

郭春丽,刘泽坤. 华南地区加里东期花岗岩:成岩和成矿作用的地质与地球化学特征[J]. 地球科学与环境学报,2021,43(6):927-961.  
GUO Chun-li, LIU Ze-kun. Caledonian Granites in South China: The Geological and Geochemical Characteristics on Their Petrogenesis and Mineralization[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2021, 43(6): 927-961.

DOI:10.19814/j.jese.2021.07026

# 华南地区加里东期花岗岩:成岩和成矿作用的地质与地球化学特征

郭春丽<sup>1</sup>, 刘泽坤<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所 自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室,北京 100037;  
2. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,北京 100083)

**摘要:**自 20 世纪 50 年代江西龙回和陡水岩体被发现,至今华南地区已经有 160 多个花岗质岩体被确认形成于加里东期(主要包含奥陶纪、志留纪和泥盆纪),其中只有 14 个岩体与金属矿(以钨矿为主,含少量钼、铜、锡和金矿)有成因关系,11 个岩体与稀土矿有成因关系。前人对加里东期花岗岩特征的归纳主要集中在岩石学、地球化学和构造动力学等方面,而极少对该期成矿作用进行系统总结。通过搜集和整理已公开发表的 280 篇学术论文和学位论文中的 800 个成岩和成矿年龄,1 248 个样品的全岩主量、微量元素数据,428 个样品的全岩 Sr-Nd 同位素数据和 2 352 个测试点的锆石 Lu-Hf 同位素数据,从以下 4 个方面对加里东期花岗岩的含矿性特征进行了梳理:①岩浆活动与金属成矿的年龄峰值均集中在 440~420 Ma;②成金属矿的花岗岩主要分布于大瑶山和桂北—桂东北地区,虽然都是以钨矿为主的岩石,但是这两个地区花岗岩的源区物质和分异程度均具有差异性;③成稀土矿的花岗岩主要分布于武夷和南岭地区,前者大多数发生了变质作用,而后者以块状构造为主;④与奥陶纪和泥盆纪花岗岩相比,志留纪花岗岩的分布面积最广,岩性最宽泛,物质来源也最为复杂。

**关键词:**加里东期花岗岩;钨多金属矿;稀土矿;全岩地球化学;全岩 Sr-Nd 同位素;锆石 Lu-Hf 同位素;岩浆来源;结晶分异;华南地区

中图分类号:P618.2;P59 文献标志码:A 文章编号:1672-6561(2021)06-0927-35

## Caledonian Granites in South China: The Geological and Geochemical Characteristics on Their Petrogenesis and Mineralization

GUO Chun-li<sup>1</sup>, LIU Ze-kun<sup>1,2</sup>

(1. MNR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Nowadays, more than 160 granitic plutons have been confirmed to form in Caledonian (including Ordovician, Silurian, and Devonian), since Longhui and Shangyou plutons in Jiangxi were firstly found in the 1950s. Among them, only 14 plutons are genetically related to the polymetallic mineralizations (major W with minor Mo, Cu, Sn, and Au), and 11 plutons are

related to the REE mineralizations. Previous studies on Caledonian granites were mainly concentrated on the characteristics of petrology, geochemistry, and tectonic dynamics, but hardly on the mineralization. Based on 800 mineralization and crystallization ages, the data of whole-rock elements of 1 248 samples, the whole-rock Sr-Nd isotopes of 428 samples, and the zircon Lu-Hf isotopes of 2 352 analytical spots, which were collected from 280 papers and theses, four main conclusions about metallogenic characteristics of Caledonian granites were summarized as follows: ① 440—420 Ma is the peak of magmatic activity and metal mineralization; ② Metallogenic granites are mainly focused in Dayaoshan and north-northeast areas of Guangxi, and their source materials and differentiation degrees are all different with each other; ③ REE-forming granites are primarily concentrated in Wuyi and Nanling areas, and most of the former experienced the metamorphism, but the latter did not; ④ Compared with Ordovician and Devonian granites, Silurian granites have the largest distribution area, the broadest lithologies, and the complicated source materials.

**Key words:** Caledonian granite; tungsten polymetallic deposit; rare earth element deposit; whole-rock geochemistry; whole-rock Sr-Nd isotope; zircon Lu-Hf isotope; magma source; crystallization differentiation; South China

## 0 引言

华南地区是全球范围内最重要的钨、锡金属矿产地,铌、钽、铜、铅、锌、金、银、锂、铍、稀土资源也非常丰富,这些矿产与花岗岩的形成和演化具有密切的成因联系<sup>[1-5]</sup>。自20世纪50年代以来,地质工作者对华南花岗岩的形成时代、分异演化、物质来源、构造背景和成矿作用等方面开展了众多的研究和勘查工作,逐步揭示出华南花岗岩具有多年龄、多成因和多矿化的特征<sup>[6-17]</sup>。其中,加里东期花岗岩的出露面积约22 000 km<sup>2</sup>,约占华南花岗岩总出露面积的13.0%,其强度和广度稍高于印支期花岗岩(20 900 km<sup>2</sup>, 12.3%),但远低于燕山期花岗岩(114 400 km<sup>2</sup>, 66.6%)<sup>[18]</sup>。加里东期花岗岩开启了以地壳物质重熔为主的华南大花岗岩省形成和演化的序幕,标志着华南陆壳进入不断成熟、亲石成矿元素不断向陆壳富集的阶段。多构造旋回的花岗质岩浆不断演化使得成矿元素在燕山期花岗岩中高度富集,并最终导致了燕山期的“成矿大爆发”<sup>[19]</sup>。因此,详细地梳理和归纳加里东期花岗岩特征,对于认识“大爆发”序幕阶段花岗岩的形成、演化和成矿作用具有非常重要的科学意义。

前人已经对加里东期花岗岩的分布、年龄、地球化学、成矿类型和构造背景进行了很多总结。随着越来越多的加里东期花岗岩体被识别,其分布范围从武夷—云开地区<sup>[20]</sup>逐渐扩展到湘赣交界万洋山—诸广山、湘南八面山、江西武功山<sup>[18,21]</sup>以及桂

东大瑶山和桂北—桂东北地区<sup>[22-23]</sup>;目前该期花岗岩已被确认呈面状广泛出露于华南内陆<sup>[24-25]</sup>。前人对加里东期花岗岩形成年龄的统计稍有差异,有460~410<sup>[26]</sup>、440~390<sup>[24]</sup>、449~415<sup>[27]</sup>、452~381 Ma<sup>[25]</sup>不同年龄跨度,可见其岩浆活动的时间范围较大,从460 Ma到381 Ma均有记录。加里东期块状构造花岗岩早期被认为绝大多数属于过铝质<sup>[20]</sup>,应该为S型花岗岩<sup>[26]</sup>,但后期越来越多的I型花岗岩被识别<sup>[24]</sup>,并且分布在不同地区花岗岩的地球化学特征没有明显差别<sup>[25]</sup>。加里东期只有少数花岗岩与成矿作用有关,华仁民等认为有些演化充分的加里东期花岗岩直接成矿<sup>[19]</sup>,但陈懋弘等认为有些成钨矿岩体仍属于低分异花岗岩<sup>[23]</sup>,Song等对比了该期含钨和含铜花岗岩岩浆分异程度、氧逸度和物质来源方面的差异性<sup>[28]</sup>。华南地区加里东期的构造动力学背景一直存有争议,主要有洋壳俯冲<sup>[29-30]</sup>、陆陆碰撞<sup>[31-33]</sup>、陆内造山<sup>[34-36]</sup>和多块体拼贴<sup>[37]</sup>等模型。虽然前人已经对华南地区加里东期花岗岩上述5个方面的特征进行了综述,但是对该期成矿作用的总结略显薄弱,具体体现在:对与钨、铜、锡、钼、金、稀土矿有关花岗岩的年龄峰期,导致不同矿种差异性的主要原因,成矿和不成矿花岗岩之间的差别,以及与该期变质花岗岩之间的关系等总结得不够全面。

本文在回顾华南地区加里东期花岗岩发现史的基础上,系统搜集和整理20世纪80年代以来公开发表的学术论文、学位论文中该期花岗岩的成岩年

龄、成矿年龄、全岩地球化学、全岩 Sr-Nd 同位素、锆石 Lu-Hf 同位素数据,从含矿和不含矿花岗岩的地球化学特征、变质和未变质花岗岩的特征及其与含矿花岗岩之间的关系、加里东期不同时期花岗岩的地球化学和成矿作用差异 3 个方面进行了总结,从而力求全面梳理华南地区加里东期花岗岩的物质来源、分异演化以及成矿作用特征。

## 1 华南地区加里东期花岗岩的发现史

对华南地区花岗岩的研究始于 20 世纪初<sup>[38]</sup>,至今已有 120 多年的历史。20 世纪 90 年代之前,前人对华南地区加里东期花岗岩的研究主要集中在岩体的时空分布、地球化学特征、成因类型等方面<sup>[12-13,39-40]</sup>;90 年代之后,研究以岩浆的产出构造背景、岩浆作用过程和成矿作用等为主<sup>[5,19,21,41-43]</sup>。

### 1.1 地质观测

早期地质工作者一般认为华南地区未变质的花岗岩都是燕山期花岗岩,而对于一些已变质的片麻状花岗岩的形成时代则有各种假定,认为其属于太古代、元古代、早古生代到中生代,但大多数缺少确凿的年龄证据<sup>[7,44]</sup>。黄汲清在其著作《中国主要地质构造单元》一书中提出华南多时代花岗岩的可能性:“我在 1937 年曾经指出,福建、广东和江西所发现的若干片麻状花岗岩,前曾被认为属五台系和太古宙的,可能早晚被证明属于加里东期”<sup>[45]</sup>。

1957 年,徐克勤等根据岩体与地层的接触关系,率先确定了两个加里东期花岗岩体:江西龙回和陡水岩体<sup>[6]</sup>。他发现泥盆系底部有一层成分主要为长石和石英的碎屑岩覆盖于花岗岩之上,这层碎屑岩貌似花岗岩斑岩;他敏锐地察觉到这层花岗质碎屑岩应该是由风化崩解的花岗岩经流水作用分选和堆积而成的,从而判断底部花岗岩的时代应该早于泥盆纪,又因为花岗岩侵位于下震旦统中,故确认龙回和陡水岩体属于加里东期花岗岩体<sup>[6]</sup>;由此推论华南地区加里东期花岗岩的分布范围可能极广,并且进一步论证华南地区岩浆活动具有多旋回的特点<sup>[7]</sup>。毛建仁等依据岩体与地层的接触关系将陡水岩体的形成时代定为加里东晚期<sup>[46]</sup>;于津海等通过对侵入陡水岩体中煌斑岩锆石定年和 Lu-Hf 同位素详细研究,认为该岩体深部存在加里东期岩浆岩<sup>[47]</sup>。

20 世纪 50 年代后期,徐克勤带领南京大学地质系的师生开始了对华南地区多时代花岗岩类及其成矿作用的大规模综合研究。1958~1959 年,赣南

崇义的诸广山岩体和湘南彭公庙的八面山花岗岩被证实为加里东期,由此徐克勤等推测在江西、湖南、广东、广西、福建等省区都可能存在若干加里东期花岗岩侵入体的存在<sup>[6]</sup>。赵金科等在广西壮族自治区资源县发现已变质的片麻状加里东期苗儿山岩体侵入下古生界,同时又被泥盆系莲花山组砂岩不整合覆盖<sup>[48]</sup>。徐克勤等也在赣南地区发现一些面积不大的片麻状花岗岩体,如大余南郊、赣县北乡湖溪等片麻状花岗岩页理方向为 NNE,可能属于加里东早期侵入体<sup>[6]</sup>。诸多加里东期花岗岩的确定开创了华南地区加里东期花岗岩研究的新局面,也揭开了华南地区不同时代花岗岩研究的序幕<sup>[36]</sup>。

### 1.2 实验测定

1962 年,在广州召开的南方区测会议上,李璞的“南岭及其邻区岩浆岩及成矿期的绝对年龄研究简报”报道了 27 个 K-Ar 法年龄数据<sup>[49]</sup>,证明南岭及其邻区加里东期、印支期和燕山期各构造旋回花岗岩的存在,率先通过年代学测试方法测得弋阳片麻状花岗岩、贵溪慈竹片麻状花岗岩、彭公庙花岗岩、大宁石英闪长岩等加里东期花岗岩的绝对年龄。此后,根据野外观察和绝对年龄测试,越来越多的加里东期花岗岩体被发现,如彭公庙岩体、诸广山岩体<sup>[7]</sup>、海洋山岩体<sup>[50]</sup>、雪峰山黑云母花岗岩体<sup>[51]</sup>、武功山岩体和古嶂岩体<sup>[10]</sup>、扶溪花岗闪长岩体和永和花岗闪长岩体<sup>[52]</sup>。

20 世纪 90 年代之前受定年技术的限制,定年方法以 Sm-Nd、Rb-Sr 和 K-Ar 法为主,存在少量 Ar-Ar 和 U-Pb 法,年龄精度相对较低<sup>[40,53-56]</sup>。随着高精度定年技术广泛运用于花岗岩形成时代的研究,逐渐积累了一大批可靠的数据<sup>[57-60]</sup>。以最初发现的龙回和陡水岩体为例,中国科学院地球化学研究所利用黑云母 K-Ar 法测得陡水赖圻口花岗岩中的云英岩年龄为 385 Ma,铁扇关花岗质碎屑岩中云英岩年龄为 381 Ma<sup>[39]</sup>;徐克勤等利用白云母 K-Ar 法测得陡水白云母花岗岩年龄为 368 Ma<sup>[12,54]</sup>;地矿部南岭项目花岗岩专题组利用白云母 K-Ar 法测得陡水二云母花岗岩年龄为 377 Ma<sup>[40]</sup>;毛建仁等利用 SHRIMP 锆石 U-Pb 法测得陡水岩体年龄为  $(464 \pm 11)$  Ma (平均标准权重偏差 (MSWD) 为 0.81)<sup>[46]</sup>;张芳荣利用 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 法测得陡水岩体二长花岗岩年龄为  $(440.0 \pm 4.7)$  Ma (MSWD 值为 0.30)、 $(443.9 \pm 3.2)$  Ma (MSWD 值为 0.73) 和  $(419.2 \pm 3.3)$  Ma (MSWD 值为 1.16),陡水岩体细粒二云母二长花岗岩年龄为  $(408.2 \pm$

4.7)Ma(MSWD 值为0.78),龙回细粒似斑状黑云母花岗闪长岩和中细粒似斑状黑云母二长花岗岩年龄分别为(440.1±3.7)Ma(MSWD 值为0.55)和(441.3±3.3)Ma(MSWD 值为0.23)<sup>[61]</sup>;苏晓云等利用 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 法确定了陡水岩体中细粒黑云母二长花岗岩年龄为(460.8±1.5)Ma(MSWD 值为0.78)<sup>[62]</sup>。

### 1.3 框架构建

在众多地质工作者的共同努力下,20世纪90年代之前华南地区加里东期花岗岩的时空格架划分已经基本完成<sup>[8,63-69]</sup>。例如,中国科学院地球化学研究所编著的《华南花岗岩类的地球化学》一书发表了有关矿物成分、造岩矿物结构状态、微量元素地球化学等方面的大量数据,解释了花岗岩类的地球化学特征及物质来源<sup>[39]</sup>。南京大学地质系在总结前人研究成果的基础上,进一步探讨了岩浆活动与区域构造的关系、板块构造特征及岩浆演化的特点,将中国东南部花岗岩划分为改造型和同熔型两种成因系列,前者是由地槽或塌陷沉积物经多种方式的花岗岩化作用形成,后者是在板块交接带和大陆板块内部深断裂带,由上地幔派生的岩浆与上部地壳重熔岩浆混染而形成<sup>[11]</sup>。莫柱孙等在《南岭花岗岩地质学》一书中对南岭花岗岩的时代进行了详细的划分和论证,探讨了南岭花岗岩的成因和演化,以及花岗岩与成矿的关系,提出花岗岩的成矿模式<sup>[13]</sup>。地矿部南岭项目花岗岩专题组编著的《南岭花岗岩地质及其成因和成矿作用》一书中,通过对南岭包括加里东期在内的不同时代、不同类型、不同含矿性花岗岩的岩石学、主要造岩矿物、副矿物、岩石化学、微量和稀土元素地球化学、稳定同位素地球化学、花岗岩成因和成矿作用的研究,探讨了南岭地区与花岗岩有关的控矿条件、成矿机理和分布规律<sup>[40]</sup>。

## 2 花岗岩总体特征

本文以孙涛编制的华南地区不同时代花岗岩体时空分布图为基础<sup>[18]</sup>,搜集了1980~2021年公开发表的学术论文和学位论文中加里东期花岗岩的年龄、元素和同位素地球化学数据,重新梳理了该期花岗岩的总体特征。

加里东期花岗岩在华南内陆的分布范围相当广泛,主要分布于安化—罗城断裂带和政和—大埔断裂带之间的闽、赣、粤、湘、桂5省区的交界地区,以武夷、南岭、云开地区最为集中,整体上呈面状分布的特点<sup>[61,70-77]</sup>。依据地域分布,本文将加里东期花

岗岩从东到西、由北往南划分为武夷、武功山、南岭、桂北—桂东北、大瑶山和云开6个地区(图1)。

加里东期花岗岩出露面积的规模相差悬殊,大的超过3000 km<sup>2</sup>,小的不足10 km<sup>2</sup><sup>[18,22,36,70]</sup>。一些岩体是由多期次多阶段的岩浆活动构成的复式岩体,如苗儿山、越城岭、万洋山、诸广山、陡水等<sup>[36,56,78-79]</sup>。大瑶山地区的岩体出露面积较小,以岩株和岩枝为主且成群成带分布<sup>[22-23]</sup>。

加里东期花岗岩年龄为540~360 Ma,集中在470~400 Ma,峰值为440~420 Ma;从沿海往陆内,岩体年龄显示出逐渐变年轻的趋势<sup>[27,73,80-86]</sup>。主要岩石类型包括块状花岗岩和片麻状花岗岩<sup>[20,36]</sup>。其中,块状花岗岩主要有花岗闪长岩、二长花岗岩、黑云母花岗岩等<sup>[85,87-88]</sup>;片麻状花岗岩主要含白云母、石榴子石和电气石<sup>[73]</sup>。前人认为片麻状花岗岩主要分布在武功山地区和武夷山北部<sup>[89]</sup>,但是近年来越来越多的片麻状花岗岩、正片麻岩、混合岩,并富含副片麻岩和斜长角闪岩包体,在武夷地区南部、云开和武功山地区被发现<sup>[32-33,90-93]</sup>。

加里东期花岗岩多为过铝质花岗岩(90%以上A/CNK 值大于1,仅有少部分小于1)<sup>[18,26]</sup>,属于壳源S型花岗岩<sup>[19-20,26,94-95]</sup>;其岩浆锆石85%以上具有负的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值(-13~0)和2.43~1.23 Ga的两阶段Hf模式年龄( $T_{\text{DM2}}$ ),表明岩浆来源于古老的地壳物质,主要是泥质岩的部分熔融<sup>[84,96-97]</sup>。此外,也有少量的I型花岗岩,例如台山、苗儿山、越城岭、宏夏桥、板杉铺、桂洋、壶垌和社山岩体<sup>[23,98-102]</sup>,其岩浆锆石的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为-1.4~7.2, $T_{\text{DM2}}$ 值显示岩浆可能源自中新元古代古老基底中镁铁质岩石的部分熔融<sup>[84,96-97]</sup>,其中部分I型花岗岩中还有镁铁质微粒包体<sup>[100,103]</sup>。近年来,有少量加里东期的A型花岗岩被发现,例如武夷地区的会同、鹅婆、西芹、付坊、营上、大进岩体和云开地区的一些岩体<sup>[104-109]</sup>。许德如等发现板杉铺岩体具有埃达克质特征<sup>[110]</sup>。

除花岗岩外,加里东期还发育同时期的混合岩(如赣南菖蒲混合岩、天井坪混合岩<sup>[58,111-113]</sup>)、变质岩(如弋阳麻粒岩<sup>[9,32-33,91-92,114-117]</sup>)、中基性岩(如粤西龙川、闽中大康、赣中松溪、武功山地区的辉长岩以及浙江陈蔡地区基性岩<sup>[60,73,102,118-121]</sup>)、蛇绿岩(如桂东南岑溪糯垌蛇绿岩<sup>[122]</sup>),以及少量呈零星分布的火山岩(如鹰扬关火山岩、云开地区出露的基性火山岩<sup>[60,123-133]</sup>)。

## 3 花岗岩形成年龄的规律性

前人对加里东期花岗岩的研究程度是不均一



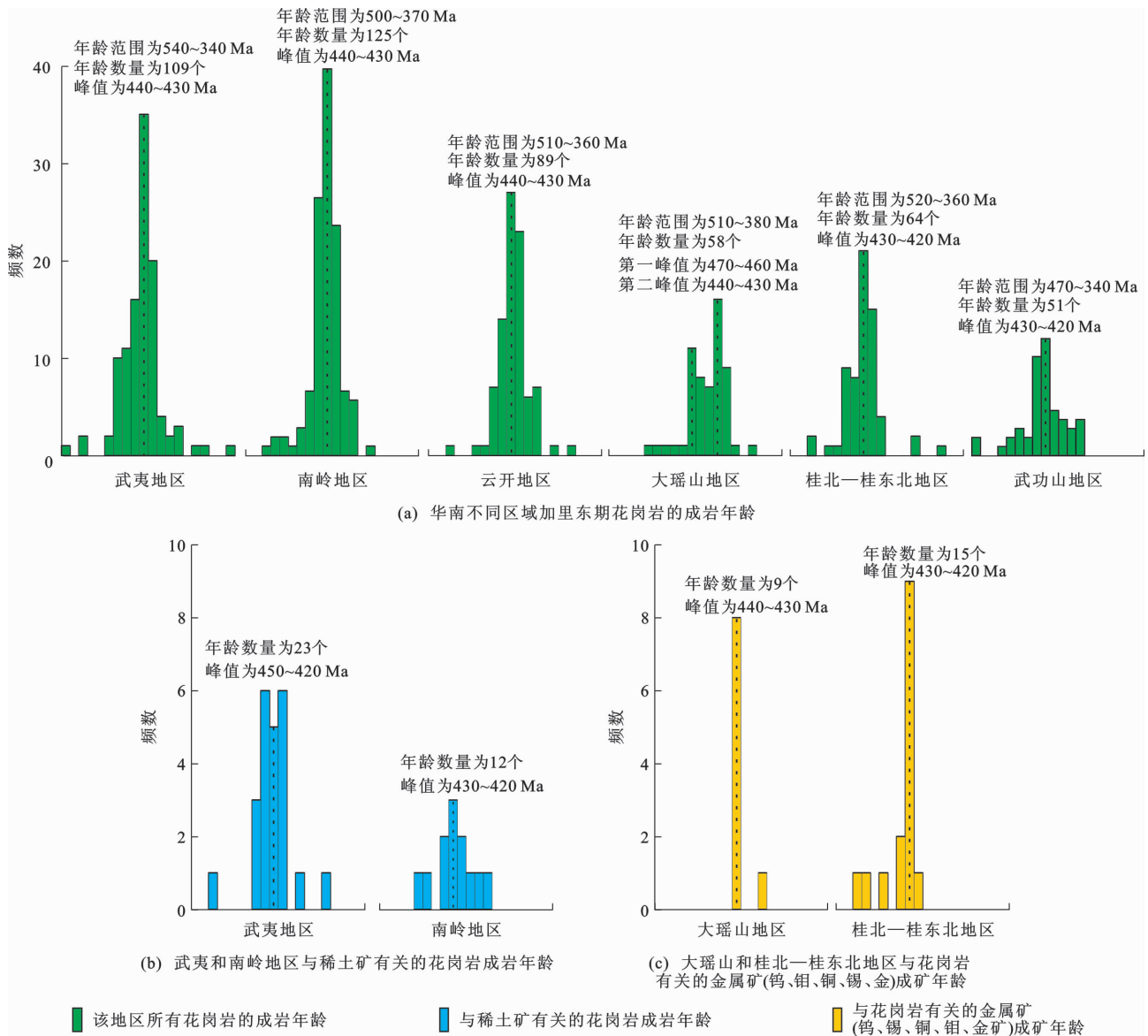


图2 华南不同地区加里东期花岗岩的成岩和成矿年龄频数分布(横坐标年龄范围为540~340 Ma)

Fig. 2 Frequency Distribution of Mineralization and Crystallization Ages from Caledonian Granites in Different Areas of South China (The Horizontal Axis Represents the Age Range from 540 Ma to 340 Ma)

地区,成矿年龄峰值分别为440~430 Ma和430~420 Ma[图2(c)]。大瑶山和桂北—桂东北地区的成矿与成岩时间保持一致[图2(a)、(c)],钨钼和金矿形成时间为440~433 Ma,与花岗岩形成的第二峰值(440~430 Ma)同时,而钨铜矿形成时间(467 Ma)与较早的成岩峰值(470~460 Ma)同时。

从整体上来看,华南地区加里东期不成矿花岗岩的成岩作用时间为540~345 Ma,峰值为440~435 Ma;成矿花岗岩的成岩作用时间为495~360 Ma,峰值为435~425 Ma[图3(a)];成矿花岗岩相比不成矿花岗岩的形成峰值稍晚。前人普遍认为华南地区加里东期片麻状变质花岗岩的形成时间要早于未变质的块状花岗岩<sup>[18,26,95]</sup>。例如,舒良树统计

片麻状花岗岩形成于460~430 Ma<sup>[95]</sup>,而块状花岗岩的形成时间为430~400 Ma。本文的统计结果显示:变质花岗岩的成岩作用时间为510~370 Ma,峰值为440~435 Ma;未变质花岗岩的年龄为540~345 Ma,峰值也集中在440~435 Ma<sup>[27,73,88,101,136]</sup>。因此,未变质花岗岩的成岩作用时间更宽泛,但无论是变质还是未变质花岗岩,它们的形成峰值保持一致[图3(b)]。

#### 4 成矿和不成矿花岗岩特征对比

21世纪初以前的研究成果显示,大多数加里东期花岗岩不成矿<sup>[7,12-13,40]</sup>,但随着研究的深入和细化,越来越多加里东期形成的矿床被发现,目前有

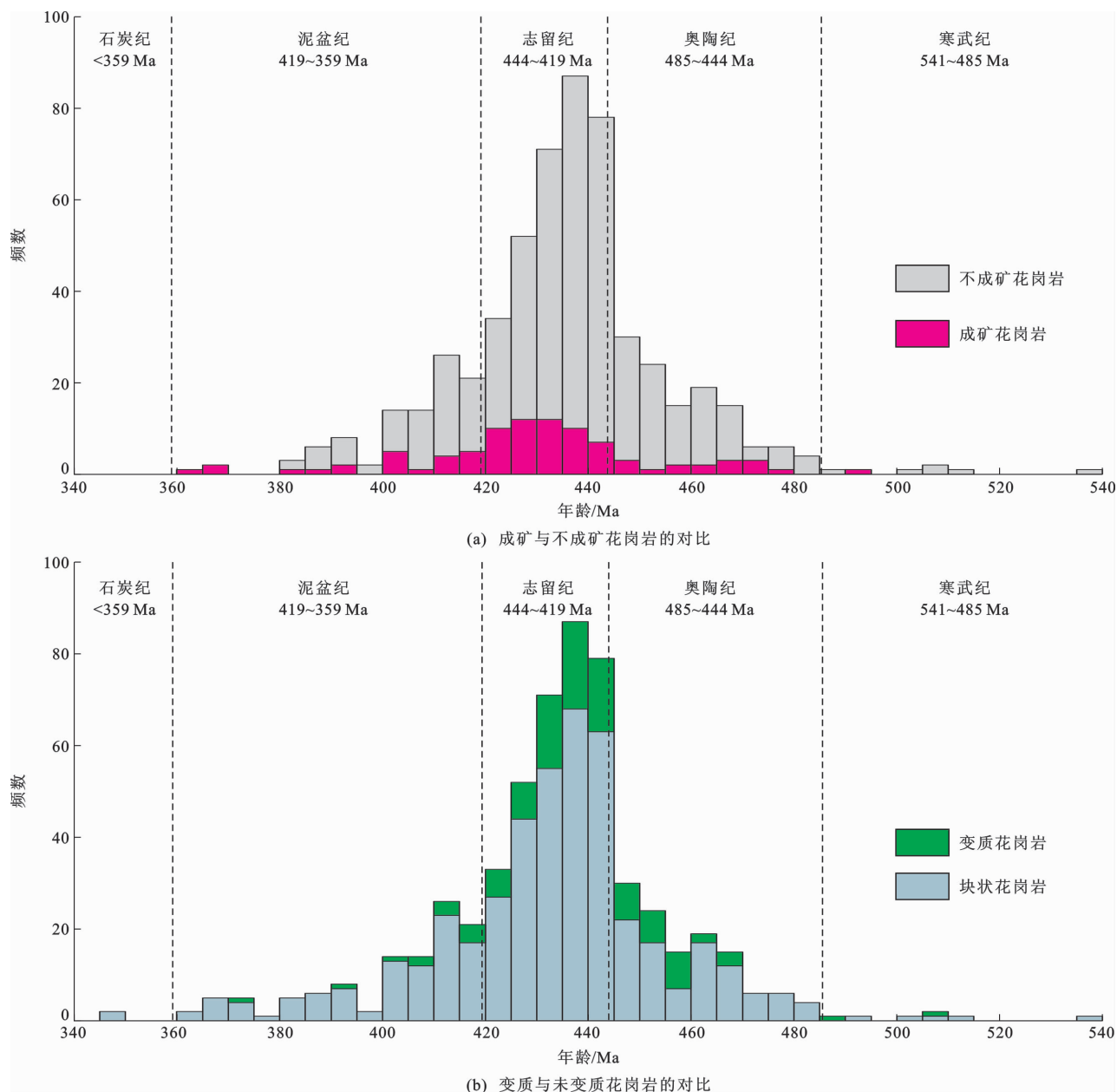


图 3 不同特征花岗岩的年龄频数分布对比

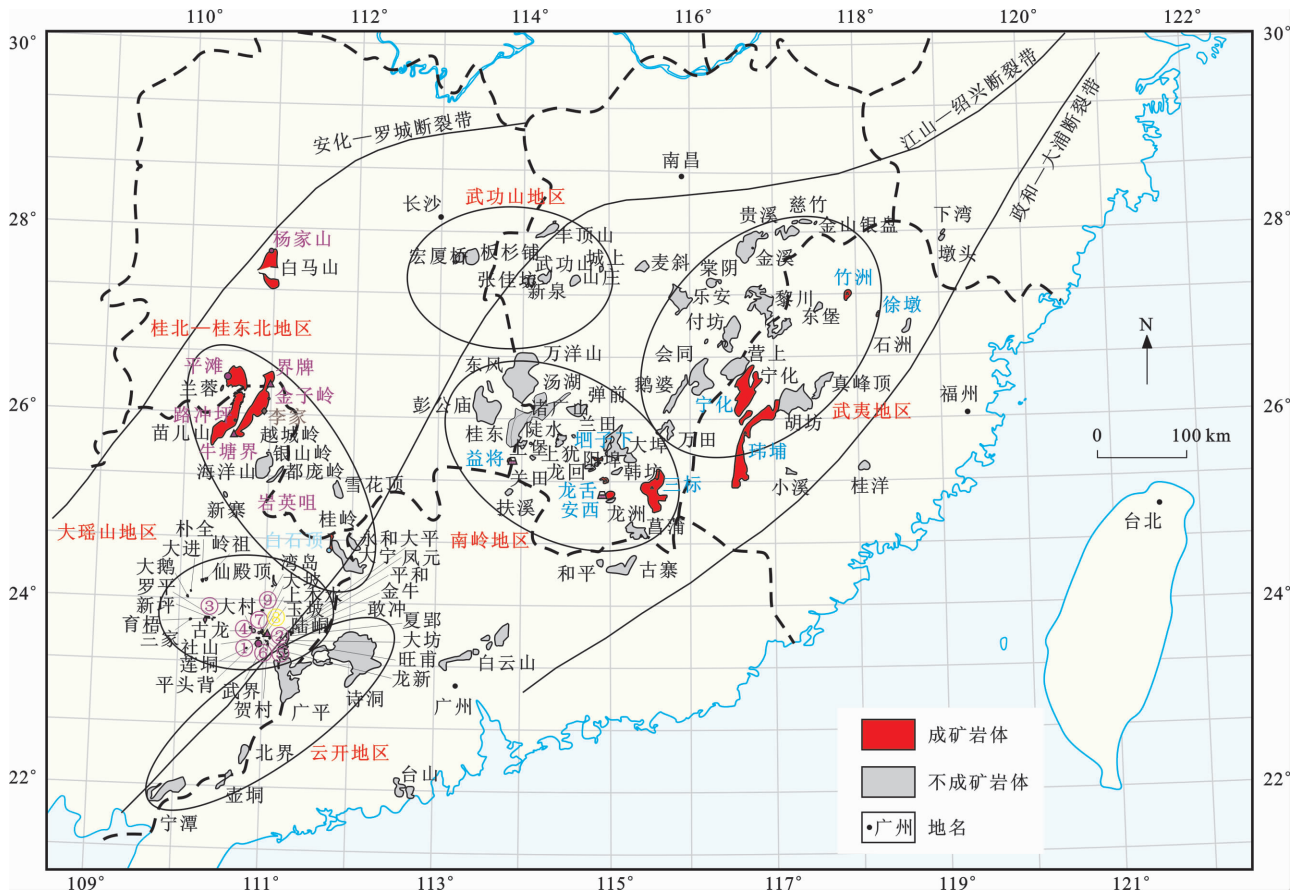
Fig. 3 Comparisons of Age Frequency Distribution of Granites with Different Characteristics

14 个花岗岩体与金属(钨、锡、钼、铜、金)矿床有密切的成因联系,有 11 个花岗岩体在后期地表风化作用下形成了淋积型稀土矿床(表 1、图 4)。

加里东期也可以形成大型矿床,如大瑶山地区的社洞斑岩-矽卡岩-石英脉型钨钼矿床<sup>[74,137-140]</sup>和玉坡矽卡岩型钨多金属矿床<sup>[141]</sup>,桂北—桂东北地区的牛塘界矽卡岩型钨矿床<sup>[142-144]</sup>、平滩蚀变岩-石英脉型钨矿床<sup>[145]</sup>和独石岭蚀变岩-矽卡岩型钨矿床<sup>[79,146-147]</sup>。湖南汝城的益将稀土矿床是一个大型的风化壳淋积型稀土矿床且具有较高的 Sc 含量<sup>[148-149]</sup>。

大瑶山地区共有 9 处加里东期钨矿床(点),包

括 2 个大型矿床和 7 个中小型矿床(点),矿床类型包括斑岩型、矽卡岩型和石英脉型,成矿元素以 W 为主,部分矿床含 Mo、Cu、Pb、Zn、Au 等,成矿时间集中在 467~433 Ma(表 1)。该区与成矿有关花岗岩体的规模较小,以岩株和岩枝为主;岩石类型多样,包括花岗闪长岩、花岗斑岩、闪长岩、二长闪长岩等。与成矿有关的花岗岩多为花岗闪长岩,来源于中元古代古老地壳物质的部分熔融,可能有一定量地幔物质的加入<sup>[23,137,150-151]</sup>,其中与社洞钨矿床、玉坡钨矿床和上木水钨矿床有关的加里东期花岗岩为低分异还原型的 I 型花岗岩<sup>[152]</sup>。桂北—桂东北地区已发现 8 处加里东期以钨为主的矿床(点),成矿



① 社洞钨钼矿; ② 玉坡钨矿; ③ 罗平钨钼矿; ④ 振山钨钼矿; ⑤ 武界钨钼矿; ⑥ 贺村钨钼矿; ⑦ 上木水钨铜矿; ⑧ 上木水金矿;  
⑨ 湾岛金矿的钨钼矿脉; 底图引自文献[18], 有所修改

图 4 成矿和不成矿花岗岩空间分布

Fig. 4 Spatial Distribution of Metallogenic and Non-metallogenic Granites

时间大致可分为 435~417 Ma、约 390 Ma 和约 370 Ma 等 3 个时间段(表 1)。与成矿有关的花岗岩体以大型岩基、小型岩体和岩株出露,岩性多为黑云母花岗岩、白云母花岗岩、二云母花岗岩,以壳源物质重熔为主,多为分异程度较高的 S 型花岗岩<sup>[153]</sup>。例如,位于桂西的德保砂卡岩型锡铜矿床与钦甲岩体有关,辉钼矿样品的 Re-Os 模式年龄为(435.0±2.5)Ma,等时线年龄为(445.0±11.0)Ma<sup>[154-155]</sup>,该矿床和相关岩体没有包含在图幅以西且并未包含在图 4 的范围内。南岭和武夷地区发育风化壳淋积型的轻稀土矿床,含稀土花岗岩体的出露面积、形态和产状相差悬殊<sup>[155]</sup>。与稀土矿有关花岗岩体的岩性主要是黑云母二长花岗岩、黑云母花岗岩和石英闪长岩<sup>[156]</sup>,含稀土的副矿物主要有磷灰石、褐帘石、氟碳铈矿、独居石、硅铍钇矿和氟碳钇矿等<sup>[155]</sup>。合适的风化壳介质、炎热多雨的气候条件以及中低海拔丘陵的地貌特征可能是该类矿床得以形成的重要地质条件<sup>[157-158]</sup>。

同样是以钨矿为主的岩体,大瑶山和桂北—桂

东北地区花岗岩的地球化学特征具有明显的差异性,主要体现在  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  含量(质量分数,下同)差别较大(图 5)。其中,大瑶山地区加里东期花岗岩具有相对较低的  $\text{SiO}_2$  含量(52.7%~75.0%,平均值为 66.6%) 和  $\text{K}_2\text{O}$  含量(0.7%~4.9%,平均值为 2.6%)、较高的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量(13.2%~19.0%,平均值为 15.2%) 和  $\text{MgO}$  含量(0.3%~4.3%,平均值为 1.6%);相比之下,桂北—桂东北地区花岗岩的  $\text{SiO}_2$  含量(59.4~83.2%,平均值为 72.4%) 和  $\text{K}_2\text{O}$  含量(2.1%~9.1%,平均值为 5.0%) 较高,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量(7.7%~18.7%,平均值为 13.6%) 和  $\text{MgO}$  含量(0.01%~3.20%,平均值为 0.90%) 较低。两个地区含钨花岗岩的  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量范围非常相似,但与不含矿花岗岩相比较低[图 5(d)],显示出成矿与不成矿花岗岩的差异性。与白石顶钼矿和德保锡铜矿有关的花岗岩体的全岩主量元素特征与桂北—桂东北地区含钨多金属花岗岩相似,这一点尤其体现在  $\text{K}_2\text{O}$ - $\text{SiO}_2$  图解[图 5(c)]中;

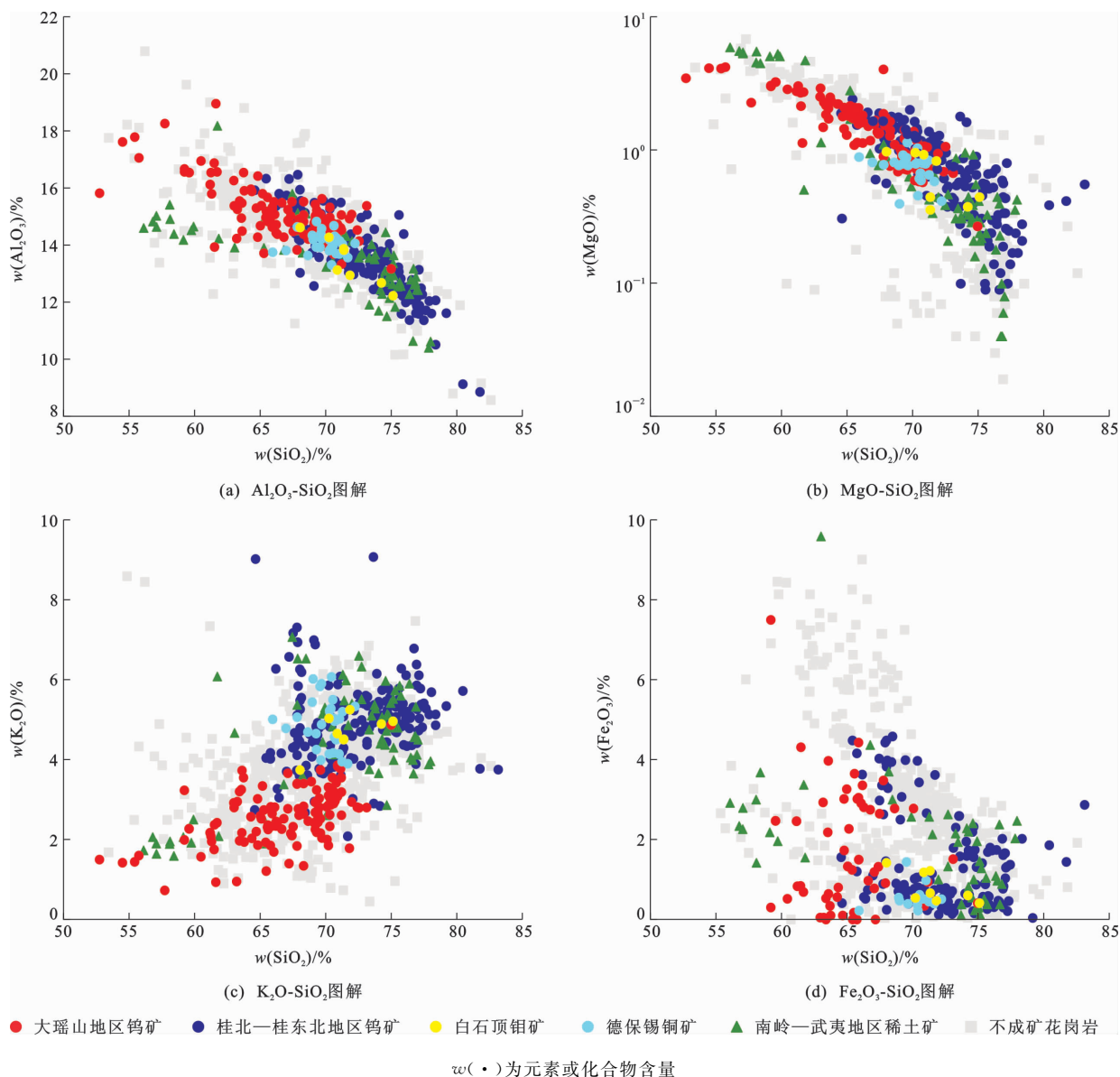


图 5 成矿和不成矿花岗岩主要元素哈克图解

Fig. 5 Harker Diagrams of Major Elements of Metallogenic and Non-metallogenic Granites

与稀土矿有关的加里东期花岗岩  $\text{SiO}_2$  含量范围很宽泛,从 56.1% 到 78.0% 均有出现,其主要元素特征与大瑶山和桂北—桂东北地区含钨锡铜钼矿花岗岩没有差别。

大瑶山和桂北—桂东北地区以钨矿为主的花岗岩中,全岩的 Mo 含量几乎没有差别[图 6(a)],分别为  $(0.13 \sim 72.70) \times 10^{-6}$  (平均值为  $6.77 \times 10^{-6}$ ) 和  $(0.03 \sim 150.00) \times 10^{-6}$  (平均值为  $4.31 \times 10^{-6}$ )。桂北—桂东北地区花岗岩具有稍高的 W 含量  $(0.22 \sim 489.00) \times 10^{-6}$  (平均值为  $27.58 \times 10^{-6}$ ),大瑶山地区为  $(0.48 \sim 77.30) \times 10^{-6}$  (平均值为  $8.93 \times 10^{-6}$ ) [图 6(b)]。这两个地区的 Cu 和 Sn 含量差别较大,其中大瑶山地区花岗岩的全岩 Cu 含

量  $((13.50 \sim 424.00) \times 10^{-6}$ , 平均值为  $129.58 \times 10^{-6}$ ) 明显高于桂北—桂东北地区  $((1.05 \sim 149.00) \times 10^{-6}$ , 平均值为  $31.18 \times 10^{-6}$ ) [图 6(c)],然而 Sn 含量  $((1.00 \sim 34.70) \times 10^{-6}$ , 平均值为  $3.85 \times 10^{-6}$ ) 明显低于桂北—桂东北地区  $((3.90 \sim 99.23) \times 10^{-6}$ , 平均值为  $20.43 \times 10^{-6}$ ) [图 6(d)]。从本文搜集的德保锡铜矿花岗岩全岩数据来看,其成矿母岩特征与桂北—桂东北地区花岗岩相似(图 5, 6)。不成矿花岗岩全岩 Mo、W、Cu、Sn 含量范围很宽泛,与成矿花岗岩几乎没有差别(图 6)。

大瑶山和桂北—桂东北地区花岗岩的物质来源是不同的,这一点充分体现在两者的全岩 Sr-Nd 和锆石 Hf 同位素特征上(图 7)。两者的全岩 ( $^{87}\text{Sr}/$

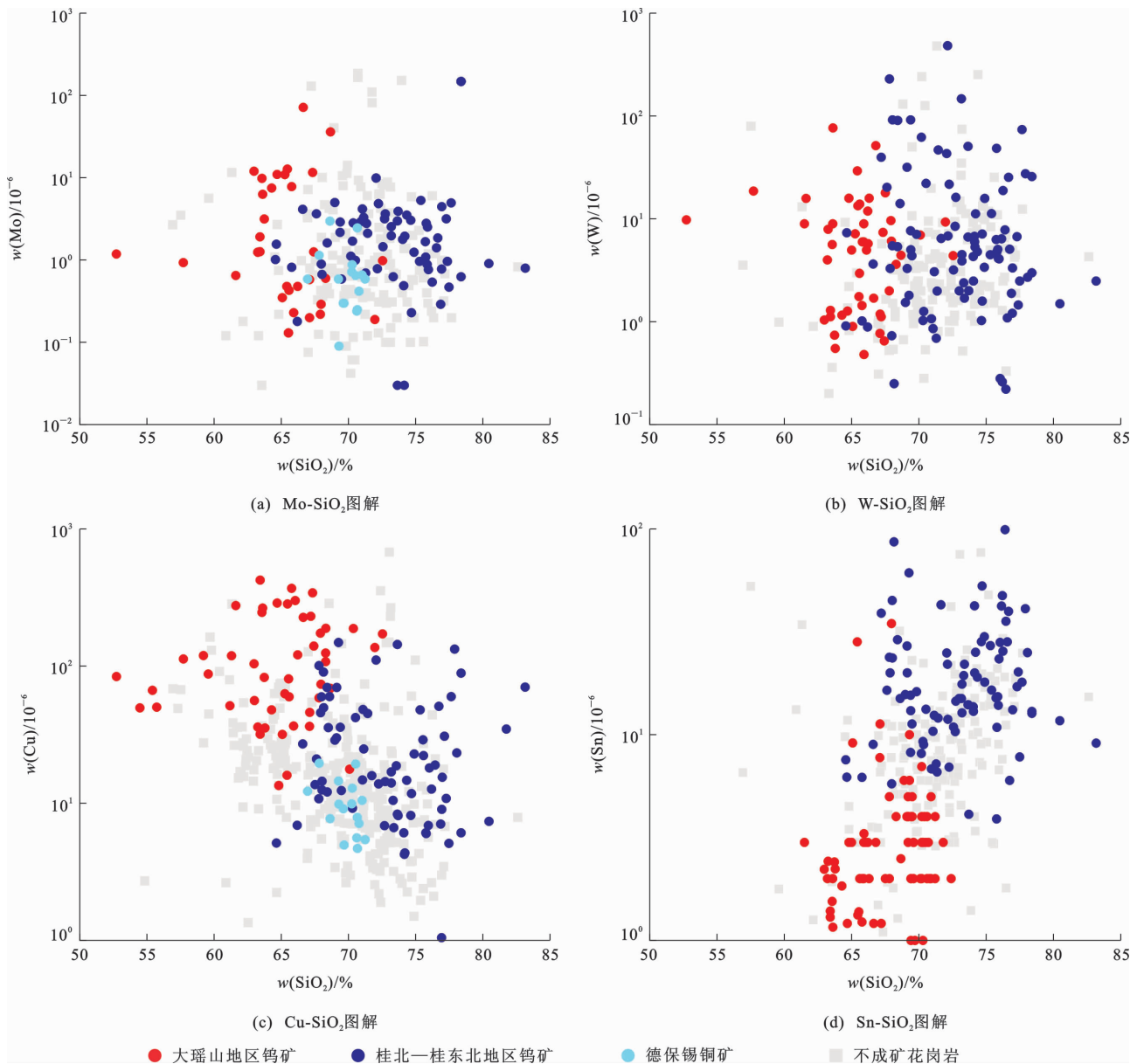


图6 成矿和不成矿花岗岩的SiO<sub>2</sub>含量与W、Mo、Cu、Sn含量相关图解

Fig. 6 Correlation Diagrams Between SiO<sub>2</sub> and W, Mo, Cu, and Sn Contents of Metallogenic and Non-metallogenic Granites

<sup>86</sup>Sr) 值(0.701 065~0.744 000)表明所有数据均为有效值[图 7(a)]。大瑶山地区花岗岩的  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值(-12.3~3.7, 平均值为-3.39)和锆石  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值(-9.54~7.32, 平均值为-1.17)均高于桂北—桂东北地区( $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值为-13.49~-4.87, 平均值为-8.61;  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值为-11.6~-0.31, 平均值为-6.81), 说明前者来源于更加偏基性的壳源物质或者受到更多幔源物质混染的古老壳源物质。桂西德保锡铜矿花岗岩的锆石  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值(-2.90~6.10, 平均值为0.17)和桂北白石顶钨矿花岗岩的  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值(-13.60~-5.00, 平均值为-7.83)显示, 它们分别与 大瑶山和桂北—桂东北地区花岗岩的物质来源具有相似性[图 7(c)、(d)]。

大瑶山地区花岗岩具有钙碱性的 I 型花岗岩特征[图 8(a)、(b)], 其 SiO<sub>2</sub> 含量、Rb/Sr 值(0.12~6.65, 平均值为0.66)[图 8(c)]均较低, 而 Zr/Hf 值较高(25.24~42.37, 平均值为33.65)[图 8(d)]。大瑶山地区花岗岩的 K<sub>2</sub>O 含量小于 Na<sub>2</sub>O 含量, 其中 K<sub>2</sub>O 含量为 0.73%~4.87% (平均值为2.56%), Na<sub>2</sub>O 含量多为 1.90%~4.91% (平均值为3.42%), K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 值为 0.08~5.11 (平均值为0.81)。相对于大瑶山地区, 桂北—桂东北地区岩石具有碱性的 A 型花岗岩特征[图 8(a)、(b)], 其 SiO<sub>2</sub> 含量、Rb/Sr 值均较高(0.32~68.37, 平均值为9.11)[图 8(c)], 而 Zr/Hf 值较低(14.25~43.54, 平均值为27.43)[图 8(d)]。桂北—桂东北

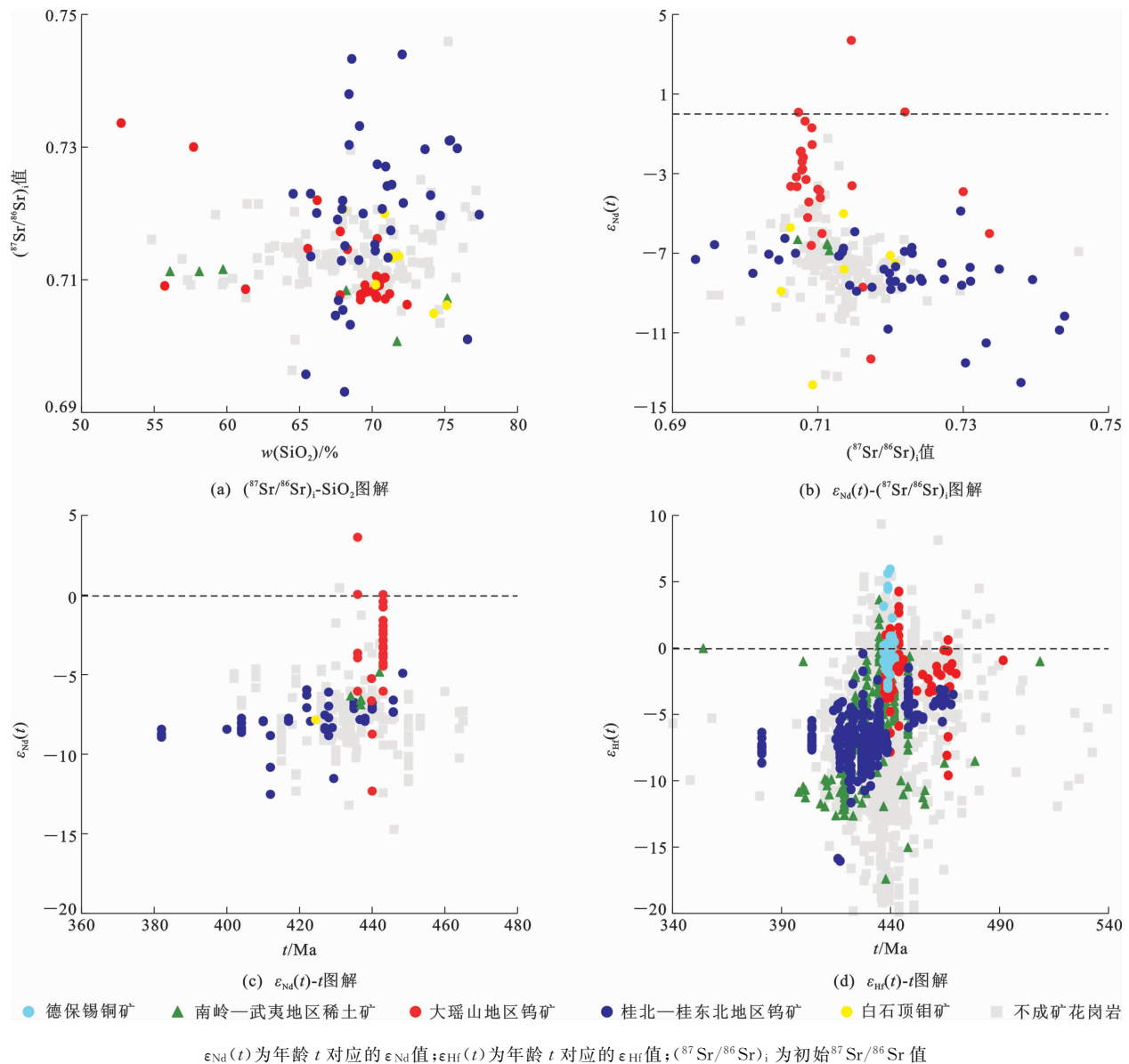


图7 成矿和不成矿花岗岩的源区物质差异性判别图解

Fig. 7 Discrimination Diagrams of Differences in Source Materials Between Metallogenic and Non-metallogenic Granites

地区花岗岩的  $\text{K}_2\text{O}$  含量大于  $\text{Na}_2\text{O}$  含量,其中  $\text{K}_2\text{O}$  含量为  $2.06\% \sim 7.17\%$  (平均值为  $4.89\%$ ),  $\text{Na}_2\text{O}$  含量多为  $1.05\% \sim 3.96\%$  (平均值为  $2.48\%$ ),  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  值为  $0.43 \sim 62.50$  (平均值为  $3.72$ )。南岭和武夷地区与稀土矿有关的花岗岩在图 7、8 中的特征显示,无论是源区物质还是岩石类型,其与大瑶山和桂北—桂东北地区含钨锡钼铜花岗岩的特征都具有重合性,表明其源区物质组成的宽泛性和岩石类型的多样性。

花岗岩全岩元素含量或比值可以衡量岩浆的结晶分异程度。从图 8(c)、(d) 中  $\text{SiO}_2$  含量和  $\text{Rb}/\text{Sr}$  值、 $\text{Zr}/\text{Hf}$  值<sup>[159-161]</sup> 判断,桂北—桂东北地区与钨矿有关的花岗岩有可能经历了更高层次的结晶分异。

但是,通过上述分析,本文认为源区物质组成的差异性才是导致两个地区岩浆性质差异性最重要的原因。

## 5 变质和未变质花岗岩特征对比

华南地区加里东期片麻状花岗岩大多数集中分布在武夷和武功山地区,少数分布在桂北—桂东地区的苗儿山—越城岭岩体中部,零星出露于南岭和云开地区的菖蒲、壶垌和宁潭(图 9)。大量片麻状花岗岩的出现,意味着加里东期的构造作用非常强烈,不仅可以诱发花岗质岩浆的熔融,而且可以导致花岗岩发生变形<sup>[57]</sup>。从变质花岗岩的空间分布特征也可看出武夷和武功山地区是遭受加里东期构

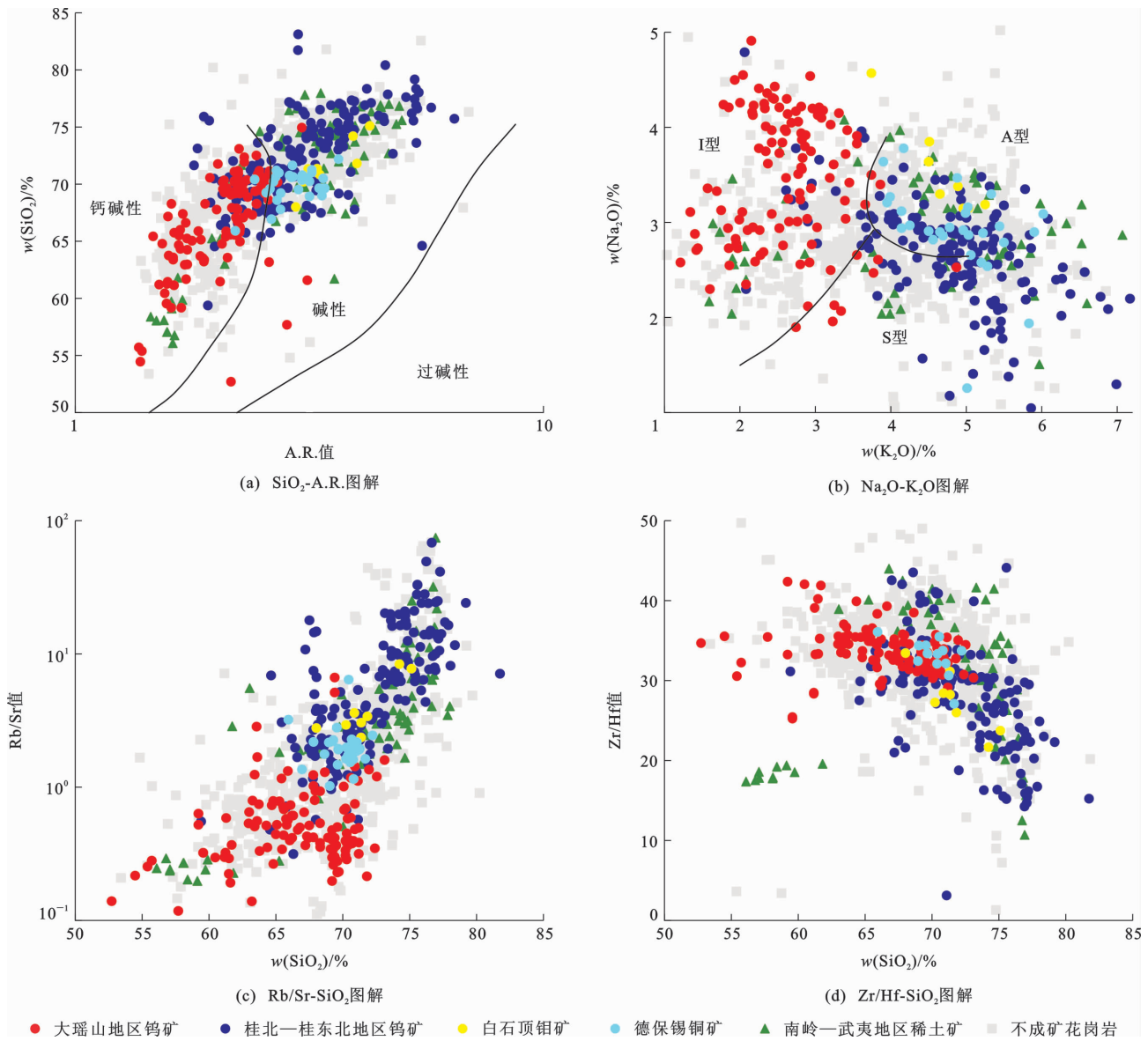


图8 成矿和不成矿花岗岩的成因类型与分异程度差异性判别图解

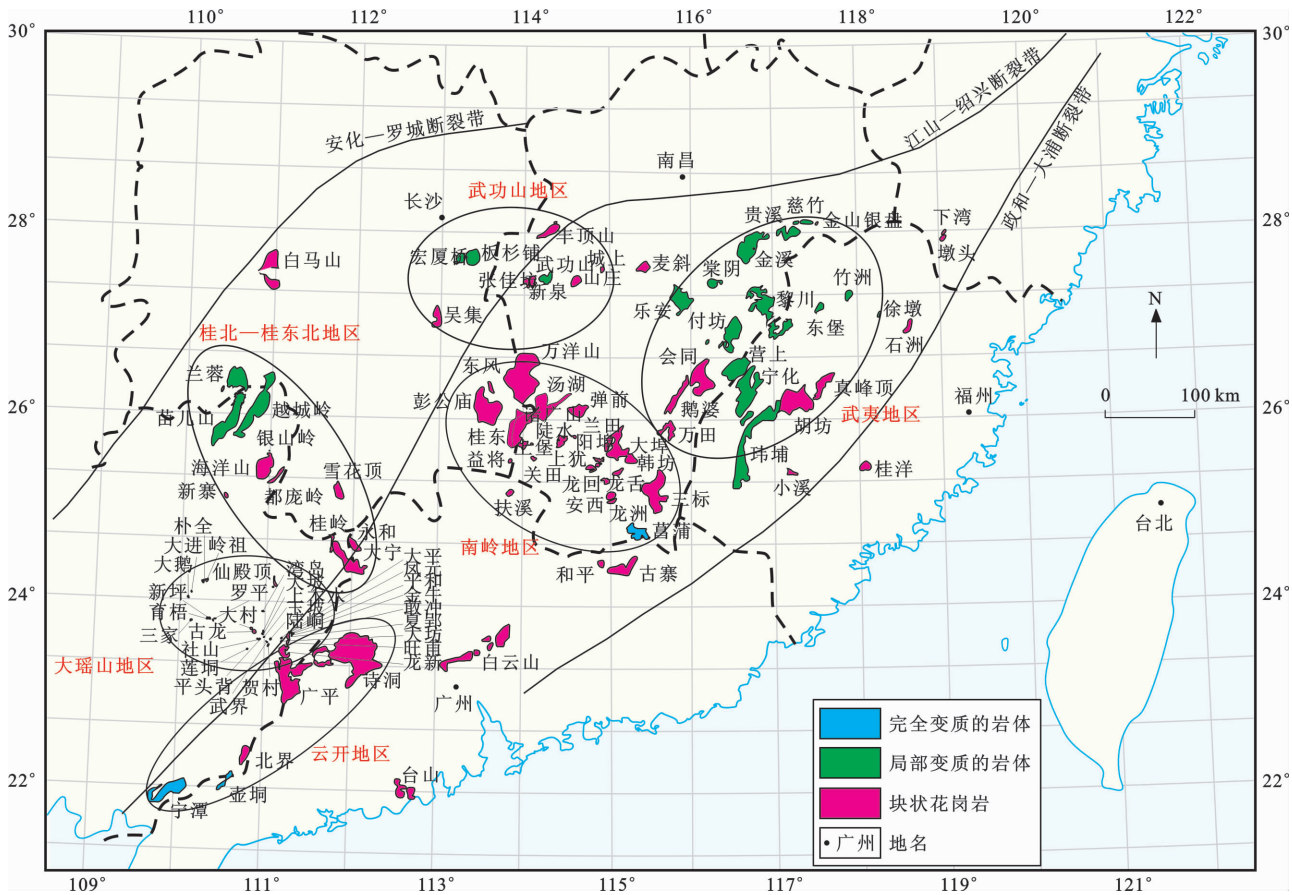
Fig. 8 Discrimination Diagrams of Differences in Genetic Types and Fractionation Degrees Between Metallogenic and Non-metallogenic Granites

造作用最强烈的区域。

与钨、锡、铜、钼、金等金属成矿作用相关的块状花岗岩,与由构造活动控制的片麻状花岗岩在空间位置上不具有重合性(图4、9),成矿的块状花岗岩集中出露在大瑶山、桂北—桂东北和南岭地区;武夷地区虽广泛发育变质岩,但成矿作用为风化壳淋积型稀土矿(图4,表1)。桂北—桂东北地区的苗儿山—越城岭片麻状花岗岩与成矿花岗岩的位置也存在偏差<sup>[162]</sup>。

武夷地区是加里东运动的强烈变形地带,集中了数量最多的变质花岗岩体,大概30多个岩体呈岩基、岩株、岩瘤状产出,侵位多受到褶皱和断裂的复合控制,展布方向多呈NE向,与区域构造线基本一

致<sup>[112,163-165]</sup>。随着构造动力学的转变,它们的岩性由主要是英云闪长质、花岗闪长质、二长花岗质片麻岩,向片麻状斜长花岗岩、花岗闪长岩和二长花岗岩,最晚期再向混染型花岗闪长岩、二长花岗岩、正长/钾长花岗岩发生转变<sup>[166]</sup>。该地区片麻状和块状花岗岩的锆石Hf同位素组成相似,说明它们来源于相似的源区物质<sup>[27]</sup>,其中大多数岩浆是沉积源岩发生部分熔融的产物<sup>[26,167]</sup>。多数岩体具有边缘混合岩化现象,即岩体边缘具有片麻状构造,局部地方具有流动状构造,而内部为致密块状。这种具变形特征同褶皱岩体的形成是深熔作用产生的半原地构造-岩浆活动导致的,例如慈竹、金溪、付坊、黎川、湖坪、棠阴、司前、鹅婆、营上、建宁、黄坊等岩



底图引自文献[18],有所修改

图 9 变质和未变质花岗岩体空间分布

Fig. 9 Spatial Distribution of Metamorphous and Non-metamorphous Granites

体[72.163.168-169]。

武功山地区地处华夏板块与扬子板块碰撞拼贴带的边界,强烈的构造运动使基底地层产生大规模褶皱变形并伴随大量岩浆侵入[170]。该地区整体来说由核部花岗质深成岩、韧性剪切变质岩以及南北两侧盆地所组成的近 EW 向椭圆形构造[171-174]。该地区经历了两期构造变形叠加,早古生代形成的片麻状岩体后来在中生代又经历中低温伸展构造作用,造就了花岗岩独特的构造变形特征[171.174-175]。

桂北—桂东北地区的苗儿山—越城岭花岗岩体是一个晋宁期、加里东期、印支期和燕山期的复式岩基,其含有诸多加里东期、印支期和燕山期的金属矿床(表 1),除了几个大型的钨、锡、钼、铜矿床之外,还包含众多中小型矿床以及矿点[79.142-147.153.176-181]。越城岭花岗岩体的西侧存在一条呈 NNE 向延伸的长 80 km、宽 2~10 km 的片麻状花岗岩带,其片麻理总体倾向 270°~320°,倾角 30°~50°,位于该带的片麻状花岗岩与块状花岗岩为渐变关系[182-183],可能是已经凝固了的岩体受断裂变质作用发生压碎、

重结晶和交代作用而形成的[184-186],也可能是由断裂作用引起的剪切热和深部热源一起导致地壳物质重熔,诱发深部岩浆上侵并在应力带中定位所形成的[161.187]。除了与块状花岗岩有关的上述金属成矿作用以外,该地区与韧性剪切作用相关的花岗质伟晶岩中也发育众多铷、铯、钽、锂、铍等稀有金属矿化现象[188]。

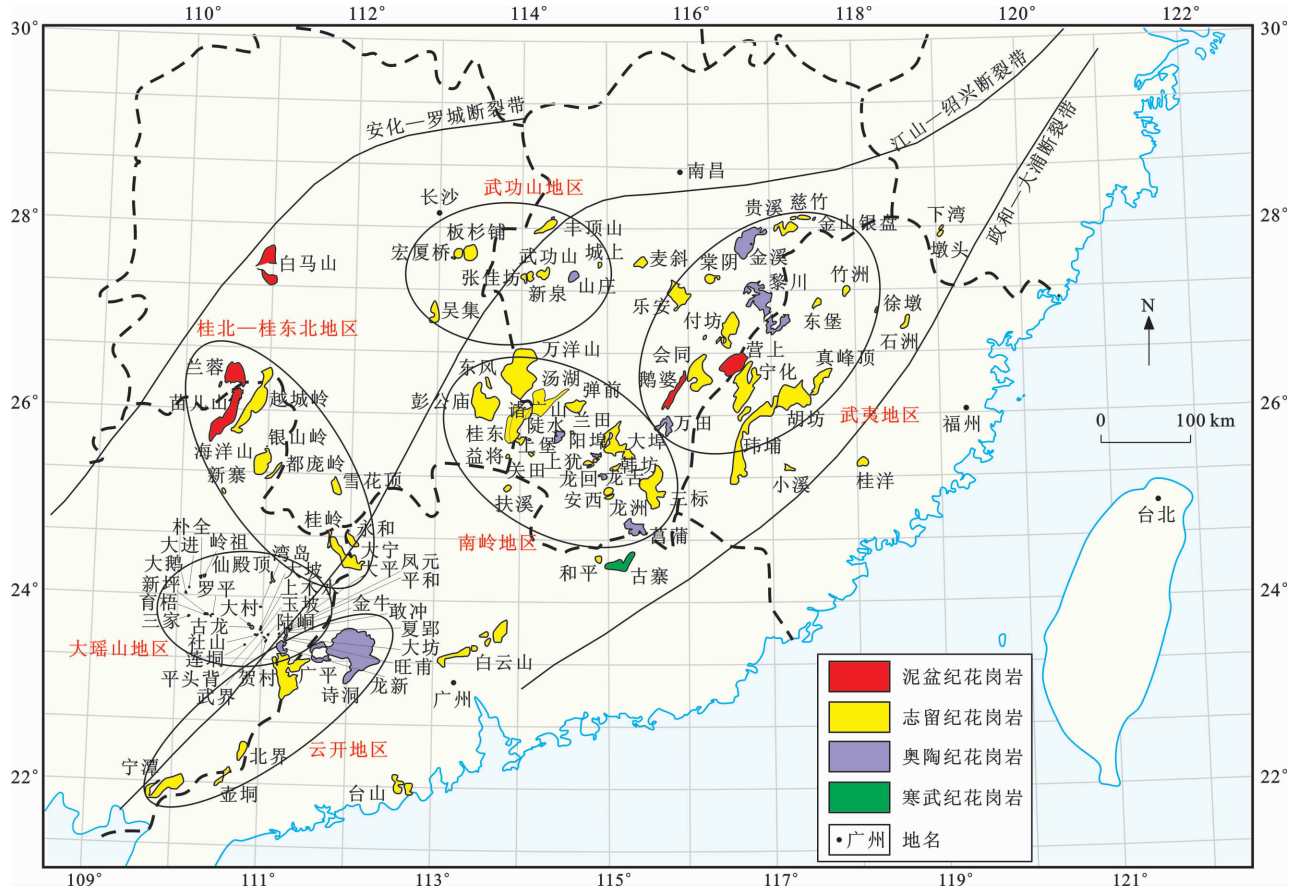
南岭地区的菖蒲混合岩与云开地区的壶洞、宁潭混合岩由混合岩和混合花岗岩组成,岩性主要是片麻状英云闪长岩、片麻状花岗闪长岩和片麻状二长花岗岩。多期次的年龄证明该地区存在加里东期岩浆混合岩化作用,主要由元古宙基底发生深熔作用而成[99.108.163.189-192],后期也经历了印支期的重新活化和改造[32.90]。

### 6 不同阶段花岗岩地球化学特征对比

前人根据地域特征对武夷、武功山、桂北—桂东北、南岭和云开 6 个地区花岗岩的全岩地球化学和同位素特征进行对比,并没有发现他们之间有明显

差异性<sup>[22,25-26,167,170]</sup>。本文按照时间从老到新的顺序,将华南地区加里东期花岗岩划分为奥陶纪(443 Ma 之前)、志留纪(443~419 Ma)和泥盆纪(419 Ma 之后)3 个阶段。从年龄峰值特征来看,从东到西、

从南向北花岗岩有变年轻的趋势,即武夷、云开地区到武功山和桂北—桂东北地区,从南岭、大瑶山到武功山和桂北—桂东北地区,年龄峰值从 440~430 Ma 变为 430~420 Ma(图 2、10)。



底图引自文献[18],有所修改

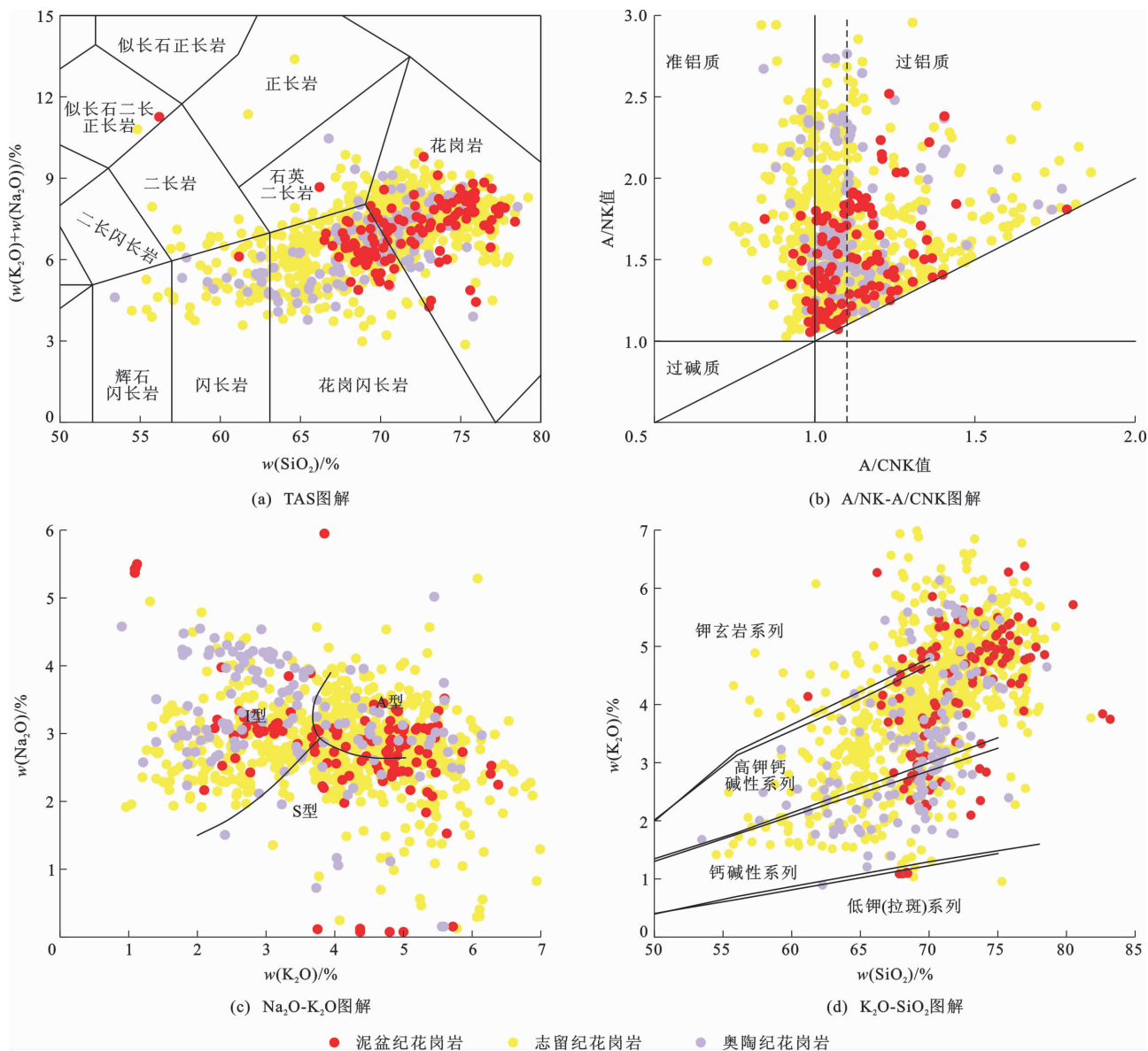
图 10 奥陶纪、志留纪、泥盆纪花岗岩空间分布

Fig. 10 Spatial Distribution of Ordovician, Silurian and Devonian Granites

志留纪花岗岩体数量最多,且岩性和地球化学特征跨度最大(图 3、11)。其 SiO<sub>2</sub> 含量为 54.5%~79.2%,岩石类型中花岗岩、花岗闪长岩、石英二长岩、闪长岩均有出露;K<sub>2</sub>O 含量为 1.0%~7.0%, Na<sub>2</sub>O 含量为 0.1%~5.3%, K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O 含量为 2.9%~10.0%[图 11(a)]。该阶段花岗岩从准铝质到过铝质(A/CNK 值为 0.8~1.9)[图 11(b)]、I-S-A 型[图 11(c)]、钙碱性系列到钾玄岩系列[图 11(d)]均有分布,表现出该阶段花岗岩物质来源、岩浆性质、成因类型的多样性。钨、锡、铜、钼等多金属成矿作用也与这一阶段的花岗岩有密切的成因关系[图 3(a)],体现出构造-岩浆-成矿作用的耦合性。相比之下,虽然奥陶纪花岗岩的特征与志留纪花岗岩相似(图 11),但这一阶段花岗岩数量仅为志留纪花岗岩的 1/3(图 3)。奥陶纪花岗岩的 SiO<sub>2</sub> 含量为

53.4%~78.6%,K<sub>2</sub>O 含量为 0.9%~6.1%,Na<sub>2</sub>O 含量为 0.2%~5.0%,K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O 含量为 3.8%~10.5%,A/CNK 值为 0.8~1.9。最晚阶段泥盆纪花岗岩的 SiO<sub>2</sub> 含量高于前两个阶段,集中在 66.2%~78.4%,由大量花岗岩和少量花岗闪长岩组成[图 11(a)],多为过铝质花岗岩(A/CNK 值为 1.0~1.5)[图 11(b)],K<sub>2</sub>O 含量较高(集中在 2.1%~6.4%),且多数为高钾钙碱性系列和钾玄岩系列[图 11(c)、(d)]。

志留纪花岗岩较其他两个阶段,显示出源区物质多来源,或者地幔物质参与更多的特征(图 12)。其锆石 ε<sub>Hf</sub>(t) 值主要为 -59.3~9.53(平均值为 -6.33),全岩 ε<sub>Nd</sub>(t) 值为 -13.18~3.7(平均值为 -6.60)。另外,奥陶纪和泥盆纪花岗岩的 Nd、Hf 同位素组成范围均比志留纪花岗岩的分布范围窄,



底图引自文献[193]~[196]

图 11 奥陶纪、志留纪、泥盆纪花岗岩分类图解

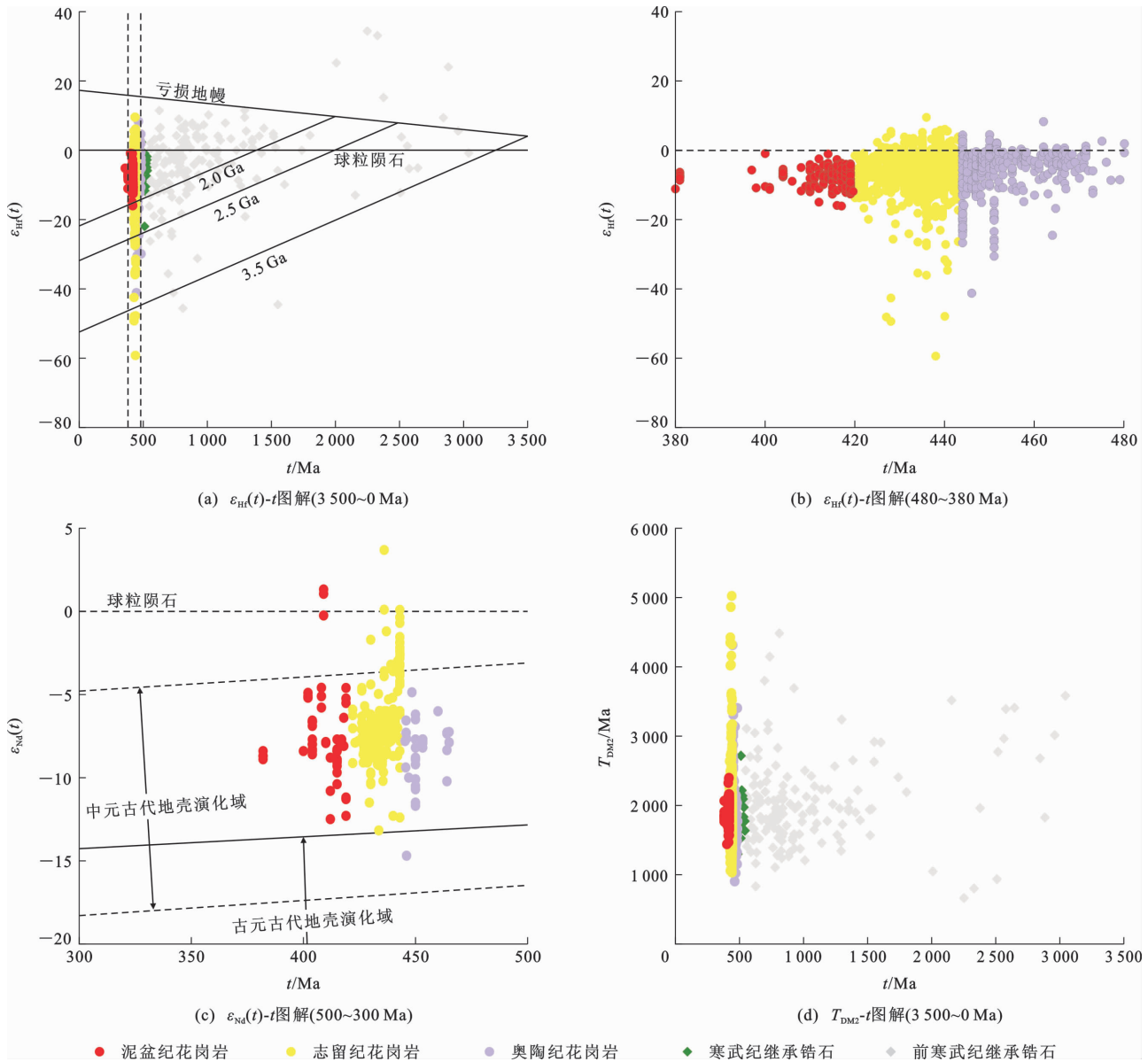
Fig. 11 Classification Diagrams of Ordovician, Silurian and Devonian Granites

但两者有不同之处[图 12(b)、(c)]。其中,泥盆纪花岗岩的锆石  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值为  $-16.04 \sim -0.90$ , 全岩  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值为  $-12.5 \sim 1.32$ ; 奥陶纪花岗岩的锆石  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值为  $-41.18 \sim 8.31$ , 全岩  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值为  $-14.7 \sim -4.87$ 。

加里东期花岗岩中存在大量寒武纪和前寒武纪的老锆石[图 12(a)、(d)]。寒武纪老锆石年龄为  $541 \sim 486$  Ma(平均值为  $512$  Ma), 它们的锆石  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值和  $T_{\text{DM2}}$  值分别为  $-22.0 \sim -0.8$  和  $2.2 \sim 1.3$  Ga。前寒武纪老锆石的年龄为  $3\,039 \sim 541$  Ma,  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值和  $T_{\text{DM2}}$  值分别为  $-45.7 \sim 34.4$  和  $4.5 \sim 0.6$  Ga。大量老锆石的存在说明花岗岩源区复杂, 岩浆发生部分熔融的温度较低, 因此携带了大量的继承锆石;

或者岩浆在上升侵位过程中与围岩发生混染作用, 混入了大量的捕获锆石。

志留纪花岗岩的源区物质更复杂或者壳幔作用更明显, 这一点也体现在元素含量和比值图解(图 13)中。该阶段花岗岩的  $\text{Zr} + \text{Nb} + \text{Ce} + \text{Y}$  含量为  $(28.7 \sim 911.6) \times 10^{-6}$  [图 13(b)],  $\text{Rb}/\text{Ba}$  值为  $0.03 \sim 92.90$ ,  $\text{Rb}/\text{Sr}$  值为  $0.1 \sim 154.5$  [图 13(c)],  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  值为  $13.6 \sim 659.5$  [图 13(d)]。相比志留纪花岗岩, 泥盆纪和奥陶纪花岗岩具有更大的相似性, 但是前者的  $\text{Sr}/\text{Y}$  值 ( $0.1 \sim 96.8$ ) 比后者 ( $0.2 \sim 35.6$ ) 更宽[图 13(a)], 这显示出前者的物质来源比后者更加复杂。泥盆纪花岗岩的  $\text{Rb}/\text{Ba}$  值 ( $0.07 \sim 23.30$ ) 和  $\text{Rb}/\text{Sr}$  值 ( $0.1 \sim 62.2$ ) 也比奥陶



图(b)是图(a)480~380 Ma部分的放大图;底图引自文献[197],有所修改

图 12 奥陶纪、志留纪、泥盆纪花岗岩的锆石 Hf 和全岩 Nd 同位素图解

Fig. 12 Zircon Hf and Whole-rock Nd Isotope Diagrams of Ordovician, Silurian, and Devonian Granites

纪花岗岩 (Rb/Ba 值为 0.09~10.43, Rb/Sr 值为 0.15~44.30) 更加宽泛 [图 13(c)], 这可能是源区物质不同或者壳幔相互作用程度不同造成的, 也可能是原始岩浆结晶分异程度不同造成的。

华南地区加里东期 3 个阶段的花岗岩均发生了一定程度的结晶分异作用 [图 14(a)、(b)], 因为在花岗质岩浆分异演化过程中, Zr 含量、Zr/Hf 值、Nb/Ta 值可以作为衡量岩浆结晶分异程度的指标。上述 3 个值随岩浆发生分异会逐渐降低; 与此相反的是, W、Sn 等元素含量不断升高 [161, 198-199]。Ballouard 等通过对过铝质花岗岩统计发现: 不成矿花岗岩 Zr/Hf 值为 26~46, Nb/Ta 值为 5~16; 钨锡

(钽) 矿花岗岩 Zr/Hf 值为 18~46, Nb/Ta 值小于 5; 稀有金属 (钨、锡、锂、铍、铌、钽、铯) 花岗岩 Zr/Hf 值小于 18, Nb/Ta 值小于 5 [161]。以此为标准, 3 个阶段花岗岩绝大多数均投图在不成矿花岗岩范围内, 少数在成钨锡花岗岩范围内, 而成稀有金属矿花岗岩极少 [图 14(c)], 这与加里东期花岗岩只有少数岩体成矿的地质事实是一致的。不同阶段花岗岩的含矿性是不同的。以 Sn 含量为例, 志留纪和泥盆纪花岗岩的 Sn 含量分别为  $(1.1 \sim 99.2) \times 10^{-6}$  和  $(7.0 \sim 42.3) \times 10^{-6}$ , 明显高于奥陶纪花岗岩 ( $(1 \sim 10) \times 10^{-6}$ ), 这一点与表 1 中含钨、锡、铜、钼、金矿花岗岩的成岩、成矿时代是相符的, 说明随着时

表1 金属矿床和稀土矿床及相关花岗岩体年龄统计结果

Table 1 Age Statistical Results of Metallic Deposits, REE Deposits and Related Granitic Plutons

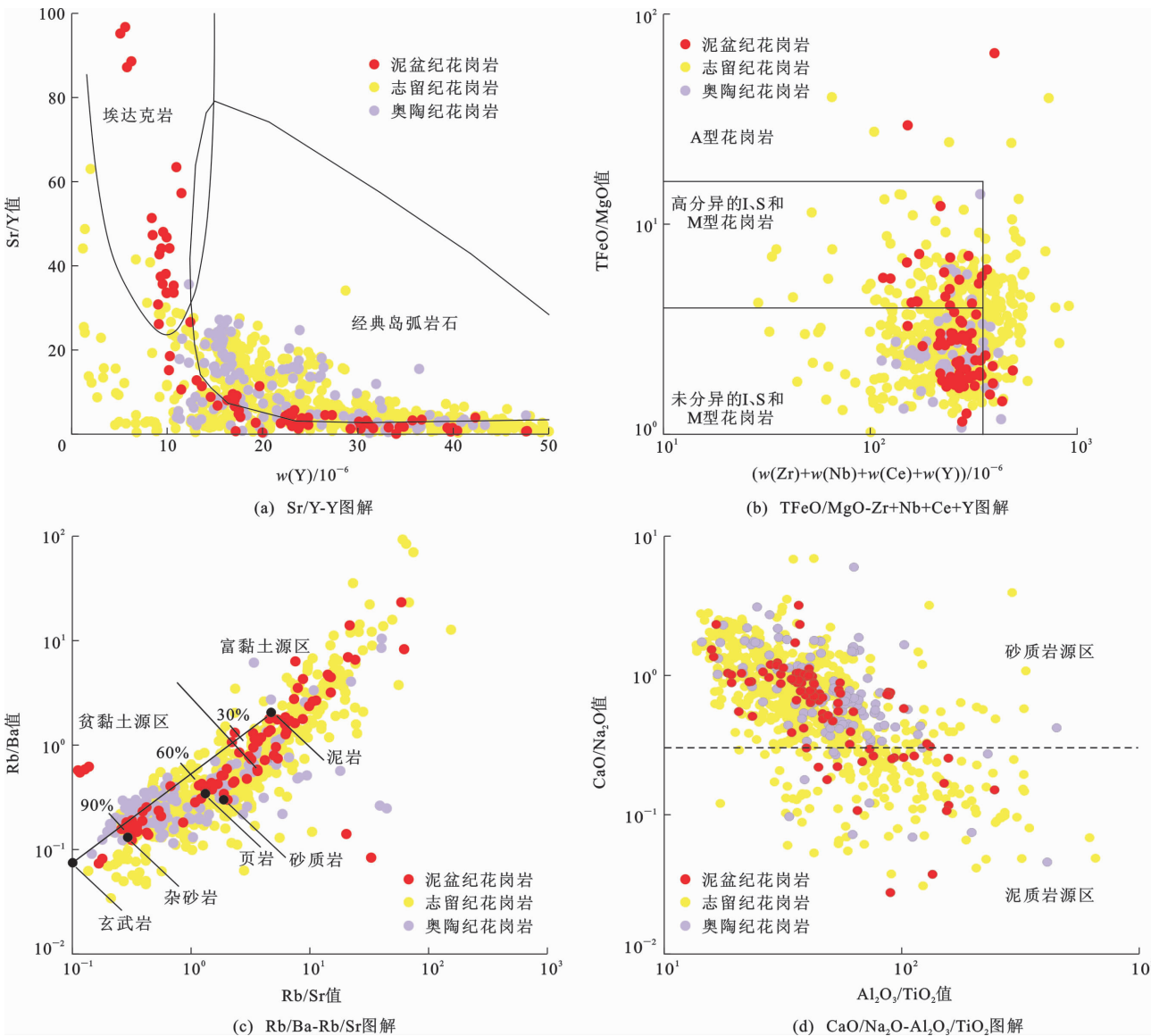
所在区域	矿床名称	矿床类型	规模	成矿岩体	成矿年龄/ Ma	成岩年龄/ Ma	岩石和矿石特征	定年方法	参考文献
大瑶山地区	社洞钨铋矿	斑岩-矽卡岩-石英脉型	大型	社山		435.8±1.3	花岗闪长岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	[137]
						438.7±3.0	黑云母花岗闪长岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	[74]
						438.0±3.0	花岗闪长岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	[23]
						432.0±1.7	花岗闪长斑岩脉	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	[137]
						438.1±2.6	花岗闪长(斑)岩脉	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	[74]
						437.8±3.4	含矿石英细脉	辉钼矿 Re-Os	[137]
	玉坡钨多金属矿	矽卡岩型	大型	玉坡		441.9±1.9	花岗闪长岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	[152]
						437.9±2.9	含矿矽卡岩	辉钼矿 Re-Os	[152]
	罗平钨铋矿	斑岩型	中型	罗平		479.6±3.6	花岗闪长岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	[23]
						435.0±3.0	含矿石英细脉	辉钼矿 Re-Os	[23]
	振山钨铋矿	石英脉型、矽卡岩型	小型			465.0	花岗闪长岩		[152]
						440.0±2.6	含矿石英脉	辉钼矿 Re-Os	[23]
	武界钨铋矿	石英脉型、矽卡岩型	矿点	武界		434.5±0.84	花岗闪长岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	[139]
						438.4±3.3	含矿石英脉	辉钼矿 Re-Os	[139]
	贺村钨铋矿	斑岩、矽卡岩型	矿点	贺村		468.2±2.6	花岗闪长岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	[23]
						438.7	含矿石英脉	辉钼矿 Re-Os	[23]
	湾岛金矿的钨铋矿脉	石英脉型	矿点	大王冲		436.4±2.4	花岗斑岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	[200]
						436.6±3.8	含矿石英脉	辉钼矿 Re-Os	[200]
上木水金矿	石英脉型/破碎带型	小型	上木水		432.6±3.2	含矿石英脉	白云母 Ar <sup>39</sup> /Ar <sup>40</sup> 坪年龄	[201]	
					428.2±7.2		白云母 Ar <sup>39</sup> /Ar <sup>40</sup> 等时线年龄		
					425.3±6.6		白云母 Ar <sup>39</sup> /Ar <sup>40</sup> 反等时线年龄		
上木水钨铜矿	矽卡岩型	小型	上木水		466.3±4.0	花岗闪长岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	[202]	
					444.0±4.0	花岗闪长岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	[203]	
					465.4±1.5	花岗闪长岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	[204]	
					466.6±5.5	含矿矽卡岩	白钨矿 Sm-Nd	[204]	
桂西地区	德保锡铜矿	矽卡岩型	中型	钦甲		412.4±1.8	花岗岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	[155]
						445.0±11.0	阳起石、石榴子石矽卡岩	辉钼矿 Re-Os 等时线年龄	[154]
		435.0±2.5	锡铜矿石、磁铁矿锡铜矿石、方解石石英锡铜矿石	辉钼矿 Re-Os 加权平均					
建屯锡铜矿	矽卡岩型	小型	钦甲	加里东期			根据侵入体年龄推断	[154]	
桂北—桂东北地区	牛塘界钨矿	矽卡岩型	中型	越城岭		429.6±4.3	黑云母花岗岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	[142]
						431.0±12.0	含白钨矿矽卡岩化角岩、含白钨矿矽卡岩化大理岩、含白钨矿泥质粉砂岩	白钨矿 Sm-Nd	
				牛塘界		421.8±2.4	细粒二云母花岗	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	[143]
						421.0±24.0	含矿矽卡岩	白钨矿 Sm-Nd	
				越城岭		410.6±4.9	白云母花岗岩	ICP-MS 锆石 U-Pb	[144]
						418.0±37.0	矽卡岩化、绿泥石化、石英脉矿石	与白钨矿共生的磷灰石原位 U-Pb	
白石顶钨铋矿	石英脉型	中型	桂岭		424.4±5.6	黑云母二长花岗岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	[176]	
					424.6±5.7	石英-辉钼矿矿脉	辉钼矿 Re-Os	[176]	
平滩钨矿	蚀变花岗岩型、石英脉型	大型	苗儿山		431.0±1.8	黑云母花岗岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	[145]	

续表 1

所在区域	矿床名称	矿床类型	规模	成矿岩体	成矿年龄/ Ma	成岩年龄/ Ma	岩石和矿石特征	定年方法	参考文献	
桂北—桂东北地区	平滩钨矿	蚀变花岗岩型、石英脉型	大型	苗儿山	427.0±5.4		蚀变黑云母二长花岗岩(含浸染状辉钨矿)、石英-辉钨矿脉、含浸染状辉钨矿浅成岩	辉钨矿 Re-Os	[145]	
	李家锡矿	云英岩型	中型	越城岭		431.0~428.0	含矿云英岩	热液锡石原位 U-Pb	[177]	
	金子岭钨矿			越城岭	372.34±2.82、 368.47±7.09		破碎带蚀变岩	Ar-Ar 坪年龄、 Ar-Ar 等时线年龄	[178]	
	独石岭钨矿	蚀变岩型、矽卡岩型	大型	越城岭			422.9±2.1、 423.2±2.4	中粒似斑状黑云母花岗岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	[146]
							420.9±2.3、 421.5±2.5	中细粒黑云母花岗岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	[146]
					417.0±35.0			白钨矿矿石、 含石英脉、绿泥石化、 蚀变花岗岩型矿石	白钨矿 Sm-Nd	[146]
					424.0±13.0			含白钨矿蚀变花岗岩	榍石原位定年	[146]
					425.0±12.0			含白钨矿蚀变花岗岩	榍石原位定年	[146]
	独石岭钨矿	矽卡岩型	大型		390.0±7.0		含矿矽卡岩	辉钨矿 Re-Os	[147]	
						422.0±11.00	斑状黑云母花岗岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	[79]	
	路冲坪钨锡铜矿	石英脉-云英岩型		苗儿山		401.6±6.3	细粒黑云母花岗岩		[179]	
					437.3~389.8			辉钨矿 Re-Os	[180]	
岩英咀钨矿	矽卡岩型	小型	岩英咀			426.2±2.3、 426.9±2.3	花岗斑岩、 花岗闪长斑岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	[181]	
						447.3±4.5、 430.0±14.0	花岗斑岩、 花岗闪长斑岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	[153]	
雪峰山地区	杨家山钨矿	石英脉型	中型	白马山		406.6±2.8	二长花岗岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	[205]	
					404.2±3.2		含矿石英脉	辉钨矿 Re-Os		
南岭地区	益将稀土钨矿	风化壳淋积型稀土矿	大型	益将		424.0±3.0	石英闪长岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	[148]	
						436.9±3.3	石英闪长岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	[149]	
		风化壳淋积型稀土矿	中型	韩坊		445.2±1.8	粗粒黑云母二长花岗岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	[206]	
	垌子下	风化壳淋积型稀土矿	中型	阳埠		461.1±1.3	黑云母花岗岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	[207]	
		风化壳淋积型稀土矿	大型	安西		416.9±9.9、 423.4±4.9	微细粒斑状黑云石英二长闪长岩、中细粒黑云母花岗闪长岩	TIMS 锆石 U-Pb	[208]	
	岗下	风化壳淋积型稀土矿	中型	三标		432.0~384.0			[209]	
		风化壳淋积型稀土矿		龙舌		457.5±1.7	中粗粒斑状黑云母花岗岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	[210]	
			大埠		423.2±3.5	花岗岩		[211]		
武夷地区		风化壳淋积型稀土矿		宁化		448.2±2.5	中粗粒黑云母花岗岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	[88]	
						415.8±3.5	片麻状花岗岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	[27]	
		风化壳淋积型稀土矿		玮埔		447.1±4.7、 440.8±3.4	似斑状中粒二云母花岗岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	[58]	

续表 1

所在区域	矿床名称	矿床类型	规模	成矿岩体	成矿年龄/Ma	成岩年龄/Ma	岩石和矿石特征	定年方法	参考文献
武夷地区		风化壳淋积型稀土矿		玮埔		431.9±4.7	片麻状黑云母二长花岗岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	[212]
		风化壳淋积型稀土矿		徐墩		491.0	黑云母二长花岗岩	白云母 K-Ar	[40]
		风化壳淋积型稀土矿		竹洲		441.0~421.0	黑云母二长花岗岩	黑云母和白云母 K-Ar	[213]



底图引自文献[214]~[216],有所修改

图 13 奥陶纪、志留纪、泥盆纪花岗岩的成因类型和源区物质判别图解

Fig. 13 Classification Diagrams of Genetic Types and Source Materials of Ordovician, Silurian and Devonian Granites

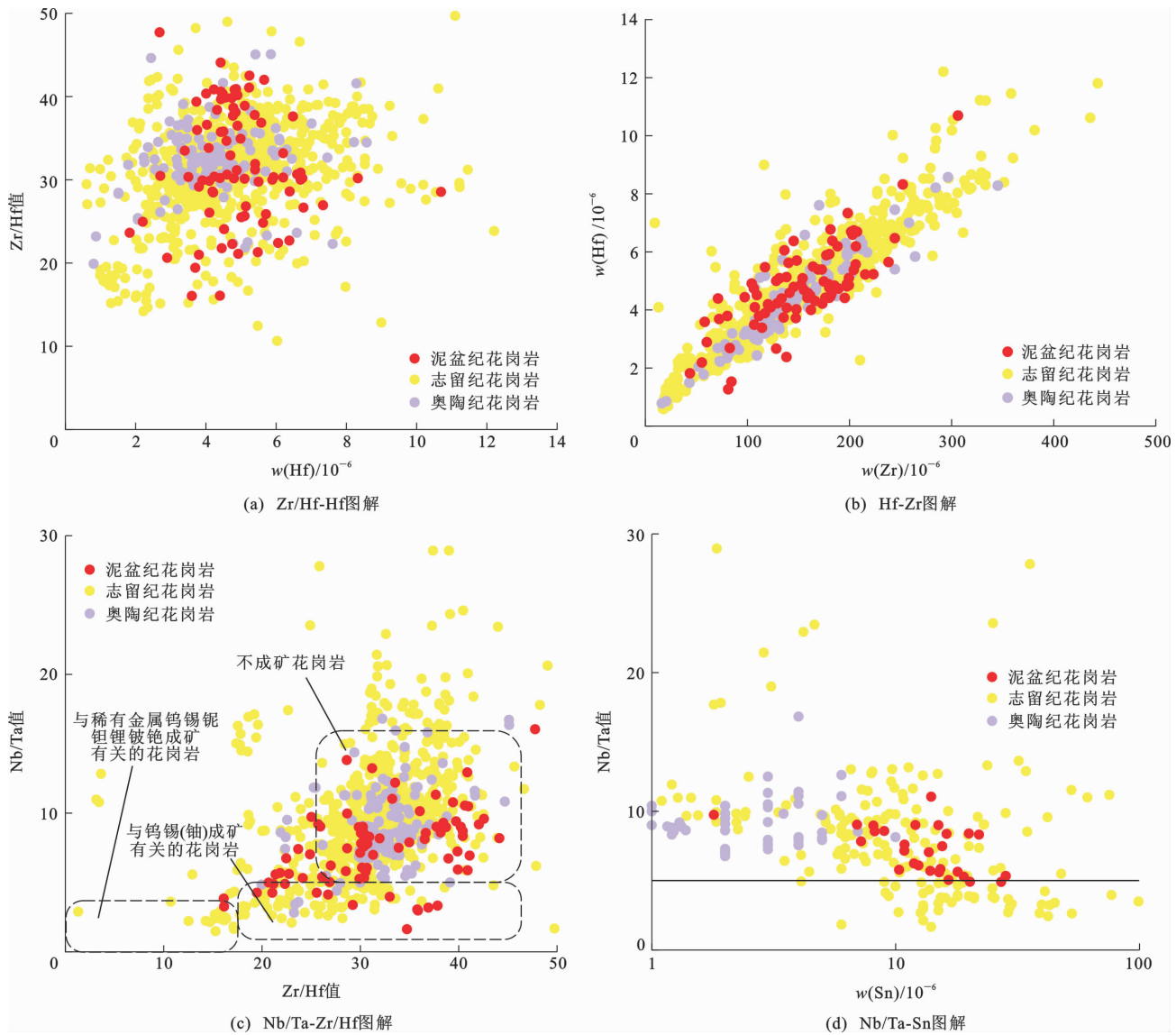
代的更新,成矿作用也逐渐增强。

## 7 结 语

本文以孙涛编制的华南地区不同时代花岗岩体

时空分布图<sup>[18]</sup>为基础,探讨了加里东期花岗岩的成岩、成矿作用特征,主要得到了以下结论。

(1)华南地区加里东期花岗岩的成矿作用在时间和空间分布上都是不均匀的,其中金属矿床(钨、



底图引自文献[160]、[161]、[198]

图 14 奥陶纪、志留纪、泥盆纪花岗岩的分异程度判别图解

Fig. 14 Classification Diagrams of Differentiation Degrees of Ordovician, Silurian, and Devonian Granites

锡、铜、钼、金)集中于桂东大瑶山和桂北—桂东北地区,成矿年龄峰值分别为 440~430 Ma 和 430~420 Ma。轻稀土矿床集中于武夷和南岭地区,由后期风化淋滤作用而形成。与金属矿有关的岩体均是未变质的块状花岗岩,与遭受变质的片麻状花岗岩在空间上没有重合性。武夷地区集中了数量最多的变质花岗岩体,是加里东运动最强烈变形地带,只发育风化淋滤型稀土矿床。

(2)桂东大瑶山和桂北—桂东北地区花岗岩地球化学的差异性主要来源于不同的源区物质组成,主要体现在:前者有较低的 SiO<sub>2</sub> 含量(52.7%~75.0%)和较高的 MgO 含量(0.3%~4.3%),后者有较高的 SiO<sub>2</sub> 含量(59.4%~83.2%)和较低的

MgO 含量(0.01%~3.20%);全岩 W、Sn、Cu 含量也不同,前者具有较低的 W 含量((0.48~77.30)×10<sup>-6</sup>)、Sn 含量(1.00~34.70)×10<sup>-6</sup>和较高的 Cu 含量((13.50~424.00)×10<sup>-6</sup>),后者具有较高的 W 含量((0.22~489.00)×10<sup>-6</sup>)、Sn 含量((3.90~99.23)×10<sup>-6</sup>)和较低的 Cu 含量((1.05~149.00)×10<sup>-6</sup>)。

(3)华南地区加里东期的奥陶纪、志留纪、泥盆纪花岗岩具有差异性,最突出的特征是志留纪花岗岩的数量最多、岩性跨度最大,元素含量和同位素组成也显示该阶段花岗岩的源区物质最复杂或者壳幔作用最强烈。这 3 个阶段花岗岩均经历了一定程度的结晶分异,只有极少数达到可以形成钨、锡金属成

矿的分异阶段;含矿性随时代变新而逐渐增加,成矿作用的高峰期主要发生在志留纪。

## 参考文献:

## References:

- [1] 华仁民,毛景文.试论中国东部中生代成矿大爆发[J].矿床地质,1999,18(4):300-307.  
HUA Ren-min, MAO Jing-wen. A Preliminary Discussion on the Mesozoic Metallogenic Explosion in East China[J]. Mineral Deposits, 1999, 18(4): 300-307.
- [2] 华仁民,陈培荣,张文兰,等.论华南地区中生代3次大规模成矿作用[J].矿床地质,2005,24(2):99-107.  
HUA Ren-min, CHEN Pei-rong, ZHANG Wen-lan, et al. Three Major Metallogenic Events in Mesozoic in South China[J]. Mineral Deposits, 2005, 24(2): 99-107.
- [3] 毛景文,华仁民,李晓波.浅议大规模成矿作用与大型矿集区[J].矿床地质,1999,18(4):291-299.  
MAO Jing-wen, HUA Ren-min, LI Xiao-bo. A Preliminary Study of Large Scale Metallogenesis and Large Clusters of Mineral Deposits[J]. Mineral Deposits, 1999, 18(4): 291-299.
- [4] 毛景文,谢桂青,郭春丽,等.南岭地区大规模钨锡多金属成矿作用:成矿时限及地球动力学背景[J].岩石学报,2007,23(10):2329-2338.  
MAO Jing-wen, XIE Gui-qing, GUO Chun-li, et al. Large-scale Tungsten-tin Mineralization in the Nanling Region, South China: Metallogenic Ages and Corresponding Geodynamic Processes[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(10): 2329-2338.
- [5] 陈骏,王汝成,朱金初,等.南岭多时代花岗岩的钨锡成矿作用[J].中国科学:地球科学,2014,44(1):111-121.  
CHEN Jun, WANG Ru-cheng, ZHU Jin-chu, et al. Multiple-aged Granitoids and Related Tungsten-tin Mineralization in the Nanling Range, South China[J]. Science China: Earth Sciences, 2014, 44(1): 111-121.
- [6] 徐克勤,刘英俊,俞受鑫,等.江西南部加里东花岗岩的发现[J].地质论评,1960,20(3):112-114.  
XU Ke-qin, LIU Ying-jun, YU Shou-jun, et al. Discovery of Caledonian Granites in Southern Jiangxi Province[J]. Geological Review, 1960, 20(3): 112-114.
- [7] 徐克勤,孙鼐,王德滋,等.华南多旋回的花岗岩类的侵入时代、岩性特征、分布规律及其成矿专属性的探讨[J].地质学报,1963,43(1):1-26.  
XU Ke-qin, SUN Nai, WANG De-zi, et al. Age, Li-

thology, Distribution and Metallogenic Specificity of Multicycle Granitoids in South China[J]. Acta Geologica Sinica, 1963, 43(1): 1-26.

- [8] 李璞,戴檀谟,邱纯一,等.内蒙和南岭地区某些伟晶岩和花岗岩的钾-氩法绝对年龄测定[J].地质科学,1963,38(1):1-9.  
LI Pu, DAI Tong-mo, QIU Chun-yi, et al. K-Ar Dating of Some Pegmatites and Granites in Inner Mongolia and Nanling Area[J]. Scientia Geologica Sinica, 1963, 38(1): 1-9.
- [9] 南京大学地质系.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.  
Department of Geology, Nanjing University. Granitoids of Different Ages in South China and Their Relationships to Metallogenesis [M]. Beijing: Science Press, 1981.
- [10] 南京大学地质系.中国东南部不同时代花岗岩类及其与某些金属矿床的成矿关系[J].中国科学,1974(1):52-62.  
Department of Geology, Nanjing University. Granitic Rocks of Different Geological Periods of Southeastern China and Their Genetic Relations to Certain Metallic Mineral Deposits[J]. Science in China, 1974(1): 52-62.
- [11] 南京大学地质系.中国东南部花岗岩类的时空分布、岩石演化、成因类型和成矿关系的研究[J].南京大学学报(自然科学),1980,16(增):1-37.  
Department of Geology, Nanjing University. Study on Temporal and Spatial Distributions, Rock Evolutions, Genetic Types and Metallogenic Relationships of Granitoids in Southeastern China[J]. Journal of Nanjing University(Natural Science), 1980, 16(S): 1-37.
- [12] 徐克勤,胡受奚,孙明志,等.华南两个成因系列花岗岩及其成矿特征[J].矿床地质,1982,1(2):1-14.  
XU Ke-qin, HU Shou-xi, SUN Ming-zhi, et al. Two Genetic Series of Granites and Their Metallogenic Characteristics in South China[J]. Mineral Deposits, 1982, 1(2): 1-14.
- [13] 莫柱孙,叶伯丹,潘维祖,等.南岭花岗岩地质学[M].北京:地质出版社,1980.  
MO Zhu-sun, YE Bo-dan, PAN Wei-zu, et al. Geology of Granites in Nanling Range[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1980.
- [14] 於崇文,骆庭川,鲍征宇,等.南岭地区区域地球化学[M].北京:地质出版社,1987.  
YU Chong-wen, LUO Ting-chuan, BAO Zheng-yu, et al. Regional Geochemistry of the Nanling District [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987.

- [15] 陈毓川,裴荣富,张宏良,等.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.  
CHEN Yu-chuan, PEI Rong-fu, ZHANG Hong-liang, et al. The Geology of Non-ferrous and Rare Metal Deposits Related to Mesozoic Granitoids in Nanling Region[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989.
- [16] 殷鸿福,吴顺宝,杜远生,等.华南是特提斯多岛洋体系的一部分[J].地球科学,1999,24(1):3-14.  
YIN Hong-fu, WU Shun-bao, DU Yuan-sheng, et al. South China Defined as Part of Tethyan Archipelagic Ocean System[J]. Earth Science, 1999, 24(1): 3-14.
- [17] 王德滋,周新民.中国东南部晚中生代花岗质火山-侵入杂岩成因与地壳演化[M].北京:科学出版社,2002.  
WANG De-zi, ZHOU Xin-min. Crustal Evolution and Petrogenesis of Late Mesozoic Granitic Volcanic-Intrusive Complex in Southeastern China[M]. Beijing: Science Press, 2002.
- [18] 孙涛.新编华南花岗岩分布图及其说明[J].地质通报,2006,25(3):332-335.  
SUN Tao. A New Map Showing the Distribution of Granites in South China and Its Explanatory Notes [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(3): 332-335.
- [19] 华仁民,张文兰,陈培荣,等.初论华南加里东花岗岩与大规模成矿作用的关系[J].高校地质学报,2013,19(1):1-11.  
HUA Ren-min, ZHANG Wen-lan, CHEN Pei-rong, et al. Relationship Between Caledonian Granitoids and Large-scale Mineralization in South China[J]. Geological Journal of China Universities, 2013, 19(1): 1-11.
- [20] 周新民.对华南花岗岩研究的若干思考[J].高校地质学报,2003,9(4):556-565.  
ZHOU Xin-min. My Thinking About Granite Geneses of South China[J]. Geological Journal of China Universities, 2003, 9(4): 556-565.
- [21] 王德滋,沈渭洲.中国东南部花岗岩成因与地壳演化[J].地学前缘,2003,10(3):209-220.  
WANG De-zi, SHEN Wei-zhou. Genesis of Granitoids and Crustal Evolution in Southeast China[J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(3): 209-220.
- [22] 程顺波,付建明,马丽艳,等.南岭地区加里东期花岗岩地球化学特征.岩石成因及含矿性评价[J].华南地质与矿产,2013,29(1):1-11.  
CHENG Shun-bo, FU Jian-ming, MA Li-yan, et al. Geochemical Characteristics, Petrogenesis and Ore Potential Evaluation of Caledonian Granitoids in Nanling Range, South China[J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2013, 29(1): 1-11.
- [23] 陈懋弘,党院,张志强,等.华南大瑶山地区加里东期钨矿床[J].矿床地质,2020,39(4):647-685.  
CHEN Mao-hong, DANG Yuan, ZHANG Zhi-qiang, et al. Caledonian Tungsten Deposits in Dayaoshan Area of South China[J]. Mineral Deposits, 2020, 39(4): 647-685.
- [24] XIA Y, XU X S, ZOU H B, et al. Early Paleozoic Crust-mantle Interaction and Lithosphere Delamination in South China Block; Evidence from Geochronology, Geochemistry, and Sr-Nd-Hf Isotopes of Granites [J]. Lithos, 2014, 184/185/186/187: 416-435.
- [25] HUANG D L, WANG X L. Reviews of Geochronology, Geochemistry, and Geodynamic Processes of Ordovician-Devonian Granitic Rocks in Southeast China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2019, 184: 104001.
- [26] 张芳荣,舒良树,王德滋,等.华南东段加里东期花岗岩类形成构造背景探讨[J].地学前缘,2009,16(1):248-260.  
ZHANG Fang-rong, SHU Liang-shu, WANG De-zi, et al. Discussions on the Tectonic Setting of Caledonian Granitoids in the Eastern Segment of South China [J]. Earth Science Frontiers, 2009, 16(1): 248-260.
- [27] 朱清波,黄文成,孟庆秀,等.华夏地块加里东期构造事件:两类花岗岩的锆石 U-Pb 年代学和 Lu-Hf 同位素制约[J].中国地质,2015,42(6):1715-1739.  
ZHU Qing-bo, HUANG Wen-cheng, MENG Qing-xiu, et al. Caledonian Tectonic Event of Cathaysia Block: Constraints on Zircon U-Pb Geochronology and Lu-Hf Isotope for Two Kinds of Granite [J]. Geology in China, 2015, 42(6): 1715-1739.
- [28] SONG Z T, XU X S, ZHOU M F, et al. A Critical Review of Early Paleozoic W and Cu Mineralized and Barren Granitoids in Southeast China: Magmatic Differentiation, Oxygen Fugacity, and Magmatic Sources [J]. Ore Geology Reviews, 2021, 131: 104025.
- [29] 孙明志,徐克勤.华南加里东花岗岩及其形成地质环境试析[J].南京大学学报(地球科学),1990(4):10-22.  
SUN Ming-zhi, XU Ke-qin. On the Caledonian Granitoids and Their Geotectonic Environments of South China [J]. Journal of Nanjing University (Earth Sciences), 1990(4): 10-22.
- [30] 郭令智,施央申,马瑞士,等.中国东南部地体构造的研究[J].南京大学学报(自然科学),1984,20(4):732-739.

- GUO Ling-zhi, SHI Yang-shen, MA Rui-shi, et al. Tectonostratigraphic Terranes of Southeast China [J]. Journal of Nanjing University (Natural Science), 1984, 20(4): 732-739.
- [31] 李晓峰, 梁金城, 冯佐海. 广西海洋山花岗岩体侵位机制[J]. 广西科学, 1997, 4(3): 188-191.  
LI Xiao-feng, LIANG Jin-cheng, FENG Zuo-hai. The Emplacement Mechanism of Haiyangshan Granite Plutons [J]. Guangxi Sciences, 1997, 4(3): 188-191.
- [32] WANG Y J, FAN W M, ZHAO G C, et al. Zircon U-Pb Geochronology of Gneissic Rocks in the Yunkai Massif and Its Implications on the Caledonian Event in the South China Block [J]. Gondwana Research, 2007, 12(4): 404-416.
- [33] WANG Y J, ZHANG A M, FAN W M, et al. Kwang-sian Crustal Anatexis Within the Eastern South China Block: Geochemical, Zircon U-Pb Geochronological and Hf Isotopic Fingerprints from the Gneissoid Granites of Wugong and Wuyi-Yunkai Domains [J]. Lithos, 2011, 127(1/2): 239-260.
- [34] 任纪舜. 论中国南部的大地构造[J]. 地质学报, 1990, 64(4): 275-288.  
REN Ji-shun. On the Geotectonics of Southern China [J]. Acta Geologica Sinica, 1990, 64(4): 275-288.
- [35] 沈渭洲, 张芳荣, 舒良树, 等. 江西宁冈岩体的形成时代、地球化学特征及其构造意义[J]. 岩石学报, 2008, 24(10): 2244-2254.  
SHEN Wei-zhou, ZHANG Fang-rong, SHU Liang-shu, et al. Formation Age, Geochemical Characteristics of the Ninggang Granite Body in Jiangxi Province and Its Tectonic Significance [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(10): 2244-2254.
- [36] 舒良树, 于津海, 贾东, 等. 华南东段早古生代造山带研究[J]. 地质通报, 2008, 27(10): 1581-1593.  
SHU Liang-shu, YU Jin-hai, JIA Dong, et al. Early Paleozoic Orogenic Belt in the Eastern Segment of South China [J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(10): 1581-1593.
- [37] LIN S F, XING G F, DAVIS D W, et al. Appalachian-style Multi-terrane Wilson Cycle Model for the Assembly of South China [J]. Geology, 2018, 46(4): 319-322.
- [38] 翁文灏. 中国区域矿产论[J]. 地质汇报, 1920(2): 9-24.  
WENG Wen-hao. Regional Minerals of China [J]. Geology Report, 1920(2): 9-24.
- [39] 中国科学院地球化学研究所. 华南花岗岩类的地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1979.  
Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. Geochemistry of Granitoids in South China [M]. Beijing: Science Press, 1979.
- [40] 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.  
The Granitoid Research Group of the Nanling Project, Ministry of Geology and Mineral Resources. Geology of Granitoid of Nanling Region and Their Petrogenesis and Mineralization [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989.
- [41] 高山, 金振民. 拆沉作用及其壳幔演化动力学意义[J]. 地质科技情报, 1997, 16(1): 1-9.  
GAO Shan, JIN Zhen-min. Delamination and Its Geodynamical Significance for the Crust-mantle Evolution [J]. Geological Science and Technology Information, 1997, 16(1): 1-9.
- [42] XU X S, O' REILLY S Y, ZHOU X M, et al. A Xenolith-derived Geotherm and the Crust-mantle Boundary at Qilin, Southeastern China [J]. Lithos, 1996, 38(1/2): 41-62.
- [43] 于津海, 徐夕生, 周新民. 华南沿海基性麻粒岩捕虏体的地球化学研究和下地壳组成[J]. 中国科学: D辑, 地球科学, 2002, 32(5): 383-393.  
YU Jin-hai, XU Xi-sheng, ZHOU Xin-min. Late Mesozoic Crust-mantle Interaction and Lower Crust Component in South China: A Geochemical Study of Mafic Granulite Xenoliths from Cenozoic Basalts [J]. Science in China: Series D, Earth Sciences, 2002, 32(5): 383-393.
- [44] 徐克勤, 丁毅. 江西南部钨矿地质志[R]. 南京: 经济部中央地质调查所, 1943.  
XU Ke-qin, DING Yi. Tungsten Geology of South Jiangxi [R]. Nanjing: Central Institute of Geological Survey, Ministry of Economy, 1943.
- [45] 黄汲清. 中国主要地质构造单元[M]. 北京: 地质出版社, 1954.  
HUANG Ji-qing. Main Geotectonic Units of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1954.
- [46] 毛建仁, 厉子龙, 赵希林, 等. 赣南上犹岩体的锆石 SHRIMP 定年和地球化学特征及其构造意义[C]// 中国矿物岩石地球化学学会. 中国矿物岩石地球化学学会第11届学术年会. 北京: 中国矿物岩石地球化学学会, 2007: 29-31.  
MAO Jian-ren, LI Zi-long, ZHAO Xi-lin, et al. Zircon SHRIMP Dating, Geochemical Characteristics and Tectonic Significance [C]// Chinese Society for Mineralogy, Petrology and Geochemistry. Chinese Society for Mineralogy, Petrology and Geochemistry: 11th

- Annual Academic Conference, Beijing; Chinese Society for Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2007; 29-31.
- [47] 于津海, 王丽娟, O'REILLY S Y, 等. 赣南存在古元古代基底: 来自上犹陡水煌斑岩中捕虏锆石的 U-Pb-Hf 同位素证据[J]. 科学通报, 2009, 54(7): 898-905.  
YU Jin-hai, WANG Li-juan, O'REILLY S Y, et al. Paleoproterozoic Basement Beneath the Southern Jiangxi Province; Evidence from U-Pb Ages and Lu-Hf Isotopes in Zircons from the Doushui Lamprophyre[J]. Chinese Science Bulletin, 2009, 54(7): 898-905.
- [48] 赵金科, 张文佑. 广西地质(一): 地层概要[M]. 北京: 科学出版社, 1958.  
ZHAO Jin-ke, ZHANG Wen-you. Geology of Guangxi Province(Number One); Stratigraphy Summary[M]. Beijing; Science Press, 1958.
- [49] 李璞. 南岭及其邻区岩浆岩及成矿期的绝对年龄研究简报[Z]. 广州: 南方区测会议, 1962.  
LI Pu. Brief Report of Absolute Age Study of Magmatic Rocks and Metallogenic Epochs in the Nanling and Adjacent Areas[Z]. Guangzhou; South Regional Survey Conference, 1962.
- [50] 李志才. 广西东北部的加里东期花岗岩[J]. 地质论评, 1964, 22(5): 336.  
LI Zhi-cai. The Caledonian Granites in Northeastern Guangxi Province [J]. Geological Review, 1964, 22(5): 336.
- [51] 左国朝, 谢瑞征. 湘西雪峰山区加里东期花岗岩的发现[J]. 地质论评, 1965, 23(6): 514-515.  
ZUO Guo-chao, XIE Rui-zheng. Discovery of the Caledonian Granites in the Xuefeng Mountain in Western Hunan[J]. Geological Review, 1965, 23(6): 514-515.
- [52] 叶伯丹, 李志昌. 南岭及其周围地区花岗岩类同位素地质年代学研究[C]//中国地质科学院宜昌地质矿产研究所. 中国地质科学院宜昌地质矿产研究所文集. 宜昌: 中国地质科学院宜昌地质矿产研究所, 1980: 56-75.  
YE Bo-dan, LI Zhi-chang. Isotope Geochronology of Granitoids in the Nanling and Adjacent Areas[C]// Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences. Collection of Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences. Yichang: Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, 1980: 56-75.
- [53] 黄莹, 孙世华, DEPAOLO D J, 等. 福建省白垩纪岩浆岩 Nd, Sr 同位素研究[J]. 岩石学报, 1986, 2(2): 50-63.  
HUANG Xuan, SUN Shi-hua, DEPAOLO D J, et al. Nd-Sr Isotope Study of Cretaceous Magmatic Rocks from Fujian Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 1986, 2(2): 50-63.
- [54] 黄莹, DEPAOLO D J. 华南古生代花岗岩类 Nd-Sr 同位素研究及华南基底[J]. 岩石学报, 1989, 5(1): 28-36.  
HUANG Xuan, DEPAOLO D J. Study of Sources of Paleozoic Granitoids and the Basement of South China by Means of Nd-Sr Isotope [J]. Acta Petrologica Sinica, 1989, 5(1): 28-36.
- [55] 邓访陵. 诸广山花岗岩复式岩基南部的同位素地质年代学[J]. 地球化学, 1987, 16(2): 141-152.  
DENG Fang-ling. Isotopic Geochronology of the Southern Zhuguangshan Granite Batholith [J]. Geochimica, 1987, 16(2): 141-152.
- [56] 李献华. 万洋山—诸广山花岗岩复式岩基的岩浆活动时代与地壳运动[J]. 中国科学: B 辑, 1990, 9(7): 747-755.  
LI Xian-hua. Magmatic Epoch and Crustal Movement of Wanyangshan-Zhuguangshan Granite Complex Batholith [J]. Science in China; Series B, 1990, 9(7): 747-755.
- [57] 陈正宏, 李寄岫, 谢佩珊, 等. 利用 EMP 独居石定年法探讨浙闽武夷山地区变质基底岩石与花岗岩的年龄[J]. 高校地质学报, 2008, 14(1): 1-15.  
CHEN Cheng-hong, LEE Chi-yu, HSIEH Pei-shan, et al. Approaching the Age Problem for Some Metamorphosed Precambrian Basement Rocks and Phanerozoic Granitic Bodies in the Wuyishan Area; The Application of EMP Monazite Age Dating [J]. Geological Journal of China Universities, 2008, 14(1): 1-15.
- [58] 徐先兵, 张岳桥, 舒良树, 等. 闽西南玮埔岩体和赣南菖蒲混合岩锆石 LA-ICPMS U-Pb 年代学: 对武夷山加里东运动时代的制约[J]. 地质论评, 2009, 55(2): 277-285.  
XU Xian-bing, ZHANG Yue-qiao, SHU Liang-shu, et al. Zircon LA-ICPMS U-Pb Dating of the Weipu Granitic Pluton in Southwest Fujian and the Changpu Migmatite in South Jiangxi; Constrains to the Timing of Caledonian Movement in Wuyi Mountains [J]. Geological Review, 2009, 55(2): 277-285.
- [59] 张菲菲, 王岳军, 范蔚茗, 等. 湘东—赣西地区早古生代晚期花岗岩体的 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 定年研究[J]. 地球化学, 2010, 39(5): 414-426.  
ZHANG Fei-fei, WANG Yue-jun, FAN Wei-ming, et al. LA-ICPMS Zircon U-Pb Geochronology of Late

- Early Paleozoic Granites in Eastern Hunan and Western Jiangxi Provinces, South China[J]. *Geochimica*, 2010, 39(5):414-426.
- [60] YAO W H, LI Z X, LI W X, et al. Post-kinematic Lithospheric Delamination of the Wuyi-Yunkai Orogen in South China: Evidence from ca. 435 Ma High-Mg Basalts[J]. *Lithos*, 2012, 154: 115-129.
- [61] 张芳荣. 江西中—南部加里东期花岗岩地质地球化学特征及其成因[D]. 南京:南京大学, 2011.
- ZHANG Fang-rong. The Geological and Geochemical Characteristics and Its Petrogenesis for Caledonian Granites in the Central-southern Jiangxi Province [D]. Nanjing: Nanjing University, 2011.
- [62] 苏晓云, 郭春丽, 陈振宇, 等. 赣南加里东期陡水岩体的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其稀土含矿性探讨[J]. *大地构造与成矿学*, 2014, 38(2): 334-346.
- SU Xiao-yun, GUO Chun-li, CHEN Zhen-yu, et al. Zircon U-Pb Age, Geochemistry and Mineralization Prospective of the Caledonian Doushui Granitic Pluton in Southern Jiangxi Province[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2014, 38(2): 334-346.
- [63] 程裕淇, 李 璞. 关于我国地质年代学研究的一些成果的讨论[J]. *科学通报*, 1964, 9(8): 659-666.
- CHENG Yu-qi, LI Pu. Discussion on Some Achievements of Geochronological Studies in China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1964, 9(8): 659-666.
- [64] 张有正. 广东省岩浆旋回划分及其特征简介[C]// 中国地质学会. 中国地质学会第一届矿物、岩石、地球化学专业学术会议论文选集(岩石部分). 北京: 中国地质学会, 1964: 11-13.
- ZHANG You-zheng. Division and Diagnosis of Magmatic Cycle in Guangdong[C]// Geological Society of China. Selected Papers(Rock Section) of the 1st Academic Conference on Mineralogy, Petrology and Geochemistry, Geological Society of China. Beijing: Geological Society of China, 1964: 11-13.
- [65] 张祖还. 华南不同时代花岗岩的分期问题[J]. *南京大学学报(自然科学)*, 1974, 10(2): 89-98.
- ZHANG Zu-huan. Periodization of Granites with Different Ages in South China[J]. *Journal of Nanjing University(Nature Science)*, 1974, 10(2): 89-98.
- [66] 王联魁, 范嗣昆, 朱为芳, 等. 关于南岭花岗岩时代和分期讨论的倡议[J]. *地球化学*, 1976, 6(1): 18-22.
- WANG Lian-kui, FAN Si-kun, ZHU Wei-fang, et al. A Proposal for Further Discussion on the Ages and Periodic Division of Granites in Nanling Region, South China[J]. *Geochimica*, 1976, 6(1): 18-22.
- [67] 王联魁, 范嗣昆, 朱为芳, 等. 南岭花岗岩时代和分期讨论结果的综述[J]. *地球化学*, 1981, 11(3): 281-293.
- WANG Lian-kui, FAN Si-kun, ZHU Wei-fang, et al. Age and Time Division of Granites in Nanling Region, South China: A Review[J]. *Geochimica*, 1981, 11(3): 281-293.
- [68] 陈好寿. 关于南岭地区燕山期在花岗岩浆活动的分期问题[J]. *地球化学*, 1978, 8(3): 209-225.
- CHEN Hao-shou. Problems Concerning the Geochronological Division of Yanshanian Granitic Magmatism in the Nanling Region[J]. *Geochimica*, 1978, 8(3): 209-225.
- [69] 胡受奚, 施央申, 冯祖钧, 等. 关于我国东南部不同时代花岗岩的年龄及分期问题的讨论[J]. *地球化学*, 1979, 9(3): 239-248.
- HU Shou-xi, SHI Yang-shen, FENG Zu-jun, et al. On the Geological Ages of Granitic Rocks in Southeastern China and Their Geochronological Division [J]. *Geochimica*, 1979, 9(3): 239-248.
- [70] 王德滋. 华南花岗岩研究的回顾与展望[J]. *高校地质学报*, 2004, 10(3): 305-314.
- WANG De-zi. The Study of Granitic Rocks in South China: Looking Back and Forward [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2004, 10(3): 305-314.
- [71] 郝 义. 华南加里东期构造变形特征和动力学机制[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
- HAO Yi. Caledonian Structural Characteristics and Dynamics in South China[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010.
- [72] 王 磊, 龙文国, 周 岱. 云开地区加里东期花岗岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *中国地质*, 2013, 40(4): 1016-1029.
- WANG Lei, LONG Wen-guo, ZHOU Dai. Zircon LA-ICP-MS U-Pb Age of Caledonian Granites from Precambrian Basement in Yunkai Area and Its Geological Implications[J]. *Geology in China*, 2013, 40(4): 1016-1029.
- [73] WANG Y J, FAN W M, ZHANG G W, et al. Phanerozoic Tectonics of the South China Block: Key Observations and Controversies [J]. *Gondwana Research*, 2013, 23(4): 1273-1305.
- [74] 李 巍, 毕诗健, 杨 振, 等. 桂东大瑶山南缘社山花岗岩闪长岩的锆石 U-Pb 年龄及 Hf 同位素特征: 对区内加里东期成岩成矿作用的制约[J]. *地球科学*, 2015, 40(1): 17-33.
- LI Wei, BI Shi-jian, YANG Zhen, et al. Zircon U-Pb Age and Hf Isotope Characterization of Sheshan Granodiorite in Southern Edge of Dayaoshan, Gui-

- dong: Constraints on Caledonian Diagenesis and Mineralization[J]. *Earth Science*, 2015, 40(1): 17-33.
- [75] 关义立, 袁超, 龙晓平, 等. 华南早古生代花岗岩中暗色包体的成因: 岩石学、地球化学和锆石年代学证据[J]. *大地构造与成矿学*, 2016, 40(1): 109-124.  
GUAN Yi-li, YUAN Chao, LONG Xiao-ping, et al. Genesis of Mafic Enclaves from Early Paleozoic Granites in the South China Block: Evidence from Petrology, Geochemistry and Zircon U-Pb Geochronology[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2016, 40(1): 109-124.
- [76] 李三忠, 李玺瑶, 赵淑娟, 等. 全球早古生代造山带(Ⅲ): 华南陆内造山[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2016, 46(4): 1005-1025.  
LI San-zhong, LI Xi-yao, ZHAO Shu-juan, et al. Global Early Paleozoic Orogens (Ⅲ): Intracontinental Orogen in South China[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2016, 46(4): 1005-1025.
- [77] 隗含涛, 邵拥军, 汪程, 等. 湘东北金鸡金矿床岩体成岩机制[J]. *地球学报*, 2020, 41(2): 253-266.  
WEI Han-tao, SHAO Yong-jun, WANG Cheng, et al. Petrogenesis of the Granitoids in the Jinji Au Deposit, Northeastern Hunan Province[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2020, 41(2): 253-266.
- [78] 柏道远, 钟响, 贾朋远, 等. 南岭西段加里东期越城岭岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄、地质地球化学特征及其形成构造背景[J]. *地球化学*, 2015, 44(1): 27-42.  
BAI Dao-yuan, ZHONG Xiang, JIA Peng-yuan, et al. The Zircon SHRIMP U-Pb Dating, Geochemical Characteristics and Tectonic Setting of Caledonian Yuechengling Pluton in the Western Segment of the Nanling Mountains[J]. *Geochimica*, 2015, 44(1): 27-42.
- [79] 林书平, 伍静, 黄文婷, 等. 桂东北苗儿山—越城岭东北部界牌钨-铜矿区成矿岩体锆石 U-Pb 年龄及华南加里东期成矿分析[J]. *大地构造与成矿学*, 2017, 41(6): 1116-1127.  
LIN Shu-ping, WU Jing, HUANG Wen-ting, et al. Zircon U-Pb Ages of Ore-bearing Intrusions in Jiepai W-Cu Deposit Northeastern Guangxi and Implication on Caledonian Mineralization in South China[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2017, 41(6): 1116-1127.
- [80] 楼法生, 沈渭洲, 王德滋, 等. 江西武功山穹隆复式花岗岩的锆石 U-Pb 年代学研究[J]. *地质学报*, 2005, 79(5): 636-644.  
LOU Fa-sheng, SHEN Wei-zhou, WANG De-zi, et al. Zircon U-Pb Isotopic Chronology of the Wugongshan Dome Compound Granite in Jiangxi Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2005, 79(5): 636-644.
- [81] 伍光英, 马铁球, 冯艳芳, 等. 南岭万洋山加里东期花岗岩地质地球化学特征及其成因[J]. *中国地质*, 2008, 35(4): 608-617.  
WU Guang-ying, MA Tie-qiu, FENG Yan-fang, et al. Geological and Geochemical Characteristics and Genesis of the Caledonian Wanyangshan Granite in the Nanling Mountains, South China [J]. *Geology in China*, 2008, 35(4): 608-617.
- [82] 程顺波, 付建明, 徐德明, 等. 桂东北大宁岩体锆石 SHRIMP 年代学和地球化学研究[J]. *中国地质*, 2009, 36(6): 1278-1288.  
CHENG Shun-bo, FU Jian-ming, XU De-ming, et al. Zircon SHRIMP U-Pb Dating and Geochemical Characteristics of Daning Batholith in Northeast Guangxi [J]. *Geology in China*, 2009, 36(6): 1278-1288.
- [83] 张文兰, 王汝成, 雷泽恒, 等. 湘南彭公庙加里东期含白钨矿细晶岩脉的发现[J]. *科学通报*, 2011, 56(18): 1448-1454.  
ZHANG Wen-Lan, WANG Ru-cheng, LEI Ze-heng, et al. Zircon U-Pb Dating Confirms Existence of a Caledonian Scheelite-bearing Aplitic Vein in the Penggongmiao Granite Batholith, South Hunan[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2011, 56(18): 1448-1454.
- [84] SONG M J, SHU L S, SANTOSH M, et al. Late Early Paleozoic and Early Mesozoic Intracontinental Orogeny in the South China Craton: Geochronological and Geochemical Evidence[J]. *Lithos*, 2015, 232: 360-374.
- [85] 宋美佳. 华南早古生代与早中生代陆内构造演化[D]. 南京: 南京大学, 2017.  
SONG Mei-jia. Early Paleozoic and Early Mesozoic Intracontinental Tectonic Evolution in South China [D]. Nanjing: Nanjing University, 2017.
- [86] SHU L S, SONG M J, YAO J L. Appalachian-style Multi-terrane Wilson Cycle Model for the Assembly of South China[J]. *Geology*, 2018, 46(4): 319-322.
- [87] 刘家远. 江西花岗岩类的演化与金属成矿作用[J]. *大地构造与成矿学*, 1986, 10(1): 35-52.  
LIU Jia-yuan. Evolution and Metallization of Granitoids in Jiangxi, China[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 1986, 10(1): 35-52.
- [88] 张爱梅, 王岳军, 范蔚茗, 等. 闽西南清流地区加里东期花岗岩锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位素组成研究[J]. *大地构造与成矿学*, 2010, 34(3): 408-418.  
ZHANG Ai-mei, WANG Yue-jun, FAN Wei-ming, et al. LA-ICPMS Zircon U-Pb Geochronology and Hf Isotopic Compositions of Caledonian Granites from the Qingliu Area, Southwest Fujian[J]. *Geotectonica*

- et Metallogenia, 2010, 34(3): 408-418.
- [89] 江西省地质矿产局. 江西省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1984.  
Bureau of Geology and Mineral of Jiangxi Province. Regional Geology of Jiangxi Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1984.
- [90] WAN Y S, LIU D Y, XU M H, et al. SHRIMP U-Pb Zircon Geochronology and Geochemistry of Metavolcanic and Metasedimentary Rocks in Northwestern Fujian, Cathaysia Block, China: Tectonic Implications and the Need to Redefine Lithostratigraphic Units [J]. Gondwana Research, 2007, 12(1/2): 166-183.
- [91] WAN Y S, LIU D Y, WILDE S A, et al. Evolution of the Yunkai Terrane, South China: Evidence from SHRIMP Zircon U-Pb Dating, Geochemistry and Nd Isotope [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2010, 37: 140-153.
- [92] WANG Y J, WU C M, ZHANG A M, et al. Kwang-sian and Indosinian Reworking of the Eastern South China Block: Constraints on Zircon U-Pb Geochronology and Metamorphism of Amphibolites and Granulites [J]. Lithos, 2012, 150: 227-242.
- [93] LI Z X, LI X H, WARTHON J A, et al. Magmatic and Metamorphic Events During the Early Paleozoic Wuyi-Yunkai Orogeny, Southeastern South China: New Age Constraints and Pressure-temperature Conditions [J]. Geological Society of America Bulletin, 2010, 122(5/6): 772-793.
- [94] 李献华. 万洋山—诸广山加里东期花岗岩的形成机制:微量元素和稀土元素地球化学证据[J]. 地球化学, 1993, 19(1): 35-44.  
LI Xian-hua. On the Genesis of Caledonian Granitoid Rocks at Wanyangshan and Zhuguangshan, Southeast China: Evidence from Trace Elements and Rare-earth Elements Geochemistry [J]. Geochimica, 1993, 19(1): 35-44.
- [95] 舒良树. 华南前泥盆纪构造演化:从华夏地块到加里东期造山带[J]. 高校地质学报, 2006, 12(4): 418-431.  
SHU Liang-shu. Pre-Devonian Tectonic Evolution of South China from Cathaysian Block to Caledonian Period Folded Orogenic Belt [J]. Geological Journal of China Universities, 2006, 12(4): 418-431.
- [96] SHU L S, WANG B, CAWOOD P A, et al. Early Paleozoic and Early Mesozoic Intraplate Tectonic and Magmatic Events in the Cathaysia Block, South China [J]. Tectonics, 2015, 34(8): 1600-1621.
- [97] 舒良树, 陈祥云, 楼法生. 华南前侏罗纪构造[J]. 地质学报, 2020, 94(2): 333-360.  
SHU Liang-shu, CHEN Xiang-yun, LOU Fa-sheng. Pre-Jurassic Tectonics of the South China [J]. Acta Geologica Sinica, 2020, 94(2): 333-360.
- [98] HUANG X L, YU Y, LI J, et al. Geochronology and Petrogenesis of the Early Paleozoic I-type Granite in the Taishan Area, South China: Middle-lower Crustal Melting During Orogenic Collapse [J]. Lithos, 2013, 177: 268-284.
- [99] 覃小锋, 王宗起, 胡贵昂, 等. 两广交界地区壶洞片麻状复式岩体的年代学和地球化学:对云开地块北缘早古生代构造-岩浆作用的启示[J]. 岩石学报, 2013, 29(9): 3115-3130.  
QIN Xiao-feng, WANG Zong-qi, HU Gui-ang, et al. Geochronology and Geochemistry of Hudong Gneissic Composite Pluton in the Junction of Guangdong and Guangxi Provinces: Implications for Early Paleozoic Tectono-magmatism Along the Northern Margin of Yunkai Massif [J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(9): 3115-3130.
- [100] GUAN Y L, YUAN C, SUN M, et al. I-type Granitoids in the Eastern Yangtze Block: Implications for the Early Paleozoic Intracontinental Orogeny in South China [J]. Lithos, 2014, 206/207: 34-51.
- [101] ZHANG F F, WANG Y J, ZHANG A M, et al. Geochronological and Geochemical Constraints on the Petrogenesis of Middle Paleozoic (Kwang-sian) Massive Granites in the Eastern South China Block [J]. Lithos, 2012, 150: 188-208.
- [102] ZHANG Q, JIANG Y H, WANG G C, et al. Origin of Silurian Gabbros and I-type Granites in Central Fujian, SE China: Implications for the Evolution of the Early Paleozoic Orogen of South China [J]. Lithos, 2015, 216/217: 285-297.
- [103] ZHONG Y F, WANG L X, ZHAO J H, et al. Partial Melting of an Ancient Sub-continental Lithospheric Mantle in the Early Paleozoic Intracontinental Regime and Its Contribution to Petrogenesis of the Coeval Peraluminous Granites in South China [J]. Lithos, 2016, 264: 224-238.
- [104] FENG S J, ZHAO K D, LING H F, et al. Geochronology, Elemental and Nd-Hf Isotopic Geochemistry of Devonian A-type Granites in Central Jiangxi, South China: Constraints on Petrogenesis and Post-collisional Extension of the Wuyi-Yunkai Orogeny [J]. Lithos, 2014, 206/207: 1-18.
- [105] CAI D W, TANG Y, ZHANG H, et al. Petrogenesis and Tectonic Setting of the Devonian Xiqin A-type

- Granite in the Northeastern Cathaysia Block, SE China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2017, 141: 43-58.
- [106] XIN Y J, LI J H, RATSCHBACHER L, et al. Early Devonian(415—400 Ma) A-type Granitoids and Diabases in the Wuyishan, Eastern Cathaysia; A Signal of Crustal Extension Coeval with the Separation of South China from Gondwana[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2020, 132(11/12): 2295-2317.
- [107] 李欢, 刘云华, 李真, 等. 广西大瑶山大进花岗岩岩体的年代学、地球化学特征及其地质意义[J]. *东华理工大学学报(自然科学版)*, 2016, 39(1): 29-37.  
LI Huan, LIU Yun-hua, LI Zhen, et al. Geochemical Characteristics and Geological Significance of Granite Geochronology in Dayao Mountain Guangxi[J]. *Journal of East China University of Technology(Nature Science Edition)*, 2016, 39(1): 29-37.
- [108] 彭松柏, 金振民, 刘云华, 等. 云开造山带强过铝深熔花岗岩地球化学、年代学及构造背景[J]. *地球科学*, 2006, 31(1): 110-120.  
PENG Song-bai, JIN Zhen-min, LIU Yun-hua, et al. Petrochemistry, Chronology and Tectonic Setting of Strong Peraluminous Anatectic Granitoids in Yunkai Orogenic Belt, Western Guangdong Province, China[J]. *Earth Science*, 2006, 31(1): 110-120.
- [109] QIU X F, ZHAO X M, YANG H M, et al. Petrogenesis of the Early Palaeozoic Granitoids from the Yunkai Massif, South China Block; Implications for a Tectonic Transition from Compression to Extension During the Caledonian Orogenic Event[J]. *Geological Magazine*, 2017, 155(8): 1776-1792.
- [110] 许德如, 陈广浩, 夏斌, 等. 湘东地区板杉铺加里东期埃达克质花岗岩闪长岩的成因及地质意义[J]. *高校地质学报*, 2006, 12(4): 507-521.  
XU De-ru, CHEN Guang-hao, XIA Bin, et al. The Caledonian Adakite Like Granodiorites in Banshanpu Area Eastern Hunan Province South China Petrogenesis and Geological Significance[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2006, 12(4): 507-521.
- [111] 刘锐, 张利, 周汉文, 等. 闽西北加里东期混合岩及花岗岩的成因: 同变形地壳深熔作用[J]. *岩石学报*, 2008, 24(6): 1205-1222.  
LIU Rui, ZHANG Li, ZHOU Han-wen, et al. Petrogenesis of the Caledonian Migmatites and Related Granites in Northwestern Fujian Province, South China: Syn-deformational Crustal Anatexis[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(6): 1205-1222.
- [112] LIU R, ZHOU H W, ZHANG L. Zircon U-Pb Ages and Hf Isotope Compositions of the Mayuan Migmatite Complex, NW Fujian Province, Southeast China: Constraints on the Timing and Nature of a Regional Tectonothermal Event Associated with the Caledonian Orogeny[J]. *Lithos*, 2010, 119: 163-180.
- [113] LI L M, MIN S, WANG Y J, et al. U-Pb and Hf Isotopic Study of Zircons from Migmatized Amphibolites in the Cathaysia Block; Implications for the Early Paleozoic Peak Tectonothermal Event in Southeastern China[J]. *Gondwana Research*, 2011, 19(1): 191-201.
- [114] 覃小锋, 潘元明, 李江, 等. 桂东南云开地区变质杂岩锆石 SHRIMP U-Pb 年代学[J]. *地质通报*, 2006, 25(5): 553-559.  
QIN Xiao-feng, PAN Yuan-ming, LI Jiang, et al. Zircon SHRIMP U-Pb Geochronology of the Yunkai Metamorphic Complex in Southeastern Guangxi, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(5): 553-559.
- [115] CHEN C H, LIU Y H, LEE C Y, et al. Geochronology of Granulite, Charnockite and Gneiss in the Polymetamorphosed Gaozhou Complex(Yunkai Massif), South China; Emphasis on the *In-situ* EMP Monazite Dating[J]. *Lithos*, 2012, 144/145: 109-129
- [116] 于津海, 楼法生, 王丽娟, 等. 赣东北弋阳早古生代麻粒岩的发现及其地质意义[J]. *科学通报*, 2014, 59(35): 3508-3516.  
YU Jin-hai, LOU Fa-sheng, WANG Li-juan, et al. The Geological Significance of a Paleozoic Mafic Granulite Found in the Yiyang Area of Northeastern Jiangxi Province[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2014, 59(35): 3508-3516.
- [117] ZHAO L, ZHAI M G, ZHOU X W, et al. Geochronology and Geochemistry of a Suite of Mafic Rocks in Chencai Area, South China; Implications for Petrogenesis and Tectonic Setting[J]. *Lithos*, 2015, 236/237: 226-244.
- [118] ZHANG C L, ZHU Q B, CHEN X Y, et al. Ordovician Arc-related Mafic Intrusions in South China; Implications for Plate Subduction Along the Southeastern Margin of South China in the Early Paleozoic[J]. *Journal of Geology*, 2016, 124: 743-767.
- [119] 董学发, 唐增才, 陈忠大, 等. 浙江龙游地区基性及镁质变质岩的地球化学特征及其构造环境[J]. *地球科学*, 2016, 41(8): 1322-1333.  
DONG Xue-fa, TANG Zeng-cai, CHEN Zhong-da, et al. Geochemical Characteristics of the Basic and Magnesian Metamorphic Rocks in Longyou Area, Zhejiang Province and Their Tectonic Setting[J].

- Earth Science, 2016, 41(8): 1322-1333.
- [120] 彭松柏, 刘松峰, 林木森, 等. 华夏早古生代俯冲作用(II): 大爽高镁—镁质安山岩新证据[J]. 地球科学, 2016, 41(6): 931-947.
- PENG Song-bai, LIU Song-feng, LIN Mu-sen, et al. Early Paleozoic Subduction in Cathaysia (II): New Evidence from the Dashuang High Magnesian-magnesian Andesite[J]. Earth Science, 2016, 41(6): 931-947.
- [121] 王存智, 姜 杨, 赵希林, 等. 陈蔡岩群下河图斜长角闪岩年代学、地球化学特征及其构造意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2016, 35(3): 425-442.
- WANG Cun-zhi, JIANG Yang, ZHAO Xi-lin, et al. Geochronological and Geochemical Characteristics of the Xiahetu Amphibolites from Chencai Group and Their Tectonic Implications[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2016, 35(3): 425-442.
- [122] 彭松柏, 刘松峰, 林木森, 等. 华夏早古生代俯冲作用(I): 来自糯洞蛇绿岩的新证据[J]. 地球科学, 2016, 41(5): 765-778.
- PENG Song-bai, LIU Song-feng, LIN Mu-sen, et al. Early Paleozoic Subduction in Cathaysia (I): New Evidence from Nuodong Ophiolite[J]. Earth Science, 2016, 41(5): 765-778.
- [123] 杨树锋. 活动大陆边缘的成对花岗岩带[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1987, 6(1): 3-5.
- YANG Shu-feng. Paired Granite Belts on Active Continental Margins[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 1987, 6(1): 3-5.
- [124] 杨树锋, 陈汉林, 武光海, 等. 闽北早古生代岛弧火山岩的发现及其大地构造意义[J]. 地质科学, 1995, 30(2): 105-116.
- YANG Shu-feng, CHEN Han-lin, WU Guang-hai, et al. Discovery of Early Paleozoic Island-arc Volcanic Rock in Northern Part of Fujian Province and the Significance for Tectonic Study[J]. Chinese Journal of Geology, 1995, 30(2): 105-116.
- [125] 巫建华, 徐勋胜, 刘 帅. 赣南—粤北地区晚白垩世早期长英质火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质通报, 2012, 31(8): 1296-1305.
- WU Jian-hua, XU Xun-sheng, LIU Shuai. SHRIMP Zircon U-Pb Dating of the Early Late Cretaceous Felsic Volcanic Rock in Southern Jiangxi-northern Guangdong Area and Its Geological Significance[J]. Geological Bulletin of China, 2012, 31(8): 1296-1305.
- [126] 吴继光. 南岭贵东岩体北部英安斑岩锆石 LA-ICPMS U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 铀矿地质, 2013, 29(5): 268-273.
- WU Ji-guang. LA-ICPMS U-Pb Dating of Zircons in Dacite Porphyry at North Guidong Pluton in Nanling Mountain and Its Geological Significance[J]. Uranium Geology, 2013, 29(5): 268-273.
- [127] 伍 静, 王广强, 梁华英, 等. 粤北大宝山矿区加里东期火山岩的厘定及其地质意义[J]. 岩石学报, 2014, 30(4): 1145-1154.
- WU Jing, WANG Guang-qiang, LIANG Hua-ying, et al. Identification of Caledonian Volcanic Rock in the Dabaoshan Ore-field in Northern Guangdong Province and Its Geological Implication[J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(4): 1145-1154.
- [128] 易立文, 马昌前, 王连训, 等. 华南晚奥陶世次火山岩的发现: 早古生代与俯冲有关的英安岩? [J]. 地球科学, 2014, 39(6): 637-653.
- YI Li-wen, MA Chang-qian, WANG Lian-xun, et al. Discovery of Late Ordovician Subvolcanic Rocks in South China: Existence of Subduction-related Dacite from Early Paleozoic? [J]. Earth Science, 2014, 39(6): 637-653.
- [129] 覃小锋, 王宗起, 王 涛, 等. 桂东鹰扬关群火山岩时代和构造环境的重新厘定: 对钦杭结合带西南段构造格局的制约[J]. 地球学报, 2015, 36(3): 283-292.
- QIN Xiao-feng, WANG Zong-qi, WANG Tao, et al. The Reconfirmation of Age and Tectonic Setting of the Volcanic Rocks of Yingyangguan Group in the Eastern Guangxi: Constraints on the Structural Pattern of the Southwestern Segment of Qinzhou-Hangzhou Joint Belt[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2015, 36(3): 283-292.
- [130] 覃小锋, 王宗起, 宫江华, 等. 云开地块北缘加里东期中—基性火山岩的厘定: 钦杭结合带南西段早古生代古洋盆存在的证据[J]. 岩石学报, 2017, 33(3): 791-809.
- QIN Xiao-feng, WANG Zong-qi, GONG Jiang-hua, et al. The Confirmation of Caledonian Intermediate-mafic Volcanic Rocks in Northern Margin of Yunkai Block: Evidence for Early Paleozoic Paleo-ocean Basin in Southwestern Segment of Qinzhou-Hangzhou Joint Belt[J]. Acta Petrologica Sinica, 2017, 33(3): 791-809.
- [131] 周 岱, 龙文国, 王 磊, 等. 云开地区早古生代竹雅—石板辉长岩锆石 U-Pb 定年与 Lu-Hf 同位素特征[J]. 地质通报, 2017, 36(5): 726-737.
- ZHOU Dai, LONG Wen-guo, WANG Lei, et al. Geochronology and Lu-Hf Isotope of Early Paleozoic Zhuya-Shiban Gabbros in Yunkai Terrane, South China[J]. Geological Bulletin of China, 2017, 36(5):

- 726-737.
- [132] 刘辉东, 骆韶军, 唐福贵, 等. 粤西云开地区加里东期火山岩的新发现及锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄[J]. 地层学杂志, 2018, 42(1): 59-74.
- LIU Hui-dong, LUO Shao-jun, TANG Fu-gui, et al. The Discovery and LA-ICP-MS Zircon U-Pb Ages of Caledonian Volcanic Rocks in the Yunkai Area of Western Guangdong Province[J]. Journal of Stratigraphy, 2018, 42(1): 59-74.
- [133] 刘 帅, 巫建华, 丁 辉, 等. 赣南南迳盆地加里东期火山岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质通报, 2018, 37(10): 1905-1919.
- LIU Shuai, WU Jian-hua, DING Hui, et al. Zircon U-Pb Age of the Caledonian Volcanic Rocks in Nanjing Basin of Southern Jiangxi Province and Its Geological Significance[J]. Geological Bulletin of China, 2018, 37(10): 1905-1919.
- [134] 袁忠信. 再谈白云鄂博矿床的成矿时代和矿床成因[J]. 地质学报, 2012, 86(5): 683-686.
- YUAN Zhong-xin. Further Discussion on the Geochronology and Genesis of Bayan Obo Deposit[J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(5): 683-686.
- [135] 赵 芝, 王登红, 陈振宇, 等. 南岭东段与稀土矿有关岩浆岩的成矿专属性特征[J]. 大地构造与成矿学, 2014, 38(2): 255-263.
- ZHAO Zhi, WANG Deng-hong, CHEN Zhen-yu, et al. Metallogenic Specialization of Rare Earth Mineralized Igneous Rocks in the Eastern Nanling Region[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2014, 38(2): 255-263.
- [136] WANG Y J, ZHANG F F, FAN W M, et al. Tectonic Setting of the South China Block in the Early Paleozoic Resolving Intracontinental and Ocean Closure Models from Detrital Zircon U-Pb Geochronology[J]. Tectonics, 2010, 29(6): 1-16.
- [137] 陈懋弘, 莫次生, 黄智忠, 等. 广西苍梧县社洞钨铋矿床花岗岩类锆石 LA-ICP-MS 和辉钨矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2011, 30(6): 963-978.
- CHEN Mao-hong, MO Ci-sheng, HUANG Zhi-zhong, et al. Zircon LA-ICP-MS U-Pb Ages of Granitoid Rocks and Molybdenite Re-Os Age of Shedong W-Mo Deposit in Cangwu County of Guangxi and Its Geological Significance [J]. Mineral Deposits, 2011, 30(6): 963-978.
- [138] 陈懋弘, 黄智忠, 李 斌, 等. 广西苍梧县社洞钨铋矿床花岗岩类岩石的地球化学特征及其与成矿关系[J]. 岩石学报, 2012, 28(1): 199-212.
- CHEN Mao-hong, HUANG Zhi-zhong, LI Bin, et al. Geochemistry of Granitoid Rocks of Shedong W-Mo Deposit District in Cangwu County, Guangxi and Its Relation to Mineralization[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(1): 199-212.
- [139] 陈懋弘, 郭云起, 梁 宾, 等. 广西苍梧县武界钨铋矿点成矿成矿年龄及岩体地球化学特征[J]. 桂林理工大学学报, 2012, 32(1): 1-13.
- CHEN Mao-hong, GUO Yun-qi, LIANG Bin, et al. Emplaced and Metallogenetic Ages of Wujie Tungsten and Molybdenum Occurrence and Geochemical Characteristics of Granodiorite in Cangwu[J]. Journal of Guilin University of Technology, 2012, 32(1): 1-13.
- [140] 张志强, 陈懋弘, 莫建明, 等. 广西苍梧县社洞石英脉型钨铋多金属矿床流体演化及来源示踪[J]. 岩石学报, 2014, 30(1): 281-291.
- ZHANG Zhi-qiang, CHEN Mao-hong, MO Jian-ming, et al. Evolution and Source Tracing of the Shedong Quartz Vein Type Scheelite-molybdenite Polymetallic Deposit in Cangwu County, Guangxi[J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(1): 281-291.
- [141] DANG Y, CHEN M H, FU B, et al. Petrogenesis of the Yupo W-bearing and Dali Mo-bearing Granitoids in the Dayaoshan Area, South China: Constraints of Geochronology and Geochemistry [J]. Ore Geology Reviews, 2018, 92: 643-655.
- [142] 李晓峰, 冯佐海, 肖 荣, 等. 桂东北钨锡稀有金属矿床的成矿类型、成矿时代及其地质背景[J]. 地质学报, 2012, 86(11): 1713-1725.
- LI Xiao-feng, FENG Zuo-hai, XIAO Rong, et al. Spatial and Temporal Distributions and the Geological Setting of the W-Sn-Mo-Nb-Ta Deposits at the Northeast Guangxi, South China[J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(11): 1713-1725.
- [143] 杨 振, 王汝成, 张文兰, 等. 桂北牛塘界加里东期花岗岩及其矽卡岩型钨矿成矿作用研究[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(7): 1357-1373.
- YANG Zhen, WANG Ru-cheng, ZHANG Wen-lan, et al. Skarn-type Tungsten Mineralization Associated with the Caledonian (Silurian) Niutangjie Granite, Northern Guangxi, China [J]. Science China: Earth Sciences, 2014, 44(7): 1357-1373.
- [144] 豆浩然, 张文兰, 王汝成, 等. 桂北牛塘界加里东期钨矿床年代学、成矿流体性质及其演化[J]. 地质学报, 2018, 92(11): 2269-2300.
- DOU Hao-ran, ZHANG Wen-lan, WANG Ru-cheng, et al. Chronology, Metallogenic Fluid Properties and Evolution of the Niutangjie Tungsten Deposit, Northern Guangxi, China[J]. Acta Geologica Sinica, 2018,

- 92(11):2269-2300.
- [145] CHEN J F, SHENG D, SHAO Y J, et al. Silurian S-type Granite-related W-(Mo) Mineralization in the Nanling Range, South China: A Case Study of the Pingtan W-(Mo) Deposit[J]. *Ore Geology Reviews*, 2019, 107:186-200.
- [146] 张文兰, 陈文迪, 王汝成. 桂北苗儿山—越城岭地区独石岭钨-铜矿床: 加里东期和印支期叠加成矿作用的典型实例[J]. *矿物学报*, 2015, 35(增1):367.  
ZHANG Wen-lan, CHEN Wen-di, WANG Ru-cheng. Dushiling W-Cu Deposit in Miao'ershan-Yuechengling Area, Northern Guangxi Province: A Typical Example of Superimposed Mineralization of Caledonian and Indosinian[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2015, 35(S1):367.
- [147] 陈文迪. 桂北越城岭地区独石岭钨矿床加里东期和印支期成矿作用研究[D]. 南京: 南京大学, 2016.  
CHEN Wen-di. A Study on Caledonian and Indosinian Mineralization of Dushiling Tungsten Deposit in the Yuechengling Area, Northern Guangxi, China [D]. Nanjing: Nanjing University, 2016.
- [148] 王彦斌, 王登红, 韩娟, 等. 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.  
WANG Yan-bin, WANG Deng-hong, HAN Juan, et al. U-Pb Dating and Hf Isotopic Characteristics of Zircons from Quartz-diorite in the Yijiang REE-Sc Deposit, Rucheng County, Hunan: Constraints on the Timing of Caledonian Magmatic Activity in South China[J]. *Geology in China*, 2010, 37(4):1062-1070.
- [149] 陶旭云. 离子吸附型稀土矿床基岩的稀土元素分异机制研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2020.  
TAO Xu-yun. The Differentiation Mechanism of Rare Earth Elements in Parent Rocks of Ion Adsorption-type Rare Earth Element Deposits[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2020.
- [150] JIANG X Z, KANG Z Q, XU J F, et al. Early Paleozoic Granodioritic Plutons in the Shedong W-Mo Ore District, Guangxi, Southern China: Products of Remelting of Middle Proterozoic Crust Due to Magma Underplating[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2017, 141:59-73.
- [151] 秦亚, 张青伟, 杨启军, 等. 广西大瑶山隆起罗平花岗岩的地质地球化学特征及其意义[J]. *矿产与地质*, 2018, 32(2):283-297.  
QIN Ya, ZHANG Qing-wei, YANG Qi-jun, et al. Geological and Geochemical Characteristics and Significance of Luoping Granitoids in Dayaoshan Metallogenic Belt, Guangxi [J]. *Mineral Resources and Geology*, 2018, 32(2):283-297.
- [152] 党院. 广西大瑶山地区早古生代成岩成矿作用研究: 以玉坡钨多金属矿为例[D]. 北京: 中国地质大学, 2018.  
DANG Yuan. Early Paleozoic Magmatism and Metallogensis in Dayaoshan Area, Guangxi Province: A Case Study of Yupo Tungsten Polymetallic Deposit [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2018.
- [153] 农仕华. 桂东北加里东期与钨矿有关花岗岩成岩成矿研究[D]. 南宁: 广西大学, 2018.  
NONG Shi-hua. Study on Diagenesis and Mineralization of Granites Associated with Tungsten Deposits in Caledonian, Northeast Guangxi [D]. Nanning: Guangxi University, 2018.
- [154] 王永磊, 王登红, 张长青, 等. 广西德保铜锡矿床辉钨矿 Re-Os 同位素定年及对加里东期成矿的探讨[J]. *矿床地质*, 2010, 29(5):881-889.  
WANG Yong-lei, WANG Deng-hong, ZHANG Chang-qing, et al. Molybdenite Re-Os Isochron Age of Debao Cu-Sn Deposit in Guangxi and Relation to Caledonian Mineralization [J]. *Mineral Deposits*, 2010, 29(5):881-889.
- [155] 王永磊, 王登红, 张长青, 等. 广西钦甲花岗岩体单颗粒锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质意义[J]. *地质学报*, 2011, 85(4):475-481.  
WANG Yong-lei, WANG Deng-hong, ZHANG Chang-qing, et al. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of the Qinjia Granite in Guangxi Province and Its Geologic Significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2011, 85(4):475-481.
- [156] 李朝灿, 申锡坤. 湖南省风化壳型稀土矿成矿地质条件探讨[C]//中国地质学会. 中国地质学会第一届全国青年地质大会论文集. 北京: 中国地质学会, 2013: 23-27.  
LI Zhao-can, SHEN Xi-kun. Discussion on Geological Conditions of Ion-adsorption Type Rare Earth Deposits in Hunan Province [C] // Geological Society of China. Collected Papers of the 1st National Youth Geological Conference, Geological Society of China, Beijing: Geological Society of China, 2013:23-27.
- [157] 王登红, 赵芝, 于扬, 等. 离子吸附型稀土资源研究进展、存在问题及今后研究方向[J]. *岩矿测试*, 2013, 32(5):796-802.  
WANG Deng-hong, ZHAO Zhi, YU Yang, et al. Progress, Problems and Research Orientation of Ion-adsorption Type Rare Earth Resources [J]. *Rock and*

- Mineral Analysis, 2013, 32(5):796-802.
- [158] LI M Y H, ZHOU M F, WILLIAMS-JONES A E. The Genesis of Regolith-hosted Heavy Rare Earth Element Deposits: Insights from the World-class Zudong Deposit in Jiangxi Province, South China [J]. *Economic Geology*, 2019, 114(3):541-568.
- [159] BAU M. Controls on the Fractionation of Isovalent Trace Elements in Magmatic and Aqueous Systems: Evidence from Y/Ho, Zr/Hf, and Lanthanide Tetrad Effect [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1996, 123:323-333.
- [160] LINNEN R L, KEPLER H. Melt Composition Control of Zr/Hf Fractionation in Magmatic Processes [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2002, 66(18):3293-3301.
- [161] BALLOUARD C, POUJOL M, BOULVAIS P, et al. Nb-Ta Fractionation in Peraluminous Granites: A Marker of the Magmatic-hydrothermal Transition [J]. *Geology*, 2016, 44(3):231-234.
- [162] 张桂林, 梁金城, 冯佐海, 等. 越城岭花岗岩体西侧滑脱型韧性剪切带的发现及其形成的构造体制 [J]. *大地构造与成矿学*, 2002, 26(2):131-137.  
ZHANG Gui-lin, LIANG Jin-cheng, FENG Zuo-hai, et al. Discovery of Detached Ductile Shear Zone and Its Structural Mechanism in the West of Yuechengling Granite Pluton [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2002, 26(2):131-137.
- [163] 黄 标, 徐克勤, 孙明志. 武夷山中段加里东中期改造型花岗岩的特征及形成的碰撞造山环境 [J]. *岩石学报*, 1993, 9(4):338-400.  
HUANG Biao, XU Ke-qin, SUN Ming-zhi. Features and Collisional Mountain Building Environment of Metasomatic Transformation Type Granitic Rocks in Middle Wuyi Mountains [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1993, 9(4):338-400.
- [164] 张芳荣, 沈渭洲, 舒良树, 等. 江西省早古生代晚期花岗岩的地球化学特征及其地质意义 [J]. *岩石学报*, 2010, 26(12):3456-3468.  
ZHANG Fang-rong, SHEN Wei-zhou, SHU Liang-shu, et al. Geochemical Features of Granites Formed at Late Stage of Early Paleozoic in Jiangxi Province and Their Geological Significances [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(12):3456-3468.
- [165] XU X B, ZHANG Y Q, SHU L S, et al. LA-ICP-MS U-Pb and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  Geochronology of the Sheared Metamorphic Rocks in the Wuyishan: Constraints on the Timing of Early Paleozoic and Early Mesozoic Tectono-thermal Events in SE China [J]. *Tectonophysics*, 2011, 501(1/2/3/4):71-86.
- [166] 曾 勇, 廖群安. 西武夷地区加里东期花岗岩与造山过程 [J]. *中国区域地质*, 2000, 19(4):344-349.  
ZENG Yong, LIAO Qun-an. Caledonian Granite in the Western Wuyi Area and Inversion of the Orogenic Process [J]. *Regional Geology of China*, 2000, 19(4):344-349.
- [167] 张 苑, 舒良树, 陈祥云. 华南早古生代花岗岩的地球化学、年代学及其成因研究: 以赣中南为例 [J]. *中国科学: 地球科学*, 2011, 41(8):1061-1079.  
ZHANG Yuan, SHU Liang-shu, CHEN Xiang-yun. Geochemistry, Geochronology, and Petrogenesis of the Early Paleozoic Granitic Plutons in the Central-southern Jiangxi Province, China [J]. *Science China: Earth Sciences*, 2011, 41(18):1061-1079.
- [168] 王德滋, 林承毅, 周新民. 江西慈竹英云闪长岩体及其周围区域变质岩石的成因 [J]. *南京大学学报(自然科学)*, 1978, 14(1):81-99.  
WANG De-zi, LIN Cheng-yi, ZHOU Xin-min. Petrogenesis of the Cizhu Daconite Diorite Pluton and Adjacent Regional Metamorphic Rocks in Jiangxi [J]. *Journal of Nanjing University(Nature Science)*, 1978, 14(1):81-99.
- [169] 曾 雯, 张 利, 周汉文, 等. 华夏地块古元古代基底的加里东期再造: 锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素和微量元素制约 [J]. *科学通报*, 2008, 53(3):335-344.  
ZENG Wen, ZHANG Li, ZHOU Han-wen, et al. Caledonian Reworking of Paleoproterozoic Basement in the Cathaysia Block: Constraints from Zircon U-Pb Dating, Hf Isotopes and Trace Elements [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2008, 53(3):335-344.
- [170] 吴富江, 张芳荣. 华南板块北缘东段武功山加里东期花岗岩特征及成因探讨 [J]. *中国地质*, 2003, 30(2):166-172.  
WU Fu-jiang, ZHANG Fang-rong. Features and Genesis of Caledonian Granites in the Wugongshan in the Eastern Segment of the Northern Margin of South China Plate [J]. *Geology in China*, 2003, 30(2):166-172.
- [171] FAURE M, SUN Y, SHU L S, et al. Extensional Tectonics Within a Subduction-type Orogeny: The Case Study of the Wugongshan Dome (Jiangxi Province, Southeastern China) [J]. *Tectonophysics*, 1996, 263(1/2/3/4):77-106.
- [172] 舒良树, 孙 岩, 王德滋. 华南武功山中生代伸展构造 [J]. *中国科学:D 辑, 地球科学*, 1998, 28(5):431-438.  
SHU Liang-shu, SUN Yan, WANG De-zi, et al. Mesozoic Doming Extensional Tectonics of Wugong-

- shan, South China [J]. *Science in China: Series D, Earth Sciences*, 1998, 28(5): 431-438.
- [173] WANG D Z, SHU L S, FAURE M, et al. Mesozoic Magmatism and Granitic Dome in the Wugongshan Massif, Jiangxi Province and Their Genetical Relationship to the Tectonic Events in Southeast China [J]. *Tectonophysics*, 2001, 339(3/4): 259-277.
- [174] 薛德杰, 徐先兵, 李源, 等. 华南武功山早古生代花岗岩构造变形特征及其形成机制 [J]. *地质学报*, 2014, 88(7): 1236-1246.
- XUE De-jie, XU Xian-bing, LI Yuan, et al. Structural Characteristics and Deformation Mechanism of Early Paleozoic Granite in the Wugongshan Area, South China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2014, 88(7): 1236-1246.
- [175] 吴富江, 钟春根, 钟达洪. 江西武功山岩浆热穹隆伸展构造的基本特征及形成时代 [J]. *江西地质*, 2001, 15(3): 161-165.
- WU Fu-jiang, ZHONG Chun-gen, ZHONG Da-hong. Basic Features and Age of the Extensional Gliding Nappe Structure of Wugongshan Magmatic Thermal Dome in Jiangxi [J]. *Jiangxi Geology*, 2001, 15(3): 161-165.
- [176] 李晓峰, 冯佐海, 李容森, 等. 华南志留纪钼的矿化: 白石顶钼矿锆石 SHRIMP U-Pb 年龄和辉钼矿 Re-Os 年龄证据 [J]. *矿床地质*, 2009, 28(4): 403-412.
- LI Xiao-feng, FENG Zuo-hai, LI Rong-sen, et al. Silurian Mo Mineralization at Baishiding Molybdenum Deposit in Northern Guangxi: Constraints from Zircon SHRIMP U-Pb and Molybdenite Re-Os Ages [J]. *Mineral Deposits*, 2009, 28(4): 403-412.
- [177] 张强, 陆建军. 苗儿山—越城岭地区加里东期钨锡成矿作用 [C] // 中国矿物岩石地球化学学会. 第九届全国成矿理论与找矿方法学术讨论会. 南京: 中国矿物岩石地球化学学会, 2019: 44-46.
- ZHANG Qiang, LU Jian-jun. The Caledonian Tungsten-tin Mineralization in the Miao'ershan-Yuechengling Area [C] // Chinese Society for Mineralogy, Petrology and Geochemistry. The 9th National Symposium on Metallogenic Theory and Prospecting Methods. Nanjing: Chinese Society for Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2019: 44-46.
- [178] 朱艺婷, 李晓峰, 肖荣. 桂东北泥盆纪金子岭钨矿白云母 Ar-Ar 年龄及其地质意义 [J]. *华南地质与矿产*, 2019, 35(4): 423-432.
- ZHU Yi-ting, LI Xiao-feng, XIAO Rong. The Ar-Ar Age of Muscovite from Late Devonian Jinziling Tungsten Deposit in Northeast Guangxi and Its Geological Implications [J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2019, 35(4): 423-432.
- [179] 张迪, 张文兰, 王汝成. 加里东—印支期钨锡成矿作用最新进展: 来自苗儿山—越城岭成矿花岗岩最新年龄证据 [J]. *矿物学报*, 2013, 33(增2): 277-278.
- ZHANG Di, ZHANG Wen-lan, WANG Ru-cheng. New Development of the Caledonian-Indosinian Tungsten-tin Mineralization: Evidence from New Geochronology of the Metallogenic Granites in Miao'ershan-Yuechengling [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2013, 33(S2): 277-278.
- [180] ZHANG W L, CHE X D, CHEN W D, et al. A New Potential Caledonian-Indosinian Ore Concentration Area: Evidence from Diagenesis and Mineralization Ages of the Miaoershan-Yuechengling Region [J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 2017, 91(2): 743-744.
- [181] 刘伟, 曾佐勋, 李绍凡, 等. 广西富川岩鹰嘴 W-Mo-Cu 多金属矿区斑岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其地质意义 [J]. *中国地质*, 2014, 41(3): 797-813.
- LIU Wei, ZENG Zuo-xun, LI Shao-fan, et al. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of the Granitic and Granodioritic Porphyries from the Yanyingzui W-Mo-Cu Polymetallic Ore District in Fuchuan Area, Guangxi, and Its Geological Implications [J]. *Geology in China*, 2014, 41(3): 797-813.
- [182] 广西地质矿产局. 兴安幅 1: 200 000 地质图说明书 [R]. 柳州: 广西地质矿产局, 1964.
- Bureau of Geology and Mineral of Guangxi. Specification of 1: 200 000 Xing'an Geologic Map [R]. Liuzhou: Bureau of Geology and Mineral of Guangxi, 1964.
- [183] 广西地质矿产局. 中峰幅和百里幅 1: 50 000 区域地质调查报告 [M]. 柳州: 广西地质矿产局, 1988.
- Bureau of Geology and Mineral of Guangxi. Report of Zhongfeng and Baili on 1: 50 000 Regional Geology Survey [M]. Liuzhou: Bureau of Geology and Mineral of Guangxi, 1988.
- [184] 梁廷苞, 王化云. 猫儿山、越城岭花岗岩类型及其片麻状花岗岩带的成因探讨 [J]. *广西地质*, 1986, 2(2): 79-84.
- LIANG Ting-bao, WANG Hua-yun. Characteristics of Granites and Origin of Their Gneissic Granitic Belt in Mao'er Mountain and Yuechengling Mountain, Guangxi [J]. *Geology of Guangxi*, 1986, 2(2): 79-84.
- [185] 汪绍年. 广西及其邻区片麻状花岗岩岩石成因初议 [J]. *广西地质*, 1988, 4(2): 55-64.
- WANG Shao-nian. Preliminary Discussion on the Ori-

- gin of the Gneissic Granites in Guangxi and Its Neighbouring Regions[J]. *Geology of Guangxi*, 1988, 4(2): 55-64.
- [186] 陶志军, 方适宜, 蔡松锋, 等. 新资深大断裂变质带特征、成因及活动演化[J]. *铀矿地质*, 2019, 35(3): 137-144.
- TAO Zhi-jun, FANG Shi-yi, CAI Song-feng, et al. Characteristics, Genesis and Evolution of the Xinzi Deep Faulted Metamorphic Belt[J]. *Uranium Geology*, 2019, 35(3): 137-144.
- [187] 梁金城, 冯佐海, 张桂林, 等. 越城岭花岗岩体定向构造的成因研究[J]. *华南地质与矿产*, 2002, 18(3): 29-36.
- LIANG Jin-cheng, FENG Zuo-hai, ZHANG Gui-lin, et al. Oriented Structures in Yuechengling Granite Pluton[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2002, 18(3): 29-36.
- [188] 苏佳虎, 郭磊, 李礼. 越城岭岩体西侧韧性剪切带各亚带稀有金属含矿性研究[J]. *资源信息与工程*, 2020, 35(1): 17-20.
- SU Jia-hu, GUO Lei, LI Li. On Ore Potentiality of Rare Metals in Sub-zones of the Ductile Shear Zone on the West Side of the Yuechengling Rock Mass[J]. *Resource Information and Engineering*, 2020, 35(1): 17-20.
- [189] 黄标, 孙志明, 武少兴, 等. 武夷山中段加里东期混合岩的特征及成因讨论[J]. *岩石学报*, 1994, 10(4): 427-439.
- HUANG Biao, SUN Zhi-ming, WU Shao-xing, et al. Studies on Genesis and Characters of Caledonian Migmatites in Middle Wuyi Mountains[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1994, 10(4): 427-439.
- [190] 周汉文, 游振东, 钟增球, 等. 云开隆起区钾长球斑片麻状黑云母花岗岩锆石特征研究[J]. *地球科学*, 1994, 19(4): 255-263.
- ZHOU Han-wen, YOU Zhen-dong, ZHONG Zeng-qiu, et al. Characteristics of Zircons in Orbicular Gneissic Biotite-granite from Yunkai Uplifted Area[J]. *Earth Science*, 1994, 19(4): 255-263.
- [191] 赵盼捞, 袁顺达, 原垭斌. 湘南魏家钨矿区祥林铺岩体锆石 LA-MC-ICP-MS U-Pb 测年: 对南岭西端晚侏罗世钨矿成岩成矿作用的指示[J]. *中国地质*, 2016, 43(1): 120-131.
- ZHAO Pan-lao, YUAN Shun-da, YUAN Ya-bin. Zircon LA-MC-ICP-MS U-Pb Dating of the Xianglinpu Granites from the Weijia Tungsten Deposit in Southern Hunan Province and Its Implications for the Late Jurassic Tungsten Metallogenesis in the Westernmost Nanling W-Sn Metallogenic Belt [J]. *Geology in China*, 2016, 43(1): 120-131.
- [192] YAN C L, SHU L S, FAURE M, et al. Early Paleozoic Intracontinental Orogeny in the Yunkai Domain, South China Block: New Insights from Field Observations, Zircon U-Pb Geochronological and Geochemical Investigations [J]. *Lithos*, 2017, 268/269/270/271: 320-333.
- [193] MIDDLEMOST E A K. Naming Materials in the Magma/Igneous Rock System[J]. *Earth-science Reviews*, 1994, 37: 215-224.
- [194] MANIAR P D, PICCOLI P M. Tectonic Discrimination of Granitoids[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1989, 101(5): 635-643.
- [195] COLLINS W J, BEAMS S D, WHITE A J R, et al. Nature and Origin of A-type Granites with Particular Reference to Southeastern Australia[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1982, 80: 189-200.
- [196] ROLLINSON H R. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation[M]. London: Longman, 1993.
- [197] CHEN J F, JAHN B M. Crustal Evolution of Southeastern China: Nd and Sr Isotopic Evidence[J]. *Tectonophysics*, 1998, 284(1/2): 101-133.
- [198] DOSTAL J, CHATTERJEE A K. Contrasting Behaviour of Nb/Ta and Zr/Hf Ratios in a Peraluminous Granitic Pluton (Nova Scotia, Canada) [J]. *Chemical Geology*, 2000, 163(1/2/3/4): 207-218.
- [199] 华仁民, 张文兰, 顾晟彦, 等. 南岭稀土花岗岩、钨锡花岗岩及其成矿作用的对比[J]. *岩石学报*, 2007, 23(10): 2321-2328.
- HUA Ren-min, ZHANG Wen-lan, GU Sheng-yan, et al. Comparison Between REE Granite and W-Sn Granite in the Nanling Region, South China, and Their Mineralizations[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(10): 2321-2328.
- [200] 肖柳阳, 陈懋弘, 张志强, 等. 广西昭平湾岛金矿矿床类型、成矿时代及其地质意义[J]. *地学前缘*, 2015, 22(2): 118-130.
- XIAO Liu-yang, CHEN Mao-hong, ZHANG Zhi-qiang, et al. The Deposit Type, Mineralization Age and Their Geological Significance of the Wandao Gold Deposit in Zhaoping County, Guangxi Province[J]. *Earth Science Frontiers*, 2015, 22(2): 118-130.
- [201] 李忠阳, 党院, 乐兴文. 广西大瑶山地区加里东期石英脉型金矿: 上木水金矿白云母 Ar-Ar 年龄约束[J]. *高校地质学报*, 2018, 24(5): 637-644.
- LI Zhong-yang, DANG Yuan, LE Xing-wen. Caledoni-

- an Quartz Vein Type Gold Mineralization in the Dayaoshan Area, Guangxi: Constraint from the Muscovite  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  Dating in the Shangmushui Gold Deposit[J]. Geological Journal of China Universities, 2018, 24(5): 637-644.
- [202] 陈懋弘, 李忠阳, 李青, 等. 初论广西大瑶山地区多期次花岗质岩浆活动与成矿系列[J]. 地学前缘, 2015, 22(2): 41-53.  
CHEN Mao-hong, LI Zhong-yang, LI Qing, et al. A Preliminary Study of Multi-stage Granitoids and Related Metallogenic Series in Dayaoshan Area of Guangxi, China[J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22(2): 41-53.
- [203] 邹瑜, 农军年, 郭尚宇, 等. 桂东南上木水岩体的成因: 地球化学、锆石 U-Pb 年龄及 Hf 同位素制约[J]. 矿物岩石, 2017, 37(2): 52-62.  
ZOU Yu, NONG Jun-nian, GUO Shang-yu, et al. Petrogenesis of the Shangmushui Pluton in Southeast Guangxi Province: Constraints from Petrochemistry, Zircon U-Pb Ages and Hf Isotope[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2017, 37(2): 52-62.
- [204] DANG Y, CHEN M H, MAO J W, et al. Weakly Fractionated I-type Granitoids and Their Relationship to Tungsten Mineralization: A Case Study from the Early Paleozoic Shangmushui Deposit, Dayaoshan Area, South China [J]. Ore Geology Reviews, 2020, 117: 103281.
- [205] XIE G Q, MAO J W, LI W, et al. Granite-related Yangjiashan Tungsten Deposit, Southern China [J]. Mineralium Deposita, 2018, 54(1): 67-80.
- [206] 李建康, 陈振宇, 陈郑辉, 等. 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.  
LI Jian-kang, CHEN Zhen-yu, CHEN Zheng-hui, et al. The Dating and Analysis of Ore-forming Conditions for Hanfang Granite Intrusions in Ganxian, Jiangxi Province [J]. Rock and Mineral Analysis, 2012, 31(4): 717-723.
- [207] 赵芝, 陈振宇, 陈郑辉, 等. 赣南加里东期阳埠(垌子下)岩体的锆石年龄、构造背景及含矿性评价[J]. 岩矿测试, 2012, 31(3): 530-535.  
ZHAO Zhi, CHEN Zhen-yu, CHEN Zheng-hui, et al. Zircon U-Pb Dating, Tectonic Setting and Ore-bearing Properties Evaluation of the Caledonian Yangbu Pluton in South Jiangxi [J]. Rock and Mineral Analysis, 2012, 31(3): 530-535.
- [208] 谢振东, 杨永革. 江西信丰安西岩体同位素年龄及其地质意义[J]. 江西地质, 2000, 14(3): 14-17.  
XIE Zhen-dong, YANG Yong-ge. Isotopic Age of Zircon in Anxi Pluton of Xinfeng, Jiangxi, and Its Geological Implications [J]. Jiangxi Geology, 2000, 14(3): 14-17.
- [209] 孙涛, 丁兴, 刘昌实, 等. 三标一桂坑岩体 [M] // 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. 北京: 科学出版社, 2007: 576-595.  
SUN Tao, DING Xing, LIU Chang-shi, et al. Sanbiao-Guikeng Pluton [M] // ZHOU Xin-min. Petrogenesis of Late Mesozoic Granites and Dynamic Evolution of Lithosphere in Nanling Region. Beijing: Science Press, 2007: 576-595.
- [210] 孙艳, 李建康, 陈振宇, 等. 江西信丰桐木稀土矿区龙舌岩体的成岩时代及成矿条件分析[J]. 大地构造与成矿学, 2012, 36(3): 422-426.  
SUN Yan, LI Jian-kang, CHEN Zhen-yu, et al. LA-MC-ICP-MS Zircon U-Pb Dating and Rare Earth Potential of the Longshe Granite in Ganzhou, Jiangxi Province [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2012, 36(3): 422-426.
- [211] 孟雷, 张展适, 吴奕, 等. 赣南大埠加里东期花岗岩岩石地球化学特征及其成因[J]. 铀矿地质, 2016, 32(1): 13-22.  
MENG Lei, ZHANG Zhan-shi, WU Yi, et al. The Geochemistry Features and Petrogenesis of Dabu Caledonian Granite in Southern Jiangxi Province [J]. Uranium Geology, 2016, 32(1): 13-22.
- [212] 黄新鹏. 闽西南含稀土矿文坊岩体的锆石 U-Pb 定年及其地质找矿意义[J]. 桂林理工大学学报, 2016, 36(1): 113-117.  
HUANG Xin-peng. Zircon U-Pb Dating and Geological Prospecting Significance of Wenfang Rock Mass Containing Rare Earth Ore in Southwest Fujian [J]. Journal of Guilin University of Technology, 2016, 36(1): 113-117.
- [213] 福建省地质矿产局. 福建省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1985.  
Bureau of Geology and Mineral of Fujian Province. Regional Geology of Fujian Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985.
- [214] DEFANT M J, DRUMMOND M S. Derivation of Some Modern Arc Magmas by Melting of Young Subducted Lithosphere [J]. Nature, 1990, 347: 662-665.
- [215] WHALEN J B, CURRIE K L, CHAPPELL B W. A-type Granites: Geochemical Characteristics, Discrimination and Petrogenesis [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1987, 95: 407-419.
- [216] SYLVESTER P J. Post-collisional Strongly Peraluminous Granites [J]. Lithos, 1998, 45: 29-44.