题研究·

湘东南印支期与燕山早期花岗岩成矿能力差异与 岩石地球化学特征关系探讨

柏道远¹,贾宝华²,马铁球¹,王先辉¹,张晓阳¹,陈必河¹

(1. 湖南省地质调查研究院,湖南湘潭 411100;2. 湖南省地质矿产勘查开发局,湖南长沙 410011)

摘 要: 湘东南地处南岭中段北部,为华南重要中生代有色金属矿集区。区内主要矿床均与燕山早期花岗岩有关, 印支期花岗岩极少形成规模矿床。已有研究表明区域构造体制不同可能是成矿差异的主要原因,即燕山早期花岗 岩形成于后造山伸展构造体制,印支期花岗岩形成于后碰撞弱挤压构造体制。本文研究发现,相对印支期花岗岩而 言,燕山早期花岗岩在岩石地球化学特征方面明显具有更好的 W、Sn 多金属成矿条件:成矿元素 W、Sn,放射性生热 元素 U、Th,挥发分元素 F 以及稀有金属元素 Be, B、Li、Rb 等组分的含量及碱性程度更高,岩石氧化程度(Fe₂O₃/FeO 比值,更低 (La/Yb),值和 dEu 值更低,Rb/Sr 比值更高,反映岩浆分异演化程度更高。因此,除构造体制差异外,花 岗岩岩石地球化学特征差异也应是两时代花岗岩成矿差异的重要原因之一。两阶段花岗岩岩石地球化学特征差异 的形成可能与构造-岩浆演化历史和构造环境差异有关。 关键词:印支期,燕山早期,花岗岩;成矿差异,岩石地球化学特征,湘东南

大雄词:印文朝 滅山半朝 泥肉岩 成前 差异 活石地球化学特征 湘东南 中图分类号:P611 ;P588.12⁺1 文献标识码 ;A 文章编号:1000-6524(2007)05-0387-12

Relationship of petro-geochemical characteristics to metallogenic capacity differences between Indosinian and Early Yanshanian granites in southeastern Hunan

BAI Dao-yuan¹, Jia Bao-hua², MA Tie-qiu¹, WANG Xian-hui¹, ZHANG Xiao-yang¹ and CHEN Bi-he¹ (1. Hunan Institute of Geological Survey, Xiangtan 411100, China; 2. Hunan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Changsha 410011, China)

Abstract: Located in the northern part of the central segment of the Nanling Range, southeastern Hunan is a nonferrous mineralized concentration area in South China. All important deposits are related to Early Yanshanian granites, whereas a few Indosinian granites have formed large-size deposits. Studies show that the difference in tectonic settings is one of the principal factors responsible for the metallogenic differences, that is, the Early Yanshanian granites were formed in an extensional post-orogenic setting, while the Indosinian granites were formed in a weakly compressional post-collisional setting. It is also demonstrated that the Early Yanshanian granites have better W-Sn-polymetallic metalloginitic geochemical conditions than the Indosinian granites in that the former contain richer ore-forming elements W, Sn, radioactive calorific elements U, Th, and volatile elements F, Be, B, Li, Rb, are more alkaline, and have lower Fe₂O₃/FeO and (La/Yb)_N ratios and δ Eu values and higher Rb/Sr ratios, which indicate that the magma has experienced a higher degree of crystallization differenti-

基金项目:中国地质调查局区域地质调查项目(200213000035)

作者简介:柏道远(1967 -), 男、高级工程师、研究方向、构造学、岩石学、成矿学,E-mail: Daoyuanbai@sina.com。

收稿日期:2006-12-08;修订日期:2007-03-21

ation. Therefore, the petro-geochemical differences between the two kinds of granites with different ages should constitute one of the chief causes for metallogenitic differences besides the tectonic regimes. The petro-geochemical differences are likely to be related to the differences in tectonic-magmatic evolution and tectonic setting. **Key words:** Indosinian; Early Yanshanian; granites; metallogenic differences; petro-geochemical characteristics; southeastern Hunan

湘东南地处南岭中段北部,中生代花岗质岩浆 活动强烈 因而形成了柿竹园钨锡多金属矿、黄沙坪 铅锌矿、水口山铅锌金多金属矿、骑田岭芙蓉锡矿、 瑶岗仙钨矿等一大批大型、超大型金属矿床 相关成 岩成矿作用长期以来一直成为地质工作者的研究重 点 贵阳地球化学研究所 ,1979;莫柱孙等 ,1980;南 京大学地质系,1981;王昌烈等,1987;王立华等, 1988; 王书凤等, 1988; 庄锦良等, 1988; 地质矿产部 南岭项目花岗岩专题组,1989;史明魁等,1993;毛 景文等 ,1995a ,1995b ,1996; 童潜明等 ,1986 ,1995; 刘义茂等,1997)。尤其是近年来骑田岭超大型锡矿 的发现(陈民苏等,2000;许以明等,2000;魏绍六 等 2002) 使该地区成为当前华南中生代岩浆活动 与成矿作用研究的焦点之一(郑基俭等,2001;刘义 茂等 2002 ; 黄革非等 2003 ;王登红等 2003)朱金 初等,2003;蔡锦辉等,2004a,2004b;罗郧等,2004; 毛景文等 2004 汪雄武等 2004)。上述已有研究表 明 区内有色金属矿床的形成与中生代花岗质岩体密 切相关,且中、大型以上矿床几乎全部与燕山早期花 岗岩有关 印支期花岗岩极少形成规模矿床。尽管中 生代花岗岩以燕山早期(侏罗纪)为主,但印支期(三 叠纪 花岗岩也有较多发育,可为何两时代花岗岩形 成的矿床规模与矿藏量相差如此悬殊?值得深思。

一般而言,花岗岩能否成矿及形成何种矿床(成 矿专属性)主要取决于岩体地球化学特征(包括成矿 元素丰度、挥发分含量、碱性程度、氧化程度、放射性 生热元素丰度等)及围岩地层、褶皱与断裂裂隙构 造、岩体规模与埋深等地质构造条件。近年来,笔者 通过对湘东南中生代岩浆活动与成矿作用的研究, 认识到燕山早期花岗岩相对于印支期花岗岩具有更 强成矿能力的最重要原因,可能是由于区域构造体 制不同,即前者形成于后造山伸展构造环境,后者形 成于后碰撞弱挤压构造环境(另文讨论)。同时,本 文对多种成矿相关的岩石地球化学指标研究发现, 燕山早期花岗岩在岩石地球化学指标研究发现, 燕山早期花岗岩在岩石地球化学指标研究发现, 的重要原因之一。

1 花岗岩发育概况及成矿差异性

湘东南地区位于扬子地块与华南地块的接合 带,大地构造位置独特。长期的多旋回构造发展历 史造就了测区地层、构造、岩浆岩及矿产等诸方面复 杂面貌,其中大量发育的燕山早期与印支期花岗岩 体尤为引人注目(图1)。

印支期花岗岩体主要分布于大义山岩体南东端、 五峰仙、将军庙、锡田、大洞、王仙岭、热水等地(图1), 其中大义山和五峰仙岩石总体基性程度较高,由角闪 石黑云母花岗闪长岩、角闪石黑云母二长花岗岩和黑 (二)云母二长花岗岩等组成,将军庙、大洞、王仙岭、热 水、锡田等岩石总体酸性程度较高,主要由黑云母二 长花岗岩、二云母二长花岗岩和白云母二长花岗岩组 成。从这些岩体已有同位素年龄资料来看,形成时代 基本在233~210Ma之间,柏道远等2005a)。

燕山早期花岗岩体多、面积广,主要有川口、水 口山、大义山、黄沙坪、香花岭、骑田岭、千里山、宝峰 仙、瑶岗仙、诸广山南体、大东山、万洋山等岩体。大 多数岩体以酸性程度较高的黑云母二长花岗岩、二 云母二长花岗岩为主,部分岩体晚次单元有正长花 岗岩或碱长花岗岩;除黄沙坪岩体规模小、侵位浅 外,这类岩体多为中深成岩体,一般规模较大,部分 规模较小者下部亦常与较大规模的岩基相连。岩浆 来源主要为地壳,少量地幔物质加入(柏道远等, 2005a)。极少数岩体为基性程度较高的超浅成花岗 闪长斑岩,以水口山岩体为代表,分布在水口山-桂 阳一带印支期坳陷区(柏道远等,2005a)内,可能来 源于幔源与壳源岩浆的混合(王岳军等,2000)。

大中型以上规模的有色金属矿床及其相关岩体 主要有(图1)水口山铅锌矿(水口山岩体)黄沙坪 铅锌矿(黄沙坪岩体)香花岭钨锡多金属矿(香花岭 岩体)新田岭钨矿和芙蓉锡矿(骑田岭岩体)柿竹 园钨锡钼铋多金属矿和金船塘锡铋多金属矿(千里 山岩体)瑶岗仙钨矿(瑶岗仙岩体)川口钨矿(川口



图 1 湘东南地质矿产略图

Fig. 1 Geological sketch map of southeastern Hunan, showing distribution of mineral resources K-E—白垩纪-古近纪地层,T₃-J₂—晚三叠世-中侏罗世地层;D₂-T₂—中泥盆世-中三叠世地层;Nh-O—南华纪—奥陶纪地层;1—白垩纪花 岗岩 2—侏罗纪花岗岩;3—印支期花岗岩;4—加里东期花岗岩;5—地质界线;5—角度不整合地质界线;7—断裂;8—逆断裂;9—正断裂; 10—平移断裂;11—压扭性断裂;12—钨矿;13—锡矿;14—钨锡多金属矿;15—铅锌矿

K-E—Cretaceous-Paleogene ;T₃-J₂—Late Triassic-Middle Jurassic ;D₂-T₂—Middle Devonian-Middle Triassic ;Nh-O—Nanhuaian-Ordovician ;1— Cretaceous granite ;2—Jurassic granite ;3—Indosinian granite ;4—Caledonian granite ;5—geological boundary ;6—unconformity ;7—fault ;8—thrust fault ;9—normal fault ;10—strike-slip fault ;11—compresso-shear fault ;12—tungsten deposit ;13—tin deposit ;14—tungsten-tin-polymet-allic deposit ;15—lead-zinc deposit 岩体),小垣钨矿(诸广山南体)等。此外,近年来的 勘探工作发现大义山岩体(伍光英等,2005)与锡田 岩体(伍式崇等,2004)亦具寻找大型锡多金属矿的 远景。除锡田可能以印支期成岩成矿为主外,上述 矿床及相关岩体均形成于燕山早期(柏道远等, 2005a)。除上述典型矿床外,万洋山、大东山、宝峰 仙等侏罗纪花岗岩体亦发育小规模钨锡多金属矿或 具显著矿化,充分说明燕山早期花岗岩体总体上均 利于或易于形成有色金属矿床。

印支期花岗岩的成矿情况总体较差,除王仙岭 岩体和锡田岩体发育中小规模钨锡多金属矿体或矿 点外,大义山(南东端)五峰仙、将军庙、大洞、热水 等地三叠纪岩体未形成一定规模的有色金属矿床, 甚至缺乏明显的矿化(如五峰仙岩体)。值得一提的 是,锡田岩体为一由燕山早期与印支期花岗岩组成 的复式岩体(马铁球等,2005a),由于年龄样品有限, 尚不能排除暂作为岩体主体的印支期花岗岩中存在 燕山早期成分的可能。若如此,则锡田锡多金属矿 实际或许与燕山早期花岗岩有关。

由上可见,湘东南燕山早期花岗岩成矿能力明 显或远远高于印支期花岗岩。

2 花岗岩地球化学特征

湘东南印支期与燕山早期花岗岩可分为岩石化 学特征与成因迥然有别的两种类型 :一种酸性程度 低 SiO2 含量一般<60%,以水口山(表1)和宝山的 石英闪长岩和花岗闪长岩为代表。该类岩石形成于 燕山早期(王岳军等 2001),传统成因划分上属典型 同熔型或 I 型花岗岩(贵阳地球化学研究所,1979; 莫柱孙等,1980;南京大学地质系,1981)。另一类 花岗岩酸性程度总体较高 SiO2 含量大多>70% 少 数接近 70% 它们组成湘东南中生代花岗岩的主体 (表1图1)。这类花岗岩包括所有印支期花岗岩和 绝大部分燕山早期花岗岩,传统成因划分上属典型 重熔型或 S 型花岗岩(贵阳地球化学研究所,1979; 莫柱孙等,1980;南京大学地质系,1981)。[型花岗 岩主要与中低温铅锌多金属成矿系列有关,而 S型 花岗岩则主要与中高温钨锡多金属成矿系列有关 (柏道远等,2007a)图1)。考虑到两时代花岗岩与 成矿关系分析的可对比性,以下重点讨论印支期与 燕山早期传统 S 型花岗岩类的地球化学特征与成矿

作用间的关系,统计计算的有关化学成分含量和参数不包括水口山 I 型花岗岩体在内。

湘东南印支期与燕山早期主要花岗岩体部分化学 成分与有关参数平均值列于表 1 表中将各岩体岩性与 酸性程度(SiO₂含量)相近的岩石类型一并进行平均值 计算。由表可见,两阶段花岗岩相比较具有以下特点:

(1)燕山早期花岗岩与印支期花岗岩相比 总体上 前者酸性程度略高于后者 SiO₂含量前者为 68.47%~ 75.66% 平均为 73.09% 后者为 67.88%~74.48% 平 均为 71.99% 前者 K₂O 与全碱含量相对较高,分别为 4.40%~7.93%(平均 5.24%) 7.60%~9.24%(平均 8.13%)后者分别为 3.86%~5.90%(平均 4.68%) 4.47%~8.24%(平均 7.32%) 碱度指数(NKA)前者为 0.67~0.86,平均 0.80,后者为 0.33~0.83,平均 0.69。 前者主要为准铝质-弱过铝质(个别强过铝质),ACNK 值为 0.95~1.27,平均 1.07,后者为弱过铝质-强过铝 质,且以强过铝质为主,ACNK 值为 1.04~2.96(平均达 1.31) 如不考虑王仙岭岩体的 1 个 2.96 特高值,则平 均为 1.14。

(2)放射性产热元素含量燕山早期花岗岩明显高于印支期花岗岩,前者 Th、U 含量(μg/g)分别为9.4~97.2(平均44.1)和9.5~20.6(平均15.5);后者分别为10.8~45.9(平均28.6)和4.0~33.1(平均13.3)。

(3) 燕山早期花岗岩挥发分含量及稀有金属含 量相对较高,主要组分含量(µg/g)为F1275~9342 (平均2728) Li25~270(平均146) Be5.0~24.3 (平均8.3) Rb301~1408(平均574);印支期花岗 岩含量(µg/g)分别为F505~3523(平均1956) Li 69~390(平均144) Be4.2~19.0(平均9.3) Rb 214~595(平均420)。

(4) 燕山早期花岗岩成矿元素 W、Sn 含量 (μg/g)平均值分别为 32.5 和 31.8 ,而印支期花岗岩 分别为 41.5 和 37.6 ,后者略高于前者。但如不考虑 王仙岭岩体中粒斑状黑(二)云母二长花岗岩的一组 极高值(分别为 284、169)则印支期花岗岩分别仅为 11.1 和 21.2。因此总体而言,燕山早期花岗岩 W、 Sn 含量还是明显高于印支期花岗岩。

(5)燕山早期花岗岩与印支期花岗岩相比:前 者稀土总量(∑REE µg/g)相对较高,为 74~390,平 均 279 ;后者为 78~338,平均 186。前者(La/Yb)_N 值相对较小,为0.7~12.6,平均5.6,说明轻稀土总

1期主要花岗岩体主量元素(w _b /%)和微量元素(w _b /10 ⁻⁶)分析结果)composition of the main Indosinian and Yanshanian granitic intrusives in southeastern Hunan	
表 1 湘东南印支期与燕山早	1 Major ($w_{\rm B}/\%$) and trace elements($w_{\rm B}/10^{-6}$	十 王 王 光 王
	Table 1	

时代	岩体	主要岩石类型	SiO ₂ <	Fi02	Al ₂ O ₃	$\rm Fe_2O_3$	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	ALK	ACNK	NKA	Fe ₂ O ₃ /FeO
	水口山	微细粒斑状角闪黑云石英(花岗)闪长岩	59.09	0.65	15.74	4.23	3.17	0.15	2.64	3.75	2.46	3.65	0.26	6.11	1.13	0.51	1.93
	宝峰仙	黑云母二长花岗岩、二云母二长花岗岩	74.63	0.46	12.26	0.53	2.25	0.03	0.19	0.95	2.83	5.14	0.04	7.97	1.03	0.84	0.30
	千里山	斑状黑云母二长花岗岩、少斑状二云母二长花岗岩	74.68	0.11	12.51	0.65	1.28	0.04	0.22	0.96	2.92	5.09	0.03	8.01	1.04	0.83	0.55
	ЦП	细中粒(斑状)黑云母二长花岗岩、细粒二云母二长花岗岩	74.67	0.15	13.11	0.48	1.56	0.10	0.40	1.00	3.20	4.40	0.08	7.60	1.13	0.77	0.33
	万洋山	斑状黑(二)云母二长花岗岩	71.08	0.39	13.84	0.87	2.06	0.06	0.59	1.22	2.97	5.18	0.18	8.15	1.09	0.76	0.50
	大义山	黑(二)云母二长花岗岩、二(白)云母正长花岗岩	73.70	0.17	13.22	0.72	2.18	0.05	0.23	0.78	2.89	4.71	0.07	7.60	1.27	0.74	0.46
	香花岭	细-细中粒铁锂云母二长花岗岩	73.46	0.04	14.07	0.21	1.64	0.08	0.26	0.75	3.42	4.81	0.02	8.23	1.20	0.77	0.13
燕	黄沙坪	细粒斑状黑云母花岗岩、花岗斑岩、石英斑岩	74.68	0.15	11.48	0.36	1.26	0.05	0.32	1.06	0.80	7.93	0.02	8.73	0.97	0.86	0.30
크퍼	大东山	细中粒、粗中粒、微细粒黑云母二长花岗岩	75.66	0.15	11.95	0.45	2.09	0.03	0.16	0.79	2.64	5.43	0.02	8.07	1.03	0.86	0.22
崩	17日 25日	细-中细粒(斑状)二云母二长花岗岩	75.15	0.05	12.76	0.50	4.75	0.15	0.19	0.78	3.35	4.49	0.06	7.84	1.08	0.81	0.52
	相区型	细中粒斑状黑云母二长花岗岩	73.99	0.08	12.99	0.58	1.48	0.14	0.18	0.87	2.80	5.47	0.05	8.27	1.07	0.81	0.52
	 	细中粒斑状黑云母二长花岗岩、中细粒二云母二长花岗岩	73.78	0.18	13.18	0.41	1.91	0.07	0.36	1.00	3.02	4.97	0.09	7.99	1.09	0.79	0.24
	頃/ 川鼡体	中粒斑状角闪黑云二长花岗岩	69.04	0.49	13.84	0.84	3.31	0.08	1.06	2.52	2.62	4.60	0.15	7.22	1.00	0.67	0.27
		细粒黑云母二长花岗岩、微细粒斑状黑云母二长花岗岩	74.13	0.22	12.58	0.65	1.83	0.04	0.25	0.95	3.02	5.27	0.05	8.29	1.02	0.85	0.59
	骑田岭	中细粒少斑状黑云母二长花岗岩	70.82	0.39	13.47	0.98	1.70	0.04	0.49	1.07	3.32	5.92	0.13	9.24	0.99	0.89	0.79
		细粒斑状、中粒斑状角闪黑云母二长花岗岩	68.47	0.57	13.60	1.35	2.85	0,06	0.75	1.79	3.54	5.05	0.18	8.59	0.95	0.84	0.56
175	燕山早期平均	((不包括水口山岩体)	72.31	0.25	13.16	0.86°	2.02	0.07	0.52	1.26	2.86	5.13	0.09	7.99	1.07	0.79	0.51
		微细粒斑状二云母二长花岗岩	73.12	0.07	15.23	0.92	0)39	0.05	1.02	0.13	0.19	4.28	0.04	4.47	2.96	0.33	2.64
	王仙岭	粗中粒少斑状二云母二长花岗岩	73.33	0.11	13.24	0.94	1.06	0.06	0.36	0.65	2.61	3.86	0.09	6.47	1.42	0.61	0.82
		中粒斑状黑(二)云母二长花岗岩	72.95	0.17	14.40	0.51	1.16	0,10	0.31	0.76	2.87	4.54	0.16	7.41	1.36	0.68	0.42
	热水	粗中粒斑状黑云母二长花岗岩	72.52	0.41	12.71	0.49	3.18	0.06	0.69	1.31	2.64	4.33	0.16	6.97	1.11	0.71	0.15
	大洞	细-细中粒二云母二长花岗岩、白云母二长花岗岩	73.61	0.17	13.97	0.47	1.16	0.08	0.26	0.53	3.44	4.78	0.14	8.22	1.19	0.78	0.47
만분	将军庙	中粒斑状黑云母二长花岗岩、细中粒自云母二长花岗岩	73.88	0.20	12.76	0.17	2.39	0.06	0,58	0.78	3.07	4.58	0.04	7.65	1.12	0.79	0.08
×期	11 H#	细中-中粒黑云母二长花岗岩、中细粒二云母二长花岗岩	74.48	0.15	12.97	0.50	1.86	0.05	0.21	0.76	3.15	5.09	0.06	8.24	1.07	0.83	0.34
	支援	细中粒斑状黑云母花岗闪长岩	69.85	0.45	14.35	0.51	2.94	0.07	0.86	2.02	3.29	4.93	0.18	8.22	1.00	0.75	0.18
	ן + איזי +	细粒黑云母二长花岗岩	70.66	0.38	12.87	1.92	2.47	0.06	0.43	1.39	2.24	5.90	0.13	8.14	1.02	0.78	1.64
	××⊓	角闪石黑云母二长花岗岩、角闪石黑云母花岗闪长岩	67.88	0.52	13.75	0.70	4.78	0.07	0.58	1.82	2.63	4.91	0.18	7.54	1.07	0.70	0.14
	五峰仙	斑状角闪黑云母二长花岗岩、细粒黑云母二长花岗岩	69.59	0.46	14.68	0.75	2.55	0.07	1.01	2.61	2.93	4.27	0.14	7.20	1.04	0.64	0.29
	印支期平均		71.99	0.28	13.72	0.72	2.18	0.07	0.57	1.16	2.64	4.68	0.12	7.32	1.31	0.69	0.65
									2								

体相对重稀土有较明显富集,但部分岩石单元轻稀 土富集不明显;后者(La/Yb),值为3.0~12.8,平均 为 8.2 说明轻稀土相对重稀土的富集程度比前者更 高。前者 \deltaEu 值相对较小,为 0.07~0.55,平均 0.23 而后者为 0.19~0.68, 平均 0.37。上述稀土 组成特征反映出燕山早期花岗岩相对印支期花岗岩 而言 总体经历了更强烈的结晶分异作用 相对低的 δEu 值暗示经历了更强烈的斜长石分离结晶作用, 而相对低的(La/Yb),值不仅反映早期岩浆中可能 有更多的褐帘石、磷灰石等富轻稀土副矿物的分离 结晶(Mittlefehldt and Miller, 1983; Chesner and Ettlinger ,1989) 同时可能还与流体分异和更多氟化物 的形成 燕山早期花岗岩 F含量更高 使得重稀土富 集 Webb et al., 1985; Dostal and Chatterjee, 1995) 有关。这一推断得到 Rb/Sr 比值的支持 燕山早期 花岗岩 Rb/Sr 比值平均达 32.9,远远高于印支期的 平均值(18.1),说明前者岩浆演化程度更高(汪雄武 等 2002)。

(6) 燕山早期花岗岩氧化程度相对较低, Fe₂O₃/ FeO比值平均为 0.43, 而印支期花岗岩平均为 0.65。

3 两阶段花岗岩地球化学特征与成矿 能力差异关系分析

花岗岩成矿作用的控制因素很多 ,主要包括大 地构造背景、花岗岩的环带构造、成矿流体可迁移性 及自交代作用、矿物学和地球化学特征。其他还有: 热液流体释放的时间 围岩的化学和结构性质 源岩 深度、侵位深度和剥蚀深度 岩浆分离结晶作用程度 (即挥发分含量)等(汪雄武等,2002)。就某一特定 岩体或局部区域而言,影响花岗岩成矿的不同层次 控制因素很多,具体的成矿作用过程也极为复杂。 但区域上某一时代花岗岩的总体成矿特征,笔者以 为应主要与区域花岗岩地球化学特征、区域地层组 成及区域构造背景(包括构造体制、断裂与裂隙构造 发育特征等)等因素有关。湘东南侏罗纪川口岩体 与三叠纪将军庙岩体紧邻,成矿的围岩地层条件基 本相同(图1)但前者发育大型川口钨矿,后者却没 有发现有色金属矿床 :侏罗纪千里山岩体与三叠纪 王仙岭岩体也是如此,两者成矿围岩地层条件相近, 但矿床发育情况迥异。就整个湘东南地区而言,印 支期与燕山早期花岗岩的区域地层条件基本相同 (图1)。因此,无论从局部典型岩体与矿床发育,还

是从整个地区成岩成矿特征来看,两时代花岗岩成 矿差异的原因都应主要从花岗岩地球化学特征和区 域构造背景方面探讨。

笔者已有研究表明,湘东南印支期与燕山早期 花岗岩分别形成于后碰撞环境下弱挤压构造体制 (柏道远等,2005a,2006a,2007b,2007c)和后造山环 境下伸展构造体制(马铁球等,2005b,2006a,2006b; 柏道远等,2005b,2007d;江西根等,2006)。对印支 期王仙岭岩体与燕山早期千里山岩体研究表明 这 种构造体制差异是两阶段花岗岩成矿能力差异的关 键原因之一(柏道远等,2007e):两岩体的地层与构 造地质条件相近,都具有 W、Sn 多金属成矿花岗岩 的岩石地球化学特征;王仙岭岩体内蚀变作用明显 比千里山岩体普遍、强烈,W、Sn含量总体上明显高 于千里山岩体 千里山岩体边缘有较多岩脉发育 岩 体与碳酸盐岩围岩接触带夕卡岩化强烈。而王仙岭 岩体边缘岩脉缺乏 岩体周围的碳酸盐岩围岩接触 带以大理岩化为主。这些地质、地球化学特征说明, 千里山岩体与王仙岭岩体的成矿差异主要是由于两 者侵位时的构造体制不同所致 :千里山岩体形成于 后造山环境下的伸展构造体制中 ,岩浆或岩体中的 矿物质能随流体沿断裂裂隙向周围有效扩散并干局 部聚集、沉定而成矿;而王仙岭岩体形成于后碰撞环 境下的弱挤压构造体制中,侵位时断裂裂隙构造发 育差 流体与成矿物质被封闭在岩体内部 因此没有 发生有效的成矿作用。

除构造环境暨构造体制差异外,下述分析表明 两阶段花岗岩地球化学特征差异也是印支期与燕山 早期花岗岩成矿能力差异的主要原因之一。

就钨锡多金属成矿花岗岩本身而言,其成矿能 力及成矿专属性主要取决于与成矿作用直接相关的 成矿元素、挥发分和生热元素等组分含量,以及氧化 状态(Fe₂O₃/FeO)和酸碱度等,具体如:①岩石中成 矿元素含量越高,则意味着成岩成矿时岩浆及热液 中矿质浓度越高、矿质量越大,同时岩石在蚀变过程 中能释放的矿质也越多,自然更易于成矿,相应会导 致矿床规模更大、矿石品位更高。②岩浆中挥发分 的存在可以大大降低熔体粘度和结晶温度,对控制 岩浆的固结行为起着关键作用,尤其是F的存在和 富有可以明显地降低岩浆的固结温度(Manning, 1981; Kovalenko and Kovalenko, 1984; Pichavant and Manning, 1984),故可推论高F含量可以使岩浆 结晶速度减慢,从而使岩浆得到更充分的分异,也可 以使更多的矿质元素在更长的时间内被萃取、搬运、 沉淀而成矿。此外 F、CI 等挥发分元素可与 W、Sn 等成矿元素形成可溶性配合物而迁移 增大物质扩 散速率 因而在成矿作用中起到十分重要的作用(肖 庆辉等 2002)。③U、Th 等放射性元素含量越高则 岩体固结后产生的热量越多,从而延长岩体冷却时 间,使一定温度水平热液的循环时间及相应的成矿 作用进行的时间更长 因此更利于成矿。④由于 W、 Sn等成矿元素均为变价元素,氧化状态(Fe₂O₃/ FeO 必然影响岩浆的成矿元素行为,如在相当氧化 的熔体中以 Sn⁴⁺ 为主,晶体-熔体间的总体分配系数 $D_{Sn} > 1$,而在较为还原的岩浆中以 Sn^{2+} 为主, D_{Sn}<1(Blevin and Chappel, 1992),因此相对还原的 花岗岩更利于形成 Sn 矿。⑤通常随着演化程度的 升高 岩浆会更富钾、富碱 ,而演化程度的升高也意 味着更易于形成 W、Sn 多金属矿床。另一方面,若 岩浆演化后期溶液呈碱性(Na⁺浓度较高)可使造岩 矿物中的 Sn 从晶格中释放出来,以 Na₂[Sn(OH· F)。 的形式进入溶液并随溶液上升, 尔后溶液在钠 长石化过程中因 Na⁺ 消耗而由碱性变为弱碱性直至 中性 从而发生水解析出锡石。因此 富钾、富碱花 岗岩一般更利于 W Sn 多金属矿床的形成。

此外,通常W、Sn 多金属成矿花岗岩 Li、Be、Rb 等稀有金属含量越高、Rb/Sr 比值越大、*d*Eu 值越低 则岩体具有更强的成矿能力,其很大程度上与岩浆 经历了更充分的分异结晶有关。

根据上述花岗岩 W、Sn 多金属成矿与岩石地球 化学特征关系的论述,湘东南燕山早期花岗岩相对 印支期花岗岩显然具有更好的成矿条件:其成矿元 素 W、Sn 放射性生热元素 U、Th,挥发分元素 F 及 稀有金属 Be、B、Li、Rb 等组分的含量更高,岩石氧化 程度更低而碱性程度与岩浆分异演化程度更高。因 此,岩石地球化学特征差异应该是湘东南燕山早期 花岗岩成矿能力明显或远远高于印支期花岗岩的主 要原因之一。

造成印支期与燕山早期花岗岩地球化学特征差 异的原因可能与构造 – 岩浆演化历史和构造环境差 异有关。

研究表明,湘东南在中三叠世后期发生强烈的 陆内挤压造山作用(柏道远等,2005a,2005c,2006b, 2006c,2006d,2007b),造成地壳大幅增厚(柏道远 等,2006e)。中三叠世末—晚三叠世后期为后碰撞 构造环境,挤压应力减弱、地壳相对松弛,由于增厚 而温度升高的中、下地壳在降压条件下部分熔融形 成岩浆,岩浆向上侵位而形成印支期花岗岩(柏道远 等 2006a 2007c)。在弱挤压构造体制下,部分岩浆 在深部岩浆房中直接冷却成岩(花岗岩)。燕山早期 晚阶段(J₂ – J₃)(柏道远等,2005a,2007b)发生大规 模后造山岩浆活动,深部印支期花岗岩可再次产生 部分熔融,造成W、Sn、U、Th等强不相容元素(亲花 岗岩元素)再次富集,从而导致燕山早期花岗岩中成 矿元素和产热元素含量更高。

一般而言,拉张构造体制下岩浆侵位过程中的 分离结晶作用比挤压构造体制下更强,如幔源基性 岩浆在伸展环境下经分异演化后可呈碱性花岗岩侵 位于上地壳中。因此,形成于后造山伸展环境下的 燕山早期花岗岩,总体应比形成于后碰撞弱挤压构 造环境下的印支期花岗岩经历过更强的分异演化, 从而具有更高的不相容元素(包括W、Sn等成矿元 素,U、Th等产热元素,Li、Rb等微量元素等)及挥发 分含量,更大的 Rb/Sr 比值,更低的 dEu 值以及更高 的碱性程度。

4 结论

湘东南燕山早期传统 S 型花岗岩的成矿能力远 高于印支期花岗岩,除与伸展构造体制导致岩体中 矿质向外更有效扩散等有关外,另一个重要原因是 其在岩石地球化学特征方面具有更好的成矿条件: 成矿元素 W、Sn,放射性生热元素 U、Th,挥发分元 素 F 及稀有金属 Be、B、Li、Rb 等组分的含量及碱性 程度更高,岩石氧化程度(Fe₂O₃/FeO 比值)更低。 两阶段花岗岩地球化学特征的差异可能与构造-岩 浆演化历史和构造环境差异有关。

References

- Bai Daoyuan , Huang Jianzhong , Liu Yaorong , et al. 2005a. Framework of Mesozoic tectonic evolution in southeastern Hunan and the Hunan-Guangdong-Jiangxi border area[J]. Geology in China , 32 (4):557~570 (in Chinese with English abstract).
- Bai Daoyuan , Chen Jianchao , Ma Tieqiu , et al. 2005b. Geochemical characteristics and tectonic setting of Qitianling A-type granitic pluton , Southeast Hunan[J]. Acta Petrologica et Mimeralogica , 24 (4):255~272 (in Chinese with English abstract).
- Bai Daoyuan , Xiong Yanwang , Wang Xianhui , et al. 2005c. "y "-type structure in Anren county , Hunan , and the sinistral strike-slip of Changde-Anren NW-trending faul [J]. Geotectonica et Metallogeni-

a , 29(4): 435 \sim 442 (in Chinese with English abstract).

- Bai Daoyuan, Chen Jiancheng, Ma Tieqiu, et al. 2006a. Geochemical characteristics of Wangxianling granitic pluton and its constraints on Late Indosinian tectonic setting of Southeast Hunan[J]. Geochimica, 35(2):113~125 (in Chinese with English abstract).
- Bai Daoyuan , Huang Jianzhong , Wang Xianhui , *et al* . 2006b. Sinistral strike-slip motion of the NW-trending Saoyang-Chenzhou fault and genesis of the N-S-trending Shuikoushan-Xianghualing tectonic zone in Hunar[J]. Geology in China , $33(1):56 \sim 63$ (in Chinese with English abstract).
- Bai Daoyuan Chen Jianchen Meng Debao *et al*. 2006c. Forming mechanism of Indosinian trough-like folds in Yanling region , Hunan [J]. Journal of Earth Science and Enivronmental , (4):10 ~ 14 (in Chinese with English abstract).
- Bai Daoyuan , Wang Xianhui , Ma Tieqiu , *et al* . 2006d. Characteristics and forming mechanism of Indosinian folds in the southeast hunan [J]. Geology and Mineral Resources of South China , (4):50 ~ 57 (in Chinese with English abstract).
- Bai Daoyuan , Huang Jianzhong , Meng Debao , et al. 2006e. Meso-Cenozoic thermochronological analysis of the uplift process of mountains in southeast Hunar[J]. Acta Geoscientica Sinica , 27(6):525 ~536 (in Chinese with English abstract).
- Bai Daoyuan, Jia Baohua, Ma Tieqiu, et al. 2007a. Tectonic-magmatic mechanisms of the two types of Early Yanshanian W-Sn-polymetallic and Pb-Zn-polymetallic deposit assemblages in southeast Hunan[J]. Acta Geologica Sinica (in press.) (in Chinese with English abstract).
- Bai Daoyuan, Huang Jianzhong, Li Jindong, et al. 2007b. Multiple geological elements constraint on the Mesozoic tectonic evolution of south China: apocalypse of the Mesozoic geological evolution in Southeastern Hunan and the Hunan-Guangdong-Jiangxi border area [J]. Geotectonica et Metallogenia, 31(1):1~13 (in Chinese with English abstract).
- Bai Daoyuan , Zhou Liang , Ma Tieqiu , et al. 2007c. Genesis and tectonic setting of Indosinian granites in southeast Hunan[J]. Acta Petrologica et Mimeralogica , 26(3):197 ~ 212 (in Chinese with English abstract).
- Bai Daoyuan , Wang Yongqing , Wang Xianhui , et al. 2007d. Geochemistry , genesis and tectonic setting of Early Yanshanian Chuankou strong peraluminous granites , Hengyang Hunan [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology , 27(2):49 ~ 59(in Chinese with English abstract).
- Bai Daoyuan, Jia Baohua, Li Jindong, et al. 2007e. Regional tectonic regime and its vital import to the metallogenic ability of Indosinian and Early Yanshanian granites in southeastern Hunan: A example from Qianlishan and Wangxianling pluton[J]. Mineral Deposits (in press) (in Chinese with English abstract).
- Blevin P L and Chappel B W. 1992. The role of magma sources, oxidation states and fractionation in determining the granite metallogeny of eastern Australia[J]. Royal Society of Edinburgh Transactions: Earth Sciences, 83:305~316.
- Cai Jinhui , Wei Changshan and Sun Minghui. 2004a. A discussion on

the ore-forming age of the Bailashui tin deposit in Qitianling , Hunan [J] Acta Geoscientica Sinica , $25(2):235 \sim 238$ (in Chinese with English abstract).

- Cai Jinhui , Wei Changshan , Sun Minghui , et al. 2004b. Genetic study about the Bailashui tin deposits in Qitianling area of Hunar[J]. Geotectonica et Metallogenia , 28(1):45~52 (in Chinese with English abstract).
- Chen Minsu and Liu Xinghui. 2000. Metallogenic model and resource general capacity forecast of Furong Sn field in Chenzhou[J]. Hunan Geology, 19(1):43~47 (in Chinese with English abstract).
- Chesner C A and Ettlinger A D. 1989. Composition of volcanic allanite from the Toba Tuffs , Sumatra , Indonesia[J]. Am. Mineral. , 74: $750 \sim 758$.
- Dostal J and Chatterjee A K. 1995. Origin of topaz-bearing and related peraluminous granites of the Late Devonian Davis Lake pluton, Nova Scotia, Canada : crystal versus fluid fractionation[J]. Chemical Geology, 123:67~88.
- Geology Department of Nanjing University. 1981. Granitoids of Different Ages in South China and Their Metallogenetic Relations. M J. Bejing : Science Press, 1~395 (in Chinese).
- Granitoid Research Group of Nanling Project. 1989. Geology of Granitoids of Nanling Range and Their Petrogenesis and Mineralization [M] Bejing Geological Publishing House, 1~471 (in Chinese).
- Guiyang Instiruteof Geochemistry. 1979. Geochemistry of Granitoids in South China M]. Beijing Science Press, 1~421(in Chinese).
- Huang Gefei , Gong Shuqing , Jiang Xiwei , et al. 2003. Exploration on the ore-forming regularities of tin deposits in Qitianling area , Southern Hunar[J]. Geological Bulletin of China , 22(6):245~251 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Xigen, Bai Daoyuan, Chen Jianchao, et al. 2006. Geochemical characteristics and tectonic setting of Baofengxian Early Yanshanian granites, southeast Hunan[J]. Geotectonica et Metallogenia, 30 (2):206~219 (in Chinese with English abstract).
- Kovalenko V I and Kovalenko N I. 1984. Problems of the origin, orebearing and evolution of rare-metal granitoids[J]. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 35:51~62.
- Liu Yimao, Dai Tongmo, Lu Huanzhang, et al. 1997. Isotopic date of ⁴⁰Ar-³⁹Ar and Sm-Nd for diagenesis-metallogenesis of the Qianlishan granit [J]. Science in China (Series D), 27(5):425~430 (in Chinese).
- Liu Yimao , Xu Jifeng and Dai Tongmo. 2002. Isotopic date of ⁴⁰Ar-³⁹Ar and its geological significance[J]. Science in China(Series D), 2 (supple): 41~48 (in Chinese).
- Luo Yun and Cai Jinhui. 2004. The rock-forming and ore-forming age of the Furong orefield ,Hunan Province[J]. Acta Geoscientica Sinica , 25(2):239~242 (in Chinese with English abstract).
- Ma Tieqiu, Bai Daoyuan and Wang Xianhui. 2005a. Zircon SHRIMP dating of the Xitian granite pluton, Chaling, southeastern Hunan, and its geological significance[J]. Geological Bulletin of China, 24 (5):415~419 (in Chinese with English abstract).
- Ma Tieqiu, Wu Guangying, Jia Baohua, et al. 2005b. Middle-Late

Jurassic granite magma-mixing in the middle segment of the Nanling Mountains , south China : evidence from mafic microgranular enclaves [J]. Geological Bulletin of China , 24(6): 506 \sim 512 (in Chinese with English abstract).

- Ma Tieqiu, Kuang Jun, Bai Daoyuan, et al. 2006a. Geochemical characteristics and tectonic setting of the early Yanshanian South Zhuguangshan granite in the central segment of the Nanling Mountains J. Geology in China, 33(1): 119~131 (in Chinese with English abstract).
- Ma Tieqiu, Bai Daoyuan, Kuang Jun, et al. 2006b. ⁴⁰Ar-³⁹Ar dating and geochemical characteristics of the granites in north Dadongshan pluton, Nanling Mountains J]. Geochimica, 35(4):346~358
- Manning D. 1981. The effect of fluorine on liquidus phase relationships in the system Qz-Ab-Or with excess water at 1 kbar[J]. Contri. Petro. ,76:206~215.
- Mao Jingwen , Li Hongyan and Pei Rongfu. 1995a. Nd-Sr isotopic and petrogenetic studies of the Qianlishan granite stock ,Hunan Provice [J]. Mineral Deposits , 14(3):235~242 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen , Li Hongyan and Pei Rongfu. 1995b. Geochemistry and mineralization of Qianlishan rock body in Hunan province J. Mineral Deposits , 14(1):12~24 (in Chinese with English abstract)
- Mao Jinwen, Li Hongyan, Song Xuexin, et al. 1996. Geology and Geochemistry of the Shizhuyuan W-Sn-Mo-Bi-polymeallic Deposits, Hunan, China M. Bejing: Geological Publishing House, 1~215 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen , Li Xiaomeng , Bernd L , et al. 2004. ⁴⁰Ar-³⁹Ar dating of tin ores and related gravite in Furong tin orefield ,Hunan province , and its geodynamic significance[J]. Mineral Deposits , 23(2):164 ~174 (in Chinese with English abstract).
- Mittlefehldt D W and Miller C F. 1983. Geochemistry of the sweetwater wash pluton California : Implications for " anomalous " trace element behavior during differentiation of felsic magmas J J. Geochemi. Cosmochim. Acta , 47 : 109~124.
- Mo Zhusun and Ye Bodan. 1980. Geology of Granite in Nanling Range[M]. Bejing Geological Publishing House, 1~363 (in Chinese).
- Pichavant M and Manning D. 1984. Petrogenesis of tourmaline granites and topaz granites : the contribution of experimental data J]. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 35:1~5.
- Shi Mingkui, Xiong Chengyun and Jia Deyu. 1993. The Nonferrous Metal to Lie Low the Deposits to Synthesize the Estimate in the Region of Hunan Guangxi Guangdong and Jiangx[M]. Beijing: Geological Publishing House, 3~18 (in Chinese).
- Tong Qianming , Jiang Shengzhang , Li Rongqing , et al. 1986. A study of geological characteristics and ore forming process of the Huangshaping lead-zinc ore deposit , Hunan[J]. Hunan Geology (suppl. 2):1~162 (in Chinese with English abstract).
- Tong Qianming , Wu Renhe and Peng Jilai. 1995. Metallogeny of W , Sn ,Pb-Zn ,Au and Ag Deposits in the Chengxian-Guiyang Area , South Hunan , China M]. Beijing : Geological Publishing House , 1 ~98 (in Chinese).

- Wang Changlie, Luo Shihui, Xu Yiuzhi, et al. 1987. Geology of Shizhuyuan W-Sn-Mo-Bi Polymetal Deposits M]. Beijing : Geological Publishing House, 1~173 (in Chinese).
- Wang Denghong , Chen Yuchuan , Li Huaqin , *et al*. 2003. Geological and geochemical features of the Furong tin deposit in Hunan and their significance for mineral prospecting J]. Geological Bulletin of China , $22(1):50\sim56$ (in Chinese with English abstract).
- Wang Lihua and Zhang Dequan. 1988. Geological Characteristics and Ore-forming Mechanisms of the Xianghualing Tin Deposits, Hunan [M]. Beijing : Beijing Science and Technology Press, 1~152 (in Chinese).
- Wang Shufeng and Zhang Qiling. 1988. Geology of Shizhuyuan Deposits [M]. Beijing : Beijing Science and Technique Press (in Chinese).
- Wang Xiongwu and Wang Xiaodi. 2002. Some diagnostic criteria for mineralized granite[J]. Acta Petrologica et Mineralogica , 21(2): 119~130 (in Chinese with English abstract).
- Wang Xiongwu, Wang Xiaodi, Liu Jiaqi, et al. 2004. Relationship of Qitianling granite to Sn mineralization in Hunan Province[J]. Geological Science and Technology Infromation, 23(2):1~12 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yuejun ,Fan Weiming ,Guo Feng , et al. 2000. Petrological and geochemical characteristics of Mesozoic granodioritic intrusions in southeast Hunan province , China[J]. Acta Petrologica Sinica , 17 (1):169~175 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yuejun, Fan Weiming, Guo Feng, et al. 2001. U-Pb dating of early Mesozoic granodioritic intrusions in southeastern Hunan Province, South China and its petrogenetic implications J. Science in China Series D.), 31(9):745~751 (in Chinese).
- Webb P C , Tindle A G and Barritt S D. 1985. Radiothermal granites of the United Kingdom : comparison of fractionation patterns and variation of heat production for selected granites [A]. Inst. Min. Metall. High Heat Production (HHP) Granites , Hydrotheral Circulation and Ore Genesis [C]. 409~424.
- Wei Shaoliu , Zeng Qinwang , Xu Yiming , et al. 2002. Characteristics and ore prospects of tin deposits in the Qitianling area , Hunan[J]. Geology in China , 29(1): 67 ~ 75 (in Chinese with English abstract).
- Wu Guangying , Pan Zhongfang , Hou Zengqian , et al. 2005. Ore body distribution pattern , ore-controlling factors and prospecting potentiality in the Dayishan tin deposit , Hunan province J]. Geology and Prospecting , 41(2):6~11 (in Chinese with English abstract).
- Wu Shichong , Luo Hongwen and Huang Tao. 2004. Metallogenetic geological characteristics and prospecting of tin-polymetallic deposits in central Xitian area , eastern Hunan[J]. Geology and Minral Resources of South China ,(2):21~26 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Qinghui , Deng Jinfu and Ma Daquan. 2002. The Ways of Investigation on Granitoid [M]. Bejing : Geological Publishing House , 257 \sim 275 (in Chinese).
- Xu Yiming , Hou Maosong , Liao Xingyu , et al. 2000. Deposit types and prospect for prospecting of Sn deposits in Furong ore field Chen-

zhou[J]. Hunan Geology , 19(2): 95 \sim 100 (in Chinese with English abstract).

- Zheng Jijian and Jia Baohua. 2001. Geological characteristics and related tin-polymetallic mineralization of the Qitianling granite complex in southern Hunan province [J]. Geology and Mineral Resources of South China , $(4):50 \sim 57$ (in Chinese with English abstract).
- Zhu Jinchu, Huang Gefei, Zhang Peihua, et al. 2003. On the emplacement age and material sources for the granites of Cailing superunit, Qitianling Pluton south Hunan Province J. Geological Review, 49 (3):245~252 (in Chinese with English abstract).
- Zhuang Jinliang , Liu Zhongwei and Tan Bixiang. 1988. Relation of the small rock bodies in southern Hunan to the formation of ore deposits and prognosis of concealed deposit J]. Hunan Geology (suppl. 4): $1 \sim 98$ (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 柏道远,陈建超,马铁球,等.2005b. 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,24(4): 255~272.
- 柏道远,熊延望,王先辉,等.2005c.湖南常德-安仁 NW 向断裂左 旋走滑与安仁"y"字型构造 J].大地构造与成矿学,29(4):435 ~442.
- 柏道远,陈建成,马铁球,等、2006a. 王仙岭岩体地质地球化学特征 及其对湘东南印支晚期构造环境的制约[J]. 地球化学,35(2): 113~125.
- 柏道远,黄建中,王先辉,等.2006b.湖南邵阳-郴州北西向左旋走 滑暨水口山-香花岭南北向构造成因[J].中国地质,33(1):56 ~63.
- 柏道远,陈建成,孟德保,等.2006c. 湖南炎陵印支期隔槽式褶皱形 成机制探讨[J]. 地球科学与环境学报,(4):10~14.
- 柏道远,王先辉,马铁球,等.2006d. 湘东南印支期褶皱特征及形成机制[J]. 华南地质与矿产,(4)50~57.
- 柏道远,黄建中,孟德保,等.2006e.湘东南地区中、新生代山体隆 升过程的热年代学研究[]].地球学报,27(6);525~536.
- 柏道远,贾宝华,马铁球,等. 2007a. 湘东南燕山早期钨锡多金属与 铅锌多金属两类矿床组合形成的构造 – 岩浆动力学机制[J]. 地 质学报,待刊.
- 柏道远,黄建中,李金冬,等.2007b.华南中生代构造演化过程的 多地质要素约束——湘东南及湘粤赣边区中生代地质研究的启 示[J].大地构造与成矿学,31(1):1~13.
- 柏道远,周 亮,马铁球,等.2007c. 湘东南印支期花岗岩成因及构 造背景[J]. 岩石矿物学杂志,26(3):197~212.
- 柏道远,汪永清,王先辉,等.2007d.湖南衡阳燕山早期川口过铝 花岗岩地球化学特征、成因与构造环境[]].沉积与特提斯地质, 27(2):49~59.
- 柏道远,贾宝华,李金冬,等.2007e.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,待刊.

- 蔡锦辉,韦昌山,孙明慧. 2004a. 湖南骑田岭白腊水锡矿床成矿年 龄讨论[J]. 地球学报, 25(2):235~238.
- 蔡锦辉,韦昌山,孙明慧,等.2004b. 骑田岭白腊水锡矿床成因讨 论[J]. 大地构造与成矿学,28(1):45~52.
- 陈民苏,刘星辉.2000. 郴州芙蓉锡矿田成矿模式及资源总量预测 [J].湖南地质,19(1):43~47.
- 地质矿产部南岭项目花岗岩专题组. 1989. 南岭花岗岩地质及其成 因和成矿关系[M]. 北京:地质出版社,1~471.
- 贵阳地球化学研究所. 1979. 华南花岗岩类的地球化学[M]. 北京: 科学出版社,1~421.
- 黄革非, 龚述清, 蒋希伟, 等. 2003. 湘南骑田岭锡矿成矿规律探讨 [J]. 地质通报, 22(6): 245~251.
- 江西根,柏道远,陈建超,等.2006.湘东南宝峰仙地区燕山早期花 岗岩地球化学特征及其构造环境[J].大地构造与成矿学,30 (2):206~219
- 刘义茂,戴橦谟,卢焕章,等.1997.千里山花岗岩成岩成矿的⁴⁰Ar-³⁹Ar和Sm-Nd同位素年龄[J].中国科学(D辑),27(5):425~ 430.
- 刘义茂,许继峰,戴橦谟. 2002. 骑田岭花岗岩⁴⁰ Ar/³⁹ Ar 同位素年 龄及其地质意义[J].中国科学(D辑), (增刊):41~48.
- 罗 郧,蔡锦辉 2004.湖南芙蓉矿田成岩成矿时代[J].地球学报, 25(2):239-242.
- 马铁球, 柏道远, 王先辉. 2005a. 湘东南茶陵地区锡田岩体锆石 SHRIMP 定年及其地质意义[J]. 地质通报, 24(5):415~419.
- 马铁球,伍光英,贾宝华,等.2005b. 南岭中段郴州一带中、晚侏罗 世花岗岩浆的混合作用——来自镁铁质微粒包体的证据[J]. 地 质通报,24(6):506~512.
- 马铁球, 邝 军, 柏道远, 等, 2006a. 南岭中段诸广山南体燕山早期 花岗岩地球化学特征及其形成的构造环境分析[J]. 中国地质, 33(1):119~131.
- 马铁球,柏道远,邝 军,等. 2006b. 南岭大东山岩体北部⁴⁰Ar-³⁹Ar 定年及地球化学特征[J]. 地球化学,35(4):346~358.
- 毛景文,李红艳,裴荣富. 1995a. 湖南千里山花岗岩体的 Nd-Sr 同 位素及岩石成因研究 J]. 矿床地质,14(3):235~242.
- 毛景文,李红艳,裴荣富.1995b.千里山花岗岩体地质地球化学及 与成矿关系[J].矿床地质,14(1):12~24.
- 毛景文,李红艳,宋学信,等.1996.湖南柿竹园钨锡钼铋多金属矿 床地质与地球化学[M].北京:地质出版社,1~215.
- 毛景文,李晓峰,Bernd L,等.2004. 湖南芙蓉锡矿床锡矿石和有关 花岗岩的⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄及其地球动力学意义[J]. 矿床地质,23 (2):164~174.
- 莫柱孙,叶伯丹. 1980. 南岭花岗岩地质学[M]. 北京:地质出版社, 1~363.
- 南京大学地质系. 1981. 华南不同时代花岗岩类及其与成矿的关系 [M]. 北京:科学出版社,1~395.
- 史明魁,熊成云,贾德裕. 1993. 湘桂粤赣地区有色金属隐伏矿床综 合预测[M].北京:地质出版社,3~18.
- 童潜明,姜胜章,李荣清,等.1986.湖南黄沙坪铅锌矿床地质特征 及成矿规律研究[]]湖南地质(增刊第2号):1~162.
- 童潜明,伍仁和,彭寄来. 1995. 郴桂地区钨锡铅锌金银矿床成矿规律 M].北京:地质出版社,1~98.

- 汪雄武,王晓地. 2002.花岗岩成矿的几个判别标志[J].岩石矿物 学杂志,21(2):119~130.
- 汪雄武,王晓地,刘家齐,等.2004. 湖南骑田岭花岗岩与锡成矿的 关系[J]. 地质科技情报,23(2):1~12.
- 王昌烈,罗仕徽,胥友志,等. 1987. 柿竹园钨锡钼铋多金属矿床地 质[M].北京:地质出版社,1~173.
- 王登红,陈毓川,李华芹,等. 2003. 湖南芙蓉锡矿的地质地球化学 特征及找矿意义[J]. 地质通报,2((1):50~56.
- 王立华,张德全. 1988. 湖南香花岭锡矿床地质特征及成矿机理 [M]. 北京:北京科学技术出版社,1~152.
- 王书凤,张绮玲.1988.柿竹园矿床地质引论[M].北京:北京科学 技术出版社.
- 王岳军,范蔚茗,郭 锋,等.2000. 湘东南中生代花岗闪长质小岩体的岩石地球化学特征[]].岩石学报.17(1):169~175.
- 王岳军,范蔚茗,郭 锋,等.2001. 湘东南中生代花岗闪长岩锆石 U-Pb法定年及其成因指示[J].中国科学(D辑),31(9):745~ 751.
- 魏绍六,曾钦旺,许以明,等.2002.湖南骑田岭地区锡矿床特征及

找矿前景[J]. 中国地质, 29(1):67~75.

- 伍光英,潘仲芳,侯增谦,等.2005.湖南大义山锡多金属矿田矿体 分布规律、控矿因素及找矿方向[J].地质与勘探,41(2):6~ 11.
- 伍式崇,罗洪文,黄 韬.2004.锡田中部地区锡多金属矿成矿地质 特征及找矿潜力[J].华南地质与矿产,(2):21~26.
- 肖庆辉,邓晋福,马大铨.2002.花岗岩研究思维与方法 M].北京: 地质出版社,257~275.
- 许以明,侯茂松,廖兴钰,等.2000. 郴州芙蓉锡矿类型及找矿远景 [J].湖南地质,19(2):95~100.
- 郑基俭,贾宝华.2001.骑田岭岩体的基本特征及其与锡多金属成矿 作用关系[J].华南地质与矿产,(4):50~57.
- 朱金初,黄革非,张佩华,等.2003.湖南骑田岭岩体菜岭超单元花 岗岩侵位年龄和物质来源研究[J].地质论评,49(3):245~ 252.
- 745~ 庄锦良,刘钟伟,谭必祥. 1988. 湘南地区小岩体与成矿关系及隐伏 矿床预测[J]. 湖南地质(增刊第4号):1~98. 等征及