

赣南兴国留龙金矿田井头复式岩体锆石 SHRIMP U-Pb 定年及地质意义*

刘善宝¹, 王登红², 陈毓川¹, 张 建¹, 许建祥³, 曾载淋⁴, 应立娟¹,
王成辉¹, 范世祥⁴, 张永忠⁴, 赖志坚⁴

(1 中国地质科学院, 北京 100037; 2 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 3 江西省国土资源厅, 江西 南昌 330000; 4 江西省赣南地质调查大队, 江西 赣州 341000)

摘 要 赣南兴国县留龙金矿田井头复式岩体由主体花岗闪长岩和补体闪长岩组成, 其中闪长岩主要由角闪石和斜长石组成, 而不是英安岩或粗玄岩, 其主体和补体的稀土元素球粒陨石标准化配分曲线相互平行, 属于轻稀土元素富集型, Eu 有弱的亏损, 两者来源于同一个岩浆房, 并发现了具有金矿化特征的绿泥石化蚀变闪长岩, 是一个新的地质找矿方向。锆石 SHRIMP U-Pb 同位素年代学研究表明, 井头复式岩体的主体花岗闪长岩的成岩年龄为 $(162.6 \pm 2.6) \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 0.75$), 具有金矿化特征的绿泥石化蚀变闪长岩的成岩年龄为 $(156.6 \pm 1.7) \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 0.46$)。区域地质及井头复式岩体的地球化学分析显示, 该区金矿的形成与中晚侏罗世的浅成相中酸性、中性或基性岩浆岩密切相关, 与赣南地区燕山早期钨锡矿的成矿时代同步, 在同一构造背景下形成, 两者应属于同一成矿系列。

关键词 地球化学; SHRIMP; 井头复式岩体; 金矿; 钨锡矿; 赣南
中图分类号 P618.67 **文献标志码** A

SHRIMP U-Pb dating of Jingtou composite pluton in Liulong gold orefield of Xingguo County, southern Jiangxi Province, and its geological significance

LIU ShanBao¹, WANG DengHong², CHEN YuChuan¹, ZHANG Jian¹, XU JianXiang³, ZENG ZaiLin⁴,
YING LiJuan¹, WANG ChengHui¹, FAN ShiXiang⁴, ZHANG YongZhong⁴ and LAI ZhiJian⁴

(1 Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3 Jiangxi Bureau of Land and Resources, Nanchang 330000, Jiangxi, China; 4 South Jiangxi Geological Surveying Party, Ganzhou 341000, Jiangxi, China)

Abstract

The Jingtou composite pluton in the Liulong gold orefield of southern Jiangxi Province is composed of the main body of granitic diorite and the patched body of diorite. Certain extent of gold mineralization was found in the chloritized patched body, implying a new prospecting direction in southern Jiangxi. In this paper, SHRIMP U-Pb technique was employed to date the ages of the main body and the altered patched body. The dating result of the main body is $(162.6 \pm 2.6) \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 0.75$), whereas the age of the chloritized patched body is $(156.6 \pm 1.7) \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 0.46$). These data imply that the main body and the patched body might have resulted from the same magma reservoir. From regional geological information and researches on geochemical characteristics of Jingtou composite pluton, some conclusions have been reached: (1) the intrusion of Jingtou composite pluton took place in Middle

* 本文得到国家科技支撑计划“南岭地区有色-贵重金属成矿潜力及综合探测技术示范研究”课题、中国地质科学院矿产资源研究所基本业务费专项资金(项目编号 K0906)“我国重要矿产和区域成矿规律研究”项目的联合资助

第一作者简介 刘善宝, 男, 1970 年生, 博士, 工程师, 矿物学、岩石学、矿床学专业。Email: Liubaoshan7002@163.com

收稿日期 2009-07-02; 改回日期 2009-08-26。李德先编辑。

Jurassic, and the minor body characterized by further differentiation should be the extensional product of the lithosphere; (2) during the intrusion of the middle-plutonic granite to the hypabyssal diorite-trachydolerite, the magmatic activities lasted for 6 Ma, suggesting that there existed a concentrated period of Au and W/Sn mineralization; (3) in southern Jiangxi Province, the metallogenic age of Au are basically concordant with that of W/Sn, and the ore-forming processes are mainly concentrated in the period of 150~165 Ma.

Key words: geochemistry, SHRIMP, Jingtou composite pluton, gold deposit, W-Sn deposit, southern Jiangxi

江西省南部位于南岭成矿带的东段,享有“世界钨都”之称,包含近南北向的 3 条Ⅲ级成矿带,自西向东分别为诸广山成矿带、于山成矿带、武夷山成矿带(图 1),主要产出钨、锡矿床,同时也有部分金矿床产出,金矿床大部分分布在钨矿集区的外围,兴国留龙金矿就是其典型代表。井头复式岩体产于留龙金矿西南约 10 km 处(图 2),位于井头-猪栏前一带,侵入加里东期-印支期古障混合花岗岩体中,呈东西向展布,岩体出露面积约 8 km²。该岩体由井头花岗岩斑岩体和陈村闪长岩体组成,其补体陈村闪长岩(原定名为粗玄岩)K-Ar 年龄为 169.7 Ma,与留龙矿区陈公排断裂带上绢云母的 K-Ar 年龄(161.4 Ma^①)、留龙陈公排辉长岩的斜长石 Ar-Ar 年龄(172 Ma,刘善宝,2008)、留龙金矿的石英 Rb-Sr 等时线年龄(157.4 Ma,刘善宝,2008)接近;与井头复式岩体相邻的隘岭下岩体重砂矿物中含有自然金,其成岩 K-Ar 年龄为 170.7 Ma^②(但云母的 K-Ar 年龄精度较差,且岩体发生了强烈蚀

变,并不能代表岩体的成岩年龄)。赣南地区的钨锡矿床的成矿年龄主要集中在 160~150 Ma 之间(刘善宝等,2007),与井头复式岩体在成岩时代、留龙的辉绿玢岩、留龙金矿和银坑矿田成矿花岗闪长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄(151.2±4.2) Ma^③接近。在成矿元素方面,井头及其附近的岩体以富含 Au (Ag)贫 W 为特征^④,岩体本身也具有金矿化特征,有别于钨锡成矿岩体的地球化学特征(陈毓川等,1989)。但是 1:20 万地质填图将该岩体定名为英安岩^⑤,1:5 万地质图又定名粗玄岩^⑥,前后对该岩体的命名出入较大,有必要对其重新鉴定命名,其次是同位素定年所应用的 K-Ar 法和 Rb-Sr 法精度较差,尤其对蚀变强烈的岩石,容易引起争议,有必要应用高精度的锆石 SHRIMP U-Pb 法对其进行重新定年,尤其是对具有金矿化特征的绿泥石化蚀变闪长岩进行重新定年十分必要。本文通过对井头复式岩体锆石 SHRIMP U-Pb 定年研究,旨在为该区金矿与钨矿的成因联系研究提供参考。

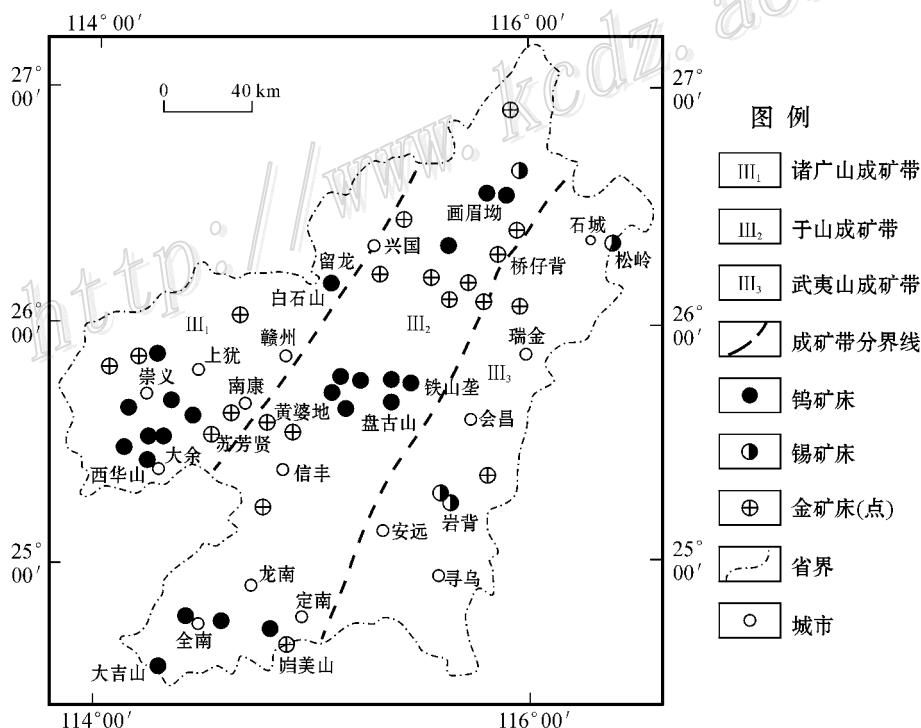


图 1 江西省赣南地区主要钨锡矿床和金矿床分布简图

Fig. 1 Distribution of primary W/Sn and gold deposits in southern Jiangxi Province

① 赣南地质调查大队, 1986. 1:5 万地质图(岭背幅)说明书.

② 丰成友, 余宏全. 2006. 闽中-粤东地区铅锌铜矿勘查准则及新区预测.

③ 赣南地质调查大队. 1974. 兴国幅 1:20 万区域地质调查.

1 地质背景

井头复式岩体地处北东向南城-大余构造带的东盘,侵入于古漳杂岩体中(图 2)。区域内构造复杂,主要由一系列北东向断裂带组成;区内青白口系、震旦系及寒武系组成了加里东褶皱基底,分布在研究区的中部,泥盆系至下三叠统组成印

支期盖层,并与下伏地层呈明显的角度不整合或断层接触,在研究区的西北部 and 东南部的断陷盆地内有零星出露;晚三叠世至第三纪类磨拉石建造或火山碎屑岩沉积建造广泛出露于兴国盆地和于赣盆地内(图 2)。

区域多旋回构造运动伴随多期次的岩浆活动,除前震旦纪的火山沉积岩外,还有加里东期-印支期的古漳岩体和清溪岩体分布在研究区的中部和西北部,燕山期井头岩体和隘岭

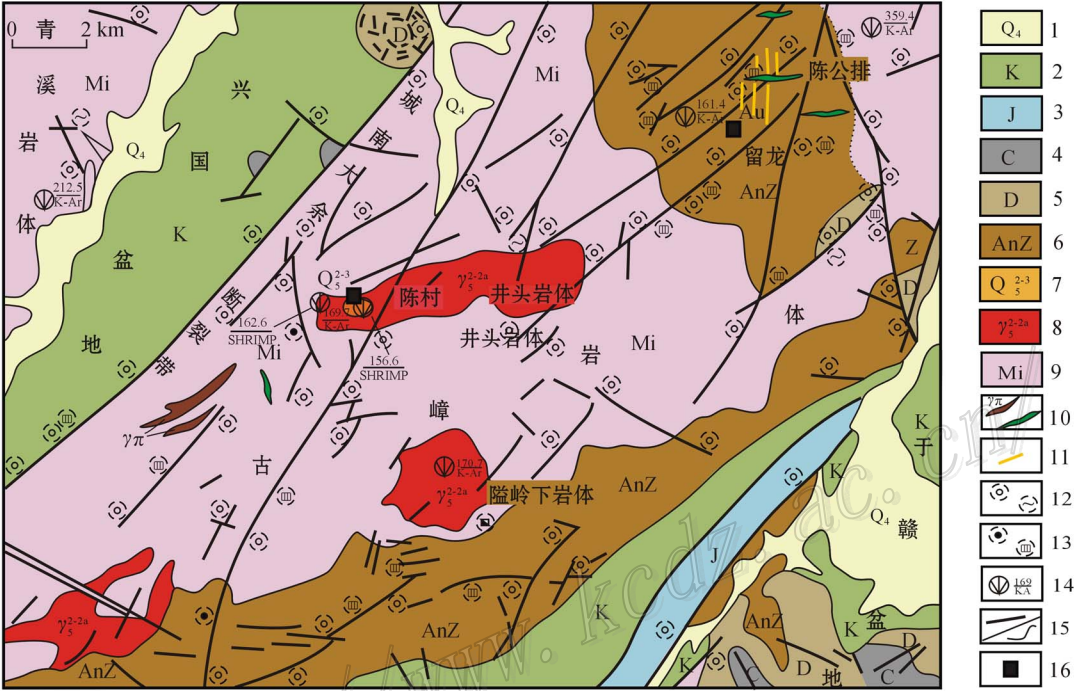


图 2 兴国井头复式岩体地质简图①

1—第四系; 2—白垩系; 3—侏罗系; 4—石炭系; 5—泥盆系; 6—前震旦系; 7—燕山早期第二阶段侵入的石英闪长岩; 8—中侏罗世早期侵入的花岗岩; 9—加里东期-印支期混合花岗岩; 10—辉绿岩脉; 11—含金矿化带; 12—硅化和绿泥石化蚀变; 13—黄铜矿化和黄铁矿化蚀变; 14—同位素年龄/测试方法; 15—断裂/地层界线; 16—村庄

Fig. 2 Geological map of Jingtou granite pluton in Xingguo County, southern Jiangxi Province

1—Quaternary; 2—Cretaceous; 3—Jurassic; 4—Carboniferous; 5—Devonian; 6—Presinian; 7—Middle Jurassic quartz diorite; 8—Early Middle Jurassic granite; 9—Devonian-Triassic hybrid magma granite; 10—diabase vein; 11—Auriferous mineralized vein; 12—Silicified and chloritized fault; 13—Chalcopyritized and pyritized alteration; 14—Isotope age/testing technique; 15—Fault/geological boundary; 16—Village

下岩体侵入于古漳岩体内,陈公排辉绿玢岩脉呈东西向分布在留龙金矿区内(图 2)。区域资料研究表明,不同时代的 8 个岩体地球化学数据②统计结果显示,研究区及其邻区内岩浆岩的 $w(\text{SiO}_2)$ 一般小于 73%,金的丰度较高,其中青白口纪上施组凝灰岩为 $11 \times 10^{-9} \sim 26 \times 10^{-9}$,加里东期-印支期花岗岩的 $w(\text{Au})$ 为 $4 \times 10^{-9} \sim 56 \times 10^{-9}$,燕山期花岗岩

$w(\text{Au})$ 为 $4.6 \times 10^{-9} \sim 50 \times 10^{-9}$ ③,辉绿岩 $w(\text{Au})$ 为 8×10^{-9} 左右,闪长岩 $w(\text{Au})$ 最高达 290×10^{-9} ,并在隘岭下岩体内发现了一粒自然金④,与区内钨锡、稀有、稀土等成矿花岗岩的超酸性($w(\text{SiO}_2)$ 一般大于 75%)、富集 W、Sn 而贫 Au 元素等地球化学特征形成了鲜明对比(陈毓川等,1989)。可见研究区内岩浆岩为区内金矿床的形成提供了重要的物质来源。

① 赣南地质调查大队. 1986. 1:5 万地质图(岭背幅)说明书.
② 赣南地质调查大队. 1974. 兴国幅 1:20 万区域地质调查.
③ 赣南地质调查大队. 1989. 兴国县留龙金矿床地质勘探报告.
④ 赣南地质调查大队. 1995. 赣南地区与钨锡(铅锌)相关银矿的成矿规律及成矿预测.

表 1 兴国县井头复式岩体的主量元素测试结果

Table 1 Analytical results of major elements of Jingtou granite pluton in Xinguo County , souhtern Jiangxi Province								
样品号	岩性	$\omega(\text{B})\%$						
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO
CHC-2	蚀变闪长岩	51.42	1.85	19.04	4.52	5.64	0.17	3.07
CHC-3	闪长岩	48.2	1.63	18.65	5.89	5.69	0.2	4.04
CHC-1	花岗闪长岩	58.24	1.15	14.37	2.51	5.93	0.19	2.67
JT-1*	花岗岩	74.76	0.23	13.28	1.54	0.59	0.04	0.51
JT-2*	花岗岩	72.69	0.3	13.47	2.16	0.82	0.07	1.15
JT-3*	闪长岩	56.18	0.75	16.8	1.44	5.21	0.15	5.32
JT-4*	闪长岩	48.55	1.47	15.3	1.92	8.67	0.11	7.19

样品号	岩性	$\omega(\text{B})\%$				烧失量	分异指数(DI)	A/CNK
		CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅			
CHC-2	蚀变闪长岩	8.08	2.79	1.56	0.71	0.77	39.55	0.908
CHC-3	闪长岩	7.41	2.4	2.24	0.5	2.19	35.94	0.94
CHC-1	花岗闪长岩	3.98	0.99	3.05	0.41	5.61	56.21	1.181
JT-1 ^①	花岗岩	0.15	2	5.6	0.04	1.77	91.48	1.38
JT-2 ^①	花岗岩	0.41	2.7	5.12	0.08	1.25	88.43	1.255
JT-3 ^①	闪长岩	5.36	2.35	2.15	0.28	1.41	46.74	1.054
JT-4 ^①	闪长岩	8.57	2.83	1.29	0	4	32.92	0.707

2 井头复式岩体的地质特征

2.1 岩石学特征

井头复式岩体由主体井头中细-细粒似斑状花岗岩体和补体闪长岩体组成,侵入于古樟混合花岗岩岩体中,在混合花岗岩的局部可见到围岩的包体。本次研究主要采集了花岗闪长岩(CHC-1)、蚀变闪长岩(CHC-2)及未蚀变闪长岩(CHC-3)样品。

主体花岗岩主要造岩矿物为斜长石(28%~30%)、钾长石(40%)、石英(25%)、黑云母(2%~4%)和白云母(2%~3%)。斑晶含量为8%~15%,以钾长石为主,石英次之,黑云母少量。副矿物含量较少,以磁铁矿、绿帘石、磷灰石为主,钛铁矿、独居石、锆石、黄铁矿为主。岩石蚀变强烈,常见钾长石化、云英岩化、硅化、叶腊石化、白云母化、绿泥石化等(图3a)。岩体中偶见白钨矿、辉铋矿、辉钼矿、方铅矿和黄铜矿,表明其局部具有矿化蚀变特征^①。

补体闪长岩位于陈村附近,岩体呈不规则椭圆状出露,面积约1.1 km²,侵入于井头花岗岩体内,接触面波状弯曲,在接触带附近发生强烈硅化、绿泥石化蚀变(图3b,c)。闪长岩内部未见蚀变特征,在陈村的东南山坡上有少量出露,两者接触关系不清楚,以往研究将陈村岩体定名为粗玄岩^②或英安岩^③。本文经显微镜下鉴定,该岩石主要为角闪石和斜长石组成,应定名为闪长岩。根据其蚀变程度,又可分为边缘相蚀变闪长岩和内部相未蚀变闪长岩两种。

边缘相蚀变闪长岩(图3c)主要矿物为斜长石(50%)、角

闪石(21%)、含少量的绢云母(10%)、绿泥石(9%)和黄铁矿及褐铁矿(6%)等蚀变矿物(图3e)。斜长石呈自形、半自形板状,聚片双晶发育,已发生了强烈的绢云母化蚀变;角闪石为普通角闪石,已发生了强烈绿泥石化蚀变,半自形、自形粒状,解理发育,黄铁矿呈自形、半自形粒状分布在蚀变角闪石内及其与斜长石接触部位,大部分黄铁矿已经褐铁矿化(图3f);石英为他形粒状。

内部相未蚀变闪长岩(图3d)主要矿物组成为斜长石(60%)、角闪石(30%),含有少量的绿泥石(5%)和高岭土(5%)等蚀变矿物(图3g)。斜长石为细小的长条板状,呈斑晶产出,并发生了高岭土化蚀变(图3h)。在矿物组成上,陈村岩体的边缘相与内部相的主要矿物是相同的,区别在于边缘相蚀变强烈,斜长石和角闪石分别发生了强烈的绢云母化和绿泥石化蚀变,同时以明显的黄铁矿化与内部相形成鲜明对比。

2.2 岩石化学特征

2.2.1 主量元素特征

井头复式岩体的主量元素测试结果(表1)显示,主体井头花岗岩或花岗闪长岩的 $\omega(\text{SiO}_2)$ 为58.24%~74.76%,平均为68.56%,属于SiO₂弱饱和型,明显低于赣南地区钨锡成矿花岗岩 $\omega(\text{SiO}_2)$ 一般大于75%^①;A/CNK都大于1.1,为铝质饱和型; $\omega(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 变化在3.99%~7.82%之间,平均为6.47%,其中 $\omega(\text{K}_2\text{O})$ 大于Na₂O,属于富钾贫钠型; $\omega(\text{MgO})$ 变化在0.51%~2.67%之间,平均为1.44%, $\omega(\text{CaO})$ 变化在0.15%~3.98%之间,平均为1.51%,属于贫镁贫钙型。

① 赣南地质调查大队. 1986. 1:5万地质图(岭背幅)说明书.
② 赣南地质调查大队. 1974. 兴国幅 1:20万区域地质调查.

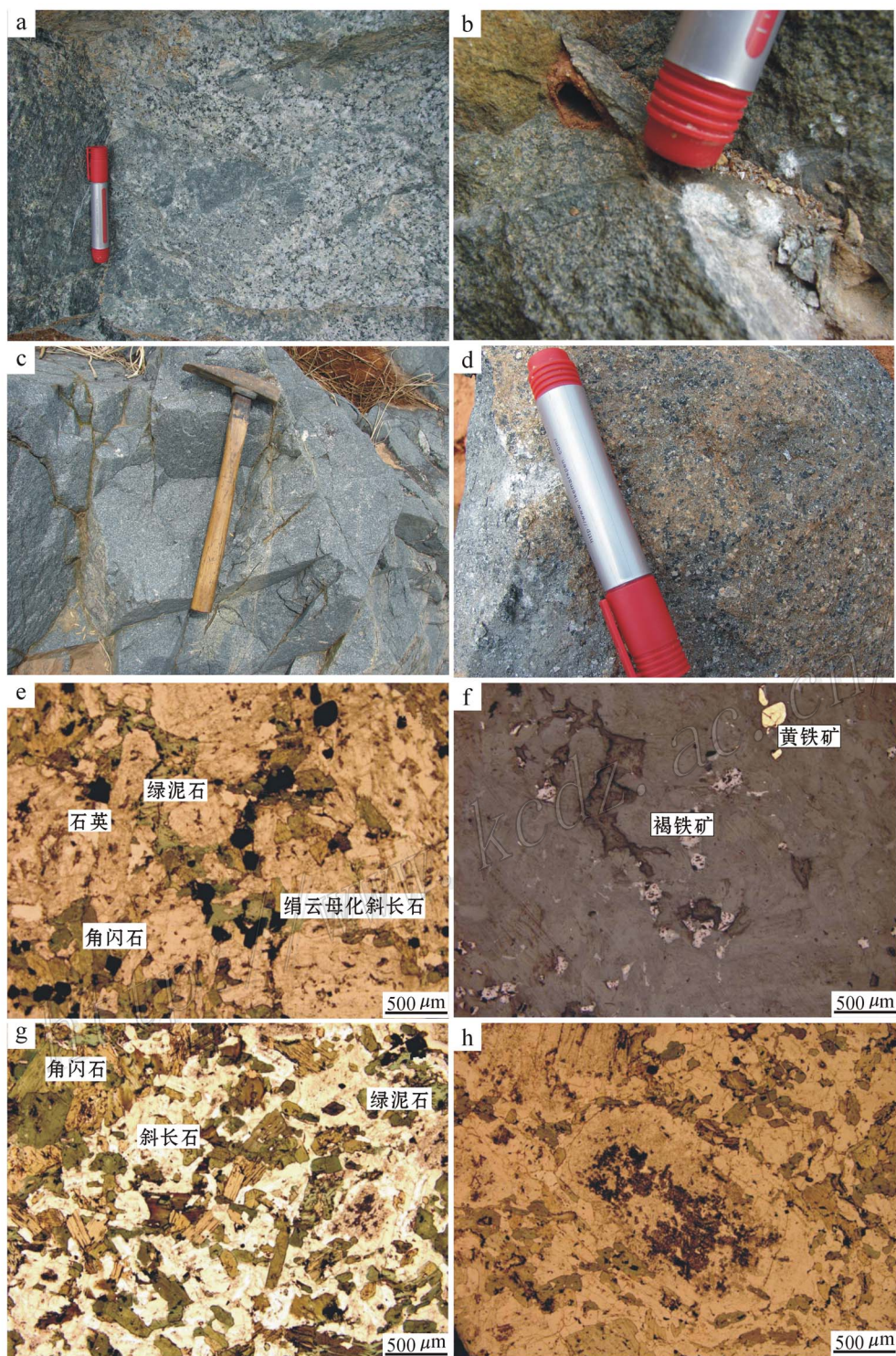


图 3 古嶂混合花岗岩(a)和井头复式岩体(b、c、d)的野外及其显微镜照片(e、f、g、h)

a. 古嶂混合花岗岩; b. 井头花岗闪长岩(CHC-1 绿泥石化蚀变); c. 陈村绿泥石化细粒闪长岩(CHC-2); d. 未蚀变的陈村闪长岩(CHC-3); e. 单偏光镜下蚀变闪长岩(CHC-2); f. 反光镜下蚀变闪长岩(CHC-2); g. 单偏光镜下未蚀变闪长岩(CHC-3); h. 未蚀变闪长岩的高岭土化斜长石斑晶

Fig. 3 Field photographs of Guzhang migmatitic granite (a), Jingtou composite pluton (b, c, d), and microscopic photographs of Jingtou composite pluton (e, f, g, h)

a. Guzhang migmatitic granite; b. Jingtou chloritized granodiorite (CHC-1); c. Chencun chloritized granodiorite (CHC-2); d. Chencun unaltered diorite; e. Plainlight photograph of Chencun altered diorite (CHC-2); f. Reflective microscopic photo of altered diorite (CHC-2); g. Plainlight photograph of unaltered diorite (CHC-3); h. Plainlight photo of kaolinized plagioclase phenocryst in unaltered diorite (CHC-3)

井头复式岩体的补体闪长岩的 SiO_2 含量变化在 48.20%~56.18% 之间,平均为 51.09%,其中边缘相的蚀变闪长岩的 SiO_2 含量(53.8%)大于内部相的未蚀变闪长岩 SiO_2 含量(48.38%)。 $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ 的含量变化在 4.12%~4.64% 之间,平均为 4.40%,其中 K_2O 的含量小于 Na_2O ,为富钠贫钾型; MgO 含量为 3.07%~7.19%, CaO 含量为 5.36%~8.57%,属于富镁富钙型。

在主量元素方面,井头复式岩体由早期的花岗岩逐渐演变为晚期的闪长岩,其 SiO_2 含量逐渐降低,即由 68.56%降为 53.8%,其 $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ 的含量由花岗岩的 6.47%降为闪长岩的 4.40%,并且由富钾贫钠型转变为富钠贫钾型;而 $\text{MgO}+\text{CaO}$ 的含量呈逐渐上升趋势,由花岗岩的 2.85%上升到闪长岩的 12.26%,由贫镁贫钙型转化为富镁富钙型。

综上所述,井头复式岩体由早期的酸性岩浆岩逐渐演化为晚期的中性岩浆岩,即从早期到晚期,岩浆岩呈现出由酸性向中基性演化的趋势,与赣南钨锡矿集区(矿区)的岩浆岩的演化趋势是一致的(陈毓川等,1989),表明井头复式岩体与赣南地区的钨锡成矿岩浆岩是在同一构造背景下形成的。

2.2.2 微量及稀土元素特征

井头复式岩体的微量及稀土元素测试结果见表 2。图 4a 显示,井头花岗岩(花岗闪长岩)亏损 Ba、Sr、Ti 元素,富集 Rb、U、Th 元素,Nb、Ta 略有亏损;陈村闪长岩富集 Ba、U、Th 元素,亏损 Nb、Ta、Ti 元素。除 Rb 元素外,蚀变闪长岩与未蚀变闪长岩的其他微量元素的富集、贫化趋势是基本一致的,指示两者是由同一岩浆演化而来的;井头花岗岩则经历了较充分的结晶分异作用,富集大离子亲石元素。在成矿元素方面,井头复式岩体相对贫 W,尤其是陈村闪长岩的 W 含量仅为 0.5×10^{-6} ,低于大陆地壳的丰度(1.1×10^{-6} ,黎彤,1984),富集 Pb、Zn、Ag、Au 元素,其中发生强烈绿泥石、黄铁矿蚀变闪长岩的金含量最高为 290×10^{-9} ,是地壳丰度的上百倍,与钨锡成矿有关的花岗岩明显不同。在稀土元素方面(图 4b),井头复式岩体的稀土元素球粒陨石标准化分布型式很一致,钕亏损不强烈或略有亏损,为右倾的轻稀土元素富集型,表明井头复式岩体的早期花岗岩与晚期的闪长岩成因是相同的,即由同一个岩浆源演化形成的,以此区别于钨锡成矿岩体的稀土元素标准化的“海鸥”型或钕强烈亏损的分布型(陈毓川等,1989),可能指示井头复式岩体的来源较深,有地幔或更多下地壳物质参与成岩。

表 2 井头复式岩体的微量元素测试结果($w_B/10^{-6}$)
Table 2 Trace element content of Jingtou composite pluton($w_B/10^{-6}$)

样品编号	岩性	位置	Cu	Pb	Zn	As	F	Li	Ti	W	Rb	Be
CHC-3	粗玄岩	陈村	12	182	90.3	31	0.11%	22.4	4275	<0.50	24.2	2.93
CHC-2	闪长岩	陈村	37.2	272	294	100	0.09%	34.3	7354	0.56	144	2.68
CHC-1	花岗岩	陈村	7	74.2	179	28.6	0.34%	31.5	4985	2.79	416	5.6
样号	岩性	位置	Sc	V	Cr	Co	Ni	Sb	Zr	Nb	Mo	Sn
CHC-3	粗玄岩	陈村	28.2	161	2.86	19.9	9.9	0.19	100	27.4	0.58	4.35
CHC-2	闪长岩	陈村	29.9	288	9.76	30.2	21.4	0.2	206	20.5	0.74	4.75
CHC-1	花岗岩	陈村	22	238	1.82	19.7	1.69	0.14	179	21	0.57	12.7
样号	岩性	位置	Hf	Ta	Th	U	Cl	Ag	Au	Sr	Ba	
CHC-3	粗玄岩	陈村	3.06	1.75	7.61	2.76	277	0.17	17	742	460	
CHC-2	闪长岩	陈村	5.23	1.23	5.23	1.97	129	0.68	290	684	425	
CHC-1	花岗岩	陈村	5.22	2.34	13.2	6.68	42	0.51	4	83.1	120	

注: Au 的单位为 10^{-9} 。

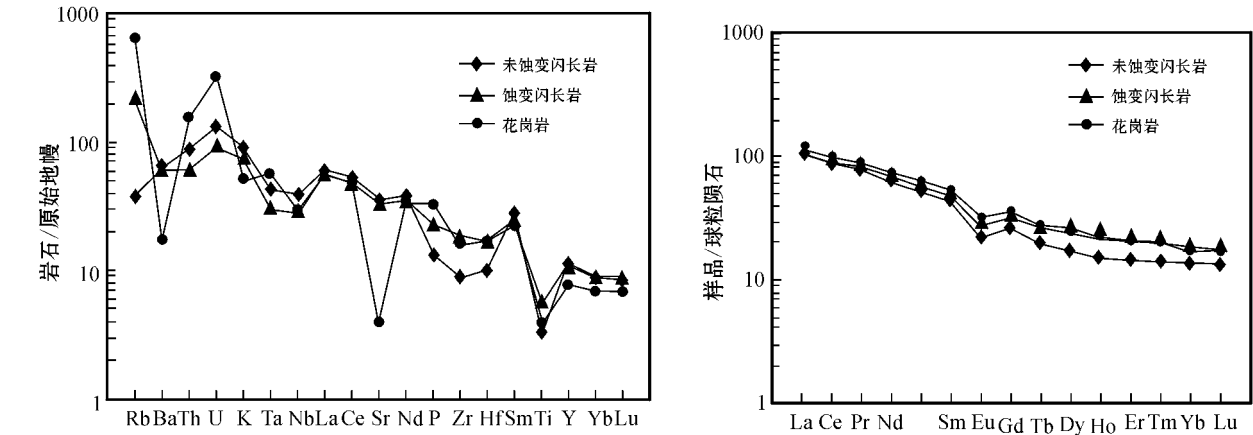


图 4 井头复式岩体的量元素原始地幔蛛网图(a)和稀土元素球粒陨石(b)

Fig. 4 Primitive mantle-normalized spidergram(a) and chondrite-normalized REE patterns(b) of Jingtou composite pluton in Xingguo County

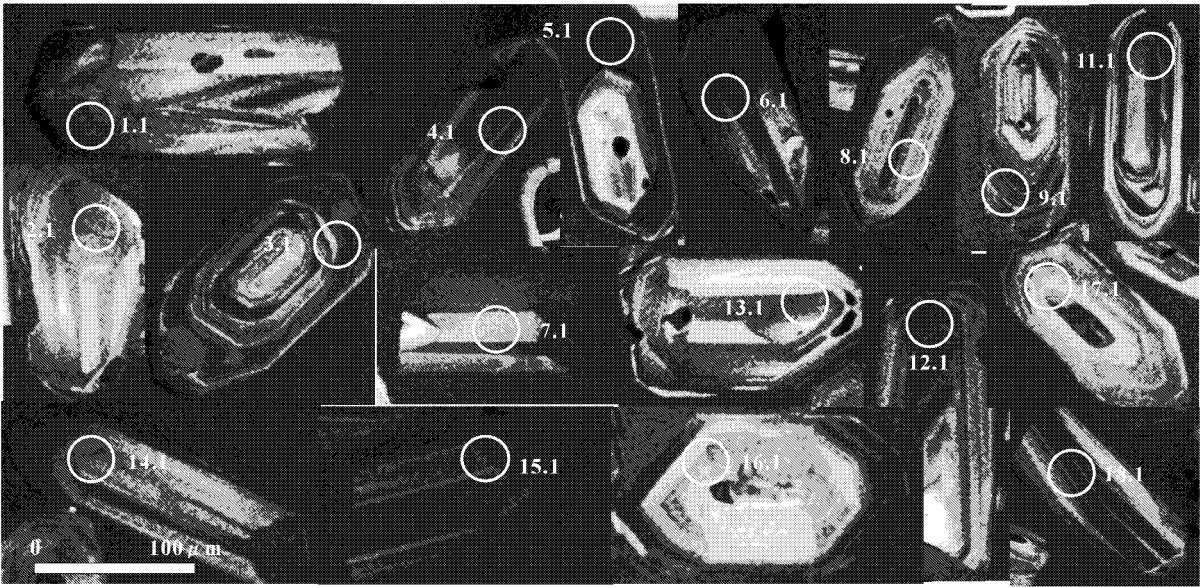


图 5 井头花岗闪长岩锆石代表样品的阴极发光图像
Fig. 5 Zircon CL image of representative sample from Jingtuo granitic diorite

3 锆石 SHRIMP U-Pb 定年

3.1 井头花岗闪长岩分析结果

井头花岗闪长岩锆石样品(样品编号 CHC-1)的电子背散射图像显示(图 5),锆石多呈长柱状。锆石的阴极发光图像显示,锆石具有典型的韵律环带结构,部分锆石可以分为核部和边部,发育包裹体,表明这些锆石属岩浆成因。

井头花岗闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年结果(表 3)显示,存在 2 组不同的年龄数据。第一组年龄数据变化在(157 ± 7.1)~(174 ± 6.1) Ma ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$) 之间,13 粒锆石测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和年龄为(162.6 ± 2.6) Ma, MSWD = 0.75(图 6),与之对应 U 的含量为 $638 \times 10^{-6} \sim 1\,826 \times 10^{-6}$,平均为 $1\,055 \times 10^{-6}$;第二组年龄数据变化在(231.6 ±

表 3 井头花岗闪长岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 定年结果
Table 3 Analytical results of SHRIMP U-Pb dating for zircon samples from Jingtuo granitic diorite

点号	$^{206}\text{Pb}_c$ /%	U/ 10^{-6}	Th/ 10^{-6}	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/$ 10^{-6}	$^{207}\text{Pb}^*/$ $^{206}\text{Pb}^* \pm \%$	$^{207}\text{Pb}^*/$ $^{235}\text{U} \pm \%$	$^{206}\text{Pb}^*/$ $^{238}\text{U} \pm \%$	$t/\text{Ma} \pm 1\sigma$	
									$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$
1.1	1.19	1170	641	0.57	25.2	0.05 ± 7.3	0.17 ± 7.8	0.025 ± 2.7	158 ± 4.8	152.6 ± 9.9
2.1	0.16	819	482	0.61	18.4	0.053 ± 4.2	0.19 ± 5.1	0.026 ± 3	166 ± 5.4	66.6 ± 6.7
3.1	0.57	815	717	0.91	18.3	0.053 ± 7.8	0.19 ± 8.3	0.026 ± 2.8	164 ± 5.4	171.7 ± 7.9
4.1	1.66	638	447	0.72	13.8	0.053 ± 11	0.18 ± 11	0.025 ± 4	157 ± 7.1	167 ± 12
5.1	0.42	1143	964	0.87	26.9	0.049 ± 4.5	0.18 ± 5.4	0.027 ± 3.1	174 ± 6.1	167.8 ± 6.6
6.1	0.07	4243	221	0.05	149	0.052 ± 1.2	0.29 ± 3.1	0.041 ± 2.9	257 ± 7.3	264 ± 16
7.1	1.11	801	621	0.80	17.5	0.051 ± 7.6	0.18 ± 8.1	0.025 ± 2.8	160 ± 5.3	163.3 ± 8.1
8.1	0.68	1500	201	0.14	51.9	0.052 ± 3.6	0.29 ± 4.5	0.040 ± 2.7	253 ± 6.9	259 ± 27
9.1	0.55	1826	1884	1.07	39.7	0.050 ± 2.6	0.17 ± 3.9	0.025 ± 2.8	161 ± 5.5	158.4 ± 5.0
10.1	1.32	1270	897	0.73	29.1	0.047 ± 6.7	0.17 ± 7.5	0.026 ± 3.2	168 ± 6.0	160.6 ± 7.6
11.1	0.99	1654	1183	0.74	36.5	0.048 ± 4.6	0.17 ± 5.3	0.026 ± 2.7	163 ± 4.9	155.6 ± 5.8
12.1	2.04	702	517	0.76	15.9	0.047 ± 11	0.17 ± 11	0.026 ± 2.8	165 ± 5.2	160.4 ± 9.4
13.1	0.87	590	189	0.33	19.1	0.050 ± 5.1	0.26 ± 5.8	0.037 ± 2.8	236 ± 6.9	247 ± 16
14.1	1.25	951	688	0.75	20.8	0.047 ± 6.5	0.16 ± 7.1	0.025 ± 2.8	161 ± 5.0	152.3 ± 7.2
15.1	1.87	725	483	0.69	15.9	0.054 ± 10	0.19 ± 11	0.025 ± 2.8	159 ± 5.1	165 ± 10
16.1	0.37	1977	224	0.12	63.9	0.053 ± 2.8	0.27 ± 3.8	0.038 ± 2.7	238 ± 6.3	229 ± 25
17.1	0.41	1471	480	0.34	46.3	0.055 ± 3	0.28 ± 4.1	0.036 ± 2.7	231 ± 6.6	232 ± 11
18.1	2.82	1197	676	0.58	27.1	0.050 ± 13	0.18 ± 14	0.026 ± 2.7	163 ± 5.0	159 ± 17

注 Pb_c 和 Pb^* 分别代表普通铅和放射性成因铅,应用实测 ^{204}Pb 校正锆石中的普通铅,采用年龄为 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄。

6.6)~(9 257±7.3) Ma($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$)之间,5 粒锆石测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和年龄为(242±14) Ma,MSWD=2.9 与之对应 $\epsilon(\text{U})$ 为 $590 \times 10^{-6} \sim 4\,243 \times 10^{-6}$,平均为 $1\,956 \times 10^{-6}$,锆石 $\epsilon(\text{U})$ 比较高。上述 2 组年龄数据对应锆石的部位也明显不同(图 5),其中第一组数据年龄的测点几乎都在锆石的边部,代表年轻岩体——井头花岗岩体的成岩年龄,而第二组年龄数据的测点均位于锆石的核部,可能是继承锆石,指示围岩——古峰复式岩体内可能含有印支期岩浆岩,并且研究区西部的清溪岩体形成于印支期^①,其锆石 U 含量高的特点,与区域上印支期花岗岩与铀成矿有成因关系(张成江,1996;章邦桐等,2002)是对应的。

由此可见,井头岩体主体花岗岩体(花岗闪长岩)形成于(162.6±2.6) Ma,即燕山早期,与西侧永丰岩体锆石 U-Pb 年龄(160±1.1) Ma 是一致的(刘邦秀等,2001);在区域上,与全南正长岩(161±4) Ma(陈志刚等,2003)、崇义淘洗坑钨矿区的花岗岩 158 Ma(郭春丽等,2007)、骑田岭竹视水花岗岩(160±2) Ma(朱金初等,2005)、湘南宝山花岗闪长岩(162.2±1.6)~(164.1±1.9) Ma、黄沙坪花岗岩(161.6±1.1) Ma(姚明军等,2005;2006;2007)是同时期形成的。

3.2 陈村闪长岩的分析结果

陈村石英闪长岩体(样品编号 CHC-2)的锆石表面比较干净,几乎没有裂纹,阴极发光图像大部分为灰黑色至灰色(图 7)。前人曾对该岩体进行年龄研究,K-Ar 年龄为 159.7 Ma^①。本次锆石 SHRIMP U-Pb 定年结果(表 4)显示,除一个

继承锆石年龄[(232.4±5.2) Ma]为印支期外,其余 14 个测点年龄在(152.5±3.6)~(162.0±5.0) Ma($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$)之间,14 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和年龄为(156.6±1.7) Ma,MSWD=0.46(图 8),与之对应 U 的含量为 $633.59 \times 10^{-6} \sim 1\,236.66 \times 10^{-6}$,变化范围小,其平均值为 888.4×10^{-6} 明显低于井头花岗岩锆石的 $1\,055 \times 10^{-6}$ 。该岩体的 14 个锆石无论是边缘部位,还是核部(例如 14.1 测点)的年龄,均稳定在 156 Ma 左右,表明陈村闪长岩体在成岩过程中有较少地壳的混染,其成岩年龄比井头复式岩体的主体花岗闪长岩晚 6 Ma 左右,两者不是同一时期形成的。

陈村闪长岩 14 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和年龄为(156.6±1.7) Ma,MSWD=0.46(图 8),与赣南地区钨锡矿床的成矿年龄是一致的(陈毓川等,1989;陈郑辉等,2006;丰成友等,2006;刘善宝等,2007,2008),即与南岭地区钨锡矿床是同步的。

4 讨论及结论

(1)井头岩体的主体——花岗岩形成于(162.6±2.6) Ma (MSWD=0.75),其补体——闪长岩形成于(156.6±1.7) Ma (MSWD=0.46);同时,井头复式岩体的继承锆石显示为(242.4±14) Ma (MSWD=2.9),表明研究区及其邻区有印支期的岩浆活动,兴国盆地西侧的清溪岩体就是一个有力的佐证。

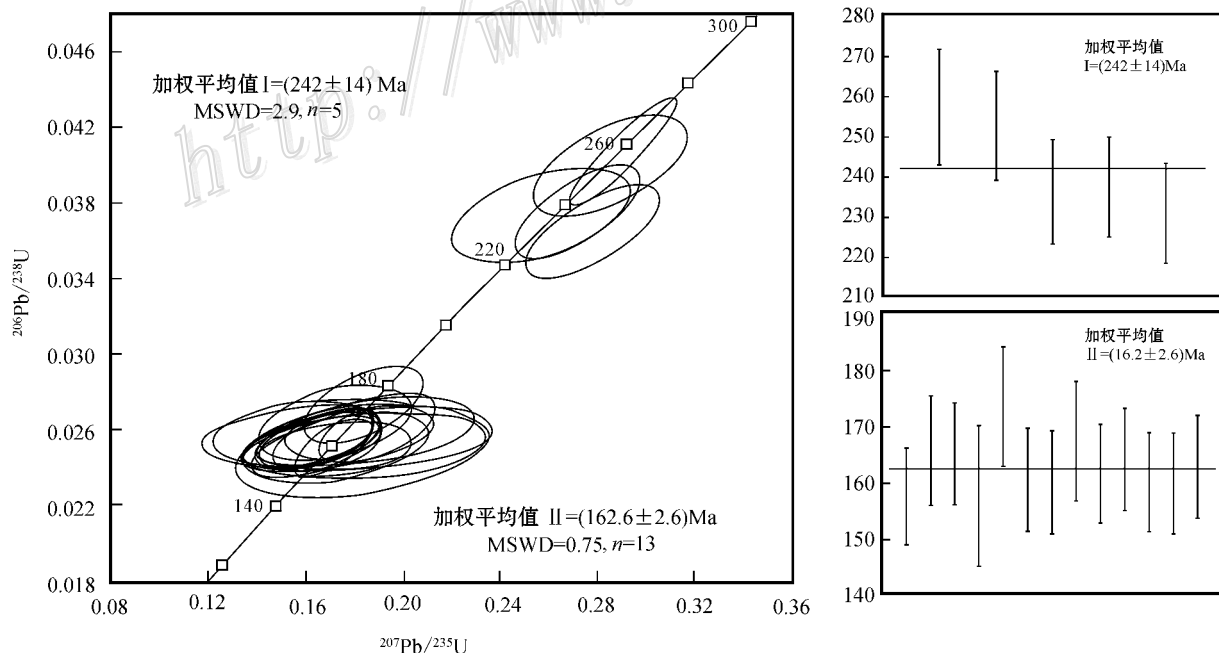


图 6 兴国县井头花岗闪长岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄谐和图

Fig. 6 U-Pb concordia diagram of zircon SHRIMP data from Jingtou granite in Xingguo County, southern Jiangxi Province

① 赣南地质调查大队, 1986. 1:5 万地质图(岭南幅)说明书。

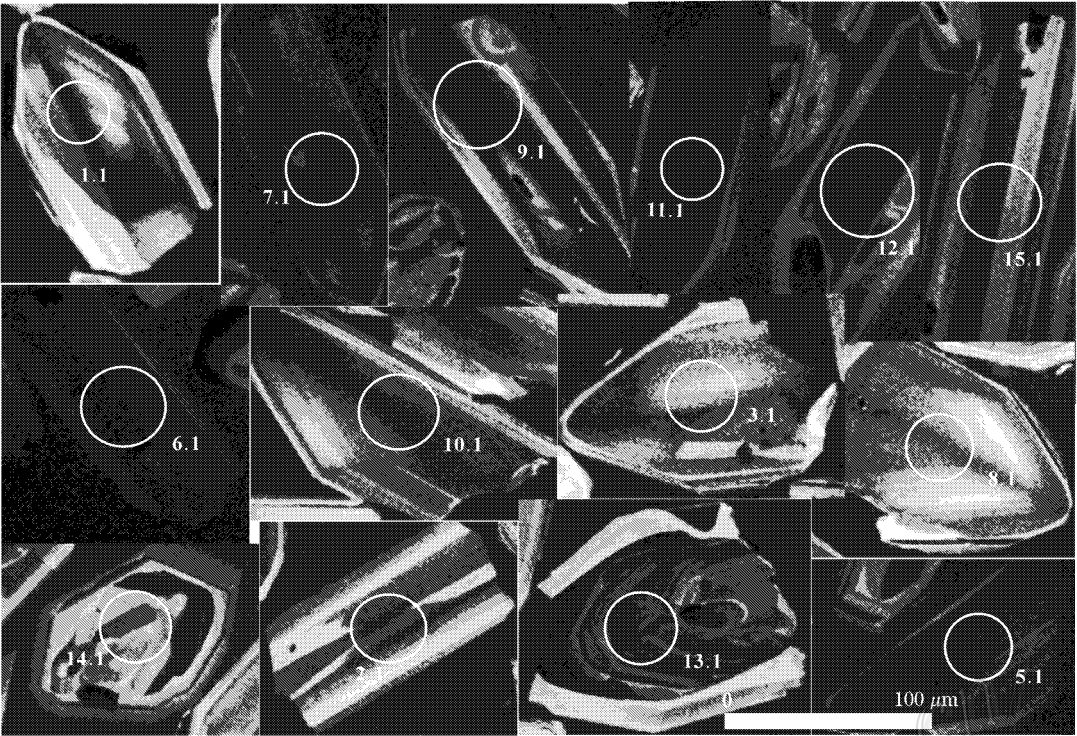


图 7 兴国陈村闪长岩体代表性锆石阴极发光图像测点位置

Fig. 7 Zircon CL image of representative sample from Chencun diorite

表 4 兴国陈村闪长岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 定年结果

Table 4 Analytical results of SHRIMP U-Pb dating for zircon samples from Chencun diorite

点号	$^{206}\text{Pb}/\%$	$\text{U}/10^{-6}$	$\text{Th}/10^{-6}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/10^{-6}$	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^* \pm \%$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U} \pm \%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U} \pm \%$	$t/\text{Ma} \pm 2\sigma$	
									$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$
1.1	0.87	891.95	470.75	0.55	18.9	0.050 ± 6.2	0.169 ± 6.4	0.0245 ± 1.8	156.1 ± 2.8	147.1 ± 7.7
2.1	1.01	1083.11	659.67	0.63	23.6	0.047 ± 6	0.163 ± 6.3	0.0251 ± 1.9	159.7 ± 3.0	152.9 ± 7.0
3.1	1.76	410.92	173.40	0.44	8.6	0.046 ± 12	0.152 ± 12	0.0239 ± 2.4	152.5 ± 3.6	125 ± 14
4.1	0.79	1236.66	686.91	0.57	27.3	0.049 ± 6.4	0.172 ± 7.1	0.0255 ± 3.1	162 ± 5.0	159 ± 11
5.1	0.56	699.30	261.45	0.39	15.1	0.052 ± 3.9	0.177 ± 4.3	0.0249 ± 1.8	158.8 ± 2.9	158.3 ± 9.5
6.1	0.58	956.52	549.62	0.59	20	0.052 ± 3.5	0.1723 ± 4	0.0242 ± 1.8	154 ± 2.8	153.8 ± 4.9
7.1	1.92	633.59	285.31	0.47	13.8	0.047 ± 10	0.162 ± 11	0.0249 ± 1.9	158.3 ± 3.0	143 ± 15
8.1	3.30	651.10	273.82	0.43	14.2	0.044 ± 22	0.148 ± 22	0.0246 ± 2.4	156.5 ± 3.7	136 ± 26
9.1	1.20	999.56	568.70	0.59	21.5	0.045 ± 7	0.155 ± 7.2	0.0247 ± 1.8	157.2 ± 2.7	140.6 ± 7.5
10	0.21	1033.26	603.64	0.60	21.6	0.053 ± 3	0.1777 ± 3.8	0.0243 ± 2.3	154.8 ± 3.6	154.7 ± 5.0
11	1.02	1079.91	626.02	0.60	22.7	0.047 ± 9.2	0.157 ± 9.6	0.0242 ± 2.5	154.4 ± 3.9	143.6 ± 6.7
12	1.75	1212.79	867.74	0.74	25.9	0.040 ± 13	0.134 ± 14	0.0244 ± 2.4	155.5 ± 3.7	144 ± 9.7
13	0.74	1612.32	180.69	0.12	51.2	0.048 ± 4.4	0.24 ± 5	0.0367 ± 2.3	232.4 ± 5.2	174 ± 33
14	1.63	725.80	391.85	0.56	15.6	0.044 ± 13	0.148 ± 13	0.0246 ± 2.4	156.7 ± 3.8	140 ± 11
15	1.21	818.13	425.28	0.54	17.6	0.053 ± 7.6	0.181 ± 8	0.0247 ± 2.4	157.3 ± 3.7	150 ± 11

注 Pb_c 和 Pb^* 分别表示普通铅和放射性铅,应用实测 ^{204}Pb 校正锆石中的普通铅,采用年龄为 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄。

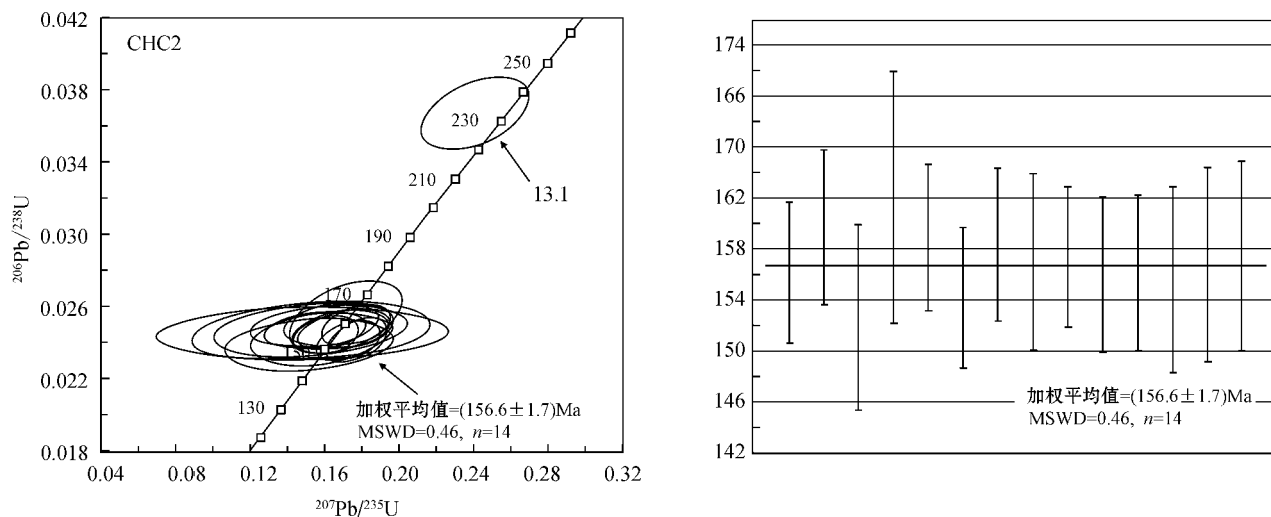


图 8 兴国陈村闪长岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄谐和图

Fig. 8 U-Pb concordia diagram of zircon SHRIMP data from Chencun diorite in Xingguo County, southern Jiangxi Province

(2) 井头复式岩体由早期到晚期,其岩性具有由酸性向中基性演化的趋势;在空间上,由外向内,其岩性由花岗岩、花岗闪长岩逐渐过渡到蚀变闪长岩、闪长岩,可能是地壳进一步拉张的结果(李献华等,2007),但早期花岗岩和晚期闪长岩的稀土元素球粒陨石标准化分配曲线一致,可能是同一个岩浆岩源演化形成的,同时也暗示下地壳或地幔的物质不断向上运移、上升到地壳的浅部,导致本区该时期岩浆岩的金含量偏高的因素之一。

(3) 井头复式岩体的补体闪长岩与该区金矿床的形成有着密切的成因关系,尤其是陈村蚀变闪长岩本身发生了强烈的绿泥石、黄铁矿化蚀变,具有金矿化的特征,其金含量达到了 290×10^{-9} ,暗示研究区可能存在未发现的金矿床类型——蚀变岩型金矿床。

(4) 井头复式岩体形成于 162~156 Ma 之间,赣南地区钨锡成矿花岗岩的成岩年龄集中在 160~150 Ma 之间(朱金初等,2005;姚明军等,2005;刘善宝等,2007;郭春丽等,2007),表明两者是在同一构造背景下形成的。

References

Chen Y C, Pei R F and Zhang H L. 1989. The nonferrous and rare metal mineral deposits are related with Mesozoic granitic series in Nanling metallogenic belt, SE China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-101 (in Chinese with English abstract).

Chen Z G, Li X H, Li W X and Liu D Y. 2003. SHRIMP U-Pb zircon age of the Quannan syenite, southern Jiangxi: Constraints on the early Yanshanian tectonic setting of SE China [J]. *Geochimica*, 32 (3): 223-229 (in Chinese with English abstract).

Li T. 1984. Abundance of chemical elements in oceanic and continental crust [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 8(1): 19-27 (in Chinese with English abstract).

with English abstract).

Guo C L, Wang D H, Chen Y C, Wang Y B, Chen Z H and Liu S B. 2007. Precise zircon SHRIMP U-Pb and quartz vein Rb-Sr dating of Mesozoic Taosikeng tungsten polymetallic deposit in southern Jiangxi [J]. *Mineral Deposits*, 26(4): 432-442 (in Chinese with English abstract).

Li X H, Li W X and Li Z X. 2007. Discussing the origin of the early Yanshanian granite and its tectonic significance again, in Nanling region [J]. *Chinese Science Bulletin*, 52(9): 981-991 (in Chinese).

Liu B X and Li Y M. 2001. Chief progress in 1:50 000 regional geological survey during the 9th five-year-plan in Jiangxi [J]. *Jiangxi Geology*, (3): 225-229.

Liu S B, Wang D H, Chen Y C, Xu J X, Zeng Z L, Ying L J and Wang C H. 2007. SHRIMP dating of tianshan granite pluton and granite-porphyry dyke in southern Jiangxi province, eastern Nanling region, and its significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, (07): 972-978 (in Chinese with English abstract).

Liu S B. 2008. Study on metallogenic regulation of gold ore in Gansu area and its genesis relationship with tungsten doctoral dissertation (dissertation for Doctor degree) [D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences (in Chinese with English abstract).

Yao M J, Hua R M and Lin J F. 2005. Zircon LA-ICPMS U-Pb dating and geochemical characteristics of Huangshaping granite in southeast Hunan Province, China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 688-696 (in Chinese with English abstract).

Yao M J, Hua R M and Lin J F. 2006. REE, Pb-Sr isotope geochemistry, and Rb-Sr isochron age of pyrite in the Baoshan deposit, south Hunan Province, China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(7): 1045-1054 (in Chinese with English abstract).

Yao M J, Hua R M, Qu W J, Qi H W, Lin J F and Du A D. 2007. The dating age of Re-Os isochron age of molybdenite from Huangshaping W-Mo polymetallic ore deposit in Hunan Province, SE China [J].

- Science in China (Series D), 37(4):471-477 (in Chinese).
- Zhang Q, Zhang B G, Cao Y B and Pan J Y. 1995. Study on the source of Liulong gold mineral-matter and compositions of sulfur, lead, hydrogen and oxygen isotopes. Jiangxi [J]. Journal of East China Geological Institute, 18(1):21-28 (in Chinese with English abstract).
- Zhang C J. 1996. The genesis of uranium-and non-uranium bearing granites from several complexes south China and their relationship uranium mineralization [J]. Journal of Chengdu Institute of Technology, 23(4):31-38 (in Chinese with English abstract).
- Zhang B T, Chen P R, Yang D S and Sun X G. 2002. The geochemical proof of peraluminous granite pluton contributing the metallogenic resources to uranium deposits-for example, relationship between the Fucheng peraluminous granite pluton and No. 6722 uranium deposit [J]. Science in China (Series D), 35(9):735-741 (in Chinese).
- Zhu J C, Zhang H, Xie C F, Zhang P H and Yang C. 2005. Zircon SHRIMP U-Pb geochronology, petrology and geochemistry of the Zhujianshui granite, Qitianling pluton, southern Hunan Province [J]. Geological Journal of China Universities, 11(3):335-342 (in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献
- 陈毓川, 裴荣富, 张宏良. 1989. 南岭地区与中生代花岗岩类有的有色及稀有金属矿床地质 [M]. 北京: 地质出版社. 1-101.
- 陈志刚, 李献华, 李武显, 刘敦一. 2003. 赣南全南正长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其对华南燕山期构造背景的制约 [J]. 地球化学, 33(3):223-229.
- 郭春丽, 王登红, 陈毓川, 王彦斌, 陈郑辉, 刘善宝. 2007. 赣南中生代淘锡坑钨矿区花岗岩锆石 SHRIMP 年龄及石英脉 Rb-Sr 年龄测定 [J]. 矿床地质, 26(4):432-442.
- 黎彤. 1984. 大洋地壳和大陆地壳的元素丰度 [J]. 大地构造与成矿学, 8(1):19-27.
- 李献华, 李武显, 李正祥. 2007. 再论南岭燕山早期花岗岩的成因与构造意义 [J]. 科学通报, 52(9):981-991.
- 刘邦秀, 李永明. 2001. 江西省“九五”期间 1:5 万区调工作主要进展 [J]. 江西地质, 15(3):225-229.
- 刘善宝, 王登红, 陈毓川, 许建祥, 曾载淋, 应立娟, 王成辉. 2007. 南岭东段赣南地区天门山花岗岩体及华岗斑岩脉的 SHRIMP 定年及意义 [J]. 地质学报, 7(7):972-978.
- 刘善宝. 2008. 赣南地区金矿的成矿规律及其与钨矿的成因联系研究 [博士学位论文] [D]. 北京: 中国地质科学院.
- 姚明军, 华仁民, 林锦富. 2005. 湖南黄沙坪花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及地球化学特征 [J]. 岩石学报, 21(3):688-696.
- 姚明军, 华仁民, 林锦富. 2006. 湘南宝山矿床 REE、Pb-Sr 同位素地球化学及黄铁矿 Rb-Sr 同位素定年 [J]. 地质学报, 80(07):1045-1054.
- 姚明军, 华仁民, 屈文俊, 戚华文, 林锦富, 杜安道. 2007. 湖南黄沙坪铅锌钨钼多金属矿床辉钼矿的 Re-Os 同位素定年及其意义 [J]. 中国科学 (D 辑), 37(04):471-477.
- 张乾, 张宝贵, 曹裕波, 潘家永. 1995. 江西留龙金矿物质来源及硫、铅、氢、氧同位素组成 [J]. 华东地质学院学报, 18(1):21-28.
- 张成江. 1996. 华南几个杂岩体中产铀与非产铀花岗岩的成因及其与铀矿的关系 [J]. 成都理工学院报, 23(4):31-38.
- 章邦桐, 陈培荣, 杨东生, 孙兴功. 2002. 过铝花岗岩基底对成矿物质的贡献的地球化学证据-以富城过铝花岗岩体及 6722 铀矿床为例 [J]. 中国科学 (D 辑), 32(9):735-741.
- 朱金初, 张辉, 谢才富, 张佩华, 杨策. 2005. 骑田岭竹视水花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年代学和岩石学 [J]. 高校地质学报, 11(3):335-342.