

粤北地区产铀岩体的铀矿化特征 及其成矿机制探讨

张 敏* 陈培荣 陈卫锋

南京大学地球科学系, 江苏南京, 210093

提 要 粤北地区是中国花岗岩型铀矿最为重要的大型矿聚集区, 其主要的产铀花岗岩体是诸广山岩体和贵东岩体, 均为多期多阶段的复式岩体, 主要以印支期和燕山期的花岗岩为主。粤北地区的铀矿床主要由诸广山的长江铀矿田、澜河铀矿田、鹿井铀矿田和贵东岩体的下庄铀矿田组成, 根据铀的成矿特征可分为硅化带型、交点型和碱交代型。粤北地区的铀成矿流体主要来自于地幔, 而不是以往认为的花岗岩浆期后热液, 铀源主要是粤北产铀岩体的印支期花岗岩。因此在华南开展新一轮铀矿找矿时, 跳以往“沿带找矿”的老思路, 聚焦于印支期岩浆作用与铀矿床的关系, 并重点关注华南地区可能的地幔柱或热点区域。

关键词 粤北 诸广山岩体 贵东岩体 铀矿化 成矿流体 铀源

中图分类号: P619.14 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-5296 (2006) 01-0009-06

东亚大陆的构造格架在中生代发生了一次重大转折, 其主应力场由南北向转为近东西向^[1], 同时出现了大规模的岩浆事件及成矿作用^[2]。在此构造背景下, 华南地区(指南岭及邻区)形成了一系列大型、超大型矿集区, 是我国 W、Sn、Bi、Ree、U、Cu、Pb、Zn 等矿产资源的重要生产基地。

在南岭地区, 中生代形成的花岗岩约占我国花岗岩总面积的 67%, 区内 80% 以上的稀有和有色金属矿床均形成在中生代花岗岩内, 以铀矿为例, 南岭地段的粤北地区是中国花岗岩型铀矿最为重要的大型矿聚集区, 区内已发现数个花岗岩型铀矿田、数十个铀矿床, 它们主要集中分布在诸广山岩体南部和贵东岩体东部^[3]。

1 粤北地区的地质特征及其铀矿分布

粤北地区在区域地质背景上位于华夏古陆西南缘, 处于闽赣后加里东隆起与湘桂粤北海西-印支拗陷的结合部位(图 1), 其主要的产

铀花岗岩体是诸广山岩体和贵东岩体, 该两个岩体是我国目前最大的铀矿产出区, 诸广山岩体和贵东岩体都是多期多阶段的复式岩体, 但主要以印支期和燕山期的花岗岩为主。

诸广山岩体是一个多期多阶段侵入的复式岩体, 印支期岩浆是构成复式体的主要部分, 地表出露呈南北向分布, 印支期岩体侵入于加里东期的桂东岩体、澜河混合岩及海西期的上龙岩体, 而其本身又被燕山早期岩体所侵入。贵东岩体呈东西向分布, 在东部向南方偏转, 并呈现北西走向。围岩为震旦纪及古生代的岩石, 目前, 对该地区成岩时代有不同认识, 其中绝大多数学者一致认为是燕山期花岗岩, 近些年, 高精度的同位素定年资料表明岩体内花岗岩有印支期的产物^[4], 因此可以大致认为是印支-燕山期的复式岩体。从图 1 中可以看出, 粤北地区的铀矿床主要分布在诸广山岩体和贵东岩体这两个岩体中, 其中诸广山岩体主要分布在岩体的南段, 由长江铀矿田、澜河铀矿田

* 第一作者简介: 张敏, (1979~), 男, 主要从事岩石地球化学和铀矿床学方面的研究, 博士生
收稿日期: 2005-11-15; 改回日期: 2005-12-02

成矿温度较高, 可达 340°C。铀矿化赋存于近东西向裂隙中, 含矿构造往往叠加于糜棱岩、碱交代带中及其附近。矿石类型为沥青铀矿-钠长石-蠕绿泥石型。沥青铀矿呈脉状, 无胶状结构。围岩蚀变以钠长石化、红化为主, 少量碳酸盐化。

(2) 碎裂岩型在诸广山和贵东的矿田没有形成独立矿床, 而是在某一矿床中形成一些工业矿体, 矿石品位不高, 一般为 0.1%~0.2%。铀矿化赋存于碱交代花岗岩或碱交代岩中, 呈分散状沥青铀矿微脉, 往往与脉状绿泥石、黄铁矿有关。

3 成矿流体来源

粤北地区铀矿的成矿模式历来受到人们高度重视, 一般来说, 碱交代作用与铀成矿作用的密切关系已得到绝大多数学者们的公认^[3~15], 尤其是对于热液铀矿床来说, 碱交代作用是成矿作用最核心的一个机制。碱交代作用的发育有利于富铀花岗岩中铀的活化转移, 为成矿流体中铀的富集创造有利条件; 并且在某些条件下 (尤其是在碱交代作用晚期) 可以导致大量铀转移进入交代流体 (地幔流体), 为其在后期的有利的物理化学条件下直接富集成矿创造了条件。对于粤北地区铀矿床碱交代作用的成因, 过去往往认为是由岩浆期后残余热液的自变质 (交代) 作用形成, 而最新的研究认为铀矿床的碱交代作用不是岩浆演化晚阶段自变质作用产物, 而是在岩体形成以后, 由沿深层次伸展构造上升的地幔流体的交代作用形成^[5]。

地幔流体是一种以富碱 (K, Na, Li) 和富挥发分 (CO₂, S, H₂O) 为特征的超临界流体, 具有极强的渗透能力、萃取能力和化学反应能力^[6]。我们知道, 陆下地幔中一般存在明显的地幔交代作用, 有大量流体存在^[7], 当它们穿过上地幔及莫霍面进入岩石圈地壳时, 将由地幔状态下的超临界状态逐渐降到临界点, 此时会发生绝热膨胀和迅猛的化学反应, 并由于膨胀吸热而转变为热液, 与地壳岩石产生强烈

的碱交代作用^[8]。在铀成矿作用中, 地幔流体具有较高的溶解能力, 含有丰富的铀矿化剂; 在穿越地壳向上迁移的过程中, 既可激发、活化地壳中的铀元素, 也可促进浅部流体的循环对流, 萃取更多的铀成矿物质; 其充足的流体来源和稳定的热源条件可以使铀成矿系统能够长时间维持。

长期以来, 我国铀矿地质界因循一些观念, 即花岗岩型铀矿床是浅成低温矿床, 在成矿理论和成矿模式上侧重于浅源浅成理论体系, 地热体系的中低温浅成脉状矿床也成了该体系常用的模式, 例如周维勋提出的内生预富集表生汲取成矿模式^[16]和杜乐天提出的双重成因模式^[3]等。周维勋认为成矿溶液中的铀是在特定的炎热干燥古气候条件下被表生下降水从已固结的花岗岩体中汲取出来, 然后含铀溶液经加热回返上升形成铀矿床; 杜乐天认为铀成矿是下降水、下降铀和上升水、上升铀共同作用的结果。各种模式在细节上存在差异, 但总体上都强调成矿热液主要来源于已固结的花岗岩, 可统称为中低温浅成岩源流体成矿模式, 这些成矿模式在铀矿找矿实践中发挥了重要的指导作用, 但随着铀矿地质工作的深入, 已远不能概括已发现铀矿中存在的各种现象和特征, 特别是一些铀矿床中存在的高温特征和地幔流体作用的特征。

大量的铀成矿模拟实验和铀矿床研究资料均表明, 铀主要以碳酸铀酰配合物 [UO₂CO₃]₂⁻和 [UO₂CO₃]₄⁻等形式在热液中迁移, 随着流体的演化, 在适当的条件下碳酸铀酰配合物发生分解则使铀沉淀富集。已有研究显示, 铀源花岗岩中四价铀被活化转入热液的可能性和规模, 取决于深部条件下热液的氧逸度 (决定深部条件下铀能否被氧化) 和热液中 ΣCO₂ (决定被氧化的六价铀能否进入热液) 的含量。戚华文等^[9]对诸广山、贵东岩体各阶段岩石中石英中的原生流体包裹体 (代表了成岩过程中分异出的岩浆期后热液) 进行了分析, 并把其分析结果与粤北地区的 201、322 铀矿床的成矿期热液成分进行对比, 见表 1^[9]。

表 1 201、322 铀矿床和诸广山、贵东岩体不同阶段流体包裹体平均成分表 (单位: mol/L)

Table 1 Average composition table of each phase fluid-inclusion in No.201, No.322 uranium deposits and Zhuguangshan, Guidong plutons (mol/L)

成 分	CH ₄	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₂ +HCO ₃ ⁻
诸广山	0.17	0.21	0.27	0.25	0.13	0.28	0.46	0.27	0.80
贵 东	0.81	0.14	0.19	0.21	0.14	0.19	0.48	0.10	0.79
201	0.00	0.00	0.06	0.48	0.02	0.04	0.02	0.15	1.55
322	0.08	0.15	0.41	0.46	0.13	0.72	0.10	0.16	3.41

资料来源: 参考文献[9]

结果表明, 诸广山和贵东岩体成岩过程中花岗岩浆分异出的岩浆流体, 其 CO₂ + HCO₃⁻ 的含量 (平均值) 为 0.80mol/L 和 0.79mol/L, 明显贫 CO₂ 和 HCO₃⁻, 比粤北地区的 201、322 铀矿床的成矿期热液的 CO₂ + HCO₃⁻ 的 1.55 mol/L 和 3.41mol/L 的含量要低得多, 因此是具相对还原性的热液, 这样的环境条件不但不能促进岩浆流体对铀的有效活化, 反而会起到一定程度的阻止作用。因而, 粤北诸广山和贵东岩体的铀成矿热液不大可能来源于已固结的花岗岩, 而很可能是来自地幔的。一般来说, 如果在铀矿中发现高温蚀变和高温矿物, 通常可以说明在铀成矿中存在高温热液。从诸广山、贵东花岗岩型铀矿早期铀矿化形成的围岩蚀变来看, 主要为钾长石化、白云母化、绢云母化、伟晶岩化、绿泥石化和赤铁矿化, 近矿围岩蚀变主要为云英岩化、电气石化, 基本上都具碱交代特征, 处在高温蚀变的范围内; 从粤北地区铀矿床的形成温度来看, 其成矿温度可以高达 300~350°C, 如产在贵东岩体 337 矿床和产在诸广山岩体的 201 矿床; 产在贵东岩体中的 333 矿床广泛发育云英岩、电英岩和黑云母相气液高温交代蚀变岩等, 铀矿石以晶质铀矿、白钨矿、电气石矿物组合为特征的气液高温类型为主。碳同位素研究表明, 粤北地区花岗岩型铀矿的 δ¹³C 的平均值为 -8.6‰~-6.0‰, 这说明碳主要属幔源型, 充分指示铀成矿过程中的流体来源于地幔^[11]。

4 铀的来源

粤北地区的源自富集地幔的基性岩脉具有低的铀含量 (<1.6×10⁻⁶), 因此这种富集地幔

源区并不能提供形成铀矿床所必需的铀源^[5]。而花岗岩分布广, 规模大, 而且其铀含量平均值高于 16×10⁻⁶^[12], 可以为铀的成矿提供丰富的铀源。

作为南岭花岗岩型铀矿的主要产区的粤北产铀岩体——诸广山岩体和贵东岩体, 其岩体主体都由印支期花岗岩和燕山期花岗岩组成, 以往大多数学者认为该地区的燕山期花岗岩为铀矿的形成提供了铀源, 这是因为印支期华南地区没有发生大规模的金属成矿作用, 因而他们过分强调燕山期岩浆作用与热液铀矿床 (花岗岩型和火山岩型) 的成因联系, 这样造成了对印支期花岗岩在铀成矿的制约作用的忽视^[13]。

最近的研究表明, 粤北地区产铀岩体热液铀矿床的基底或围岩往往都由该时代的花岗岩构成, 例如对贵东岩体的研究表明, 与该岩体东部众多铀矿床有关的下庄岩体不是前人认定的燕山期岩体, 因为岩体中结晶完好的岩浆成因单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 228~236Ma^[4]; 诸广山岩体中的长江铀矿田、澜河铀矿田、鹿井铀矿田等, 矿区范围内均以大面积分布的印支期花岗岩作为燕山期小岩体和矿体的围岩。另外, 从南岭其它地区的铀矿床来看, 毛洋头铀矿床, 盖层火山岩为南园组 (K) 的英安质至流纹质火山岩, 基底是印支期高溪黑云母花岗岩^[14]; 对苗儿山复式岩体的研究表明, 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 年龄也为印支期^[15]。章邦桐对白面石铀矿床成矿物质来源的研究表明, 火山盆地基底印支期花岗岩的活动铀含量高, 浸出率高达 56.3%, 平均为 33.7%; 双峰式火山岩

组合的活动铀含量低, 浸出率仅为 2.1% (玄武岩) ~7.8% (流纹斑岩), 根据铅同位素计算, 基底印支期花岗岩中 12%~23.9% 的铀已被迁移带出, 章邦桐的研究结果表明, 白面石铀矿床的成矿物质主要来源于其基底的印支期花岗岩^[17]。

因此从目前研究表明, 粤北产铀岩体的印支期花岗岩在铀矿形成中发挥了关键性作用, 为铀矿床提供了铀源。而燕山期的花岗岩主要是为铀矿的形成提供了成矿环境和成矿条件, 燕山期构造-岩浆热事件叠加在印支期的花岗岩上, 有利于诸广山和贵东岩体中大型热液铀矿床的形成, 其发挥的主要作用是提供热源、矿化剂和动力条件。因此粤北产铀岩体成矿的地球动力学背景是印支期同构造板内造山作用与燕山期裂谷作用的叠加覆合, 燕山晚期的断陷作用提供了矿化

剂 (主要是 CO_2)^[7], 并沟通了流体的对流循环, 限制了铀的成矿时代。

5 铀成矿模式

基于前面的讨论, 可以认为, 粤北产铀岩体的铀成矿模式为图 2 所示。粤北地区产铀岩体在成矿时, 流体中的 H_2O 和 ΣCO_2 分别来自不同的源区, ΣCO_2 主要来自地幔, 是地幔部分熔融过程中释放并伴随幔源铁镁质岩浆底侵而进入到地壳之中, H_2O 主要来源于地幔流体途径的围岩, 部分可能来源于大气降水。U 主要来源于产铀岩体的印支期的基底或围岩, 部分可能来自于地幔。在南岭地区前 200~80Ma 期间喷出的玄武岩中, 包体的 W、Sb、Bi、U、Th、Cu 等元素含量比原始地幔高出 2.8~73 倍。因此, 在成矿物质来源方面, 地幔可能也有贡献。

在燕山期的构造-岩浆活动中, 当富 ΣCO_2

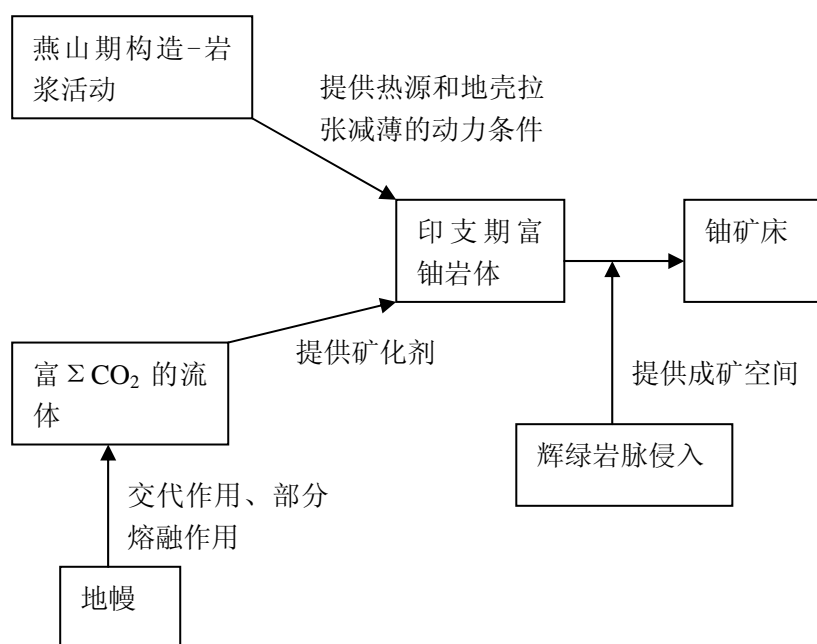


图 2 粤北产铀岩体的铀成矿模式示意图

Fig.2 Uranium metallogenic sketch map of uranium deposit plutons in northern Guangdong province

的地幔流体途经印支期的富铀岩体时, 富铀岩体中的铀被萃取到流体中, 形成富 ΣCO_2 、富 U 的成矿热液, 当富 ΣCO_2 、富 U 热液上升到压力突然降低的部位, 因 ΣCO_2 大量逸出而使

铀沉淀形成铀矿, 而这种压力突然降低的部分通常是辉绿岩脉侵入的地段。在其它成矿条件有利的前提下, 铀矿床的规模和品位主要取决于 U 源与 ΣCO_2 源有机配合的结果。

6 结论

长期以来,我国铀矿地质界认为,粤北产铀岩体的花岗岩型铀矿床是浅成低温矿床,在成矿理论和成矿模式上侧重于浅源浅成理论体系,并认为该地区的燕山期花岗岩为铀矿的形成提供了铀源,这些成矿理论和模式曾在铀矿找矿实践中发挥了重要的指导作用,但随着铀矿地质工作的深入,已远不能概括已发现铀矿中存在的各种现象和特征。现在研究表明,粤北产铀岩体的碱交代作用并不是岩浆演化晚阶段自变质作用产物,而是在岩体形成以后,由沿深层次伸展构造上升的地幔流体的交代作用形成。在燕

山期的构造-岩浆活动中,当富 ΣCO_2 的地幔流体途经印支期的富铀岩体时,富铀岩体中的铀被萃取到流体中,形成富 ΣCO_2 、富 U 的成矿热液,当富 ΣCO_2 、富 U 热液上升到压力突然降低的部位,因 ΣCO_2 大量逸出而使铀沉淀形成铀矿。

对粤北产铀花岗岩中铀矿的再认识,目的是为了实践,因此在华南开展新一轮铀矿找矿时,跳出以往“沿硅化带找矿”的老思路,首先聚焦与印支期岩浆作用与铀矿床的关系,关注华南地区可能的地幔柱或热点地带,并着手于晚阶段的燕山期的构造-岩浆热事件的叠加作用,为我国找出更多的铀矿床出来。

参 考 文 献

- 1 任纪舜. 论中国大陆岩石圈构造的基本特征[J]. 中国区域地质, 1991 (2): 289~293
- 2 陶奎元, 毛建仁, 邢光福, 等. 中国东部燕山期火山-岩浆大爆发[J]. 矿床地质, 1999, 18 (4): 316~322
- 3 杜乐天. 花岗岩型铀矿文集[M]. 北京: 原子能出版社, 1982. 1~404
- 4 徐夕生, 邓平, O'Reilly S Y, 等. 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[J]. 科学通报, 2003, 48: 1328~1334
- 5 邓平, 凌洪飞, 沈渭洲, 等. 粤北石土岭铀矿床碱交代作用成因探讨[J]. 地质论评, 2005, 51 (5): 557~565
- 6 张铭杰, 于先彬, 李立武. 地幔流体组成[J]. 地学前缘, 2000, 7 (2): 401~412
- 7 胡瑞忠, 李朝阳, 倪师军, 等. 华南花岗岩型铀矿床成矿热液中 ΣCO_2 来源研究[J]. 中国科学(B辑), 1993, 23 (2): 189~196
- 8 杜乐天. 地壳流体与地幔流体间的关系[J]. 地学前缘, 1996, 3 (4): 172~180
- 9 戚华文, 胡瑞忠. 华南花岗岩岩浆期后热液与铀成矿热液的初步对比[J]. 矿物学报, 2000, 20 (4): 401~405
- 10 王健方, 高德统, 郑家仪. 诸广岩体南部富铀矿成矿地球化学条件的初步探讨[J]. 铀矿地质, 1989, 5 (4): 194~202
- 11 余达淦. 中国东南部中生代岩浆带中铀的成矿环境和成矿模式[J]. 铀矿地质, 1992, 8 (2): 75~82
- 12 凌洪飞, 沈渭洲, 邓平, 等. 粤北笋洞花岗岩的形成时代、地球化学特征与成因[J]. 岩石学报, 2004, 20 (3): 413~424
- 13 陈培荣. 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[J]. 铀矿地质, 2004, 20 (5): 266~270
- 14 卢武长, 王玉生. 福建 570 铀矿床的同位素地质特征[J]. 成都地质学院学报, 1990, 17 (1): 85~92
- 15 王志成. 南岭湘桂段中生代壳源岩浆作用和铀成矿作用(博士论文)[D]. 南京大学, 2003
- 16 周维勋. 华南大陆构造与铀矿省[J]. 铀矿地质, 1996, 12 (1)
- 17 章邦桐, 陈培荣, 孔兴功. 赣南白面石过铝花岗岩基底为 6710 铀矿田提供成矿物质的地球化学证据[J]. 地球化学, 2003, 32 (3): 201~207

(下转 26 页)

GEOLOGIC FEATURES AND ITS GENESIS OF SUPER SIZED GERMANIUM RICH LEAD-ZINC DEPOSIT IN HUIZE

Xue Bugao

Yunnan Economic Committee, Kunming, Yunnan, 650011, China

Abstract

The Huize Pb-Zn deposit occurs in fractured-uplifted environment of the downwarp setting and with the rift meshwork which for mineral transmitting and mineral locating, and with abundant source of ore supplied by its multilayer source bed. the poor ore mineralization of volcanic hydrothermal solution for the first stage was formed during the Variscan, the eruption of basalt magma brought part mineral matters from deep source and extracting minerals by the reformation of its source bed. with evidences of riches in associated elements combination germanium related to broad output acidic rock and model age of lead isotope, two group data from unified temperature of inclusions, as well as the occurs of two kinds of sulfide ore which poor in the top and rich in the down part. it is conclude that there are acidic rock body related to thermal fluid stack mineralization of Yanshanian in the deep area, and the super sized germanium rich lead -zinc deposit occurs in the paraplatform with the simple structure and singleness lithology and without magmatic rock crop out .

Key words: metallogenetic setting, geologic features, genesis, discuss

~~~~~  
(上接 14 页)

## URANIUM METALLOGENIC CHARACTERISTICS AND DISCUSSION ON METALLOGENIC SETTING OF URANIUM PLUTONS IN NORTHERN GUANGDONG PROVINCE

Zhang Min Chen Peirong Chen Weifeng

*Earthscience Department, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu, 210093, China*

### Abstract

Northern Guangdong province is the most important uranium deposit collective region, and its major uranium deposit plutons are Zhuguangshan granite pluton and Guidong granite pluton, which are multi-period and multi-phase composite plutons and made up mainly of Indosinian and Yanshanian granites. Uranium deposits in northern Guangdong province is mainly made up of Changjiang uranium deposit field, Lanhe uranium deposit field, Lujing uranium deposit field, which are belong to Zhuangshan pluton, and Xiazhuang uranium deposit field, which is belong to Guidong uranium deposit field. These uranium deposits can be divided into three types: silicified belt type, point of intersection type, and alkaline metasomatism type, by the metallogenetic characteristics of uranium deposits. So in the new round exploration on uranium deposit in south China, We should avoid the old views for exploration by silicified belt, focus on the relation between the Indosinian magmatism and uranium deposit, and pay great attention to the regions which are possibly the mantle plume or hotspot.

**Key words:** northern Guangdong province, Zhuguangshan pluton, guidong pluton, uranium metallogeny, metallogenetic fluid, uranium resource