

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

柏道远, 陈建超, 马铁球, 王先辉

(湖南地质调查院, 湖南湘潭 411100)

摘要: 骑田岭复式花岗岩体地处湘东南矿集区的中南部。本文研究讨论了骑田岭岩体的主体, 即中侏罗世骑田岭序列花岗岩。其岩石类型为角闪石黑云母花岗岩-角闪石黑云母二长花岗岩-黑云母二长花岗岩。各岩石单元从早到晚, SiO_2 含量总体由低变高, 变化范围在 65.92% ~ 75.68% 之间。岩石高钾、富碱, K_2O 含量为 4.10% ~ 5.27%, 平均 4.86%; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 为 7.12% ~ 8.24%, 平均 7.85%; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值平均为 1.63; ACNK 值在 0.90 ~ 1.05 之间, 平均为 0.96; KN/A 在 0.71 ~ 0.89 之间, 平均为 0.78, 属钾玄岩系列与高钾钙碱性系列准铝质-弱过铝质花岗岩类。 ΣREE 平均达 375.6 $\mu\text{g}/\text{g}$, 在原始地幔标准化图解上显示出 Ba、Nb、Sr、P、Ti、Eu 负异常和 U、Th、Nd、Zr、Sm、Y 的正异常, 具明显的分异结晶作用特征。 I_{Sr} 值为 0.70854 ~ 0.71281, $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为 -5.05 ~ -7.57, t_{DM} 为 1.35 ~ 1.56 Ga, 明显低于湘桂内陆带花岗岩的背景值(1.8 ~ 2.4 Ga) 和区域基底的时代(1.7 ~ 2.7 Ga), 反映出有幔源物质加入。经多种相关图解判别均显示其为 A 型花岗岩, 骑田岭序列应形成于后造山拉张构造环境。讨论认为湘东南及华南地区燕山早期构造环境为后造山而不是陆内裂谷环境。

关键词: A 型花岗岩; 地球化学特征; 后造山构造环境; 燕山早期; 骑田岭; 湘东南; 华南

中图分类号: P588.12⁺1; P59; P54 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6524(2005)04-0255-18

Geochemical characteristics and tectonic setting of Qitianling A-type granitic pluton in southeast Hunan

BAI Dao_yuan, CHEN Jian_chao, MA Tie_qiu and WANG Xian_hui

(Hunan Institute of Geological Survey, Xiangtan 411100, China)

Abstract: Qitianling composite granitic pluton is in the middle south of the southeastern Hunan ore concentration area. The Middle Jurassic Qitianling granite, the main intrusive body of Qitianling pluton, is studied in this paper. The Qitianling granite is composed of hornblende biotite granodiorite, hornblende biotite monzonitic granite and biotite monzonitic granite. SiO_2 content increases from early to late granitic units, varying in the range of 65.92% ~ 75.68%. The rocks are potassium_high (K_2O = 4.10% ~ 5.27%, 4.86% on average) and alkali-rich ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ = 7.12% ~ 8.24%, 7.85% on average) ones, and have an average $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ value of 1.63, ACNK values of 0.90 ~ 1.05 (0.96 on average) and KN/A values of 0.71 ~ 0.89 (0.78 on average), thus belonging to metaluminous to weakly peraluminous granitoids of shoshonite series and K_high calc_alkaline series. The rocks have an average ΣREE of 375.6 $\mu\text{g}/\text{g}$ and show evident negative Ba, Nb, Sr, P, Ti and Eu anomalies as well as positive U, Th, Nd, Zr, Sm and Y anomalies, suggesting evident fractional crystallization. They have I_{Sr} values of 0.70854 ~ 0.71281, $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ values of -5.05 ~ -7.57 and t_{DM} ages of 1.35 ~ 1.56 Ga, which is lower than the background age of granitoids in Hunan and Guangxi (1.8 ~ 2.4 Ga) and the region_

收稿日期: 2005-01-26; 修订日期: 2005-04-18

基金项目: 中国地质调查局区域地质调查资助项目(200213000035)

作者简介: 柏道远(1967-), 男, 高级工程师, 从事区域地质调查工作, E-mail: daoyuanbai@sina.com。

al basement's age (1.7~2.7 Ga), implying participation of mantle materials. Various oxide and trace element diagrams for discrimination of structural environment reveal that the Qitianling granite was formed in a post-orogenic extensional structural environment. The authors consider that the early Yanshanian tectonic setting in southeast Hunan and South China is a post-orogenic one instead of an intracontinental rift.

Key words: A-type granites; geochemical characteristics; post-orogenic tectonic setting; early Yanshanian; Qitianling; southeast Hunan; South China

湖南郴州骑田岭岩体为一复式花岗岩体,近几年新发现大量与岩体相关的锡(多金属)矿床,并因具有寻找超大型锡多金属矿产的潜力而备受关注(陈民苏等,2000;许以明等,2000;魏绍六等,2002)。近年来,在骑田岭岩体矿床类型、成矿规律和成矿地质特征、岩体与成矿的关系、花岗岩成岩与成矿时代等方面的研究均已取得大量成果(许以明等,2000;郑基俭和贾宝华,2001;蔡锦辉等,2002,2004;王登红等,2003;黄革非等,2003;邓松华等,2003;徐惠长等,2002;刘义茂等,2002;朱金初等,2003;毛景文等,2004b;罗郎等,2004;付建明等,2004),而对岩体地质地球化学特征方面的研究则相对薄弱。上世纪90年代初湘南地质队在该地区进行过1:5万区域地质调查工作,对岩体地质与地球化学特征做过一定研究,但由于受时代与研究方法等客观因素的局限,这些工作在现在看来不够深入和全面,其成果资料相对当今地学新理论、新概念也显陈旧。近年来朱金初等(2003)对骑田岭岩体原菜岭超单元的地质地球化学特征及物质来源等做过较深入的研究,但对岩体中其他的岩石单元未做系统工作,调查范围也仅局限于岩体东部小区域内。最近邓希光等(2005)对骑田岭岩体芙蓉、永春、菜岭等3处花岗岩进行了地球化学研究。近3年来,笔者在1:25万郴州市幅区域地质调查中对骑田岭岩体进行了系统而全面的年代学、地质学、岩石地球化学等方面的研究,如对骑田岭岩体重新进行了时代与单元划分,对永春和江口两地含角闪石黑云母二长花岗岩分别进行了锆石 SHRIMP U-Pb 年龄(156.7 ± 1.7 Ma)和黑云母 ^{40}Ar - ^{39}Ar 法年龄(坪年龄为 155.1 ± 1.8 Ma)测定(另文发表)等。在岩石地球化学特征方面,经研究发现,组成岩体主体的中侏罗世末骑田岭序列各岩石单元具有A型花岗岩的特征,反映出燕山早期区域后造山拉张构造环境。本文主要就该成果进行阐述,并结合湘东南及南岭地区区域构造背景和有关成果资料,对华南燕山早期的构造背景进行讨论。

1 区域与岩体地质概况

骑田岭复式花岗岩体位于扬子地块与华夏地块的交接部位,发育于两陆块的碰撞带——NNE向茶陵-郴州深大断裂带(史明魁等,1993)中,岩体受断裂控制而呈NNE方向略长的椭圆状,面积约530 km²。岩体地处湘东南矿集区的中南部,北东面紧邻著名的千里山岩体及柿竹园超大型钨多金属矿床(图1),南西面为香花岭岩体及香花岭大型锡多金属矿,西面有黄沙坪超大型铅锌矿与宝山铜矿,西北面有水口山铅锌矿,东面有瑶岗仙钨矿等。岩体周围主要出露有南华系-震旦系、寒武系、泥盆系-三叠系、侏罗系、白垩系等(图1)。其中南华系-寒武系为一套由浅变质砂岩、板岩组成的复理石沉积;泥盆系

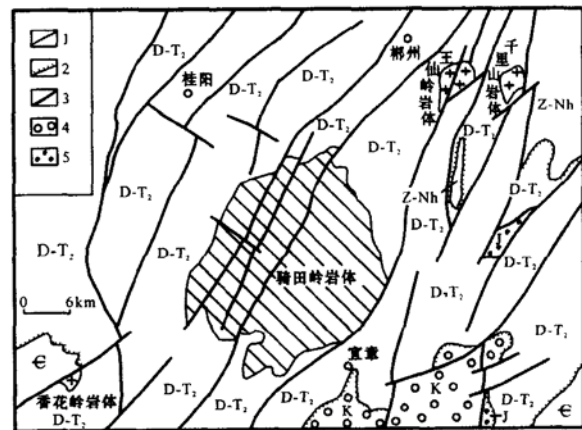


图1 骑田岭地区地质略图

Fig. 1 Geological sketch map of Qitianling area

K—白垩系; J—侏罗系; D₂—泥盆系-中三叠统; €—寒武系; Z_{Nh}—南华系-震旦系; 1—地质界线; 2—角度不整合地质界线; 3—断裂; 4—燕山晚期陆相红盆沉积; 5—燕山早期灰色山间盆地碎屑沉积

K—Cretaceous; J—Jurassic; D₂—Devonian-Middle Triassic; €—Cambrian; Z_{Nh}—Nanhuaian-Sinian; 1—geological boundary; 2—unconformity; 3—fault; 4—late Yanshanian continental red basin sediments; 5—early Yanshanian gray clastic sediments of intermountain basin

三叠系为一套浅海相的碳酸盐岩-砂页岩(含煤)组合,夹少量硅质岩;侏罗系为灰-灰绿色砂岩、页岩,少量砾岩、含砾砂岩;白垩系为以含砾砂岩为主的陆相红色盆地沉积。区域断裂构造发育,并以北东-北东东向压扭性断裂为主。茶郴深大断裂带控制了骑田岭岩体的侵位,并在岩体侵位后再次活动,从而于岩体中形成大量北东向压扭性断裂(图 1)。

在原 1:5 万区域地质调查^①和近年来前人有关工作(刘义茂等, 2002; 朱金初等, 2003; 毛景文等, 2004; 付建明等, 2004)的基础上,笔者通过 1:25 万郴州市幅区域地质调查项目的进一步综合调查与研究,对骑田岭花岗岩复式岩体重新进行了时代与单元划分^②,分别厘定为中侏罗世骑田岭序列和晚侏罗世荒唐岭序列等 2 个序列(表 1),岩石单元分布情况见图 2。其中荒唐岭序列只有 1 个单元,即回头湾单元,为细-微粒二云母正(碱)长花岗岩,出露面积极小,仅零星分布于骑田岭花岗岩复式岩体西北部 and 东南部。中侏罗世骑田岭序列组成了骑田岭复式花岗岩体的主体,经研究具有 A 型花岗岩特征,与北东面相邻的印支期王仙岭岩体(湖南省地质矿产局, 1988; 地质矿产部南岭项目花岗岩专题组, 1989)和同为燕山早期的千里山花岗岩体(毛景文等, 1995; 刘义茂等, 1997)在地质地球化学特征及形成环境方面存在一定差别。以下重点结合千里山岩体与王仙岭岩体讨论骑田岭序列花岗岩的地质地球化学特征、成因及其形成的构造背景。

据野外产状、接触关系、岩石学与岩石地球化学特征等,骑田岭序列从早到晚可划分为黄家湾、仰天湖、廖家洞、大山里、南溪和陈家单元等 6 个单元(表 1),与原 1:5 万永春幅和宜章幅区调单元^①划分的大

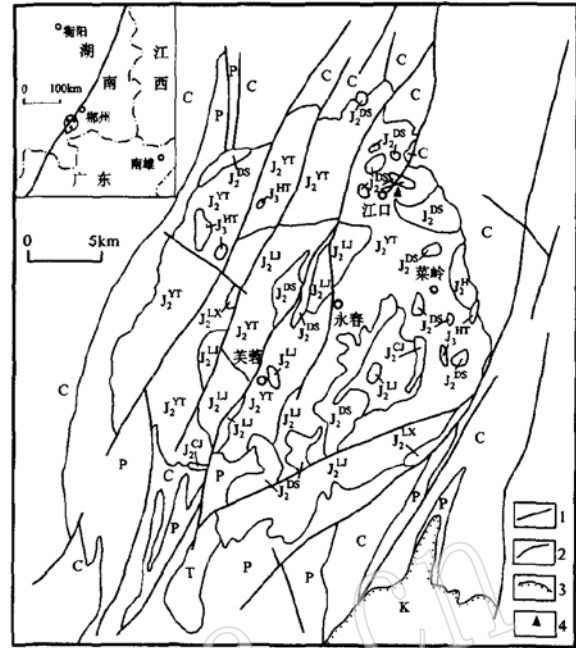


图 2 骑田岭岩体地质略图
Fig. 2 Geological sketch map showing the distribution of the Qitianling granitic body

K—白垩系; T₁—下三叠统; P—二叠系; C—石炭系; J₃^{HT}—回头湾单元; J₂^G—陈家单元; J₂^N—南溪单元; J₂^D—大山里单元; J₂^L—廖家洞单元; J₂^T—仰天湖单元; J₂^Y—黄家湾单元; 1—断裂; 2—地质界线; 3—角度不整合地质界线; 4—取样位置
K—Cretaceous; T₁—Early Triassic; P—Permian; C—Carboniferous; J₃^{HT}—Huitouwan Unit; J₂^G—Chenja Unit; J₂^N—Nanxi Unit; J₂^D—Dashanli Unit; J₂^L—Liaojadong Unit; J₂^T—Yangtianhu Unit; J₂^Y—Huangjiawan Unit; 1—fault; 2—geological boundary; 3—unconformity; 4—sampling site

致对应关系是: 现黄家湾单元对应于原枫树下单元(T₂^F)的一部分, 现仰天湖单元对应于原五里桥单元(J₃^W)、礼家洞单元(J₃^L)、樟溪水单元(T₂^Z)、部分枫

表 1 骑田岭复式岩体岩石谱系单位划分

Table 1 Dendritic divisions of Qitianling composite pluton

时代	超单元	序列	单元	代号	岩性
晚侏罗世	广南	荒唐岭	回头湾	J ₃ ^{HT} ηγ	细-微粒二云母正(碱)长花岗岩
			陈家	J ₂ ^G ηγ	细粒黑云母二长花岗岩
			南溪	J ₂ ^N ηγ	细粒斑状黑云母二长花岗岩
中侏罗世	三江口	骑田岭	大山里	J ₂ ^D ηγ	中细粒少斑状黑云母二长花岗岩
			廖家洞	J ₂ ^L ηγ	细粒少斑状角闪黑云母二长花岗岩
			仰天湖	J ₂ ^T ηγ	细中粒-粗中粒斑状角闪黑云母二长花岗岩
			黄家湾	J ₂ ^Y δ	细中粒斑状角闪黑云母花岗岩闪长岩

① 湘南地质队, 1991. 1: 50 000 区域地质调查报告(永春幅和宜章幅).

② 湖南省地质调查院, 2005. 1: 250 000 区域地质调查报告(郴州市幅、衡阳市幅).

树下单元(T_2^2F)、南溪单元(J_3N)、两塘口单元(T_2L)等多个单元,现大山里单元对应于原荒唐岭单元(J_3H),现南溪单元对应于原青山里单元(T_2^2Q),现陈家与廖家洞单元为新建立的岩石单元。

相对偏基性的早期单元(黄家湾单元—大山里单元)具有块状构造,似斑状结构,基质具细粒—粗中粒花岗岩结构。斑晶含量8%~35%,主要为微斜微纹长石,部分有石英、斜长石,大小一般为10~30 mm左右,部分可达50~60 mm。主要矿物成分为:斜长石31%~44%,微斜微纹长石20%~39%,石英21%~25%,黑云母7%~10%,角闪石0%~4%。斜长石部分见环带(2~7环左右)。石英有时与微纹长石成共结结构。副矿物有磁铁矿、锆石、磷灰石、褐帘石、榍石等。

相对偏酸性的南溪单元与陈家单元具斑状(南溪单元)或等粒(陈家单元)结构,块状构造,主要矿物成分为:斜长石30%~35%,微斜微纹长石32%~40%,石英25%~26%,黑云母5%~7%。石英有时与微纹长石成文象交生结构。副矿物有磁铁矿、锆石、磷灰石、褐帘石等。

骑田岭序列花岗岩中发育较多的暗色镁铁质微粒包体(朱金初等,2003),为石英二长闪长质,与寄主岩关系呈弥散状或截然关系,富含针状和针柱状磷灰石。微粒包体的发育暗示曾发生过壳幔作用或幔源岩浆的混合作用。

2 地球化学特征

2.1 岩石化学特征

骑田岭序列各岩石单元、王仙岭岩体和千里山岩体(平均值)主元素分析结果列于表2。

由表可见,骑田岭序列花岗岩 SiO_2 含量(平均70.82%)总体上较王仙岭岩体和千里山岩体明显偏低,各单元从早到晚 SiO_2 含量总体由低变高,变化在65.92%~75.68%之间。随着 SiO_2 含量的增加,除 Na_2O 和 K_2O 基本稳定外,其他主要氧化物 Al_2O_3 、 FeO^T 、 TiO_2 、 MgO 、 CaO 、 P_2O_5 等均呈规律减少(图3),显示同源岩浆分异演化趋势,与最近邓希光等(2005)研究结果一致。岩石富钾、富碱, K_2O 含量4.10%~5.27%,平均4.86%;全碱(ALK)含量,即 Na_2O+K_2O 为7.12~8.24%,平均7.85%,与千里山岩体相近而明显高于王仙岭岩体。 K_2O 含量普遍高于 Na_2O , K_2O/Na_2O 值为1.23~1.87,平均为1.63。 Al_2O_3 含量中等,为11.78%~14.32%,平均为13.05%,明显低于王仙岭岩体,略高于千里山岩体。 FeO^T 含量为2.51%~5.45%,平均4.05%,明显高于千里山岩体(2.23%)和王仙岭岩体(1.69%)。 CaO 含量0.61~3.01%,平均1.93%,也明显高于千里山岩体(0.92%)和王仙岭岩体(0.62%)。

表2 骑田岭序列及邻区花岗岩主量元素含量

$w_B/\%$

Table 2 Major element contents of Qitianling sequence and granitoids in neighboring areas

岩体	单元	样号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	灼失	总量	ACNK	KNA
骑田岭	陈家	C22	75.63	0.24	11.78	0.46	2.10	0.04	0.34	0.89	2.72	4.98	0.06	0.35	99.59	1.02	0.84
		C41	75.38	0.15	11.80	0.55	2.60	0.04	0.15	0.61	3.07	4.99	0.02	0.12	99.48	1.02	0.89
	南溪	C40	75.68	0.16	11.99	0.32	2.47	0.05	0.18	0.76	3.06	4.59	0.03	0.20	99.49	1.05	0.84
		C43	73.75	0.21	12.36	0.32	2.97	0.05	0.24	1.13	2.97	5.27	0.04	0.15	99.46	0.98	0.86
	大山里	C55	71.13	0.41	13.26	0.73	3.27	0.06	0.49	2.21	3.34	4.10	0.11	0.30	99.41	0.95	0.75
	廖家洞	C24	71.57	0.48	12.90	0.58	3.02	0.06	0.60	1.77	2.82	5.29	0.13	0.20	99.42	0.95	0.80
		C42	72.17	0.30	13.21	0.88	2.75	0.05	0.36	1.30	3.12	5.11	0.07	0.15	99.47	1.01	0.81
	C21	67.89	0.61	13.74	1.49	3.65	0.08	0.66	2.45	3.14	5.09	0.21	0.30	99.31	0.91	0.78	
	C23	69.49	0.59	13.03	0.82	4.08	0.07	0.86	2.31	2.93	4.80	0.18	0.15	99.31	0.92	0.77	
	仰天湖	C48_1	67.96	0.75	13.47	1.24	3.90	0.08	0.95	2.52	2.87	4.84	0.24	0.50	99.32	0.92	0.74
		C60	70.49	0.47	13.61	0.59	2.97	0.05	0.59	2.19	3.00	4.68	0.14	0.65	99.43	0.97	0.74
	C47	68.38	0.73	13.17	0.78	4.50	0.09	1.07	2.81	2.86	4.26	0.23	0.40	99.28	0.91	0.71	
	黄家湾	C48_2	66.10	0.86	14.07	1.06	4.50	0.09	1.10	2.84	2.98	5.06	0.27	0.30	99.23	0.90	0.74
		C54	65.92	0.82	14.32	1.23	3.98	0.09	1.08	3.01	3.02	4.97	0.25	0.58	99.27	0.90	0.72
千里山	10个平均		74.87	0.13	12.36	0.78	1.53	0.04	0.22	0.92	2.34	5.44	0.03	0.55	99.21	1.08	0.79
王仙岭	14个平均		73.41	0.13	14.19	0.69	1.07	0.08	0.50	0.62	2.25	4.24	0.12	1.95	99.25	1.50	0.58

注:骑田岭岩体各样品来源于本次工作,由湖北武汉综合岩矿测试中心测试,采用ICP-AES分析,除 SiO_2 采用碱溶法测定外,其他氧化物采用酸溶法测定,分析精度优于2%;千里山与王仙岭样品来源于本次工作及1:5万郴县幅区调报告;ACNK= $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$,分子比;KNA= $(K_2O+Na_2O)/Al_2O_3$,分子比。

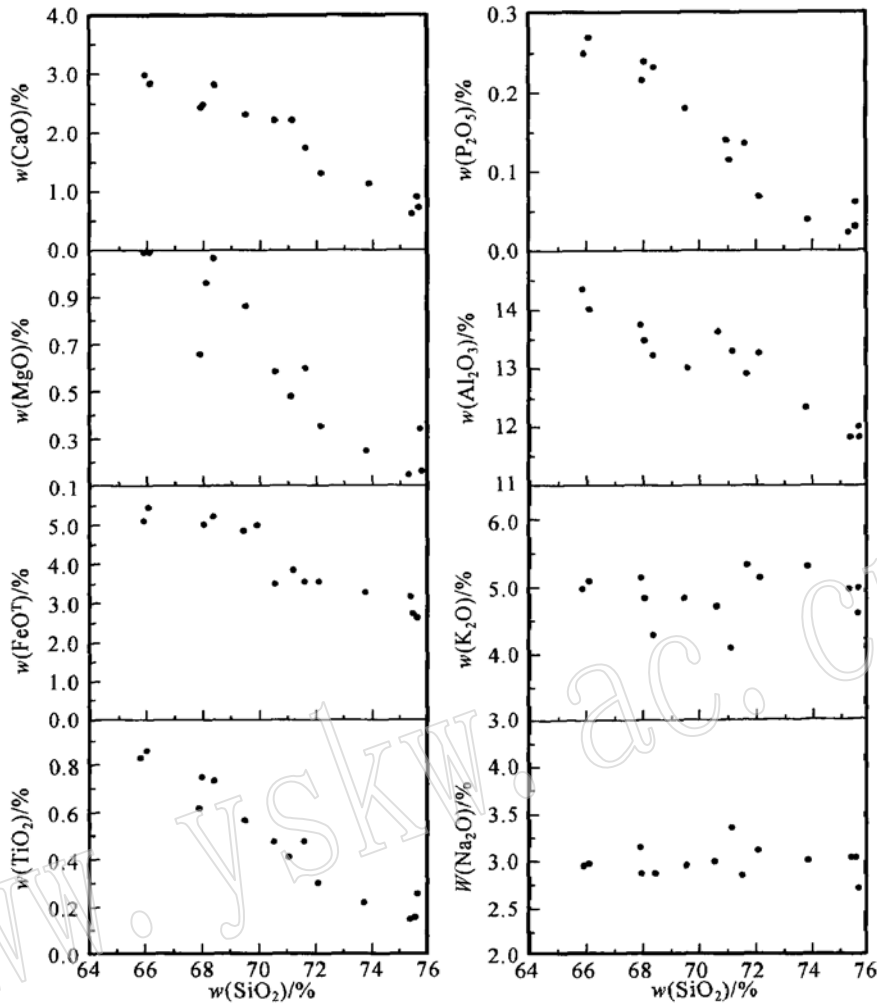


图 3 骑田岭序列花岗岩主要氧化物 Harder 图解

Fig. 3 Harder diagrams of major oxides in Qitianling sequence granite

骑田岭序列各岩石单元 ACNK 在 0.90~ 1.05 之间, 平均为 0.96, 较千里山岩体 (ACNK= 1.08, 弱过铝) 略低, 明显低于王仙岭岩体 (ACNK= 1.5, 强过铝), 为准铝质。KN/A 自早期单元至晚期单元逐渐升高, 在 0.71~ 0.89 之间, 平均为 0.78, 与千里山岩体相近 (KN/A= 0.79), 明显高于王仙岭岩体 (KN/A= 0.58), 如按碱性-偏碱性-钙碱性花岗岩划分界线 (KN/A: 碱性 > 0.90, 偏碱性 0.90~ 0.75, 钙碱性 < 0.75), 则大部分为偏碱性花岗岩, 少部分为钙碱性。在硅碱图 (图 4) 上, 骑田岭序列、千里山岩体与王仙岭岩体的成分点均在 Irvine 和 Baragar (1971) 划分的亚碱性系列中; 在 K₂O-SiO₂ 图解 (图 5) 中, 骑田岭序列与千里山岩体成分点落入钾玄岩系列与高钾钙碱性系列范围, 王仙岭岩体成分点落入高钾钙碱性系列范围。

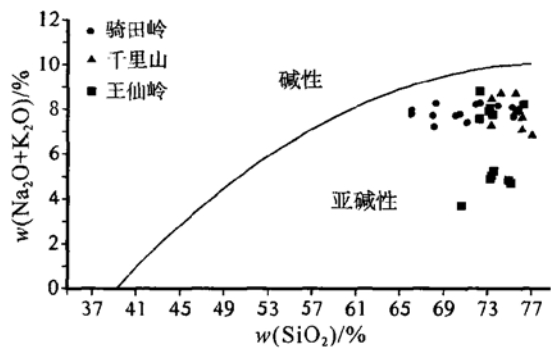


图 4 骑田岭序列花岗岩 (Na₂O+ K₂O) - SiO₂ 图解
Fig. 4 (Na₂O+ K₂O) versus SiO₂ diagram of Qitianling sequence granites

图中曲线代表 Irvine 和 Baragar (1971) 划定的碱性与亚碱性系列之间的界线 (据 Rickwood, 1989)
Curve represents the boundary between alkaline and subalkaline divided by Irvine and Baragar (1971) (after Rickwood, 1989)

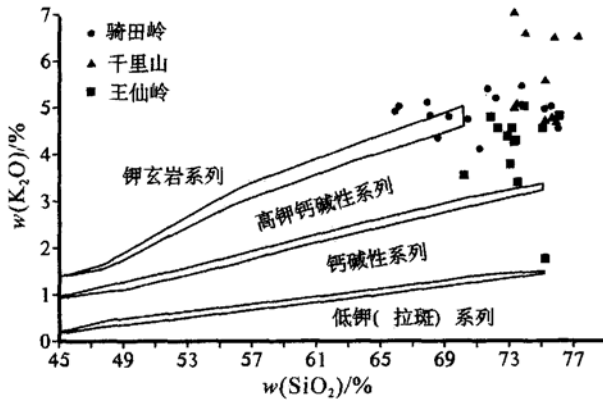


图5 骑田岭序列花岗岩 K₂O- SiO₂ 图解
 Fig. 5 K₂O versus SiO₂ diagram of Qitianling sequence granites

图中3条框线代表各岩石系列之间的(过渡)分界线(据 Rickwood, 1989)

Three casing lines represent the transitional boundary between every rock series (after Rickwood, 1989)

2.2 微量元素与稀土元素特征

骑田岭序列各岩石单元、王仙岭岩体和千里山岩体(平均值)的微量元素和稀土元素分析结果分别列于表3。稀土元素球粒陨石标准化曲线和不相容元素对原始地幔标准化分布曲线分别见图6和图7。稀土元素和微量元素地球化学主要特征如下:

(1) 骑田岭序列与千里山岩体稀土元素总量较

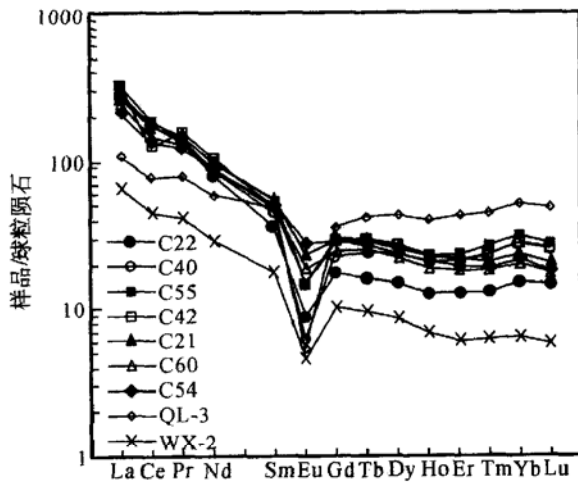


图6 骑田岭序列花岗岩稀土元素配分模式图
 Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns of Qitianling sequence granites

球粒陨石数据据赫尔曼(1971), 转引自高秉璋等(1991)
 Chondrite data from Herrman (1971), after Gao Bingzhang et al. (1991)

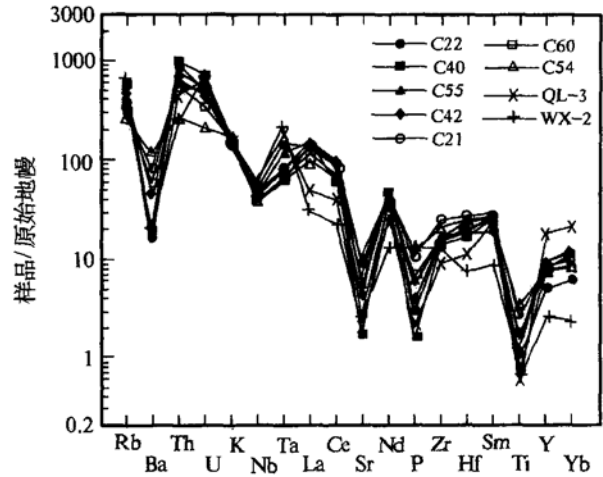


图7 骑田岭序列花岗岩原始地幔标准化蛛网图
 Fig. 7 Primitive mantle-normalized trace element spider diagram for Qitianling sequence granites
 原始地幔数据引自 Wood(1979), 转引自李昌年(1992)
 Primitive mantle data from Wood (1979), after Li Changnian (1992)

高且二者相近, 平均分别为 375.6×10^{-6} 和 379.8×10^{-6} , 王仙岭岩体稀土元素总量则很低, 平均仅 113.5×10^{-6} , 反映出该地区印支期花岗岩与燕山期花岗岩在物质来源、形成构造环境等方面存在根本差别。它们均具有较明显的负 Eu 异常, 反映出较强的分离结晶作用。

(2) 3个岩体的稀土元素配分曲线形态各不相同。王仙岭岩体呈一明显向右倾斜的平滑曲线(Eu谷除外), 轻稀土元素明显富集, 轻重稀土元素间及重稀土元素间均存在明显分馏; 骑田岭序列各样品轻稀土元素明显富集, 曲线形态基本一致, 均呈轻稀土元素明显右倾、重稀土元素基本水平的形态; 千里山岩体轻、重稀土元素分馏不明显, 配分曲线呈海鸥状, 相对于同为燕山早期的骑田岭序列, 轻稀土元素含量明显偏低, 而重稀土元素明显偏高。千里山岩体中 HREE 较同时代骑田岭序列花岗岩偏高, 可能与流体分异和氟化物的形成有关(Webb et al., 1985; Dostal and Chatterjee, 1995)。实验证明岩浆晚期富 F 流体作用促使残余熔体中 HREE 富集(Ponader and Brown, 1989), 而氟化物(如萤石)中不仅强烈富集 HREE, 还是 HREE 的主要载体(Ohlander et al., 1989a, 1989b)。千里山岩体中 F 的平均含量达 2937×10^{-6} , 而骑田岭序列花岗岩中 F 的平均含量为 1842×10^{-6} , 指示千里山岩体岩浆流体

表 3 骑田岭序列及邻区花岗岩微量元素及稀土元素组成

Table 3 Trace element and REE analyses of Qitianling sequence and granitoids in neighboring areas

样品编号	C22	C41	C40	C43	C55	C24	C42	C21	C23	C48-1	C60	C47	C48-2	C54	QL-3	WX-2	$w_B/10^{-6}$
Cs	21.9	16.8	34.5	26.7	40.9	23.6	28.9	10.9	17.5	14.1	30.0	16.8	13.0	10.8	25.5	96.1	
Rb	416.0	506.6	504.8	515.3	383.1	359.6	424.4	273.9	307.6	278.7	317.1	255.5	252.0	239.6	604.4	594	
Sr	61	19	33	54	113	124	96	200	161	168	145	146	211	232	33.3	55	
Ba	117	54	110	162	148	409	312	616	498	531	435	275	708	820	104	146.5	
Ga	17.7	20.8	22.3	19.6	19.5	16.9	20.8	20.2	22.1	16.0	18.8	16.3	18.9	17.7	19.0	27.2	
Nb	23.7	30.2	30.2	28.1	28.4	22.2	24.7	28.7	24.9	24.9	23.0	27.7	29.9	24.1	38.2	33.7	
Ta	2.7	3.9	6.0	5.2	4.6	2.5	3.2	3.5	2.3	2.1	2.8	2.9	2.7	1.7	7.1	9.4	
Zr	151	221	155	150	194	187	172	262	216	237	180	243	288	228	125.7	68.5	
Hf	6.6	8.8	5.7	6.9	7.8	6.3	6.5	9.8	7.1	8.1	7.1	8.6	9.4	8.3	4.5	2.5	
Th	87.9	132.1	93.4	75.2	74.5	61.4	63.9	52.8	48.8	48.2	52.2	30.5	33.8	27.4	49.0	17.7	
V	21.3	16.8	15.3	17.3	30.3	41.4	24.6	39.1	52.5	58.9	34.9	66.3	65.5	69.2	15.1	17.3	
Cr	2.2	15.8	12.8	10.1	17.3	8.3	29.3	17.6	18.9	16.8	12.1	17.3	16.8	8.6	10.0	15.6	
Co	3.5	3.4	3.5	4.6	6.0	6.4	4.9	7.5	7.9	9.0	6.2	9.5	8.5	9.9	4.2	3.4	
Ni	5.9	6.7	9.0	8.8	9.4	7.2	8.1	9.1	9.6	8.6	6.9	12.2	8.1	9.9	9.1	7.2	
B	40	11	41	19	18	13	16	20	13	11	43	11	20	22	17	295.5	
F	1625	2084	2491	2484	2343	1803	1965	1335	1557	1510	2169	1951	974	1509	2937	3523	
Li	43.5	41.7	117.0	132.9	110.9	105.2	93.3	30.5	60.7	53.0	78.3	72.9	50.7	55.3	77.2	390.4	
Sc	2.6	1.4	1.7	1.9	4.3	4.0	2.8	6.0	5.6	7.2	4.8	9.1	7.5	8.0	3.9	3.8	
U	12.6	28.3	19.1	17.7	14.4	10.4	12.5	13.8	10.7	7.8	9.0	8.6	7.1	5.5	20.3	18.7	
Zn	71	93	111	37	68	62	49	82	69	87	71	83	91	89	67	1.58	
La	97.20	87.24	91.08	71.54	104.97	91.74	104.6	89.40	74.37	79.04	78.95	57.37	63.64	67.83	56.8	21.6	
Ce	165.4	161.8	159.0	126.8	175.5	158.6	119.2	161.0	133.1	143.2	135.6	119.8	121.9	126.9	116.8	42.3	
Pr	16.13	17.43	16.97	13.32	17.56	16.51	18.80	17.80	14.66	16.86	15.43	15.22	14.72	14.63	13.78	4.95	
Nd	47.71	55.11	51.76	43.98	59.83	53.06	63.32	58.08	49.39	59.45	53.20	61.26	53.61	55.10	48.75	17.33	
Sm	7.29	9.48	8.92	7.76	9.78	8.72	10.42	11.24	8.67	10.99	9.38	12.80	10.19	9.90	11.42	3.49	
Eu	0.65	0.29	0.46	0.60	1.09	1.08	1.10	1.73	1.41	1.59	1.33	1.39	1.88	2.01	0.37	0.34	
Gd	5.49	7.17	7.14	6.80	8.57	6.75	8.98	9.35	7.36	9.01	7.56	11.16	8.60	8.70	11.58	3.09	
Tb	0.80	1.24	1.22	1.16	1.42	1.06	1.49	1.46	1.16	1.44	1.24	1.80	1.36	1.33	2.14	0.48	
Dy	4.53	7.37	7.31	7.20	7.95	5.68	8.52	8.22	6.50	8.02	6.85	10.89	7.77	7.62	13.24	2.67	
Ho	0.93	1.57	1.50	1.47	1.69	1.14	1.68	1.66	1.29	1.54	1.36	2.03	1.50	1.48	2.81	0.50	
Er	2.69	4.88	4.43	4.42	4.91	3.01	4.68	4.48	3.46	4.18	3.79	5.50	4.07	4.02	8.46	1.28	
Tm	0.44	0.87	0.80	0.77	0.88	0.47	0.79	0.69	0.55	0.65	0.59	0.81	0.65	0.63	1.36	0.20	
Yb	2.91	6.15	5.40	5.30	6.00	2.82	5.30	4.42	3.34	3.84	3.79	4.83	4.06	3.94	9.14	1.23	
Lu	0.46	0.95	0.80	0.81	0.86	0.41	0.83	0.65	0.48	0.55	0.54	0.73	0.59	0.57	1.39	0.18	
Y	24.60	47.48	39.11	42.76	45.34	29.60	46.35	42.28	33.91	39.24	36.29	51.00	38.14	37.02	81.67	13.83	
ΣREE	377.2	409.0	395.9	334.7	446.4	380.7	396.1	412.5	339.7	379.6	355.9	356.6	332.7	341.7	379.8	113.5	
(La/Yb) _n	19.80	8.42	10.00	8.01	10.40	19.30	11.70	12.00	13.20	12.20	12.40	7.05	9.31	10.2	3.69	10.44	
δEu	0.33	0.11	0.19	0.27	0.39	0.45	0.37	0.55	0.58	0.52	0.51	0.38	0.65	0.71	0.12	0.33	
Sr/Y	2.48	0.40	0.84	1.26	2.49	0.19	2.07	4.73	4.75	4.28	4.00	2.86	5.53	6.27	0.41	3.98	

注: 骑田岭岩体样品编号及对应单元同表 2; QL-3 为千里山岩体, WX-2 为王仙岭岩体, 分别为 3 个样品, 2 个样品的平均值; 所有样品均来自本次工作, 由湖北武汉综合岩石矿测试中心测试, 采用 PE Elan6000 型等离子体质谱测定(ICP-MS), 除稀土元素与 Nb、Ta 采用碱溶法外测定外, 其它微量元素均采用酸溶法测定, 分析精度优于 1%~3%。

更富氟或有更多的氟化物形成, 千里山岩体中 LREE 较骑田岭序列花岗岩偏低则可能是早期岩浆中褐帘石的分离结晶作用所致 (Mittlefehldt and Miller, 1983; Chesner and Ettliger, 1989)。

(3) 各岩体均出现明显的 Ba、Nb、Sr、P、Ti 负异常和 U、Th、Nd、Zr、Sm、Y 正异常, 暗示岩浆经历了较强的分异演化。

(4) 骑田岭序列花岗岩与千里山岩体微量元素配分曲线总体相近, 而王仙岭岩体相对前二者有较大差异, 具体表现在 Ta 明显偏高和 La、Ce、Nd、Hf、Sm、Y、Yb 等元素明显偏低, 反映出王仙岭岩体与骑田岭序列花岗岩和千里山岩体具有不同的物质来源与成岩构造背景。

2.3 Sr-Nd 同位素特征

本文对骑田岭序列进行了 4 个样品的 Rb-Sr 和 Sm-Nd 同位素测定, 由宜昌地质矿产研究所同位素室完成。Rb-Sr-Sm-Nd 化学分离流程均在超净化实验室中进行。Rb-Sr 同位素测定方法: 加入适量的($^{85}\text{Rb} + ^{84}\text{Sr}$) 混合稀释剂和氢氟酸及高氯酸混合酸分解样品, Rb 与 Sr 和其他杂质采用 AG50×8 阳离子交换技术分离, 同位素分析在 MAT_261 可调多接收质谱计上完成, Rb、Sr 含量采用同位素稀释质谱法测定, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位素比值由质谱直接测定。分析过程中用 NBS987 和 NBS607 标准物质对分析流程和仪

器进行了监控, NBS987 的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位素组成测定值与证书值的相对偏差小于 0.015%; NBS607 标准物质 Rb、Sr 含量及同位素比值与证书值在测定误差范围内完全一致, 与样品同时测定的全流程 Rb、Sr 空白本底分别为 0.50 ng 和 0.20 ng。

Sm-Nd 同位素分析流程如下: 称取两份已碎至 200 目的全岩样品, 一份加入 $^{145}\text{Nd} + ^{149}\text{Nd}$ 混合稀释剂, 然后用 HF-HClO₄ 将样品分解, 总稀土元素分离采用 $\Phi 6 \times 100$ mm 的 Dowex 50×8 阳离子树脂交换柱, HCl 作淋洗液, 收集含 Sm 和 Nd 的一次解析液, 用于测定 Sm、Nd 浓度。另一份在不加稀释剂的情况下利用上述方法收集含 Sm 和 Nd 的一次解析液, 并用 HDEHP 交换柱进一步分离 Nd, 收集含 Nd 部分的解析液, 用于 Nd 比值测定。将两份解析液在装有可调多接收器的德国产 MAT_261 多接收质谱计进行质谱测定, 计算机自动处理数据, 采用国际标样 NBS987 和本实验室标准 ZkbzNd 控制仪器工作状态, 国家一级标准物质 GBW04419 (Sm-Nd) 监控分析流程, Nd 的全流程本底为 0.20 ng。

Rb-Sr 和 Sm-Nd 同位素测试数据及有关参数值列于表 4。近年来有关骑田岭序列花岗岩的高精度测年结果 (刘义茂等, 2002; 朱金初等, 2003; 毛景文等, 2004; 付建明等, 2004) 及本项目新获得的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 (156.7 ± 1.7 Ma) 和黑云母

表 4 骑田岭序列花岗岩 Sr-Nd 同位素组成

Table 4 Sr and Nd isotope compositions of Qitianling sequence granites

样品号	年龄/Ma	$w(\text{Rb})/10^{-6}$	$w(\text{Sr})/10^{-6}$	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\varepsilon_{\text{Sr}}(t)$	I_{Sr}
C48_1	158	287.3	182.8	4.539	0.72270	113.6	0.71250
C21	158	276.4	225.5	3.538	0.71883	90.6	0.71088
C47	158	263.5	162.0	4.697	0.72336	117.9	0.71281
C48_2	158	241.6	236.4	2.949	0.71798	97.3	0.71136
QT26							0.70854
样品号	年龄/Ma	$w(\text{Sm})/10^{-6}$	$w(\text{Nd})/10^{-6}$	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$	t_{DM}/Ga
C48_1	158	10.89	59.48	0.1108	0.512161	-7.57	1.56
C21	158	10.92	61.04	0.1083	0.512189	-6.98	1.51
C47	158	12.30	59.15	0.1259	0.512185	-7.41	1.54
C48_2	158	9.498	50.59	0.1136	0.512197	-6.93	1.51
HN37	158	10.70	55.30	0.1170	0.512297	-5.05	1.35
QT29	158	13.98	65.83	0.1257	0.512288	-5.40	1.38
QT38	158	11.89	117.60	0.0612	0.512209	-5.64	1.40
QT36	158	11.02	89.65	0.0742	0.512211	-5.86	1.42

注: $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 、 $\varepsilon_{\text{Sr}}(t)$ 、 J_{Sr} 和 t_{DM} 的计算据陈江峰等 (1999); 计算参数为: $t = 156$ Ma, $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}} = 0.512638$, $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}} = 0.1967$, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{UR}} = 0.7045$, $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{CC}} = 0.118$, $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{DM}} = 0.2137$, $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{DM}} = 0.513151$, $\lambda_{\text{Sm}} = 6.54 \times 10^{-12} \text{a}^{-1}$, $\lambda_{\text{Rb}} = 1.42 \times 10^{-11} \text{a}^{-1}$; 参数中下角字母代表的含义: UR—铷同位素均一储库, CHUR—球粒陨石均一储库, DM—亏损地幔, CC—大陆地壳; 样品 NH37 测试数据据 Gilder 等 (1996), 样品 QT26、QT29、QT38、QT36 据朱金初等 (2003), 其他样品为本研究, 由宜昌地质矿产研究所同位素室测试。

$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 法年龄(坪年龄为 $155.1 \pm 1.8 \text{ Ma}$) (另文发表) 主要集中于 $156\sim 161 \text{ Ma}$, 据此在计算有关参数时年龄取值 158 Ma 。计算得到骑田岭序列花岗岩 I_{Sr} 值为 $0.70854\sim 0.71281$, $\epsilon_{\text{Sr}}(t)$ 值为 $97.3\sim 117.9$, $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为 $-5.05\sim -7.57$, t_{DM} 为 $1.35\sim 1.56 \text{ Ga}$ 。两阶段模式年龄值 t_{DM} 比湘桂内陆带花岗岩的背景值 $1.8\sim 2.4 \text{ Ga}$ (Pei Rongfu and Hong Dawei, 1995; Hong Dawei *et al.*, 1998) 明显偏高。目前在湘桂内陆带内获得了广西大容山花岗岩中沉积变质岩捕虏体的锆石 U-Pb 年龄 1.74 Ga 、广西贵县樟木火山熔岩中碎屑锆石 U-Pb 年龄 1.9 Ga 、湖南道县中生代玄武岩所含片麻岩包体中磨圆锆石 Pb-Pb 年龄 $1829\sim 1397 \text{ Ma}$ 、湖南新化震旦纪江口群玄武质火山角砾岩中捕获锆石 2.43 Ga 、湘西白马山花岗岩捕获锆石 2.71 Ga 等年龄数据(洪大卫等, 2002), 说明该带基底的时代主要在 $1.7\sim 2.7 \text{ Ga}$ 间, 其亦明显高于骑田岭序列花岗岩 t_{DM} 值。低 Nd 模式年龄说明骑田岭序列花岗岩在形成过程中有幔物质的明显加入。

3 岩石成因与构造环境

3.1 岩石成因

前人的研究表明千里山花岗岩体为 S 型花岗岩(毛景文等, 1995), 王仙岭岩体为强过铝花岗岩, 亦属典型的 S 型花岗岩。如前述, 骑田岭序列花岗岩的地球化学化学特征与王仙岭岩体迥然有别, 与千里山岩体也有一些差别, 暗示其成因与后两者可能不同。进一步的研究表明, 骑田岭序列花岗岩具有 A 型花岗岩的特征。

A 型花岗岩是 20 世纪 70 年代末继 I/S 型花岗岩(Chappell and White, 1974) 之后提出的一种花岗岩类型(Loiselle and Wones, 1979)。按照原定义, 化学成分上, A 型花岗岩具有富碱、低钙和铁镁比值大的特征; 微量元素上, 明显富集 REE(Eu 除外)、Zr、Nb 和 Ta 等高场强元素(HFSE), 而 Sc、Cr、Co、Ni、Ba、Sr 和 Eu 等含量较低。如前述, 骑田岭序列花岗岩总体具有上述特征。

近年来, A 型花岗岩的研究备受地质学家关注, 有关文献与成果不胜枚举。由于 I/S 型演化的长英质花岗岩($\text{SiO}_2 > 74\%$) 的某些地球化学特点与 A 型花岗岩颇为相似, 如何利用化学成分准确把它们区别开来令人关注。Whalen 等(1987) 和 Eby(1990) 根据结晶分离作用过程中主元素、大离子亲石元素

(LILE) 和高场强元素(HFSE) 的地球化学行为, 先后提出了一些判别图解, 在 A 型花岗岩类型判别研究中发挥了重要作用。

在 $\text{FeO}^{\text{T}}/\text{MgO}-\text{SiO}_2$ 图解(图 8) 中(本图及后面各图解中上堡岩体的有关说明见后面构造环境讨论), 骑田岭序列花岗岩与千里山花岗岩体的绝大部分样点均落 A 型花岗岩区, 而王仙岭岩体除个别样点外均落入 I 型与 S 型花岗岩区。10 000Ga/Al-Zr 等多组图解(图 9) 中, 骑田岭序列花岗岩和千里山花岗岩绝大部分样点落入 A 型花岗岩区, 而王仙岭岩体的 2 个样品中有 1 个落入 A 型花岗岩区, 1 个落入 I 型与 S 型花岗岩区。在 $\text{FeO}^{\text{T}}/\text{MgO}-(\text{Zr}+\text{Nb}+\text{Ce}+\text{Y})$ 和 $10\,000\text{Ga}/\text{Al}-(\text{Zr}+\text{Nb}+\text{Ce}+\text{Y})$ 两幅图解(图 10) 上, 骑田岭序列花岗岩样品点几乎全落入 A 型花岗岩区, 千里山岩体 3 个样品有 2 个落入分异的长英质 I 和 S 型花岗岩类分布区, 王仙岭岩体除 1 个样品在图 9 中落入 A 型花岗岩区外, 其他均落入分异的长英质 I 和 S 型花岗岩类分布区。

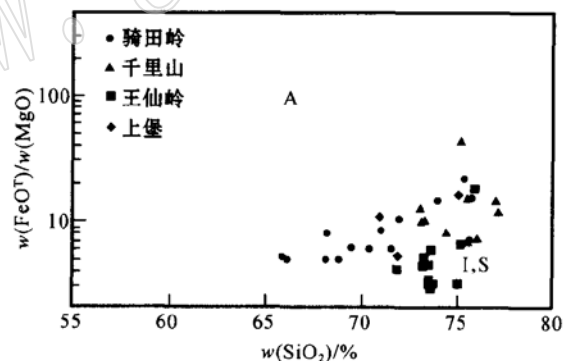


图 8 $\text{FeO}^{\text{T}}/\text{MgO}-\text{SiO}_2$ 图解(据 Eby, 1990)

Fig. 8 $\text{FeO}^{\text{T}}/\text{MgO}-\text{SiO}_2$ discrimination diagram for A_type granitoids (from Eby, 1990)

I 和 S 为 I 型和 S 型花岗岩分布区; A 为 A 型花岗岩
I and S refer to distribution of I_ and S_type
granite; A is A_type granite

据上述多种图解判别, 骑田岭序列花岗岩应为 A 型花岗岩类, 而千里山岩体与王仙岭岩体则属分异的 S 型花岗岩类。其中千里山岩体在大多数图解中显示为 A 型花岗岩, 暗示其与骑田岭岩体可能具有类似的构造环境。

顺便指出, 笔者对 1:25 万衡阳市幅和郴州市幅内(包括湘东南及湘粤赣边区)燕山早期(侏罗纪)近 20 个花岗岩体进行图解判别, 其中绝大多数岩体在图 8 和图 9 中显示为 A 型花岗岩, 但在图 10 中则落

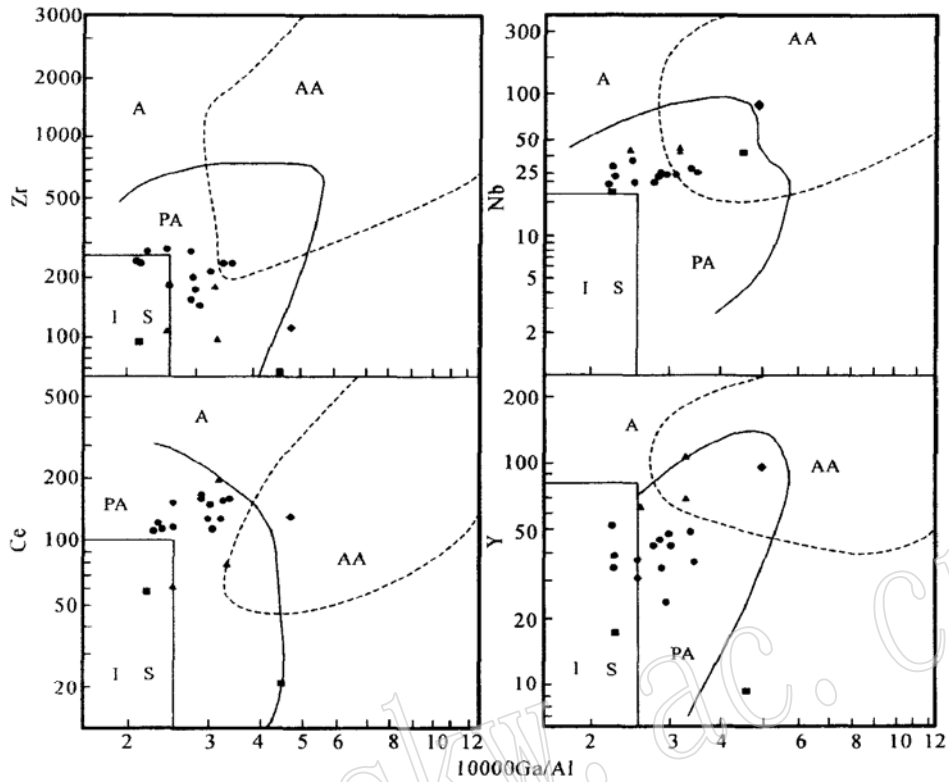


图9 10 000Ga/Al对 Zr, Nb, Ce, Y图解(据 Whalen 等, 1987; 洪大卫等, 1995)

Fig. 9 10 000Ga/Al versus Zr, Nb, Ce, Y discrimination diagram (from Whalen, 1987; Hongdawei, 1995)

AA—非造山碱性花岗岩; PA—后造山碱性花岗岩(图例同图8)

AA—Anorogenic alkaline granite; PA—Post-orogenic alkaline granite; Symbols as for Fig. 8

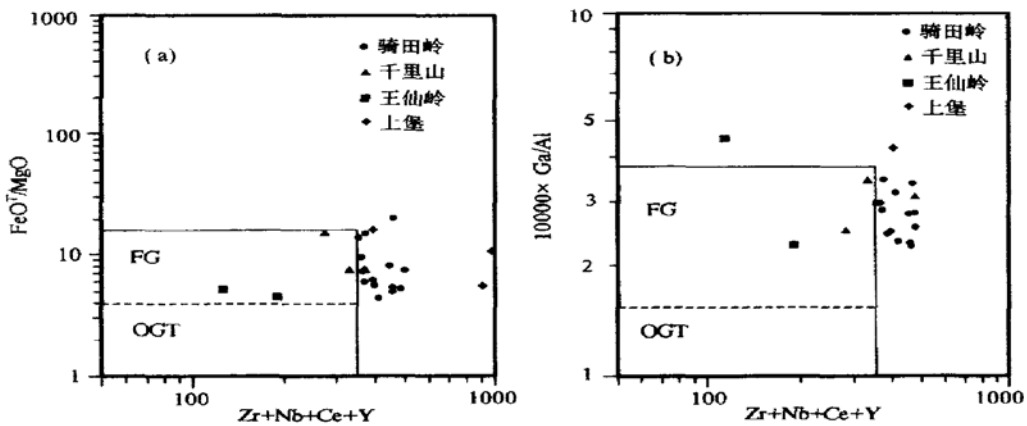


图10 $FeO^T/MgO-(Zr+ Nb+ Ce+ Y)$ (a)和 $10\ 000\ Ga/Al-(Zr+ Nb+ Ce+ Y)$ (b)图解
(据 Whalen 等, 1987; Eby, 1990)

Fig. 10 $FeO^T/MgO-(Zr+ Nb+ Ce+ Y)$ (a) and $10\ 000\ Ga/Al-(Zr+ Nb+ Ce+ Y)$ (b) discrimination diagrams
(from Whalen *et al.*, 1987; Eby, 1990)

OGT—I, S和M型花岗岩分布区; FG—分异的长英质I和S型花岗岩类分布区

OGT—distribution of L, S and M type granitoids; FG—distribution of fractionated L and S type granitoids

入分异的长英质 I 和 S 型花岗岩类分布区, 只有骑田岭序列经多种图解综合判别均显示为 A 型花岗岩, 这可能与骑田岭岩体正好处于茶陵-郴州深大断裂带中, 物质来源深度更大有关。以骑田岭序列花岗岩与千里山花岗岩体为例, 前者 Sr/Y 值平均为 3.30, 而后者 Sr/Y 平均值仅为 0.41, 暗示前者岩浆房深度可能更大(马昌前等, 2003)。

3.2 构造环境分析

骑田岭岩体侵位于茶-郴深大断裂中, 岩体中除局部见岩浆自身热膨胀作用形成的不明显流面或流线构造外, 岩石总体具块状构造, 且未见同侵位挤压剪切构造形迹, 显示出岩体沿张性断裂充填的就位机制。

骑田岭序列花岗岩 I_{Sr} 值为 0.708 54 ~ 0.712 81, 介于 0.706 ~ 0.719 之间, 说明其岩浆来源主要为壳源, 但受到幔源物质的混染(White and Chappell, 1983)。如前述, Nd 同位素特征及微细粒暗色包体的发育等也表明岩浆形成过程中有明显的地幔物质加入。地幔物质的加入暗示有张性断裂作为输运通道。近年来的研究工作表明, 该地区与骑田岭序列花岗岩同时代的千里山花岗岩体主体(152 ~ 163 Ma)(毛景文等, 1995; 刘义茂等, 1997)和宝山与水口山中生代花岗闪长质小岩体(172 ~ 173 Ma)(王岳军等, 2001a)的形成也与中生代早期岩石圈的伸

展-减薄作用相关(赵振华等, 2000; 王岳军等, 2001b)。

A 型花岗岩是 Loiselle 和 Wones(1979) 根据某些花岗岩贫水(Anhydrous)、富碱(Alkaline) 并受控于非造山(Anorogenic) 环境的地质地球化学特征提出的花岗岩概念。随着研究工作的深入, 现在 A 型花岗岩的概念已经有了新的含义, 它不仅可以在非造山的板内环境以及具有碱性特点, 而且可能形成于造山期后的造山带环境, 并可具有相对含水的准铝质甚至过铝质的特点。但它们都受控于拉张环境, 这是所有 A 型花岗岩产生的共同机制(Collins *et al.*, 1982; Eby, 1992; 洪大卫等, 1995; Shannon *et al.*, 1997)。因此, 尽管骑田岭序列花岗岩由于 Na_2O 含量较低而造成碱总含量偏低($KN/A = 0.71 \sim 0.89$), 但其 K_2O 含量较高(4.1% ~ 5.27%), 其他地球化学特征与典型 A 型花岗岩相似, 其应当形成于伸展构造环境。

综合上述分析, 骑田岭序列花岗岩形成于拉张构造环境当无疑义, 但具体为后造山拉张环境还是裂谷拉张环境, 还需做进一步的判别。在 Maniar 和 Piccoli(1989) 提出的多组主元素构造环境判别图解中, 骑田岭序列花岗岩较清楚显示为后造山花岗岩类(POG)(图 11), 而不是裂谷花岗岩。以 Pearce 等(1984) 微量元素构造环境判别图解进行判别, 在图 12a 中骑田岭序列花岗岩与千里山岩体样点位于同

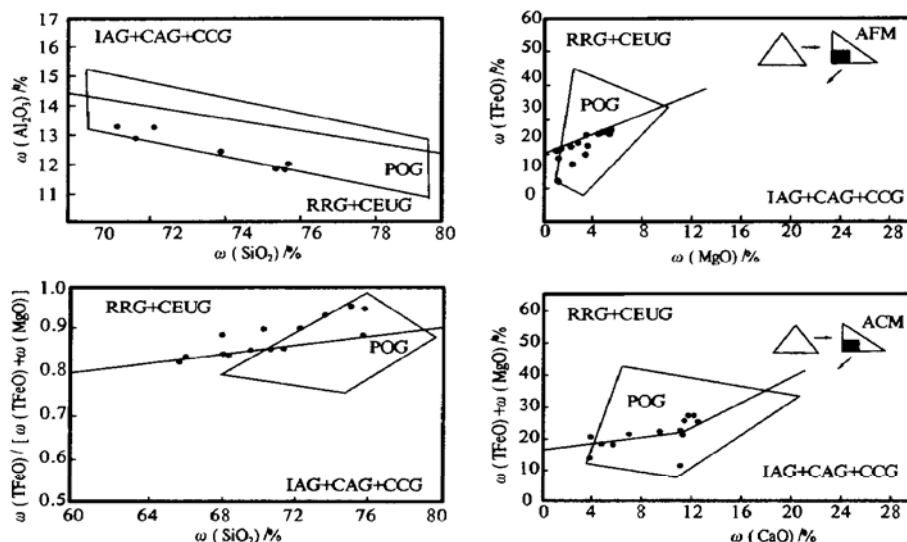


图 11 骑田岭序列花岗岩形成的构造环境判别图(据 Maniar 等, 1989)

Fig. 11 Diagrams for discrimination of the structural environment of granites (from Maniar *et al.*, 1989)

IAG—岛弧花岗岩; RRG—与裂谷有关的花岗岩; CAG—大陆弧花岗岩; CEUG—大陆的造陆抬升花岗岩类;
CCG—大陆碰撞花岗岩类; POG—后造山花岗岩类

IAG—*island_arc granite*; RRG—*granite related to rift*; CAG—*continent_arc granite*; CEUG—*continent emergence_uplift granite*;
CCG—*continent_collision granite*; POG—*post_orogenic granite*

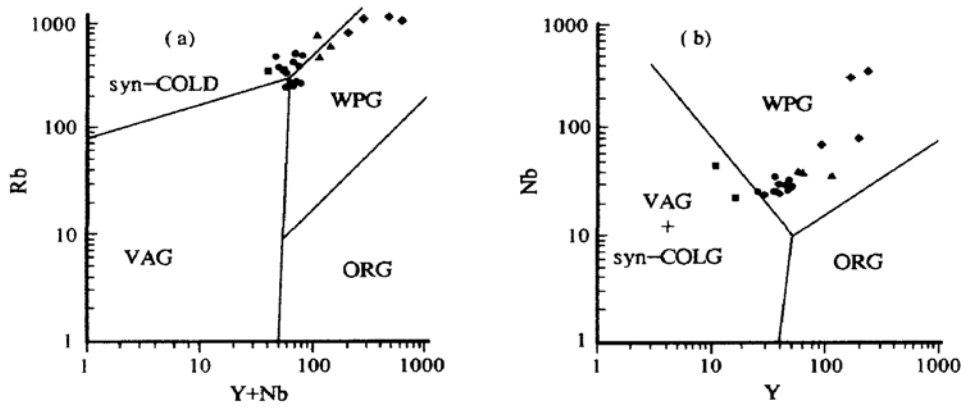


图 12 花岗岩 Rb - Y + Nb、Nb - Y 判别图(据 Pearce 等, 1984)

Fig. 12 Rb - Y + Nb and Nb - Y discrimination diagrams for granites (from Pearce *et al.*, 1984)

VAG - 火山弧花岗岩; WPG - 板内花岗岩; S_COLG - 同碰撞花岗岩; ORG - 洋中脊花岗岩

VAG - volcanic arc granite; WPG - intraplate granite; S_COLG - syncollision granite; ORG - ocean ridge granite

碰撞与板内环境分界区, 在图 12b 中则均落入板内区, 暗示燕山早期花岗岩为碰撞到板内转换环境, 与上述后造山结论一致。印支期王仙岭岩体在图 12 中显示为同碰撞环境。

位于郴州市北面永兴一带的上堡岩体是湘东南地区惟一的白垩纪花岗岩体(不包括白垩纪岩脉), 岩性为二长花岗岩, 经研究亦具有 A 型花岗岩特征(图 8~图 10), 且在图 12 和图 13 中均显示为板内

非造山或裂谷环境。

综上所述, 骑田岭及其周边地区不同时代花岗岩体的构造环境反映出一个完整的造山演化过程, 即印支期的碰撞造山 → 燕山早期的后造山 → 燕山晚期的非造山(裂谷)地质构造发展历程。中侏罗世末期的骑田岭序列花岗岩形成于后造山拉张构造环境。

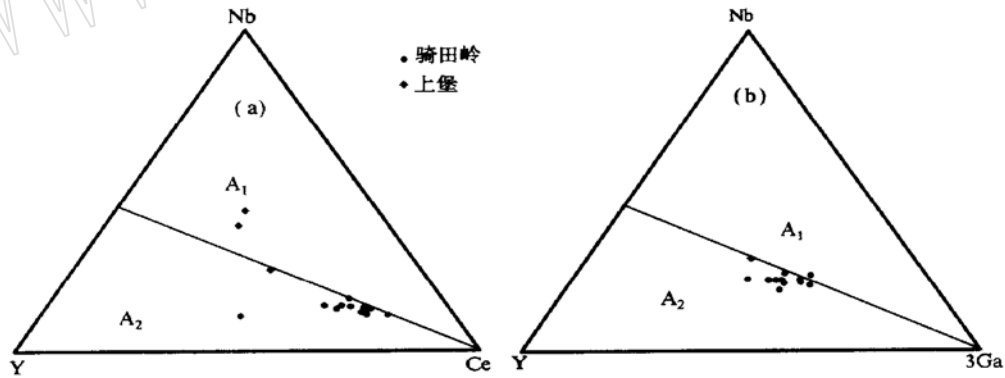


图 13 A1、A2 型花岗岩类判别图解(据 Eby, 1992)

Fig. 13 Element discrimination diagrams for A1 and A2 type granitoids (after Eby, 1992)

4 讨论

对于华南燕山早期构造岩浆活动带形成的构造背景与构造属性问题, 历来存在不同的观点。长期以来, 大多数研究者认为晚中生代时华南地区在晚白垩世之前的地球动力学背景是与 Kula 或 Izanagi

板块的俯冲作用有关的安第斯型大陆边缘(Jahn, 1974; Hide, 1977; 郭令智等, 1983; 王鸿祯等, 1983; 黄萱等, 1986; Jahn *et al.*, 1990; Charvet *et al.*, 1994; Lan *et al.*, 1996; Lapierrre *et al.*, 1997), 华南地区岩石圈直到晚白垩世俯冲作用终止时才开始伸展(俞云文等, 1993), 因此提出我国东南大陆中生代时最早的裂解作用发生在约距今 120~140 Ma 的燕

山晚期(李献华, 1993; Li, 2000)。鉴于江西赣江一线的“火山岩线”代表了华南地区受太平洋板块影响的西界(王德滋等, 2003), 已有研究表明 180 Ma 以来湘东南或华南地区已属陆内构造阶段无疑, 且当时该区古地理、古生物及花岗岩分布等证据也不支持湘东南在燕山早期存在洋-陆或弧-陆俯冲碰撞作用的假设(张宁等, 1998; 陈旭等, 1995)等, 因此湘东南地区及华南地区燕山早期显然不宜具有与太平洋板块向欧亚板块俯冲有关的岛弧或弧后背景(王岳军等, 2001b)。

近年来的大量研究(陈培荣等, 1998, 1999a, 1999b, 2004; 赵振华等, 1998, 2000; 李献华等, 1999, 2000, 2001; 包志伟等, 2000; 孔兴功等, 2000; 王岳军等, 2001a, 2001b, 2004; 范春方等, 2001; 王强等, 2002; 陈志刚等, 2003; 邱瑞照等, 2003; 朱金初等, 2003)表明, 华南地区在燕山早期即侏罗纪时岩石圈便发生了伸展作用, 且一般认为其深层机制与岩石圈拆沉、地幔上涌、壳幔作用等有关, 即直接受制于陆内造山期后的地球动力学过程。鉴于这一认识, 一般认为南岭地区燕山早期的大规模成矿作用与壳幔作用或深部幔源物质的参与有关(邓晋福等, 1999a, 1999b; 华仁民等, 1999; 谢桂青等, 2001; 赵军红等, 2001; 毛景文等, 2004a, 2004b)。上述成果已基本明确了包括湘东南地区在内的华南地区燕山早期大地构造背景应为陆内或板内拉张环境, 但在具体确定“陆内后造山”(陈培荣等, 1998, 2002)还是“陆内裂谷”(陈志刚等, 2003; 陈培荣等, 2004)尚有疑问。笔者经对湘东南地区中生代构造-岩浆作用的研究及对有关区域资料的了解, 认为燕山早期湘东南及华南地区应为后造山环境。

首先, 南岭地区分布面积大、发育极为广泛的燕山早期花岗岩类主要为(高钾)钙碱性岩类(张敏等, 2003), 这种花岗岩常作为同碰撞岩石圈加厚之后伸展垮塌、向非造山板内活动过渡时期的岩浆作用产物出现(Liegeois *et al.*, 1998), 而板内裂谷环境中则以发育数量很少的正长岩、二长岩等为主。湘东南及湘粤赣边区大面积分布的花岗岩中侏罗纪岩体占大部分, 近来笔者在进行 1:25 万郴州市幅和衡阳市幅区域地质调查时对它们全部进行了仔细的环境判别, 发现近 20 个侏罗纪侵入岩体在 Maniar 和 Piccoli(1989)提出的多组主元素构造环境判别图

解中, 以及 Pearce 等(1984)的微量元素构造环境判别图解中, 几乎全部明确显示为“后造山”环境而非“大陆裂谷”环境^①, 与蔡明海等(2004)对桂西北丹池成矿带花岗岩的研究结论相一致。尽管赣南全南、塔背等地的正长岩(陈志刚等, 2003; 陈培荣等, 2004)及局部的双峰式火山岩(陈培荣等, 1999a, 1999b)的发育等, 在一定程度上显示出裂谷环境特征, 但这毕竟不是华南地区燕山早期岩浆活动表现的主流, 将其作为局部强拉张作用的产物可能更为合适。

其次, 从华南地区自印支期至燕山晚期地质构造发展的时代框架来看, 将燕山早期构造环境厘定为后造山更符合造山带构造演化过程的客观规律。已有研究表明, 湘赣桂地区在中三叠世遭受了强烈的陆内挤压造山或陆内碰撞汇聚造山作用, 强烈的褶皱及逆冲推覆造成陆壳的增厚(庄锦良等, 1988), 并因此形成印支期花岗岩浆(王岳军等, 2002)。燕山晚期(白垩纪)华南地区构造体制发生了根本性的改变, 大量红色断陷盆地的发育及玄武岩、流纹岩的喷发等, 真正反映出陆内裂谷环境特征。燕山早期的侏罗纪, 时代上处于印支期碰撞造山阶段与燕山晚期白垩纪陆内裂谷阶段之间, 从造山带正常构造演化序列来看具后造山环境的可能性应大大高于裂谷环境。前述骑田岭及其周边地区自印支期至燕山晚期不同时代不同构造环境花岗岩体所反映的造山演化过程, 是对这一论断的有力证明。顺便指出, 部分研究者(陈志刚等, 2003)以华南不存在印支期的陆-陆碰撞造山带和(或)蛇绿混杂岩带为由而认为华南燕山早期“造山后”无从谈起, 而笔者以为, 湘东南及华南地区印支运动作为一种陆内后继造山(邓晋福等, 1999a, 1999b)已是不争事实, 其构造性质与经典的陆-陆碰撞造山的后碰撞环境(主要表现为陆内的剪切与推覆)无本质区别。陆-陆碰撞造山之后通常是后造山构造环境, 同样, 湘东南及华南地区燕山期紧随印支期陆内后继造山后形成后造山环境也是情理之中。

5 结 论

(1) 中侏罗世骑田岭序列花岗岩高钾、富碱, 属钾玄岩系列与高钾钙碱性系列准铝质-弱过铝质花

① 湖南省地质调查院. 1:250 000 区域地质调查报告(郴州市幅, 衡阳市幅), 2005.

岗岩类。地质地球化学特征明显反映出有幔源物质加入,经多种图解判别均显示为A型花岗岩。

(2)多种氧化物与微量元素构造环境判别图解分析结果表明,骑田岭序列形成于后造山拉张构造环境。根据湘东南及华南地区中生代构造-岩浆演化过程的总体特征,认为该地区燕山早期构造环境为后造山,而不是陆内裂谷。

致谢:工作中得到邓晋福研究员和肖庆辉研究员的热情指导,在此深表谢意!

Reference

- Bao Zhiwei, Zhao Zhenhua and Xiong Xiaolin. 2000. Geochemistry of Ejiniao alkali syenite and its geodynamic significance[J]. *Geochimica*, 29(5): 462~ 468 (in Chinese with English abstract).
- Bonin B. 1990. From orogenic to anorogenic setting: Evolution of granitoid suites after a major orogenesis[J]. *Geol. J.*, 25: 261~ 270.
- Cai Jinhui, Mao Xiaodong, Cai Minghai, *et al.* 2002. Geological characteristics of Bailashui tin deposit in Qitianling orefield, southern Hunan Province[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 10(2): 55~ 59 (in Chinese with English abstract).
- Cai Jinhui, Wei Changshan and Sun Minghui. 2004. A discussion on the ore-forming age of the Bailashui tin deposit in Qitianling, Hunan[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 25(2): 235~ 238 (in Chinese with English abstract).
- Cai Minghai, Liang Ting, Wu Decheng, *et al.* 2004. Geochemical characteristics of granites and its structural genetic environment in the Nandan - Hechi metallogenic belt, northwest Guangxi[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 28(3): 306~ 313 (in Chinese with English abstract).
- Charvet J, Lapiere H and Yu Y W. 1994. Geodynamic significance of the Mesozoic volcanism of southeastern China[J]. *Journal of South-east Asian Earth Sciences*, 9: 387~ 396.
- 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).
- Chen Peirong, Hua Renmin, Zhang Bangtong, *et al.* 2002. Early Yanshanian post-orogenic granitoids in the Nanling region: Petrological constraints on and geodynamic settings[J]. *Sci China(D)*, 45(8): 755~ 768 (in Chinese with English abstract).
- Chen Peirong, Kong Xinggong, Ni Qisheng, *et al.* 1999. Ascertainment and implication of the early Yanshanian bimodal volcanic associations from south Jiangxi Province[J]. *Geological Review*, 45 (suppl): 734~ 741 (in Chinese with English abstract).
- Chen Peirong, Kong Xinggong, Wang Yinxi, *et al.* 1999. Rb/Sr isotopic dating and significance of early Yanshanian bimodal volcanic - intrusive complex from south Jiangxi Province[J]. *Geological Journal of China universities*, 5(4): 378~ 383 (in Chinese with English abstract).
- Chen Peirong, Zhang Bangtong, Kong Xinggong, *et al.* 1998. Geochemical characteristics and tectonic implication of Zhaibei A-type Granitic intrusives in south Jiangxi Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 14(3): 289~ 298 (in Chinese with English abstract).
- Chen Xu, Xu Jiayu, Rowley D B, *et al.* 1995. Is the early Paleozoic Banxiocean in South China necessary[J]? *Geological Review*, 41(5): 389~ 398 (in Chinese with English abstract).
- Chen Zhigang, Li Xianhua, Li Wuxian, *et al.* 2003. SHRIMP U-Pb zircon age of the Quannan syenite, southern Jiangxi: Constraints on the early Yanshanian tectonic setting of SE China[J]. *Geochimica*, 32(3): 223~ 229 (in Chinese with English abstract).
- Chappell B W and White A J R. 1974. Two contrasting granite type[J]. *Pacific Geol.* 8: 173~ 174.
- Chesner C A and Ettlinger A D. 1989. Composition of volcanic allanite from the Toba Tuffs, Sumatra, Indonesia[J]. *Am. Mineral.*, 74: 750~ 758.
- Collins W J, Beams S D, White A J R, *et al.* 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 80: 189~ 200.
- Deng Jinfu, Mo Xuanxue, Luo Zhaohua, *et al.* 1999. Igneous petro-tectonic assemblage and crust - mantle metallogenic system[J]. *Earth Science Frontiers*, 6(2): 259~ 270 (in Chinese with English abstract).
- Deng Jinfu, Mo Xuanxue, Zhao Hailing, *et al.* 1999. The Yanshanian lithosphere - asthenosphere catastrophe and metallogenic environment in east China[J]. *Mineral Deposits*, 18(4): 309~ 314 (in Chinese with English abstract).
- Deng Songhua, Xu Huichang, Liu Yangsheng, *et al.* 2003. Relationship between tectonic setting and mineral assemblages in Qianlishan - Qitianling mineralized concentration area[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, (4): 51~ 55 (in Chinese with English abstract).
- Deng Xiguang, Li Xianhua, Liu Yimao, *et al.* 2005. Geochemical characteristics of Qitianling granites and their implications for mineralization[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 24(2): 93~ 102 (in Chinese with English abstract).
- Dostal 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.
- Eby G N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenesis and tectonic implications[J]. *Geology*, 20: 641~ 644.
- Eby G N. 1990. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis[J]. *Lithos*, 26: 115~ 134.
- Fan Chunfang and Chen Peirong. 2001. Geochemical characteristics and tectonic implication of Beitou A-type granitic intrusive in south Jiangxi Province[J]. *Geochimica*, 29(4): 358~ 366 (in Chinese with English abstract).
- Fu Jianming, Ma Changqian, Xie Caifu, *et al.* 2004. Zircon SHRIMP

- dating of the Cailing granite on the eastern margin of the Qitianling granite, Hunan, south China, and its significance[J]. *Geology in China*, 31(1): 96~ 100 (in Chinese with English abstract).
- Gao Bingzhang, Hong Dawei, Zheng Jijian, *et al.* 1991. A Guide to the Method of the 1: 50000 Regional Geological Survey in Igneous Granite areas[M]. Beijing: China University of Geosciences Press, 33(in Chinese).
- Gilder S A, Gill J, Coe R S, *et al.* 1996. Isotopic and paleomagnetic constraints on the Mesozoic tectonic evolution of south China[J]. *Journal of Geophysical Research*, 101: 16 137~ 16 154.
- Granitoid Research Group of Nanling Project. 1989. Geology of Granitoids of Nanling Range and Their Petrogenesis and Mineralization [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Guo Lingzhi, Shi Yangshen and Ma Ruishi. 1983. The formation and evolution of the West_Pacific Mesozoic active continental margin and island arc[J]. *Acta Geologica sinica*, (1): 11~ 21 (in Chinese).
- Hide D. 1977. the evolution of Western Pacific plate and its margin[J]. *Tectonophysics*, 38: 115~ 165.
- Hong Dawei, Wang Shiguang, Han Baofu, *et al.* 1995. Discrimination marks for tectonic setting of alkaline granites[J]. *China Sciences*, 25 (4): 418~ 426 (in Chinese).
- Hong Dawei, Xie Xilin and Zhang Jisheng. 1998. Isotope geochemistry of granitoids in South China and their metallogeny[J]. *Res. Geol.*, 48: 251~ 263.
- Hong Dawei, Xie Xilin and Zhang Jisheng. 2002. Geological significance of the Hangzhou Zhuguangshan Huashan high_εNd granite belt[J]. *Geological Bulletin of China*, 21(6): 348~ 354 (in Chinese with English abstract).
- Hua Renmin and Mao Jingwen. 1999. A preliminary discussion on the Mesozoic metallogenic explosion in East China[J]. *Mineral Deposits*, 18(4): 300~ 308 (in Chinese with English abstract).
- Huang Gefei, Gong Shuqing, Jiang Xiwai, *et al.* 2003. Exploration on the ore-forming regularities of tin deposits in Qitianling area, Southern Hunan[J]. *Geological Bulletin of China*, 22(6): 245~ 251(in Chinese with English abstract).
- Huang Xuan, Sun Shihua, Depaolo D J, *et al.* 1986. Nd_Sr isotope study of Cretaceous magmatic rocks from Fujian Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2(2): 50~ 63 (in Chinese with English abstract).
- Hunan Bureau of Geology and Mineral Resources. 1988. Regional Geology of Hunan Province[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Irvine T N and Baragar W R A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks[J]. *Can. J. Earth Sci.*, 8: 523~ 548.
- Jahn B M, Zhou X H and Li J L. 1990. Formation and tectonic evolution of southeastern China and Taiwan: Isotopic and geochemical constraints[J]. *Tectonophysics*, 183: 145~ 160.
- Jahn B M. 1974. Mesozoic thermal events in Southeast China[J]. *Nature*, 248: 480~ 483.
- Kong Xinggong, Chen Peirong and Zhang Bangtong. 2000. Confirmation of A_type volcanics in Baimianshi and Dongdeng Basin, South Jiangxi Province and their geological implication[J]. *Geochimica*, 29 (6): 521~ 524 (in Chinese with English abstract).
- Lan C Y, Jahn B M, Mertzman S A, *et al.* 1996. Subduction-related granitic rocks of Taiwan[J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 14: 11~ 28.
- Lapierrere H, Jahn B M, Charvet J, *et al.* 1997. Mesozoic felsic arc magmatism and continental olivine tholeiites in Zhejiang Province and their relationship with the tectonic activity in southeastern China[J]. *Tectonophysics*, 274: 321~ 338.
- Li Changnian. 1992. Trace Element Lithology of Magmatic Rock[M]. Wuhan: China University of Geoscience Press, 179 (in Chinese).
- Li Xianhua. 1993. The chronology framework and isotope system constraint on the crustal growing and tectonic evolution in Southern China[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, (3): 113~ 115 (in Chinese with English abstract).
- Li X H. 2000. Cretaceous magmatism and lithospheric extension in Southeast China[J]. *Journal of Asian earth Sciences*, 18: 293~ 305.
- Li Xianhua, Zhou Hanwen, Liu Ying, *et al.* 1999. Shoshonitic intrusive suite in SE Guangxi: petrology and geochronology[J]. *Chinese Science Bulletin*, 44(18): 1992~ 1998 (in Chinese with English abstract).
- Li Xianhua, Zhou Hanwen, Liu Ying, *et al.* 2000. Mesozoic shoshonitic intrusives in the Yangchun Basin, western Guangdong, and their tectonic significance: I. Petrology and isotope geochronology [J]. *Geochimica*, 29(6): 513~ 520 (in Chinese with English abstract).
- Li Xianhua, Zhou Hanwen, Liu Ying, *et al.* 2001. Mesozoic shoshonitic intrusives in the Yangchun Basin, western Guangdong, and their tectonic significance: II. Trace elements and Sr_Nd isotopes [J]. *Geochimica*, 30(1): 57~ 65 (in Chinese with English abstract).
- Liegeois J P, Navez J, Hertogen J, *et al.* 1998. Contrasting origin of post-collisional high_alkaline and shoshonitic versus alkaline and per-alkaline granitoids. The use of sliding normalization[J]. *Lithos*, 45 (com): 1~ 28.
- Liu Yimao, Dai Tongmo, Lu Huanzhang, *et al.* 1997. Isotopic date of ⁴⁰Ar-³⁹Ar and Sm_Nd for diagenesis-metallogenesis of the Qianlishan granite[J]. *Science in China(Series D)*, 27(5): 425~ 430 (in Chinese).
- Loiselle M C and Wones D R. 1979. Characteristics and origin of anorogenic granites[J]. *Geol. Soc. Am. Abstr. Programs*, 11: 468.
- Luo Yun and Cai Jinhui. 2004. The rock-forming and ore-forming age of the Furong orefield, Hunan Province[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 25(2): 239~ 242(in Chinese with English abstract).
- Maniar P D and Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids [J]. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 101: 635~ 643.
- Mao Jingwen, Li Hongyan and Pei Rongfu. 1995. Nd_Sr isotopic and petrogenetic studies of the Qianlishan granite stock, Hunan Province. *Mineral Deposits*, 14(3): 235~ 242 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Li Xiaomeng, Bernd Lehmann, *et al.* 2004. ⁴⁰Ar-³⁹Ar dating of tin ores and Related granite in Furong tin orefield, Hunan

- Province, and its geodynamic significance[J]. *Mineral Deposits*, 23(2): 164~174 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jinwen, Xie Guiqing, Li Xiaofeng, *et al.* 2004. Mesozoic large-scale mineralization and multiple lithospheric extension in South China[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 45~54 (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]. *Geochem. Cosmochim. Acta*, 47: 109~124.
- Ohlander b, Billstrom K and Halenius E. 1989a. Behaviour of rareearth elements in highly evolved granitic system: Evidence from Proterozoic molybdenite mineralized aplites and associated granites in northern Sweden[J]. *Lithos*, 23: 267~280.
- Ohlander b, Billstrom K and Halenius E. 1989b. Geochemistry of the proterozoic wolframite-bearing greisen veins and the associated granite at Rostberget, northern Sweden[J]. *Chem. Geol.*, 78: 135~150.
- Pearce J A, Harris N B W and Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *J Petrol*, 25(4): 956~983.
- Pei Rongfu and Hong Dawei. 1995. The granites of south China and their etalogeny[J]. *Episodes*, 18: 77~82.
- Ponader C W and Brown G E. 1989. Rare earth elements in silicate glass/melt systems, II. Interactions of La, Gd and Yb with halogens [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53: 2905~2914.
- Qiu Ruizhao, Deng Jinfu, Cai Zhiyong, *et al.* 2003. Nd isotopic characteristics and genesis of Xianghualing 430 granitic body, Hunan Province[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 22(1): 41~46 (in Chinese with English abstract).
- Rickwood P C. 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements[J]. *Lithos*, 22: 247~263.
- Shannon W M, Barnes C G and Bickford M E. 1997. Grenville magmatism in west Texas: Petrology and geochemistry of the Red Bluff granitic suite[J]. *J Petrol*, 38(10): 1279~1305.
- 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 Jiangxi[M]. Beijing: Geological Publishing House, 3~18 (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): 50~56 (in Chinese with English abstract).
- Wang Dezi and Shen Weizhou. 2003. Genesis of granitoids and crustal evolution in southeast China[J]. *Earth Science Frontiers*, 10(3): 209~220 (in Chinese with English abstract).
- Wang Hongzhen, Yang Sennan and Li Sitian. 1983. The basins and tectonic evolution of the cotinental magin in East China and its surrounding areas from Mesozoic to cenozoic[J]. *Acta Geologica sinica*, (3): 213~223 (in Chinese).
- Wang Qiang, Zhao Zhenhua, Xiong Xiaolin, *et al.* 2002. Ascertainment of the Shaoxing-Enping alkali-rich intrusive rock zone and preliminary discussion on its geodynamic implications[J]. *Geochimica*, 31(5): 433~442 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yuejun, Fan Weiming, Guo Feng, *et al.* 2001a. 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).
- Wang Yuejun, Fan Weiming, Guo Feng, *et al.* 2001b. 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, Liao Chaolin, Fan Weiming, *et al.* 2004. Early Mesozoic OIB-type alkaline basalt in central Jiangxi Province and its tectonic implications [J]. *Geochimica*, 33(2): 109~117 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yuejun, Zhang Y H, Fan Weiming, *et al.* 2002. Numerical modeling of the formation of Indo-Sinian peraluminous granitoids in Hunan Province: Basaltic underplating versus tectonic thickening [J]. *Science in China (Series D)*, 45(11): 1042~1056.
- Webb P C, Tindle A G, Barritt S D, *et al.* 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, Hydrothermal 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).
- Whalen J B, Currie K L and Chappell B W. 1987. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 95: 407~419.
- White A J R and Chappell B W. 1983. Granitoid types and their distribution in the Lacklan foldbelt, southeast Australia[A]. *Roddick Circum Pacific Plutonic Terranes[C]*. *Mem. Geol. Soc. Am.*, 159: 21~34.
- Xie Guiqing, Hu Ruizhong, Zhao Junhong, *et al.* 2001. Mantle plume and the relationship between it and Mesozoic large-scale metallogenesis in southeastern China: A preliminary discussion[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 25(2): 179~186 (in Chinese with English abstract).
- Xu Huichang, Gong Shuqing, Tang Fenpei, *et al.* 2002. Geochemical characteristics and metallogenic significance of the Qitianling granite body and its xenolith[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 10(1): 51~56 (in Chinese with English abstract).
- Xu Yiming, Hou Maosong, Liao Xingyu, *et al.* 2000. Deposit types and prospect for prospecting of Sn deposits in Furong ore field, Chenzhou[J]. *Hunan Geology*, 19(2): 95~100 (in Chinese with English abstract).
- Yu Yunwen, Zhou Taixi and Chen Jiangfeng. 1993. Characteristics and genesis of the lately Late cretaceous bimodal volcanic in the Xuantandi area, Zhejiang[J]. *Journal of Nanjing University(Natural Sciences)*, 5(4): 420~429 (in Chinese with English abstract).

- Zhang Min, Chen Peirong, Zhang Wenlan, *et al.* 2003. Geochemical characteristics and petrogenesis of Dadongshan granite pluton in mid N anling range[J]. *Geochimica*, 32(6): 530~ 539 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Ning and Xia Wenchen. 1998. Time-space distribution of late Paleozoic cherts and evolution of resspreading trench in South China[J]. *Earth Science- Journal of China University of Geosciences*, 23(5): 480~ 486 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Junhong, Hu Ruizhong, Jiang Guohao, *et al.* 2001. Discussion of the relationship between mantle plume and uranium mineralization [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 25(2): 171~ 178 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhenhua, Bao Zhiwei and Zhang Boyou. 1998. Geochemistry of the Mesozoic basaltic roeds in southern Hunan Province[J]. *Science china(D)*, 41(suppl): 102~ 112.
- Zhao Zhenhua, Bao Zhiwei, Zhang Boyou, *et al.* 2000. The crust-mantle interaction setting of the Shizhuyuan W-polymetallic deposit. *Science in China(Series D)*, 30(suppl.): 161~ 168 (in Chinese).
- Zheng Jijian and Jia Baohua. 2001. Geological characteristics and related tin polymetallic mineralization of the Oitianling granite complex in southern Hunan Province [J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, (4): 50~ 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, Tan Bixiang, *et al.* 1988. Relation of the small rock bodies in southern Hunan to the formation of ore deposits and prognosis of concealed deposits [J]. *Hunan Geology*, (suppl. 4): 1~ 198 (in Chinese with English abstract).
- 包志伟, 赵振华, 熊小林. 2000. 广东恶鸡脑碱性正长岩的地球化学及其地球动力学意义[J]. *地球化学*, 29(5): 462~ 468.
- 蔡锦辉, 毛晓冬, 蔡明海, 等. 2002. 湖南骑田岭白腊水锡矿床成矿地质特征[J]. *华南地质与矿产*, 10(2): 55~ 59.
- 蔡锦辉, 韦昌山, 孙明慧. 2004. 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.
- 蔡明海, 梁婷, 吴德成, 等. 2004. 桂西北丹池成矿带花岗岩地球化学特征及其构造环境[J]. *大地构造与成矿学*, 28(3): 306~ 313.
- 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.
- 陈培荣, 华仁民, 章邦桐, 等. 2002. 南岭燕山早期后造山花岗岩类: 岩石学制约和地球化学动力学背景[J]. *中国科学*, 32(4): 279~ 289.
- 陈培荣, 孔兴功, 倪琦生, 等. 1999a. 赣南燕山早期双峰式火山-侵入杂岩厘定和意义[J]. *地质论评*, 45(增刊): 734~ 741.
- 陈培荣, 孔兴功, 王银喜, 等. 1999b. 赣南燕山早期双峰式火山-侵入杂岩的 Rb-Sr 同位素定年及意义[J]. *高校地质学报*, 5(4): 378~ 383.
- 陈培荣, 章邦桐, 孔兴功, 等. 1998. 赣南寨背 A 型花岗岩体的地球化学特征及其构造地质意义[J]. *岩石学报*, 14(3): 289~ 298.
- 陈培荣, 周新民, 张文兰, 等. 2004. 南岭东段燕山早期正长岩-花岗岩杂岩的成因和意义[J]. *中国科学(D 辑)*, 34(6): 493~ 503.
- 陈旭, 戎嘉余, Rowley D B, 等. 1995. 对华南早古生代板溪群的质疑[J]. *地质论评*, 41(5): 389~ 398.
- 陈志刚, 李献华, 李武显, 等. 2003. 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*, 32(3): 223~ 229.
- 邓晋福, 莫宣学, 罗照华, 等. 1999a. 火成岩构造组合与壳-幔成矿系统[J]. *地学前缘*, 6(2): 259~ 270.
- 邓晋福, 莫宣学, 赵海玲, 等. 1999b. 中国东部燕山期岩石圈-软流圈系统大火变与成矿环境[J]. *矿床地质*, 18(4): 309~ 314.
- 邓希光, 李献华, 刘义茂, 等. 2005. 骑田岭花岗岩体的地球化学特征及其对成矿的制约[J]. *岩石矿物学杂志*, 24(2): 93~ 102.
- 邓松华, 徐惠长, 刘阳生, 等. 2003. 湖南千里山-骑田岭矿集区大地构造环境与矿物组合的关系[J]. *华南地质与矿产*, (4): 51~ 55.
- 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.
- 范春方, 陈培荣. 2001. 赣南陂头 A 型花岗岩的地质地球化学特征及其形成的构造背景[J]. *地球化学*, 29(4): 358~ 366.
- 付建明, 马昌前, 谢才富, 等. 2004. 湖南骑田岭岩体东缘绿帘岩体的锆石 SHRIMP 定年及其意义[J]. *中国地质*, 31(1): 96~ 100.
- 高秉璋, 洪大卫, 郑基俭, 等. 1991. 花岗岩类 1:5 万区域地质填图方法指南[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 33.
- 郭令智, 施央申, 马瑞士. 1983. 西太平洋中生代活动大陆边缘和岛弧构造的形成及演化[J]. *地质学报*, (1): 11~ 21.
- 洪大卫, 王式浣, 韩宝福, 等. 1995. 碱性花岗岩的构造环境分类及其鉴别标志[J]. *中国科学*, 25(4): 418~ 426.
- 洪大卫, 谢锡林, 张季生. 2002. 试析杭州-诸广山-花山高 ϵ_{Nd} 值花岗岩带的地质意义[J]. *地质通报*, 21(6): 348~ 354.
- 湖南省地质矿产局. 1988. 湖南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社.
- 华仁民, 毛景文. 1999. 试论中国东部中生代成矿大爆发[J]. *矿床地质*, 18(4): 300~ 308.
- 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.
- 黄莹, 孙世华, Depaolo D J, 等. 1986. 福建省白垩纪岩浆岩 Nd, Sr 同位素研究[J]. *岩石学报*, 2(2): 50~ 63.
- 孔兴功, 陈培荣, 章邦桐. 2000. 江西南部白面石-东坑盆地 A 型火山岩的确定及地质意义[J]. *地球化学*, 29(6): 521~ 524.
- 李昌年. 1992. 火成岩微量元素岩石学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 179.
- 李献华. 1993. 华南地壳增长和构造演化的年代学格架与同位素体系制约. *矿物岩石地球化学通报*, (3): 111~ 115.
- 李献华, 周汉文, 刘颖, 等. 1999. 桂东南钾玄质侵入岩带及其岩石学和地球化学特征[J]. *科学通报*, 44(18): 1992~ 1998.
- 李献华, 周汉文, 刘颖, 等. 2000. 粤西阳春中生代钾玄质侵入岩

附中文参考文献

- 及其构造意义: I. 岩石学 and 同位素地质年代学[J]. 地球化学, 29(6): 513~ 520.
- 李献华, 周汉文, 刘颖, 等. 2001. 粤西阳春中生代钾玄质侵入岩及其构造意义: II. 微量元素和Sr-Nb同位素地球化学[J]. 地球化学, 30(1): 57~ 65.
- 刘义茂, 戴童谟, 卢焕章, 等. 1997. 千里山花岗岩成岩成矿的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 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, 戴童谟. 2002. 骑田岭花岗岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄及其地质意义[J]. 中国科学(D辑), 2(增刊): 41~ 48.
- 罗 郾, 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.
- 马昌前, 杨坤光, 明厚利, 等. 2003. 大别山中生代地壳从挤压转向伸展的时间: 花岗岩的证据[J]. 中国科学(D辑), 33(9): 817~ 827.
- 毛景文, 李红艳, 裴荣富. 1995. 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, 李晓峰, Bernd Lehmann, 等. 2004b. 湖南芙蓉锡矿床锡矿和有关花岗岩的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄及其地球动力学意义[J]. 矿床地质, 23(2): 164~ 174.
- 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 等. 2004a. 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, 11(1): 45~ 54.
- 邱瑞照, 邓晋福, 蔡志勇, 等. 2003. 湖南香花岭430花岗岩体Nd同位素特征及岩石成因[J]. 岩石矿物学杂志, 22(1): 41~ 46.
- 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.
- 王德滋, 沈渭洲. 2003. 中国东南部花岗岩成因与地壳演化[J]. 地学前缘, 10(3): 209~ 220.
- 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, 22(1): 50~ 56.
- 王鸿祯, 杨森楠, 李思田. 1983. 中国东部及邻区中、新生代盆地发育及大陆边缘区的构造发展[J]. 地质学报, (3): 213~ 223.
- 王 强, 赵振华, 熊小林, 等. 2002. 华南绍兴-恩平富碱侵入岩带的厘定及其动力学意义初探[J]. 地球化学, 31(5): 433~ 442.
- 王岳军, 范蔚茗, 郭 锋, 等. 2001a. 湘东南中生代花岗岩闪长岩锆石U-Pb法定年及其成因指示[J]. 中国科学(D辑), 31(9): 745~ 751.
- 王岳军, 范蔚茗, 郭 锋, 等. 2001b. 湘东南中生代花岗岩闪长质小岩体的岩石地球化学特征[J]. 岩石学报, 17(1): 169~ 175.
- 王岳军, 廖超林, 范蔚茗, 等. 2004. 赣中地区早中生代OIB碱性玄武岩的厘定及构造意义[J]. 地球化学, 33(2): 109~ 117.
- 王岳军, Zhang Y H, 范蔚茗, 等. 2002. 湖南印支期过铝质花岗岩的形成: 岩浆底侵与地壳加厚热效应的数值模拟[J]. 中国科学(D辑), 32(6): 491~ 499.
- 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.
- 谢桂青, 胡瑞忠, 赵军红, 等. 2001. 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, 25(2): 179~ 186.
- 徐惠长, 龚述清, 唐分配, 等. 2002. 骑田岭岩体及其包体的地球化学特征和成矿意义[J]. 华南地质与矿产, 10(1): 51~ 56.
- 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.
- 俞文文, 周泰禧, 陈江峰. 1993. 浙江玄坛地早白垩世晚期双峰式火山岩特征及其成因[J]. 南京大学学报(地球科学), 5(4): 420~ 429.
- 张 敏, 陈培荣, 张文兰, 等. 2003. 南岭中段大东山花岗岩体的地球化学特征和成因[J]. 地球化学, 32(6): 530~ 539.
- 张 宁, 夏文臣. 1998. 华南晚古生代硅质岩时空分布及再扩张残留海槽演化. 地球科学, 23(5): 480~ 486.
- 赵军红, 胡瑞忠, 蒋国豪, 等. 2001. 初论地幔热柱与铀成矿的关系[J]. 大地构造与成矿学, 25(2): 171~ 178.
- 赵振华, 包志伟, 张伯友. 1998. 湘南中生代玄武岩类地球化学特征[J]. 中国科学(D), 28(增刊): 7~ 14.
- 赵振华, 包志伟, 张伯友, 等. 2000. 柿竹园大型钨多金属矿床的壳幔相互作用背景[J]. 中国科学(D辑), 30(增刊): 161~ 168.
- 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.
- 庄锦良, 刘钟伟, 谭必祥, 等. 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~ 198.