

doi: 10.12029/gc20200218

李若坚,陈远荣,谷瑞祺,黎家财,蒋鑫,农悦瑾,王展宇,严翔. 2020. 广西猫儿山花岗岩及其相邻基底地层岩石地球化学特征与成矿潜力[J]. 中国地质, 47(2): 528–537.

Li Ruojian, Chen Yuanrong, Gu Ruiqi, Li Jiakai, Jiang Xin, Nong Yuejin, Wang Zhanyu, Yan Xiang. 2020. Geochemical characteristics and metallogenic potential of Maoershan granite and its adjacent basement strata in Guangxi[J]. *Geology in China*, 47(2):528–537(in Chinese with English abstract).

# 广西猫儿山花岗岩及其相邻基底地层岩石地球化学特征与成矿潜力

李若坚, 陈远荣, 谷瑞祺, 黎家财, 蒋鑫, 农悦瑾, 王展宇, 严翔

(桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林 541006)

**摘要:**通过对猫儿山花岗岩及其相邻基底地层进行地球化学与成矿潜力研究,发现猫儿山花岗岩具有高硅( $\text{SiO}_2=67.61\%\sim 83.16\%$ )、富钾( $\text{K}_2\text{O}=3.75\%\sim 6.28\%$ )、富铁( $\text{FeO}^T=1.85\%\sim 5.38\%$ )、贫钠( $\text{Na}_2\text{O}=0.08\%\sim 3.06\%$ )、贫镁( $\text{MgO}=0.14\%\sim 1.28\%$ )、过铝质(A/CNK的平均值为1.49)的特征,稀土元素总量较高,轻稀土富集, Eu显示负异常( $\delta\text{Eu}=0.15\sim 0.46$ ),为主要形成于后造山构造环境的强过铝质S型花岗岩。同时,猫儿山花岗岩及其相邻基底地层的元素组合、烃类组分具有继承性关系,花岗岩主要来源于基底地层的部分熔融,W、Sn、Bi具备良好的成矿潜力。换言之,基底地层不仅为大规模的岩浆活动提供了物质基础,同时也为花岗岩浆进一步分异形成钨锡多金属矿化(矿床)提供了成矿物质来源。

**关键词:**地球化学特征;烃类组分;成矿潜力分析;花岗岩;基底地层;地质调查工程;猫儿山;广西  
中图分类号:P588.12 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2020)02-0528-10

## Geochemical characteristics and metallogenic potential of Maoershan granite and its adjacent basement strata in Guangxi

LI Ruojian, CHEN Yuanrong, GU Ruiqi, LI Jiakai, JIANG Xin,  
NONG Yuejin, WANG Zhanyu, YAN Xiang

(College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin 541006, Guangxi, China)

**Abstract:** Through studying the geochemical characteristics and metallogenic potential of Maoershan granite and its adjacent basement strata, it is found that the granite is characterized by high silicon ( $\text{SiO}_2=67.61\%\sim 83.16\%$ ), rich potassium ( $\text{K}_2\text{O}=3.75\%\sim 6.28\%$ ) and iron ( $\text{FeO}^T=1.85\%\sim 5.38\%$ ), depleted sodium ( $\text{Na}_2\text{O}=0.08\%\sim 3.06\%$ ), poor magnesium ( $\text{MgO}=0.14\%\sim 1.28\%$ ), peraluminous nature (the average of A/CNK being 1.49), relatively high total amounts of rare earth elements, and enriched light rare earth elements, with Eu negative anomaly ( $\delta\text{Eu}=0.15\sim 0.46$ ), suggesting that it was formed in the post-orogenic tectonic environment and belonged to strongly peraluminous S-type granite. At the same time, the results show that the element assemblages

收稿日期:2018-09-07;改回日期:2019-09-20

基金项目:国家科技支撑项目(2014BAB05B00)和有色及贵金属隐伏矿床勘查教育部工程中心项目(2015GCZX006)资助。

作者简介:李若坚,男,1992年生,硕士生,地球化学专业;E-mail:469112375@qq.com。

通讯作者:陈远荣,男,1963年生,博士,教授,长期从事地球化学勘查研究;E-mail:chenyremail@163.com。

and hydrocarbon composition of Maershan granite and its adjacent basement strata had inherited relationship. The granite was mainly derived from the partial melting of the basement strata. W, Sn and Bi had good metallogenic potential. All these data show that the basement strata in this area not only provided a material basis for large-scale magmatic activities but also provided a source of ore-forming materials for further differentiation of granite pulp to form tungsten-tin polymetallic deposits.

**Key words:** geochemical characteristics; hydrocarbon component; analysis of metallogenic potential; granite; basement strata; geological survey engineering; Maershan; Guangxi

**About the first author:** LI Ruojian, male, born in 1992, master candidate, majors in geochemistry; E-mail: 469112375@qq.com.

**About the corresponding author:** CHEN Yuanrong, male, born in 1963, doctor, professor, engages in the study of geochemical exploration; E-mail: chenyre@mail@163.com.

**Fund support:** Supported by National Science and Technology Support Project (No. 2014BAB05B00) and Engineering Research Center of Exploration for Hidden Non-ferrous and Precious Metal Ore Deposits, Ministry of Education Project (No. 2015GCZX006).

## 1 引言

猫儿山地区位于扬子陆块江南地块南部边缘,南部与华夏陆块的湘桂褶皱系为邻,经历了多期的岩浆和构造活动,具有较好的成矿地质背景和成矿条件。前人在该区做了大量的研究,关于猫儿山花岗岩的成因,部分学者对加里东期猫儿山岩体进行锆石 SHRIMP U-Pb 年龄、地球化学研究,其地球化学特征表明花岗岩为 S 型花岗岩,源岩主要为中、上地壳岩石(柏道远等,2014);对猫儿山地区早燕山期花岗岩的地球化学特征进行研究,推断其为来源于地壳物质熔融的 S 型花岗岩类,主要形成于后造山伸展构造环境(柏道远等,2015);对猫儿山印支期花岗岩进行研究,其地球化学特征表明印支期花岗岩具有高硅、强过铝、高分异的 S 型花岗岩特征(张迪,2015);关于其成矿作用的研究,部分研究人员对桂东北猫儿山—越城岭矿集区成岩成矿演化进行分析,认为猫儿山—越城岭矿集区主要岩体形成于加里东期和印支期,主要矿床和加里东期及印支期岩浆活动有关,而不是过去认为的燕山期(林书平,2016);对桂东北越城岭—猫儿山地区印支期成矿作用进行研究,认为桂北地区经历了较强的印支期成岩成矿作用,有较好的找矿前景(程顺波,2013);对桂北猫儿山地区印支期花岗岩与成矿作用进行研究,再一次证实了桂北猫儿山地区在印支期曾发生过一定规模的钨(等多金属)成矿作用,这次成矿作用是燕山期大规模成矿作用的序幕(张迪,2015)。前人的研究内容都以花岗岩为研究主体,缺乏对其相邻基底地层的研究,忽视了对花岗岩演化过程以

及区域成矿过程的物质来源与基底地层关联性的探讨。因此,本文在前人的研究基础上,依据大规模岩浆活动对区域成矿约束的观点,研究猫儿山花岗岩及其相邻基底地层的地球化学与烃类组分特征,分析花岗岩的物质来源及构造环境、基底地层微量元素的分布、集散以及分异特征,从而对比花岗岩和相邻基底地层的内在联系性、共同演化关系,进而阐述基底地层对岩浆活动的影响,最后对该区进行成矿潜力分析,为该区域找矿提供借鉴。

## 2 地质概况

猫儿山地区位于桂北与湘南交界处,大地构造位置属江南地轴东南侧的桂北台隆越城岭褶断带(广西壮族自治区地质矿产局,1985)。出露的基底地层有元古宇丹洲群、震旦系以及下古生界寒武系、奥陶系、志留系等,分布最广的地层有寒武系浅海相的砂岩、页岩和奥陶系的砂岩、页岩、夹灰岩,丹洲群和震旦系出露不多,仅见于猫儿山花岗岩体边缘(图1)。

区内断裂构造主要有4组,分别为NE、NNE、NW和近EW向,其中以NE、NNE向最为发育,新一资大断裂带是该区主要的断裂,该断裂将猫儿山岩体与越城岭岩体分离。

区内构造运动强烈,岩浆活动频繁,经历了从加里东期至燕山期等一系列构造运动,并伴随多期的岩浆活动。该区以加里东期岩浆岩为主,构成了猫儿山岩体的岩基。岩基主要由黑云母花岗岩组成,岩性从岩基边缘到内部分别为中粒黑云母二长花岗岩、中粗粒斑状黑云母花岗岩及中粒角闪石二长花岗岩。印支期和燕山期岩浆岩多呈小型花岗

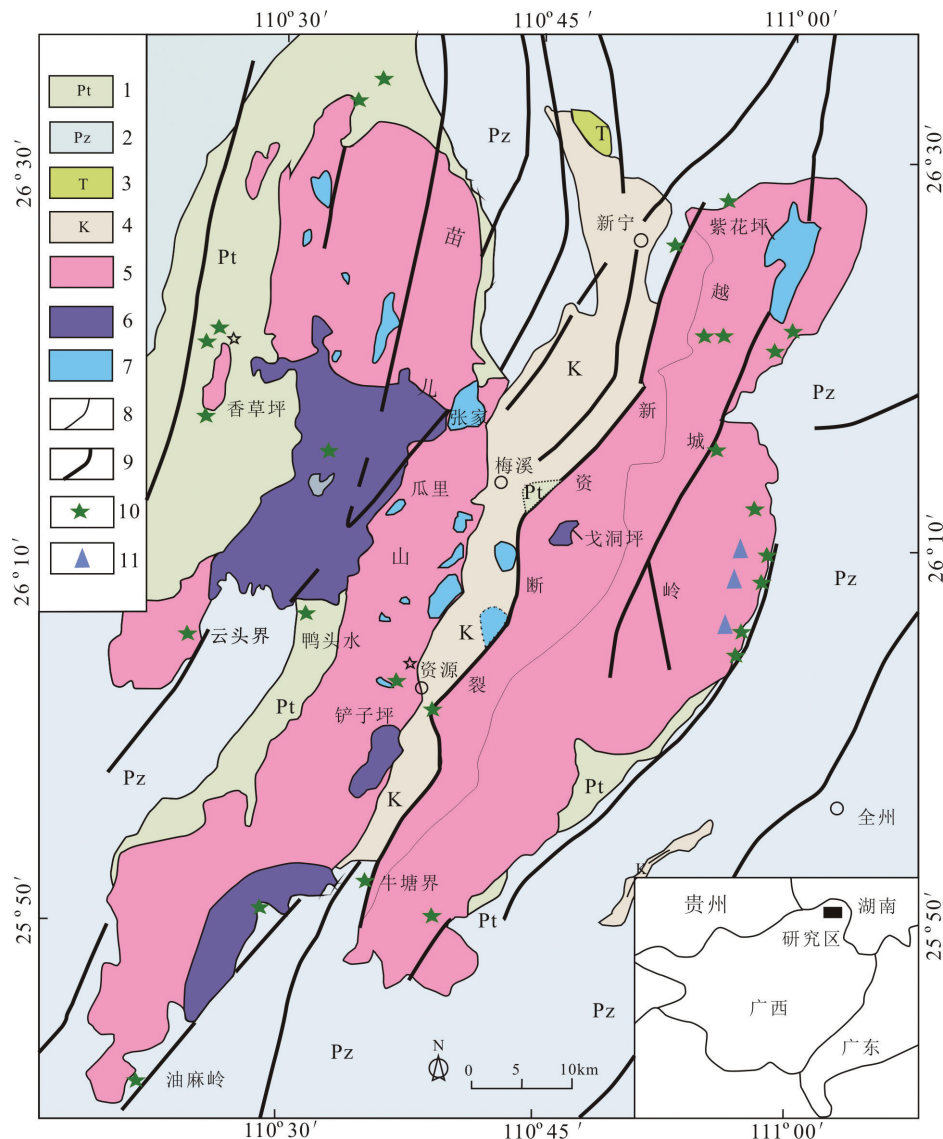


图1 猫儿山岩体地质简图(据张迪,2015)

1—元古界;2—古生界;3—三叠系;4—白垩系;5—加里东期花岗岩;6—印支期花岗岩;7—燕山期花岗岩;  
8—地层界线;9—断裂;10—钨矿床及矿点;11—锡矿床及矿点

Fig.1 Geological sketch map of Maershan pluton (after Zhang Di, 2015)

1-Proterozoic;2-Paleozoic;3-Triassic;4-Cretaceous;5-Caledonian granite;6-Indosinian granite;  
7-Yanshanian granite;8-Geological boundary;9-Fracture;10-W deposit (ore spot);11-Sn deposit (ore spot)

岩体、岩株、岩脉状,并侵入到岩基中,岩性主要为黑云母花岗岩、二云母花岗岩等。

### 3 岩石地球化学特征

#### 3.1 主量元素特征

猫儿山花岗岩的主量元素分析结果如表1所示。样品的 $\text{SiO}_2$ 含量较高,为67.61%~83.16%,平均为74.52%,在TAS图解(图2a)中,样品分别投影于花岗闪长岩、花岗岩区域内,总体以花岗岩为主。

$\text{Na}_2\text{O}$ 含量为0.08%~3.06%,平均为1.80%, $\text{K}_2\text{O}$ 为3.75%~6.28%,平均为4.99%, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 的值为0.02~0.64, $\text{MgO}$ 为0.14%~1.28%,平均为0.55%, $\text{FeO}^{\text{T}}$ 为1.85%~5.38%,平均为3.5%, $\text{Mg}^{\#}$ 为11.72~30.66,平均为19.44,显示出相对富钾、富铁而贫钠、贫镁的特征。在岩石碱度率图解(图2b)中,大部分样品投影于碱性系列范围内。 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量为7.72%~15.44%,平均值为12.29%,铝饱和指数(A/CNK)平均为1.49,在A/CNK-A/NK图解(图2c)中,样品主

表1 猫儿山花岗岩主量元素分析结果(%)  
Table 1 Analytical results (%) of major elements for granite in Maoershan

样号	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	A/CNK	A/NK	Mg <sup>#</sup>
猫-1	73.33	13.12	2.30	1.03	3.06	4.79	0.38	0.46	1.18	1.28	17.96
猫-2	75.76	11.60	1.69	0.76	2.53	6.28	0.21	0.44	0.98	1.06	14.25
猫-3	69.48	13.59	3.99	1.80	2.77	4.79	1.00	0.62	1.25	1.39	24.85
猫-4	68.03	13.04	3.83	1.72	2.60	4.79	1.28	2.11	0.98	1.38	30.66
猫-5	74.12	13.33	1.95	0.88	2.84	5.04	0.24	0.25	1.26	1.32	14.02
猫-6	75.95	14.41	1.80	0.81	0.08	4.37	0.24	0.11	2.84	2.96	14.77
猫-7	83.16	7.72	2.87	1.30	0.12	3.75	0.56	0.03	1.79	1.81	20.47
猫-8	70.52	15.44	3.43	1.54	0.08	5.00	0.75	0.02	2.76	2.78	22.44
猫-9	80.46	9.12	1.86	0.84	0.16	5.72	0.39	0.03	1.40	1.41	21.63
猫-10	78.39	10.51	2.02	0.91	2.55	4.86	0.21	0.31	1.05	1.11	11.80
猫-11	77.48	11.37	1.37	0.62	2.56	5.41	0.14	0.30	1.07	1.13	11.72
猫-12	67.61	14.25	4.04	1.82	2.21	5.11	1.23	0.89	1.32	1.55	28.74
平均值	74.52	12.29	2.60	1.17	1.80	4.99	0.55	0.46	1.49	1.60	19.44

注:测试单位为有色金属桂林矿产地质测试中心;A/CNK=Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O+CaO),A/NK=Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)(分子比);Mg<sup>#</sup>=100×n(Mg<sup>2+</sup>)/[n(Mg<sup>2+</sup>)+n(Fe<sup>2+</sup>)].

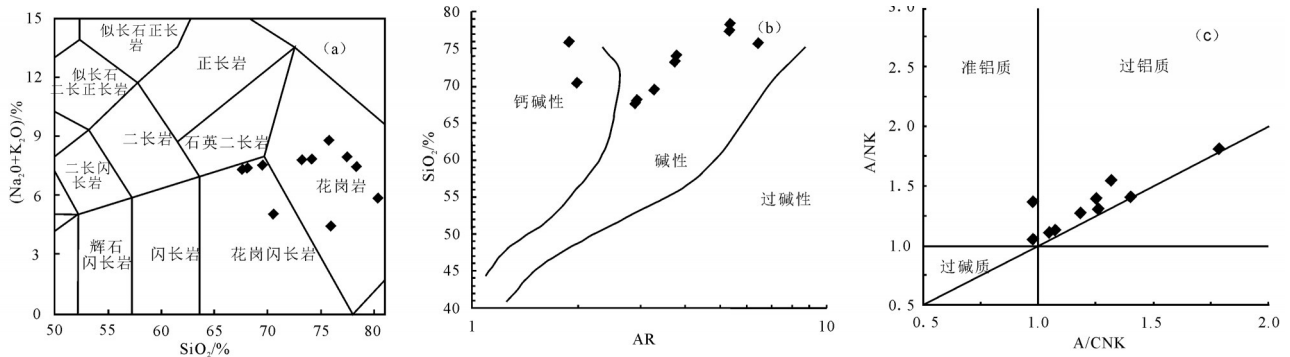


图2 猫儿山花岗岩TAS图解(a,据Middemost,1994)、碱度率图解(b,据Wright,1969)和A/CNK-A/NK图解(c,据Miniar and Piccoli,1989)

Fig. 2 TAS diagram (a) (after Middemost,1994) and alkalinity ratio diagram (b) (after Wright, 1969) and A/CNK-A/NK diagram (c) (after Miniar and Piccoli,1989) for the Maoershan granite

要落在过铝质区域内,具弱过铝—强过铝质特征,并以强过铝质为主。因此,可以判断本区的花岗岩总体表现为强过铝质碱性花岗岩。

### 3.2 微量元素特征

#### 3.2.1 微量元素富集及分异特征

猫儿山花岗岩和基底地层的微量元素分析结果(表2)显示花岗岩中W、Sn、Pb、Bi明显富集(浓度克拉克值为10.69、8.03、4.45、13.48),W、Cu为分异元素(变异系数为1.74、1.23);在奥陶纪地层中,W、Sn、Pb、Zn、Bi略微富集(浓度克拉克值为1.63、1.22、2.48、1.35、2.22),Zn为弱分异元素(变异系数为0.56);在寒武纪地层中,W、Sn、Pb、Bi略微富集(浓

度克拉克值为1.38、1.03、1.18、1.53),Pb、W、Mn、Ni、Cr、Sn、Ti、Zn、Co为弱分异元素(变异系数为0.85、0.65、0.58、0.9、0.96、0.56、0.82、0.71、0.67);在震旦纪地层中,W、Sn、Zn略微富集(浓度克拉克值为1.23、1.07、1.04),Cu、Bi为分异元素(变异系数为1.01、1.03),W、Zn为弱分异元素(变异系数为0.61、0.54);在新元古代地层中,Bi略微亏损(浓度克拉克值为0.91),W、Sn、Pb、Zn略微富集(浓度克拉克值为1.4、1.13、1.44、1.04),Cu、Bi、Au为弱分异元素(变异系数为0.77、0.53、0.6)。

#### 3.2.2 微量元素组合特征

对猫儿山花岗岩与基底地层的微量元素作R型

表2 猫儿山微量元素分析结果(元素单位:10<sup>-6</sup>, Au/10<sup>-9</sup>)

Table 2 Analytical results (unit for elements: 10<sup>-6</sup>, Au×10<sup>-9</sup>) of trace elements for the granite in Maoershan

元素	猫-奥(2)			猫-寒(2)			猫-震(9)			猫-Pt(7)			花岗岩(12)			克拉克值(泰勒)
	丰度	浓度克拉克值	变异系数	丰度	浓度克拉克值	变异系数	丰度	浓度克拉克值	变异系数	丰度	浓度克拉克值	变异系数	丰度	浓度克拉克值	变异系数	
Cu	32.4	0.59	0.25	10.78	0.2	0.18	23.9	0.43	1.01	15.8	0.29	0.77	16.17	0.29	1.23	55
Pb	30.95	2.48	0.23	14.8	1.18	0.85	11.5	0.92	0.37	18.03	1.44	0.24	55.63	4.45	0.55	12.5
W	2.45	1.63	0.43	2.08	1.38	0.65	1.84	1.23	0.61	2.1	1.40	0.31	16.03	10.69	1.74	1.5
Mn	257.9	0.27	0.17	666.05	0.7	0.58	550.4	0.58	0.44	611.44	0.64	0.28	369.59	0.39	0.32	950
Ni	37.65	0.5	0.34	22.83	0.3	0.9	14.5	0.19	0.44	15.9	0.21	0.22	9.42	0.13	0.67	75
Cr	85.35	0.85	0.02	72.75	0.73	0.96	58.8	0.59	0.36	43.6	0.44	0.16	76.51	0.77	0.34	100
Mo	0.84	0.56	0.29	0.6	0.4	0.04	0.61	0.4	0.32	0.54	0.36	0.18	0.71	0.48	0.29	1.5
Sn	2.44	1.22	0.14	2.06	1.03	0.56	2.12	1.07	0.15	2.25	1.13	0.16	16.05	8.03	0.63	2
Ag	0.06	0.81	0.25	0.05	0.66	0.14	0.05	0.71	0.12	0.05	0.76	0.21	0.05	0.73	0.21	0.07
Ti	4459	0.78	0.16	3045	0.53	0.82	3441	0.6	0.31	3001	0.53	0.21	1483	0.26	0.75	5700
Zn	94.6	1.35	0.56	57.77	0.83	0.71	72.9	1.04	0.54	72.79	1.04	0.14	40.25	0.58	0.5	70
Co	11.05	0.44	0.38	11.35	0.45	0.67	10.1	0.4	0.38	10.1	0.4	0.17	4.18	0.17	0.64	25
Bi	0.38	2.22	0.11	0.26	1.53	0.07	0.13	0.76	1.03	0.15	0.91	0.53	2.29	13.48	0.99	0.17
Au	3.25	0.81	0.05	0.65	0.16	0.26	0.62	0.14	0.37	0.62	0.15	0.6	0.72	0.18	0.52	4

注:(1)测试单位为有色金属桂林矿产地质测试中心;(2)样品数为32件;(3)克拉克值来源于文献(史长义等,2005)。

聚类分析发现,在相关系数为10的水平上,可将猫儿山花岗岩与基底地层的元素组合各分成5组,在花岗岩中(图3),Ni、Co、Ti、Zn、Mn为一组,Cu、Cr、Pb为一组,W、Mo为一组,Bi、Au为一组,Ag、Sn为一组;在基底地层中(图4),Ni、Co为一组,W、Bi、Sn、Mo、Ti、Cr、Cu为一组,Mn、Zn为一组,Pb、Au为一组,Ag单独为一组。

花岗岩中的W-Mo、Sn-Ag与Bi-Au组合代表

了W、Sn元素在岩石中的高度富集,这和本区花岗岩中已发现大量钨锡矿床(点)的特征一致,Au与Ag可能为区内岩浆活动期后热液活动所形成的元素;基底地层中的W、Sn、Bi、Mo、Ti、Cr、Cu组合与花岗岩一样,应为基底地层本身富集W、Sn、Bi的表现,是花岗岩与基底地层的显著相似之处。

综上所述,本区的花岗岩与基底地层之间,虽然个别元素组合有差异,但总体上具有相似的元素

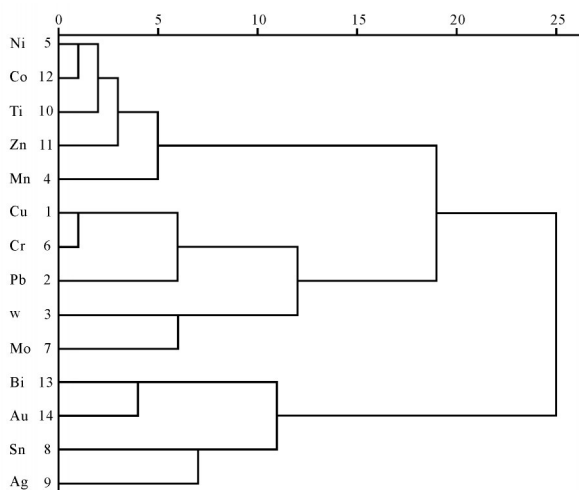


图3 猫儿山花岗岩微量元素聚类分析图

Fig. 3 Cluster analyses of trace elements in Maoershan granite

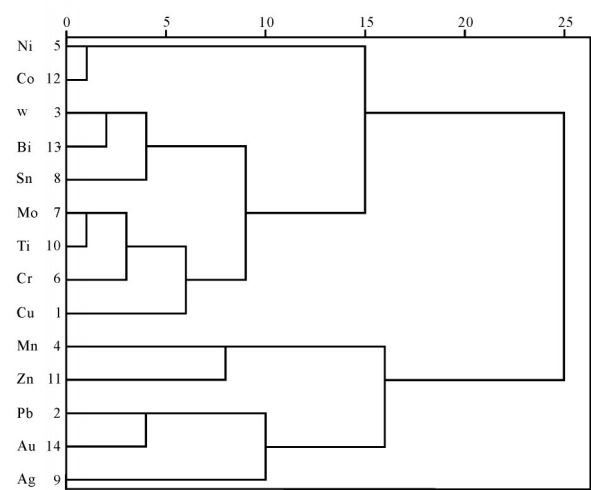


图4 猫儿山基底地层微量元素聚类分析图

Fig.4 Cluster analyses of trace elements in Maoershan basement strata

特征组合,尤其是相似的W-Sn-Bi组合,体现了花岗岩与基底地层的元素组合具有继承性特征。

### 3.3 稀土元素特征

猫儿山花岗岩的稀土元素测试数据来源于前人(柏道远等,2014),分析结果见表3。花岗岩的稀土元素含量较高, $\Sigma\text{REE}$ 的变化范围为 $179.8 \times 10^{-6}$ ~ $270.6 \times 10^{-6}$ ,平均为 $232.13 \times 10^{-6}$ ,LREE/HREE变化范围为2.28~5.47,平均为4.23; $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 的值介于7.29~15.12,平均为11.39;以上数据显示轻稀土明显富集,轻、重稀土较分异。 $\delta\text{Eu}$ 的变化范围为0.15~0.46,平均为0.35, Eu 较强亏损,说明岩浆在演化过程中分离结晶作用比较明显,对成矿有利。在稀土元素分布模式图(图5)中,所有样品的稀土配分曲线明显右倾,并具有明显的Eu负异常,同样显示出该岩体在形成过程中具有较好的分异性。相对来说,各样品的重稀土富集程度存在一定差异,这可能与各样品的结晶程度和岩相差异有关。

## 4 烃类组分特征

烃类组分是有机质在成矿流体演化过程中重要伴生气体组分,具有继承性演化、集体性共同迁移、微观组成结构反映成因环境等优点。在大多数

地质体上均不同程度地存在烃类气体的反映,并且,烃类组分与金属成矿关系密切,从矿质的初始富集到活化转移、富集成矿、直至矿体形成后的变质改造过程,烃类作为重要的伴生组分始终参与其中并在不同演化阶段表现出不同的特征(陈远荣等,2001;徐庆鸿,2007;曾旭等,2016)。因此,研究烃类组分在猫儿山地区花岗岩及其相邻基底地层上的宏观和微观特征,不仅可以探讨本区花岗岩与基底地层之间的成因关联性,还可以作为研究花岗岩的物质来源及其演化、成矿流体来源性质、成矿特征和成矿模式等方面研究的支撑依据。

对猫儿山花岗岩及其相邻基底地层的烃类组分进行测试分析,分析结果见表4,其中,标准化值是借鉴稀土配分模式的数据处理方式,将样品中的烃类组分含量对应除以云南鲁甸峨眉山玄武岩的烃类组分含量,归一化值是将样品中烃类组分的标准化值分别除以它们的标准化累加总值,目的是凸显各烃类组分微观结构的内部变化及演化特点(徐庆鸿,2007)。

本区的烃类组分具有以下特征:宏观上,由表4可知,花岗岩中的烃类组分丰度显著高于基底地层。在基底地层中,烃类组分的丰度从新元古代到震

表3 猫儿山花岗岩稀土元素分析结果(单位: $10^{-6}$ ;据柏道远,2014)

Table 3 Analytical results (after Bai Daoyuan,2014) of REE for the granite in Maershan ( $10^{-6}$ )

样号	HX308-1	HX313-1	HX325-1	HX302-1	HX307-1	HX324-1	HX304-2
La	38.11	37.46	39.18	37.1	46.68	52.63	52.08
Ce	93.54	54.22	81.83	78.25	102.2	111.8	101.4
Pr	8.82	9.48	10.12	8.56	10.63	12.19	11.75
Nd	31.13	32.56	34.78	29.55	36.6	43.85	40.24
Sm	6.28	6.2	7.56	5.12	6.41	7.34	6.79
Eu	0.56	0.54	0.35	0.75	0.88	0.93	1
Gd	5.63	5.57	6.51	4.96	6.26	7.33	6.49
Tb	0.93	0.72	1.24	0.62	0.81	0.8	0.81
Dy	5.79	3.79	8.1	3.26	4.56	4.43	4.44
Ho	1.14	0.74	1.61	0.62	0.87	0.84	0.84
Er	3.22	1.99	4.71	1.7	2.35	2.25	2.28
Tm	0.51	0.33	0.74	0.28	0.39	0.39	0.37
Yb	3.45	2.1	5.1	1.71	2.42	2.59	2.28
Lu	0.49	0.31	0.73	0.23	0.36	0.38	0.33
Y	34.35	23.77	47.6	17.53	24.78	22.87	23.34
$\Sigma\text{REE}$	233.9	179.8	249.7	190.3	246.2	270.6	254.4
LREE	178.44	140.46	173.82	159.33	203.4	228.74	213.26
HREE	55.51	39.32	76.34	30.91	42.8	41.88	41.18
LREE/HREE	3.21	3.57	2.28	5.16	4.75	5.47	5.18
$(\text{La}/\text{Yb})_N$	7.29	11.80	5.07	14.33	12.74	13.40	15.12
$\delta\text{Eu}$	0.29	0.28	0.15	0.46	0.42	0.39	0.46

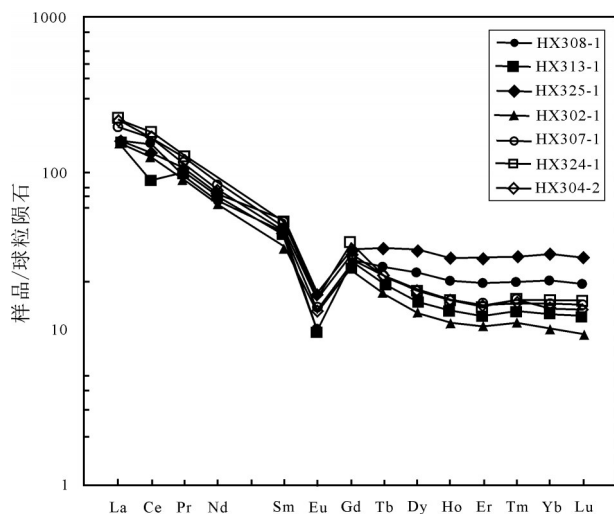


图5 猫儿山花岗岩稀土元素球粒陨石标准化配分模式图

Fig.5 Chondrite-normalized REE patterns of the Maoershan granite

且纪地层呈升高趋势,从震旦纪到奥陶纪地层呈降低趋势,震旦纪地层的烃类组分丰度最高。微观上,由图6与图7可知,本区花岗岩与基底地层的烃类标准化曲线具有相似性,标准化值略有差异;归一化值的变化趋势相同,曲线结构相似。相对来说,花岗岩与震旦纪地层的归一化值的变化曲线相似性较高,可能暗示区内的成矿物质主要由震旦纪地层提供。

综上所述,本区花岗岩与基底地层的烃类曲线

结构相似,尤其与震旦纪地层的曲线相似程度更高,表明在花岗岩的演化过程中,基底地层为花岗岩提供了相似的有机组分,各个地层中的有机组分叠加在花岗岩中,加上花岗岩的形成温度较高,有利来源于基底地层所含的原始有机物大量裂解生烃,从而导致花岗岩中的烃类组分含量显著高于各个基底地层,同时也反映出花岗岩与基底地层的烃类组分具有继承性的演化特征。

## 5 讨论

### 5.1 花岗岩的成因类型及构造环境

猫儿山花岗岩的大部分样品属强过铝质花岗岩( $A/CNK > 1.1$ ),  $Mg^{\#}$ 较低,稀土元素明显具负铈异常,轻、重稀土较分异,轻稀土富集,稀土元素配分曲线显示右倾。据此,可大体判断本区花岗岩为源于地壳物质熔融的S型花岗岩类(Zen, 1986; Sylvester, 1998)。在Maniar and Piccoli花岗岩构造环境判别图解(图8)中,样品大部分落入POG区域内,表明本区的花岗岩主要形成于后造山构造环境。因此,可以推断猫儿山花岗岩为主要形成于后造山构造环境的S型花岗岩。

### 5.2 花岗岩与基底地层的关联性分析

通过对本区花岗岩及其相邻基底地层的微量元素组合与烃类组分的分析,发现花岗岩与基底地

表4 猫儿山烃类组分分析结果(烃类组分单位:  $\mu\text{l}/\text{kg}$ )Table 4 Analytical results of hydrocarbon (unit for hydrocarbon:  $\mu\text{l}/\text{kg}$ ) for the granite in Maoershan

烃类组分	甲烷	乙烷	丙烷	异丁烷	正丁烷	乙烯	丙烯	总烃	
猫-奥(2)	丰度	2701	800	509	33	168	31	50	4292
	标准化	16	52	53	33	43	22	21	—
	归一化	0.07	0.22	0.22	0.14	0.18	0.09	0.09	—
猫-寒(2)	丰度	4651	1171	648	41	200	38	58	6807
	标准化	27	76	67	41	51	26	23	—
	归一化	0.09	0.24	0.22	0.13	0.17	0.08	0.07	—
猫-震(9)	丰度	9923	2383	1113	70	332	63	95	13979
	标准化	58	154	115	70	85	51	42	—
	归一化	0.1	0.27	0.2	0.12	0.15	0.09	0.07	—
猫-Pt(7)	丰度	4335	1124	698	45	220	41	65	6528
	标准化	25	73	72	45	56	27	24	—
	归一化	0.08	0.23	0.22	0.14	0.17	0.08	0.08	—
花岗岩(12)	丰度	15042	3453	1763	111	518	2472	1435	24794
	标准化	88	224	183	111	132	73	58	240
	归一化	0.1	0.26	0.21	0.13	0.15	0.08	0.07	—

注:(1)测试单位为有色金属桂林矿产地质测试中心;(2)样品数32件。

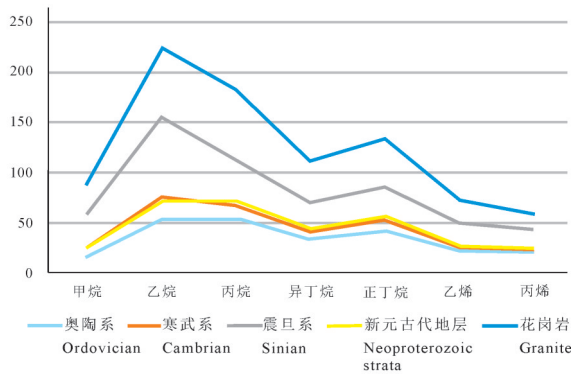


图6 猫儿山花岗岩与基底地层烃类组分标准化  
Fig.6 Standardization of hydrocarbon composition in Maershan granite and basement strata

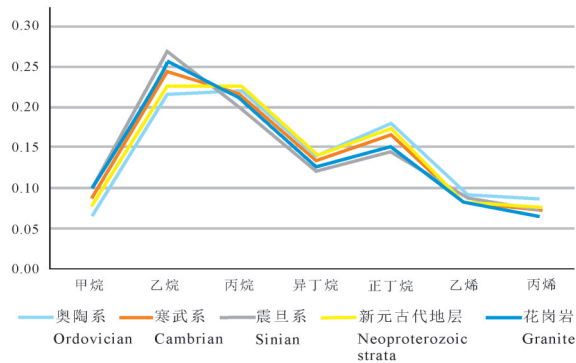


图7 猫儿山花岗岩与基底地层烃类组分归一化  
Fig.7 Normalization of hydrocarbon composition of Maershan granite and basement strata

层的元素组合、烃类组分具有继承性的关系。笔者在前人研究的基础上,结合区域构造运动,对花岗岩中的成岩成矿物质来源与基底地层的关联性进行探讨,认为本区基底地层在早期经历了轻度的区域变质作用,使分散在其内的成矿元素发生初次轻度富集。之后,基底地层受区域构造运动的影响向地壳深部沉降。当沉降 to 一定深度之后,因温度升高,在挤压减弱、应力松弛的构造环境下,基底地层发生部分减压熔融,形成大规模的岩浆活动,使原先富集在基底地层中的成矿元素经过岩浆分异作用后产生进一步富集。随后,岩浆向上侵位,形成后碰撞S型花岗岩(杨振,2012;柏道远等,2014;柏道远等,2015;魏春夏等,2016),富集在成矿溶液中的成矿元素通过成矿作用在相应的容矿空间沉淀而形成矿床(矿化)。亦即,本区的基底地层为大规模的岩浆活动提供了物质基础,同时为花岗岩浆进

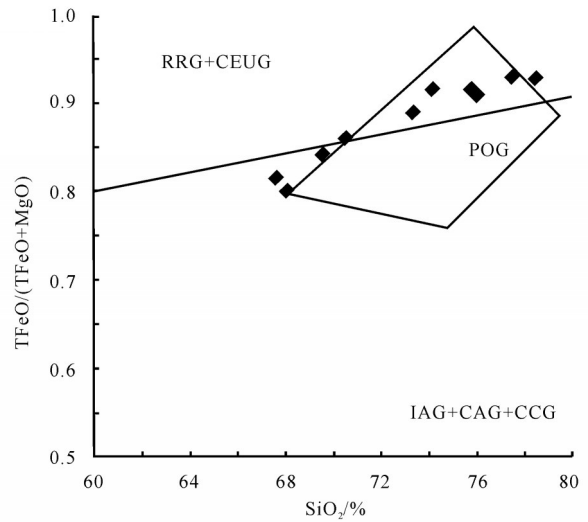


图8 猫儿山花岗岩构造判别图(据 Maniar and Piccoli, 1989)  
IAG—岛弧花岗岩;CAG—大陆弧花岗岩类;CCG—大陆碰撞花岗岩类;POG—后造山花岗岩类;RRG—与裂谷有关花岗岩;CEUG—大陆抬升花岗岩类

Fig.8 Tectonic discrimination diagram of the granite in Maershan (after Maniar and Piccoli, 1989)

IAG— Island— arc granite; CAG— Continent— arc granite; CCG— Continent— collision granite; POG— Post— orogenic granite; RRG— Granite related to rift; CEUG— Continent emerging— uplift granite

一步分异形成钨锡多金属矿化(矿床)提供了成矿物质来源。

### 5.3 成矿潜力分析

由花岗岩的微量元素特征可知,本区花岗岩中的W、Sn、Bi呈明显富集状态,分布比较集中,分配不均匀,离散程度大,分异性强,易于形成矿(化)体或强异常;Pb、Zn略微富集,分布相对集中,分配较均匀,离散程度小,分异性较弱,可能形成弱异常或者以伴生的形式形成矿(化)体。

据基底地层的微量元素特征可知,奥陶纪地层中的W、Sn、Pb、Zn、Bi,寒武纪地层中的W、Sn、Pb、Bi,震旦纪地层中的W、Sn、Zn,新元古代地层中的W、Sn、Pb、Zn,都呈略微富集状态。除了震旦纪地层中的Cu、Bi分配不均匀,离散程度大,分异性强之外,其余基底地层的弱分异元素都表现出分配较均匀,离散程度小,分异性较弱的特征。据此,可以推断猫儿山地区的基底地层是处于初始矿源层阶段,未达到矿源富集层的程度,不具备大规模集中成矿的条件。

猫儿山地处南岭多金属成矿带西段,具有形成



表5 猫儿山地区部分钨锡多金属矿(点)床分布特征(据杨振,2012)  
Table 5 Distribution characteristics of partial tungsten-tin polymetallic (orepoint) deposits in Maershan area (after Yang Zhen, 2012)

矿区名称	产出部位	与花岗岩的关系	矿(点)床规模与矿石矿物
资源鸭头水钨矿	猫儿山岩体南西	花岗岩与震旦系接触带	中型矿床。以石英细脉破碎带型白钨矿为主,次为石英脉型黑钨矿
兴安佑安钨矿	猫儿山岩体南端	花岗岩与寒武—奥陶系接触带	矿点。以石英脉型黑钨矿为主,次为白钨矿,伴生方铅矿、闪锌矿
兴安油麻岭钨矿	猫儿山岩体南端	花岗岩与寒武系接触带	小型矿化点。以矽卡岩型白钨矿为主,次为石英脉型黑钨矿等
云头界钨钼矿	猫儿山岩体西南	细粒白云母花岗岩内	中型矿床。以石英脉型黑钨矿为主,次为白钨矿、辉钼矿等
城步箭杆坪锡矿	猫儿山岩体北端	细粒黑云母花岗岩内	矿化点。以锡石为主,伴生有黄铜矿、黄铁矿等

钨锡多金属矿的良好地质条件。前人对区内的部分岩体及矿床开展了同位素定年分析等工作,取得了不少成果,如云头界中型钨矿形成于印支期(伍静等,2012),牛塘界钨矿床形成于加里东期(杨振等,2014),猫儿山—越城岭矿集区主要岩体形成于加里东期和印支期,主要矿床和加里东期及印支期岩浆活动有关(林书平,2016),高岭钨矿与鸭头水钨矿的成岩年龄和成矿时代均属于印支期,再一次证实了桂北猫儿山地区在印支期曾发生过一定规模的钨(等多金属)成矿作用,这次成矿作用是燕山期大规模成矿作用的序幕(张迪,2015)等。前人的研究成果充分说明了本区花岗岩从加里东期到燕山期均具有一定的成矿潜力。

综上所述,在本区不同期次花岗岩中的W、Sn、Bi均具有较大的成矿潜力,但本区基底地层经历的区域变质作用程度较低,没有达到混合岩化的程度,基底地层各微量元素的分异富集还处于初始矿源层阶段,其富集程度不具备形成大型矿床的基本条件。亦即,本区钨锡多金属的成矿规模不会太大,主要以中、小型矿床为主,这与实际勘查过程中已经探明的矿床(点)规模相吻合(表5)。

## 6 结论

(1)猫儿山花岗岩为S型花岗岩,主要形成于后造山构造环境。

(2)微量元素和烃类组分等方面的信息均显示,区内花岗岩及其相邻基底地层存在继承性演化关系,基底地层既为大规模的岩浆活动提供了物质基础,又为花岗岩浆进一步分异形成钨锡多金属矿化(矿床)提供了成矿物质来源。

(3)W、Sn、Bi在区内不同期次花岗岩中均具有一定的成矿潜力,但成矿的规模不大,主要以中、小型矿床为主。

**致谢:**感谢李泽民、王展宇以及严翔等研究生在本文撰写过程中所给予的帮助,感谢匿名审稿人和编辑部老师对本文提出宝贵的修改意见。

## References

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Guangxi Zhuang Autonomous Region. 1985. Regional Geology of Guangxi Zhuang Autonomous Region[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Bai Daoyuan, Zhong Xiang, Jia Pengyuan, Xiong Xiong, Huang Wenyi. 2014. Zircon SHRIMP U-Pb dating and geochemistry of Caledonian Miao'ershan pluton in the western part of the Nanling Mountains and their tectonic significance[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 33(3): 407-423 (in Chinese with English abstract).
- Bai Daoyuan, Zhong Xiang, Jia Pengyuan, Xiong Xiong. 2015. Geochemistry and tectonic setting of the early Yanshanian granites in the Miao'ershan area, southwest Hunan[J]. Resources Survey and Environment, 36(4): 235-243 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yuanrong, Dai Tagen, Jia Guoxiang, Zhuang Xiaorui, Xu Qinghong. 2001. The common anomaly pattern of organic hydrocarbon of metallic ore deposit and its mechanism study[J]. Geology in China, (4): 32-37 (in Chinese).
- Cheng Shunbo, Fu Jianmin, Ma Liyan, Jiang Guixin, Chen Xiqing, Lu Youyue, Tong Xirun. 2013. Indosinian metallogenic activity in Yuechengling-Miaoershan area, northeastern Guangxi: Implications from zircon U-Pb ages and Hf isotopic constraint on ore-forming granites in Youmaling and Jiepai deposits[J]. Geology in China, 40(4): 1189-1201 (in Chinese with English abstract).
- Feng Guoyu, HuangJie, He Fang. 2009. The features and metallogenesis of the granites in the Yuechengling-Maoershan area[J]. Mineral Resources and Geology, 23(5): 412-417 (in Chinese with English abstract).
- Lin Shuping. 2016. Magmatism and Mineralization in the Miaoershan-Yuechengling Orefield of NE Guangxi[D]. Graduate School of Chinese Academy of Sciences (Guangzhou Institute of Geochemistry) (in Chinese with English abstract).
- Sylvester P J. 1998. Post-collisional strongly peraluminous

- granites[J]. *Lithos*, 45(1/4): 29–44.
- Shi Changyi, Yan Mingcai, Liu Chongmin, Chi Qinghua, Hu Shuqi, Gu Tiexin, Bu Wei, Yan Weidong. 2005. Abundances of chemical elements in granitoids of China and their characteristic[J]. *Geochimica*, (5): 470–482 (in Chinese with English abstract).
- Wu Jing, Liang Huaying, Huang Wenting, Wang Chunlong, Sun Weidong, Sun Yali, Mo Jihai, Wang Xiuzhang. 2012. Indosinian isotope ages of plutons and deposits in southwestern Miaoershan–Yuechengling, northeastern Guangxi and implications on Indosinian mineralization in South China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 57: 1024–1035 (in Chinese).
- Wei Chunxia. 2016. Petrogenesis and Tectonic Geological Setting of Caledonian Granitoids in Northeast Guangxi[D]. Beijing: China University of Geosciences(in Chinese with English abstract ).
- Xu Qinghong. 2007. Studies of Relationship Between Hydrocarbon and Ore-forming in Fluid Flow and its Application for Ore-exploration[D]. Beijing: China University of Geosciences(in Chinese with English abstract ).
- Yang Zhen. 2012. Pre-yanshanian Magmatism and its Mineralization in the Miaoershan–Yuechengling Area, Northern Guangxi[D]. Nanjing University (in Chinese with English abstract).
- Yang Zhen, Zhang Wenlan, Wang Rucheng, Lu Jianjun, Che Xudong. 2013. Geochronology and geochemical characteristics of metallogenic pluton in the Youmaling Tungsten Mining Area, Northern Guangxi, and its geological significance[J]. *Geological Journal of China Universities*, 19(1): 159–172(in Chinese with English abstract).
- Yang Zhen, Wang Rucheng, Zhang Wenlan, Chu Zhuyin, Chen Jun, Zhu Jinchu, Dong Rongqing. 2014. Skarn-type tungsten mineralization associated with the Caledonian (Silurian) Niutanjie granite, northern Guangxi, China[J]. *Science China: Earth Sciences*, 57: 1551–1566 (in Chinese).
- Zen E. 1986. Aluminum enrichment in silicate melts by fractional crystallization: Some mineralogic and petrologic constraints[J]. *Journal of Petrology*, 27: 1095–1117.
- Zeng Xu, Chen Yuanrong, Lin Libao, Duan Lian, Xu Jiandong, Wu Er, Zhu Tao. 2016. The Feasibility of applying integrated hydrocarbon and mercury method to ore prospecting in alluvial coverage area[J]. *Geology in China*, 43(2): 607–616 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Di, Zhang Wenlan, Wang Rucheng, Chu Zhuyin, Gong Minwen, Jiang Guixin. 2015. Quartz-vein type tungsten mineralization associated with the indosinian (Triassic) Gaoling granite, Miao'ershan Area, Northern Guangxi[J]. *Geological Review*, 61(4): 817–834 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Jie, Wang Shengdong, Huang Wei, Kou Xiaohu. 2014. Geochemical characteristics and metallogenic of Maoershan granite in Guangxi[J]. *Mineral Deposites*, 33(S1): 351–352 (in Chinese).
- 柏道远, 钟响, 贾朋远, 熊雄, 黄文义. 2014. 南岭西段加里东期猫儿山岩体锆石 SHRIMP-U-Pb 年龄、地球化学特征及其构造意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 33(3): 407–423.
- 柏道远, 钟响, 贾朋远, 熊雄. 2015. 湘西南猫儿山地区早燕山期花岗岩地球化学特征及形成环境[J]. *资源调查与环境*, 36(4): 235–243.
- 陈远荣, 戴塔根, 贾国相, 庄晓蕊, 徐庆鸿. 2001. 金属矿床有机烃气常见异常模式和成因机理研究[J]. *中国地质*, 28(4): 32–37.
- 程顺波, 付建明, 马丽艳, 蒋桂新, 陈希清, 卢友月, 董喜润. 2013. 桂东北越城岭—猫儿山地区印支期成矿作用: 油麻岭和界牌矿区成矿花岗岩锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素制约[J]. *中国地质*, 40(4): 1189–1201.
- 冯国玉, 黄杰, 何方. 2009. 越城岭—猫儿山地区花岗岩特征及成矿[J]. *矿产与地质*, 23(5): 412–417.
- 广西壮族自治区地质矿产局. 1985. 广西壮族自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社.
- 林书平. 2016. 桂东北猫儿山—越城岭矿集区成岩成矿演化分析[D]. 中国科学院研究生院(广州地球化学研究所).
- 史长义, 鄢明才, 刘崇民, 迟清华, 胡树起, 顾铁新, 卜维, 鄢卫东. 2005. 中国花岗岩类化学元素丰度及特征[J]. *地球化学*, (5): 470–482.
- 伍静, 梁华英, 黄文婷, 王春龙, 孙卫东, 孙亚莉, 李晶, 莫济海, 王秀璋. 2012. 桂东北猫儿山—越城岭南西部岩体和矿床同位素年龄及华南印支期成矿分析[J]. *科学通报*, 57(13): 1126–1136.
- 魏春夏. 2016. 桂东北加里东期花岗岩岩石成因及其地质背景[D]. 北京: 中国地质大学(北京).
- 徐庆鸿. 2007. 流体中烃类组分与金属成矿关系研究及其在找矿勘查中的应用[D]. 中国地质大学(北京).
- 杨振. 2012. 桂北猫儿山—越城岭地区前燕山期岩浆活动及其成矿作用的研究[D]. 南京大学.
- 杨振, 张文兰, 王汝城, 陆建军, 谢磊, 车旭东. 2013. 桂北油麻岭钨矿区成矿岩体的年代学、地球化学及其地质意义[J]. *高校地质学报*, 19(1): 159–172.
- 杨振, 王汝城, 张文兰, 储著银, 陈骏, 朱金初, 章荣清. 2014. 桂北牛塘界加里东期花岗岩及其矽卡岩型钨成矿作用研究[J]. *中国科学: 地球科学*, 44: 1357–1373.
- 曾旭, 陈远荣, 林立保, 锻炼, 洪文帅, 徐建东, 吴二, 祝涛. 2016. 烃类综合气体测量法在冲洪积覆盖区找矿的可行性探讨[J]. *中国地质*, 43(2): 607–616.
- 张迪, 张文兰, 王汝城, 储著银, 龚名文, 蒋桂新. 2015. 桂北猫儿山地区高岭印支期花岗岩及石英脉型钨成矿作用[J]. *地质论评*, 61(4): 817–834.
- 周洁, 王盛栋, 黄蔚, 寇晓虎. 2014. 广西猫儿山花岗岩地球化学特征及成矿[J]. *矿床地质*, 33(S1): 351–352.