

文章编号:1672-6561(2014)01-0171-14

湘东南中生代典型成矿花岗岩对比及成矿动力学

童海奎¹, 杨宏林², 艾 昊², 郭文波², 韩 真², 邢永强², 王 斌²

(1. 青海省地质调查局, 青海 西宁 810001; 2. 西北有色地质勘查局物化探总队, 陕西 西安 710068)

摘 要:湘东南矿集区是南岭成矿带的重要组成部分。选取该矿集区内典型矿床的成矿花岗岩, 利用成岩年龄、主量和微量元素组成、蛛网图及稀土元素配分模式等进行对比。结果表明: 该矿集区内中生代成矿花岗岩的成岩年龄集中在 150~165 Ma。根据地球化学组成可将该矿集区内的成矿花岗岩分为 2 类: 一类以骑田岭为代表, 岩性以黑云母二长花岗岩为主, 属于 A 型花岗岩, 其分异程度较高, 高 $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 值, 低 $w(\text{K})/w(\text{Rb})$ 值, 成矿元素以高温的 W、Sn 为主, 具有富硅, 富碱, 贫 P、Ti、Mg 的特点, Ba、Sr、P、Eu、Ti 负异常明显; 另一类以宝山岩体为代表, 其岩体产状为小岩株, 岩性以花岗闪长岩为主, 属于 I 型花岗岩, 分异程度较低, 低 $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 值, 高 $w(\text{K})/w(\text{Rb})$ 值, Ba、Sr、P、Eu、Ti 负异常不明显, 其地球化学性质与岛弧岩浆类似, 成矿元素以中低温的 Cu、Pb、Zn 等为主。黄沙坪花岗岩的成矿特征处于第一类与第二类岩体之间, 属于过渡类型。结合矿集区所在的大地构造位置及其构造演化史, 认为湘东南矿集区的形成与壳-幔相互作用密切相关, 是后造山作用与大洋板块俯冲共同作用的结果。

关键词:地球化学; 壳-幔相互作用; 成矿花岗岩; 成岩年龄; 大洋板块俯冲; 后造山作用; 湖南

中图分类号: P588.12⁺1

文献标志码: A

Comparison of Mesozoic Typical Ore-related Granites in the Southeastern Hunan and Their Tectonic Dynamic Setting

TONG Hai-kui¹, YANG Hong-lin², AI Hao², GUO Wen-bo², HAN Zhen²,
XING Yong-qiang², WANG Bin²

(1. Qinghai Bureau of Geological Survey, Xining 810001, Qinghai, China; 2. Geophysical and Geochemical Exploration Team, Northwest Mining and Geological Exploration Bureau for Nonferrous Metals, Xi'an 710068, Shaanxi, China)

Abstract: The ore concentration area in the southeastern Hunan is important for Nanling metallogenic belt. According to diagenetic age, composition of major-trace elements, spider diagrams and REE pattern, ore-related granites of typical deposit from the ore concentration area were selected and compared. The results show that the diagenetic ages of Mesozoic ore-related granites are mainly 150-165 Ma. According to the geochemical constituent, ore-related granites in the ore concentration area can be divided into two categories: firstly, the representative granite is Qitianling, lithology is mainly biotite adamellite, the plutons belong to A-type granite with high differentiation, $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ is high with low $w(\text{K})/w(\text{Rb})$, metallogenic elements are mainly hyperthermal W and Sn, the characteristics are rich in SiO_2 and alkali, and poor in P, Ti and Mg, and negative anomalies of Ba, Sr, P, Eu and Ti are significantly; for another one, the

收稿日期: 2014-03-01

基金项目: 国土资源部公益性行业科研专项项目(201111007-3)

作者简介: 童海奎(1973-), 男, 青海西宁人, 高级工程师, E-mail: tonghaikui@163.com。

通讯作者: 艾 昊(1987-), 男, 黑龙江佳木斯人, 工程师, E-mail: aihao0454@126.com。

representative granite is Baoshan, the occurrence of pluton is small laccolith, lithology is mainly granodiorite, the plutons belong to I-type granite with low differentiation, $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ is low with high $w(\text{K})/w(\text{Rb})$, negative anomalies of Ba, Sr, P, Eu and Ti are not obvious, the geochemical characteristics is similar to arc magma, and the metallogenic elements are mainly hypothermal Cu, Pb and Zn. The metallogenic characteristic of Huangshaping granite belong to the transitional type, which is between the above two kinds of ore-related granites. Combined with the tectonic background and history in the ore concentration area, the formation of ore concentration area in the southeastern Hunan is closely related to the mantle-crust interaction under the joint action of oceanic plate subduction and post-orogeny.

Key words: geochemistry; mantle-crust interaction; ore-related granite; diagenetic age; oceanic plate subduction; post-orogeny; Hunan

0 引言

湘东南地区地处江南地块东南缘、中上扬子地块与南华活动带之间^[1],位于南岭成矿带中段,是南岭成矿带的重要组成部分^[2-3]。该区域在中生代岩浆活动发育,出露多期花岗岩,其中中生代花岗岩体与内生金属矿床关系密切,尤其是燕山期花岗岩分布广泛,与 W-Sn-Pb-Zn 成矿关系最为紧密,包括铜山岭铅锌矿床、宝山铅锌矿床、锡田钨锡矿床、九嶷山锡矿床等大型—超大型矿床,使得该区是中国乃至全世界重要的稀有与有色金属产地,其资源丰富,占有重要的经济地位^[4],是中国华南地区燕山期大规模成矿作用的重要组成部分^[5-7]。近年来,该区域成为矿床学家、地球化学家研究的重点,积累了很多精确资料,但是关于该矿集区形成的地球动力学背景还存在较大争议。为了更好地理解该矿集区的成矿作用,笔者统计了湘东南地区典型矿床中与成矿有关花岗岩体的成岩年龄、岩性特征及地球化学组成,包括宝山、水口山、铜山岭、黄沙坪、骑田岭、千里山等岩体,除骑田岭岩体为大型花岗岩基外,其余均为小岩体,是小岩体成大矿的典型实例;利用成岩年龄、岩性特征、主量和微量元素等相关参数进行对比,尝试总结该矿集区内与 W、Mo、Pb、Zn 成矿有关的花岗岩体的联系与区别;另外,结合该矿集区所在的大地构造位置以及构造演化等,讨论该矿集区形成的地质背景。

1 区域地质概况

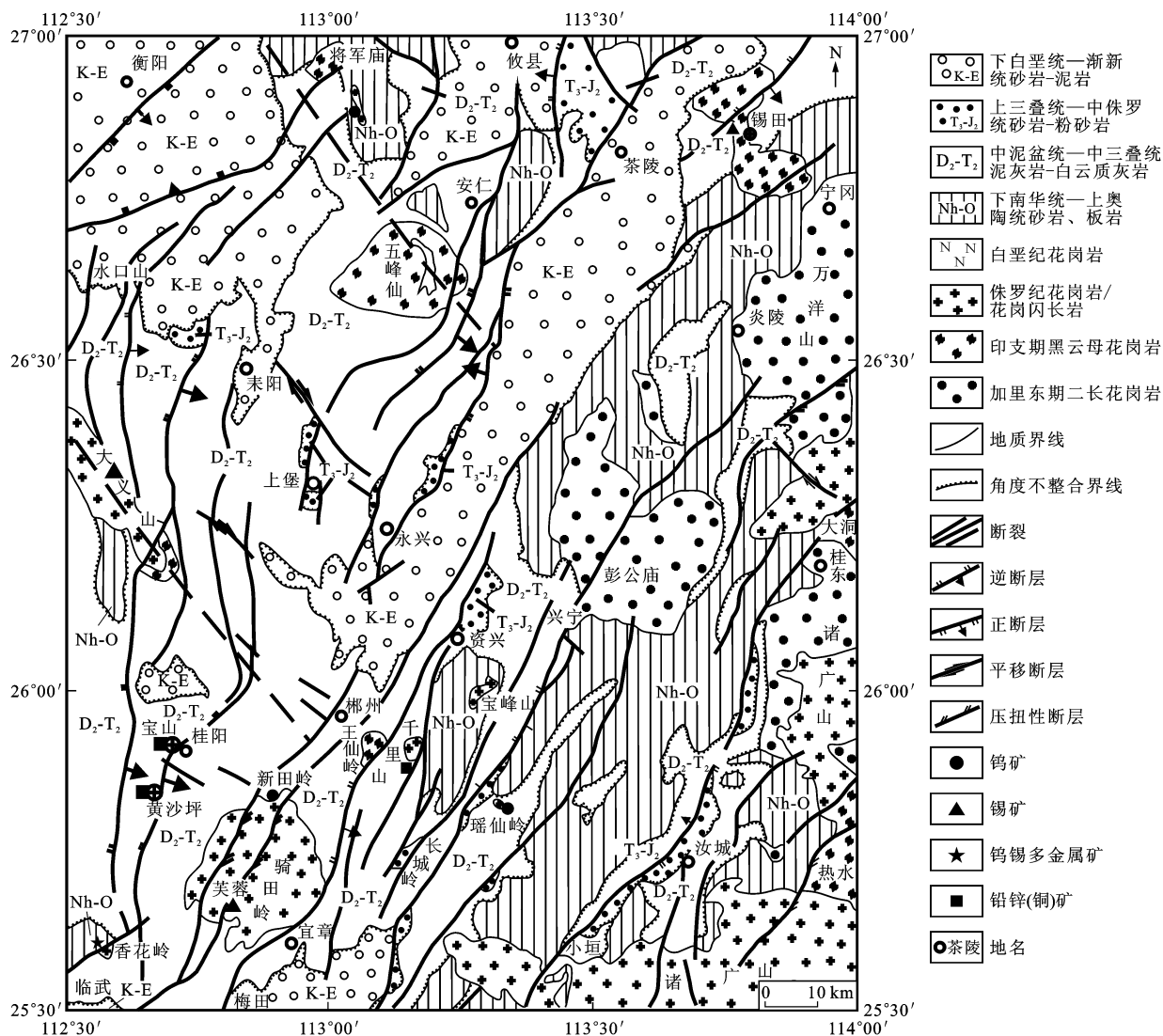
本区内构造活动较为发育,具有多旋回发展的特点。印支早期,在 NWW—SEE 向区域主应力作用下,郴州—茶陵断裂(区域主俯冲断裂)两侧陆块发生了强烈的挤压作用,并以郴州—茶陵断裂为界,西北盘向 SE 俯冲,导致断裂东南侧发生强烈的增

厚隆起作用,形成了炎陵—汝城隆起区^[8-11]。该隆起区内部主要发育加里东期褶皱构造,该褶皱构造以 EW 向紧密褶皱为主,是本区褶皱基底的重要组成部分,组成该褶皱的地层为该期的浅变质岩系^[12]。断裂西北侧由于强烈的俯冲作用,相对东南侧发生拗陷,形成了衡阳—桂阳拗陷区^[8-11],该拗陷区内主要发育印支期褶皱带,沉积类型主要为浅海相碳酸盐建造和含煤建造,形成 SN 向褶皱盖层构造;印支中晚期,挤压应力减弱,地壳相对松弛,处于后造山动力学背景中,因此,温度逐渐升高,压力降低,增厚的中下地壳发生部分熔融形成酸性岩浆,并沿加里东期褶皱隆起区背斜构造的核部侵位,经过分异演化后形成印支期花岗岩,并发育少量基性岩浆^[2-3,12]。地球化学特征表明,区内印支早期花岗岩主要来源于地壳,无地幔物质参与,而印支晚期花岗岩则有少量地幔物质加入,并且发育少量基性岩浆岩,说明印支晚期已经存在幔源岩浆的底侵作用^[2-3]。自燕山期,区内岩石圈发生全面伸展,发生大规模壳—幔相互作用,引起大规模岩浆活动,花岗岩的形成明显有地幔物质的参与,进而形成了区内各种有色金属矿床^[4-6],并且主要分布在郴州—临武断裂带附近,如香花岭、骑田岭、宝山、黄沙坪、新田岭等大型矿田,构成了一个大型的多金属矿集区^[1,4,7,13-14](图 1)。

2 成矿岩体地球化学特征对比

2.1 成岩年龄及岩性特征对比

成岩年龄及岩性特征见表 1。成矿岩体的成岩年龄主要集中在 150~165 Ma。黄沙坪多金属矿床含矿斑岩成岩年龄为 150~161 Ma,岩性为二长花岗斑岩^[15-17];骑田岭晚期的陈家单元形成于(151±5)Ma,早期的仰天湖单元为(156.7±1.7)Ma,岩性为黑云母二长花岗岩^[18];千里山岩体为 151~153



图件引自文献[3],略有修改

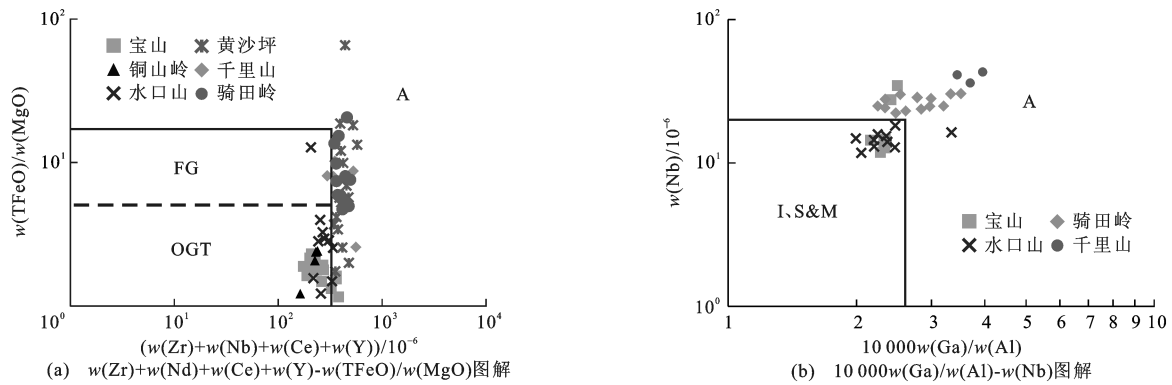
图 1 湘东南地质矿产略图

Fig. 1 Geological and Mineral Map of the Southeastern Hunan

Ma,岩性为黑云母二长花岗岩^[19-20];宝山岩体形成于158~165 Ma,岩性为黑云母花岗闪长斑岩^[18,21-22];铜山岭岩体形成于155~168 Ma,岩性为花岗闪长岩^[18,23];水口山岩体形成于156~163 Ma,岩性主要为花岗闪长岩^[24-25]。因此,与Cu、Pb、Zn、Au、Ag成矿有关的花岗岩体岩性主要为花岗闪长岩,而与W、Mo、Sn有关的花岗岩体岩性主要为二长花岗岩,并且成岩年龄略晚于花岗闪长岩体。

前人早期多认为W、Sn矿床多与S型矿床有关,将黄沙坪、骑田岭和千里山等岩体归类于S型花岗岩^[26-27]。但随着A型花岗岩概念的引入,在世界范围内发现了一大批与A型花岗岩有关的W、Sn、Mo等矿床^[28]。艾昊曾研究了黄沙坪岩体的岩相学特征,并未发现S型花岗岩的典型矿物^[15],而骑田岭岩体内部可发现角闪石、中长石等矿物,与S型花

岗岩明显不同^[18,28],同时,千里山岩体内虽然发现了白云母,但多数为后期蚀变矿物,并非原生矿物^[9],因此,黄沙坪、骑田岭、千里山岩体应不是S型花岗岩。根据A型花岗岩判别图解可以发现(图2),黄沙坪、骑田岭、千里山岩体多数数据落在A型花岗岩范围内;在南岭成矿带中普遍存在与A型花岗岩有关的大型—超大型W、Sn、Mo、Bi多金属矿床,如花山—姑婆山、王仙岭、瑶岗仙等岩体,因此,其岩石类型应属于A型花岗岩,与前人所得结论一致^[18,28-35]。而宝山、铜山岭、水口山岩体多数数据落在OGT范围内,与A型花岗岩明显不同。由于这3个岩体的岩石学名称均为花岗闪长岩,具有I型花岗岩的典型矿物角闪石等,成矿元素主要包括Cu、Pb、Zn等元素,与I型花岗岩的成矿专属性相一致,所以其岩石类型应属于I型花岗岩(图2)。



底图引自文献[36]、[37]; A—A 型花岗岩; FG—分异的长英质花岗岩; OGT—未分异的 I 型、S 型和 M 型花岗岩;
I, S & M—I 型、S 型和 M 型花岗岩

图 2 成矿花岗岩 $w(\text{Zr})+w(\text{Nb})+w(\text{Ce})+w(\text{Y})-w(\text{TFeO})/w(\text{MgO})$ 图解及 $10\,000w(\text{Ga})/w(\text{Al})-w(\text{Nb})$ 图解

Fig. 2 Diagrams of $w(\text{Zr})+w(\text{Nb})+w(\text{Ce})+w(\text{Y})-w(\text{TFeO})/w(\text{MgO})$ and $10\,000w(\text{Ga})/w(\text{Al})-w(\text{Nb})$ of Ore-related Granites

宝山、铜山岭、水口山等岩体的成矿元素组合以 Cu、Pb、Zn 为主,与黄沙坪岩体存在一定的相似性,但在岩性特征、地球化学组成等方面具有明显差异。另外,黄沙坪多金属矿床伴生大量 W、Mo 矿体,深部 W-Mo 矿体具有逐渐增大的趋势,其成矿元素组合与骑田岭、千里山等岩体(以 W、Sn、Mo 为主,伴有少量 Pb、Zn)亦具有一定的相似性,这可能表明黄沙坪多金属矿床的矿化特征介于二长花岗岩和花岗闪长岩之间,暗示了黄沙坪多金属矿床成矿的特殊性。

2.2 主量元素特征对比

湘东南地区有关成矿花岗岩的主量元素组成见表 1。湘东南地区与成矿有关的花岗岩体均具有富碱、高 $w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{Na}_2\text{O})$ 值等特点,属于高钾钙碱性系列至钾玄岩系列花岗岩。

黄沙坪岩体、骑田岭晚期岩体、千里山岩体具有相近的 SiO_2 含量及铝饱和指数;其 SiO_2 含量(质量分数,下同)平均为 75% 左右,属于酸性岩;A/CNK 值大于 1,其中黄沙坪含矿斑岩与骑田岭陈家单元集中在 1.0~1.1,部分数据大于 1.1,千里山岩体 A/CNK 值大于 1.1,属于准铝质—过铝质岩石;骑田岭岩体从早期到晚期, SiO_2 含量逐渐增高,酸性程度增加, A/CNK 值逐渐增大,多数数据在 0.8~1.1 之间;黄沙坪、骑田岭陈家单元和千里山岩体 MgO 、 P_2O_5 和 TiO_2 含量普遍偏低,其中 MgO 含量小于 1%,多数小于 0.5%, P_2O_5 普遍小于 0.05%, TiO_2 小于 0.4%,多数小于 0.05%;而宝山、铜山岭、水口山等与 Cu、Pb、Zn 有关的岩体以及骑田岭早期的仰天湖岩体具有相似的主量元素特征,具体表现在相对贫硅、铝饱和指数相对较低等特点; SiO_2 含量小于 70%,其中宝山岩体 SiO_2 含量平均值为

67%,铜山岭岩体为 65%,水口山岩体在 60% 左右,骑田岭仰天湖单元为 69%,应属于中性岩;但 4 个岩体的 A/CNK 值差异较大,其中宝山岩体在 0.74~1.73 之间,变化范围较大,其主要原因可能与岩体受到蚀变作用较强、导致烧失量较高(2.72~8.38)有关,铜山岭岩体在 0.83~0.91 之间,平均值为 0.87,属于偏铝质岩石,水口山岩体在 1.07~1.36 之间,平均值为 1.20,属于偏铝质—过铝质岩石,骑田岭仰天湖单元多数在 0.72~1.00 之间,少量数据大于 1.00,平均值为 0.90,属于偏铝质岩石; MgO 、 P_2O_5 和 TiO_2 含量较高,其中 MgO 含量大于 1%, P_2O_5 高于 0.1%, TiO_2 大于 0.4%。

2.3 微量元素组成对比

黄沙坪多金属矿床与湘东南有关的成矿花岗岩微量元素组成见表 2,稀土元素配分图解见图 3,微量元素蛛网图见图 4。

虽然骑田岭早期岩体的主量元素特征与宝山等岩体较为相近,但是在微量元素组成上与黄沙坪和千里山岩体较为接近[图 3(b)]。黄沙坪、骑田岭、千里山岩体具有相似的稀土元素配分曲线,为海鸥型, Eu 负异常明显,其 $\delta(\text{Eu})$ 值多数小于 0.5,集中在 0.01~0.20 之间。另外, $w_{\text{LREE}}/w_{\text{HREE}}$ 值相对较低,黄沙坪含矿斑岩和千里山岩体主要集中在 2~8 之间,骑田岭岩体较高,在 10~18 之间,在稀土元素配分曲线中具有右倾的特点,但总体上较为平坦。宝山、铜山岭、水口山等岩体则明显富集轻稀土元素, $w_{\text{LREE}}/w_{\text{HREE}}$ 值较高,且较为相近,在稀土元素配分曲线中显示明显右倾的特点,其中宝山岩体 $w_{\text{LREE}}/w_{\text{HREE}}$ 值在 2.30~8.59 之间,铜山岭岩体为 2.63~4.44,水口山岩体为 3.67~6.46, Eu 负异常

表 1 成矿花岗岩主量元素分析结果

Tab. 1 Results of Major Elements for Ore-related Granites

岩体名称岩性及岩石类型	成岩年龄/ Ma	成矿 元素	统计 类型	w(SiO ₂)/ %	w(Al ₂ O ₃)/ %	w(Fe ₂ O ₃)/ %	w(FeO)/ %	w(MgO)/ %	w(CaO)/ %	w(Na ₂ O)/ %	w(K ₂ O)/ %	w(MnO)/ %	w(TiO ₂)/ %	w(P ₂ O ₅)/ %	A/CNK 值
宝山花岗闪长岩(I型)	158~165	Cu-Pb-Zn-W-Mo	最大值	70.99	17.11	4.10	3.10	3.05	5.96	3.00	8.40	0.17	0.69	0.34	1.63
			最小值	60.88	13.17	0.56	0.43	1.12	1.51	0.20	0.80	0.04	0.28	0.09	0.74
			平均值	65.19	14.62	1.49	1.92	1.72	3.17	1.39	4.51	0.10	0.44	0.19	1.14
铜山岭花岗闪长岩(I型)	155~168	Cu-Pb-Zn-Au-Ag	最大值	67.20	15.99	0.48	3.62	2.69	4.61	3.23	4.20	1.30	0.49	0.19	0.91
			最小值	64.78	14.97	0.13	2.21	1.11	3.66	2.96	3.52	0.02	0.42	0.14	0.83
			平均值	66.15	15.52	0.31	2.97	1.75	4.20	3.10	3.96	0.37	0.46	0.17	0.87
水口山花岗闪长岩(I型)	156~163	Cu-Pb-Zn-Au	最大值	60.99	17.51	6.25	3.00	6.59	2.98	3.14	4.45	0.08	0.81	0.35	1.36
			最小值	60.00	15.05	2.29	2.96	3.29	1.80	2.14	3.36	0.05	0.63	0.31	1.07
			平均值	60.55	16.10	2.33	2.98	4.55	2.35	2.63	3.96	0.06	0.72	0.33	1.20
黄沙坪二长花岗岩斑岩(A型)	150~161	Pb-Zn-W-Mo	最大值	76.51	13.56	2.42	2.00	0.49	3.29	4.71	7.22	0.13	0.09	0.02	1.45
			最小值	71.82	11.50	0.06	0.23	0.03	0.67	0.30	4.44	0.02	0.02	0.01	0.70
			平均值	74.66	12.79	0.75	0.94	0.24	1.20	2.73	5.31	0.07	0.04	0.01	1.03
骑田岭陈家单元黑云母二长花岗岩(A型)	151±5	W-Sn-Mo-Bi	最大值	75.72	13.58	0.55	2.69	0.34	0.89	3.40	5.70	0.05	0.24	0.13	1.10
			最小值	73.06	11.78	0.06	1.88	0.08	0.50	2.72	4.98	0.04	0.10	0.02	1.00
			平均值	75.00	12.34	0.30	2.29	0.18	0.64	3.05	5.19	0.04	0.17	0.05	1.03
骑田岭仰天湖单元黑云母二长花岗岩(A型)	156.7±1.7		最大值	73.06	14.97	3.91	4.50	1.36	3.12	5.19	5.83	0.09	0.80	0.27	1.28
			最小值	65.00	12.02	0.39	1.10	0.22	0.27	2.70	4.00	0.03	0.26	0.10	0.72
			平均值	68.71	13.44	1.35	2.82	0.74	1.85	3.67	4.96	0.06	0.56	0.19	0.90
骑田岭总数据黑云母二长花岗岩(A型)			最大值	75.72	14.97	3.91	5.14	1.36	3.12	5.19	7.31	0.16	0.89	0.33	1.28
			最小值	65.00	11.78	0.05	0.43	0.08	0.27	2.42	4.00	0.03	0.09	0.01	0.72
			平均值	70.21	13.25	0.97	2.81	0.61	1.66	3.34	5.11	0.07	0.47	0.15	0.93
千里山黑云母二长花岗岩(A型)	151~153	W-Sn-Mo-Bi-Pb-Zn	最大值	75.92	13.55	0.84	1.03	0.17	1.16	4.02	5.39	0.04	0.12	0.03	1.03
			最小值	74.49	12.41	0.09	0.15	0.09	0.85	2.65	4.57	0.01	0.01	0.01	0.97
			平均值	75.15	12.83	0.48	0.63	0.13	0.98	3.24	5.02	0.03	0.07	0.02	1.01

注:宝山数据引自文献[1]、[21]、[22]、[38];铜山岭数据引自文献[1]、[18]、[23];水口山数据引自文献[1]、[24]、[25];黄沙坪数据引自文献[15]~[17]、[29]、[39];骑田岭数据引自文献[18]、[30];千里山数据引自文献[20]、[34]; $w(\cdot)$ 为元素或化合物含量。

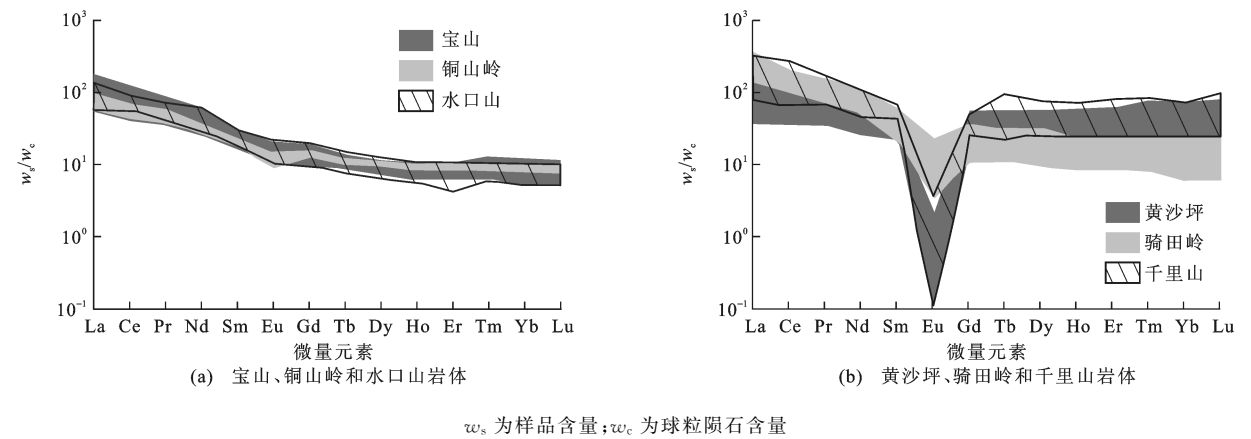


图 3 成矿花岗岩球粒陨石标准化稀土元素配分模式

Fig. 3 Chondrite-normalized REE Patterns of Ore-related Granites

较弱, $\delta(\text{Eu})$ 值大于 0.5 [图 3(a)]。

在微量元素蛛网图(图 4)中, 黄沙坪、骑田岭、千里山岩体亦较为相似, 均具有较高的 Th、U 等放射性元素含量, 并且 Ba、Sr、P、Eu、Ti 负异常明显, 可能与斜长石、磷灰石、钛铁矿等矿物的分离结晶作用有关, 另外可见微弱的 K 和 Nb 负异常。铜山岭、水口山、宝山等岩体 Th、U 含量相对较低, 宝山和铜山岭岩体可见 Ba、Sr、P、Eu、Ti 负异常, 但负异常

表 2 成矿花岗岩微量元素分析结果

Tab. 2 Results of Trace Elements for Ore-related Granites

岩体 名称	统计 类型	w(Rb)/ 10 ⁻⁶	w(Sr)/ 10 ⁻⁶	w(Ba)/ 10 ⁻⁶	w(Th)/ 10 ⁻⁶	w(K)/ 10 ⁻⁶	w(Nb)/ 10 ⁻⁶	w(Ta)/ 10 ⁻⁶	w(La)/ 10 ⁻⁶	w(Ce)/ 10 ⁻⁶	w(Pr)/ 10 ⁻⁶	w(Nd)/ 10 ⁻⁶	w(Sm)/ 10 ⁻⁶	w(Eu)/ 10 ⁻⁶	w(Gd)/ 10 ⁻⁶	w(Tb)/ 10 ⁻⁶	w(Dy)/ 10 ⁻⁶	w(Ho)/ 10 ⁻⁶
宝山	最大值	389.00	360.00	1 400.00	27.50	43 164	39.50	2.79	68.20	125.00	12.70	44.60	7.13	1.30	5.99	0.83	4.47	0.86
	最小值	17.70	36.72	193.00	6.21	6 638	11.80	1.14	19.30	38.30	4.80	18.40	3.71	0.91	2.92	0.51	2.69	0.53
	平均值	173.82	155.67	630.56	17.13	33 907	20.28	1.61	36.25	69.60	7.80	29.06	5.15	1.12	4.46	0.67	3.52	0.68
铜山岭	最大值	203.30	316.66	720.00	20.25	34 866	17.09	1.84	37.09	68.08	8.02	30.87	7.18	1.63	6.72	1.42	6.54	1.61
	最小值	135.40	292.77	531.00	14.52	29 221	15.38	1.60	21.41	41.26	4.77	17.65	3.42	0.66	3.14	0.52	2.81	0.53
	平均值	174.43	306.23	613.75	16.70	32 832	16.54	1.70	27.52	53.65	6.37	24.52	4.89	1.08	4.33	0.71	3.99	0.81
水口山	最大值	257.40	440.50	730.00	23.06	45 160	18.19	1.19	49.91	88.65	9.79	37.03	7.05	1.73	5.98	0.89	4.67	0.91
	最小值	25.23	33.69	107.40	8.49	4 815	11.75	0.70	21.09	54.92	5.52	20.94	4.26	0.92	3.19	0.51	2.60	0.49
	平均值	140.67	160.14	405.43	13.90	29 339	14.87	1.02	37.73	71.29	8.29	30.33	5.88	1.25	4.60	0.71	3.78	0.74
黄沙坪	最大值	1 511.60	61.88	57.60	64.22	59 937	113.25	24.84	51.11	113.97	12.84	48.83	14.49	0.18	17.29	3.19	21.93	5.07
	最小值	465.00	5.82	2.31	20.30	36 843	45.10	4.68	13.70	34.20	4.79	18.50	5.07	0.01	4.90	1.06	6.68	1.31
	平均值	870.90	29.36	22.39	44.30	44 078	81.85	12.80	26.89	61.24	7.98	32.38	10.49	0.06	11.43	2.25	15.47	3.32
骑田岭 陈家 单元	最大值	506.60	61.00	117.00	132.10	41 424	30.20	3.90	97.20	165.40	17.43	55.11	9.48	0.65	7.17	1.24	7.53	1.57
	最小值	416.00	19.00	54.00	87.90	41 341	23.70	2.70	67.03	124.45	12.10	38.43	7.19	0.24	5.49	0.80	4.53	0.93
	平均值	461.30	40.00	85.50	110.00	41 383	26.95	3.30	83.74	149.67	15.02	46.59	8.00	0.36	6.42	1.08	6.53	1.37
骑田岭 仰天湖 单元	最大值	317.10	200.00	616.00	52.80	42 255	28.70	3.50	133.00	184.00	21.00	80.90	13.50	1.73	11.16	1.80	12.40	2.03
	最小值	255.50	145.00	275.00	30.50	35 364	23.00	2.10	54.50	100.00	11.50	42.92	7.93	1.03	5.69	0.94	5.25	0.90
	平均值	286.56	164.00	471.00	46.50	39 299	25.84	2.72	75.21	133.52	15.19	58.01	10.35	1.39	8.12	1.33	8.16	1.46
骑田岭 全部 单元	最大值	515.30	232.00	820.00	132.10	51 552	30.20	6.00	166.10	290.10	23.58	94.00	14.39	2.01	13.06	1.80	12.40	2.42
	最小值	239.60	19.00	54.00	27.40	34 036	22.20	1.70	45.47	94.30	9.67	32.03	4.87	0.29	3.27	0.66	3.63	0.71
	平均值	359.59	125.93	371.07	63.01	41 293	26.48	3.29	77.61	137.36	15.13	54.07	9.59	1.13	7.52	1.22	7.43	1.39
千里山	最大值	962.00	25.00	54.00	80.00	44 745	82.00	9.20	122.00	261.00	23.50	74.80	15.70	0.31	14.70	5.54	29.30	5.99
	最小值	458.00	10.00	7.70	38.00	37 938	23.00	3.90	29.00	62.00	9.30	33.40	10.30	0.01	8.00	1.29	9.90	2.10
	平均值	699.80	17.00	29.54	54.20	41 690	45.00	6.92	66.60	140.00	15.16	55.40	12.90	0.16	10.76	3.37	19.42	3.98
岩体 名称	统计 类型	w(Er)/ 10 ⁻⁶	w(Tm)/ 10 ⁻⁶	w(Yb)/ 10 ⁻⁶	w(Lu)/ 10 ⁻⁶	w(Y)/ 10 ⁻⁶	w(P)/ 10 ⁻⁶	w(Zr)/ 10 ⁻⁶	w(Hf)/ 10 ⁻⁶	w(U)/ 10 ⁻⁶	w(Ti)/ 10 ⁻⁶	$\delta(\text{Eu})$	w _{LREE}	w _{HREE}	w _{LREE} / w _{HREE}	w _{REE}	w(K)/ w(Rb)	w(Rb)/ w(Sr)
宝山	最大值	2.64	0.48	3.18	0.45	27.80	960.13	205.00	6.10	9.28	4 371.00	0.900	257.64	44.13	8.59	287.63	1 504.00	2.84
	最小值	1.62	0.24	1.54	0.23	13.32	392.16	103.00	3.49	3.00	1 787.00	0.570	85.77	27.74	2.30	113.69	111.00	0.11
	平均值	2.10	0.34	2.27	0.33	19.91	667.64	148.14	4.55	5.15	2 736.00	0.720	148.98	34.28	4.50	183.26	289.00	1.34
铜山岭	最大值	3.68	0.38	4.46	0.61	39.72	829.20	132.80	4.36	6.83	2 937.00	0.870	147.17	41.15	4.44	180.84	216.00	0.68
	最小值	1.56	0.24	1.48	0.22	19.30	102.58	86.10	3.11	4.25	2 517.00	0.440	92.61	33.17	2.63	2.63	172.00	0.43
	平均值	2.35	0.33	2.41	0.36	24.98	348.78	117.88	3.96	5.76	2 757.00	0.720	123.68	37.02	3.36	132.52	191.20	0.57
水口山	最大值	2.69	0.38	2.56	0.37	24.63	2 574.88	245.50	7.48	5.30	5 633.82	0.880	190.54	42.52	6.46	225.97	319.38	4.75
	最小值	1.24	0.21	1.28	0.20	11.60	1 003.77	96.64	2.69	2.18	2 756.98	0.570	107.80	21.32	3.67	133.87	147.27	0.23
	平均值	2.02	0.32	2.01	0.31	18.57	1 534.75	157.20	4.37	3.69	4 120.48	0.740	154.77	33.05	4.81	187.82	213.38	1.51
黄沙坪	最大值	15.86	2.76	18.88	3.05	161.28	65.46	286.00	20.40	62.60	539.41	0.053	237.83	248.60	2.70	402.20	128.90	90.03
	最小值	4.16	0.76	5.03	0.87	40.10	34.91	94.10	4.00	15.30	107.88	0.003	84.95	64.87	0.43	150.19	25.43	10.75
	平均值	10.34	1.79	12.16	1.87	102.21	44.16	181.27	10.52	27.19	245.31	0.018	139.05	160.84	1.10	299.89	60.09	38.36
骑田岭 陈家单元	最大值	5.11	0.87	6.15	0.95	47.48	262.00	221.00	8.80	28.30	1 438.42	0.310	334.38	77.68	7.80	409.03	99.38	26.66
	最小值	2.69	0.44	2.91	0.46	24.60	87.00	151.00	6.60	12.60	899.01	0.110	331.35	42.85	4.27	377.23	81.77	6.82
	平均值	4.28	0.72	5.08	0.78	36.04	175.00	186.00	7.70	20.45	1 168.72	0.160	332.87	60.27	6.03	393.13	90.57	16.74
骑田岭 仰天湖 单元	最大值	5.74	0.81	5.01	0.73	53.30	1 047.00	262.00	9.80	13.80	4 495.07	0.560	433.64	92.24	7.38	525.88	154.27	2.19
	最小值	2.57	0.29	1.53	0.23	20.70	611.00	180.00	7.10	7.80	2 816.91	0.310	221.64	42.16	3.02	274.06	122.52	1.37
	平均值	4.11	0.59	3.64	0.52	34.52	873.00	227.60	8.14	9.98	3 775.86	0.470	293.67	62.46	4.84	356.13	137.78	1.78
骑田岭 全部 单元	最大值	7.52	1.01	6.63	0.95	99.40	1 222.00	288.00	9.80	28.30	5 154.35	0.660	433.64	125.18	7.80	525.88	172.20	26.66
	最小值	2.19	0.29	1.53	0.23	16.10	87.00	150.00	5.70	5.50	899.01	0.110	213.31	30.02	2.65	243.33	75.48	1.03
	平均值	4.03	0.62	3.92	0.57	35.50	621.00	206.00	7.64	12.68	2 834.54	0.400	295.12	61.96	5.00	357.09	120.02	5.72
千里山	最大值	19.90	3.03	18.30	3.81	250.00	131.00	153.00	11.70	48.00	719.21	0.097	492.97	347.07	4.15	611.83	97.70	87.45
	最小值	6.05	0.87	6.22	0.92	56.00	44.00	72.00	4.70	19.00	59.93	0.002	145.51	92.65	0.64	339.10	44.18	18.32
	平均值	12.41	1.79	10.63	1.93	119.40	79.00	111.40	6.52	29.40	407.55	0.048	290.22	183.69	2.09	473.91	63.37	50.51

注:宝山数据引自文献[1]、[21]、[22]、[38];铜山岭数据引自文献[1]、[18]、[23];水口山数据引自文献[1]、[24]、[25];黄沙坪数据引自文献[15]~[17]、[29]、[39];骑田岭数据引自文献[18]、[30];千里山数据引自文献[20]、[34];w_{LREE}为轻稀土元素总含量;w_{HREE}为重稀土元素总含量;w_{REE}为稀土元素总含量; $\delta(\text{Eu})$ 为Eu异常。

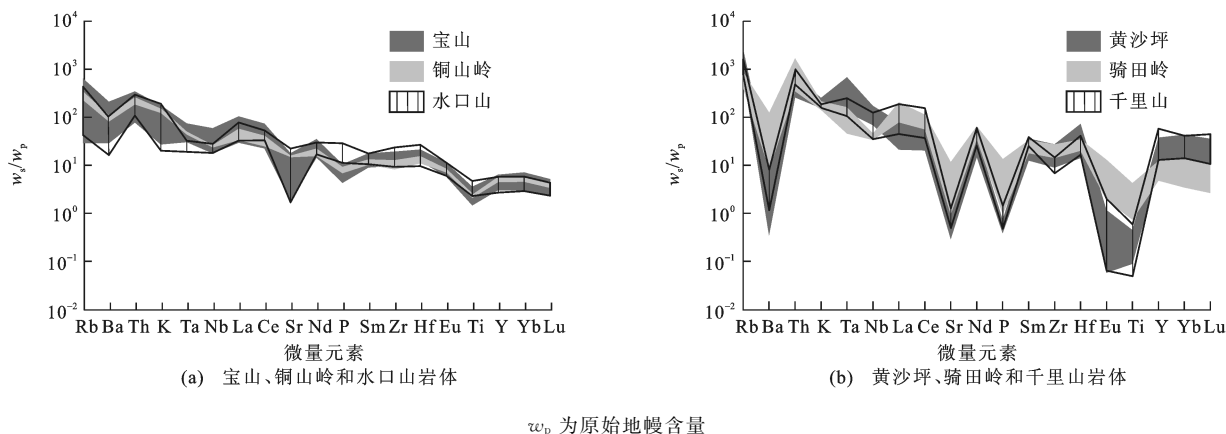


图 4 成矿花岗岩原始地幔标准化微量元素蛛网图

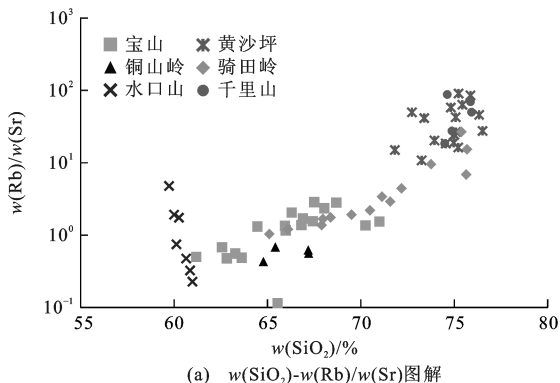
Fig. 4 Primitive Mantle-normalized Trace Element Spider Diagrams for Ore-related Granites

程度相对较弱,水口山岩体 Ba、Sr 负异常较弱,并且无 P、Ti 负异常。此外,宝山、铜山岭和水口山岩体在蛛网图中可见 Nb、Ta 负异常,与岛弧岩浆相似。

2.4 岩浆分异程度对比

岩石 $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 值可以用来判断岩浆的分异程度^[7]。从图 5(a)可以看出:黄沙坪、骑田岭、千里山岩体的 $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 值相对较高,其中黄沙坪岩体在 10~90 之间,平均值为 38.36,骑田岭复式岩体在 1.0~27 之间,平均值为 5.72,从早期至晚期, $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 值逐渐升高,岩浆分异程度逐渐增大,千里山岩体为 18~88,平均值为 50.51;宝山、铜山岭、水口山岩体分异程度相对较低, $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 值小于 8,其中宝山岩体为 0.11~1.84,平均值为 1.34,铜山岭岩体为 0.43~0.68,平均值为 0.57,水口山岩体 $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 值相对偏高,在 0.23~4.75 之间,平均值为 1.51。

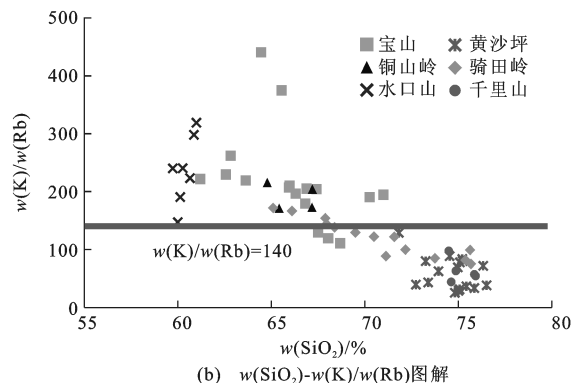
Blevin 等研究表明,岩浆岩 $w(\text{K})/w(\text{Rb})$ 值可以用来研究岩浆的演化过程^[40],若 $w(\text{K})/w(\text{Rb})$ 值小于 140,则岩浆经历过明显的结晶分异作用^[28]。

(a) $w(\text{SiO}_2)$ - $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 图解

利用该参数得到的结果与 $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 值所指示的结果相近[图 5(b)]。黄沙坪、骑田岭、千里山岩体的 $w(\text{K})/w(\text{Rb})$ 值多数小于 140,岩浆分异程度相对较高,其中黄沙坪为 25~129,平均值为 60.09,骑田岭岩体在 75~172 之间,平均值为 120.02,从早期至晚期, $w(\text{K})/w(\text{Rb})$ 值逐渐降低,岩浆分异程度逐渐增高,千里山岩体在 44~98 之间,平均值为 63.37;但宝山、铜山岭和水口山岩体岩浆分异程度相对较低,其 $w(\text{K})/w(\text{Rb})$ 值多数大于 140,其中宝山岩体为 110.92~440.96,且一个高值为 1 503,平均值为 289,铜山岭岩体为 171.50~215.81,平均值为 190.20,水口山岩体为 147.27~319.38,平均值为 213.38。

3 矿床形成的地球动力学背景

对于华南地区大规模成矿作用,华仁民等认为中生代的华南地区发生过 3 次大规模成矿作用^[6],分别是燕山早期 170~180 Ma、燕山中期 139~170 Ma(第一阶段为 150~170 Ma,第二阶段为 139~150 Ma)和

(b) $w(\text{SiO}_2)$ - $w(\text{K})/w(\text{Rb})$ 图解图 5 成矿花岗岩 $w(\text{SiO}_2)$ - $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 图解及 $w(\text{SiO}_2)$ - $w(\text{K})/w(\text{Rb})$ 图解Fig. 5 $w(\text{SiO}_2)$ - $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ and $w(\text{SiO}_2)$ - $w(\text{K})/w(\text{Rb})$ Diagrams of Ore-related Granites

燕山晚期 98~125 Ma。湘东南地区与成矿有关的花岗岩主要形成于 150~165 Ma, 是华南地区燕山中期大规模成矿作用的重要组成部分。

同位素证据表明, 湘东南矿集区内燕山中期花岗岩普遍具有低初始 $N(^{87}\text{Sr})/N(^{86}\text{Sr})$ 值(0.706 3~0.718 2)、低二阶段模式年龄(1.5~1.8 Ga)、高 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值(-8.0~-1.7)等特点, Hf 同位素组成落在地壳与亏损地幔演化线之间, 并且发育幔源基性岩浆残留的包体、A 型花岗岩等岩石组合, 因此, 区内花岗岩的形成与伸展作用有关, 并且是壳-幔相互作用的产物^[15, 17, 22-25, 28-29, 30, 34-35, 41-46]。其中, $\epsilon_{\text{Nd}} = [(N(^{143}\text{Nd})/N(^{144}\text{Nd}))_i / (N(^{143}\text{Nd})/N(^{144}\text{Nd}))_{\text{CHUR}} - 1] \times 10^4$, $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 为年龄 t 对应的 ϵ_{Nd} 值, 下标 i 表示初始比值, 下标 CHUR 表示球粒陨石均一源与样品同时的比值, $N(\cdot)/N(\cdot)$ 为同一元素同位素比值, $N(\cdot)$ 为该元素的原子丰度。

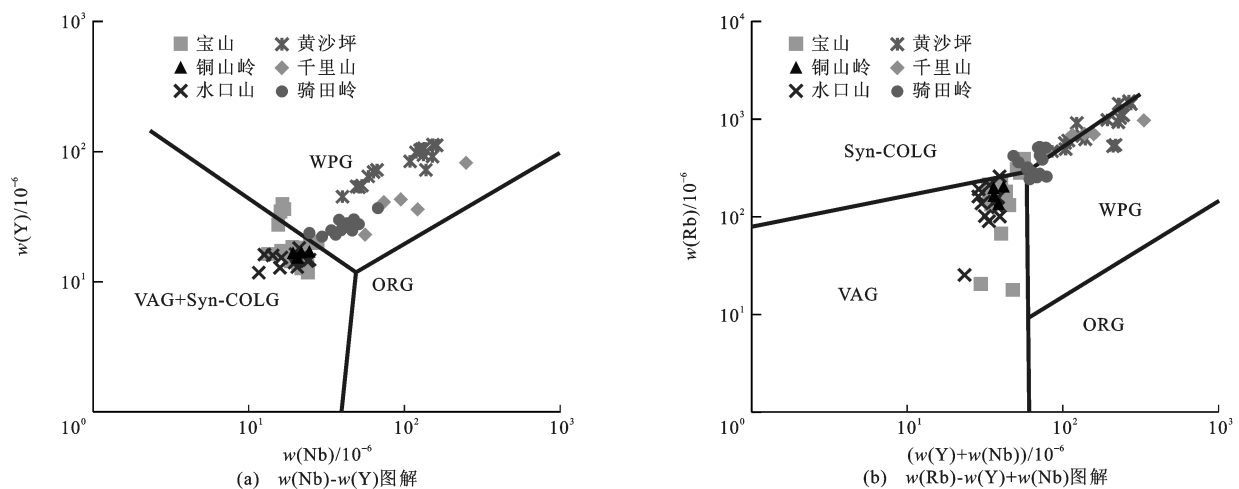
虽然普遍认为区域内燕山中期花岗岩的形成与壳-幔相互作用有关, 并且处于岩石圈伸展-减薄的构造背景中, 但是引起伸展环境的地球动力学背景还存在较大争议, 目前主要观点有以下 4 种类型: 伸展环境对应印支造山运动后大规模岩石圈伸展-减薄阶段^[3, 5-6, 18, 30-31, 47]; 伸展环境与陆内裂谷有关^[14, 19, 48-52]; 伸展环境与地幔柱活动有关^[53-56]; 伸展环境与大洋板块俯冲有关^[7, 15, 22, 25, 34-35, 57-65]。

赣南地区发育正长岩和双峰式火山岩^[19, 48-49], 在一定程度上显示出裂谷环境特征, 但正长岩和双峰式火山岩并不是华南地区燕山期发育的主要岩石类型, 可能是局部强拉张作用的产物^[30]。另外, 大陆裂谷环境下较少发育 W、Sn、Mo、Bi 等矿床, 并且

区域内发育的 A 型花岗岩多为 A2 型, 而该类型的花岗岩通常形成于弧后拉张、后造山伸展等环境^[30, 32-37, 41-42], 因此, 基本可以将大陆裂谷环境排除。而地幔柱最主要的特征是发育大面积的隆起^[66], 但在湘东南地区内未发现该类型的大型构造^[3, 30], 同时缺少大量玄武质流体喷发或基性岩脉^[67], 因此, 湘东南地区成矿环境可能与地幔柱的关系不大。关于湘东南矿集区乃至南岭成矿带的成矿地球动力学背景的争论主要集中在后造山与大洋板块俯冲两种观点上。

自侏罗世开始, Izanagi 板块沿着 NW 方向向东亚大陆俯冲, 导致华南板块整体上从特提斯构造域向太平洋构造域转换^[42]。从整个华南地区中生代岩浆活动的时空分布来看, 其成岩时代有从内陆向东南沿海逐渐变年轻的趋势^[50, 57, 59-61, 65], $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值逐渐升高, 模式年龄逐渐降低^[46], 从 160 Ma 开始, 湘东南地区玄武岩普遍具有 Nb、Ta 亏损的地球化学特点^[64]。宝山、铜山岭、水口山等岩体的地球化学特征与岛弧岩浆相似, 在构造判别图解中落在岛弧花岗岩范围内(图 6), 十杭带的展布方向与大洋板块的俯冲缝合线相一致^[42]。因此, 燕山中期华南内陆成矿作用应与弧后伸展环境或与板片窗的撕裂等作用密切相关^[42, 57-62]。

根据华南地区成矿年龄的统计结果可以发现, 华南地区发育 3 期斑岩型铜矿床, 其年龄分别为 170~180、150~160、90~105 Ma, 分别与华南地区 3 期大规模成矿作用的时间大致相对应^[7], 因此, 斑岩铜矿床的形成应与其他有色金属矿床形成于相同的构造背景下。这 3 期斑岩型铜矿床的成矿母岩地



底图引自文献^[68]; VAG—火山弧花岗岩; WPG—板内花岗岩; Syn-COLG—同碰撞花岗岩; ORG—洋中脊花岗岩

图 6 成矿花岗岩 $w(\text{Nb})-w(\text{Y})$ 图解和 $w(\text{Rb})-w(\text{Y})+w(\text{Nb})$ 图解

Fig. 6 $w(\text{Nb})-w(\text{Y})$ and $w(\text{Rb})-w(\text{Y})+w(\text{Nb})$ Diagrams for Ore-related Granites

球化学性质均显示出了岛弧岩浆特点^[7,35,69-70]。目前的研究成果一般认为斑岩铜矿的形成与洋岭俯冲及大洋板片的部分熔融有密切联系^[71]。另外,斑岩铜矿的形成往往与压缩转换的构造背景有关^[7,72-73]。燕山中期与 W-Sn 成矿作用有关的花岗岩地球化学特征显示华南内陆处于后碰撞环境^[6,18,30-31,41,47],也表明该时期处于压缩环境向伸展环境转换的背景中^[7]。因此,华南地区 3 期大规模成矿作用应与大洋板块及洋脊俯冲有密切联系,并且分别处于挤压向伸展环境转换的构造背景中。

在印支期,华南板块与印支板块相互碰撞,华南内部发生印支造山运动,促使华北板块与华南板块在印支期完成碰撞-拼合作用^[74]。在通常情况下,陆-陆碰撞造山之后通常是后造山构造环境^[3,30]。南岭成矿带中骑田岭、千里山、花山一姑婆山等岩体的地球化学组成在构造判别图解中落在了后造山的范围内^[3,8,30-31,41,47],而燕山早期玄武质岩浆-A 型花岗岩-双峰式火山岩代表了典型的后造山岩石组合,对应印支造山运动后的局部拉张-裂解^[6,47],燕山中期对应印支造山运动后大规模岩石圈伸展-减薄^[6,18,30,41,47],因此,华南地区自从印支晚期开始至燕山中期,逐渐经历了挤压-局部伸展-全面伸展阶段。燕山中期岩石圈大规模的伸展-减薄作用可能为印支期造山作用的延续,属于威尔逊旋回的一部分^[6],因此,燕山中期的大规模成矿作用亦可能与后造山伸展密切相关。

湘东南矿集区成矿花岗岩在时空分布上基本一致,但为什么会处在两种完全不同的构造环境下?根据精确的同位素年代学可以发现,在 180~200 Ma 之间,华南地区处在一个岩浆活动的沉静期,一些学者将其解释为构造环境由特提斯构造域向太平洋构造域的转换,但关于构造转换的时限一直存在较大争议^[42,50,75-77]。从成矿年龄统计可以看出,华南地区中生代斑岩型矿床开始形成于 180 Ma^[7],160 Ma 之后的玄武岩普遍具有岛弧岩浆的性质^[64],因此,至少从 180 Ma 开始,大洋板块俯冲已经为华南地区大规模岩浆活动提供了重要的条件,但此时可能未完全受太平洋构造域的控制。从构造地质学的角度,华南地区存在两种重要的大地构造体制,分别为 EW 向的前侏罗纪古特提斯构造域和 NE 向的中新生代太平洋活动陆缘带,而在中侏罗世则主要受特提斯洋和古太平洋体制的双重影响^[75-76]。另外,在印支晚期至燕山早期,华南内陆处于陆内造山阶段,导致郴州—茶陵断裂带西部拗陷、东部隆起,燕山中

期的花岗岩形成于挤压之后的应力松弛阶段,即后造山环境,而这种作用可能与太平洋板块朝 NW 向的挤压作用有关^[3,18]。郭春丽等通过统计华南地区中侏罗世—晚侏罗世成矿花岗岩的地球化学特征发现,自中侏罗世向晚侏罗世,其构造环境从岛弧环境逐渐向陆内环境转换^[78-79],而宝山等岩体在构造判别图解中落在岛弧花岗岩和板内花岗岩的界限附近(图 6),因此,该地区燕山中期大规模成矿应是太平洋板块俯冲与后造山伸展两种构造体制共同作用下的产物。但是,与之有关的证据还需要进一步补充和完善。

根据矿床形成的构造背景可以发现,斑岩型矿床通常形成于由挤压向伸展的转换阶段,而后造山伸展阶段亦可以认为是强烈的挤压造山作用之后的伸展转换阶段,因此,两类矿床形成的构造背景并不矛盾,而是同一构造环境下的产物。

4 结 语

(1)湘东南地区与成矿有关的岩体可大致分为 2 类:一类以骑田岭为代表,岩性为二长花岗岩,属 A 型花岗岩,成岩时代相对较晚,成矿元素以高温的 W、Sn、Mo、Bi 为主,成矿岩体具有富硅,富钾,贫 P、Ti、Mg 的特点,稀土元素配分模式呈海鸥型, Eu 负异常明显,蛛网图中具有明显的 Eu、Ba、Sr、Ti、P 负异常,岩浆演化程度较高;另一类以宝山岩体为代表,岩性为花岗闪长岩,属 I 型花岗岩,成岩时代相对较早,成矿元素以中低温的 Cu、Pb、Zn 等为主,具有相对贫硅、富碱、富钾等特点,并且具有 Nb、Ta 负异常,与岛弧岩浆相近,并且岩浆演化程度相对较低。

(2)湘东南地区典型的成矿岩体主要形成于 150~165 Ma,是南岭地区燕山中期成矿高峰期的重要组成部分。其成矿作用是燕山中期大洋板块向内陆俯冲与后造山伸展共同作用的结果,并处在岩石圈大规模拉伸-减薄的环境,是壳-幔相互作用的产物。

在成文中得到了中国科学院地球化学研究所唐燕文博士和黄诚博士的热心帮助,在此一并表示感谢。

参 考 文 献:

References:

- [1] WANG Y J, FAN W M, GUO F. Geochemistry of Early Mesozoic Potassium-rich Diorites-granodiorites in Southeastern Hunan Province, South China: Petrogenesis and Tectonic Implications[J]. *Geochemical Jour-*

- nal, 2003, 37(4): 427-448.
- [2] 柏道远, 贾宝华, 李金冬, 等. 区域构造体制对湘东南印支期与燕山早期花岗岩成矿能力的重要意义——以千里山岩体和王仙岭岩体为例[J]. 矿床地质, 2007, 26(5): 487-500.
- BAI Dao-yuan, JIA Bao-hua, LI Jin-dong, et al. Important Significance of Regional Tectonic Regime to Metallogenic Capacity of Indosinian and Early Yanshanian Granites in Southeastern Hunan—A Case Study of Qianlishan and Wangxianling Plutons[J]. Mineral Deposits, 2007, 26(5): 487-500.
- [3] 柏道远, 马铁球, 王先辉, 等. 南岭中段中生代构造-岩浆活动与成矿作用研究进展[J]. 中国地质, 2008, 35(3): 436-455.
- BAI Dao-yuan, MA Tie-qiu, WANG Xian-hui, et al. Progress in the Study of Mesozoic Tectono-Magmatism and Mineralization in the Central Segment of the Nanling Mountains[J]. Geology in China, 2008, 35(3): 436-455.
- [4] HU R Z, ZHOU M F. Multiple Mesozoic Mineralization Events in South China: An Introduction to the Thematic Issue[J]. Mineralium Deposita, 2012, 47(6): 579-588.
- [5] HUA R M, CHEN P R, ZHANG W L, et al. Metallogenic Systems Related to Mesozoic and Cenozoic Granitoids in South China[J]. Science in China: Series D, 2003, 46(8): 816-829.
- [6] 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.
- [7] 李晓峰, YASUSHI W, 华仁民, 等. 华南地区中生代 Cu-(Mo)-W-Sn 矿床成矿作用与洋岭/转换断层俯冲[J]. 地质学报, 2008, 82(5): 625-640.
- LI Xiao-feng, YASUSHI W, HUA Ren-min, et al. Mesozoic Cu-(Mo)-W-Sn Mineralization and Ridge/Triple Subduction in South China[J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(5): 625-640.
- [8] 柏道远, 贾宝华, 钟响, 等. 湘东南印支运动变形特征研究[J]. 地质论评, 2012, 58(1): 19-29.
- BAI Dao-yuan, JIA Bao-hua, ZHONG Xiang, et al. Study on the Deformation of Indosinian Movement in Southeastern Hunan[J]. Geological Review, 2012, 58(1): 19-29.
- [9] 毛景文, 李红艳, 裴荣富, 等. 千里山花岗岩体地质地球化学及与成矿关系[J]. 矿床地质, 1995, 14(1): 12-25.
- MAO Jing-wen, LI Hong-yan, PEI Rong-fu, et al. Geology and Geochemistry of the Qianlishan Granite Stock and Its Relationship to Polymetallic Tungsten Mineralization[J]. Mineral Deposits, 1995, 14(1): 12-25.
- [10] 柏道远, 李长安, 马铁球, 等. 第四纪洞庭盆地安乡凹陷及西缘构造-沉积特征与环境演化[J]. 地球科学与环境学报, 2010, 32(2): 120-129.
- BAI Dao-yuan, LI Chang-an, MA Tie-qiu, et al. Quaternary Tectonic-sedimentary Characteristics and Environmental Evolution of Anxiang Sag in Dongting Basin and Its West Periphery[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2010, 32(2): 120-129.
- [11] 柏道远, 陈建成, 孟德保, 等. 湖南炎陵印支期隔槽式褶皱形成机制[J]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(4): 10-14.
- BAI Dao-yuan, CHEN Jian-cheng, MENG De-bao, et al. Forming Mechanism of Indosinian Trough-like Folds in Yanling Region, Hunan[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2006, 28(4): 10-14.
- [12] 秦葆瑚. 湘南四个金属矿田的区域重磁异常特征[J]. 物探与化探, 1984, 8(1): 34-40.
- QIN Bao-hu. Characteristics of Regional Gravity and Magnetic Anomalies of Four Major Polymetal Ore Fields in Southern Hunan, China[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 1984, 8(1): 34-40.
- [13] 柏道远, 汪永清, 王先辉, 等. 湘东南汝城盆地性质及其对华南燕山早期构造环境的启示[J]. 沉积与特提斯地质, 2006, 26(1): 47-54.
- BAI Dao-yuan, WANG Yong-qing, WANG Xian-hui, et al. The Nature of the Rucheng Basin in Southeastern Hunan and Its Significance to the Tectonic Setting of South China During the Early Yanshanian[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2006, 26(1): 47-54.
- [14] WANG Y J, FAN W M, GUO F, et al. Geochemistry of Mesozoic Mafic Rocks Adjacent to the Chenzhou-Linwu Fault, South China: Implications for the Lithospheric Boundary Between the Yangtze and Cathaysia Blocks[J]. International Geology Review, 2003, 45(3): 263-286.
- [15] 艾昊. 湖南黄沙坪多金属矿床成矿斑岩锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位素制约[J]. 矿床地质, 2013, 32(3): 545-563.
- AI Hao. Zircon U-Pb Geochronology and Hf Isotopic Compositions of Ore-related Granites from Huangshaping Polymetallic Deposit of Hunan Province[J].

- Mineral Deposits, 2013, 32(3): 545-563.
- [16] 姚军明, 华仁民, 林锦富. 湘东南黄沙坪花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及岩石地球化学特征[J]. 岩石学报, 2005, 21(3): 688-696.
- YAO Jun-ming, HUA Ren-min, LIN Jin-fu. Zircon LA-ICP-MS U-Pb Dating and Geochemical Characteristics of Huangshaping Granite in Southeast Hunan Province, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(3): 688-696.
- [17] 原埡斌, 袁顺达, 陈长江, 等. 黄沙坪矿区花岗岩类的锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素组成及其地质意义[J]. 岩石学报, 2014, 30(1): 64-78.
- YUAN Ya-bin, YUAN Shun-da, CHEN Chang-jiang, et al. Zircon U-Pb Ages and Hf Isotopes of the Granitoids in the Huangshaping Mining Area and Their Geological Significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(1): 64-78.
- [18] 伍光英. 湘东南多金属矿集区燕山期花岗岩类及其大规模成矿作用[D]. 北京: 中国地质大学, 2005.
- WU Guang-ying. The Yanshanian Granitoids and Their Cosmical Mineralization Interaction in Poly Metallogenic Deposit-concentrated Area in Southeastern Hunan[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2005.
- [19] LI X H, CHEN Z G, LIU D Y, et al. Jurassic Gabbro-granite-syenite Suites from Southern Jiangxi Province, SE China: Age, Origin, and Tectonic Significance[J]. International Geology Review, 2003, 45(10): 898-921.
- [20] LI X H, LIU D Y, SUN M, et al. Precise Sm-Nd and U-Pb Isotopic Dating of the Supergiant Shizhuyuan Polymetallic Deposit and Its Host Granite, SE China[J]. Geological Magazine, 2004, 141(2): 225-231.
- [21] 路远发, 马丽艳, 屈文俊, 等. 湖南宝山铜-钨多金属矿床成岩成矿的 U-Pb 和 Re-Os 同位素定年研究[J]. 岩石学报, 2006, 22(10): 2483-2492.
- LU Yuan-fa, MA Li-yan, QU Wen-jun, et al. U-Pb and Re-Os Isotope Geochronology of Baoshan Cu-Mo Polymetallic Ore Deposit in Hunan Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(10): 2483-2492.
- [22] 谢银财. 湘南宝山铅锌多金属矿区花岗闪长斑岩成因及成矿物质来源研究[D]. 南京: 南京大学, 2013.
- XIE Yin-cai. Genesis of the Granodiorite Porphyry and Sources of Metallogenic Materials in the Baoshan Pb-Zn Polymetallic Deposit, Southern Hunan Province[D]. Nanjing: Nanjing University, 2013.
- [23] 刘 勇. 湘南骑田岭一道县地区燕山期花岗质岩浆的壳-幔相互作用研究[D]. 北京: 中国地质科学院研究生部, 2011.
- LIU Yong. Crust-mantle Interaction of Yanshanian Granitic Magma in Qitianling and Daoxian Area Southern Hunan[D]. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Geological Sciences, 2011.
- [24] 马丽艳, 路远发, 梅玉萍, 等. 湖南水口山矿区花岗闪长岩中的锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(10): 2475-2482.
- MA Li-yan, LU Yuan-fa, MEI Yu-ping, et al. Zircon SHRIMP U-Pb Dating of Granodiorite from Shuikoushan Ore-field Hunan Province and Its Geological Significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(10): 2475-2482.
- [25] 路 睿. 湖南省常宁市水口山铅锌矿床地质特征及成因机制探讨[D]. 南京: 南京大学, 2013.
- LU Rui. Geologic Characteristic and Genesis Mechanism of the Shuikoushan Pb-Zn Deposit in Changning City, Hunan Province[D]. Nanjing: Nanjing University, 2013.
- [26] 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.
- Department of Geology, Nanjing University. Granitoids of Different Ages in South China and Their Relation with Mineralization[M]. Beijing: Science Press, 1981.
- [27] 中国科学院贵阳地球化学研究所. 华南花岗岩类的地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1976.
- Guiyang Geochemistry Institute, Chinese Academy of Sciences. Geochemistry of Granitoids in South China[M]. Beijing: Science Press, 1976.
- [28] 李兆丽. 锡成矿与 A 型花岗岩关系的地球化学研究——以湖南芙蓉锡矿田为例[D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 2006.
- LI Zhao-li. Geochemical Relationship Between Tin Mineralization and A-type Granite: A Case of the Furong Tin Orefield, Hunan Province, South China[D]. Guiyang: Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 2006.
- [29] 全铁军, 孔 华, 王 高, 等. 黄沙坪矿区花岗岩岩石地球化学、U-Pb 年代学及 Hf 同位素制约[J]. 大地构造与成矿学, 2012, 36(4): 597-606.
- QUAN Tie-jun, KONG Hua, WANG Gao, et al. Petrogenesis of the Granites in the Huangshaping Area: Constraints from Petrochemistry, Zircon U-Pb Chronology and Hf Isotope[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2012, 36(4): 597-606.
- [30] 柏道远, 陈建超, 马铁球, 等. 湘东南骑田岭岩体 A 型花岗岩的地球化学特征及其构造环境[J]. 岩石矿物

- 学杂志, 2005, 24(4): 255-272.
- BAI Dao-yuan, CHEN Jian-chao, MA Tie-qiu, et al. Geochemical Characteristics and Tectonic Setting of Qitianling A-type Granitic Pluton in Southeast Hunan [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2005, 24(4): 255-272.
- [31] 朱金初, 张佩华, 谢才富, 等. 南岭西段花山—姑婆山侵入岩带锆石 U-Pb 年龄格架及其地质意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(9): 2270-2278.
- ZHU Jin-chu, ZHANG Pei-hua, XIE Cai-fu, et al. Zircon U-Pb Age Framework of Huashan-Guposhan Intrusive Belt, Western Part of Nanling Range, and Its Geological Significance [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(9): 2270-2278.
- [32] 全立华, 汪 洋. 千里山钨锡金属矿床物质运移模式与成岩成矿关系——小岩体成大矿的一个实例[J]. 西北地质, 2012, 45(4): 380-389.
- TONG Li-hua, WANG Yang. The Explanation of the Metallogeny About Qianlishan Tungsten-tin by the Theory of Small Magmatic Intrusion Mineralization [J]. *Northwestern Geology*, 2012, 45(4): 380-389.
- [33] 全立华. 湖南郴州千里山含钨锡金属花岗岩岩石成因及成矿模式探讨[D]. 北京: 中国地质大学, 2013.
- TONG Li-hua. The Petrogenesis and Metallogenetic Model of Qianlishan Tin-tungsten Bearing Granite in Hunan, China [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2013.
- [34] JIANG Y H, JIANG S Y, ZHAO K D, et al. Petrogenesis of Late Jurassic Qianlishan Granites and Mafic Dykes, Southeast China: Implications for a Back-arc Extension Setting [J]. *Geological Magazine*, 2006, 143(4): 457-474.
- [35] JIANG Y H, JIANG S Y, DAI B Z, et al. Middle to Late Jurassic Felsic and Mafic Magmatism in Southern Hunan Province, Southeast China: Implications for a Continental Arc to Rifting [J]. *Lithos*, 2009, 107(3/4): 185-204.
- [36] 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(4): 407-419.
- [37] EBY G N. Chemical Subdivision of the A-type Granitoids: Petrogenetic and Tectonic Implications [J]. *Geology*, 1992, 20(7): 641-644.
- [38] 全铁军, 孔 华, 费利东, 等. 宝山花岗闪长斑岩的岩石成因: 地球化学、锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素制约[J]. 中国有色金属学报, 2012, 22(3): 611-621.
- QUAN Tie-jun, KONG Hua, FEI Li-dong, et al. Petrogenesis of Granodiorite Porphyry in Baoshan Deposit: Constraints from Geochemistry, Zircon U-Pb Chronology and Hf Isotopes [J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2012, 22(3): 611-621.
- [39] 齐钊宇, 张 志, 祝新友, 等. 湖南黄沙坪钨钼多金属矿床矽卡岩地球化学特征及其地质意义[J]. 中国地质, 2012, 39(2): 338-348.
- QI Fan-yu, ZHANG Zhi, ZHU Xin-you, et al. Skarn Geochemistry of the Huangshaping W-Mo Polymetallic Deposit in Hunan and Its Geological Significance [J]. *Geology in China*, 2012, 39(2): 338-348.
- [40] BLEVIN P L. Redox and Compositional Parameters for Interpreting the Granitoid Metallogeny of Eastern Australia: Implications for Gold-rich Ore Systems [J]. *Resource Geology*, 2004, 54(3): 241-252.
- [41] 朱金初, 陈 骏, 王汝成, 等. 南岭中西段燕山早期北东向含锡钨 A 型花岗岩带[J]. 高校地质学报, 2008, 14(4): 474-484.
- ZHU Jin-chu, CHEN Jun, WANG Ru-cheng, et al. Early Yanshanian NE Trending Sn/W-bearing A-type Granites in the Western-middle Part of the Nanling Mts Region [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2008, 14(4): 474-484.
- [42] 蒋少涌, 赵葵东, 姜耀辉, 等. 十杭带湘南—桂北段中生代 A 型花岗岩带成岩成矿特征及成因讨论[J]. 高校地质学报, 2008, 14(4): 496-509.
- JIANG Shao-yong, ZHAO Kui-dong, JIANG Yao-hui, et al. Characteristics and Genesis of Mesozoic A-type Granites and Associated Mineral Deposits in Southern Hunan and Northern Guangxi Provinces Along the Shi-Hang Belt, South China [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2008, 14(4): 496-509.
- [43] ZHAO K D, JIANG S Y, ZHU J C, et al. Hf Isotopic Composition of Zircons from the Huashan-Guposhan Intrusive Complex and Their Mafic Enclaves in Northeastern Guangxi: Implication for Petrogenesis [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2010, 55(6): 509-519.
- [44] ZHAO K D, JIANG S Y, YANG S Y, et al. Mineral Chemistry, Trace Elements and Sr-Nd-Hf Isotope Geochemistry and Petrogenesis of Cailing and Furong Granites and Mafic Enclaves from the Qitianling Batholith in the Shi-Hang Zone, South China [J]. *Gondwana Research*, 2012, 22(1): 310-324.
- [45] CHEN J, WANG R C, ZHU J C, et al. Multiple-aged Granitoids and Related Tungsten-tin Mineralization in the Nanling Range, South China [J]. *Science China: Earth Sciences*, 2013, 56(12): 2045-2055.
- [46] CHEN J F, JAHN B M. Crustal Evolution of South-

- eastern China; Nd and Sr Isotopic Evidence[J]. *Tectonophysics*, 1998, 284(1/2): 101-133.
- [47] CHEN P R, HUA R M, ZHANG B D, et al. Early Yanshanian Post-orogenic Granitoids in the Nanling Region: Petrological Constraints and Geodynamic Settings[J]. *Science in China: Series D*, 2002, 45(8): 755-768.
- [48] LI X H, ZHOU H W, LIU Y, et al. Shoshonitic Intrusive Suite in SE Guangxi; Petrology and Geochemistry[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(7): 653-659.
- [49] 陈志刚, 李献华, 李武显, 等. 赣南全南正长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其对华南燕山早期构造背景的制约[J]. *地球化学*, 2003, 32(3): 223-229.
- CHEN Zhi-gang, LI Xian-hua, LI Wu-xian, et al. SHRIMP U-Pb Zircon Age of the Quannan Syenite, Southern Jiangxi; Constraints on the Early Yanshanian Tectonic Setting of SE China[J]. *Geochimica*, 2003, 32(3): 223-229.
- [50] ZHOU X M, SUN T, SHEN W Z, et al. Petrogenesis of Mesozoic Granitoids and Volcanic Rocks in South China: A Response to Tectonic Evolution[J]. *Episodes*, 2006, 29(1): 26-33.
- [51] ZHAO Z H, BAO Z W, ZHANG B Y. Geochemistry of the Mesozoic Basaltic Rocks in Southern Hunan Province[J]. *Science in China: Series D*, 1998, 41(S1): 102-112.
- [52] WANG Y J, FAN W M, PENG T P, et al. Elemental and Sr-Nd Isotopic Systematics of the Early Mesozoic Volcanic Sequence in Southern Jiangxi Province, South China: Petrogenesis and Tectonic Implications[J]. *International Journal of Earth Sciences*, 2005, 94(1): 53-65.
- [53] JIA D C, HU R Z, LU Y, et al. Characteristics of the Mantle Source Region of Sodium Lamprophyres and Petrogenetic Tectonic Setting in Northeastern Hunan, China[J]. *Science in China: Series D*, 2004, 47(6): 559-569.
- [54] 毛景文, 李红艳, 王登红, 等. 华南地区中生代多金属矿床形成与地幔柱关系[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 1998, 17(2): 130-132.
- MAO Jing-wen, LI Hong-yan, WANG Deng-hong, et al. Ore-forming of Mesozoic Polymetallic Deposits in South China and Its Relationship with Mantle Plume[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 1998, 17(2): 130-132.
- [55] 谢桂青, 胡瑞忠, 赵军红, 等. 中国东南部地幔柱及其与中生代大规模成矿关系初探[J]. *大地构造与成矿学*, 2001, 25(2): 179-186.
- XIE Gui-qing, HU Rui-zhong, ZHAO Jun-hong, et al. Mantle Plume and the Relationship Between It and Mesozoic Large-scale Metallogenesis in Southeastern China: A Preliminary Discussion[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2001, 25(2): 179-186.
- [56] 唐朝永, 林锦富, 张南锋. 浅谈对湘南地幔柱构造的认识及其地质意义[J]. *矿产与地质*, 2009, 23(1): 1-6.
- TANG Chao-yong, LIN Jin-fu, ZHANG Nan-feng. Discussion About Mantle Plume in Southern Hunan with Its Geological Significance[J]. *Mineral Resources and Geology*, 2009, 23(1): 1-6.
- [57] ZHOU X M, LI W X. Origin of Late Mesozoic Igneous Rocks in Southeastern China: Implications for Lithosphere Subduction and Underplating of Mafic Magmas[J]. *Tectonophysics*, 2000, 326(3/4): 269-287.
- [58] SUN T, ZHOU X M, CHEN P R, et al. Strongly Per-aluminous Granites of Mesozoic in Eastern Nanling Range, Southern China: Petrogenesis and Implications for Tectonics[J]. *Science in China: Series D*, 2005, 48(2): 165-174.
- [59] 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 等. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J]. *地学前缘*, 2004, 11(1): 45-55.
- MAO Jing-wen, XIE Gui-qing, LI Xiao-feng, et al. Mesozoic Large Scale Mineralization and Multiple Lithospheric Extension in South China[J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11(1): 45-55.
- [60] 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 等. 华南地区中生代主要金属矿床时空分布规律和成矿环境[J]. *高校地质学报*, 2008, 14(4): 510-526.
- MAO Jing-wen, XIE Gui-qing, GUO Chun-li, et al. Spatial-temporal Distribution of Mesozoic Ore Deposits in South China and Their Metallogenic Settings[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2008, 14(4): 510-526.
- [61] 毛景文, 陈懋弘, 袁顺达, 等. 华南地区钦杭成矿带地质特征和矿床时空分布规律[J]. *地质学报*, 2011, 85(5): 636-658.
- MAO Jing-wen, CHEN Mao-hong, YUAN Shun-da, et al. Geological Characteristics of the Qinhang (or Shihang) Metallogenic Belt in South China and Spatial-temporal Distribution Regularity of Mineral Deposits[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2011, 85(5): 636-658.
- [62] 郭春丽. 赣南崇义—上犹地区与成矿有关中生代花岗岩类的研究及对南岭地区中生代成矿花岗岩的探讨[D]. 北京: 中国地质科学院研究生部, 2010.
- GUO Chun-li. Study on Mineralization-related Mesozoic Granitoids in Chongyi-Shangyou Counties, South Jiangxi, and Comparison to Corresponding Granitoids in

- the Nanling Region, South China[D]. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Geological Sciences, 2010.
- [63] WANG F Y, LING M X, DING X, et al. Mesozoic Large Magmatic Events and Mineralization in SE China: Oblique Subduction of the Pacific Plate[J]. International Geology Review, 2011, 53(5/6): 704-726.
- [64] 孟立丰. 华南中生代构造演化特征: 来自沉积盆地的研究证据[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
MENG Li-feng. Mesozoic Tectonic Evolution of the Southeast China Block: A Study from the Mesozoic Basins[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012.
- [65] LI Z X, LI X H. Formation of the 1 300-km-wide Intracontinental Orogen and Postorogenic Magmatic Province in Mesozoic South China: A Flat-slab Subduction Model[J]. Geology, 2007, 35(2): 179-182.
- [66] 李 晖, 朱貌贤. 地幔柱动力学机制的新思考[J]. 岩石矿物学杂志, 2012, 31(1): 113-118.
LI Hui, ZHU Mao-xian. New Thinking About Dynamic Mechanism of the Mantle Plume[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2012, 31(1): 113-118.
- [67] 刘琼颖, 何丽娟, 黄 方. 华南中生代地球动力学机制研究进展[J]. 地球物理学进展, 2013, 28(2): 633-647.
LIU Qiong-ying, HE Li-juan, HUANG Fang. Review of Mesozoic Geodynamics Research of South China [J]. Progress in Geophysics, 2013, 28(2): 633-647.
- [68] PEARCE J A, HARRIS N B W, TINDLE A G. Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks[J]. Journal of Petrology, 1984, 25(4): 956-983.
- [69] 冷成彪, 张兴春, 陈衍景, 等. 中国斑岩铜矿与埃达克(质)岩关系探讨[J]. 地学前缘, 2007, 14(5): 199-210.
LENG Cheng-biao, ZHANG Xing-chun, CHEN Yan-jing, et al. Discussion on the Relationship Between Chinese Porphyry Copper Deposits and Adakitic Rocks[J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(5): 199-210.
- [70] 梁 锦, 周永章, 李红中, 等. 钦—杭结合带斑岩型铜矿的基本地质特征及成因分析[J]. 岩石学报, 2012, 28(10): 3361-3372.
LIANG Jin, ZHOU Yong-zhang, LI Hong-zhong, et al. Geological Characteristics and Genesis of Porphyry Copper Deposits in Qinzhou-Hangzhou Suture Zone, South China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(10): 3361-3372.
- [71] SUN W D, LING M X, YANG X Y, et al. Ridge Subduction and Porphyry Copper-gold Mineralization: An Overview[J]. Science China: Earth Sciences, 2010, 53(4): 475-484.
- [72] QIN K Z, ISHIHARA S. On the Possibility of Porphyry Copper Mineralization in Japan[J]. International Geology Review, 1998, 40(6): 539-551.
- [73] SILLITOE R H. Porphyry Copper Systems[J]. Economic Geology, 2010, 105(1): 3-41.
- [74] LAN C Y, CHUNG S L, SHEN J J S, et al. Geochemical and Sr-Nd Isotopic Characteristics of Granitic Rocks from Northern Vietnam[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2000, 18(3): 267-280.
- [75] 舒良树, 周新民, 邓 平, 等. 中国东南部中、新生代盆地特征与构造演化[J]. 地质通报, 2004, 23(9/10): 876-884.
SHU Liang-shu, ZHOU Xin-min, DENG Ping, et al. Geological Features and Tectonic Evolution of Mesozoic Basins in Southeastern China[J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(9/10): 876-884.
- [76] 舒良树. 华南构造演化的基本特征[J]. 地质通报, 2012, 31(7): 1035-1053.
SHU Liang-shu. An Analysis of Principal Features of Tectonic Evolution in South China Block[J]. Geological Bulletin of China, 2012, 31(7): 1035-1053.
- [77] 杨宗永, 何 斌. 华南侏罗纪构造体制转换: 碎屑锆石 U-Pb 年代学证据[J]. 大地构造与成矿学, 2013, 37(4): 580-591.
YANG Zong-yong, HE Bin. Transform of Jurassic Tectonic Configuration of South China Block: Evidence from U-Pb Ages of Detrital Zircons[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2013, 37(4): 580-591.
- [78] 郭春丽, 许以明, 楼法生, 等. 钦杭带侏罗纪与铜和锡矿有关的两类花岗岩对比及动力学背景探讨[J]. 岩石矿物学杂志, 2013, 32(4): 463-484.
GUO Chun-li, XU Yi-ming, LOU Fa-sheng, et al. A Comparative Study of the Middle Jurassic Granodiorite Related to Cu and the Late Jurassic Granites Related to Sn in the Qin-Hang Metallogenic Belt and a Tentative Discussion on Their Tectonic Dynamic Setting[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2013, 32(4): 463-484.
- [79] GUO C L, CHEN Y C, ZENG Z L, et al. Petrogenesis of the Xihuashan Granites in Southeastern China: Constraints from Geochemistry and In-situ Analyses of Zircon U-Pb-Hf-O Isotopes[J]. Lithos, 2012, 148(1): 209-227.