

小兴安岭伊春地区 环斑花岗岩组合特征及其地质意义

赵寒冬^{1,2} 刘 勇³ 邓晋福¹ 肖庆辉³ 马丽玲² 杨元江²

(1.地质过程与矿产资源国家重点实验室 中国地质大学,北京 100083;岩石圈构造与深部过程及探测技术教育部
重点实验室 中国地质大学,北京 100083;2.黑龙江省地质调查研究总院,黑龙江 哈尔滨 150036;
3.中国地质科学院地质研究所,北京 100037)

摘要:通过 1:25 万鹤岗市幅区域地质调查,首次在小兴安岭中南段摩天岭一带发现了具环斑结构的晚石炭世二长花岗岩。环斑长石多呈自形晶宽板状或宽板柱状,少数为圆球状,大小不一,2~3.5 cm,内核为肉红色碱性长石,外壳为宽 1~2 mm 的灰白色斜长石,有时也见无环的卵圆形斑晶。其岩相学、岩石地球化学特征研究表明,摩天岭环斑花岗岩及其岩石组合为不同于前寒武纪典型非造山环斑花岗岩的造山带型环斑花岗岩,为形成于造山带与板块俯冲体制有关的岛弧或活动大陆边缘环境下的 I 型花岗岩。

关键词:环斑花岗岩;岩石组合;造山带;I 型花岗岩;小兴安岭

中图分类号:P588.12 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2009)03-0658-11

环斑花岗岩(rapakivi granite)以其独特的岩石结构、岩石组合、构造环境而备受人们关注。早期提出的典型环斑花岗岩是一种多见于元古宙且产于稳定克拉通非造山环境下的花岗岩,但近年来的研究表明,典型的环斑花岗岩并不是孤立地产出,而是常常与铁镁质的岩石在时间和空间上密切共生,构成双峰式组合特征^[1];构造环境也不仅仅限于稳定的克拉通,造山带中也可以出现。由此看来,有关环斑花岗岩的属性、成因及构造环境随着地质研究的深入将会赋予更为丰富的内涵。

奥长环斑花岗岩术语由 Sederholm(1891)最早提出^[2],经典的奥长环斑花岗岩出露于芬兰南部,是一种特殊的岩石类型。其主要特点是:①碱性长石为卵形;②部分卵形碱性长石具奥长石-中长石外壳;③造岩矿物通常有两个或两个以上世代;④时空上与镁铁质

岩石等密切伴生构成双峰式。之后许多学者对环斑结构进行了详细的补充叙述,如早期环斑结构原只指碱性长石球斑具有斜长石包壳,后来又补充了斜长石包裹自形或带棱角的碱性长石类型^[3]。不少学者^[4-5]明确指出,具环斑结构的花岗岩称之为环斑花岗岩,其最重要的特点是在结构上,其最初的定义也是纯岩石学术语。后来 Haapala 等^[6]增加了岩石学的内容,岩石具 A 型花岗岩的特征,并强调 A 型花岗岩的非造山标志特征,认为局部具有环斑结构的 S、I 型花岗岩则不属于环斑花岗岩的范畴^[7]。世界典型环斑花岗岩的形成时代均为前寒武纪,且其成因类型为非造山的 A 型花岗岩。但事实上近年来一些学者将 A 型花岗岩划分为两类:非造山和造山后^[8],并已经证实了国外环斑花岗岩也并非都是 A 型花岗岩^[9],指出某些环斑花岗岩的出现正是主造山事件结束的反

收稿日期:2009-03-27;改回日期:2009-04-18

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(200213000025)东北地区基础地质调查及数据更新黑龙江省 1:25 万鹤岗市幅(L52C001003)修测数字化区域地质调查项目资助。

作者简介:赵寒冬,男,1963 年生,博士生,高级工程师,从事区域地质调查研究及管理工作;E-mail:handonz@tom.com。

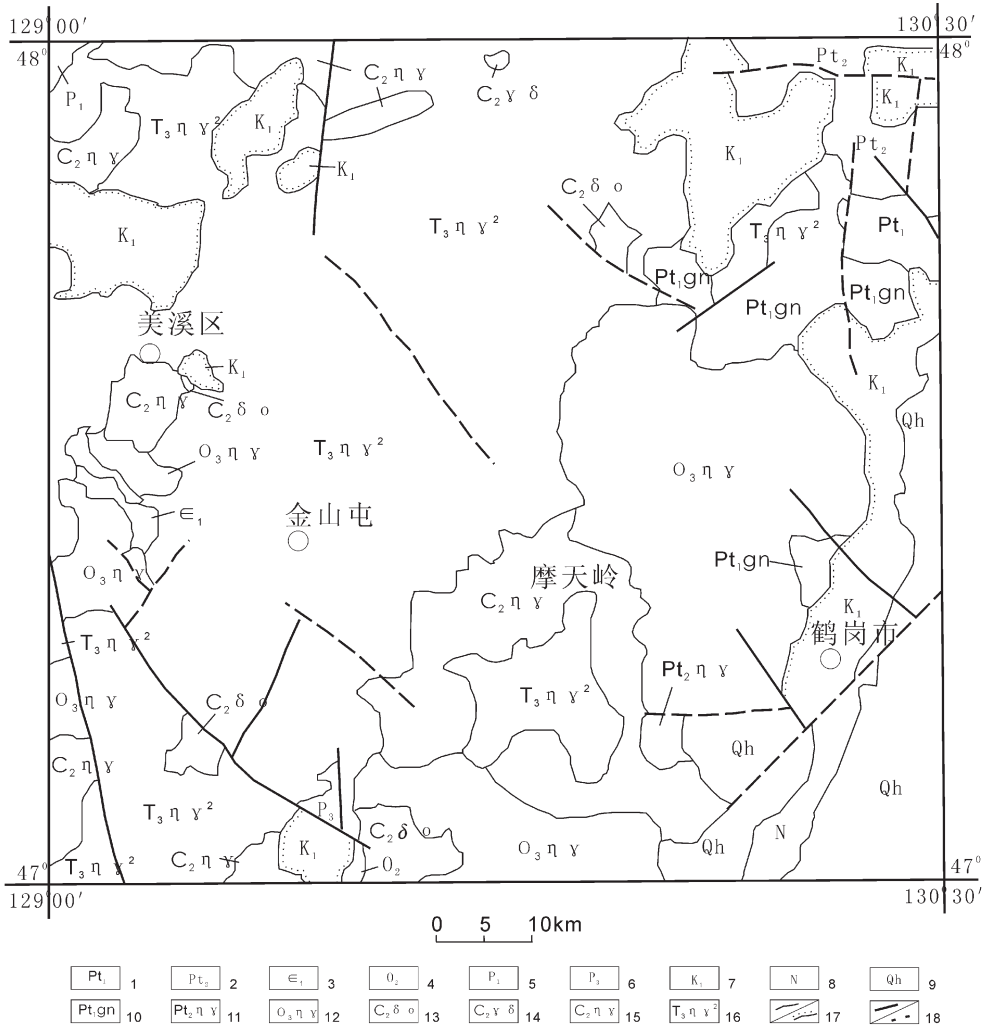


图 1 小兴安岭伊春地区晚石炭世花岗岩地质简图(据 1:25 万鹤岗市幅地质图 2005,略有修改)

1—古元古界;2—中元古界;3—下寒武统;4—中奥陶统;5—下二叠统;6—上二叠统;7—下白垩统;
 8—古近—新近系;9—第四系;10—古元古代花岗片麻岩;11—中元古代二长花岗岩;12—晚奥陶世二长花岗岩;
 13—晚石炭世石英闪长岩;14—晚石炭世花岗闪长岩;15—晚石炭世(环斑)二长花岗岩;
 16—晚三叠世二长花岗岩;17—地质界线/不整合地质界线;18—实测断层/航卫片解译及推测断层

Fig.1 Geological sketch map of the Late Carboniferous granite in Yichun, Xiaoxinganling(modified after 1:250000 geological map, 2005)

1—Paleoproterozoic; 2—Mesoproterozoic; 3—Lower Cambrian; 4—Middle Ordovician; 5—Lower Permian;
 6—Upper Permian; 7—Lower Cretaceous; 8—Tertiary; 9—Quaternary; 10—Paleoproterozoic granitic gneiss;
 11— Mesoproterozoic adamellite; 12—Late Ordovician monzogranite; 13—Late Carboniferous quartz diorite;
 14—Late Carboniferous granodiorite; 15—Late Carboniferous (rapakivi) adamellite; 16—Late Triassic adamellite;
 17—geological boundary/unconformity; 18—measured fault/aerial photo interpretation and inferred fault

映^[8],所以用 A 型花岗岩的特征来限定环斑花岗岩带来了一些问题,也说明了对环斑花岗岩的产出背景已经突破了非造山环境的认识和定义。近年来世界上陆续发现了其他时代^[1,9]和不同构造背景下的环斑花岗岩,并认为产在不同时代、不同构造环境的环斑花岗岩间存在地球化学上的差异^[10]。卢欣祥等

认为,环斑花岗岩应分两类:非造山和造山后,分别代表稳定大陆伸展环境和造山带后期伸展或由挤压向伸展转换的环境,两者的构造环境相类似,均为伸展或由挤压向伸展转换的环境^[8-9]。

笔者认同,环斑花岗岩应该遵循原有的定义,以岩相结构为主要标志来命名,这样更容易识别和反

映此类岩石的本质特征。小兴安岭中南段摩天岭环斑花岗岩的确立,不仅填补了本区造山带型环斑花岗岩的空白,也为环斑花岗岩构造环境研究提供了新的佐证和实例。

1 地质概况

研究区位于西伯利亚板块与华北板块之间的中亚—蒙古巨型造山系兴蒙造山带的东段,按《黑龙江省区域地质志》的划分属兴安岭—内蒙地槽褶皱区伊春—延寿地槽褶皱系^[1]。前人曾将包括摩天岭环斑花岗岩在内的花岗岩类置于中加里东期混染花岗岩岩组($\gamma_3^?$)^[1],并对其岩石学、岩相学、岩石化学等特征进行了详细描述和研究,取得了较为丰富的地质资料,但对其成因和构造环境则讨论不足。笔者依据岩石学、岩石地球化学、同位素特征以及野外接触关系等将其解体,同时,根据二长花岗岩侵入晚奥陶世二长花岗岩同时又为晚三叠世二长花岗岩侵入,而内部各岩类均呈脉动侵入接触^{①②③},石英闪长岩 Sm-Nd 全岩等时线年龄(311±5)Ma^①、二长花岗岩 Sm-Nd 全岩等时线年龄(299±9)Ma^①、单颗粒锆石 U-Pb 年龄 317.7 Ma^②,而将其时代置于晚石炭世,并建立了晚石炭世环斑花岗岩构造组合,由早至晚分别为片麻状石英闪长岩—片麻状花岗闪长岩—片麻状(环斑)二长花岗岩^③,其中后者占组合岩石面积的 95%以上。野外观察表明,组合中各岩类均呈大小不一的岩基、岩株状产出,而片麻状环斑花岗岩则以出露于小兴安岭南段摩天岭一带的最为典型。其出露宽度大于 300 m,因覆盖严重且与片麻状二长花岗岩呈渐变过渡接触,故而面积不详。作为古亚洲洋构造域内晚古生代构造岩浆活动的代表,摩天岭晚石炭世造山带型环斑花岗岩^[9,12-14]的发现,无疑对研究兴蒙造山系的演化、造山带中环斑花岗岩的成因,尤其是阐明华北板块与西伯利亚板块之间多块体拼合的演化历史具有重要的科学意义。

2 岩石学、地球化学及稳定同位素特征

2.1 岩石学特征

岩石具中粒、中粗粒似斑状结构,组成矿物主要

为长石、石英及暗色矿物黑云母;其中环斑花岗岩中的环斑长石多呈自形晶宽板状或宽板柱状,部分为圆球状;大小不一,直径(下同)2~3.5 cm,斜长石外壳约 1~2mm(图 2),其中内核的碱性长石呈肉红色,具卡氏双晶,均为单颗粒组成,外壳斜长石呈白色或浅灰白、浅肉红色,与岩体中大量出现的无环斑结构的钾长石斑晶相比,钾、斜长石的成分、大小等特征一致,只是形态不同,故在宏观上两者易于区分;大多环斑长石的内、外核均具有微小黑云母、斜长石、石英等包裹体,这也是环斑结构的特征。有些碱性长石斑晶不发育斜长石外壳,但其形态仍为卵球状、圆状,且局部较为集中出现,部分碱性长石斑晶周围的黑云母等暗色矿物围绕斑晶定向排列呈“眼球状”(图 3)。碱性长石斑晶呈卵球状是与非环斑花岗岩出现具斜长石外壳较自形的碱性长石斑晶的主要区别^[2],也是确定环斑花岗岩的主要依据^[12]。微观下环斑长石由碱性长石内核和斜长石外壳组成,内核碱性长石多呈卵球状、少呈半自形—自形状,且内、外核长石之间的界线大多较为平直,说明它们是岩浆作用形成。环斑长石的最外层斜长石外壳与基质的界限多为平直状,部分呈弯曲状,显示了其与基质中的矿物同时结晶的特点。斜长石外壳多数是由不同方向生长的细小斜长石颗粒集合体组成,与中国秦岭沙河湾的环斑花岗岩的斜长石环斑外壳特征一致。所见的卵球状、球状碱性长石的环斑结构及圆球状钾长石斑晶特征与中国秦岭老君山、秦岭梁等地的印支期造山带环斑花岗岩、芬兰 Jaala-litti 和巴西 Itu 地区的环斑花岗岩相似^[15],但不同于中国最典型的北京密云环斑花岗岩,其碱性长石斑晶粒径大且多为聚晶和部分暗色矿物内核^[16]。半自形环斑长石的较多出现与中国秦岭沙河湾的环斑花岗岩特征更接近,也与不少学者的认识相吻合^[2,17]。

岩体中球状、环斑状钾长石斑晶含量较少,总体上占岩体的 1%~2%,局部较为集中,达 5%~8%,占岩体中钾长石似斑晶的 5%左右,明显低于秦岭环斑花岗岩中卵球状、球状钾长石斑晶占整个岩体内钾长石斑晶的 60%~80%,其中环斑占 25%~50%的特征^[11]。这种分布范围小、含量低的特点,可能是与典型元古宙非造山环斑花岗岩的主要差异。

①黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院. 1:5 万三杨林场等四幅区调报告,1996.

②黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院. 1:25 万鹤岗市幅区调报告,2006.

③黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院. 1:25 万鹤岗市幅区调报告,2006.



图 2 环斑长石的卵球状、不规则状外貌特征

Fig.2 Oval and irregular appearance of rapakivi plagioclase



图 3 长石斑晶的眼球状外貌特征

Fig.3 Augen-like appearance of phenocryst plagioclase

研究表明,摩天岭环斑花岗岩中的环斑结构不同于世界上典型的环斑花岗岩,为岩浆混合成因的环斑结构,具有明显的岩浆混合特征,是当基性岩浆注入到已具碱性长石和石英结晶的酸性岩浆中时,碱性长石和石英未能和较基性的岩浆完全反应,发生熔蚀,导致了以卵球状或半自形的碱性长石斑晶为结晶中心,较基性的岩浆附着其上快速结晶组成斜长石外壳的环斑的出现。因此,环斑结构与岩浆混合关系密切,因而也被看成是岩浆混合的标志之一[1,6,9,10,12-15,18-19](因篇幅所限,有关该组合的岩浆混合特征将另文讨论)。

2.2 岩石地球化学及稳定同位素特征

2.2.1 片麻状石英闪长岩

岩石中 K_2O 含量略 $>Na_2O$ (表 1),在 AFM 三角图中(图 4)落入钙碱性岩区,富碱富钾、略贫钠、钙、

镁,为偏铝质岩石。稀土元素总量较高(表 2),富集轻稀土, δEu 为 0.33~0.44,稀土配分模式曲线呈左高右低的不对称右倾“V”字型平滑曲线(图 5)。微量元素亲石元素 Li、Cs、Ba、高场强元素 Nb、Ta、Zr、Hf、Th 等含量高(表 3);蛛网图(图 6)总体显示高度富集大离子亲石元素(LILE)Ba 及高场强元素(HFSE)Zr、Th、Rb、Sm 呈负异常,高场强元素相对于大离子亲石元素亏损,反映了活动大陆边缘的特征。

稳定氧同位素 $\delta^{18}O$ 为 8.19‰,为正常 $\delta^{18}O$ 花岗岩类; $^{87}Sr/^{86}Sr$ 为 0.72595,属高铯花岗岩类,似与古老硅铝质陆壳源岩的部分熔融有关[20]。

2.2.2 片麻状花岗闪长岩

岩石化学分析表明(表 1), $Na_2O > K_2O$,属钙碱

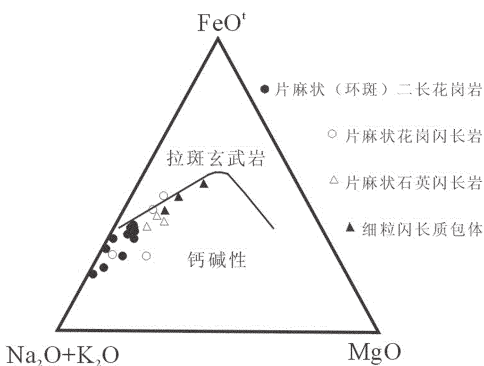


图 4 AFM 图解
Fig.4 AFM diagram

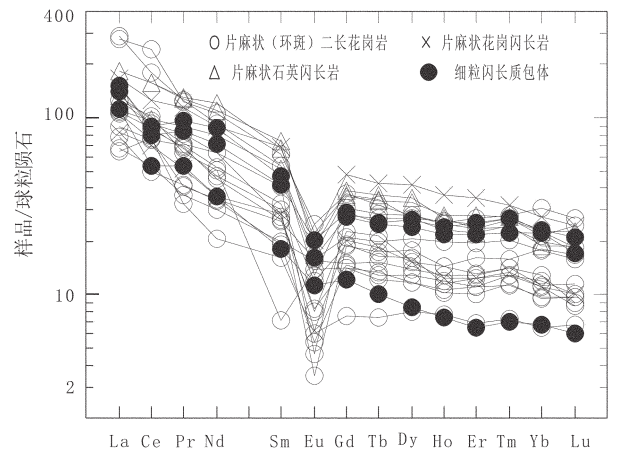


图 5 稀土元素配分曲线图
Fig.5 Chondrite-normalized REE patterns

表1 晚石炭世岩浆组合岩石化学结果及参数特征(%)

Table 1 Rock-chemical composition and feature parameters of the Late Carboniferous magma assemblage													
序号	样号	岩性	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
1	P ₂ Gs121		69.43	0.4	14.51	1.14	2.88	0.09	1.00	2.59	4.00	3.80	0.15
2	P ₂ Gs123		64.28	0.6	15.55	1.79	4.72	0.13	1.71	3.58	3.79	3.62	0.25
3	Gs4084		74.13	0.1	13.50	1.30	1.44	0.04	0.46	1.41	3.94	3.57	0.05
4	P ₂ Gs101		66.33	0.5	16.30	1.25	3.74	0.08	0.81	2.48	4.47	3.88	0.15
5	P ₄ GsTc56		71.82	0.2	12.85	2.11	1.36	0.02	0.56	1.65	4.54	4.83	0.05
6	Gs2873B2	片麻状(环斑)	69.44	0.3	14.49	1.47	2.95	0.03	0.67	2.58	4.04	3.93	0.10
7	P ₄₈ Gs5	二长花岗岩	73.13	0.3	12.72	0.82	2.96	0.05	0.05	1.66	2.94	4.95	0.36
8	P ₁₃ Gs13		72.56	0.2	12.70	1.16	1.78	0.02	0.03	3.97	3.23	4.26	0.05
9	P ₄₂ Gs92		71.26	0.2	13.64	1.15	2.26	0.04	0.86	1.60	4.06	4.87	0.05
10	P ₃₈ Gs13		70.74	0.2	14.39	1.00	1.93	0.01	0.33	1.14	4.75	5.42	0.05
11	P ₄₂ Gs46		68.40	0.4	15.71	1.09	3.31	0.02	0.74	2.87	3.59	3.69	0.12
12	P ₄₂ Gs43		66.25	0.5	15.97	1.39	3.59	0.03	0.89	2.75	4.75	3.70	0.15
13	P ₃₄ Gs4		72.55	0.2	14.00	1.17	1.23	0.01	0.18	0.81	4.17	5.62	0.05
14	Gs3855		59.88	0.7	16.51	2.17	6.30	0.07	1.53	4.69	4.27	3.62	0.25
15	P ₂₁ GsLT0	片麻状花岗闪长岩	65.20	0.6	14.96	0.76	5.68	0.12	1.41	3.27	3.32	4.40	0.25
16	Gs9025		70.85	0.3	15.34	0.91	2.02	0.05	0.44	1.84	4.47	3.58	0.13
17	P ₃₆ Gs12		66.88	0.4	15.01	1.36	2.26	0.08	1.98	3.15	3.68	4.82	0.35
8	P ₃₅ Gs37	片麻状石英闪长岩	59.61	0.8	18.62	2.03	4.53	0.05	1.90	3.92	5.65	2.67	0.20
19	P ₄₂ Gs66		65.21	1.1	14.60	1.13	4.60	0.04	1.63	2.62	2.51	6.09	0.46
20	P ₄₂ Gs83		57.70	1.2	18.55	2.15	4.83	0.06	2.47	3.70	3.04	5.68	0.60
1	Gs2873B7	微细粒闪长质包体	56.85	0.7	18.34	2.78	5.48	0.08	2.21	5.90	5.81	1.53	0.30
22	P ₂ Gs108		54.26	1.1	16.39	3.59	7.17	0.22	3.84	6.35	4.63	1.80	0.20
23	P ₂ Gs122-1		59.91	0.8	17.61	1.66	4.88	0.13	2.31	4.66	4.43	3.25	0.25

注:由黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院实验室(2004)测定,表中所列数据均为去水后重新计算数据。

性岩,富碱、富钠,贫钾、镁、钙,为偏铝质岩石。稀土总量较高(表2), δEu 为0.26~0.36,其稀土模式曲线呈左高右低的不对称右倾“V”字型平滑曲线,显示轻稀土富集,铷强烈亏损(图5)。微量元素显示亲铜元素Cu、Pb、Zn和亲石元素Li、Ba、Cs,高场强元素Sc、Zr、Hf、Ga等含量较高(表3);蛛网图上高度富集LILE:Ba,略富集HFSE:Zr、Th、Hf等(图6),表现出Th、Zr、Hf等呈正异常,Rb、Ta等呈负异常,高场强元素相对于大离子亲石元素亏损的活动大陆边缘特征。氧稳定同位素($\delta^{18}O$)为5.9‰,按泰勒(1968)、张理刚(1983)对花岗岩类成因的分类,处于正常与低 $\delta^{18}O$ 花岗岩类型的分界线附近,似与地幔岩浆分异或与地壳物质同熔作用有关^[21]。

2.2.3 片麻状(环斑)二长花岗岩

该岩石Al₂O₃含量较高,为12.56%~16.28%(表1),富硅、碱、钠,而贫钾、镁、钙。在AFM三角图(图

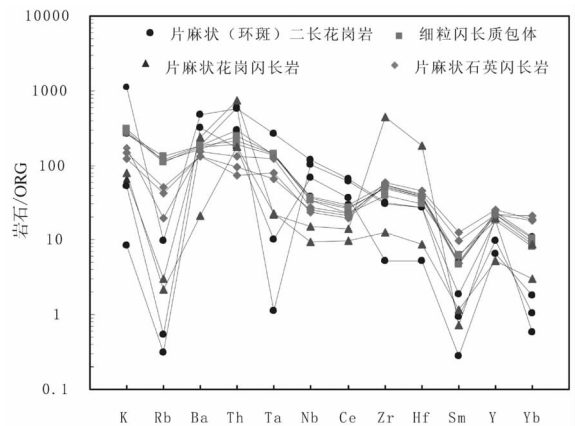


图6 微量元素蛛网图

Fig.6 Trace element spidergram

4)中落入钙碱性岩区,为偏铝质岩石。主要氧化物SiO₂、Al₂O₃等含量以及K₂O/Na₂O值均与秦岭沙河湾造山带环斑二长花岗岩的相似,仅MgO稍低,与

表 2 晚石炭世岩浆组合稀土元素含量(10^{-6})及参数
Table 2 REE contents and feature parameters of the Late Carboniferous magma assemblage

序号	样号	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm		
1	P ₂ XT121		56.2	82.2	9.34	32.1	6.15	0.72	4.50	0.75	4.87	1.01	2.74	0.46		
2	P ₂ XT101		39.2	71.3	9.51	37.1	7.58	1.03	5.84	0.95	6.17	0.98	3.09	0.46		
3	XT2873B2		107	173	17.3	66.1	12.4	1.13	9.40	1.65	10.6	2.18	6.75	0.99		
4	P ₄ XT56		39.7	83.7	9.27	33.4	6.95	0.30	5.80	1.01	6.75	1.22	4.04	0.56		
5	P ₄₂ XT92	片麻状(环斑)二长花岗岩	45.70	98.20	8.64	35.60	1.64	1.20	4.35	0.77	4.44	0.87	2.52	0.41		
6	P ₃₈ XT13		45.70	88.00	11.10	44.80	6.32	0.70	6.93	1.25	5.87	1.22	3.30	0.50		
7	P ₄₂ XT46		24.60	51.30	4.99	21.70	4.60	1.35	4.60	0.85	5.33	1.09	3.21	0.50		
8	P ₄₂ XT43		33.0	71.60	5.58	24.50	6.00	1.39	6.50	1.16	7.90	1.69	4.84	0.72		
9	P ₃₄ XT4		28.90	47.00	5.77	24.10	4.40	0.47	4.34	0.71	4.44	0.90	2.75	0.40		
10	P ₁₃ XT13		23.50	73.70	4.49	14.70	3.72	0.52	2.30	0.43	3.05	0.66	1.73	0.26		
11	P ₂ XT108		55.3	85.5	13.3	62.7	10.9	1.41	8.40	1.46	9.16	1.88	5.50	0.80		
12	P ₂ XT122-1	微细粒闪长质包体	41.1	50.9	7.26	25.6	4.22	0.98	3.72	0.58	3.24	0.63	1.61	0.25		
13	XT2873B7		52.0	76.7	11.6	50.1	9.7	1.76	8.98	1.48	10.0	2.06	6.37	0.96		
14	XT3855	片麻状花岗闪长岩	60.7	120	15.5	63.9	15.7	1.77	14.6	2.49	16.0	3.12	8.82	1.15		
15	P ₂₁ XILT0		30.3	67.3	7.05	25.7	6.63	0.54	6.23	1.08	5.87	1.05	3.08	0.48		
16	P ₄₂ XT73		67.60	152.0	18.0	85.70	15.50	1.96	11.20	2.01	10.20	1.96	5.53	0.87		
17	P ₃₅ XT37	片麻状石英闪长岩	49.10	94.70	12.30	57.0	11.90	1.45	11.00	1.96	12.70	2.38	7.02	0.98		
18	P ₄₂ XT66		67.50	150.0	17.40	78.80	17.00	1.61	11.90	2.14	13.50	2.31	5.90	0.85		
序号	Yb	Lu	Y	REE	LREE	HREE	LR/HR	ΣCe	ΣSm	ΣYb	δEu	δCe	Sm/Nd	La/Yb	La/Sm	Ce/Yb
1	2.98	0.38	21.8	226.20	186.71	39.49	4.73	179.84	18.00	28.36	0.41	0.87	0.19	18.86	9.14	27.58
2	2.77	0.33	25.0	211.31	165.72	45.59	3.64	157.11	22.55	31.65	0.46	0.93	0.20	14.15	5.17	25.74
3	7.58	1.03	45.1	462.21	376.93	85.28	4.42	363.40	37.36	61.45	0.31	0.94	0.19	14.12	8.63	22.82
4	4.51	0.64	23.8	221.65	173.32	48.33	3.59	166.07	22.03	33.55	0.14	1.12	0.21	8.80	5.71	18.59
5	2.37	0.37	19.10	226.18	190.98	35.20	5.43	188.14	13.27	24.77	1.32	1.17	0.05	19.28	27.87	41.44
6	2.82	0.44	26.20	245.15	196.62	48.53	4.05	189.60	22.29	33.26	0.33	0.97	0.14	16.21	7.23	31.21
7	3.17	0.34	25.60	153.23	108.54	44.69	2.43	102.59	17.82	32.82	0.90	1.09	0.21	7.76	5.34	16.18
8	4.38	0.60	41.10	210.96	142.07	68.89	2.06	134.68	24.62	51.64	0.69	1.20	0.25	7.54	5.50	16.34
9	2.40	0.37	22.40	149.35	110.64	38.71	2.86	105.77	15.26	28.32	0.33	0.87	0.18	12.04	6.57	19.58
10	1.62	0.26	15.50	146.44	120.63	25.81	4.67	116.39	10.68	19.37	0.51	1.81	0.25	14.51	6.32	45.49
11	5.53	0.65	40.2	302.69	229.11	73.58	3.11	216.80	33.21	52.68	0.44	0.74	0.17	10.00	5.07	15.46
12	1.67	0.23	13.8	155.79	130.06	25.73	5.06	124.86	13.37	17.56	0.75	0.72	0.17	24.61	9.74	30.48
13	5.78	0.81	47.0	285.30	201.86	83.44	2.42	190.40	33.98	60.92	0.57	0.75	0.19	8.99	5.36	13.27
14	6.80	0.93	64.3	395.78	277.57	118.21	2.35	260.10	53.68	82.00	0.36	0.97	0.25	8.93	3.87	17.65
15	2.72	0.38	28.8	187.21	137.52	49.69	2.77	130.35	21.40	35.46	0.26	1.18	0.26	11.14	4.57	24.74
16	4.65	0.72	42.8	420.70	340.76	79.94	4.26	323.30	42.83	54.57	0.44	1.03	0.18	14.54	4.36	32.69
17	5.63	0.87	53.80	322.79	226.45	96.34	2.35	213.10	41.39	68.30	0.39	0.92	0.21	8.72	4.13	16.82
18	4.94	0.70	52.60	427.15	332.31	94.84	3.50	313.70	48.86	64.99	0.33	1.05	0.22	13.66	3.97	30.36

注:由国土资源部中南矿产资源监督检测中心(宜昌)(2004)测试。

秦岭老君山、秦岭梁的造山型环斑花岗岩相比, CaO、MgO 等偏低,这主要为二者岩性不同所致,而与华北地台北京密云沙厂、芬兰 Ahvenisto 地块等典

型地区的非造山型环斑花岗岩不同^[1,6,9,10,13,15,22,23]。岩石稀土总量较高(表 2), ΣREE 为 $146.44 \times 10^{-6} \sim 534.51 \times 10^{-6}$, LREE/HREE 为 2.06~4.88, δEu 为 0.31~

1.32, 平均 0.54, 配分模式曲线总体与石英闪长岩、花岗闪长岩相似, 显示轻稀土富集, Eu 中等亏损 (图 5)。与秦岭沙河湾、老君山、秦岭梁的造山带型环斑

花岗岩相类似, 但明显不同于华北地台北京密云沙厂等的非造山型环斑花岗岩 [1,6,9,10,13]。微量元素分析结果 (表 3) 显示亲铜元素 Cu、Zn、Cr、Sn 和亲石元

表 3 晚石炭世岩浆组合微量元素含量及元素对比值

Table 3 Trace element contents and element comparison of the Late Carboniferous magma assemblage

序号	样号	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm		
1	P ₂ XT121		56.2	82.2	9.34	32.1	6.15	0.72	4.50	0.75	4.87	1.01	2.74	0.46		
2	P ₂ XT101		39.2	71.3	9.51	37.1	7.58	1.03	5.84	0.95	6.17	0.98	3.09	0.46		
3	XT2873B2		107	173	17.3	66.1	12.4	1.13	9.40	1.65	10.6	2.18	6.75	0.99		
4	P ₄ XT56		39.7	83.7	9.27	33.4	6.95	0.30	5.80	1.01	6.75	1.22	4.04	0.56		
5	P ₄₂ XT92	片麻状 (环斑) 二长花岗岩	45.70	98.20	8.64	35.60	1.64	1.20	4.35	0.77	4.44	0.87	2.52	0.41		
6	P ₃₈ XT13		45.70	88.00	11.10	44.80	6.32	0.70	6.93	1.25	5.87	1.22	3.30	0.50		
7	P ₄₂ XT46		24.60	51.30	4.99	21.70	4.60	1.35	4.60	0.85	5.33	1.09	3.21	0.50		
8	P ₄₂ XT43		33.0	71.60	5.58	24.50	6.00	1.39	6.50	1.16	7.90	1.69	4.84	0.72		
9	P ₃₄ XT4		28.90	47.00	5.77	24.10	4.40	0.47	4.34	0.71	4.44	0.90	2.75	0.40		
10	P ₁₃ XT13		23.50	73.70	4.49	14.70	3.72	0.52	2.30	0.43	3.05	0.66	1.73	0.26		
11	P ₂ XT108		55.3	85.5	13.3	62.7	10.9	1.41	8.40	1.46	9.16	1.88	5.50	0.80		
12	P ₂ XT122-1	微细粒闪长质包体	41.1	50.9	7.26	25.6	4.22	0.98	3.72	0.58	3.24	0.63	1.61	0.25		
13	XT2873B7		52.0	76.7	11.6	50.1	9.7	1.76	8.98	1.48	10.0	2.06	6.37	0.96		
14	XT3855	片麻状花岗闪长岩	60.7	120	15.5	63.9	15.7	1.77	14.6	2.49	16.0	3.12	8.82	1.15		
15	P ₂₁ XTL0		30.3	67.3	7.05	25.7	6.63	0.54	6.23	1.08	5.87	1.05	3.08	0.48		
16	P ₄₂ XT73		67.60	152.0	18.0	85.70	15.50	1.96	11.20	2.01	10.20	1.96	5.53	0.87		
17	P ₃₅ XT37	片麻状石英闪长岩	49.10	94.70	12.30	57.0	11.90	1.45	11.00	1.96	12.70	2.38	7.02	0.98		
18	P ₄₂ XT66		67.50	150.0	17.40	78.80	17.00	1.61	11.90	2.14	13.50	2.31	5.90	0.85		
序号	Yb	Lu	Y	REE	LREE	HREE	LR/HR	ΣCe	ΣSm	ΣYb	δEu	δCe	Sm/Nd	La/Yb	La/Sm	Ce/Yb
1	2.98	0.38	21.8	226.20	186.71	39.49	4.73	179.84	18.00	28.36	0.41	0.87	0.19	18.86	9.14	27.58
2	2.77	0.33	25.0	211.31	165.72	45.59	3.64	157.11	22.55	31.65	0.46	0.93	0.20	14.15	5.17	25.74
3	7.58	1.03	45.1	462.21	376.93	85.28	4.42	363.40	37.36	61.45	0.31	0.94	0.19	14.12	8.63	22.82
4	4.51	0.64	23.8	221.65	173.32	48.33	3.59	166.07	22.03	33.55	0.14	1.12	0.21	8.80	5.71	18.59
5	2.37	0.37	19.10	226.18	190.98	35.20	5.43	188.14	13.27	24.77	1.32	1.17	0.05	19.28	27.87	41.44
6	2.82	0.44	26.20	245.15	196.62	48.53	4.05	189.60	22.29	33.26	0.33	0.97	0.14	16.21	7.23	31.21
7	3.17	0.34	25.60	153.23	108.54	44.69	2.43	102.59	17.82	32.82	0.90	1.09	0.21	7.76	5.34	16.18
8	4.38	0.60	41.10	210.96	142.07	68.89	2.06	134.68	24.62	51.64	0.69	1.20	0.25	7.54	5.50	16.34
9	2.40	0.37	22.40	149.35	110.64	38.71	2.86	105.77	15.26	28.32	0.33	0.87	0.18	12.04	6.57	19.58
10	1.62	0.26	15.50	146.44	120.63	25.81	4.67	116.39	10.68	19.37	0.51	1.81	0.25	14.51	6.32	45.49
11	5.53	0.65	40.2	302.69	229.11	73.58	3.11	216.80	33.21	52.68	0.44	0.74	0.17	10.00	5.07	15.46
12	1.67	0.23	13.8	155.79	130.06	25.73	5.06	124.86	13.37	17.56	0.75	0.72	0.17	24.61	9.74	30.48
13	5.78	0.81	47.0	285.30	201.86	83.44	2.42	190.40	33.98	60.92	0.57	0.75	0.19	8.99	5.36	13.27
14	6.80	0.93	64.3	395.78	277.57	118.21	2.35	260.10	53.68	82.00	0.36	0.97	0.25	8.93	3.87	17.65
15	2.72	0.38	28.8	187.21	137.52	49.69	2.77	130.35	21.40	35.46	0.26	1.18	0.26	11.14	4.57	24.74
16	4.65	0.72	42.8	420.70	340.76	79.94	4.26	323.30	42.83	54.57	0.44	1.03	0.18	14.54	4.36	32.69
17	5.63	0.87	53.80	322.79	226.45	96.34	2.35	213.10	41.39	68.30	0.39	0.92	0.21	8.72	4.13	16.82
18	4.94	0.70	52.60	427.15	332.31	94.84	3.50	313.70	48.86	64.99	0.33	1.05	0.22	13.66	3.97	30.36

注: Au 为 10^{-9} , 其他为 10^{-6} 由国土资源部中南矿产资源监督检测中心 (宜昌) (2004) 测试。

素 Ba、Sr、Cs、Sc、Zr、Hf、Ga、U 等含量高,高场强元素(HFSE)Nb、Rb、Ta、Th 含量低,蛛网图(图 6)上高度富集大离子亲石元素 Ba 等,略富集高场强元素(HFSE)Th、Ta、Nb、Hf,显示高场强元素相对于大离子亲石元素亏损的活动大陆边缘特征。稳定同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 为 7.5‰~8.92‰,属正常 $\delta^{18}\text{O}$ 花岗岩系列; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 为 0.71512~0.73904,平均 0.72435,>0.719(大陆壳),属高锶花岗岩类,似与陆壳的古老硅铝质源岩部分熔融有关^[20]。

3 岩石成因与构造环境探讨

3.1 岩石成因

(1) 岩石组合中各岩类均发育岩浆混合成因的

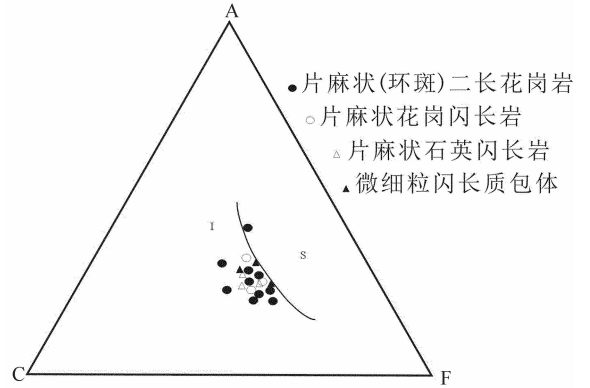


图 7 ACF 三角图解

Fig.7 ACF triangular diagram

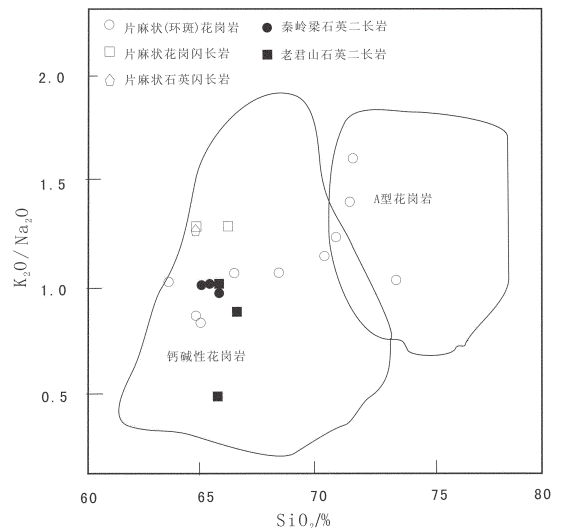
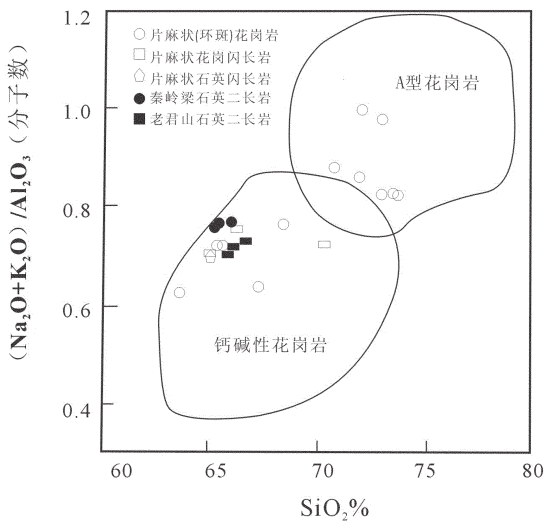
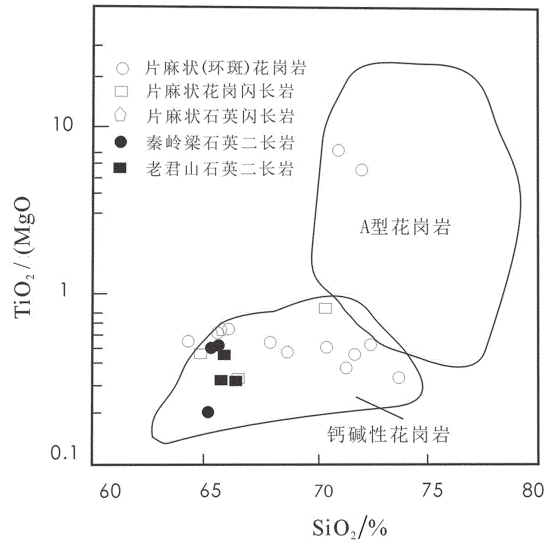
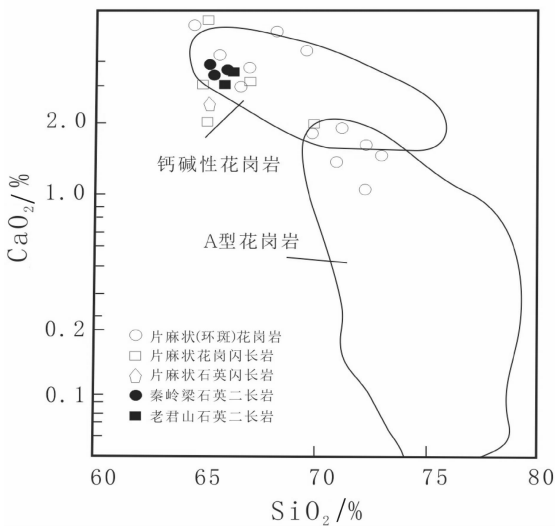


图 8 A 型花岗岩与钙碱性花岗岩判别图解^[25]

Fig.8 Discriminant diagram of A type granite and calc-alkaline granite^[25]

MME型微细粒闪长质包体及角闪石类暗色矿物,副矿物以磁铁矿、磷灰石及榍石为主;岩石化学总体表现为略富硅、富碱、富钾而相对贫钙、镁的钙碱性岩石特点, $(K_2O+Na_2O) < Al_2O_3 < (K_2O+Na_2O+CaO)$ (均为分子数),为偏铝质岩石,CIPW标准矿物出现透辉石(Di)和少量刚玉(C-norm)分子,显示I型花岗岩的特征。

(2)各类岩石的稀土元素对 $(La/Yb)_N$ 为7.54~18.86,而多数岩石的 $(La/Yb)_N$ 比值与平均比值(13.25)均 > 10,与赵振华(1985)的壳幔型花岗岩一致^[24]。岩石氧稳定同位素($\delta^{18}O$)值为5.9~8.92,为正常 $\delta^{18}O$ 花岗岩类,可能与地幔岩浆分异或(和)地壳物质的深熔、同熔作用有关, $^{87}Sr/^{86}Sr$ 为0.71217~0.73904, $\epsilon_{Sr} > 0$,反映物质具壳、幔混合成因的特点。

(3)在花岗岩类I型和S型成因划分的ACF三角图解上(图7),投影点均落入I型花岗岩区;在A型花岗岩和钙碱性花岗岩与实验熔浆的对比图解中^[25](图8),本区片麻状(环斑)二长花岗岩及其组合与秦岭梁和老君山石英二长岩构造环境相似,均为钙碱性花岗岩,而不是A型花岗岩。上述讨论表明,摩天岭环斑花岗岩及其组合岩石为I型花岗岩类。据Leak(1990)、Castro(1991)等研究,I型花岗岩岩浆并不是一个独立的岩浆,而是幔源与壳源两个端元岩浆的混合产物,也充分说明形成本期岩石组合的岩浆为

壳幔混合成因的事实。

3.2 构造环境探讨

(1)在多阳离子 R_1-R_2 构造环境判别图解中(图9),石英闪长岩、花岗闪长岩和二长花岗岩(环斑花岗岩)均大多落入造山晚期的钙碱性花岗岩区,显示了幔源与壳源岩浆混合并形成于造山晚期构造背景的成因特点。

(2)在Pearce等^[26] $(Yb+Nb)-Rb$ 和 $Y-Nb$ 判别图解中(图10),大多数样品落入火山弧花岗岩区和

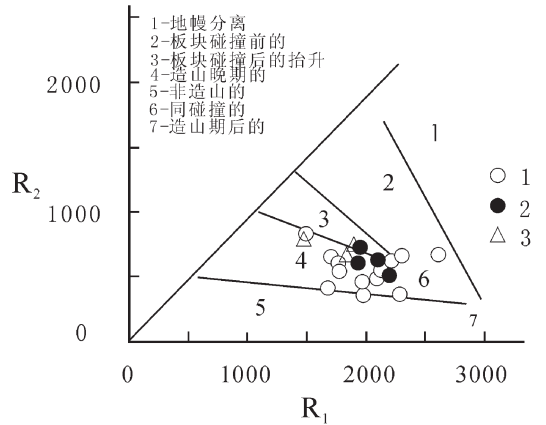


图9 R_1-R_2 图解

1—片麻状(环斑)二长花岗岩;2—片麻状花岗闪长岩;
3—片麻状石英闪长岩

Fig.9 R_1-R_2 diagram

1—Gneissic (rapakivi) adamellite; 2—Gneissic granodiorite;
3—Gneissic quartz diorite

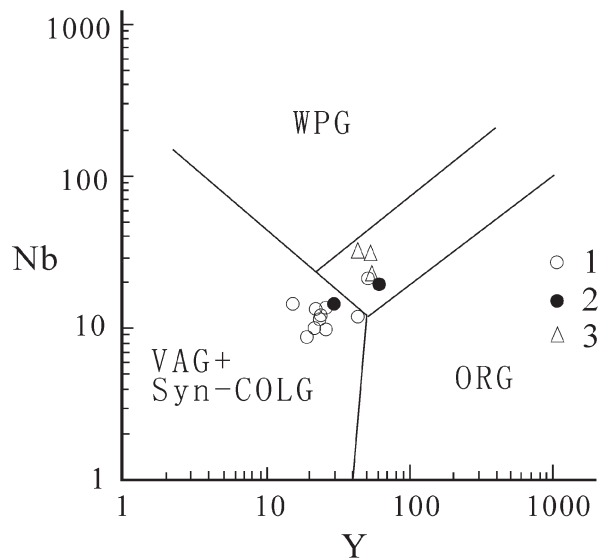
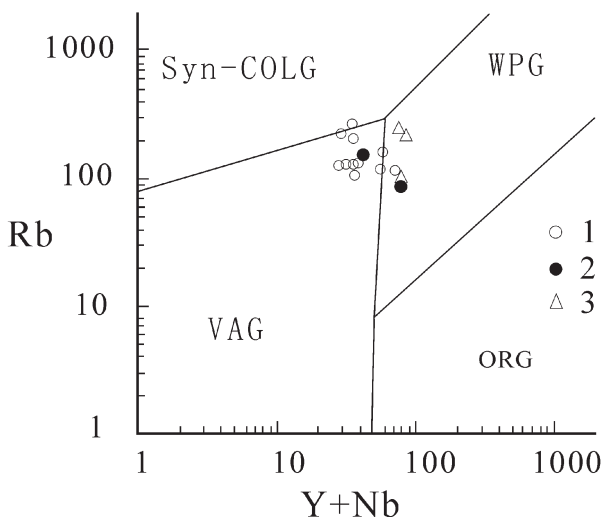


图10 $(Yb+Nb)-Rb$ 和 $Y-Nb$ 图解

VAG+Syn-COLG—火山弧+同碰撞花岗岩;WPG—板内花岗岩;ORG—洋中脊花岗岩;
1—片麻状(环斑)二长花岗岩;2—片麻状花岗闪长岩;3—片麻状石英闪长岩

Fig.10 $(Yb+Nb)-Rb$ and $Y-Nb$ diagram

VAG+Syn-COLG—Volcanic arc granite + syn-collision granite; WPG—Intraplate granite; ORG—Ocean ridge granite; 1—Gneissic (rapakivi) adamellite; 2—Gneissic granodiorite; 3—Gneissic quartz diorite

火山弧+同碰撞花岗岩区,少部分进入板内花岗岩区,表明岩石形成于火山弧或与大陆碰撞相关的构造背景。

与秦岭沙河湾环斑花岗岩的构造环境可以类比^[9],而区别于中国境内柴达木北缘鹰峰环斑花岗岩^[27]。

综合上述,摩天岭环斑花岗岩是一种不同于典型稳定克拉通环境下的造山带型环斑花岗岩,其组合岩石形成均与造山作用有关,是一种形成于造山带并与板块俯冲体制有关的岛弧或活动大陆边缘环境下的 I 型花岗岩。其组合岩石普遍发育片麻理无疑也证实其形成于挤压环境的构造背景之下。

摩天岭环斑花岗岩的侵入、发现和厘定,意味着古亚洲洋在晚石炭世发生了一次洋壳俯冲造山事件,标志着西伯利亚板块和华北板块之间广袤的古亚洲洋内块体之间的又一次碰撞和汇聚。承前启后,兴蒙造山带又将走向更加绚丽多彩的发展演化历程。

参考文献 (References):

- [1] 王晓霞,王涛,卢欣祥. 环斑花岗岩研究及存在的问题[J]. 地质科技情报, 2001, 20 (4): 19 - 23.
Wang Xiaoxia, Wang Tao, Lu Xinxiang. Studies and problems on rapakivi granites [J]. Geological Science and Technology Information, 2001, 20 (4): 19 - 23.
- [2] Ramo Haapala I. One hundred years of rapakivi granite [J]. Mineralogy and Petrology, 1995, 52: 129-146.
- [3] Vorma A. Alkali feldspars of the Wiborg rapakivi massif in southeastern Finland [J]. Bulletin de la Commission Géologique de Finlande, 1971, 246: 872.
- [4] Atso Vorma. On the petrochemistry of rapakivi granites with special reference to the Laitila massif, southwestern Finland [J]. Geological survey of Finland, 1976, 285: 655.
- [5] Bettencourt J S. Foreword. Symposium on rapakivi granite and related rocks [J]. Excursion Guide, Belem, Brazil, 1995.
- [6] Haapala I, Ramo O T. Tectonic setting and origin of the Proterozoic rapakivi granite of Southern Fennoscandia [J]. Transaction of the Royal Society of Edinburgh: Earth Science, 1992, 83: 165 - 171.
- [7] Ramo O T, Haapala I. Rapakivi granite magmatism: a globe review with emphasis on petrogenesis [C]//Demaiffe D (ed.). Petrology and Geo-chemistry of Magmatic Suites of Rock in the Continental and Oceanic Crusts. A volume dedicated to Professor Jean Michot. University Libre de Bruxelles, Royal Museum for Central Africa (Tervuren), 1996: 177-200.
- [8] Eby G N. The chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogeneses and tectonic implication [J]. Geology, 1992, 20: 641-644.
- [9] 卢欣祥, 王晓霞, 肖庆辉, 等. 答“对秦岭奥长环斑花岗岩的质疑” [J]. 地质论评, 2003, 2: 146-153.
- Lu Xinxiang, Wang Xiaoxia, Xiao Qinghui, et al. A Reply to “A Query on the So-called rapakivi granite in the Qinling orogen” [J]. Geological Review, 2003, 2: 146-153 (in Chinese with English abstract).
- [10] 赵太平. 对秦岭奥长环斑花岗岩的质疑 [J]. 地质论评, 2001, 5: 487- 491.
Zhao Taiping. A query about so-called rapakivi granites in the Qinling orogen [J]. Geological Review, 2001, 5: 487-491 (in Chinese with English abstract).
- [11] 黑龙江省地质矿产局. 黑龙江省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Heilongjiang. Regional Geology of Heilongjiang [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993 (in Chinese).
- [12] 莫宣学, 罗照华, 肖庆辉, 等. 花岗岩类岩石中岩浆混合作用的认识与研究方法[C]//肖庆辉, 邓晋福, 马大铨, 等. 花岗岩研究思维与方法. 北京: 地质出版社, 2002: 53-70.
Mo Xuanxue, Luo Zhaohua, Xiao Qinghui, et al. Evidence of magma mixing in granitoids plutons and the way of investigation in the way of investigation on granitoids [C]//Xiao Qinghui, Den Jinfu, Ma Dashun, et al. (eds). Thought and way of investigation on granitoids. Beijing: Geological Publishing House, 2002, 53-70 (in Chinese).
- [13] 王晓霞, 王涛, 卢欣祥. 北秦岭中生代沙河湾岩体环斑结构特征及有关问题的讨论 [J]. 地球学报, 2002, 23(1): 30-36.
Wang Xiaoxia, Wang Tao, Lu Xinxiang. Characteristics of rapakivi texture in Mesozoic Shahewan granite of north Qinling Mountains and some related problems [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2002, 23 (1): 30-36 (in Chinese with English abstract).
- [14] 张静, 陈衍景, 舒桂明, 等. 陕西西南部秦岭梁花岗岩体的矿物成分研究和相关问题讨论 [J]. 中国科学, 2002, 2: 113-120.
Zhang Jing, Chen Yanjing, Shu Guiming, et al. A study on the mineral composition of Qinlingiang granite pluton in southwestern Shaanxi and a discussion on related problem [J]. Science in China (Ser. D), 2002, 32 (2): 113-120 (in Chinese).
- [15] 卢欣祥, 董有, 常秋岭. 秦岭印支期沙河湾奥长环斑花岗岩及其动力学意义 [J]. 中国科学(D 辑), 1996, 26 (3): 244-248.
Lu Xinxiang, Dong You, Chang Qiuling. Indosinian Shahewan rapakivi granite in Qinling and its dynamic significance [J]. Science in China (Series D), 1996, 26 (3): 244-248 (in Chinese).
- [16] 郁建华, 傅会芹, 张凤兰, 等. 华北地台北部非造山带环斑花岗岩及有关岩石[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996: 44-61.
Yu Jianhua, Fu Huiqin, Zhang Fenglan, et al. Anorogenic Rapakivi Granites and Related Rocks in Northern of the North China Craton [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1996: 44-61 (in Chinese).
- [17] Stimac J A, Wark D A. Plagioclase mantles on sanidine in Silicic Lavas, Clear Lake, California: Implications for the origin of rapakivi texture [J]. Geological Society of America Bulletin, 1992, 104 (6): 728 - 744.
- [18] 王晓霞, 卢欣祥. 秦岭沙河湾环斑花岗岩中黑云母的研究及其

- 意义[J]. 岩石矿物学杂志, 1998, 17(4):352-358.
- Wang Xiaoxia, Lu Xinxiang. A study of biotite from the Shahewan rapakivi granite in Qinling and its significance [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 1998, 17 (4):352-358 (in Chinese with English abstract).
- [19] 王晓霞, 王涛, 卢欣祥, 等. 老君山、秦岭梁环斑结构花岗岩岩浆混合的岩相学证据及其意义[J]. 地质通报, 2002, 21(8/9):523-529.
- Wang Xiaoxia, Wang Tao, Lu Xinxiang, et al. Petrographic evidence of hybridization of magmas of the Laojunshan and Qinlingliang rapakivi - textured granites in the north Qinling and significance[J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21 (8/9):523-529 (in Chinese with English abstract).
- [20] 李志昌, 路远发, 黄圭成. 放射性同位素地质学方法与进展[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 2004:47- 62.
- Li Zhichang, Lu Yuanfa, Huang Guicheng. Method and Progress of Radioisotope Geology [M]. Wuhan:China University of Geoscience Press, 2004:47- 62(in Chinese).
- [21] 张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用——金属活化热液成矿作用及找矿[M]. 西安:陕西科学技术出版社, 1985.
- Zhang Ligang. Application of Stable Isotope in Geological Science [M]. Xi'an:Shaanxi Science and Technology Press, 1985 (in Chinese).
- [22] 郝辉. 花岗岩类中的闪长质微粒包体[J]. 沈阳黄金学院学报, 1995, 14(3):316-319.
- Hao Hui. On Dioritic Microgranular Enclave in Granitoid [J]. Journal of Shenyang Institute of Gold Technology. 1995, 14(3): 316-319.
- [23] 王涛. 花岗岩混合成因研究及大陆动力学意义 [J]. 岩石学报, 2000, 16(2):161-168.
- Wang Tao. Hybrid origin of granites and continental dynamics[J]. Acta Petrologica Sinica, 2000, 16 (2):161-168 (in Chinese with English abstract)..
- [24] 赵振华. 微量元素地球化学原理[M]. 北京:科学出版社, 1997: 114-184.
- Zhao Zhenhua. Geochemical Principle of the Trace Elements [M]. Beijing:Science Press, 1997:122-125 (in Chinese).
- [25] 邓晋福, 罗照华, 苏尚国, 等. 岩石成因、构造环境与成矿作用 [M]. 北京:地质出版社, 2004.
- Deng Jinfu, Luo Zhaohua, Su Shangguo, et al. Lithogenesis, Tectonic Setting and Ore Deposition [M]. Beijing:Geological Publishing House, 2004 (in Chinese).
- [26] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G.Trace element discrimination diagrams for the tectonic of granitic rocks [J]. J. Petrol.,1984, 25:956-983.
- [27] 肖庆辉, 卢欣祥, 王菲, 等. 柴达木北缘鹰峰环斑花岗岩的时代及地质意义[J]. 中国科学(D 辑), 2003, 33(12):1194-1200.
- Xiao Qinghui , Lu Xinxiang, Wang Fei, et al. Geochronological studies of rapakivi granites in north of Qaidam basin and its geological implications [J]. Science in China (Series D), 2003, 33 (12):1193 - 1200 (in Chinese).

Characteristics and significances of rapakivi in Yichun area of Xiaoxinganling, Heilongjiang Province

ZHAO Han-dong¹, LIU-Yong³, DENG Jin-fu¹,
XIAO Qing-hui³, MA Li-ling², YANG Yuan-jiang²

(1.State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Ministry of Education, Beijing 100083, China; Key Laboratory of Lithospheric Tectonics and Lithoprobng Technology, China University of Geosciences, Ministry of Education, Beijing 100083, China; 2.Heilongjiang Institute of Geological Survey, Harbin 150036, China; 3.Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: Through 1:250000 geological mapping of Hegang City, the authors discovered adamellite in Motianling area in the middle and south of the Xiaoxinganling Mountain, which has the rapakivi texture, and was formed in Late Carboniferous. The rapakivi feldspars are idiomorphism and assume mainly broad platy or broad columnar and subordinately spherical forms. The sizes of the rapakivi feldspars vary from 2 cm to 3.5cm. The core is pink alkali feldspar, and the crust is grayish white plagioclase 1-2mm in size. Some are spherical phanocrysts without rapakivi. A study of lithofacies, petrochemical and geochemical characteristics of the Motianling raparkivi granite and the rock assemblage shows that it is different from the representative anorogenic raparkivi granite of the Precambrian orogenic belt. It is the I-type granite in the orogenic belt related to the subduction of the plate system and the active continental margin of the island.

key words: rapakivi granite; rock assemblage; orogenic belt; I-type; Xiaoxinganling

About the first author: ZHAO Han-dong, male, born in 1963, Ph. D, senior engineer, mainly engages in regional geological survey and management; E-mail: handonz@tom.com.