

南岭地区花岗岩型铀矿的特征及其成矿专属性

陈振宇¹, 黄国龙², 朱 捌², 陈郑辉¹, 黄 凡¹, 赵 正¹, 田泽瑾³

(1.国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037; 2.核工业 290 研究所, 广东 韶关 512026; 3.中国地质大学(北京) 地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘 要: 南岭地区是我国花岗岩型铀矿的重要矿集区。该区产铀岩体的成因类型以 S 型(改造型)花岗岩为主, 对岩性没有明显的选择性。构造是控制铀成矿的重要因素之一, 几乎所有热液铀矿体都分布在一定的断裂或破碎构造中, 并且与穿插于花岗岩中的中基性岩脉密切相伴。产铀岩体的热液蚀变发育, 规模大、范围广、类型全的热液蚀变是判别产铀岩体的重要标志。产铀岩体的主要成岩时代为印支期和燕山期, 铀成矿作用则主要发生于燕山晚期-喜山期, 成岩成矿具有明显的时差, 指示成岩和成矿作用是两次或两次以上不同的地质作用。印支期和燕山期花岗岩主要提供成矿铀源和成矿围岩, 而铀矿成矿作用与燕山晚期-喜山期伸展断裂构造和蚀变交代的关系更为密切。对于南岭地区的花岗岩型铀矿, 燕山晚期-喜山期的伸展构造活动及其伴随的中基性-酸性岩浆活动比印支期-燕山期的花岗岩更具有成矿专属性。

关键词: 南岭地区; 花岗岩型铀矿; 成矿专属性; 控矿因素; 成矿系列

中图分类号: P612 文献标志码: A 文章编号: 1001-1552(2014)02-0264-012

0 引 言

南岭地区是我国重要产铀区, 产有多种不同类型的铀矿床。按赋矿围岩的不同, 该区主要产出花岗岩型、火山岩型和碳硅泥岩型 3 类铀矿床。花岗岩型铀矿床是指与花岗岩体有紧密空间关系和成因关系的热液铀矿床, 它可产在岩体内部或岩体外围不远的一定范围内。这些矿床虽然产出的地质部位和围岩性质不同, 但实际资料表明它们均具有相同的(或相近的)成矿过程、成矿时代和成矿机制(杜乐天, 1982)。花岗岩型铀矿床在国外发现得较早, 20 世纪 50 年代前期就有了很大发展, 主要分布在欧洲海西褶皱带中, 美国阿拉斯加(斯波坎)地区和前苏联的中亚等地。我国该类型矿床最早发现于 1957 年, 即位于南岭贵东岩体中的 330 矿床(希望矿床)。我国

是花岗岩型铀矿床最发育、类型最多、分布最广泛的国家, 这类铀矿床也是我国最重要的铀矿床类型。我国花岗岩出露面积很大, 约有 85 万多平方公里, 找矿远景仍然很大。

成矿专属性的研究实际上是在成矿规律研究的过程中提出并发展起来的, 就其术语应有含义而言, 成矿专属性是指一定的成矿作用及其产物(矿床)与一定的地质作用及其产物(地质体)之间具有特定的专属作用关系。但数十年来, 一般仅习惯于岩浆岩, 故狭义的成矿专属性即指岩浆岩成矿专属性, 就是一定的成矿作用与一定的岩浆作用具有专属关系, 也就是一定的矿产与一定的岩浆岩具有特定的相关关系(闻广, 1958, 1981, 1983; 闻广和闻轲, 1963)。正是由于这种习惯性思维, 在讨论某矿种或某地区的成矿专属性时, 往往仅从

收稿日期: 2013-09-03; 改回日期: 2013-11-11

项目资助: 中国地质大调查项目“广东诸广山南部整装勘查区铀多金属矿成矿地质条件与综合找矿方法研究”(编号: 12120113090500)、“南岭地区岩浆岩成矿专属性研究”(编号: 1212011120989)、“我国重要矿产和区域成矿规律研究”课题(编号: 1212010633903)共同资助。

第一作者简介: 陈振宇(1978 -), 男, 博士, 副研究员, 主要从事矿物学与微束分析研究。Email: czy7803@126.com

岩浆岩成分即岩石化学方面, 而很少从其他地质作用(如构造作用、蚀变作用等)的角度去讨论, 这样就有可能使得我们对成矿规律和找矿方向的研究受到局限。

南岭地区作为我国花岗岩型铀矿最为重要的大型矿集区, 几十年来, 对于该地区花岗岩型铀矿的成矿规律研究已经取得了许多重要进展(如杜乐天, 1982, 2001; 张祖还和章邦桐, 1991; 覃慕陶和刘师先, 1998; 邓平等, 2002; 张振奋, 2007; 范洪海等, 2012)。本文拟在前人研究工作基础上, 对花岗岩型铀矿成岩成矿地质条件和特征进行梳理, 并探讨其成矿专属性, 以期更好地总结成矿规律并服务于找矿预测。

1 南岭地区花岗岩型铀矿概况

南岭地区花岗岩型铀矿床, 以分布广、类型多、储量大为特色, 目前区内探明储量占全国已探明储量的 38% 以上。华南全区数个大型铀矿床、60% 以上的中型铀矿床及 90% 以上的富铀矿资源储量, 都分布在花岗岩型铀矿田中, 成为华南乃至我国花岗岩型铀资源分布的一大特色(黄国龙等, 2006)。南岭地区(华南地区)主要产铀的花岗岩体有摩天岭岩体、苗儿山岩体、九嶷山(金鸡岭)岩体、六陈(大容山)岩体、贵东岩体、诸广山岩体、桃山岩体、隘高岩体、大富足岩体等改造型花岗岩, 以及安庐石英正长岩

带(包括黄梅尖、城山和大龙山岩体)和安徽的姚村岩体等同熔型花岗岩, 组成著名的华南铀成矿省(张祖还和章邦桐, 1991)(图 1), 其中又以粤北地区的诸广山岩体和贵东岩体产出的铀矿床最多, 数量约占华南全区各类型铀矿床的 1/2, 并且占据了全区大部分的铀资源储量(邓平等, 2002; 黄国龙等, 2006)。张金带等(2008)根据华南产铀花岗岩体及相关铀矿田、矿床的分布情况, 将华南铀成矿省进一步分为桃山-诸广铀成矿带和郴州-钦州铀成矿带, 它们控制了华南众多花岗岩型铀矿田, 如城口、长江、百顺、鹿井、下庄、380 和 6720 铀矿田等。

“全国花岗岩型铀矿资源潜力评价”课题组(范洪海等, 2012)在全国范围内圈出了 12 个花岗岩型铀矿预测工作区。在 12 个预测工作区中, 成矿潜力最大的几个都在南岭地区, 依次为桃山-诸广预测工作区、郴州-钦州预测工作区、雪峰山-摩天岭预测工作区、湘中预测工作区。其中桃山-诸广预测工作区集中产出了桃山、诸广南、鹿井和下庄 4 个我国最大的花岗岩型铀矿田。在全国圈定的 27 个花岗岩型 A 类预测区中, 桃山-诸广预测工作区就占了 7 个。该区位于华南武夷山-诸广后加里东隆起区的中部, 加里东运动后长期处于隆起构造环境。区内广泛出露震旦寒武系的富铀层, 燕山期、印支期花岗岩是区内最重要的富铀岩体, 如诸广山、贵东、桃山、佛冈等岩体含铀性高。宁都-翁源大断裂、桃山-韶关大断裂、抚州-遂川大断裂等 3 条 NE 向区域



图 1 南岭地区主要产铀花岗岩分布图(据张祖还和章邦桐, 1991)

Fig.1 Map showing the distribution of the main uranium-bearing granites in the Nanling region

性深大断裂纵贯全区,具有长期活动的特点,矿田内次级断裂、裂隙发育。带内产铀岩体的构造热液蚀变发育,具有壳幔同熔型花岗岩类特征的酸性小岩体、岩脉和具有壳源物质混染的幔源岩浆侵入的中基性岩脉发育。该预测工作区成矿条件优越,其预测资源量几乎占到了全国花岗岩型铀矿资源量的一半,是花岗岩型铀矿的重点区带。

2 南岭地区花岗岩型铀矿的时空分布特征

2.1 产铀花岗岩的时空分布特征

在 20 世纪 50~60 年代,对华南花岗岩进行产铀专属性研究时,曾提出燕山期花岗岩是主要的产铀花岗岩,因此,对华南产铀花岗岩的研究也主要集中在燕山期花岗岩。随着后来研究的深入,发现华南四堡期以后的各期花岗岩中都可以产出铀矿床,只是产出情况和工业意义有所不同而已。四堡期及之前的花岗岩之所以不能形成铀矿床,主要由于当时陆壳发育还不成熟,所形成的花岗岩体规模很小而且缺乏充足的铀源所致(张祖还和章邦桐,1991)。

华南地区最老的产铀花岗岩体为桂北摩天岭岩体,位于江南台隆西南缘的三防穹状复式背斜核部,为一多阶段复式侵入体,其主体年龄(锆石 U-Pb 法)为 822~872 Ma(梁国宝等,1998),属雪峰期花岗岩,是我国最老的产铀花岗岩体之一。岩体的围岩为元古宙四堡群和丹洲群岛弧式复理石建造和细碧角斑岩建造的绿片岩相沉积变质岩,与岩体呈突变接触关系。岩浆岩主要为中-细粒黑云母花岗岩和细粒含斑黑云母花岗岩(晚阶段侵入体)(邹明亮等,2011)。摩天岭岩体分布有众多的铀矿床和矿点、矿化点,至少有两期铀成矿作用,成矿时代分属海西期和喜马拉雅期,具有矿岩时差大、成矿多阶段性的特征(徐争启等,2011)。

华南加里东期花岗岩主要分布于武夷-云开地区、万洋山-诸广山地区、湖南八面山和江西武功山等地。在地质图上,加里东花岗岩常以单个岩体面积巨大的岩基形式出露,它们的分布具有一定的线状特征,大多居于扬子地块与华夏地块的缝合带位置附近,这些花岗岩是加里东运动在华南的产物(孙涛,2006)。与铀矿有关的加里东花岗岩岩体往往构

成规模较大的多期多阶段复式岩体,如苗儿山复式岩体,其岩浆活动可分为四期:加里东期(366 Ma)、海西期(260 Ma)、印支期(197~218 Ma)和燕山期(94~192 Ma),加里东期花岗岩是该岩体的主体岩石,其岩性主要为中粒角闪石黑云母二长花岗岩、中粗粒斑状二云母花岗岩及中粒角闪石二长花岗岩(徐伟昌等,1994)。但是后来对苗儿山复式岩体的研究表明,虽然其主体为加里东期,但与铀矿有关的花岗岩几乎均为印支期,如原归属于燕山期的小木楠、张家、茶坪等主要产铀岩体的单颗粒锆石 U-Pb 年龄为印支期(王志成,2003),产铀岩体豆乍山岩体和香草坪岩体单颗粒锆石 SHRIMP U-Pb 年龄分别为 228 ± 11 Ma 和 211 ± 2 Ma(谢晓华等,2008;李妩巍等,2010),也属于印支期。

海西期花岗岩在南岭地区的产出非常少,呈零星分布。目前认为是海西期产铀花岗岩体的有两个,分别是广西六陈花岗岩体和赣南隘高岩体。六陈岩体位于大容山-十万大山花岗岩带的北西缘,岩体出露面积约 240 km²。岩石种类较单一,为中粗粒黑云母花岗岩,属单阶段侵入岩基。岩石 Rb-Sr 同位素等时线年龄为 283 ± 14 Ma(闵茂中和孔令福,1995),其铀矿床的矿化年龄(沥青铀矿 U-Pb 法)为 30.7~65.0 Ma,曾被认为是我国华南成矿年龄最小的花岗岩型铀矿床(闵茂中等,1987)。隘高岩体位于北北东向鹰潭-安远断裂的九曲-版石和北北东向的中寨-江头圩大断裂所夹持部位。岩体呈南北向产出,面积约 80 km²。岩体主要岩性为中粗粒似斑状黑云母花岗,全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 260.9 ± 14.7 Ma,属海西晚期陆壳改造型花岗岩(范春芳和陈培荣,2000)。

华南印支期花岗岩主要分布于桂东的云开大山和六万大山地区,在湘、赣也有大量的零散分布,在浙西、闽西、粤北和粤西也有零星分布。燕山早期花岗岩在华南花岗岩中出露面积最大,以粤、闽、湘、赣为最主要分布区域,主体呈北东向分布,在南岭地区呈东西向分布。南岭地区产铀的印支期-燕山早期花岗岩,主要分布在桃山-诸广花岗岩带,产铀花岗岩岩体主要有桃山、诸广山、贵东、大富足等几个岩体。桃山岩体东邻广昌-宁都断陷红盆,北接大王山岩体,呈北东向展布。桃山岩体可划分为加里东早期、印支期、燕山早期、燕山晚期 4 期 9 个阶段,是一个多期多阶段的复式岩体;诸广山岩体处于南北

梁国宝,刘军模,廖开立等.1998.桂北三防地区 1:5 万区域地质调查报告.南宁:广西壮族自治区地质矿产局.

向(万洋-诸广)、东西向(九峰-大余)、北东向(万长山)岩浆活动隆起带的交汇部位。该岩体可划分为加里东期、海西期、印支期和燕山期等4期12阶段,也是一个多期多阶段的复式岩体,以印支期-燕山期为主体。贵东岩体呈东西向展布,东部向南偏转呈北西走向。岩体是由多期多阶段岩浆侵入形成的不同岩性系列所组成的印支期-燕山期的复式岩体(徐夕生等, 2003)。大富足岩体也称富城岩体或富城杂岩体,出露于江西会昌富城、瑞金大富足及福建长汀江山一带,与闽西南的红山岩体相邻,共同构成富城-红山杂岩体。杂岩体横跨两省,总出露面积达1000 km²。近几年的锆石 U-Pb 测年显示该岩体年龄为 231~239 Ma, 是以印支期为主体的产铀岩体(于津海等, 2007; 黄凡等, 2012)。

燕山晚期的产铀花岗岩主要是安庐石英正长岩带(包括黄梅尖、城山和大龙山岩体)和姚村岩体等同熔型花岗岩,这几个产铀花岗岩的全岩 Rb-Sr 等时线年龄在 132~135 Ma 之间(张祖还和章邦桐, 1991), 锆石 U-Pb 年龄在 124~126 Ma 之间(范裕等, 2008), 形成时间基本相同。安庐石英正长岩带位于庐深断裂与长江断裂带的夹持部位, 姚村岩体位于下扬子断裂拗陷带的南侧, 靠近江南地背斜北侧的边缘地槽后加里东隆起带。与产铀的改造型(S型)花岗岩多为多期多阶段复式岩体不同, 这几个产铀的同熔型花岗岩体都属于同期多阶段复式岩体, 岩石学和地球化学研究显示, 它们的岩石成因类型为 A 型花岗岩(章邦桐等, 1988)。

华南中生代印支运动和燕山运动对华南花岗岩的形成及其成矿具有重要影响。统计表明, 产铀花岗岩岩体的同位素年龄值主要集中于 198~250 Ma 和 138~172 Ma 两个阶段, 分属于印支期和燕山早期(张振奋, 2007)。根据陈培荣(2004)对华南大型花岗岩型和火山岩型铀矿床宏观地质条件的分析表明, 印支期花岗岩在铀矿床形成过程中可能发挥了重要作用, 因为大型热液铀矿床的基底或围岩往往都由该时代的花岗岩构成, 因此, 华南印支期花岗岩可能比燕山期花岗岩与铀成矿的关系更为密切。

2.2 铀矿成矿作用的时空分布特征

对华南广大地区内的花岗岩型、火山岩型和碳硅泥岩型铀矿床, 前人已作过矿石矿物沥青铀矿的大量 U-Pb 同位素年龄测定。成矿年龄数据的统计结果表明, 不同类型的铀矿床大致有 6 个彼此同时的主成矿期, 它们分别为距今约 140, 120, 100, 90, 70 和 50 Ma(王旺章, 1996, 陈跃辉等, 1997; 吴列勤

等, 2003; 胡瑞忠等, 2004; 朱捌等, 2006; 黄国龙等, 2010)。花岗岩型铀矿的成矿作用具有以下几个时空分布特征:

(1) 花岗岩型铀矿的成矿时间明显晚于花岗岩成岩时间, 矿岩时差达 40~700 Ma(杜乐天和王玉民, 1984)。与同熔型花岗岩有关的铀矿床成矿年龄略早, 约在 100~130 Ma, 其成矿热液以岩浆热液为主, 矿岩时差较小。与改造型产铀花岗岩有关的铀矿床, 成矿年龄较晚并集中在 100 Ma 以后的几个时间区段, 即 90±、70±和 50± Ma, 相当于燕山晚期到喜山期。

(2) 华南产铀花岗岩虽然形成时代不同, 从雪峰期到燕山期都有代表, 但铀成矿时代除个别例外, 绝大多数都形成在燕山晚期到喜山期, 即成矿时代具有同时性。这种同时性不仅表现在不同的花岗岩型矿床中, 在花岗岩型矿床与火山岩型、碳硅泥岩型铀矿床之间也是如此, 指示华南不同类型铀矿的成矿作用受统一的构造-岩浆事件控制(胡瑞忠等, 2004, 2007);

(3) 同一矿田或矿床往往具有两个以上的沥青铀矿年龄, 指示成矿作用具有多期多阶段的特征。如贵东岩体中的下庄矿田存在早、晚两期不同成因类型的花岗岩型铀矿, 早期铀矿成矿年龄为 122~138 Ma, 以富矿为主; 而晚期铀矿成矿年龄则为 54~96 Ma, 以贫矿为主(吴烈勤等, 2003; 黄国龙等, 2006)。

(4) 铀矿床的成矿时代与该区白垩纪-古近纪岩石圈伸展事件的时代具有良好的对应关系, 铀矿床与侵入花岗岩体中代表拉张环境的基性岩脉具有很好的同时性(胡瑞忠等, 2004)。陈跃辉等(1997)运用大陆伸展构造理论, 论述了华东南地区中生代以来伸展构造的分布规律, 分析了不同类型伸展构造的时空演化特点。发现不同类型伸展构造与不同类型铀矿床之间在空间分布和时间演化上有很好的对应关系, 认为伸展构造活动产生的有利构造环境是导致铀成矿作用产生的根本原因, 伸展构造活动的脉动性及其相应的岩浆作用决定了铀成矿作用的多期多阶段性, 不同地区伸展构造活动的先后决定了不同类型铀矿床成矿作用的时序和空间分布。

3 南岭地区产铀花岗岩的岩石学、矿物学和地球化学特征

3.1 产铀花岗岩的岩石学特征

按目前常用的花岗岩 MISA 成因分类方案, 南

岭地区产铀花岗岩的成因类型以过铝质的 S 型花岗岩为主, 其内产出的铀矿床数约占华南花岗岩型铀矿床总数的 93%; 其次是 A 型花岗岩, 其内产出的矿床约占总数的 7%; I 型花岗岩中仅有少量的铀矿点或矿化点, M 型花岗岩中则至今没有发现铀矿点(张祖还和章邦桐, 1991; 窦小平, 2004)。岩石类型上, 产铀花岗岩大多数属于普通花岗岩, 对岩性没有明显的选择性。

产铀的 S 型花岗岩一般形成规模巨大的多期多阶段或同期多阶段复式岩体, 出露面积达到中型岩基的规模。岩体内部构造比较发育, 常被燕山晚期中基性脉岩、酸性小岩体和大石英脉穿切充填, 或表现为硅化断裂带、糜棱岩化带、角砾岩化带和片理化带等, 并伴随有较大范围的交代蚀变和热液蚀变现象如云英岩化、钾长石化、钠长石化、水云母化和绿泥石化等。铀矿化受各种构造、蚀变带和不同阶段岩体之间的接触界面控制(张祖还和章邦桐, 1991)。

3.2 产铀花岗岩的矿物学特征

3.2.1 黑云母

一方面, 黑云母在花岗岩中是成矿元素铀的重要载体矿物, 在后期蚀变和白云母化过程中可以释放大量的活性铀, 为成矿提供重要铀源。另一方面, 黑云母的矿物化学也常被用来进行岩石成因和成矿潜力的判别和研究(如徐克勤等, 1982; 洪大卫, 1982; 刘昌实, 1984; 杨文金等, 1986, 1988; 陈佑纬等, 2010; 章健等, 2011)。

最近, 我们通过对张祖还和章邦桐(1991)、陈佑纬等(2010)、章健等(2011)以及我们自己的研究结果(另文发表), 发现黑云母的矿物化学成分主要与其岩石成因类型有关, 而与其产铀性没有直接关系。由于岩石成因类型是控制花岗岩产铀/不产铀的重要因素, 前人利用黑云母矿物化学成分区分出产铀和不产铀花岗岩, 是因为它们正好分别属于不同的花岗岩类型(改造型和同熔型), 而如果产铀和不产铀花岗岩都是改造型花岗岩, 则两者的黑云母矿物成分没有明显差别。也就是说, 虽然花岗岩中黑云母的矿物化学特征可以提供许多有关岩石成因和成岩物理化学条件的重要信息, 可以作为判别岩石成因类型(如改造型和同熔型)的一个重要标志, 但是还不能作为产铀和不产铀花岗岩的独立判别标志。

3.2.2 锆石

锆石的铀含量和花岗岩的铀含量往往呈良好的正相关关系, 可以灵敏、有效地反映出岩浆岩的原

始富铀程度。统计表明, 总体上, 产铀岩体锆石铀含量一般高于非产铀岩体, 因此锆石铀含量的研究对评价岩体的产铀远景有重要的意义(郑懋公和朱杰辰, 1984; 张祖还和章邦桐, 1991; 李耀崧等, 1995)。

我们通过对南岭地区几个主要产铀花岗岩(桃山、诸广山和苗儿山岩体)及其周边的不产铀花岗岩中的锆石进行统计, 验证了几点: 锆石的 U、Th 含量及 Th/U 比值确实可以反映母岩的相应信息; 印支期产铀岩体的锆石比燕山期产铀岩体具有更高的 U 含量和更低的 Th/U 比值; 产铀-不产铀花岗岩锆石的 U、Th 含量及 Th/U 比值有明显差别, 但有一些不产铀花岗岩也可以具有与产铀花岗岩相似的高 U 含量和低 Th/U 比值。因此, 锆石的高 U 含量及低 Th/U 比值可以作为富铀花岗岩的判别依据, 也可以作为判别产铀-不产铀花岗岩的一个参考, 但不能作为独立判别标志。

3.2.3 晶质铀矿

晶质铀矿是花岗岩中最主要的含铀矿物和铀源矿物, 花岗岩中晶质铀矿含量越高, 成为产铀岩体的几率也越大(戎嘉树, 1980)。晶质铀矿的以下几个特征可作为判断产铀花岗岩体的参考: (1)产铀岩体中晶质铀矿的含量明显高于非产铀岩体; (2)产铀岩体中晶质铀矿的 Th 含量一般低于非产铀岩体, 含 Th 低的晶质铀矿更易在后期改造作用下发生溶解、活化、迁移并富集成矿; (3)产铀岩体中的晶质铀矿有强烈的溶蚀现象, 而不产铀岩体中的晶质铀矿基本未溶蚀。晶质铀矿的强烈溶蚀现象是铀活化转移的直接证据, 可以将其作为寻找铀矿的标志之一(张成江, 1990)。研究表明, 利用晶质铀矿来评价岩体的含矿性时, 不能单看其含量高低, 而应综合考虑多种因素, 包括晶质铀矿的成分、溶蚀程度等, 即晶质铀矿是否真正为成矿提供过可活化迁移的铀是不可忽视的判据。

3.3 产铀花岗岩的地球化学特征

产铀岩体一般具有富硅(SiO_2 含量为 68%~75%)、富碱($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ 含量>7.5%, 且 $\text{K}_2\text{O}>\text{Na}_2\text{O}$)、铝过饱和、低钙、低暗色组分等特征。产铀花岗岩中稀土元素总量一般较低, 大多低于世界花岗岩的平均含量($250\times 10^{-6}\text{ }\mu\text{g/g}$)。华南地区花岗岩总体上具有较高的含铀性, 显示了该地区花岗岩具有较高的铀区域地球化学背景, 为形成产铀岩体提供了前提, 但产铀花岗岩体与非产铀花岗岩体的平均铀含量十分接近, 这个事实表明, 全岩铀含量的高低不是决定花岗岩铀成矿能力的唯一重要因素(张祖还和章

邦桐, 1991)。

产铀花岗岩的同位素(Sr、Nd、S、Pb、O)特征仅能反映其岩石成因(改造型或同熔型)特征, 与同成因的非产铀花岗岩之间并无明显差别, 即目前尚未发现可以区分产铀/非产铀花岗岩的同位素特征。

4 南岭地区花岗岩型铀矿的成矿地质条件与控矿地质因素

对于成矿地质条件和控矿地质因素, 归结起来, 不外乎三个方面: 物质、能量和时空定位。对于花岗岩型铀矿, 主要是富铀基底和岩体、中-新生代伸展构造活动和强烈的热液蚀变作用, 前者提供的是成矿的物质基础, 后者提供的是成矿热源和成矿空间即能量和时空定位。

4.1 富铀基底和岩体

铀的地球化学演化成矿过程可以归结为铀的初始富集和铀源层(体)的形成及在此基础上的叠加改造、活化迁移和富集成矿(章邦桐和张祖还, 1994)。宏观上, 铀矿化产于富铀高场区内, 区域地层的含铀性对铀矿床的形成与否具有重要的意义。一系列研究均证实, 岩体上侵过程中途经的地层(包括基底和围岩)的铀含量对岩体的含铀性有着明显的影响, 因此岩体侵位于富铀地层(铀含量高于花岗岩的平均铀含量几倍乃至十几倍)分布区, 是形成产铀花岗岩的一个有利标志(张祖还和章邦桐, 1991)。刘继顺和章邦桐(1992)、章邦桐和张祖还(1994)论述了华南地壳演化、各时代地层和花岗岩中的含铀性及铀的地球化学演化, 认为华南地区富铀的基底岩石和多旋回的构造运动使得铀在后期形成的花岗岩中不断富集; 冯明月和何德宝(2012)论述了华南陆壳的地层结构、岩性组合及其含铀性, 以及各个构造旋回对铀的活化、迁移和富集作用, 指出华南富铀花岗岩源岩是来自太古宇-下古生界的高硅、富铝、富钾且铀质量分数较高的岩石。岩石组合以浅海-次深海陆源碎屑岩建造为主, 夹有中酸性、基性火山建造、碳酸盐岩建造、硅质岩建造等, 经历了中条、四堡、晋宁、加里东、海西、印支和燕山等多期构造运动, 壳层岩石经历了绿片岩相-角闪岩相区域变质作用, 混合岩化、花岗岩化发育, 使铀元素不断活化、迁移, 最终形成富铀花岗岩, 即铀源体。地质事实表明, 富铀花岗岩产区的基底往往都有富铀层, 即存在铀源层, 而不富铀的基底产出富铀花岗岩的几率很低。从铀源层到铀源体, 不仅使铀更加富集, 而且铀

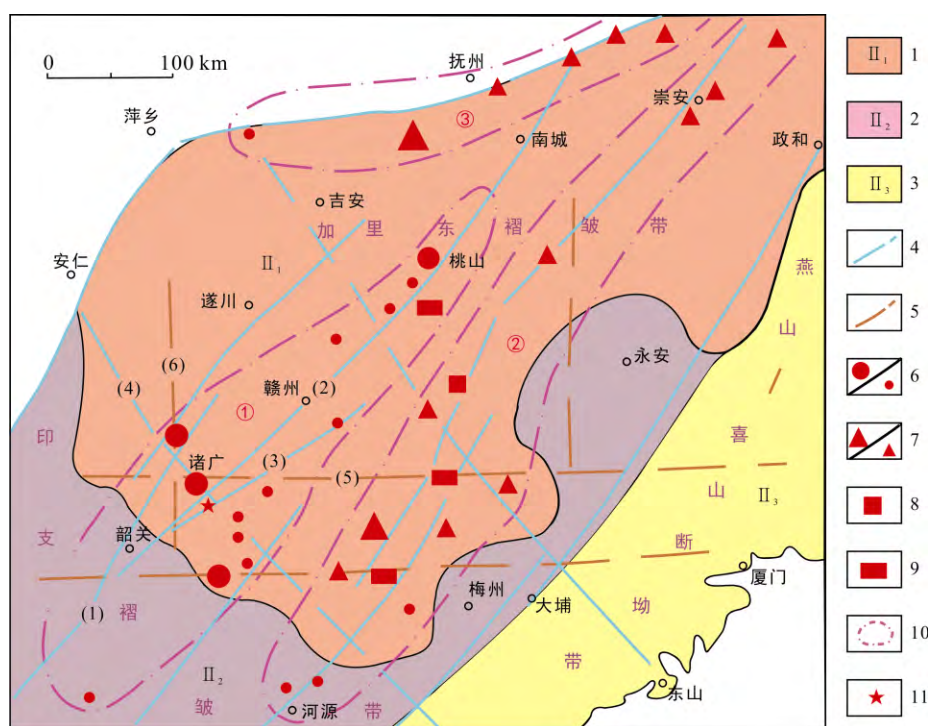
源体的脆性比较大, 易于发生断裂, 使裂隙贯通, 有利于热液的运移和岩石的蚀变, 比铀源层更容易成矿。

4.2 构造控矿作用

构造是控制铀成矿的重要因素之一, 所有热液铀矿体都分布在一定的断裂或破碎构造中。不同构造规模控制不同规模的铀矿化: 铀成矿带的展布受一级构造控制。这种控制表现为成矿带受花岗岩带展布的控制, 而花岗岩带的空间展布又受巨型构造体系控制。铀矿田在成矿带内受二、三级构造带控制。例如华南纬向成矿带内的铀矿田位于纬向二、三级构造带与新华夏系二、三级构造带的复合部位。在新华夏系成矿带内, 铀矿田分布在白垩纪时期有强烈构造活动的地段。这种断裂构造活动导致在岩体边部形成断陷盆地, 而在岩体内部产生断陷带, 铀矿田则受此断陷带控制, 并常产于断裂构造夹持区(图2)。铀矿床在铀矿田内往往受一条或几条二、三级的主干断裂及与其直交或斜交的次级断裂控制。铀矿体受局部性的低级别的断裂和裂隙控制(余达淦等, 2005)。

华南花岗岩型铀矿与燕山晚期的造山后张性(剪切)伸展构造关系密切。首先, 华南的热液铀成矿与中-新生代伸展构造活动有时间上的一致性。代表陆内岩石圈伸展的基性脉岩除少数在160~170 Ma形成之外, 绝大多数形成于45~145 Ma之间, 与华南在花岗岩、酸性火山岩和碳酸盐岩-硅质岩-泥质岩建造的断裂构造中产出的大量热液铀矿床的年龄高度一致; 伸展构造活动的三个主要期次(早白垩世末-晚白垩世初、晚白垩世和古近纪)与本区热液铀成矿主成矿期次相符, 且不同类型铀成矿由东向西的演化序列与伸展构造的发育序列完全合拍; 其次, 华南中新生代伸展构造空间上控制着热液铀矿的生成, 伸展构造为热液铀成矿提供了有利的成矿空间, 花岗岩型铀矿主要受热隆伸展构造的控制, 火山岩型铀矿主要受裂陷伸展构造的控制, 碳硅泥岩型铀矿主要受重力伸展构造的控制(余达淦, 1994)。最后, 由伸展构造活动引起的岩浆作用可能为热液铀成矿提供了动力, 包括热动力和成矿流体方面的贡献(商朋强等, 2007; 凌洪飞, 2011)。

花岗岩型铀矿床一个显著的特点是与幔源基性岩脉密切相伴。基性岩脉是源于地幔的基性岩浆充填先前形成的构造裂隙形成的, 是岩石圈伸展和地壳拉张作用的产物。刘治恒和巫晓兵(2009)对中基性岩脉与铀成矿的关系进行了总结, 认为(1)中基



1. 闽赣粤加里东褶皱带; 2. 湘桂粤印支褶皱带; 3. 闽粤东部燕山-喜山断拗带; 4. 深断裂带; 5. 大断裂带; 6. 花岗岩型铀矿田、矿床; 7. 火山岩型铀矿田、矿床; 8. 碳硅泥岩型铀矿床; 9. 砂岩型铀矿床; 10. 铀成矿带及编号; 11. 南雄断裂带位置。

图 2 华南区域大地构造位置及深大断裂与铀矿分布图(据朱捌, 2010)

Fig.2 Map showing the distribution of the regional geotectonics, deep fractures and uranium deposits in South China

性岩脉能否提供铀源尚需进一步研究; (2)中基性岩脉可以提供铀成矿流体; (3)中基性岩脉可以提供铀成矿重要的矿化剂; (4)中基性岩脉可以控制铀矿床的定位; (5)中基性岩脉可以提供有利于铀沉淀富集的场所; (6)中基性岩脉所代表的岩浆活动、构造作用可以为铀从花岗岩中的活化转移创造有利条件; (7)岩脉的侵入作用对围岩具有一定的加热作用, 但还不能作为铀成矿的主要热源。

图 3 展示的是南岭地区重要的产铀岩体——诸广山岩体南部的铀矿地质略图, 可以看到, 铀矿床主要分布在断裂构造和中基性岩脉的交汇部位, 指示铀矿受到伸展构造及其伴随的中基性岩浆活动控制。图 4 展示的是粤北下庄铀矿田希望矿床某勘探线的地质剖面图, 可以看到, 铀矿体明显受硅化带、绢云母化、赤铁矿化蚀变带及辉绿岩脉控制, 而硅化带、绢云母化、赤铁矿化蚀变带往往沿着构造裂隙发育。

4.3 热液蚀变交代

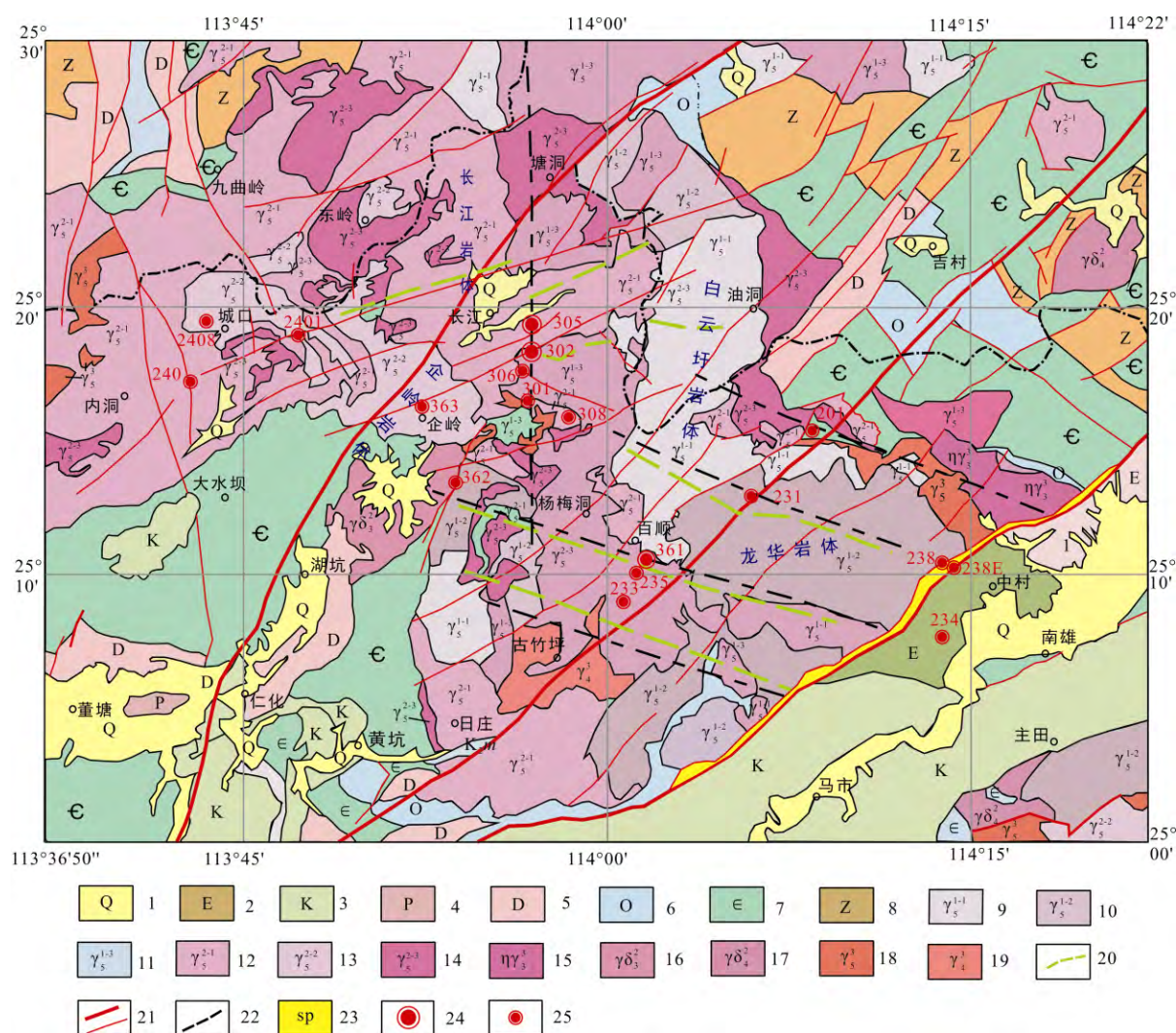
产铀岩体的热液蚀变发育, 规模大、范围广、类型全的热液蚀变是判别产铀岩体的重要标志。热液蚀变主要有两种类型, 一是碱交代, 二是酸性蚀变。碱交代可分为早期碱交代和晚期碱交代。早期

碱交代又称自交代, 它有以下特点: 交代在每次侵入岩浆固结后随即发生; 典型蚀变有白云母化和碱性长石化(钠长石化、微斜长石化); 被交代的矿物是长石、黑云母, 而石英较稳定; 交代不受构造控制, 可以波及整个岩体。晚期碱交代是在花岗岩岩浆各期次侵入成岩固结之后才发生, 属于岩浆期后的热液交代作用, 受构造控制明显, 并以去石英为显著特征, 形成碱交代岩。产铀岩体中几乎毫无例外地都有这种碱交代岩发育。花岗岩形成碱交代岩后: 铀含量增高; 岩石的孔隙度增大; 机械强度降低(易碎), 对成矿十分有利(余达淦等, 2005)。

酸性蚀变又称灰绿色蚀变, 是多种中低温热液蚀变的一种组合概念, 岩石蚀变后变成灰绿色。主要蚀变类型有硅化、水云母化、绢云母化、绿泥石化、黄铁矿化、黏土化等。蚀变后的岩石: 含水矿物及硫化物增多; 铀发生再分配, 大量转变成成为裂隙粒间铀, 或被黏土矿物吸附, 活性铀增多;

岩石抗压强度变小、孔隙度增大, 为后来成矿热液叠加成矿创造了有利条件(余达淦等, 2005)。

对于花岗岩型铀矿床成矿热液来源问题的认识, 目前分歧依然很大, 主要观点有: 大气降水来源热



1.第四系; 2. 古近系; 3. 白垩系; 4. 二叠系; 5. 泥盆系; 6. 奥陶系; 7. 寒武系; 8. 震旦系; 9. 印支期第一阶段花岗岩; 10. 印支期第二阶段花岗岩; 11. 印支期第三阶段花岗岩; 12. 燕山早期第一阶段花岗岩; 13. 燕山早期第二阶段花岗岩; 14. 燕山早期第三阶段花岗岩; 15. 加里东期第三阶段二长花岗岩; 16. 加里东期第二阶段花岗岩闪长岩; 17. 华力西期第二阶段花岗岩闪长岩; 18. 燕山晚期花岗岩; 19. 华力西期第三阶段花岗岩; 20. 中基性岩脉; 21. 北东向主干及次级断裂带; 22. 北西向、南北向断裂; 23. 蚀变碎裂岩; 24. 大型铀矿床; 25. 中小型铀矿床。

图3 诸广山岩体南部铀矿地质略图(据朱捌, 2010)

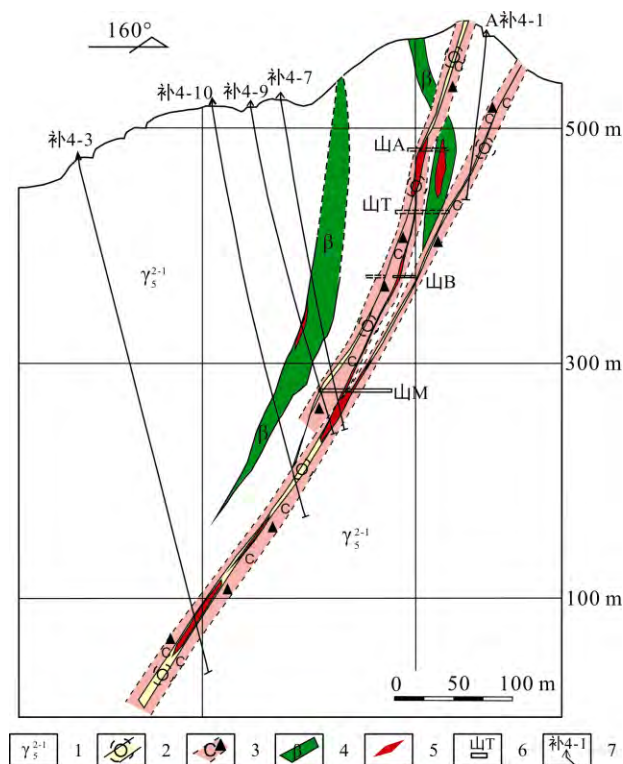
Fig.3 Sketch geologic map of the uranium deposits in the south part of the Zhuguang granites

液(李月湘和李田港, 1995; 刘金辉和李学礼, 1997), 地幔流体或深源热液(邓平等, 2003; 李子颖, 2006), 幔源 CO_2 等矿化剂流体(胡瑞忠等, 1993, 2004), 混合热液(倪师军和金景福, 1994)等。凌洪飞(2011)从熔体/流体氧逸度与铀离子价态及其溶解度的角度, 论述了花岗岩型热液铀矿床流体的来源和成因, 认为对华南花岗岩型铀矿而言, 印支期富铀的过铝浅色花岗岩是铀源岩, 而燕山晚期的构造伸展-地壳拉伸作用和脉岩浆活动, 为含铀成矿热液的形成提供了热源和源自地表的高氧逸度水体下渗循环的裂隙系统, 这种热液流体浸取印支期-燕山期富铀花岗岩中的铀, 成为含铀热液, 然后在还原部位铀沉淀成矿。

5 南岭地区花岗岩型铀矿的成矿专属性讨论

从以上论述中, 我们可以总结出花岗岩型铀矿具有以下几个重要特点:

(1) 产铀花岗岩绝大多数为 S 型花岗岩, 且大多数属于普通花岗岩, 对岩性没有明显的选择性; 南岭地区具有较高的铀区域地球化学背景, 成矿物质铀主要来自花岗岩, 但产铀与非产铀花岗岩体的平均铀含量十分接近, 表明全岩铀含量的高低不是决定花岗岩铀成矿能力的主要因素。



1. 中粗粒斑状黑云母花岗岩; 2. 硅化带及编号; 3. 绢云母化、赤铁矿化; 4. 辉绿岩脉; 5. 矿体; 6. 坑道及编号; 7. 钻孔及编号。

图 4 粤北下庄铀矿田希望矿床 × × 勘探线地质剖面图
Fig.4 Geological section map of an exploration line of the Xiwang ore deposit in the Xiaozhuang uranium ore field

(2) 产铀花岗岩的时代从雪峰期到燕山期都有代表, 大多数为印支期和燕山期, 但铀成矿时代绝大多数都在燕山晚期到喜山期, 即花岗岩的成岩和铀的成矿具有显著的时差; 不同铀矿的成矿时代具有同时性, 集中在燕山晚期-喜山期的几个时间区间, 并且与代表拉张环境的基性岩脉具有很好的同时性。

(3) 铀矿的产出明显受构造(断裂破碎带)和蚀变交代作用控制。所有热液铀矿体都分布在一定的断裂或破碎构造中。产铀岩体的热液蚀变发育。铀矿集区或铀矿田多位于多组深大断裂交汇部位、多期次强烈构造岩浆活动中心和多期次的热液蚀变叠加区, 铀矿床与幔源基性岩脉密切相伴。构造、岩浆、蚀变“三位一体”是铀矿形成的有利空间, 也是花岗岩型铀矿的找矿靶区。其中“构造”是指多组控矿构造交汇区, “岩浆”是指燕山晚期-喜山期拉张环境下的深源酸性和基性岩浆叠加, “蚀变”是指岩体碱交代、白云母化等碱性蚀变与其后的硅化、水云母化、绢云母化等酸性蚀变叠加。含矿构造的变异部位、含矿构造与控矿构造及含矿构造之间的交叉复

合部位、不同岩浆期次及不同岩性接触界面、晚期小岩体内外接触带的凹槽和圈闭部位以及基性岩脉与含矿构造相交的“交点”部位是矿体赋存的有利部位(杜乐天, 1982; 黄国龙等, 2006)。

上述几个特点说明, 花岗岩型铀矿的成岩作用和成矿作用是两个相对独立的地质过程, 花岗岩除了提供成矿铀源和有利的赋矿空间外, 与矿化一般不存在其他成因上的联系, 而对铀成矿起决定作用的是后期的构造作用和蚀变交代作用(杜乐天和王玉明, 1984; 陈跃辉等, 1997; 杜乐天, 2011)。

岩浆岩成矿专属性是以岩浆岩的成分即矿物岩石地球化学特征为中心的成矿专属性, 其讨论的基础是岩浆作用在成矿控制因素中起主导作用(闻广和闻轲, 1963; 闻广, 1983)。很显然, 在花岗岩型铀矿的成矿过程中, 起主导作用的不是花岗岩成岩的岩浆作用, 而是后期的构造作用和蚀变交代作用。因此, 对于南岭地区的花岗岩型铀矿, 不应该局限于从岩浆岩特别是花岗岩的角度来讨论其成矿专属性, 更应该从燕山晚期-喜山期的伸展构造作用和蚀变交代作用来探讨其成矿专属性。

在对南岭地区矿床成矿系列的划分中, 由于早期普遍认为产铀花岗岩的成岩时代主要是燕山期, 与成矿作用的时差不大, 成矿作用是燕山期花岗质岩浆活动后期的产物, 因此花岗岩型铀矿被当作是“南岭地区与燕山期中浅成酸性花岗岩有关的稀土、稀有、有色及铀金属矿床成矿系列”中的一个组成部分(陈毓川等, 1989)。然而近年来, 很多原定燕山期的产铀花岗岩被重新修定为印支期, 成岩成矿的时差进一步拉大, 使得成矿作用无法再用岩浆后期演化产物来解释, 因此有必要将花岗岩型铀矿从燕山期的成矿系列中分列出来。鉴于花岗岩型铀矿主要与燕山晚期-喜山期的伸展构造活动及其伴随的中基性-酸性岩浆活动(常以脉岩形式穿切充填于印支期-燕山期花岗岩中)有关, 本文提出, 南岭地区的花岗岩型铀矿可以重新厘定为“南岭地区与燕山晚期-喜山期中基性-酸性岩浆活动有关的铀矿成矿(亚)系列”或者“南岭地区与燕山晚期-喜山期伸展构造活动有关的铀矿成矿(亚)系列”。由于南岭地区火山岩型、碱硅泥岩型铀矿床的成矿时代与花岗岩型铀矿的成矿时代具有同时性, 同样也受燕山晚期-喜山期的伸展构造活动及其伴随的中基性-酸性岩浆活动控制, 不同类型的铀矿床在成矿机理上具有统一性(杜乐天和王玉明, 1984; 陈跃辉等, 1997; 杜乐天, 2011), 因此南岭地区这几种不同类型的热液铀矿床应属于同一个成矿(亚)系列。

致谢: 谨以此文献给恩师陈毓川院士 80 华诞! 恩师勤恳踏实的工作精神、一丝不苟的科学态度和正直真诚的为人风格将永远激励学生奋发图强。感谢赵一鸣研究员审阅本文并提出修改意见。

参考文献:

- 陈培荣. 2004. 华南东部中生代岩浆作用的动力学背景及其与铀成矿关系. 铀矿地质, 20(5): 266-270.
- 陈佑纬, 毕献武, 胡瑞忠, 朱维光, 胥磊落. 2010. 贵东岩体黑云母成分特征及其对铀成矿的制约. 矿物岩石地球化学通报, 29(4): 355-364.
- 陈毓川, 裴荣富, 张宏良, 林新多, 白鸽, 李崇佑, 胡永嘉, 刘群, 冼柏棋. 1989. 南岭地区与中生代花岗岩类有关的有色及稀有金属矿床地质//中华人民共和国地质矿产部地质专报, 四. 矿床与矿产, 第10号, 北京: 地质出版社: 1-508.
- 陈跃辉, 陈祖伊, 蔡煌琦, 施祖海, 封全宏, 付锦. 1997. 华东南中生代伸展构造时空演化与铀矿化时空分布. 铀矿地质, 13(3): 128-138.
- 邓平, 沈渭洲, 凌洪飞, 叶海敏, 王学成, 濮巍, 谭正中. 2003. 地幔流体与铀成矿作用: 以下庄矿田仙石铀矿床为例. 地球化学, 32(6): 520-528.
- 邓平, 舒良树, 谭正中, 吴烈勤. 2002. 南岭中段中生代构造-岩浆活动与铀成矿序列. 铀矿地质, 18(5): 257-263.
- 窦小平. 2004. 华东地区花岗岩类成因类型及其与铀成矿的关系. 铀矿地质, 20(6): 330-336.
- 杜乐天. 1982. 花岗岩型铀矿文集. 北京: 原子能出版社: 1-404.
- 杜乐天. 2001. 中国热液铀矿床基本成矿规律和一般热液成矿学. 北京: 原子能出版社: 1-307.
- 杜乐天. 2011. 中国热液铀矿成矿理论体系. 铀矿地质, 27(2): 65-69.
- 杜乐天, 王玉明. 1984. 华南花岗岩型、火山岩型、碳硅泥岩型、砂岩型铀矿成矿机理的统一性. 放射性地质, (3): 1-10.
- 范春方, 陈培荣. 2000. 赣南陂头花岗岩体Nd-Sr同位素特征及其意义. 地质找矿论丛, 15(3): 282-287.
- 范洪海, 何德宝, 徐浩, 李建红, 孙远强, 夏宗强, 王凤岗, 谷雨, 李田港, 冯明月, 师玉涛. 2012. 全国花岗岩型铀矿资源潜力评价. 铀矿地质, 28(6): 335-341.
- 范裕, 周涛发, 袁峰, 钱存超, 陆三明, David R C. 2008. 安徽庐江-枞阳地区A型花岗岩的LA-ICP-MS 定年及其地质意义. 岩石学报, 24(8): 1715-1724.
- 冯明月, 何德宝. 2012. 富铀花岗岩源岩特征. 世界核地质科学, 29(1): 1-8.
- 洪大卫. 1982. 华南花岗岩的黑云母和矿物相及其与矿化系列的关系. 地质学报, 2(5): 149-164.
- 胡瑞忠, 毕献武, 彭建堂, 刘燊, 钟宏, 赵军红, 蒋国豪. 2007. 华南地区中生代以来岩石圈伸展及其与铀成矿关系研究的若干问题. 矿床地质, 26(2): 139-152.
- 胡瑞忠, 毕献武, 苏文超, 彭建堂, 李朝阳. 2004. 华南白垩-第三纪地壳拉张与铀成矿的关系. 地学前缘, 11(1): 153-160.
- 胡瑞忠, 李朝阳, 倪师军, 刘莉, 于津生. 1993. 华南花岗岩型铀矿床成矿热液中 CO₂来源研究. 中国科学(B辑), 23(2): 189-196.
- 黄凡, 侯可军, 陈郑辉, 陈振宇, 赵正. 2012. 赣东南大富足成铀岩体锆石U-Pb定年和构造背景与含矿性. 岩矿测试, 31(3): 518-524.
- 黄国龙, 吴烈勤, 邓平, 朱捌, 张彦春, 谭正中, 曹豪杰. 2006. 粤北花岗岩型铀矿找矿潜力及找矿方向. 铀矿地质, 22(5): 267-275.
- 黄国龙, 尹征平, 凌洪飞, 邓平, 朱捌, 沈渭洲. 2010. 粤北地区302矿床沥青铀矿的形成时代、地球化学特征及其成因研究. 矿床地质, 29(2): 352-360.
- 李婉巍, 王敢, 陈卫锋, 赵葵东. 2010. 香草坪花岗岩体年代学和地球化学特征. 铀矿地质, 26(4): 216-223.
- 李耀崧, 朱杰辰, 夏毓亮. 1995. 锆石特征及铀含量在铀成矿远景评价中的意义. 中国核科技报告: 1-15.
- 李月湘, 李田港. 1995. 201富铀矿床氢, 氧, 碳, 硫, 铅同位素研究. 铀矿地质, 11(5): 273-277.
- 李子颖. 2006. 华南热点铀成矿作用. 铀矿地质, 22(2): 65-69.
- 凌洪飞. 2011. 论花岗岩型铀矿床热液来源——来自氧逸度条件的制约. 地质论评, 57(2): 193-206.
- 刘昌实. 1984. 华南不同成因花岗岩黑云母类矿物化学成分对比. 桂林工学院学报, (2): 1-14.
- 刘继顺, 章邦桐. 1992. 华南陆壳铀地球化学演化与成矿. 华东地质学院学报, 15(2): 130-135.
- 刘金辉, 李学礼. 1997. 下庄铀矿田成矿热液的水源研究. 长春地质学院学报, 27(4): 415-419.
- 刘治恒, 巫晓兵. 2009. 中基性脉岩与铀成矿的关系. 现代矿业, (3): 77-80.
- 闵茂中, 孔令福. 1995. 广西六陈花岗岩的同位素地球化学特征. 地质论评, 41(1): 48-51.
- 闵茂中, 孔令福, 张祖还, 江仪, 张国文. 1987. 3701铀矿床地质特征及其热液叠加改造成矿作用. 矿床地质, 6(4): 72-80.
- 倪师军, 金景福. 1994. 302铀矿床热液的混合和沸腾垂直分带模式. 铀矿地质, 10(2): 70-77.
- 覃慕陶, 刘师先. 1998. 南岭花岗岩型和火山岩型铀矿床.

- 北京:地质出版社:1-174.
- 戎嘉树. 1980. 花岗岩中晶质铀矿及其找矿意义. 东华理工大学学报(自然科学版), (2): 173-183.
- 商朋强, 胡瑞忠, 毕献武, 刘雷, 张国全. 2007. 华南热液铀矿成矿作用若干问题探讨. 矿物岩石地球化学通报, 26(3): 290-294.
- 孙涛. 2006. 新编华南花岗岩分布图及其说明. 地质通报, 25(3): 332-337.
- 王旺章. 1996. 我国东南部中生代产铀花岗岩体铀成矿时代规律. 物探化探计算技术, 18(增刊): 86-89.
- 王志成. 2003. 南岭湘桂段中生代壳源岩浆作用和铀成矿作用. 南京: 南京大学博士学位论文: 1-73.
- 闻广. 1958. 就岩石化学特征论花岗岩类成矿专属性. 科学记录, 2(11): 446-459.
- 闻广. 1981. 关于岩浆岩成矿专属性研究. 地质论评, 27(5): 447-451.
- 闻广. 1983. 成矿专属性与成矿继承性. 矿床地质, 2(1): 1-10.
- 闻广, 闻轲. 1963. 再论岩浆成矿专属性, 43(4): 378-393.
- 吴烈勤, 谭正中, 刘汝洲, 黄国龙. 2003. 粤北下庄矿田铀矿成矿时代探讨. 铀矿地质, 19(1): 28-33.
- 谢晓华, 陈卫锋, 赵葵东, 孙涛, 陈培荣, 蒋少涌, 朱康任, 李妩巍. 2008. 桂东北豆乍山花岗岩年代学与地球化学特征. 岩石学报, 24(6): 1302-1312.
- 徐克勤, 孙翥, 王德滋, 刘昌实, 陈克荣. 1982. 华南两类不同成因花岗岩岩石学特征. 岩矿测试, 1(2): 1-12.
- 徐伟昌, 张运洪, 刘跃宝. 1994. 苗儿山复式岩基年代学研究的进展及时代划分方案. 岩石学报, 10(3): 330-337.
- 徐夕生, 邓平, O'Reilly S Y, Griffin W L, 周新民, 谭正中. 2003. 华南贵东杂岩体单颗粒锆石激光探针ICPMS U-Pb 定年及其成岩意义. 科学通报, 48(12): 1328-1334.
- 徐争启, 程发贵, 梁军, 唐纯勇, 张成江, 倪师军, 颜秋连, 余中美, 祁家明, 赵永鑫, 方永坤. 2011. 桂北摩天岭岩体两个典型铀矿床对比及铀成矿作用探讨. 矿物学报, (S1): 308-309.
- 杨文金, 王联魁, 张绍立, 徐文新. 1986. 华南两个不同成因系列花岗岩的云母标型特征. 矿物学报, 6(4): 298-307.
- 杨文金, 王联魁, 张绍立, 徐文新. 1988. 从云母微量元素特征探讨华南花岗岩的成因和演化. 矿物学报, 8(2): 127-135.
- 余达途. 1994. 伸展构造与铀成矿作用. 铀矿地质, 10(3): 129-137.
- 余达途, 吴仁贵, 陈培荣. 2005. 铀资源地质学. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社: 1-450.
- 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. 岩石学报, 23(6): 1441-1456.
- 张成江. 1990. 贵东岩体花岗岩中晶质铀矿的特征及其找矿意义. 成都地质学院学报, 17(3): 10-17.
- 张金带, 李友良, 简晓飞. 2008. 我国铀资源勘查状况及发展前景. 中国工程科学, 10(1): 54-60.
- 张振奋. 2007. 华南花岗岩型富铀矿区域成矿规律分析. 西部探矿工程, 19(2): 117-118.
- 张祖还, 章邦桐. 1991. 华南产铀花岗岩及有关铀矿床研究. 北京: 原子能出版社: 258.
- 章邦桐, 张富生, 倪琦生, 陈培荣, 翟建平, 沈渭洲. 1988. 安庐石英正长岩带的地质和地球化学特征及成因探讨. 岩石学报, 4(3): 1-2.
- 章邦桐, 张祖还. 1994. 华南东部铀成矿作用与陆壳演化的关系及其远景分析. 核科学与工程, 14(2): 157-164.
- 章健, 陈卫锋, 陈培荣. 2011. 华南印支期产铀和非产铀花岗岩黑云母矿物化学成分差异. 大地构造与成矿学, 35(2): 270-277.
- 郑懋公, 朱杰辰. 1984. 我国中酸性岩浆岩锆石铀含量变化及其地质意义. 铀矿地质, 23(3): 17-23.
- 朱捌. 2010. 地幔流体与铀成矿作用研究——以诸广山南部铀矿田为例. 成都: 成都理工大学博士学位论文: 123.
- 朱捌, 凌洪飞, 沈渭洲, 高剑峰, 邓平, 黄国龙, 谭正中. 2006. 粤北石土岭铀矿床同位素地球化学研究. 矿床地质, 25(1): 71-82.
- 邹明亮, 舒孝敬, 范立亭, 梁永东. 2011. 桂北摩天岭含铀花岗岩体岩石地球化学特征. 矿物岩石地球化学通报, 30(4): 415-422.

The Characteristics and Metallogenic Specialization of Granite-hosted Uranium Deposits in the Nanling Region

CHEN Zhenyu¹, HUANG Guolong², ZHU Ba², CHEN Zhenghui¹,
HUANG Fan¹, ZHAO Zheng¹ and TIAN Zejin³

(1. MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Resources Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. No. 290 Institute of China National Nuclear Corporation, Shaoguan 512026, Guangdong, China; 3. School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The Nanling region is an important area of granite-hosted uranium deposit cluster in China. The genetic type of the uranium-bearing granites is mainly of S type (reworking type) granite without lithology preference. Regional tectonics is one of the key factors controlling uranium mineralization, almost all of the hydrothermal uranium ore bodies occur in faults or fracture zones, and spatially associated with medium-mafic dikes that intrude into the granites. The uranium-bearing granites are characterized by pervasive and intensive hydrothermal alteration of diverse types. The formation times of the uranium-bearing granites are mainly Indosinian and Yanshanian, however, the mineralization times of uranium are mainly late Yanshanian and Himalayan, thus there is significant time difference between granite formation and uranium mineralization, which indicates that the granite formation and uranium mineralization are of two or more different geological processes. Granites of Indosinian and Yanshanian are the main source and wall-rock for the uranium mineralization, while the uranium mineralization is closely associated with extensional fault structures and alteration of the late Yanshanian and Himalayan. Thus, for the granite-hosted uranium deposits in the Nanling region, the extensional faults and accompanying medium-mafic magmatism and the late Yanshanian and Himalayan alteration have more metallogenic specialization than the Indosinian and Yanshanian granites themselves.

Keywords: the Nanling region; granite-hosted uranium deposit; metallogenic specialization; ore-controlling factors; metallogenic series