹窝构造上盘近东西向裂隙控制，矿体均在细粒黑云母花岗岩与中粗粒黑云母花岗岩接触带，走向 75~80°，倾向 NW，倾角 70~75°。矿体走向长 20~30 m，少数达 50 m，沿倾向较稳定，一般 50~70 m，最大 150 m，平均品位 0.08%，最高 0.214%，赋存标高 400~250 m，呈东高西低趋势，沿走向呈阶梯状向西陷落。近矿围岩蚀变为黄铁矿化、黄铜矿化，铀成矿年龄为 103~89 Ma(张运涛等，2010)，为典型的花岗岩型。III 号矿带分布在猫尖寨火山口南侧，受火山颈外围隐爆角砾岩控制。猫尖寨火山由安山岩充填火山颈，呈上大下小的漏斗状，磁测显示为一向下无限延伸的柱状体(图 4)。火山颈南西侧为大量的花岗岩和安山岩碎块所组成的隐爆角砾岩、集块岩、细屑岩，并见有形态各异的安山岩屑，显然属地下隐爆的火山口。由于火山活动所带来的热动力，在火山颈南西侧的角砾岩、碎裂花岗岩中也形成了漏斗状的紫色蚀变带。铀矿体就产于隐爆角砾岩、碎裂花岗岩中(付湘，2002；李子颖等，2004)，呈半环状分布，为原花岗岩型铀矿体或铀矿化在火山热动力作用下再富集形成，平均品位增高， $w(\text{U})$ 达 0.243%，最高 >1%。矿体形态复杂，产状有陡、有缓，有透镜状、不规则状。矿体埋深自 350 m 标高延至 0 m 以下。围岩蚀

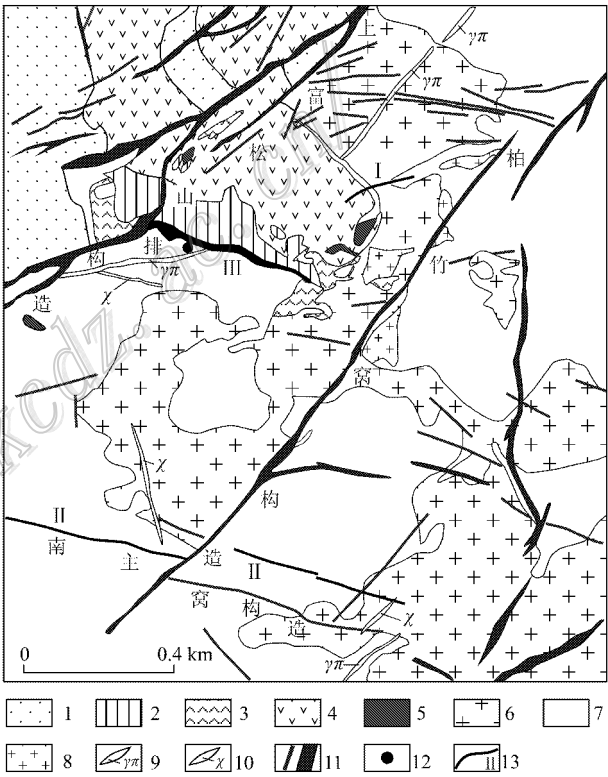


图 3 草桃背矿床地质图

1—白垩系紫红色砂砾、砂岩；2—安山质砾岩；3—花岗岩砾岩；4—安山岩；5—混合岩；6—燕山早期第一阶段花岗岩；7—燕山早期第二阶段花岗岩；8—燕山早期第三阶段花岗岩；9—花岗岩斑岩；10—煌斑岩脉；11—构造；12—铀矿；13—铀矿带

Fig. 3 Geological map of the Caotaobei uranium deposit
1—Cretaceous purple sandy conglomerate sandstone；2—Andesitic conglomerate；3—Granitic conglomerate；4—Andesite；5—Migmatite；6—First stage of early Yanshanian granite；7—Second stage of early Yanshanian granite；8—Third stage of early Yanshanian granite；9—Granite porphyry；10—Lamprophyre vein；11—Fault；12—Uranium deposit；13—Uranium-bearing belt

① 周庭华，1998，会昌—寻乌火山岩带铀成矿远景调查报告，内部资料。

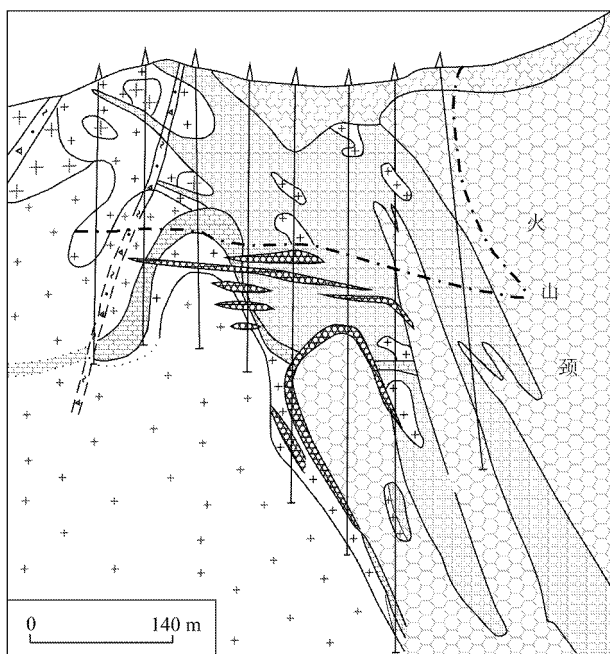


图 4 草桃背矿床 60 号纵剖面图

1—燕山早期黑云母花岗岩; 2—印支期黑云母花岗岩; 3—花岗岩斑岩; 4—震碎花岗岩; 5—安山岩; 6—隐爆角砾岩; 7—上白垩统火山角砾岩; 8—硅化破碎带; 9—紫色带与绿色带界面; 10—矿体

Fig. 4 No. 60 lengthwise section in the Caotaobei ore deposit
1—Early Yanshanian biotite granite; 2—Indosinian biotite granite;
3—Granite porphyry; 4—Shatter granite; 5—Andesite; 6—Crypto-explosion breccia; 7—Upper Cretaceous volcanic breccia; 8—Silicified fractured zone; 9—Interface between green zone and purple zone;
10—Ore body

变主要有赤铁矿化、萤石化、水云母化、碳酸盐化。成矿年龄为 52~72 Ma。铀矿体还有富集在火山口南西侧紫色蚀变带底部与绿色蚀变带接触部位,产状较缓,铀矿体同位素年龄 24 Ma,甚至 14 Ma,属淋积叠加型铀矿(张涛涛等,2010)。总之,3 次地质事件带来了 3 期铀成矿作用,出现了 3 种成因类型的矿体。

4 铀成矿条件

根据河草坑铀矿田的铀矿特征及成矿作用,笔者认为,大富足岩体西部地区具有“铀源丰富、热源充足、构造发育、蚀变强烈、剥蚀适中”5 个铀成矿有利条件,叙述如下。

4.1 铀源丰富

区内基底地层为古老结晶变质基底,铀含量高,

震旦系-寒武系浅变质岩 $w(U)$ 为 $4.69 \times 10^{-6} \sim 8.4 \times 10^{-6}$,高出地壳同类岩石克拉克值(2.5×10^{-6})的 2~3 倍,尤其是下寒武统牛角河群底部高碳质板岩, $w(U)$ 达 16.5×10^{-6} 。大富足岩体花岗岩 $w(U)$ $8.6 \times 10^{-6} \sim 37 \times 10^{-6}$,高于地壳同类岩石克拉克值(3×10^{-6})的 3~12 倍。其中小富足粗粒斑状花岗岩、上寮细粒斑状花岗岩及草桃背细粒似斑状花岗岩的 $w(U)$ 分别为 13.4×10^{-6} 、 16.6×10^{-6} 和 37×10^{-6} ,均已成为该区铀源层或高铀源体。花岗岩浆的多期多次侵入,不仅使基底的铀活化、迁移,岩浆本身也是高铀源体,岩浆期后的伟晶岩、细晶岩、石英斑岩、煌斑岩、辉绿岩等的侵入,是在挤压体制下导致的陆壳深熔产物,为内外接触带的成矿提供了矿汁和成矿的空间。丰富的铀源是铀成矿的基础。

4.2 热源充足

大富足岩体西部铀成矿与地质热事件密切相关。热事件带来大量的热水、热液,使岩石产生碱交代、紫色蚀变、绿色蚀变等,改变了围岩的物理性质,促使先形成的铀矿体或铀元素随热动力发生生活化、迁移、富集。大富足岩体是一个富铀岩体,主体的大面积侵入是强大的热源,岩体形成后,燕山早期补体的多次入侵对主体和外带围岩带来了地质热事件(凌洪飞,2011;巫建华等,2005;李子颖,2006),使接触带的前期岩体或地层发生混染或热变质。岩浆期后一系列细晶岩脉、辉绿岩脉(或煌斑岩脉)闪长岩脉、花岗(石英)斑岩脉的活动也为热事件,中酸性、中基性岩脉侵入过程中,岩浆期后热液流经小富足岩体、上寮岩体、草桃背岩体等富铀花岗岩,使热液中的铀相对集中,以氟铀酰络合物形式运移。会昌断陷红盆的形成,为来自上地幔的以中基性岩为主的火山活动(巫建华等,2000),以火山口、爆发岩筒、火山穹窿、次火山岩体形式产生的热事件是岩体西部最显著特征。随后的火山活动和大量脉体充填也为该区带来了大量热源,促使原铀矿体或铀元素随热动力发生生活化、迁移、富集。紫色带发育区为构造多次活动的地区,构成地热异常区,使靠近会昌红盆边缘成为增温区。后期的热事件是铀成矿的关键因素,也是造成花岗岩成岩、成矿时差的根本原因。

4.3 构造发育

大富足岩体西部地区处于武夷山幔坪-幔坡深层构造过渡带,为地壳脆弱变薄部位,为岩浆上涌、地下热水活动、火山喷发提供了有利通道,也为深源物质的运移和聚集提供了空间。该区受南岭构造带和

武夷构造带的长期联合作用,区域深断裂及次级构造发育。区域构造带的长期活动,尤其受挤压作用,使地幔或下地壳物质上涌,产生多次的深源岩浆侵入,使原来的高铀源层、高铀源体以及铀矿体再次活化迁移,再富集。邵武-河源深断裂的长期活动,使该区裂隙、构造极其发育,不仅为地幔或下地壳的物质上涌提供了通道,也为构造裂隙带和蚀变带的形成创造了条件,为铀矿的沉淀、富集提供了有利的空间。

4.4 蚀变强烈

大富足岩体地表花岗岩发育了较强烈的紫色带,紫色带之下为较强的绿色蚀变带。绿色蚀变带为火山活动期后热(水)液沿贯通构造流动对碎裂围岩进行交代蚀变的结果,因此,活动性较强的碎裂中心其实就是绿色蚀变的中心,由于它叠加在以往一系列地质作用之上,所以受其影响的地段,孔隙度较正常围岩增加,黄铁矿含量大增,黄铁矿是铀沉淀的重要还原剂。石城-寻乌深断裂旁侧的紫色蚀变带,使亲氧性的铀元素或铀矿体发生向下迁移、富集,绿色蚀变带则使铀矿化再富集。富铀矿体多集中在紫色蚀变带之下的绿色蚀变带内。构造与紫色带的叠加是形成富矿的主要因素。

4.5 剥蚀适中

大富足岩体西部铀矿体埋深一般 50~250 m,最深 437.47 m,最浅仅 9.80 m。赋存标高 175~450 m,其中富铀矿化赋存标高 270~320 m。所发现的铀矿床均集中于暴露区内,如坳子背铀矿床、草桃背铀矿床、河草坑铀矿床等。铀矿剥蚀区内发现了残存着的诸多异常点、带和地表残留矿体,即矿根相铀矿体。因此,该区的剥蚀程度适中,这是成为铀资源产地的重要条件。

5 找矿远景区

该区已发现了大量铀矿床、矿点,但由于勘查时间在上世纪七八十年代,研究程度不高,尤其是还有众多火山机构,对部分放射性伽玛高场、偏高场尚未探索。根据该区铀成矿条件,笔者认为以下 2 个地段是今后重点找矿远景区。

5.1 半岭地段

半岭地段位于大富足岩体西部边缘红盆内,剖面图见图 5,处于石城-寻乌深断裂旁侧的铀矿隐伏区,东侧与河草坑、草桃背、坳子背、上寮等铀矿床毗邻。这些矿床中多数东西向构造控制着铀矿体,如

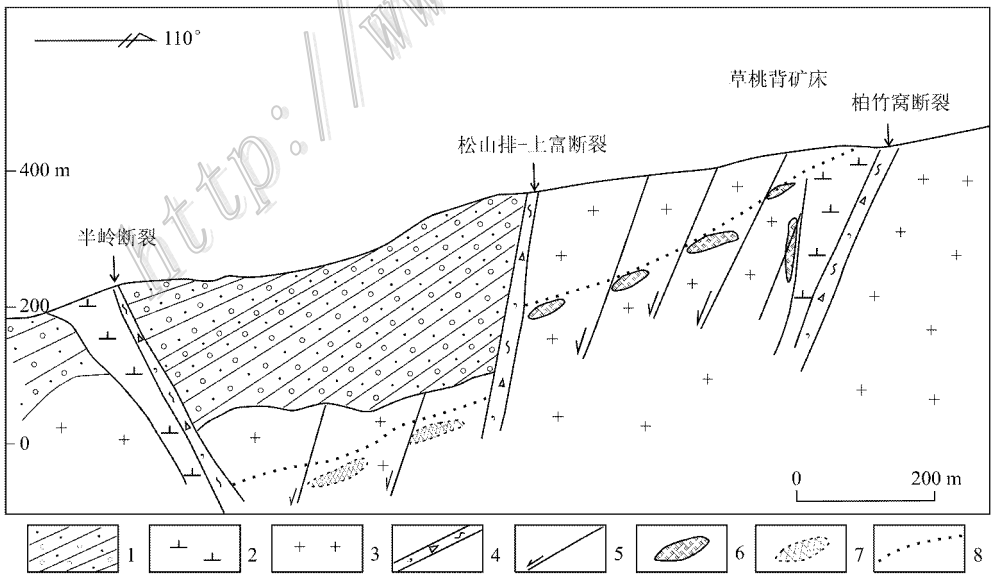


图 5 半岭地段剖面图

1—白垩系红层;2—玄武岩;3—花岗岩;4—硅化破碎带;5—断层;6—矿体;7—预测的矿体;8—紫、绿色带界面

Fig. 5 Geological section of Banling area

1—Cretaceous sandstone; 2—Basalt; 3—Granite; 4—Silicified fractured belt; 5—Fault; 6—Ore body; 7—Inferred ore body; 8—Interface between green zone and purple zone

河草坑矿床的 1、7 号带,草桃背矿床的 2、3 号带,上寮矿床的 1、2、12 号带及紫色蚀变带均向盆地基底延伸,侧伏于该地段的基底内;车下坳和古坊铀矿点在红盆内施工的钻孔中已发现基底花岗岩内有厚达 20 余米紫色蚀变带,并见有工业铀矿体;松山排-上富断裂及大面-半岭构造之间为一地堑构造,其间已出露大量的安山岩及隐爆岩筒。区内还有大量的放射性成矿信息-航空放射性异常、部分相对伽玛偏高场,以及数个水中放射性 I、II 级晕圈。因此,在红盆基底内花岗岩中紫色蚀变带底部东西向含矿构造,尤其是有热体活动的火山机构附近是寻找铀矿床最有利的地段(图 5)。

5.2 大坪山地段

位于大富足花岗岩体北部外带,处于 NEE 向园段-坳子背断层北侧的地堑区,其间有社背和黄田铀矿床以及大坪山、大平寨、新迳等铀矿点,铀矿体赋存于寒武系的热接触变质岩石中(图 6)。区内因遭受强烈的东西向褶皱,呈东西向展布的层间滑动带,轴向碎裂带以及硅化破碎带十分发育;寒武系内还见有花岗斑岩、辉绿岩、石英斑岩及细晶花岗岩脉穿插;也有大量的放射性伽玛异常,寒武系放射性底数偏低,但变化系数偏大(20%~24%),明显高于花岗岩(15%~20%);水中放射性有 4 个 I 级铀晕圈、9 个 I 级氡晕圈、2 个 II 级铀晕圈、2 个 II 级氡晕圈。

因此,应在该地段的寒武系热变质范围内,着重探索东西向层间滑动带、轴向碎裂带,尤其是有热源活动的有利部位,是寻找花岗岩外带型铀矿最有利的部位。

6 结 论

(1)大富足岩体为一富铀复式岩体,铀矿多分布于岩体西部边缘。经过了 3 次成矿阶段,即花岗岩成矿阶段、火山岩成矿阶段和淋积叠加成矿阶段。

(2)大富足岩体西部基底变质岩的铀含量高出地壳同类岩石克拉克值的 2~3 倍,5 个花岗岩体铀含量高于地壳同类岩石克拉克值 3~12 倍,为该区铀源层或高铀源体。多期次深源岩浆侵位为铀矿化提供了热源,深层构造使高铀源层、高铀源体以及铀矿体再次活化迁移,地表花岗岩中区域性紫色带及其下强烈绿色蚀变带使铀矿化再富集,在紫色带和绿色带界面附近形成富铀矿体,在暴露区及剥蚀区内形成铀矿床。

(3)大富足岩体西部具有“铀源丰富、热源充足、构造发育、蚀变强烈、剥蚀适中”等 5 个有利铀成矿条件。铀矿体多赋存于紫色带和绿色带界面附近。

(4)根据有利的铀成矿条件,确定半岭地段及大

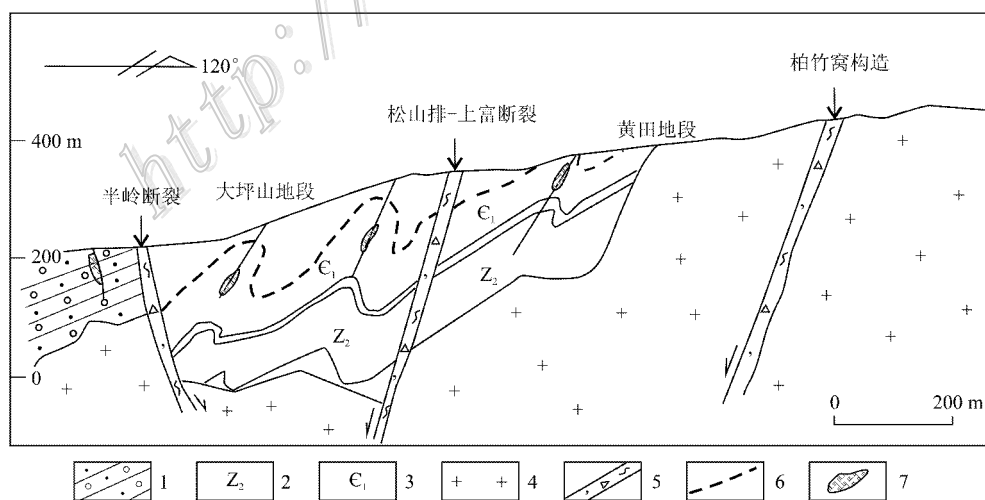


图 6 大坪山地段剖面图

1—白垩系红层;2—震旦系变质岩;3—寒武系变质岩;4—花岗岩;5—硅化破碎带;6—热变质带;7—铀矿体

Fig. 6 Geological section of Dapingshan area

1—Cretaceous sandstone; 2—Sinian metamorphic rocks; 3—Cambrian metamorphic rocks; 4—Granite; 5—Silicified fractured belt;

6—Thermal metamorphism zone; 7—Uranium ore body

坪山地段为大富足岩体西部寻找铀矿床最有远景地段。

志 谢 审稿人详细指出了文章初稿中存在的问题,并提出了修改意见,对论文质量的提高具有重要帮助,在此深表感谢。

参考文献/References

蔡煜琦,陈祖伊,施祖海,封全宏,陈跃辉. 1997. 会昌浅层次热隆伸展构造与铀成矿[J]. 铀矿地质, 13(5): 257-263.

付 湘. 2002. 江西省5大铀矿田深部构造环境定位分析[J]. 铀矿地质, 18(1): 56-61.

胡瑞忠,毕献武,苏文超. 2004. 华南白垩-第三纪地壳拉张与铀成矿的关系[J]. 地学前缘, 11(1): 153-160.

华仁民. 2005. 南岭中生代隆壳重熔型花岗岩类成岩-成矿的时间差及其地质意义[J]. 地质论评, 51(6): 633-636.

黄 斌,吴建明,邓志平. 2009. 草桃背铀矿床火山口地段控矿因素研究及探矿方向[A]. 见:李冠兴,等. 中国核科学技术进展报告(第一卷)[C]. 中国核学会 2009 年学术年会, 2009. 北京:原子能出版社. 670-676.

江西省地质矿产局. 1984. 江西省区域地质志[M]. 北京:地质出版社. 698-705.

李子颖,黄志章,李秀珍,林锦荣. 2004. 华南铀成矿区域特征标志[J]. 世界核地质科学, 21(1): 1-4.

李子颖. 2006. 华南热点铀成矿作用[J]. 铀矿地质, 22(2): 65-69.

凌洪飞. 2011. 论花岗岩型铀矿床热液来源[J]. 地质论评, 57(2): 193-206.

毛孟才,王圣祥,李 梅,赵军红,付 湘. 2003. 江西火山岩型铀

矿成矿特征及找矿前景[J]. 资源调查与环境, 24(2): 96-100.

王定生,李文君. 1995. 华南东部中生代火山岩型铀成矿规律、勘查模式及找矿远景[J]. 铀矿地质, 11(3): 140-146.

王凤岗,范洪海,何德宝,顾大钊. 2009. 赣南河草坑铀矿田蚀变特征[J]. 铀矿地质, 25(3): 150-158.

巫建华,周维勋,章邦桐. 2000. 赣南-粤北晚中生代火山岩系划分和时代讨论[J]. 地质论评, 46(4): 362-370.

巫建华,刘 帅,余达淦,章邦桐. 2005. 地幔流体与铀成矿模式[J]. 铀矿地质, 21(4): 196-203.

于津海,王丽娟,王孝磊,邱检生,赵 蕾. 2007. 赣东南富城杂岩体的地球化学和年代学研究[J]. 岩石学报, 23(6): 1441-1456.

章邦桐,饶 冰,陈培荣,孔兴功. 2001. 论长英质隐爆角砾岩的气热流体溶浸成矿机制——以赣南 6722 矿床为例[J]. 矿床地质, 20(2): 129-136.

章邦桐,陈培荣,陈迪云,孔兴功. 2002. 再论长英质隐爆角砾岩的气热流体溶浸成矿机制——隐爆角砾岩型铀矿床的稳定同位素地球化学证据[J]. 矿床地质, 21(3): 256-263.

张万良. 2007a. 华南红盆与铀矿保存[J]. 矿产与地质, 21(2): 118-121.

张万良. 2007b. 赣南大富足岩体岩石地球化学特征及其构造环境判别[J]. 大地构造与成矿学, 30(1): 98-107.

张运涛,张小平,倪修义. 2010. 赣南火山岩型铀矿分布规律及找矿前景[J]. 铀矿地质, 26(1): 35-40.

张运涛,裴荣富,张小平,倪修义,王启滨,汤国平,陈永飞. 2012. 赣南花岗岩型铀矿分布规律及其找矿前景[J]. 铀矿地质, 28(1): 35-41.

周新民,陈培荣,徐夕生,刘昌实,沈渭洲,舒良树,汪 相,于津海,邱检生,朱金初,华仁民,孙 涛. 2006. 南岭地区晚中生代花岗岩成因与岩石圈动力学演化[M]. 北京:科学出版社. 1-691.