粤北青嶂山岩体江头矿区铀矿微区矿物学、 年代学特征及其成矿动力背景制约

赖静,祁家明,陈军军,李钟枢,曹豪杰 核工业二九○研究所,广东韶关,512026

内容提要:粤北诸广和贵东是华南最重要的两个花岗型铀矿密集区,青嶂山(龙源坝)岩体位于两者之间,是华南花岗岩型铀矿研究薄弱地区。江头铀矿区地处青嶂山岩体北部与南雄断陷盆地的结合部位,该矿区的铀成矿年代学研究几为空白。本文通过电子探针方法研究了青嶂山岩体、及与该岩体密切相关的江头矿区中的铀矿物微区矿物学特征,获得岩浆成因的晶质铀矿与热液成因的沥青铀矿的 U-Th-Pb 化学年龄,探讨了华南铀成矿作用动力学背景及成矿地质体。研究表明:青嶂山岩体粗粒斑状黑云母花岗岩和中粒斑状黑云母花岗岩中的铀矿物主要有晶质铀矿、铀石,部分晶质铀矿存在明显铀释放的特征,其晶质铀矿化学年龄分别为 246.8±8.8Ma、161.5±8.0Ma,与前人获得的锆石 U-Pb 年龄结果在误差范围内一致,分别代表了区内印支期与燕山期花岗岩体的成岩年龄,表明在南雄断陷盆地形成之前,青嶂山岩体与诸广岩体可能为一有机整体,有着相同的成岩、成矿环境。江头矿区矿石中铀矿物主要为沥青铀矿,伴有少量钛铀矿、铀石等,沥青铀矿化学年龄分别为 121.3±9.8Ma、98.8±8.0Ma、73.2±8.8Ma,分别代表区内3期铀成矿作用的时代,结合华南中生代以来构造运动特征,认为区内铀成矿作用是受中一新生代盆地边缘深大断陷活动、产铀花岗岩体分布的双要素成矿动力学背景制约,青嶂山岩体应与诸广、贵东岩体具有相似的找矿前景。

关键词:青嶂山岩体;江头矿区;铀矿物特征;化学年龄;成矿动力背景

粤北地区是我国重要的花岗岩型铀矿产地,前 人对诸广和贵东岩体做过非常深入的研究,已发现 多个超大型花岗岩型铀矿田(Huang Guolong, 2006)。而位于诸广和贵东岩体之间的青嶂山(龙源 坝)岩体,其大地构造位置同属南岭成矿带中段,同属 桃山一诸广铀成矿带,但历来都是铀矿找矿的薄弱地 区。青嶂山地区迄今为止发现了良伞寨(221,矿床名 称后括号中 221 等数字均为矿床对应代号)、上窖 (222)、鹅公塘(223)、李坑(271)、江头(273)、锄头岭 (274)等6个小型铀矿床,其中江头(273)矿床位于青 嶂山岩体北部与南雄盆地接触部位。青嶂山地区基 础性科研相对滞后,目前只发表过少量的岩体锆石 U-Pb年龄及地球化学研究(Zhang Min et al.,2006a; Sun Liqiang,2018;Gao Peng,2016);有限程度的铀矿 科研工作也多集中于岩体中南部由良伞寨(221)、上 窖(222)、鹅公塘(223)等矿床组成的黄沙矿区内 (Zhang Wanliang et al., 2016; Dang Feipeng et al., 2017; Nie Bin, 2018), 青嶂山岩体北部江头矿区的相 关研究工作几乎为空白。本文采用电子探针方法对 江头矿区的花岗岩及矿石中的铀矿物开展微区矿物 学和年代学研究,旨在初步掌握区内铀矿物的主要 类型与特征、铀成矿年龄,探讨铀成矿作用及成矿动 力学背景,为区内下一步铀矿勘查、科研提供依据。

江头矿区的沥青铀矿多以浸染状赋存于矿石 内,无法挑选出足量的沥青铀矿单颗粒矿物获取 U-Pb 同位素年龄,目前,可利用电子探针方法测定其化 学年龄,该方法相对简单方便、高效经济,非常适用于 本工作区铀矿物颗粒极细小且研究程度较低的区域。

 引用本文:赖静,祁家明,陈军军,李钟枢,曹豪杰.2020. 粤北青嶂山岩体江头矿区铀矿微区矿物学、年代学特征及其成矿动力背景制约. 地质学报,94(4):1128~1142, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2019176.
 Lai Jing, Qi Jiaming, Chen Junjun, Li Zhongshu, Cao Haojie.2020. Uranium micromineralogy and geochronology of the Jiangtou Uranium Ore Field in the Qingzhangshan granite pluton, north Guangdong: constraints on the genetic relationship with metallogenic dynamic background. Acta Geologica Sinica, 94(4): 1128~1142.

注:本文为中国地质调查局"全国重要矿集区找矿预测"项目(编号:DD2016005209);中核集团集中研发项目(编号:地LTD1602);中国核 工业地质局科研项目(编号:201639、201836);广东省诸广矿集区铀矿资源调查评价与勘查(编号:201926)资助的成果。 收稿日期:2019-01-04;改回日期:2019-04-17;网络发表日期:2019-08-02;责任编委:毕献武;责任编辑:黄敏。

作者简介:赖静,男,1994年生,硕士,助理工程师,专业:地质资源与地质工程;Email: jinglai1994@163.com。通讯作者:祁家明,男,1987年生,硕士,工程师,主要从事铀矿勘查及科研工作;Email: jiaming_qi@126.com。

自电子探针技术诞生以来,一直在不断完善改进,虽然现代分析测试技术飞速发展但是 EPMA 一 直是许多学者矿物研究的常用手段,早在 1968 年 Ranchin 采用电子探针技术获得了晶质铀矿的 U-Th-Pb 化学年龄。随后,Bowles 于 1990 提出利用 反复迭代法更加精确地获得铀矿物的 U-Th-Pb 化 学年龄;此后,国内外许多学者利用电子探针进行了 铀矿物特征研究并计算化学年龄,对于该方法的理 论和年龄可靠性及误差等都给出了详细的介绍 (Ranchin, 1968; Bowles, 1990; Cameron, 1978; Zhang Zhaoming, 1982; Kempe, 2003; Ge Xiangkun, 2013; Luo et al., 2015a, 2017; Luo Jincheng et al., 2019)。

1 矿区地质概况

江头矿区位于青嶂山岩体北部,紧邻南雄断陷 盆地(图 1a)。区内出露地层简单,仅东部和北部地 区出露有前泥盆纪绢云母片岩,北西侧为南雄盆地 白垩纪砾岩、砂砾岩(图 1b)。区内岩浆活动频繁, 大面积出露印支期灰白色粗粒、中粗粒斑状黑云母 花岗岩、燕山期中细粒一中粒一中粗粒(少)斑状黑 云母花岗岩,此外还有细粒花岗岩、细粒花岗闪长岩 以小岩体产出,各岩相间多呈渐变接触关系(图 1b)。区内构造发育,区域性断裂为 NE 向江头断 裂,是青嶂山岩体与南雄盆地的盆岭构造界线,也是 区内铀矿化的控矿断裂。受 NE 向江头断裂影响, 区内多见 NW 向、NE 向和近 EW 向次级构造,其中 NW 向多为张扭性构造充填辉绿岩脉,走向 290°~ 350°;NE 向构造总体呈 50°~55°走向展布,形成一 系列挤压带和冲断面,主要为硅化碎裂带或石英脉, 在区内断续出露膨胀收缩现象较为明显;近 EW 向 构造带为张扭一压扭多期次复合性构造,多为硅化 破碎带或石英脉所充填,走向为265°~275°,是区内 主要的铀矿控矿构造。

江头矿区的主要含矿构造即 I、II、III 号硅化 带,矿石类型以硅化带型、蚀变碎裂岩型铀矿石为 主,少量萤石型以及产在硅化带与辉绿岩脉二者交 汇接触部位所夹持的蚀变碎裂岩型矿石(野外曾暂 定"交点型"矿石,经对比发现其实质是蚀变碎裂岩 型)。矿体形态复杂,呈不规则透镜体、扁豆状、纺锤 状等,厚度大、品位低、矿化不均匀,延伸不稳定,往 往突变尖灭或分叉尖灭。矿石矿物成分较简单,铀 矿物以沥青铀矿为主,伴生矿物主要为萤石、赤铁 矿、绿泥石等。围岩蚀变与华南多数热液型铀矿床 类似,主要有赤铁矿化、绢云母化、碳酸盐化、弱硅 化、绿泥石化、黄铁矿化等。

2 样品分析及结果

本文分别采集了江头矿区内的粗粒斑状黑云母 花岗岩(HGY-1)、中粒斑状黑云母花岗岩(HGY-2) 以及铀矿石 273-1(硅化带型)、273-2(蚀变碎裂岩 型)、276-1(蚀变碎裂岩型)共5件岩矿石样品,具体 采样位置见图 1b。

将所采集的岩矿石样品磨制成电子探针片,并 在显微镜下观察选择铀矿物并圈定为目标靶区;然 后对电子探针片进行镀碳处理,在圈定的靶区内利 用电子探针背散射图像进行观察、能谱仪定性分析 和元素定量分析。样品电子探针测试在东华理工大 学核资源与环境国家重点实验室完成,电子探针仪 器型号为JXA-8100,能谱仪 Inca Enery,加速电压 15KV,电子束斑直径为1μm,探针电流2.00×10⁻⁸ A。Th、U与Pb均选用 Ma线,采用 PET(U、Th) 和 PETH(Pb)晶体测量。标样选择主要为 UO₂ (U)、方钍石(Th、Pb)、独居石(La、Ce、Nd)、方镁石 (Mg)、钙长石(Ca)、黑云母(Fe)、金红石(Ti)、硬玉 (Si、Na)、磷灰石(P);测试标准按(GB/T15617-2002)执行,测得数据经 ZAF 程序校正。电子探针 分析结果见表1。

3 铀矿物主要特征

3.1 铀矿物类型及其赋存状态

通过显微镜下观察和电子探针分析可知,江头 矿区独立铀矿物主要有晶质铀矿和沥青铀矿、铀石、 钛铀矿及铀钍石。其中晶质铀矿、铀石主要作为副 矿物存在于花岗岩中,具岩浆成因;沥青铀矿、铀石、 钛铀矿、铀钍石主要存在于矿石中,具热液成因。这 些铀矿物微区显微特征如下。

3.1.1 晶质铀矿

晶质铀矿主要存在于花岗岩中,是主要独立铀 矿物,常与锆石、磷灰石等一起赋存在黑云母或黑云 母假象绿泥石中(图 2a)。晶质铀矿主要呈颗粒状, 晶形较好,背散射(BSE)图像中呈亮白色,粒径多在 100um 左右;因为后期热液活动,多数晶质铀矿被 交代改造,晶形假象残留(图 2a),成分发生明显变 化,溶蚀现象较为明显,BSE 图像表现为矿物中间 大量黑点(图 2a),化学成分中 UO₂含量明显降低、 总量降低,杂质含量增加(具体数据未列出),反映了 其中铀的释放,可能为区域铀成矿提供了铀源;在电



图 1 粤北青嶂山岩体江头矿区构造位置及江头矿区地质简图(据 1:1 万江头矿区铀矿地质图修改) Fig. 1 Tectonic location and sketch geological map of Jiangtou area in Qingzhangshan granite pluton, northern Guangdong (modified from 1:10,000 uranium mine geological map of Jiangtou area)

1—砂砾岩;2—浅变质粉砂岩;3—石英斑岩;4—正长闪长岩;5—细粒黑云母花岗岩;6—中一细粒黑云母花岗岩;7—中一粗粒黑云母花岗岩; 8—粗粒少斑状黑云母花岗岩;9—粗粒斑状黑云母花岗岩(中心相);10—粗粒斑状黑云母花岗岩(过渡相);11—细粒花岗闪长岩;12—硅化带; 13—辉绿岩脉;14—岩相界线;15—铀矿床、矿(化)点及其编号;16—样品位置及其编号

1—glutenite; 2—shallow metamorphic siltstone; 3—quartz porphyry; 4—syenite diorite; 5—granule biotite granite; 6—medium- fine biotite granite; 7—medium-coarse grained biotite granite; 8—Coarse-grained and less porphyritic biotite granite; 9—coarse-grained porphyry biotite granite (central facies); 10—coarse-grained porphyry biotite granite (transitional facies); 11—fine-grained granodiorite; 12—silicified fault zone; 13—diabase dyke; 14—lithofacies boundary; 15—uranium deposits, mine points and numbers; 16—sample location and numbers

子探针实验时要注意选择未遭受热液改造的晶质铀 矿进行测试。

3.1.2 沥青铀矿

沥青铀矿是矿石中主要铀矿物,花岗岩中有少

表 1 粤北江头地区铀矿物电子探针分析结果(%)和化学年龄计算值

Table 1 EPMA analyses results (%) chemical ages of uranium mineral in Jiangtou area, northern Guangdong

样品号	PbO	Ce_2O_3	UO_2	$\mathrm{Al}_2\mathrm{O}_3$	Nd_2O_3	Y_2O_3	SiO_2	MgO	FeO	ThO_2	${\rm TiO}_2$	ZrO_2	Nb_2O_5	CaO	总量	矿物名称	年龄(Ma)
HGY-1-1		0.04	91.69	0.01	0.04	0.43	0.05	0.03	0.16	4.86	0.10	0.06	_	0.13	100.51	晶质铀矿	246
HGY-1-1	2.86	0.13	91.47	0.12	0.03	0.61	0.15	0.03	0.06	4.62	0.02	—	_	—	100.19	晶质铀矿	244
HGY-1-1	2.88	0.16	91.63	-	0.09	0.72	0.02	0.01	0.32	4.14	0.02	0.03	0.03	_	100.12	晶质铀矿	246
HGY-1-2	2.91	0.09	92.03	-	0.04	0.49	0.04	0.02	0.13	3.37	0.03	—	-	_	99.33	晶质铀矿	248
HGY-1-2	2.92	0.11	91.30	_	0.07		0.04	_	0.12	4.50	_	0.00	0.01	_	99.67	晶质铀矿	250
HGY-2-1	1.60	0.16	77.60	0.83	0.16	2.91	2.53	0.18	0.63	6.71	0.03	0.03	0.01	0.47	94.52	晶质铀矿	159
HGY-2-1	1.61	0.14	77.95	0.98	0.14	2.41	2.32	0.22	0.72	5.52	0.04	0.04	0.04	0.63	93.15	晶质铀矿	160
HGY-2-1	1.62	0.12	79.67	1.36	0.17	3.80	3.55	0.30	1.34	6.75	0.03	0.11	0.12	1.04	100.31	晶质铀矿	157
HGY-2-2	1.66	0.06	77.47	1.63	0.08	3.67	4.70	0.48	1.53	6.56	0.02	0.13	0.19	0.71	99.35	晶质铀矿	165
HGY-2-2	1.56	0.14	72.30	2.67	0.20	1.95	7.14	0.35	2.42	5.50	0.11	0.04	0.17	0.42	96.11	晶质铀矿	167
HGY-2-2	1.64	0.12	78.86	1.27	0.15	3.71	3.37	0.32	1.16	6.57	0.02	0.18	0.10	1.06	99.52	晶质铀矿	160
平均值	2.15	0.12	83.82	2.12	0.10	1.81	4.36	0.18	0.73	5.11	0.04	0.07	0.08	0.41	93.55		
273-2	1.34	0.75	88.27	0.87	0.31	0.34	3.41	0.41	1.22	_	0.30	0.07	0.07	2.08	99.86	沥青铀矿	121
273-2	1.36	0.79	88.60	0.84	0.33	0.46	2.60	0.12	0.62	_	0.26	0.03	0.10	3.09	99.58	沥青铀矿	122
273-2	1.43	0.61	90.60	0.63	0.30	0.71	_	0.97	1.40	0.01	0.56	0.31	0.81	0.77	99.44	沥青铀矿	125
273-2	1.43	0.10	94.76	_	_	0.17	0.01	_	0.07	2.58	_	0.04	_	_	99.16	沥青铀矿	119
273-1	1.27	0.12	96.64	_	_	0.20	_	_	0.09	1.70	_	_	0.04	_	100.10	沥青铀矿	104
273-1	1.08	0.84	86.12	0.54	0.48	0.74	3.47	_	0.38	_	0.70	0.35	0.76	3.70	99.42	沥青铀矿	100
273-1	1.06	0.05	93.79	0.00	_	0.31	0.06	0.04	0.03	2.87	0.02	_	_	0.05	98.48	沥青铀矿	89
273-1	1.10	0.11	92.58	_	_	0.26	0.08	0.04	0.08	1.99	0.05	0.03	0.04	_	96.47	沥青铀矿	94
273-1	1.09	0.65	83.77	0.75	0.24	0.43	_	0.04	1.23	0.60	0.02	0.01	0.88	2.68	92.72	沥青铀矿	103
273-1	1. 28	0.16	97.64	_	_	0.32	_	0.01	0.06	1.14	_	_	_	0.00	100.60	沥青铀矿	104
276-1	0.85	0 11	92 49	_	_	0.11	_	_	0.16	_	0.02	0.06	_	0.22	94 05	沥青轴矿	73
276-1	0.80	0.10	88 04	_	_	0.05	_	_	1 09	_	0.02	0.62	_	0.22	91 14	沥青铀矿	72
276-1	0.00	1 00	80 15	3 28	0.52	2 95	_	0 30	0.61	_	0.00	- 0.02	1 00	0.20	01 05	沥青铀矿	70
276-1	0.70	0.52	86 10	1 25	0.02	0.24	_	0.05	0.53	_	1 08	_	0.07	2 13	03.48	加月田ツ	73
270 1	0.73	0.52	84 00	1.55	0.17	0.24		0.00	2 17		0.61	0.12		0.80	02 22	切月田ツ	70
亚坎店	1 00	0.33	20 65	1.00	0.00	0.20	0.60	0.92	0.72	1 56	0.01	0.12	0.04	1 02	06 16	切月田平	70
丁均但 UCV11	1.09	0.43	0.01	1.10	0.30	1.07	10.09	0.23	0.72	62 15	0.00	0.10	0.00	2.25	90.40	結合して	
$\frac{1101-1-1}{110}$	0.12	0.09	9.91	0.23	0.07	1.07	19.73	0.03	0.27	64 25	0.02	0.40		2.20	97.30	抽1111 抽417	
ПСV 2.1	0.10	0.11	9.00	0.22	0.00	1.40	19.40	0 10	0.23	04.20 E6.02	0.03	0.04		3.20 2.65	99.24	開社有	
ПСV 2-2	0.00	0.15	5 19	0.95	0.09	1.40	19.00	0.10	0.70	50.95 66 12	0.02	0.09	0.01	4.00	94.39	1 甜钰石	
HG 1-2-2	0.40	0.06	0.12	0.29	0.07	1.08	10.84	0.40	3.75	50.13	0.02	0.00		4.08	92.28	開江白	
273-2	0.20	0.00	20.96	0.14	0.04	1.40	18.28	_	0.73	50.70	0.03	_	0.04	2.33	94.89	開江白	
273-2	0.20	0.05	18.94	0.20	0.03	2.15	17.75	0.06	1.04	52.06	0.02		0.01	2.12	94.62	田钰石	
273-1	0.43	0.05	16.41	0.19	0.03	1.55	13.32	0.09	1.77	55.43	0.04	0.01		2.75	92.07	田钰石	
273-1	0.72		20.03	0.15	0.05	1.37	17.83	0.01	0.70	51.04	0.03	0.03	0.08	2.02	94.05	钿钍石	
半玛值	0.37	0.07	14.01	0.29	0.05	1.42	17.09	0.1Z	1.15	57.40	0.03	0.20	0.03	2.68	0.37	64 T	
HGY-I-I	0.10	0.11	58.37	0.22	_	0.02	30.37	0.10	0.30	_	0.02	0.05	_	_	89.65	田伯	
HG Y-2-2	_	0.02	60.79	0.07	0.04		30.13	_	0.14	_	_	0.05		_	91.23	田白	
273-2	0.08	0.01	63.21	0.01	0.03	0.21	26.60	0.08	0.13	_	0.05	0.02	0.05	_	90.48	田白	
276-1	_	0.09	70.75	0.24	_	_	22.78	_	0.13	_	0.01	0.01	0.04	_	94.05	铀石	
276-1	0.00	0.06	72.36	0.06	_		24.27	0.02	0.07	_	0.03	0.01		_	96.89	自铀石	
半均值	0.06	0.06	65.10	0.12	0.03	0.12	26.83	0.07	0.16	_	0.03	0.03	0.05	_	92.46		
HGY-2-1	0.21	0.01	39.28	0.98	-	0.01	10.79	0.16	2.57	0.10	41.65	_	-	0.42	96.18	钛铀矿	
HGY-2-1	0.50	-	38.71	2.72	-	-	15.00	0.28	2.19	0.18	40.58	-	-	0.56	100.71	钛铀矿	
273-2	0.45	0.03	43.56	3.81	0.02	-	5.19	0.36	2.25	0.15	42.24	-	-	0.74	98.80	钛铀矿	
273-2	0.41	0.03	34.73	0.54	0.03	0.01	19.59	0.25	2.05	0.20	33.76	_	-	0.53	92.12	钛铀矿	
273-1	0.44	0.03	45.51	6.18	-	_	0.90	0.79	1.27	0.14	44.11	_	-	0.73	100.10	钛铀矿	
273-1	0.47	0.03	47.75	0.70	-	0.02	0.65	0.47	0.13	0.22	48.62	_	-	0.71	99.76	钛铀矿	
平均值	0.41	0.03	41.59	2.49	0.03	0.01	8.68	0.38	1.74	0.16	41.83		-	0.61	97.94		

注:"一"表示低于检出限。



图 2 粤北江头矿区主要铀矿物赋存特征背散射图像

 Fig. 2
 The BSE images of major uranium minerals existence characteristics in Jiangtou area, northern Guangdong

 Ap-磷灰石;Bt-钛铀矿;Cof-铀石;Ch-绿泥石;Cal-方解石;Fl-萤石;Hem-赤铁矿;Pit-沥青铀矿;

Py-黄铁矿;Ura-晶质铀矿;Uth-铀钍石;Zr-锆石

Ap-apatite; Bt-brannerite; Cof-uranite; Chl-chlorite; Cal-calcite; Fl-fluorite; Hem-hematite; Pit-pitchblende; Py-pyrite; Ura-uraninite; Uth-uranium thorite; Zr-zircon 量分布;背散射图像中呈亮白一灰白色;主要以细脉 状、条带状产出,常常与条带状赤铁矿相伴(图 2c); 少数呈不规则粒状、角砾状,粒径变化较大;往往产 在黄铁矿矿物颗粒裂隙中(图 2b),或者是与萤石密 切共生(图 2d)。

3.1.3 铀石

铀石既是花岗岩中主要独立铀矿物之一,也是 重要的矿石矿物,背散射图中呈灰白色,往往呈不规 则颗粒状、条带状产出;在花岗岩中主要赋存在黑云 母中产在晶质铀矿内部(图 2a),粒径往往较小,集 中分布在 6~10μm;在矿石中往往产于沥青铀矿颗 粒裂隙间或环绕其边部。

3.1.4 钛铀矿

钛铀矿主要赋存于矿石中,是重要矿石矿物之 一,主要赋存与(黑云母假象)绿泥石颗粒中(图 2f),与绿泥石共生关系明显;多呈不规则颗粒状或 团块状、细脉状产出,最大粒径范围由几个 μm 到近 百 μm,粒径变化大。

3.1.5 铀钍石

铀钍石主要赋存在矿石中,花岗岩岩中比较少 见,主要呈不规则颗粒状分布在绿泥石颗粒附近(图 2e),该类最大粒径为40~80μm;另有少部分呈细小 角砾状、脉状等赋存在绿泥石颗粒中间。通常来说, 铀钍石因其铀含量不高且多为类质同象的形式存 在,难以浸出,而不作为重要矿石矿物。

3.2 铀矿物化学成分特征

本文获得的江头矿区岩矿石中五种铀矿物化学 成分(表 1),分别具有如下化学成分特征:

晶质铀矿:主要成分为 UO₂,其含量占比为 72.30%~92.03%,ThO₂含量变化范围为 2.195% ~6.748%,PbO 含量占比为 1.556% ~2.926%。 除 U、Th 和 Pb 元素外,还有微量的 Si、Ca、Na、Fe、 Mg、Al、Ti、Ce、Nd、Nb、Zr 多种元素。对比发现,区 内花岗岩中晶质铀矿的 UO₂和 ThO₂含量与诸广岩 体中晶质铀矿的 U和 Th 含量(分别为 81.635% ~ 91.930%、2.806% ~8.659%;Zhang Long et al., 2016)非常接近,平均含量高于我国其他地区花岗岩 型铀矿中的晶质铀矿(Xu Guoqing et al.,1982),表 明青嶂山岩体具有良好的铀源保障条件。

沥青铀矿:晶质铀矿的变种,主要成分仍为 UO₂,其含量占比为 80.145%~97.638%,ThO₂含 量变化范围为 0%~2.871%(0表示低于检出限); PbO 含量范围为 0.703%~1.429%;ThO₂和 PbO 含量明显低于晶质铀矿,但同晶质铀矿一样含有多 种杂质元素且含量较低。此外,个别样品 CaO 显示 含量相对略高,可能是遭受了萤石化、碳酸盐化等热 液蚀变,Ca²⁺与U⁴⁺类质同象置换(UO₂+2Ca²⁺→ 2CaO+U⁴⁺)导致Ca含量增加,U含量降低。

钛铀矿:钛铀矿的主要成分为 UO_2 和 TiO_2 , UO_2 含量占比为 34.731%~47.749%, TiO_2 含量占 比为 33.763%~48.624%, ThO_2 与 PbO 含量较低。 钛铀矿与绿泥石密切共生, 可能与黑云母绿泥石化 后释放大量的 Ti 有关。

铀石:铀石主要成分为 UO₂、SiO₂,其中 UO₂含 量为 58.368%~72.362%,SiO₂含量为 22.776%~ 30.365%,远远高于其他铀矿物;PbO 含量很低, ThO₂低于检出限。此外杂质中常见 Mg、Fe、Al、 Ca、Zr、Ti等混入,且含量少且稳定,其中 Zr、P、Ti、 Ca等可以以类质同象的形式存在,但诸多元素的具 体存在形式仍待进一步研究。电子探针分析结果显 示铀石化学成分的总量为 89.651%~96.885%(平 均值 92.495%),明显低于其他铀矿物,指示铀石含 水量和其它杂质(未检出)含量比沥青铀矿高,可能 是铀石大多赋存于矿物裂隙中,与其他矿物的混染 作用所致。

铀钍石:其主要成分是 UO_2 、 ThO_2 、 SiO_2 ,其中 UO_2 含量为 5.115%~20.956%, ThO_2 的含量占比 为 50.702%~66.134%, SiO_2 含量范围为 10.837% ~19.727%。 ThO_2 含量显著高于 UO_2 ,结合的 Th^{4+} 和 U^{4+} 的化学性质的相似性,认为是热液中的 铀与钍石中的钍类质同象置换所形成。

4 讨论

4.1 成岩成矿年代学特征

许多学者就电子探针 U-Th-Pb 微区化学测年 技术提出过经验公式,但均以放射性核素衰变为其 理论基础(Luo Jincheng et al.,2019),因此需要考 虑不同公式的计算系数所带来的误差,据张龙等 (2016)对邻区诸广地区长江岩体的铀矿物电子探针 测年研究结果,Ranchin 经验公式获得的化学年龄 与 U-Pb 年龄、Sm-Nd 年龄误差范围内一致,故本文 选用 Ranchin (1968)的经验公式(*t*=Pb×7550/(U +0.36Th),式中 Pb、Th、U 为元素质量百分比)进 行铀矿物的单点表观年龄计算,根据区内铀矿物的 电子探针化学成分分析结果,计算获得年龄结果见 表 1。据前人经验设定表观年龄误差为 10Ma (Bowles, 1990; Luo et al.,2015a),利用 Isoplot 软 件进行年龄细分和误差校正,计算出更精确的加权

Pb 年龄 241Ma(Zhang Min et al., 2006; He et al,

2010)、239Ma(Gao Peng, 2016)在误差范围内一致,

可代表该印支期花岗岩的成岩年龄。第二组

(HGY-2)年龄为 158.80~166.57Ma,加权平均年

龄 161.5±8.0Ma, MSWD=0.17, 置信度 95%(图

3b),该组年龄与前人获得的青嶂山岩体燕山期黑

云母花岗岩锆石 U-Pb 年龄 156Ma(Tao Jihua et

al.,2013)在误差范围内一致,可代表该燕山期岩体

平均值及误差值等。

4.1.1 晶质铀矿

晶质铀矿年龄分为两组,分别来自样品粗粒斑 状黑云母花岗岩(HGY-1)和中粒黑云母花岗岩 (HGY-2)。第一组(HGY-1)年龄为 243.84 ~ 250.39Ma,加权平均年龄为 246.8 ± 8.8Ma, MSWD=0.05,置信度 95%(图 3a),该组年龄与前 人获得的青嶂山岩体印支期黑云母花岗岩锆石 U-



图 3 粤北江头矿区铀矿物化学年龄频率分布直方图和加权平均年龄

Fig. 3 Frequency distribution histogram and weighted average ages of chemical ages

in pitchblendes of Jiangtou area, northern Guangdong

的成岩年龄。

4.1.2 沥青铀矿

江头矿区沥青铀矿年龄为 69.74~125.32Ma, 年龄变化范围较大,利用 Isoplot 软件可可细分为三 组,其加权平均年龄分别为 121.3±9.8Ma(MSWD =0.04; 图 3c), 98.8 ± 8.0Ma (MSWD = 0.41; 图 3d),73.2±9.8Ma(MSWD=0.08;图 3e);说明江 头矿区的铀成矿年龄,与华南其它花岗岩型铀矿一 样,也呈现出成矿的多期多阶段特征,符合华南热液 型铀矿几乎都形成于白垩纪一古近纪这一规律(Du Letian, 1982; Hu Ruizhong et al., 2007; Zhang Guoquan,2008)。此外,从所测沥青铀矿年龄分布 特征来看(图 3f),主要分布于~100Ma的范围内, 符合华南花岗岩型铀矿 95~65Ma 的主成矿时期 (Hu R Z et al, 2008),表明青嶂山地区的铀矿也形成 于华南铀成矿大爆发期这一特定的背景条件下,应与 其周边诸广岩体和贵东岩体(不同期次岩体年龄和各 铀矿年龄分别见表 2、表 3)有着相似的成矿前景。

4.1.3 化学年龄有效性判定

铀矿物电子探针测年必须满足以下两个条件: ①所测的铀矿物自形成后未发生 U、Th、Pb 的丢 失;②初始铅含量为零。张昭明(1982)通过对进行 同位素分析,指出华南中生代花岗岩的晶质铀矿中 放射性成因的铅占绝大多数,初始铅的含量可以忽 略不计。此外,铀矿物在经过后期改造时,Ca 元素 会进入到铀矿物晶格中致使 Pb 丢失,故可以根据 所测铀矿物 Ca 含量变化来判断 Pb 是否丢失 (Korzer,1993;Janeczek,1995)。据电子探针成分 分析结果及计算所得的化学年龄(表 1),可以发现 晶质铀矿和沥青铀矿的 CaO 含量与(UO₂ + PbO) 含量、年龄之间不存在明显的相关性(图 4),说明本 文中的铀矿物未发生铅丢失,因此本文所获得的年 龄均是可靠的。

4.2 成岩、成矿动力背景制约

本文获得青嶂山岩体年龄为 246.8±8.8Ma 和 161.5±8.0Ma,与粤北地区的印支一燕山期花岗岩 成岩时代非常吻合(表 2),分别属于前人(Zhou Xinmin,2003; Wang Y J et al.,2007; Yu Jinhai et al.,2007; Mao J R et al,2014; Zhao Kuidong et al.,2013)划分的华南印支期第一阶段花岗岩(249 ~225Ma)和燕山期花岗岩(150~160Ma),对应于 华南陆块印支造山运动和燕山阶段板内伸展构造背 景。区内的成岩、成矿时差,远大于岩浆活动的余热 10Ma 左右的最大时限,这表明区内的铀成矿流体 不可能来自岩浆热液分异。

自中生代以来,华南地区共经历了 6 次构造伸 展运动,其又可分为 2 个次级阶段:①与晚侏罗-早 白垩世岩浆断陷盆岭阶段:145~135 Ma、120~ 115Ma 和 110~100Ma,②与晚白垩世一古近纪的 陆内伸展断陷沉积盆地阶段:95~85Ma、75~70 Ma 和 55~45Ma,该 2 个阶段 6 次地壳伸展运动与 华南的 6 次铀成矿期一一对应(Hu Ruizhong et al.,2004,2007; Zhang Guoquan et al.,2007)。同 时,粤北地区的辉绿岩 Ar-Ar 年龄主要分为~ 140Ma、~105Ma、~90Ma等 3 个阶段(Li Xianhua, 1990,1997),也与对应的地壳伸展运动时代吻合。

华南岩浆盆岭断陷运动与陆内伸展沉积断陷运动两个阶段的分界线大致在 99.6±0.9Ma(Hu Ruizhong et al.,2004)。南雄盆地内玄武岩锆石 U-Pb 年龄为 95.9±0.8 Ma(Shu Shuliang et al.,



图 4 粤北江头矿区各类铀矿物元素含量与年龄及元素之间的相关关系

Fig. 4 Correlativity diagrams of elements content and ages of uranium minerals in Jiangtou area, northern Guangdong

2004),研究前人通过研究盆地边缘南雄深大断裂带 内白云母 Ar-Ar 年龄时发现南雄断裂带活动开始 于 117.3±2.7Ma,强烈的伸展变形发生于 94.8± 0.4 Ma,随后在 88.9±1 Ma、81.1±2 Ma 发生过 2 次明显的热扰动事件(Li Chu'an,2011)。

青嶂山岩体江头矿区的铀成矿年龄 121.3± 9.8Ma、98.8±8.0Ma、74.1±9.8Ma,非常符合华 南断陷伸展活动的年龄制约;同时,华南众多铀矿的 年龄统计结果来看(表 3),铀矿的主成矿期为 95~ 65Ma。因此,NE向南雄断陷盆地的形成是华南铀 成矿大爆发的标志,表明在 95Ma 左右华南地区由 NW-SE向挤压环境转变为拉张环境,沿 NE 向断 裂带张扭形成深大断裂带及断陷盆地,盆地边缘深 大断裂带构造活动切穿地壳,导致地壳深部热液上 涌,同时伴随着中基性脉岩(如辉绿岩脉、盆地内的 玄武岩等)的形成。事实上,断陷红盆控盆深源断裂 及次级构造带明显控制铀矿田的空间定位(Lin Jinrong et al.,2016)。因此,华南地区自中生代以 来,以95Ma左右形成南雄断陷盆地为显著标志的 NW-SE向的陆内伸展运动形成的系列 NE 向深 大断裂活动,可能是驱动华南热液型铀成矿的动力 学背景,该期断陷带和产铀花岗岩体在总体上控制 了华南铀矿的产出位置(图5)。

南雄断陷盆地形成之前,青嶂山岩体应与诸广 岩体是一个有机整体,有着相同的地球化学特征和 铀成矿环境,因此,青嶂山岩体也应与诸广岩体有着 相同的找矿前景。这也是全国重要矿集区项目在青 嶂山地区开展铀矿找矿预测的重要理论依据,并在 青嶂山地区盆岭耦合部位也取得了重要的铀矿找矿 进展,为华南花岗岩型铀矿勘查提供了新方向。

表 2 粤北青嶂山岩体年龄与贵东一诸广地区部分印支一燕山期花岗岩年龄对比

Table 2	Age comparison of	Qingzhangshan	pluton with	Indosinian-	-Yanshanian	granite in	Guidong-7	Zhuguang area,	northern	Guangdong
---------	-------------------	---------------	-------------	-------------	-------------	------------	-----------	----------------	----------	-----------

	印支期		燕山期					
岩体名称	成岩年龄(Ma)	数据来源	岩体名称	成岩年龄(Ma)	数据来源			
鲁溪岩体	239 ± 5	V. Vishang et al. 2002	寨头岩体	~ 163	Shen Weizhou, 2006			
下庄岩体	236 ± 8	Au Aistieng et al. ,2003	红山岩体	$\sim \! 155$	Zhu Ba et al. ,2009			
五里亭岩体	237 ± 5	Qiu Jiansheng et al. ,2004	三江口	~ 167	Zhang Min et al. ,2006b			
湖南沩山	244 ± 4		桃村坝	~ 161	Shan Zhibo et al. ,2014			
关帝庙	239 ± 3	Wang Yuejun et al. ,2005	九峰岩体	$\sim \! 158$	Huang et al,2015			
白马山岩体	243 ± 3		东岭	~ 161	Lan Hongfeng,2015			
白云岩体	239 ± 4		企岭	~ 156				
乐洞岩体	239 ± 5	Deng Ping et al. ,2012	茶山岩体	~ 157	Deng Ping et al. ,2011			
江南岩体	239 ± 2		热水	$\sim \! 162$				
油洞岩体	244.1 ± 1.6	Zhong Funjun,2018	长江岩体	161 ± 1	Zhong Funjun,2018			
青嶂山岩体	241±5.9; 241±5.9	Zhang Min et al. ,2006a	圭萨山巴休	~156	Tao Jihua et al. ,2013			
	246.8±8.8	本文		161.5 ± 8.0	本文			

4.3 铀成矿过程探讨

4.3.1 成矿物质来源

既然华南深大断陷活动提供了铀的成矿动力, 为什么铀矿只产于花岗岩体之内或附近呢?为回答 这个问题,还须从铀的成矿物质来源出发。

巨大的成岩与成矿时差,故铀成矿物质不可能 直接来源于岩浆热液分异。成矿期区内未发生明显 的区域变质作用,也可排除成矿物质来自区域变质 岩的可能。有学者提出区内分布的大量中基性岩脉 是最重要的铀成矿物质,青嶂山地区的中基性脉岩 年龄数据较少,目前青嶂山岩体黄沙矿区辉绿岩 Ar-Ar最新年龄为~140Ma(Nie Bin,2018)。李献 华等(1990,1997)采用 K-Ar和 Ar-Ar法对粤北地 区的辉绿岩脉进行年代学研究,指出该区基性岩脉 主要形成于~140Ma、~105Ma、~90Ma 三个阶段, 后续学者获得的区内基性脉岩年龄也多落于此 (Cao Haojie et al., 2011, 2013; Nie Bin, 2018; Zhang et al, 2018)。这些中基性岩脉的成岩年龄乍 看与华南铀成矿阶段相吻合,于是地幔流体成矿学 说逐步被提出,并提供了系列元素地球化学等方面 的证据,但本文认为此学说对铀成矿方面的诸多解 释有欠妥当。

首先,中基性脉岩来源于地幔,但其温度高、侵 位速度快,氧逸度低,不利于铀的浸取(Lin Hongfei,2011);另外,区内中基性岩呈脉岩产出且 脉岩规模较小,暗示形成区内中基性脉岩的岩浆驱 动力也较小,不足以使华南地区花岗岩产生如此大 规模的热液蚀变并形成区域性的铀矿,事实证明,基 性脉岩及接触围岩附近与铀矿化密切相关的赤铁矿 化、绿泥石化及绢云母化等标志性蚀变相对并不发



图 5 粤北花岗岩、断陷带与铀矿分布示意图(据潘勇正,1987;修改)

Fig. 5 Distribution sketch map of granite, fault depression zone and uranium

deposit in northern Guangdong (modified from Pan, 1987)

1-断陷带;2-古陆边缘线;3-花岗岩体;4-白垩-古近系红层;5-铀矿床;6-地名

1-fault depression zone; 2-paleocontinental margin line; 3-granite body;

4-Cretaceous-Paleogene red beds; 5-uranium deposit; 6-toponym

育;再者,华南地区的铀矿基本形成于中低温环境, 与地幔高温岩浆成矿特征明显不符,而且中基性脉 岩铀含量低(<1.6×10⁻⁶,Zhang Min,2016b),几 乎没有铀成矿的基础。故本文认为,区内中基性岩 脉的形成时间契合的应是华南构造伸展运动的时 间,而非铀成矿的时间,中基性脉岩其实是华南断陷 伸展运动的"副产品",区内6次断陷伸展运动特别 是包含中基性岩脉形成的3个阶段,是断陷活动强 度最大的3个时期,华南板块与扬子板块 NW-SE 向的压把作用形成 NE 向的压把性深大断裂带(华 南地区 NE 向断裂主要以压扭性为主,后经过多次 构造活动形成压扭一张扭性复合断裂),切穿地壳深 部,而在 NW 向形成共轭张扭性断裂带,少量地幔 中基性岩浆沿 NW 向张扭性断裂快速侵位。区内 多次的挤压一伸展运动导致花岗岩体内的铀活化, 同时形成广泛的绢云母化现象。

同时,研究证据表明(Cuney, 2014; Ballouard et al.,2017)花岗岩型铀矿的成矿元素主要来自过 铝质浅色花岗岩中的晶质铀矿,副矿物次之。而青 嶂山岩体以中粗粒似斑状黑云母花岗岩为主,具有

	Table 3	Relationship between part of uranium age and tectonic movement in South China							
成矿	期次	构造运动 矿床名称		成矿时代(Ma)	数据来源				
成矿晚期			棉花坑矿床	~ 54	Zhang Guoquan,2008				
	$\sim 50 \mathrm{Ma}$	$55\!\sim\!45\mathrm{Ma}$	沙子江矿床	~ 53	Shi Shaohua et al. ,2010				
			棉花坑矿床	59.5 \pm 1.0;60.0 \pm 0.5	Zhong Funjun,2018				
			仙石矿床	79 ± 11	Bonnetti et al. , 2018				
			棉花坑矿床	68.7±2.7;70±11	Huang Guolong et al. ,2010				
			书楼坵矿床	71.4 ± 1.3	Zhong Funjun,2018				
			澜河(201)矿床	73.3 ± 4.7	Luo JinCheng et al. ,2019				
			长排矿床	70.2 \pm 0.5	Zhong Funjun,2018				
	\sim 70Ma	$75\!\sim\!70~{ m Ma}$	沙子江矿床	70.2 \pm 1.6	Luo et al. ,2015a				
			江头矿床	73.2 ± 8.8	本文				
主成矿期			335 矿床	93.5 \pm 1.2	ZouDongfeng et al. ,2011				
			棉花坑矿床	93 ± 15	Bonnetti et al. , 2018				
			沙子江矿床	97.5 \pm 4	Luo et al. ,2015a				
			江头矿床	98.8±8.0	本文				
			335 矿床	93.5±1.2	ZouDongfeng et al. ,2011				
	0.014	95~85Ma	棉花坑矿床	93 ± 15	Bonnetti et al. , 2018				
	$\sim 90 Ma$		沙子江矿床	97.5 \pm 4	Luo et al. ,2015a				
			江头矿床	98.8±8.0	本文				
			仙石矿床	104 ± 2	Luo et al. ,2015b				
	$\sim \! 100 \text{Ma}$	$110\!\sim\!100\mathrm{Ma}$	希望矿床	107 ± 16	Bonnetti et al. , 2018				
			沙子江矿床	~ 104	Shi Shaohuaet al. ,2010				
+ <u>+</u> <i>x</i> ≻ ⊟ ₩			仙石矿床	113 ± 2	Luo et al. ,2015b				
成 早期	$\sim \! 120 \text{Ma}$	$120\!\sim\!115{ m Ma}$	棉花坑矿床	~ 127	Zhang Guoquan,2008				
			江头矿床	121.3±9.8	本文				
	140 M	145 125 M	仙石矿床	135 ± 4	Luo et al. ,2015b				
	\sim 140 Ma	140~130 Ma	石土岭矿床	~135	Zhu Ba et al., 2006				

表 3 华南部分铀矿年龄与构造运动关系 Fable 3 Relationship between part of uranium age and tectonic movement in South China

富硅、高钾、过铝质钙碱性岩石特征(Tao Jihua et al.,2013;Gao Peng,2016;Nie Bin,2018;),其中铀 主要以晶质铀矿形成存在,这与诸广、贵东岩体铀成 矿环境类似。晶质铀矿在高氧逸度的流体中容易被 浸取出来,是良好的铀源矿物(Cuney,2009,2014; Mahdy et al.,2014;Qi Jiaming et al.,2014)。而花 岗岩中晶质铀矿等副矿物铀含量高且存在易于释放 铀的特性,黑云母花岗岩具有稀土四分组效应反映 了成矿流体的交代作用(Tao Jihua et al.,2013)更 是直接证据,表明花岗岩体为区内的铀成矿作用提 供了铀源条件,同时也控制了铀矿床的产出部位。

4.3.2 铀成矿作用过程

在华南地区印支-燕山期复式花岗岩体形成之后,自中生代以来,区内又经历了3期岩浆断陷盆岭 伸展运动,使得区内花岗岩体的铀得以预活化,并发 育宽广的绢云母化。在95Ma左右开始的陆内断陷 盆地伸展运动,华南地区由 NW-SE 向挤压环境转 变为拉张环境,沿 NE 向断裂带张裂形成断陷盆地, 以南雄盆地的形成为标志,断陷盆地边缘的深大断裂 带切穿地壳深部,此时少量基性岩浆上涌并快速侵位 形成辉绿岩脉。之后深大断裂带的持续活动导致地 壳深部热液上涌,但此时的热液氧逸度低,在高温高 压下沿断裂向上运移的过程中,不断的与岩体内下渗 的地热裂隙水(大气降水)不断混合,伴随着 Σ CO₂的 加入(Hu Ruizhong et al., 2004), 形成高氧逸度、高萃 取性的临界流体(Lin Hongfei, 2011), 与所经岩体发 生水一岩反应,使岩体内以晶质铀矿形式存在的预活 化的 U⁴⁺ 被氧化成 U⁶⁺ 而形成成矿流体,并以铀酰络 离子 UO2(CO3)n²⁽¹⁻ⁿ⁾的形式迁移(Shi Shaohua et al.,2010)。随着成矿流体的不断上升,成矿流体温 度、压力的变化、 ΣCO_2 去气沸腾作用(Zhang Guoquan et al.,2007)、氧化还原电位的变化、氧逸度的降低等 多种因素耦合而发生铀的沉淀,最终在次级断裂带内 形成铀矿床。因此,华南地区的铀成矿作用是受中一 新生代 NE 向断陷盆地边缘深大断陷活动驱动、产铀 花岗岩体分布等双重要素制约,而该双重要素即为驱 动华南地区铀成矿的成矿地质体。(成矿地质体在某 些时候也并非单指某一岩体,也可以是指直接驱动成 矿的某一地质事件(Ye Tianzhu, 2014)。

5 结论

(1)青嶂山复式岩体中独立铀矿物主要为晶质

1139

铀矿,其中印支期花岗岩内晶质铀矿化学年龄为 246.8±8.8Ma,燕山期花岗岩内晶质铀矿化学年龄 为161.5±8.0Ma,与前人锆石 U-Pb 年龄结果在误 差范围内一致,可代表岩体形成年龄。

(2) 江头矿区铀矿物主要为沥青铀矿,呈浸染状,并伴有少量钛铀矿、铀石等,沥青铀矿化学年龄为121.3±9.8Ma、98.8±8.0Ma、73.2±8.8Ma,分别代表区内3期铀成矿作用的时代,符合华南铀成矿时间背景。

(3)结合区内自中生代以来的6次伸展运动,认为 区内铀成矿作用受中一新生代盆地边缘深大断陷活 动、产铀花岗岩体分布的双要素成矿动力学背景制约, 青嶂山岩体应与诸广、贵东岩体具有相似的找矿前景。

References

- Bowles J F W. 1990. Age Dating of Individual Grains of Urani-nite in rocks from Electron Microprobe Analysis. Chemical Geology,83(1-2): 47~53.
- Ballouard C, Poujol M, Mercadier J, Deloule E, Boulvais P, Baele J. M, Cuney M, Cathelineau M. 2017. Uranium metallogenesis of the peraluminous leucogranite from the Pontivy-Rostrenen magmatic complex (French Armorican Variscan belt): the result of long-term oxidized hydrothermal alterationd uring strike-slip deformation. Mineralium Deposita, 1~28.
- Bonnetti C, Liu X D, Mercadier J, Cuney M, Deloule E, Villeneuve J, Liu W Q. 2018. The genesis of granite-related hydrothermal uranium deposits in the Xiazhuang and Zhuguang ore fields, North Guangdong Province, SE China: Insights from mineralogical, trace elements and U-Pb isotope s signatures of the Umineralisation. Ore Geology Reviews, 92: 588~612.
- Cameron-Shimann M. 1978. Electron microprobe study of uranium minerals and its application to some Canadian deposits. Journal of Electroanalytical Chemistry, 4(1):51~58.
- Cuney M, Kyser T K. 2009. Recent and not-so-recent developments in uranium deposits and implications for exploration. Mineralogical Association of Canada.
- Cao Hao-jie, Huang Le-zhen, Shen Wei-zhou, Lin Hongfei, Huang Guolong, Deng Ping, Zhu Ba. 2011. Geochemical characteristics and genesis of Niudai diabase dykes in northern Guangdong province. Journal of East China Institute of Technology(Natural Science), 34(4): 323 ~ 331 (in Chinese with English abstract).
- Cao Haojie, Huang Guolong, Xu Lili, Huang Lezhen, Wu Jianyong, Wang Chunshuang. 2013. Ar-Ar Age and Geochemical Characteristics of diabase dikes in Youdong Fault Zone in South of Zhuguang Granite. Acta Geologica Sinica, 87 (7):957~966(in Chinese with English abstract).
- Cuney M. 2014. Felsic magmatism and uranium deposits. Bulletin de la Société Géologiquede France, 185(2): 75~92.
- Du L T. 1982. On the Granite-type Uranium Deposits. Beijing: Atomic Energy Press (in Chinese without English abstract).
- Deng P, Ren J S, Ling H F, Shen W Z, Sun L Q, Zhu B, Tan Z Z. 2011. Yanshanian Granite Batholiths of Southern Zhuguang Mountian: SHRIMP Zircon U-Pb Dating and Tectonic Implications. Geological Review, 57(6):881~888(in Chinese with English abstract).
- Deng P, Ren J S, Ling H F, Shen W Z, Sun L Q, Zhu B, Tan Z Z. 2012. SHRIMP Zircon U-Pb Ages and Tectonic Implications for Indosinian Granitoids of Southern Zhuguangshan Granitic Composite, South China. Chinese Science Bulletin, 57(14):1231 ~1241(in Chinese with English abstract).

- Dang Feipeng, Chen Liming, Li Zhipeng, Xu Pulin, Cai Changhua, Fan Zheqiang. 2017. Structural characteristics of Shangjiao section and direction of deep prospecting in the Huangsha uranium mining area, southern Jiangxi Province. Geology and Exploration, 53 (4): 0624 ~ 0631 (in Chinese with English abstract).
- Gao Peng. 2016. A geochemical study of Mesozoic granites from the Nanling Range in South China. PHD Dissertation, Hefei: USTC(in Chinese with English abstract).
- Hu Ruizhong, Bi Xianwu, Su Wenchao, Peng Jiantang, Li Chaoyang. 2004. The relationship between uranium metallogenesis and crustal extension during the Cretaceous-Tertiary in South China. Earth Science Froniters, 11(1):153~ 160(in Chinese with English abstract).
- Huang Guolong, Wu Lieqin, Deng Ping, Zhu Ba, Zhang Yanchun, Tan zhengzhong, Cao Haojie. 2006. Prospecting potential and direction for granite uranium deposit in north Guangdong, China Uranium Geology, 22(5): $267 \sim 275$ (in Chinese with English abstract).
- Hu Ruizhong, BI Xianwu, Peng Jiantang, Liu Shen, Zhong Hong, Zhao Junhong and Jiang Guohao. 2007. Some problems concerning relationship between Mesozoic-Cenozoic lithospheric extension and uranium metallogenesis in South China. Mineral Deposits, 26(2):139~152(in Chinese with English abstract).
- Hu R Z, Bi X W, Zhou M F, Peng J T, Su W C, Liu S, Qi H W. 2008. Uranium Metallogenesis in South China and Its Relationship to Crustal Extension during the Cretaceous to Tertiary. Economic Geology, 103(3):583~598.
- He Z Y, Xu X S, Niu Y L. 2010. Petrogenesis and tectonic significance of a Mesozoic granite-syenite- gabbro association from inland South China. Lithos, 119: 621~641.
- Huang G L, Yin Z P, Ling H F, Deng Ping, Zhu Ba, Shen Weizhou. 2010. Formation Age, Geochemical Characteristics and Genesis of Pitchblende from No. 302 Uranium Deposit in Northern Guangdong. Mineral Deposits, 29(2): 352 ~ 360 (in Chinese with English abstract).
- Janeczek J, Ewing R C. 1995. Mechanisms of lead release from uraninite in the natural fission reactors in Gabon. Geochimica Et Cosmochimica Acta, 59(10):1917~1931.
- Korzer T G, Kyser T K. 1993. O, U, and Pb isotopic and chemical variations in uraninite: Implications for determining the temporal and fluid history of ancient terrains. American Mineralogist, 78:1262~1274.
- Kempe U. 2003. Precise electron microprobe age determination in altered uraninite: consequences on the intrusion age and the metallogenic significance of the Kirchberg granite (Erzgebirge, Germany). Contributions to Mineralogy and Petrology, 145 (1):107~118.
- Li Xianhua. 1990. Magmatic age and crustal movement of the Wanyangshan-Zhuguangshan composition pluton. Science China Ser. B Earth Sciences, 7(7):747~755 (in Chinese without English abstract).
- Li Xianhua, Hu Ruizhong, Rao Bing. 1997. Geochronology and geochemistry of Cretaceous mafic dikes from northern Guangdong, SE China [J]. Geochimica, 26(2):14 ~ 31 (in Chinese with English abstract).
- Li Chu-an, Zou He-Ping. 2011. The Ar-Ar Age of the Nanxiong Fault Zone in Guangdong Province and Their Geological Significance. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni (Natural Science), 50(01):129~132 (in Chinese with English abstract).
- Ling Hongfei. 2011. Origin of Hydrothermal Fluids of Granite-type Uranium Deposits: Constraints from Redox Conditions. Geological Review, 57(02):193~206(in Chinese with English abstract).
- Lan Hongfeng. 2015. Study on Petrogenesis and uranium mineralization potential of Sanjiu area granites in Southern Zhuguangshan composite Pluton. Master Degree Dissertation, Nanjing: Nanjing University (in Chinese with English)

abstract).

- Luo J C, Hu R Z, Shi S H. 2015a. Timing of uranium mineralization and geological implications of Shazijiang Granite-Hosted uranium deposit in Guangxi, South China: New constraint from chemical U-Pb age. Journal of Earth Science, 26(6): 911~919.
- Luo J C, Hu R Z, Fayek M, Li C S, Bi X W, Abdu Y, Chen Y W. 2015b. In-situ, SIMS uraninite U-Pb dating and genesis of the Xianshi granite-hosted uranium deposit, South China. Ore Geology Reviews, 65:968~978.
- Lin Jinrong, Li Ziying, Hu Zhihua, Wang Yongjian, Wang feng. 2016. Controlling factors for the spatial positioning of Hydrothermal Uranium Orefield. Uranium Geology, 32(06): 333~339(in Chinese with English abstract).
- LuoJincheng, Hu Ruizhong, Shi Shaohua. 2015. Timing of Uranium Mineralization and Geological Implications of Shazijiang Granite-Hosted Uranium Deposit in Guangxi, South China: New Constraint from Chemical U-Pb age. Journal of Earth Science, 26(6):911~919.
- Luo J C., Hu R Z., Fayek M., Bi X W., Shi S H., Chen Y W. 2017. Newly discovered uranium mineralization at ~2.0 Ma in the Menggongjie granite-hosted uranium deposit, South China. Journal of Asian Earth Sciences 137, 241~249.
- Luo J C, Shi S H, Chen Y W, Tian J J. 2019. Review on dating of uranium mineralization. Acta Petrologica Sinica, 35(2): 589~ 605 (in Chinese with English abstract).
- Mahdy N M, Shalaby M H, Helmy H M, Osman A F, El Sayed H. El Sawey, Ehab Korany Abu Zeid. 2014. Trace and REE element geochemistry of fluorite and its relation to uranium mineralizations, Gabal Gattar Area, Northern Eastern Desert, Egypt. Arabian Journal of Geosciences, 7(7):2573~2589.
- Mao J R, Li Z L, Ye H M. 2014. Mesozoic tectono-magmatic activities in South China: Retrospect and prospect. Science China Earth Sciences, 57(12): 2853~2877.
- Nie Bin, Zhang Wanliang. 2018. Ar-Ar age of the diabase and its relationship with uranium mineralization in Huangsha mining district, southern Jiangxi province. Mineral Resources and Geology, 32(03): 390~396 (in Chinese with English abstract).
- Pan Yongzheng. 1987. The regional metallogenic essential factor of the granite-type Uranium deposits in Guangdong Province. China nuclear science and technology report, (S1): 43. (in Chinese with English abstract)
- Qi J M, Huang G L, Zhu B, Fu S C, Ye S X. 2014. Compositions study of auxiliary minerals in altered granitic rocks of the Mianhuakeng uranium deposie in northern Guangdong. Acta Mineralogica Sinica, 9 (88): 1691 ~ 1704 (in Chinese with English abstract).
- Qiu Jiansheng, McInnes B I A, Xu Xisheng, Allen C M. 2004. Zircon ELA-ICP-MS Dating For Wuliting Pluton at Dajishan, southern Jiangxi and New Recognition about its relation to Tungeten mineralization. Geological Review, (02): 125~133 (in Chinese with English abstract).
- Ranchin G. 1968. Contribution à l'étude de la r péartition de l' uranium à l'état de traces dans les roches granitiques saines les uranites à teneur élevée du Massif de Saint-Sylvestre (Limousin-Massif Central Francais) Science Terre, 13:161~205.
- Shan Zhibo, Li Kun, Ling Hongfei, Shen Weizhou, Huang Guolong, Zhu Ba. 2014. Zircon U-Pb geochronology, geochemistey, and petrogenesis of the Taocunba Granite, northern Guangdong province. Geological Journal of China Universities, 20 (03): 341 ~ 352 (in Chinese with English abstract).
- Shen Weizhou, Ling Hongfei, Deng Ping, Tan Zhengzhong. 2006. Study on geochemical characteristics and genesis of Zhaitou pluton. State Key Laboratory for Mineral Deposit Research, School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University. Abstracts from the 2006 national symposium on petrology and geodynamics (in Chinese without English abstract).
- Shi Shaohua, Hu Ruizhong, Wen Hanjie, Sun Ruliang, Wang

Jiasheng, Chen Heng. 2010. Geochronology of the Shazijiang Uranium Ore Deposit, Northern Guangxi, China: U-Pb Ages of Pitchblende and Their Geological Significance. Acta Mineralogica Sinica, 84(08): $1175 \sim 1182$ (in Chinese with English abstract).

- Shu Liangshu, Deng Ping, Wang Bin, Tan Zhengzhong, Yu Xinqi, Sun Yan. 2004. Petrochemical, kinematic and chronological constraints of the evolution about Late Mesozoic basins and mountains in Nanxiong-Zhuguang Area Science China Ser. D Earth Sciences, 4(1): 1 ~ 13 (in Chinese without English abstract).
- Sun Liqiang. 2018. Petrogenesis of the Mesozoic granites in the Nanling Region and their implications for the uranium mineralization. PHD Dissertation, Nanjing: Nanjing University (in Chinese with English abstract).
- Tao J H, Li W X, Cai Y F, Cen T. 2013. Mineralogical feature and geological significance of muscovites from the Longyuanba Indosinian and Yanshannian two-mica granites in the eastern Nanling Range. Science China: Earth Sciences, 43: 1659 ~ 1666 (in Chinese with English abstract).
- The development of electron probe micro-analysis (simplized as EPMA) dating method on uranium and U-bearing minerals. PHD Dissertation, Beijing, Beijing Research Institute of uranium geology. (in Chinese with English abstract)
- Wang Y J, Fan W M, Zhao G C, Ji S C, Peng T P. 2007. Zircon U-Pb geochronology of gneissic rocks in the Yunkai massif and its implications on the Caledonian event in the South China Block. Gondwana Research, 12(4): 404 ~ 416 (in Chinese without English abstract).
- Wang Yuejun, Fan Weiming, Liang Xinquan, Peng Touping, Shi Ruoyu, 2005. The SHRIMP Zircon U-Pb Age and Its Genesis Enlightenment of Indosinian Granites in Hunan Province. Chinese Science Bulletin, (12): 1259 ~ 1266 (in Chinese without English abstract).
- Xu G Q, Wang A Z, Gu Q F, Zhang J Y, Zhang Z M, Huang Y Z. 1982. Some Mineralogical Characteristics of Uraninite and Pitchblende in China. Acta Mineralogica Sinica, (3): 193~199 (in Chinese with English abstract).
- Xu X S, Deng P, O. Reilly S Y, Griff in W L, Zhou X M and T anZ Z. 2003. Dating of single particle zircon by LA-ICP-MS and the Petrogenetic significances of the Guidong complex rock, Southeast, China. Chinese Science Bulletin, 48(12): 1328~ 1334(in Chinese with English abstract).
- Yu Jinhai, Wang Lijuan, Wang Xiaolei, Qiu Jiansheng, Zhao Lei. 2007. Geochemistry and geochronogy of the Fucheng Complex in the southeastern Jiangxi province, China. Acta Petrologica Sinica, 23(06):1441~1456(in Chinese with English abstract).
- Ye Tianzhu, Lv Zhicheng, Pang Zhenshan et al. 2014. Theory and Method of Prospecting and Prediction in Exploration Areas. Beijing: Geological Publishing House, $1 \sim 703$ (in Chinese without English abstract).
- Zhang Zhaoming, 1982. The Application of Electron Microprobe on Dating Uraninite. Radioactive Geology, (5): 408 ~ 411 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Xinmin. 2003. My Think about Granite geneses of South China. Geological Journal of China Universities, (04); 556 \sim 565(in Chinese with English abstract).
- Zhu Ba, Ling Hongfei, Shen Weizhou, Gao Jianfeng, Deng Ping, Huang Guolong, Tan Zhengzhong. 2006. Isotopic geochemi stry of Shituling uranium deposit, northern Guangdong Province, China. Mineral Deposit, 25(1):71~82(in Chinese with English abstract).
- Zhang Min, ChenPeirong, Huang Guolong, Tan Zhengzhong, Ling Hongfei, Chen Weifeng. 2006a. Single-zircon La-ICP-MS Ages of the Longyuanba Pluton in the Eastern Nanling Region and Geological Implication. Acta Geologica Sinica, (07):984~994 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Min, Chen Peirong, Chen Weifeng. 2006b. Uranium merallogenic characteristics and discuss on metallogenic setting

1141

of uranium plutons in northern Guangdong province. Geology of Chemical Minerals, $28(1):9 \sim 14$ (in Chinese with English abstract).

- Zhang Guo-quan, Hu Rui-zhong1, Shang Peng-qiang1, Liu Lei, Yang Sheeng. 2007. An Overview on the Ore-forming Mechanism of the Granite-type Uranium Deposit in South China. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, (04):399~404(in Chinese with English abstract).
- Zhu Ba, Deng Ping, Ling Hongfei, Shen Weizhou, Tan Zhengzhong, 2009. Research on the age and origin of Hongshan pluton in north Guangdong. Uranium Geology, 25(06):321~ 329(in Chinese with English abstract).
- Zhang Guoquan. 2008. Geochemistry of hydrothermal uranium deposits in South China: A case study of the No. 302 Uranium deposit. PHD Dissertation, Guiyang: Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences (in Chinese with English abstract).
- Zhou Dongfeng, Li Fanglin, Zhang Shuang, Huang Bin, Zong Keqing. 2011. Timing of No. 335 ore deposit in Xiazhuang uranium orefield, northern Guangdong Province: Evidence from LA-ICP-MS U-Pb dating of pitchblende. Mineral Deposits, 30 (05):912~922 (in Chinese with English abstract).
- Zhao K D, Li J R, Ling HF, Chen P R, Chen W F and Sun T. 2013. Geochronology, geochemistry and petrogenesis of two stage Indosinian granites from the Xiajiang uranium ore deposit, Jiangxi Province: Implication for Indosinian tectonics and genesis of uranium-bearing granites in South China. Acta Petrologica Sinica, 29 (12): 4349 ~ 4361 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Long, Chen Zhenyu, Tian Zejin, Huang Guolong. 2016. The Application of Electron Microprobe Dating Method on Uranium Minerals in Changjiang Granite, Northern Guangdong. Rock and Mineral Analysis, 35(1):98 ~107(in Chinese with English abstract).
- Zhang Wanliang, Chen Liming, Dang Feipeng, Fan Zheqiang, Gao Mengqi. 2016. A Study of Ore-controlling mechanism of fault depression belt: a case study on Huangsha uranium mining area in south Jingxing. Mineral Resources and Geology, 30(05):746 ~751(in Chinese with English abstract).
- Zhang L, Chen Z Y, Li X F, Li S G, Huang G L, 2018. Zircon U-Pb geochronology and geochemistry of granites in the Zhuguangshan complex, South China: Implications for uranium mineralization. Lithos, (308-309):19~33.
- Zhong Fujun. 2018. Petrogenesis and mineralization of granite type uranium deposits in South China: A case study of the Changjiang uranium ore field in Northern Guangdong Province. PHD Dissertation, Nanchang, ECUT. (in Chinese with English abstract).

参考文献

- 曹豪杰,黄国龙,许丽丽,黄乐真,王小冬,吴建勇,王春双. 2013. 诸 广花岗岩体南部油洞断裂带辉绿岩脉的 Ar-Ar 年龄及其地球 化学特征. 地质学报,87(7):957~966.
- 曹豪杰,黄乐真,沈渭洲,凌洪飞,黄国龙,邓平,朱捌. 2011. 粤北牛 岱辉绿岩脉的地球化学特征及其成因研究.东华理工大学学报 (自然科学版),34(4):323~331.
- 党飞鹏,陈黎明,李志鹏,许谱林,蔡昌华,樊哲强. 2017. 赣南黄沙 铀矿区上窖地段构造特征及深部找矿方向. 地质与勘探,53 (04):624~631.
- 邓平,任纪舜,凌洪飞,沈渭洲,孙立强,朱捌,谭正中. 2012. 诸广山 南体印支期花岗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义. 科学通报,57(14):1231~1241.
- 邓平,任纪舜,凌洪飞,沈渭洲,孙立强,朱捌,谭正中.2011. 诸广山 南体燕山期花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其构造意义. 地质论评,57(06):881~888.
- 杜乐天. 1982.花岗岩型铀矿文集. 原子能出版社.
- 高彭. 2016. 华南陆块南岭地区中生代花岗岩地球化学研究. 博士学

位论文,合肥:中国科学技术大学.

- 葛祥坤. 2013. 电子探针探技术在铀及含铀矿物测年中的开发与研究. 博士学位论文,北京:核工业北京地质研究院.
- 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,(01):153~160.
- 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(02):352~360.
- 兰鸿锋.2015. 诸广山南体"三九"地区花岗岩的成因研究和铀成矿 潜力探讨. 硕士学位论文,南京:南京大学.
- 李出安, 邹和平. 2011. 广东南雄断裂带裂带 Ar-Ar 年龄及其地质意 义. 中山大学学报(自然科学版), 50(01):129~132.
- 李献华,胡瑞忠,饶冰.1997.粤北白垩纪基性脉岩的年代学和地球 化学.地球化学,26(2):14~31.
- 李献华.1990. 万洋山-诸广山广山花岗岩复式岩基的岩浆活动时代 与地壳运动.中国科学 B 辑,7(7):747~755.
- 林锦荣,李子颖,胡志华,王勇剑,王峰.2016. 热液型铀矿空间定位 的控制因素. 铀矿地质,32(06):333~339.
- 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(02):193~206.
- 骆金诚,石少华,陈佑纬,田建吉.2019.铀矿床定年研究进展评述.岩石学报,35(2):589~605.
- 聂斌,张万良.2018. 赣南黄沙矿区辉绿岩 Ar-Ar 年龄及其与铀成矿 关系. 矿产与地质,32(03):390~396.
- 潘永正.1987.广东省花岗岩型铀矿床区域成矿要素.中国核科技 报告,(S1):43.
- 祁家明,黄国龙,朱捌,伏顺成,许幼,叶松鑫. 2014. 粤北棉花坑铀 矿床蚀变花岗岩副矿物特征研究. 地质学报,9(88):1691 ~1704.
- 邱检生, McInnes BIA, 徐夕生, Allen C M. 2004. 赣南大吉山五里亭 岩体的锆石 ELA-ICP-MS 定年及其与钨成矿关系的新认识. 地 质论评, (02): 125~133.
- 单芝波,李坤,凌洪飞,沈渭洲,黄国龙,朱捌.2014. 粤北桃村坝花岗 岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学及成因研究. 高校地质学报,20 (03):341~352.
- 沈渭洲,凌洪飞,邓平,谭正中.2006.粤北寨头岩体的地球化学特征 与成因研究.南京大学地球科学系、南京大学内生金属矿床成 矿机制研究国家重点实验室.2006年全国岩石学与地球动力 学研讨会论文摘要集.
- 石少华,胡瑞忠,温汉捷,孙如良,王加昇,陈恒. 2010. 桂北沙子江 铀矿床成矿年代学研究:沥青铀矿 U-Pb 同位素年龄及其地质 意义. 地质学报,84(08):1175~1182.
- 舒良树,邓平,王彬,谭正中,余心起,孙岩. 2004. 南雄一诸广地区 晚中生代盆山演化的岩石化学、运动学与年代学制约. 中国科 学 D 辑地球科学,34(1):1~13.
- 孙立强. 2018 南岭诸广山地区中生代花岗岩成因及其对铀成矿作 用的启示.博士学位论文,南京:南京大学.
- 陶继华,李武显,李献华,岑涛. 2013. 赣南龙源坝地区燕山期高分 异花岗岩年代学、地球化学及锆石 Hf-O 同位素研究.中国科 学:地球科学,43(05):770~788.
- 王岳军,范蔚茗,梁新权,彭头平,石玉若. 2005. 湖南印支期花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其成因启示. 科学通报, (12):1259 ~1266.
- 徐国庆,王爱珍,顾绮芳,张静宜,张昭明,黄裕柱.1982.我国晶质 铀矿和沥青铀矿的某些矿物学特征.矿物学报,(03):193~200.
- 徐夕生,邓平,S.Y.O'Reilly, W.L. Griffin,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,(12):1328~1334.
- 叶天竺, 吕志成, 庞振山等. 2014. 勘查区找矿预测理论与方法.北 京:地质出版社,1~703.

- 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(06):1441~1456.
- 张国全,胡瑞忠,商朋强,刘雷,杨社锋. 2007. 华南花岗岩型铀矿床 成矿机理研究进展. 矿物岩石地球化学通报,(04):399~404.
- 张国全. 2008. 华南热液铀矿床地球化学研究一以 302 铀矿床为例. 博士学位论文,贵阳:中国科学院地球化学研究所.
- 张龙,陈振宇,田泽瑾,黄国龙.2016. 电子探针测年方法应用于粤 北长江岩体的铀矿物年龄研究. 岩矿测试,35(01):98~107.
- 张敏,陈培荣,黄国龙,谭正中,凌洪飞,陈卫锋. 2006a. 南岭东段龙 源坝复式岩体 La-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地质 学报,(07):984~994.
- 张敏,陈培荣,陈卫锋. 2006b. 粤北地区产铀岩体的铀矿化特征及 其成矿机制探讨. 化工矿产地质,28(1):9~14.
- 张万良,陈黎明,党飞鹏,樊哲强,高梦奇. 2016. 断陷带控矿机制研 究——以赣南黄沙铀矿区为例. 矿产与地质,30(05):746~751.

张昭明. 1982. 电子探针在测定晶质铀矿年龄中的应用. 放射性地

质,05:408~411.

- 赵葵东,李吉人,凌洪飞,陈培荣,陈卫锋,孙涛. 2013. 江西省峡江 铀矿床两期印支期花岗岩的年代学、岩石地球化学和岩石成 因一对华南印支期构造背景和产铀花岗岩成因的指示. 岩石学 报,29(12):4349~4361.
- 钟福军. 2018. 华南花岗岩型铀矿成岩成矿作用研究一以粤北长江 铀矿田为例. 博士学位论文,南昌:东华理工大学.
- 周新民. 2003. 对华南花岗岩研究的若干思考. 高校地质学报, (04):556~565.
- 朱捌,邓平,凌洪飞,沈渭洲,谭正中. 2009. 粤北红山岩体形成时代 及成因研究.铀矿地质,25(06):321~329.
- 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,(01):71~82.
- 邹东风,李方林,张爽,黄彬,宗克清. 2011. 粤北下庄 335 矿床成矿 时代的厘定——来自 LA-ICP-MS 沥青铀矿 U-Pb 年龄的制约. 矿床地质,30(05):912~922.

Uranium micromineralogy and geochronology of the Jiangtou Uranium Ore Field in the Qingzhangshan granite pluton, north Guangdong: constraints on the genetic relationship with metallogenic dynamic background

LAI Jing, QI Jiaming*, CHEN Junjun, LI Zhongshu, CAO Haojie

Research Institute No. 290, CNNC, Shaoguan, Guangdong, 512026 * Corresponding author: jiaming_qi@126.com

Abstract

Qingzhangshan (Longyuanba) pluton, located between the Zhuguang and the Guidong granitic complexes that are two of the most important granite-type uranium concentration areas in South China, is a poorly investigated area in the study of granite-type uranium deposits. Jiangtou uranium mining area is located in overlap region of the northern part of the Qingzhangshan pluton and the Nanxiong fault basin. Till date, the chronology of the uranium deposits remains unknown. The micromineralogical characteristics of uranium in this area have been studied by means of electron microprobe. At the same time, the U-Th-Pb chemical ages of magmatic crystalline uraninite and hydrothermal pitchblende have been calculated, and the dynamic background of uranium mineralization and ore-formation has been discussed. Results show that the uranium minerals in the coarse-grained porphyritic biotite granite and mediumgrained porphyritic biotite granite are mainly uraninite and coffinite and some uraninite show obvious characteristics of uranium release. The chemical ages of uraninite are 246.8 \pm 8.8 Ma and 161.5 \pm 8.0 Ma which are consistent with the range of previous zircon U-Pb ages, representing the diagenetic ages of the Indosinian and the Yanshanian granites respectively. It shows that before the formation of Nanxiong fault basin, the Qingzhangshan pluton and the Zhuguang pluton were an organic whole with the same diagenetic and metallogenic environment. The uranium minerals in the ore of the Jiangtou mining area are mainly disseminated pitchblende accompanied by a small amount of brannerite, coffinite, etc. The chemical ages of pitchblende are 121.3 \pm 9.8 Ma, 98.8 \pm 8.0 Ma and 73.2 \pm 8.8 Ma, representing ages of three stages of uranium metallogenesis in this area. Combined with the six tectonic extensional movements since the Mesozoic, it had been considered that uranium mineralization in this area is controlled by dual factors: metallogenic dynamic background of deep fault depression activity in the margin of Mesozoic-Cenozoic basins, and the distribution of uranium-producing granite bodies. The Qingzhangshan pluton should have similar prospecting prospects as the Zhuguang and the Guidong plutons.

Key words: Qingzhangshan pluton; Jiangtou mining area; Characteristics of uranium minerals; Chemical ages; Geodynamic background of mineralization