

文章编号: 0254 - 5357(2012)04 - 0699 - 06

赣南部分岩体的锆石铀 - 铅同位素年代学研究及其对成岩成矿机制的再认识

王登红, 秦 燕*, 陈振宇, 侯可军
(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)

摘要: 赣南岩浆岩分布广泛, 有的岩体成岩时代明确, 有的则存在争议。利用激光多接收器电感耦合等离子体质谱(LA - MC - ICPMS)技术测定了田新、路迳、水头、白鹅、高山角、韩坊、杨村、湖南洞、珠兰埠、淋洋、大富足、油山、吉埠黄沙、阳埠和万田等岩体的 U - Pb 年龄, 表明这些岩体不全是燕山期形成的, 即使是燕山期的田新、路迳、水头、白鹅、韩坊、杨村等岩体中也存在有更早期的锆石, 大部分岩体经历了 6 ~ 10 Ma 的结晶成岩历史。通过与以往 K - Ar、Rb - Sr 等时线方法的初步对比, 指出赣南地区花岗岩虽然在同位素年龄数据上以侏罗纪为多, 但印支期的岩体面积不小, 前寒武纪和加里东期的信息也不断增多, 说明赣南花岗岩型地壳的演化经历了漫长的历史过程, 相当一部分岩体不是单一成岩期形成的, 而是多期次多阶段形成的。加里东期的岩体以往不被注意, 认为与钨矿关系不密切, 但可以成为离子吸附型稀土矿的成矿母岩。

关键词: 锆石 U - Pb 同位素定年; 赣南岩体; 成岩时代; 成岩机制

中图分类号: P597.3; P612 **文献标识码:** A

U-Pb Isotopic Age and a Further Understanding of the Ore-forming Mechanism in Granite from the Southern Jiangxi Province

WANG Deng-hong, QIN Yan*, CHEN Zhen-yu, HOU Ke-jun
(Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Resource Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: Magmatic rocks in the Southern Jiangxi are widely distributed. The diagenetic ages of some rocks are clear, but are still in dispute for others. The U-Pb ages of the Tianxin, Lujing, Shuitou, Baie, Gaoshanjiao, Hanfang, Yangcun, Hunandong, Zhulanbu, Linyang, Dafuzu, Youshan, Huangsha, Yangbu, Wantian and other granites were obtained by using Laser Ablation-Multicollector Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (LA-MC-ICPMS). The data show that these granites did not all intrude in the Yanshanian stage. Although the Tianxin, Lujing, Shuitou, Baie, Hanfang, Yangcun and some granites intruded mainly in the Yanshanian stage, they hosted some earlier zircons, which means most of the rocks experienced a 6 - 10 Ma crystallization rock-forming history. By comparing with K-Ar and Rb-Sr geochronologies, the granites in the Southern Jiangxi mainly intruded during the Jurassic era. However, areas of Indosinian rocks are substantial, in addition to there being more and more petrogenic information in the early Cambrian and Caledonian eras. All the research results indicate that granites in the Southern Jiangxi experienced a long term evolution and many of them were formed in multiple stages. Although Caledonian rocks were ignored previously since they had no relationship with W deposits, they can be primary rocks for ion-adsorption type rare earth element deposits.

Key words: zircon U-Pb isotope dating; granite in Southern Jiangxi Province; petrogenic age; rock-forming mechanism

收稿日期: 2011 - 12 - 20; 接受日期: 2012 - 03 - 13

基金项目: 国家深部探测技术与实验研究专项“南岭成矿带地壳岩浆系统结构探测实验”课题 (SinoProbe 0301); 中国地质大调查项目“南岭地区岩浆岩成矿专属性研究”(1212011120989); “我国三稀金属资源战略调查”项目(1212011120354); “我国重要矿产和区域成矿规律研究”项目(1212010633903)

作者简介: 王登红, 研究员, 博士生导师, 主要从事矿产资源研究。E-mail: wangdenghong@sina.com。

通讯作者: 秦燕, 助理研究员, 主要从事同位素地球化学研究。E-mail: happyqinyan@sina.com。

赣南是我国花岗岩分布比较广泛的地区,属于典型的“花岗岩型”地壳,而且也是与花岗岩有关的石英脉型钨矿最主要的产区,早在一百多年前就开发了闻名世界的黑钨矿。由于石英脉型黑钨矿在空间上与花岗岩关系密切,在时间上主要形成于燕山期,因此,很多岩体多被当作燕山期花岗岩对待^[1-6]。但是,原先根据地质产状推断的岩体时代是否可靠?成岩成矿是否同时进行?一个岩体的形成需要延续多长时间?这些问题都还有待于深入研究。近年来,随着同位素年代学尤其是单颗粒锆石 U-Pb 同位素定年技术的快速发展,为研究花岗岩的成因机制及其与成矿的关系问题提供了新的手段。

1 问题的提出

尽管对于赣南地区的岩浆岩及其相关钨矿床的现代地质学意义的科学研究已经有了百年历史,但仍然有很多问题没有解决,比如:①空间问题^[1-6]。花岗岩的空间问题是长期未解决的问题,赣南地区的花岗岩几乎占据地表一半的面积,这么大体量的岩浆岩是如何侵入的;②时间问题^[1-6];③成因及构造背景问题^[1-6];④找矿问题^[1-6]。对于这4大基本问题,本文不全面展开,只就其中的时间问题,在地质依据为主的前提下,通过搜集前人资料和本次新测的同位素年龄资料加以讨论。

对于岩体的时代问题,包括两个基本方面,一是每个具体岩体的形成时代,二是形成一个岩体需要多长时间。南岭地区数以千计(按1:20万填图单元)的岩体,具有同位素年代学确切依据的不到1/3,其中大部分是根据 K-Ar 法和 Rb-Sr 等时线法测定的,其可信度虽然被质疑,但大体上可以反映主流特征。问题在于,传统方法(包括 U-Pb 法)得到的往往是平均值,无法解决一个岩体从开始结晶到最后冷却成岩的过程,也难以分析早期岩体被后期岩体或者构造事件的改造过程,以至于得到错误的信息。因此,无论是具体岩体的时代还是一般意义上岩体形成的时间跨度问题都需要有新的方法来解决。

2 研究思路和技术方法

近年来,锆石的 U-Pb 同位素定年从传统方法扩展为 SHRIMP 定年和激光多接收器电感耦合等离子体质谱(LA-MC-ICPMS)测定,使得单颗粒锆石的定年有了质的飞跃。这两种方法均可以得到单个颗粒的年龄,自然可以得到其平均值,但并不是把所有的数据都加以平均,而是需要根据地质演化历史,

结合锆石本身的特征及其成因类型来进行归纳总结,这样就可以更充分地利用测试结果,也可以深入地研究成岩过程。在执行国家深部探测技术与实验研究专项“南岭成矿带地壳岩浆系统结构探测实验”课题和中国地质大调查“南岭岩浆岩成矿专属性研究”等项目的过程中,以1:20万井冈山幅、兴国幅、宁化幅、赣州幅、于都幅、长汀幅、龙南幅、寻乌幅和上杭幅9个图幅范围内的70个岩体(占全部571个岩体的1/8)进行了89件锆石样品的 LA-MC-ICPMS 同位素年代学研究(相当于同位素年代学填图),结果发现有49个岩体的时代原先判断有误,其中大富足、淋洋、油山、韩坊、水头等十多个重要岩体的研究结果已发表在《岩矿测试》2012年第3期和第4期“同位素年代学与区域地质矿产”专栏(以下简称“专栏”)中。

同位素年代学填图的基本思路一方面是要兼顾空间上的不同岩体,另一方面则是充分发挥单颗粒锆石测年的优势,即不丢弃每个岩体中的有用信息,哪怕是小概率数据。对于每个岩体来说是“偶然”出现的数据,但对区域上可能是有意义的。只要是从研究的岩体中挑选出来的锆石,无论其颗粒大小、晶体形态、铀钍含量、结构如何,都可以认为是客观信息的记录,而不是专门挑选落在某一小范围区域内的几个锆石颗粒来求算一个所谓的可信度很高的年龄。在单颗粒锆石测年技术发明之前,群体锆石的平均年龄已经被证明存在一定的误区,因为一个岩体中的锆石可能本来就不是一次性形成的,其平均值可能没有意义。

另外,岩体的成岩时间跨度在以往没有更好的办法可以查明,现在单颗粒锆石定年可以提供有用的信息,尽管不是最终的。

3 样品采集与分析测定

3.1 样品采集

本次研究所用的样品均采自分布于赣南地区的相关岩体。“专栏”中的相关论文已经对大富足、淋洋、油山、韩坊、水头等岩体样品的采集分别作了交代,此不赘述。未单独成文的金山银背岩体,位于1:20万于都幅南部,岩性为黑云母花岗岩,样号为 Jsyt-1/2。锆石的分离、挑选与制靶方法同参考文献[7]。

3.2 样品测定

锆石的阴极发光和背散射电子图像分析使用中国地质科学院矿产资源研究所的 JXA 8230 型电子探针完成,分析时电压 20 kV,电流 50 nA;锆石的 U-Pb 测年使用矿产资源研究所的 Finnigan Neptune 型

LA-MC-ICPMS完成,激光剥蚀系统为Newwave UP 213,能够产生213 nm的紫外激光,经过激光均化将能量聚焦在样品表面。MC-ICP-MS采用双聚焦(能量聚焦和质量聚焦)光路设计,采用动态变焦技术可以将质量色散扩大至17%。分析时采用的激光直径为25 μm ,剥蚀频率为10 Hz,每10个样品点分析2个参考标准GJ1和1个Plešovice标准,数据处理采用ICPMSDataCal软件。详细的仪器参数和分析方法可见参考文献[8]。

3.3 测试结果

本次研究测定了近2000个锆石颗粒的年龄,初步统计的结果如下。

(1)大多数岩体都存在不止一个地质历史时期的数据。

在本次测试的70个岩体、89件样品中,很少有哪个岩体是单一地质历史时期的。虽然有一个高峰时间段(主要是最新的一期)为主,但此前的记录或多或少保存下来了。例如,韩坊岩体中的粗粒花岗岩主要形成于奥陶纪晚期^[7],其加权平均值为 (445.2 ± 1.8) Ma,但其中也有933.81 Ma的锆石。而韩坊细粒花岗岩加权平均年龄为 (169.8 ± 1.4) Ma,但其中也发现了1228.85 Ma、968.84 Ma和395.02 Ma的早期锆石。显然,细粒花岗岩和粗粒花岗岩不是同一时期的产物,且无论是粗粒还是细粒花岗岩,均至少发现了两个地质历史时期的锆石,其年龄差别甚大,如果取平均值就会出错。再如,吉埠黄沙岩体主要形成于印支期^[9],但其中见有2593.72 Ma、1104.78 Ma和717.22 Ma的太古宙、中元古代和新元古代的锆石。个别也有只显示单一成岩期的岩体,如赣州市南的阳埠岩体,15个锆石颗粒的²³⁶Pb/²³⁸U年龄变化于457.99~464.58 Ma,未发现奥陶纪之外的记录。

(2)大部分岩体的主成岩期时间跨度大约8 Ma。

从所测得的锆石年龄最大值与最小值的差值来看,以6~10 Ma常见,如阳埠岩体为 $464.58 - 457.99 = 6.59$ Ma,杨村岩体为 $181.71 - 173.78 = 7.93$ Ma,珠兰埠岩体粗粒花岗岩为 $233.92 - 225.64 = 8.28$ Ma,细粒花岗岩为 $232.80 - 226.23 = 6.57$ Ma,万田岩体为 $468.17 - 458.23 = 9.94$ Ma。但次火山岩的时差明显要小,如田新安山玢岩为 $103.96 - 99.57 = 4.39$ Ma。这与火山岩、次火山岩的快速侵位乃至喷发过程所需要时间较花岗岩要短得多是一致的,后者在封闭条件下缓慢结晶所需要的时间一般要长。

(3)有相当一部分的岩体时代需要修正(表1),有的岩体时代与早期厘定的相差甚大。

例如,位于赣南粤北两省交界处的油山岩体,以往认为是燕山早期第一阶段的产物,本次测定均有印支期^[10],没有燕山期的记录但有加里东期的锆石;位于湖南与江西交界处的湖南洞岩体,原先认为是燕山早期第二阶段的产物,本次测定均有加里东期(粗粒二长花岗岩)和印支期(粗粒含斑二云母二长花岗岩),但不是燕山期^[11];以往定为加里东期交代成因的兴国杨村岩体,本次测定为燕山期^[12];以往定为新生代的路迳似金伯利岩,本次测得锆石年龄为白垩纪初期(132 Ma)^[13]。

4 讨论

4.1 岩体时代判断同位素年龄依据与地质依据之间的一致性问题

以往在开展1:20万地质填图时,同位素年代学研究还很落后,主要是基于全岩K-Ar法,其可靠性自然受到怀疑,但更大的问题是能够在填图过程中得到有效的数据非常少,一个图幅往往不到10个数据,因此,判断岩体新老的关键就是侵入关系和压覆关系,即根据被侵入地层的时代和沉积在岩体之上的地层时代来推断。这一地质方法无疑是符合逻辑的,但实际情况往往是复杂的。如,地层的时代本身厘定是否准确?被侵入的最新地层已经遭受剥蚀如何处理?地层与岩体构造接触又如何处理?赣南地区很多岩体直接侵入的地层是寒武系(且不说寒武系本身是否绝对可靠),那么,只要晚于寒武纪就是逻辑上合理的,但究竟是加里东期、海西期、印支期还是燕山期,则难以判断。事实也表明,赣南的岩体既有加里东期的,也有印支期的,并非全是燕山期。再如,以往一些诸如“片麻岩老、花岗岩新”之类的经验性“原则”是否正确就值得探索。兴国杨村岩体具有一定片麻状构造,但其形成的时代是燕山期的。并非所有的变质岩或者变质成因花岗岩都是“老基底”。可见,许多问题还需依靠年代学的直接测定。那么,仅仅应用同位素年龄是否就能解决诸多问题呢,并非如此。又如,有不少岩体的同位素年龄是跨地质年代的界线,是取界线之上的时代还是取界线之下或者作为跨时代处理则需要研究。如珠兰埠岩体以往作为燕山早期第一阶段产物,本次虽然测得其U-Pb绝对年龄不属于燕山期,但粗粒斑状黑云母花岗岩为229 Ma,中细粒含斑黑云母花岗岩为231 Ma,而230 Ma恰好是T₂与T₃的地质年

表1 南岭东段北部(赣南)部分岩体的锆石 U - Pb 年龄新数据

Table 1 Zircon U-Pb data for some granites in the Southern Jiangxi Province

1: 20 万图幅	岩体名称	岩性	原定时代	原代号	新年龄/Ma	参考文献
兴国幅	田新	安山玢岩	燕山期	$\zeta\mu_5^{2-3a}$	102	[14]
于都幅	金山银背	黑云母花岗岩	燕山早期第二阶段	γ_5^{2-2}	125 ~ 167	本文
寻乌幅	路途	似金伯利岩(苦橄玢岩)	喜山期	ωv_5^{3-2b}	132.0	[13]
于都幅	水头	中粗粒含斑黑云母花岗岩	加里东晚期	γ_3^3	143	[15]
于都幅	白鹅	中粒黑云母花岗岩	燕山早期第一阶段	γ_5^{2-1}	152	[16]
兴国幅	高山角	花岗闪长斑岩	燕山期	γ_5^{2-2b}	160	[17]
于都幅	韩坊	细粒黑云母二长花岗岩	燕山早期第一阶段	γ_5^{2-1}	170	[8]
兴国幅	杨村	黑云母交代花岗岩	加里东期	$\Gamma\gamma_3^a$	176	[12]
井冈山幅	湖南洞	粗粒含斑二云二长花岗岩	燕山早期第二阶段	γmb_5^{2-2a}	213, 239	[11]
于都幅	珠兰	粗粒斑状黑云母花岗岩	燕山早期第一阶段	γ_5^{2-1}	229	待发表
于都幅	珠兰	中细粒含斑黑云母花岗岩	燕山早期第一阶段	γ_5^{2-1}	231	待发表
井冈山幅	淋洋	粗粒含斑花岗岩	燕山早期第一阶段	γb_5^{2-1a}	233	[18]
于都幅	大洞	中细粒含斑黑云母花岗岩	燕山早期第一阶段	γ_5^{2-1}	233	[19]
于都幅	富城	粗粒黑云母花岗岩	燕山早期第一阶段	γ_5^{2-1}	233	[19]
赣州幅	油山	中细粒含斑黑云斜长花岗岩	燕山早期第一阶段	γ_5^{2-1a}	237, 438	[10]
兴国幅	黄沙	灰白色粗粒二云二长花岗岩	燕山期	γ_5^{2-1c}	242.5	[9]
井冈山幅	淋洋	粗粒花岗岩	燕山早期第一阶段	γb_5^{2-1a}	243	[18]
于都幅	水头	细粒二云母花岗岩	加里东晚期	γ_3^3	251, 578	[15]
于都幅	韩坊	粗粒黑云二长花岗岩	燕山早期第一阶段	γ_5^{2-1}	445	[8]
井冈山幅	湖南洞	粗粒二长花岗岩	燕山早期第二阶段	γml_5^{2-2a}	447	[11]
赣州幅	阳埠	中细粒斑状黑云母花岗岩	加里东晚期第二阶段	γ_3^{3-2a}	461.1	[20]
于都幅	万田	中粗粒似斑状黑云母花岗岩	加里东晚期	γ_3^3	465	[21]

代界线,那么,该岩体究竟形成于中三叠世还是晚三叠世?这就需要研究其地质特征。

4.2 不同同位素年代学方法的对比

根据目前搜集的资料,在南岭东段北部 9 个 1: 20 万图幅范围内以往测定的成岩、成矿同位素数据有 415 个,其中 K - Ar 法和 Rb - Sr 等时线法数据最多,近年来锆石 U - Pb 法数据明显增多。以往方法揭示了赣南地区岩浆岩主要形成于侏罗纪,这一点得到了锆石 U - Pb 法的肯定,但锆石 U - Pb 法也得到了以往 K - Ar 法和 Rb - Sr 等时线法未揭示出来的一些现象,如太古宙、元古宙、奥陶纪和志留纪岩体的发现,不但弥补了以往不足,而且为研究整个赣南地区地壳构造运动的历史,尤其是前寒武纪基底和加里东期构造运动提供了直接证据。

值得注意的是,虽然在同位素年龄数据统计图(图 1)上,燕山期的数据量最大,但印支期和加里东期岩体的出露面积也很大,如印支期的大富足岩体面积达 400 km²,淋洋岩体 300 km²,珠兰埠岩体 250 km²[1]。

4.3 对于部分岩体多期次成岩的认识

成矿作用的“多期次,多阶段”已经得到相当认可,但要提出岩体的“多期次,多阶段”成因,可能会有争议。本文对于赣南部分岩体“多期次,多阶段”

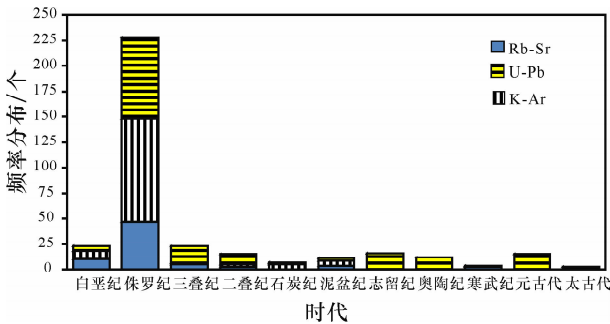


图1 南岭东段北部同位素年龄随时代分布的直方图
Fig. 1 Histogram of isotopic ages for the granites in the Southern Jiangxi Province

成岩的认识也只是一个问题的提出而不是问题的解决。但无论如何,面对事实是第一步的。“专栏”文章的岩体,大者如 300 km²的淋洋岩体,小者如 1 km²左右的田新安山玢岩;酸性岩如水头细粒花岗岩,超基性岩如路途似金伯利岩;加里东期如湖南洞岩体,印支期如大富足岩体,燕山期如杨村岩体,都存在有“继承锆石”。那么,继承锆石从而何来?是原先沉积岩中的碎屑锆石,还是变质过程中形成的变质锆石,或者是老岩体中残留的岩浆锆石?对这一问题的深入研究无疑有助于探讨岩体的形成过程。再如,吉埠黄沙和淋洋岩体中各有一个年龄为

2593.72 Ma和2601.71 Ma的锆石,尽管只测定了各个颗粒,但反映了这两个岩体在成岩过程中可能卷入有太古宙的物质。

目前最常见的“继承锆石”是元古宙的,如淋洋、油山、水头、韩坊、黄沙等,而这些岩体分散在赣南的不同地域,这就意味着前寒武纪的基底在赣南地区是广泛分布的,后期的岩浆岩至少在物质上继承了古老基底,而从古老基底物质演化到现在分布的各色岩体,至少经历了加里东期、海西期、印支期和燕山期四个期次,有的岩体经历的期次多,有的经历少。对于单个岩体,有的岩体经历的阶段多,有的可能比较集中。值得注意的是,含矿性好的岩体经历的阶段更多,如金山银背岩体规模不大,但记录了161.12~167.63 Ma的燕山早期第二阶段、144.38 Ma的燕山早期第三阶段和125.32 Ma的燕山晚期第一阶段至少3个阶段的演化过程,岩体周围分布有6个钨矿。这在南岭与钨矿有关的其他岩体中也常见,如湖南的瑶岗仙岩体跨J₁和J₂、黄沙坪岩体跨J₂和J₃^[22-24]。

4.4 加里东期岩体的含矿性

对于燕山期岩体的含矿性,前人积累的大量资料都给出肯定的结论,而对于加里东期的岩体,似乎均有“不成矿”的看法。但本次研究发现,无论是赣州的阳埠岩体(垵子下稀土矿)还是赣县的韩坊岩体(韩坊稀土矿),都是加里东期的。考虑到邻区湘南的益将稀土矿也是加里东期岩体,锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(424±3) Ma^[25],因此,加里东期岩体即便不利于寻找钨锡矿床,但对于寻找离子吸附型稀土矿也是不可视而不见的。

4.5 对多旋回成岩构造背景的探讨

“多旋回”成矿作用是我国大地构造学家黄汲清先生等学者提出的,曾经被当作“固定论”,与“板块构造”等现代大地构造理论不相适应、不合时宜而很少有人再提及。本次研究结果发现,无论是花岗岩类还是超基性岩类(路迳似金伯利岩),都存在多期次锆石的现象。最典型的如淋洋岩体中,除了继承有太古宙的锆石(2601.71 Ma)之外,还有古元古代(2379.61 Ma)、中元古代长城纪(1673.05 Ma)、蓟县纪早期(1318.96 Ma)、蓟县纪晚期(1185.11 Ma)、新元古代青白口纪(929.93~970.81 Ma)、南华纪(780.05 Ma)、震旦纪(648.16 Ma),跨度近20亿年的元古宙几乎各个时段均有记录。这说明南岭地区元古宙基底对于后期地壳的形成与演化具有重要的意义。在其他钨矿区也存在类似的多期次锆石共存现象,如新

近探明的皖南东源钨矿,其含矿岩体中存在加里东期的锆石^[26]。

5 结语

本次研究结果,纠正了一批岩体的时代,如以往定为燕山期的吉埠黄沙、淋洋、大富足等岩体实际上形成于印支期,以往认为是新生代的路迳似金伯利岩形成于白垩纪,以往认为属于加里东期的杨村岩体形成于燕山早期。

其次,这批数据的获得对于重新认识赣南地区乃至整个南岭地区花岗岩形成的构造背景和演化历史具有重要意义。其中,淋洋、大富足、水头、白鹅、黄沙等岩体中多次锆石的存在,说明中生代的花岗岩是在对古老地壳不断改造的基础上逐步形成的。因此,自然界可以存在多旋回成矿作用,岩体形成的多旋回性也是存在的,而多旋回成岩-成矿的过程中,壳幔相互作用也是长期存在的现象。

再者,以往认为加里东期的岩体并不含矿,但韩坊等岩体锆石年龄证明其为加里东期,可以在新生代形成离子吸附型稀土矿床,因此,此类岩体同样具有找矿意义。

总之,锆石同位素年代填图的研究结果表明,赣南花岗岩体不是简单的单一期次岩浆活动的产物,而是多旋回、多期次长期继承性发展的结果,这对于成矿物质的长期聚集具有重要意义。也就是说,南岭之所以具有如此丰富的与花岗岩有关的矿产资源,是长期积累、逐步富集的结果。

6 参考文献

- [1] 莫柱孙,叶伯丹,潘维祖,江绍年,庄锦良,高秉璋,刘金全,刘文章.南岭花岗岩地质学[M].北京:地质出版社,1980:1-342.
- [2] 南京大学地质学系.华南不同时代花岗岩类及其与成矿关系[M].北京:科学出版社,1981:1-387.
- [3] 江西省地质勘查局.江西省区域地质志[M].北京:地质出版社,1984:1-563.
- [4] 陈毓川,裴荣富,张宏良,林新多,白鸽,李崇佑,胡永嘉,刘姤群,洗柏琪,夏宏远,夏卫华,虞钟琪,仇年铭.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[M].北京:地质出版社,1989:1-508.
- [5] 地矿部南岭项目花岗岩专题组.南岭花岗岩地质及其成因和成矿作用[M].北京:地质出版社,1989:1-443.
- [6] 周新民.南岭地区晚中生代花岗岩成因与岩石圈动力学演化[M].北京:科学出版社,2007:1-691.

- [7] 李建康,陈振宇,陈郑辉,侯可军,赵正. 江西赣县韩坊岩体的成岩时代及成矿条件分析[J]. 岩矿测试, 2012, 31(4): 717-723.
- [8] 侯可军,李延河,田有荣. LA-MC-ICPMS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术[J]. 矿床地质, 2009, 28(4): 481-492.
- [9] 郑国栋,李建康,陈振宇,陈郑辉,侯可军,赵芝. 赣南吉埠黄沙岩体的锆石铀-铅年代学研究及其地质意义[J]. 岩矿测试, 2012, 31(4): 711-716.
- [10] 张家菁,赵正,陈振宇,陈郑辉,侯可军. 赣南—粤北油山—猫头寨岩体的成岩时代及其地质意义[J]. 岩矿测试, 2012, 31(3): 554-558.
- [11] 王永磊,陈振宇,陈郑辉,侯可军,赵正,许建祥,张家菁,曾载淋. 赣南—湘东湖南洞岩体的锆石 U-Pb 法年代学研究及其对探讨加里东构造背景的意义[J]. 岩矿测试, 2012, 31(3): 525-529.
- [12] 侯可军,陈振宇,王登红,陈郑辉,赵正. 赣南兴国杨村岩体的年代学研究及其新认识[J]. 岩矿测试, 2012, 31(3): 549-553.
- [13] 王登红,陈振宇,许建祥,刘善宝. 赣南路迳似金伯利岩(金伯利质煌斑岩)锆石的特点和年龄及其构造意义[J]. 岩矿测试, 2012, 31(4): 705-710.
- [14] 陈振宇,王登红,陈郑辉,侯可军,赵正. 赣南兴国田新白垩纪火山岩的锆石 U-Pb 定年及其构造背景[J]. 岩矿测试, 2012, 31(3): 543-548.
- [15] 于扬,陈振宇,陈郑辉,侯可军,赵正,许建祥,张家菁,曾载淋. 赣南燕山期水头岩体的锆石铀-铅年代学研究及其含矿性评价[J]. 岩矿测试, 2012, 31(4): 736-744.
- [16] 方贵聪,陈毓川,陈郑辉,陈振宇,赵正,黄凡. 赣南白鹅花岗岩 LA-MC-ICPMS 锆石 U-Pb 定年及其对多期次成矿的指示意义[J]. 岩矿测试, 2012, 31(3): 559-566.
- [17] 赵正,陈毓川,陈郑辉,曾载淋,赵斌,张家菁. 赣南银坑矿田高山角花岗岩闪长岩 SHRIMP U-Pb 定年及其与成矿的关系[J]. 岩矿测试, 2012, 31(3): 536-542.
- [18] 孙艳,李建康,陈振宇,陈郑辉,侯可军,赵正. 南岭东段淋洋岩体的锆石铀-铅定年及其构造和成矿意义[J]. 岩矿测试, 2012, 31(4): 730-735.
- [19] 黄凡,侯可军,陈郑辉,陈振宇,赵正. 赣东南大富足(富城)成铀岩体锆石 U-Pb 定年、构造背景与含矿性[J]. 岩矿测试, 2012, 31(3): 518-524.
- [20] 赵芝,陈振宇,陈郑辉,侯可军,赵正,许建祥,张家菁,曾载淋. 赣南加里东期垵埠(垵子下)岩体的锆石年龄、构造背景及其含矿性评价[J]. 岩矿测试, 2012, 31(3): 530-535.
- [21] 刘善宝,李鹏,陈振宇,陈郑辉,侯可军,赵正,王成辉. 赣南于都万田花岗岩锆石铀-铅定年及启示[J]. 岩矿测试, 2012, 31(4): 724-729.
- [22] 王登红,李华芹,秦燕,梅玉萍,陈郑辉,屈文俊,王彦斌,蔡红,龚述清,何晓平. 湖南瑶岗仙钨矿成岩成矿作用年代学研究[J]. 岩矿测试, 2009, 28(3): 201-208.
- [23] 王登红,陈郑辉,陈毓川,唐菊兴,李建康,应立娟,王成辉,刘善宝,李立兴,秦燕,李华芹,屈文俊,王彦斌,陈文,张彦. 我国重要矿产地成岩成矿年代学研究新数据[J]. 地质学报, 2010, 84(7): 1030-1040.
- [24] 王登红,陈富文,张永忠,雷泽恒,梁婷,韦龙明,陈郑辉,刘善宝,王成辉,李华芹,许以明,曾载淋,许建祥,傅旭杰,范森葵,陈祥云,贾宝华,姚根华. 南岭地区有色-贵金属成矿潜力及综合探测技术示范研究[M]. 北京:地质出版社, 2011: 1-472.
- [25] 王彦斌,王登红,韩娟,陈郑辉,王清利. 湖南益将稀土-钨矿的石英闪长岩锆石 U-Pb 定年和 Hf 同位素特征: 湘南加里东期岩浆活动的年代学证据[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 1062-1070.
- [26] 秦燕,王登红,吴礼彬,王克友,梅玉萍. 安徽东源钨矿床花岗岩闪长斑岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 2010, 84(4): 479-484.