

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

新疆阿尔泰造山花岗岩和非造山 花岗岩及其判别标志

邹天人

曹惠志 吴柏青*

(中国地质科学院矿床地质研究所,北京)

(新疆冶金地质研究所,乌鲁木齐)

本文在区域花岗岩野外地质研究的基础上,选择有代表性的各类花岗岩体进行了同位素年代学、岩石学、造岩矿物、副矿物、岩石化学、微量元素地球化学和稳定同位素地球化学研究后,认为区内除造山花岗岩系列的岩体外,同时还存在非造山花岗岩系列的岩体。两个花岗岩系列的岩体不仅形成于不同的时期,而且具有不同的物质来源和构造环境,同时伴有不同的矿化现象,分属于两个不同的成矿系列,两者具有明显的一系列判别标志。文中讨论的问题对于造山带花岗岩的研究,特别是区域花岗岩的成因及其有关的成矿作用的研究均具有重要的理论和实际意义。

在约 64000 km² 的阿尔泰地区,分布着大量的花岗岩,其出露面积占全区的 40%。对于区内花岗岩的一般情况,曾有过一些报道(王广耀和许培春, 1983^[1]; 芮行健和吴玉金, 1984^[2]; 刘峰标, 1983^[2]), 而且一致认为,区内仅在友谊峰一带有少量加里东期花岗岩,同时认为印支-燕山期花岗岩占有较大的比重。对于阿尔泰花岗岩的成因,则一直存在着变质成因和岩浆成因之争。笔者等对于区内花岗岩的认识也曾作过一些报道(邹天人等, 1986^[1], 1986^[2], 1987^[4]), 同时感到对于区域花岗岩的研究,应当注意花岗岩形成的地质条件和构造环境,由此出发,方能较全面地认识花岗岩形成的全过程,从而才有可能较准确地预测与花岗岩有关的矿产。因此,本文将重点介绍笔者在这方面所取得的研究成果。

一、阿尔泰花岗岩的形成时代

笔者综合了近几年所取得的研究成果,将区内花岗岩的形成时代作了统一划分(见图 1 和表 1),可以看出:

(一) 区内花岗岩的形成与区域地质发展历史紧密联系。笔者近几年在区内又发现了加里东期英云闪长岩-花岗闪长岩体和加里东期交代花岗岩,从而认为区内在志留纪末和早石炭世末,哈萨克斯坦板块东南缘(包括阿尔泰山以南的准噶尔广大地区)曾两度向

* 参加部分野外工作的还有特列提、杨岳清同志。参加部分室内工作的还有杨炳滨、段尚志、吕巧玲、李龙乾、余时美同志。

1) 王广耀、许培春, 1983, 新疆阿尔泰地区岩浆岩的特征及其与成矿的关系。西北地质。

2) 刘峰标, 1983, 阿勒泰古板块与内生矿床。西北地质。

本文 1987 年 7 月收到, 12 月改回, 罗正华编辑。

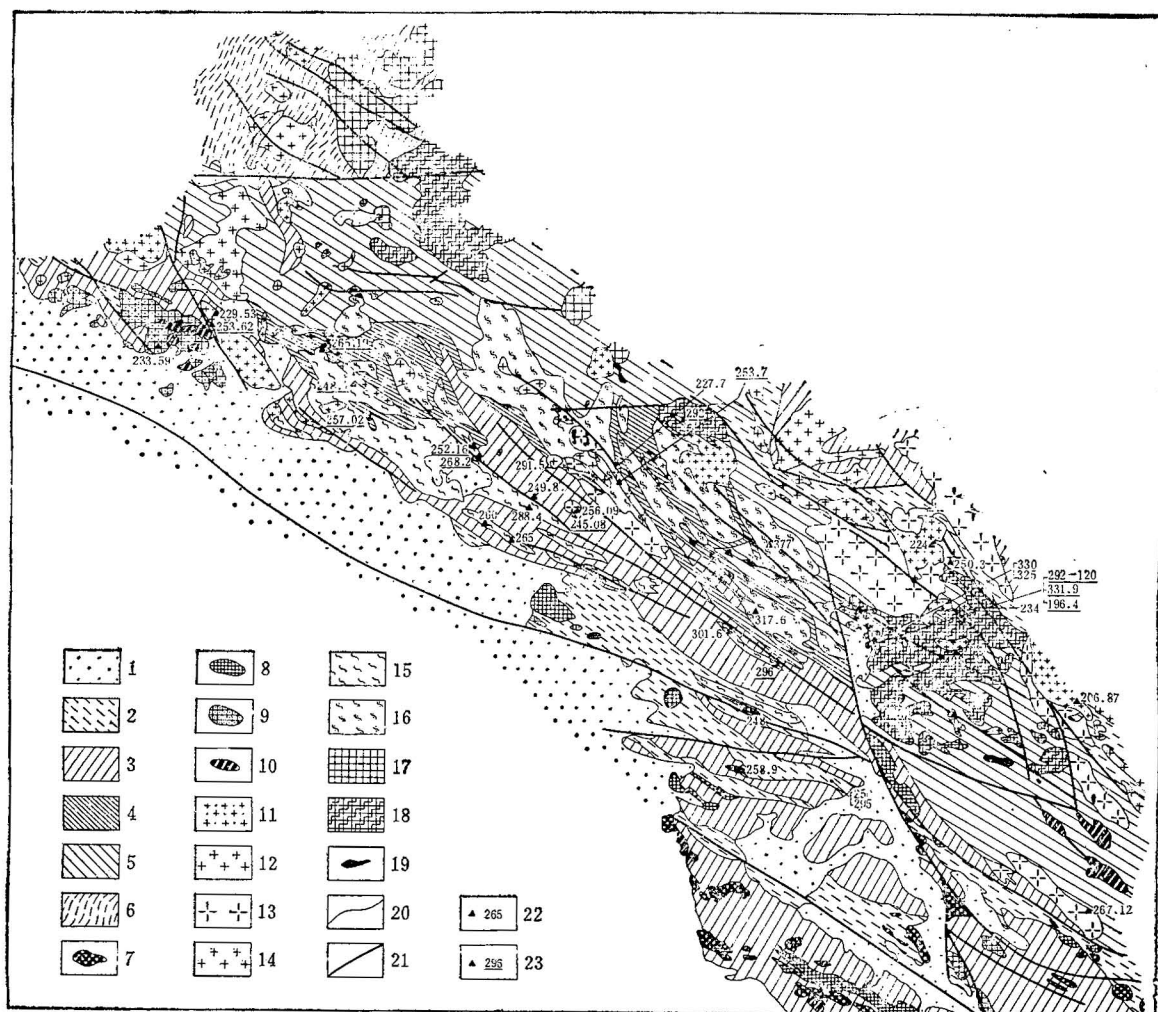


图 1 新疆西北部阿尔泰花岗岩地质图

Fig. 1. Geological sketch map of granitoids in Altay Mts., Northwest Xinjin

1—6 沉积-变质岩:

1. 新生代盆地沉积物; 2. 下石炭统砂页岩夹火山岩; 3. 中下泥盆统砂页岩夹流纹岩; 4. 中上志留统片岩、千枚岩; 5. 中上奥陶统片麻岩、片岩; 6. 震旦-寒武系千枚岩、板岩;

7—10 非造山花岗岩系列:

海西晚期 7.碱性钠铁闪石花岗岩及碱性钠铁闪石正长岩; 8.黑云母花岗岩; 9.英云闪长岩-花岗闪长岩; 10.闪长岩-苏长岩-斜方辉橄岩;

11—19 造山花岗岩系列:

海西中晚期 11.二云母花岗岩及白云母花岗岩; 12.中粒黑云母花岗岩; 13.似斑状黑云母花岗岩;
14.角闪-黑云母花岗岩; 15.泥盆-石炭系深变质花岗岩片麻岩-片麻花岗岩;

加里东期 16. 奥陶-志留系深变质花岗岩片麻岩-片麻花岗岩; 17. 黑云母花岗岩; 18. 英云闪长岩-花岗岩闪长岩; 19. 闪长岩-辉长岩;

20.地质界线; 21.断层; 22.花岗岩同位素年龄 (Ma) 23.伟晶岩同位素年龄 (Ma)

表1 阿尔泰山花岗岩和非造山花岗岩的时代划分及同位素年龄值

Table 1. Intrusive time and isotopic age of the orogenic and anorogenic granitoids in Altay Mts.

形成时期	造山花岗岩系列	非造山花岗岩系列	岩体的地质关系	K-Ar 法		Rb-Sr 法		U-Pb 法		邻区(蒙古) K-Ar 法年龄值 ¹⁾	
				测定矿物	年龄值 (Ma)	测定方法	年龄值 (Ma)	测定矿物	年龄值 (Ma)	测定矿物	年龄值 (Ma)
海西晚期		碱性钠闪正长岩	侵入于 D、C								
		碱性钠闪正长岩	侵入于 D、C							黑云母	230±16
		黑云母花岗岩	侵入于 D、C	黑云母	248						
		英云闪长岩-花岗岩	侵入于 D、C	黑云母	258.9 ¹⁾ 233.59						
		闪长岩-辉长岩	侵入于 D ₁	全岩	250 ²⁾ 295						
	白云母花岗岩		侵入二云母花岗岩及黑云母花岗岩, 有的侵入于 O ₂₋₃ , S ₂₋₃ , D ₂	白云母	227.7 206.87	全岩等时线	234±12				
	伟晶岩脉		侵入二云母花岗岩顶部及上部的各种岩石	白云母	268.2 252.16 265.19 253.62					白云母	277±16 222±14 186±12
	二云母花岗岩		侵入于似斑状黑云母花岗岩及 O ₂₋₃ , D ₁₋₂ , C ₁	黑云母 白云母	249.8 229.53	全岩等时线	224±5			黑云母 白云母	217±18 264±21 205±10
	中粒黑云母花岗岩		侵入于 O ₂₋₃ , S ₂₋₃ , D ₂ 变质岩内			全岩等时线	291.5				
	伟晶岩脉		侵入于黑云母花岗岩顶部及上部各类岩石	白云母 钾长石	292—120 ³⁾ 292	全岩等时线	331.9±1.5	锆石	196.4±0.1 ⁴⁾		
海西中期	似斑状黑云母花岗岩		侵入于 O ₂₋₃ , D ₁₋₂ , C ₁	黑云母	330 ³⁾ 325 ³⁾ 267.12 ³⁾ 250.3					黑云母	359±16 350±20 357±20 365±24
	角闪-黑云母花岗岩		侵入于 O ₂₋₃ , D ₁₋₂ , C ₁								
	黑云母伟晶岩脉		只分布在 D—C 的背斜核部片麻岩-黑云母花岗岩-花岗岩片麻岩内			全岩等时线	296±4				
	片麻黑云母花岗岩-黑云母花岗岩片麻岩		分布于 D—C 的背斜核部	黑云母	301.6 288.4 260 265						
	二云母伟晶岩脉		分布于 O—S 变质岩内							白云母	377±10 373±14
	片麻黑云母花岗岩-黑云母花岗岩片麻岩		分布于 O—S 变质岩的背斜核部	黑云母	317.6	全岩等时线	377±18				
	二云母花岗岩		侵入于 z—z 千枚岩、板岩							黑云母	366; 352 312.367 353.291 391
	英云闪长岩-花岗岩-闪长岩		侵入于 z—z 千枚岩、板岩及 O ₂₋₃ 片麻岩			全岩等时线	408±46				
	闪长岩-苏长岩		侵入于 O ₂₋₃ 片麻岩								402
加里东期											

- 1) 据新疆第二区地质调查队; 2) 据新疆第四地质大队; 3) 样品取自具有 10 个结构带的 3 号伟晶岩脉, 从顶部带到核部的同位素年龄值由 292→275→211→175→120Ma; 4) 该带白云母的 K-Ar 年龄值为 175 Ma; 5) 据新疆第一区地质调查队; 6) 据 Гаврилова С. П. 1975. Гранитоидные формации западной Монголии. Изд. «наука». 本文资料由中国地质科学院地质研究所、北京矿产地质研究所、桂林矿产地质研究所、冶金部天津地质研究所和中国科学院地球化学研究所等单位测定

西伯利亚板块俯冲,形成加里东期和海西期造山花岗岩。这些花岗岩是在挤压性构造环境下,既有区域超变质作用条件下形成的交代花岗岩,也有重熔岩浆侵位花岗岩;前者与围岩为逐渐过渡,后者以底辟式侵入为主,形成具片麻状构造的岩基、单斜岩体和岩株等。造山以后(海西晚期)沿阿尔泰山南缘——板块缝合线发生张裂性断裂,在张裂性构造环境下形成了非造山系列的不具片麻构造的岩株状侵入体和沿隙充填的侵入体,同时伴有中基性岩浆的火山喷发(邹天人等,1987)^[4]。

(二) 区内还可能存在更古老的花岗岩。在一些地区的中、上奥陶统变质岩内和上奥陶统底砾岩内都曾发现花岗岩砾石,至今还未追索到这些花岗岩砾石的归属和形成时代。

(三) 区内可能不存在印支-燕山期花岗岩。前人仅据花岗岩的一些 K-Ar 法同位素年龄(体积法测定)资料划分出很多印支-燕山期花岗岩,并由此得出结论:阿尔泰山的区域变质作用发生于印支-燕山期。这可能是由于样品处理不当(选黑云母单矿物时烘烤温度高于 100℃ 而使 Ar 丢失)及体积法数据偏低所致。

(四) 伟晶岩的形成时代与花岗岩的形成时间相呼应。富含挥发分的花岗岩浆冷凝(温度降低)时必然有富水的流体相——伟晶岩浆从一般的花岗岩浆内分离出来(邹天人等,1985_{1,2})^{[9],[6]},外侵形成伟晶岩。由于它们在向上运移过程中常常比花岗岩更快地分异结晶,其年龄值可稍早于母体花岗岩。但是,值得注意的是当这种富水伟晶岩浆富含碱(K + Na)及稀碱(Li + Rb + Cs)金属时,在侵入到相对较封闭的空间后,从外部向中心部位的结晶作用进行得非常缓慢。笔者等从外向内逐带取样作了同位素年龄测定(邹天人等,1986₂)^[3],表明从结晶开始到结束经历了很长时间(约 100Ma 以上),才形成了由 10 个结构带构成的清晰而奇特的同心环带状构造。此结论笔者只作为一个问题提出,尚须进一步研究。

(五) 同源岩浆花岗岩,从主侵入体到辅侵入体的形成可能经历了很长的时间。例如得到野外和室内资料确证为同源岩浆顺序侵入结晶的似斑状黑云母花岗岩 → 二云母花岗岩 → 白云母花岗岩。经同位素年龄测定,从 330—234Ma,也是经历了约 100Ma 的时间。与同心环带状构造伟晶岩的形成时间非常一致。因此,应该引起同位素年代学研究者注意这个非常有趣的问题。

二、阿尔泰山花岗岩的岩石学特征

将区内各时代花岗岩的石英(Q)、钾长石 + An < 5 的钠长石(A)和斜长石(P)置换算为 100 后,投入 Q-A-P 图(国际地质科学联合会推荐的深成岩分类和命名法)^[7]对阿尔泰山花岗岩进行分类命名。图 2-I 是加里东期和海西期交代花岗岩。为便于比较,也把它们源的岩(奥陶—志留纪及泥盆—石炭纪的变质岩)投入图内。可见,交代花岗岩类的矿物成分变化很大,在短距离内就发生从英云闪长岩到钾长花岗岩的巨大变化。显然,这类岩体未经过岩浆均一化阶段。同时样点分布与地层变质岩样点分布十分相似,因此,有理由认为这类花岗岩是在造山挤压环境下,由沉积岩在超变质作用过程中,在来自深部的浆汁或热流体参与下,以及自身变质水溶液的作用下,经过交代作用和重结晶作用形成。

图 2-II 是加里东期的两种侵入岩体,一为英云闪长岩-花岗闪长岩类岩体,同时投入

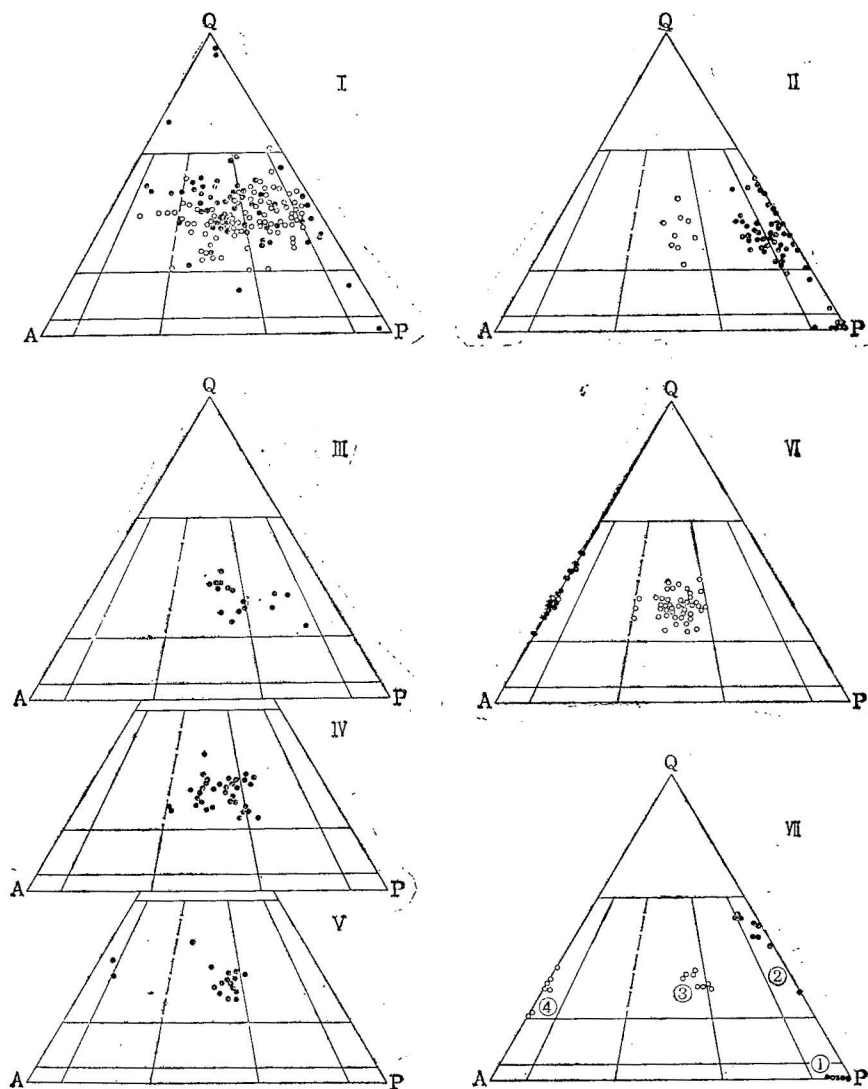


图2 阿尔泰花岗岩类的分类和命名^[7]

Fig. 2 Classification and nomenclature of granitoids in Altays Mts. ^[7]

造山花岗岩系列: I. 加里东期和海西期交代花岗岩(圆圈)和奥陶-志留纪及泥盆-石炭纪地层变质岩(黑点); II. 加里东期闪长岩-石英闪长岩-英云闪长岩-花岗闪长岩(黑点)和黑云母花岗岩(圆圈); III. 海西期角闪黑云母花岗岩; IV. 海西期似斑状黑云母花岗岩; V. 海西期中粒黑云母花岗岩; VI. 海西期二云母花岗岩(圆圈)和白云母花岗岩(黑点);非造山花岗岩系列: VII-① 闪长岩(黑点); VII-② 英云闪长岩(黑点); VII-③ 黑云母花岗岩(圆圈); VII-④ 碱性钠铁闪石花岗岩(圆圈)

空间上共同产出的闪长岩类岩石。值得注意的是闪长岩类岩石除投进闪长岩区外,有的投入石英闪长岩区,有的还落到英云闪长岩区,清楚地显示了闪长岩类和英云闪长岩-花岗闪长岩体之间在成分上的演化关系。其二为黑云母花岗岩类岩体,属于二长花岗岩,岩

性稳定,成分单一。与前者在空间上和成分上未见到明显的联系。

图 2-III、IV、V 是海西期的三种黑云母花岗岩类岩石。显然,除少量属于花岗闪长岩外,主要为二长花岗岩,偶尔出现碱长花岗岩。

图 2-VI 是海西期的浅色花岗岩,其中,二云母花岗岩主要为二长花岗岩,仅有个别小岩株属于碱长花岗岩。而白云母花岗岩株全部属于碱长花岗岩。

上述事实说明,造山挤压性构造环境形成的花岗岩,存在着交代花岗岩和重熔岩浆交代花岗岩。交代花岗岩的特点是岩石类型复杂,其成分完全依赖于源岩成分,在岩石分类图上各种岩石杂乱无章分布。重熔岩浆花岗岩的岩石类型虽然也较多,但随分异结晶(从早到晚)岩石成分逐渐向酸性富碱方向演化。

图 2-VII 是非造山的张裂性构造环境下形成的闪长岩、英云闪长岩、黑云母花岗岩及碱性钠铁闪石花岗岩。这四类岩石在图内分别各自落到一个区内,其间没有发现相互过渡的岩类。说明它们之间不存在岩浆演化的关系,似乎各有自己的岩浆源。

三、阿尔泰花岗岩的岩石化学特征

区内已获得花岗岩的岩石化学数据 316 个,中基性侵入岩 74 个,一起列于表 2。

(一) 造山期挤压性构造环境形成的花岗岩系列中的加里东期侵入岩,由辉长岩-闪长岩-石英闪长岩→英云闪长岩-花岗闪长岩→花岗岩。酸度(SiO_2)增大,碱质($\text{K} + \text{Na}$)增加, Ti 、 Fe 、 Mg 、 Ca 降低。而海西期侵入岩则由角闪黑云花岗岩→黑云母花岗岩→二云母花岗岩→白云母花岗岩,也具有相似的演化特点,但远比加里东期花岗岩酸性强,碱质高,更富含挥发分 H_2O 及 F 等,与其有关的矿化也显著,具有典型的重熔岩浆演化的特征。而在造山环境下形成的交代花岗岩的化学成分则很不均一,单个样品之间 Si 、 Al 、 Ti 、 Fe 、 Mn 、 Mg 、 Ca 、 Na 、 K 变化幅度大(SiO_2 61.90—78.62; Al_2O_3 11.01—16.25; TiO_2 0.00—1.24; Fe_2O_3 0.09—6.49; FeO 0.26—5.33; MnO 0.00—1.07; MgO 0.04—3.20; CaO 0.06—6.73; Na_2O 2.16—7.08; K_2O 0.22—5.95); 继承了源岩——沉积-变质岩成分变化大的特点。但是,其平均成分仍与重熔岩浆花岗岩的化学成分很相近。唯 Al 、 K 略偏低,而 Si 、 Na 偏高。

(二) 张裂性构造环境下形成的非造山花岗岩系列岩石的化学成分与造山花岗岩有以下不同点:

1. 对闪长岩-苏长岩类侵入岩来说,在张裂性构造环境下形成的岩体分异程度高,从地表向深部 SiO_2 降低, Fe 、 Mg 增加,特别是 $\text{Mg}/(\text{Fe} + \text{Mg})$ 增加, Ca 、 Na 、 K 降低,而 S 、 Ni 、 Cu 增加。

2. 英云闪长岩-花岗闪长岩的特点是 Si 高, Al 不饱和, Fe 、 Mg 、 Ca 、 Na 、 K 低。

3. 黑云母花岗岩更富含 Si 和 Na 、 K 。

4. 出现钠质火成岩系数 $\left(\frac{\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3}\right) > 1(\text{mol}\%)$ 的碱性花岗岩和碱性正长岩。

($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) = 10% 左右,且 $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$, 含有碱性矿物钠闪石或钠铁闪石。同时富含 Zr 和 F , 锆石和萤石在岩石内呈副矿物均匀分布。

表 2 阿尔泰造山花岗岩和非造山花岗岩的平均化学成分

Table 2 Average chemical composition of the orogenic and anorogenic granitoids in Altay Mts.

形成时代	造山花岗岩系列	非造山花岗岩系列	样品数	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	H ₂ O ⁺	F	Σ
海西晚期		斜方辉橄岩	3	38.08	0.08	1.45	6.57	1.87	0.05	38.07	1.17	0.50	0.007	0.002	12.91	0.22*	100.979
		橄辉苏长岩	17	43.16	0.98	8.11	4.64	11.10	0.29	20.40	3.13	1.61	1.31	0.48	3.39	2.04*	100.64
		辉长辉绿岩	13	45.08	1.32	14.42	3.12	9.73	0.19	9.16	5.36	3.22	1.35	0.58	4.04	2.49*	100.06
		角闪苏长岩	16	50.43	0.70	9.88	3.77	7.51	0.24	13.68	4.53	2.09	1.27	0.36	3.00	1.86*	99.32
		闪长岩	13	52.94	0.95	15.48	2.57	5.82	0.16	6.07	5.64	3.67	1.70	0.49	3.59	0.756*	99.836
		英云闪长岩-花岗闪长岩	10	74.69	0.30	13.47	1.46	1.27	0.05	0.89	2.72	3.13	1.45	0.12	0.26	0.04	99.85
		黑云母花岗岩	14	74.43	0.13	13.19	0.55	0.94	0.06	0.46	1.12	4.02	4.31	0.12	0.44		99.77
		碱性钠铁闪石花岗岩	5	74.81	0.20	12.09	2.06	0.45	0.09	0.10	0.48	5.08	4.84	0.04	0.26		100.50
		碱性钠铁闪石正长岩	1	60.91	0.99	18.55	4.56	1.99	0.06	1.38	2.06	5.47	5.11				101.08
		非造山花岗岩面积加权平均值	30	74.63	0.22	13.13	1.28	0.95	0.06	0.54	1.60	3.93	3.30	0.10	0.33		100.07
海西	角闪黑云母花岗岩		12	70.30	0.41	14.27	0.76	2.17	0.14	0.93	2.60	3.49	3.69	0.22	0.77	0.06	99.81
	似斑状黑云母花岗岩		34	71.74	0.37	13.83	0.96	1.66	0.05	0.41	1.73	3.39	4.64	0.21	0.45	0.09	99.53
	中粒黑云母花岗岩		19	73.37	0.31	13.45	0.74	1.47	0.06	0.65	1.30	3.83	3.97	0.11	0.71	0.04	100.01

中 晚 期	二云母花岗岩	45	72.86	0.20	14.08	0.73	1.19	0.08	0.55	1.22	3.50	4.51	0.20	0.52	0.07	99.71
	白云母花岗岩	16	75.04	0.07	13.68	0.35	0.53	0.07	0.25	0.52	4.22	4.11	0.15	0.44	0.14	99.57
	花岗岩脉	6	76.38	0.44	12.83	0.54	0.80	0.01	0.40	1.01	4.51	2.12	0.05	0.61		99.70
	海西期花岗岩平均值	132	72.50	0.31	13.93	0.82	1.53	0.08	0.71	1.72	3.54	4.04	0.19	0.53	0.08	99.98
	片麻黑云母花岗岩-黑云母花岗岩片麻岩	34	72.50	0.30	13.50	1.26	1.58	0.05	0.72	1.82	4.20	3.10	0.11	0.56	0.03	99.73
	片麻黑云母花岗岩-黑云母花岗岩片麻岩	83	74.91	0.24	12.84	0.62	1.17	0.04	0.64	1.71	3.96	2.93	0.07	0.48	0.06	99.67
	加里东期 交代花岗岩平均值 海西期	117	74.21	0.26	13.03	0.83	1.29	0.04	0.66	1.74	4.03	2.98	0.08	0.49	0.05	99.66
	黑云母花岗岩	11	70.25	0.54	14.03	1.36	2.24	0.45	1.24	1.91	2.66	3.57	0.46	0.87	0.07	99.65
	英云闪长岩-花岗闪长岩	36	64.30	0.67	15.74	1.92	3.58	0.13	2.14	4.61	3.12	2.25	0.19	0.78	0.09	99.52
	闪长岩-辉长岩	18	52.63	1.28	15.94	3.50	5.52	0.16	6.26	9.25	1.77	1.04	0.23	1.48	0.01	99.15
加里 东期	加里东期花岗岩平均值	47	68.58	0.56	14.51	1.56	2.61	0.32	1.54	2.85	2.81	3.04	0.34	0.79	0.08	99.59
	加里东期 造山花岗岩面积加权平均值 海西期	296	72.24	0.34	13.69	0.93	1.65	0.11	0.87	1.92	3.59	3.46	0.18	0.53	0.07	99.58
	蒙古西部花岗岩面积加权平均值	8	69.82	0.32	13.92	0.86	2.78	0.07	1.30	1.69	3.64	4.31	0.24	0.51	0.06	99.52
	海南花岗岩	20	72.17	0.31	13.33	0.82	2.05	0.06	0.75	1.54	3.74	4.18	0.12	0.43	0.07	99.57
	中国花岗岩	1227	72.05	0.28	13.72	0.98	1.96	0.08	0.66	1.38	3.22	4.54	0.12	0.96		99.95
			70.41	0.31	14.68	1.37	1.80	0.08	1.01	2.01	3.76	3.87	0.19	0.61		100.00

* 为 S, Cr_2O_3, Ni, Cu 等含量。

四、阿尔泰造山花岗岩和非造山花岗岩的判别标志

据我们研究,阿尔泰造山花岗岩和非造山花岗岩的主要判别标志见表 3, 其中一些主要的特征简述如下:

(一) 花岗岩的 $Al_2O_3/(Na_2O + K_2O + CaO)$ 摩尔比值与分异指数 (DI) 关系图可以区分造山花岗岩和非造山花岗岩的类型 (见图 3), 图中以 $Al_2O_3/(Na_2O + K_2O + CaO) = 1.05$ 作为 I 型花岗岩 (下部) 和 S 型花岗岩 (上部) 的分界线 (据 W.S.Pitcher, 1983)^[8]。图 3-I、II、III 为造山花岗岩系列的岩石, 其中图 3-I 是加里东期的闪长岩-石英闪长岩-英

表 3 阿尔泰造山花岗岩和非造山花岗岩的主要判别标志

Table 3. Principal criteria of discriminating Altay Mts.
orogenic and anorogenic granitoids

判别标志		造山花岗岩系列	非造山花岗岩系列
构造位置		大洋岩石圈俯冲到大陆岩石圈之下的地区	张裂性板块边界(缝合线)附近
构造环境		挤压性	张裂性
侵入时期		S 末期和 C ₁ 末期	P ₂ 末期
侵入体形态		岩基、层状侵入体、岩株	岩株、岩瘤
岩浆岩组合		辉长岩-闪长岩-石英闪长岩; 英云闪长岩-花岗闪长岩; 角闪黑云母花岗岩; 似斑状黑云母花岗岩; 黑云母花岗岩; 二云母花岗岩; 白云母花岗岩	斜长辉岩-苏长岩-闪长岩; 英云闪长岩-花岗闪长岩; 黑云母花岗岩; 碱性钠铁闪石花岗岩; 碱性钠铁闪石正长岩
有关的脉岩		大量的伟晶岩脉、花岗岩脉	花岗斑岩脉、石英斑岩脉、碳酸岩脉
岩石结构		花岗变晶结构	花岗结构、文象结构
岩石构造		片麻构造	块状构造、晶洞构造
造岩矿物特征	角闪石	普通角闪石	钠铁闪石-钠闪石
	云母	铁质黑云母、铁叶云母、铁白云母、白云母、含锂白云母	镁质黑云母、铁叶云母
	钾长石	微斜长石	正长石、条纹长石
岩石化学特征		Al_2O_3 过饱和	Al_2O_3 不饱和
		高的钙碱指数: 61—64	低的钙碱指数: 51—55
		无过碱性岩石	有过碱性岩石
		分异指数和标准斜长石单峰频率分布	分异指数和标准斜长石双峰频率分布
		AFM 图上数据点沿 FM 边分散性较小	AFM 图上数据点在 FM 边附近很分散
微量元素特点		较低的 K/Rb 比值; REE 含量受分异结晶作用控制, 且 LREE/HREE 比值较高	较高的 K/Rb 比值; REE 含量受岩浆的部分熔融程度控制, 且 LREE/HREE 比值较低
挥发分		H ₂ O、F、B	F、Cl、S
花岗岩类型		加里东期主要为 I 型, S 型少; 海西期为 S 型	主要为 I-型和 A-型, S-型少
有关的超变质岩		伴有变质成因的交代花岗岩	无变质成因的交代花岗岩
有关的矿化		稀有金属、Mo、W(Sn)、工业白云母、宝石	Cu-Ni、Au、Pb、Zn、REE、Nb、Zr

云闪长岩-花岗闪长岩,位于图下部,属于 I 型花岗岩。而黑云母花岗岩分布于图上部,属于 S 型花岗岩。图 3-II 为加里东期和海西期的交代花岗岩,样点大部分落入 I 型花岗岩范围,表明其源岩主要为未经风化搬运的火成岩,或说明在交代花岗岩形成过程中仍有相当多的组分来自较深部位。图 3-III 是海西期重熔岩浆花岗岩,集中于 S 型花岗岩区,浅色花岗岩更是如此。少部分样点投入 I 型花岗岩区,它们是早期形成的黑云母花岗岩。应当认为,形成重熔花岗岩的物质主要属于陆壳物质,但也有深部物质的参与。图 3-IV 是非造山系列的岩石,包括斜方辉橄岩、苏长岩-闪长岩、英云闪长岩、黑云母花岗岩、碱性钠铁闪石花岗岩和碱性钠铁闪石正长岩等。其中,除黑云母花岗岩投入 S 型花岗岩区外,其余岩类全部落到 I 型花岗岩区,说明张裂性构造环境形成的花岗岩系列,仅有少量岩体属

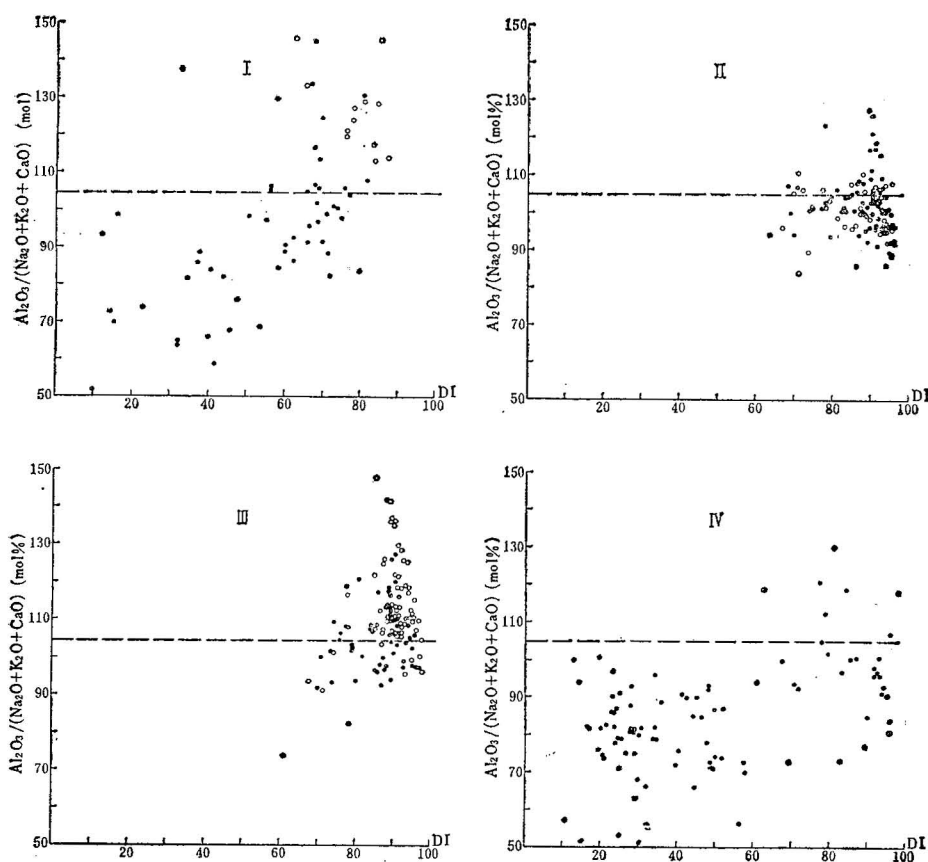


图 3 阿尔泰花岗岩类岩石的 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO})$ -DI 变异图解

Fig. 3 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO})$ -DI variation diagram for the granitoids of the Altay Mts.

造山花岗岩系列: I. 加里东期闪长岩-石英闪长岩-英云闪长岩-花岗闪长岩(黑点)和黑云母花岗岩(圆圈); II. 加里东期片麻黑云母花岗岩-黑云母花岗岩片麻岩(黑点)和海西期片麻黑云母花岗岩-黑云母花岗岩片麻岩(圆圈); III. 海西期中粒、似斑状黑云母花岗岩(黑点)和浅色(二云母及白云母)花岗岩(圆圈);非造山花岗岩系列: IV. 海西晚期斜方辉橄岩、苏长岩-闪长岩、英云闪长岩、黑云母花岗岩、碱性钠铁闪石花岗岩。(注: 本文图 3—图 6 由计算机成图, 输入计算机的样品数比参加平均成分的样品数多, 包括了一部分总量为 98—99% 的未参加岩石平均化学成分(表 2)的样品)。

于陆壳物质重熔,主要岩体的物质是来自较深部位——上地幔的部分熔融。由此可见,造山花岗岩中,加里东期主要是 I 型,而 S 型较少。海西期全是 S 型,而无 I 型。非造山花岗岩则主要为 I 型和 A 型,而 S 型较少。

(二) 反映花岗岩矿物组合关系的 ACF 图,也可区分造山花岗岩和非造山花岗岩。借助 A. J. R. White 和 B. W. Chappell (1977)^[9] 区分 I 型和 S 型花岗岩的 ACF 图,可以看到阿尔泰造山花岗岩系列(图 4(上)-I、II、III)和非造山花岗岩系列(图 4(上)-IV) 的差异。非造山花岗岩系列的岩石有规律地分布于图的左下方,即位于黑云母-斜长石-角闪石矿物组合区,相当于 I 型花岗岩区,仅有黑云母花岗岩的样点落到图的右上方,即处于黑云母-斜长石-堇青石矿物组合区,相当于 S 型花岗岩区。所得的结果与图 3 的结论一致。

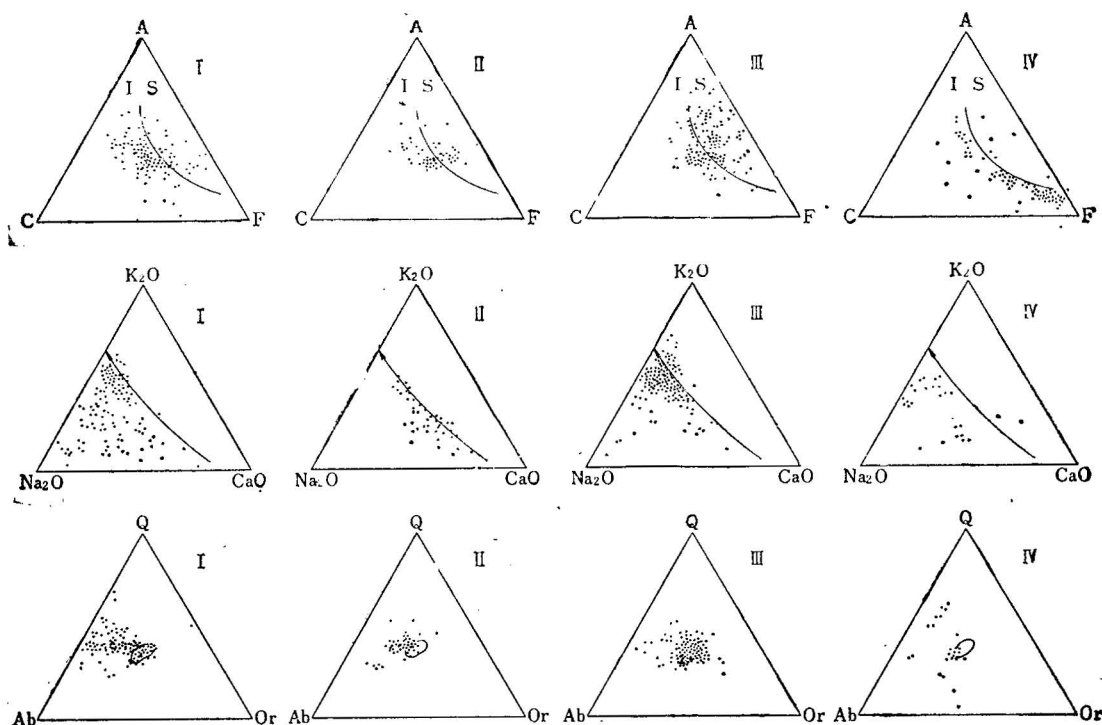


图 4 阿尔泰花岗岩类的 ACF (上)、 K_2O-Na_2O-CaO (中)及 $Ab-Or-Q-H_2O$ (下)图解

Fig. 4 ACF, K_2O-Na_2O-CaO and $Ab-Or-Q-H_2O$ system diagrams showing plots of the orogenic and anorogenic granitoids in Altay Mts.

造山花岗岩系列: I. 加里东期和海西期交代成因的片麻黑云母花岗岩-黑云母花岗片麻岩; II. 加里东期英云闪长岩-花岗闪长岩和黑云母花岗岩; III. 海西期黑云母花岗岩、二云母花岗岩和白云母花岗岩。
非造山花岗岩系列: IV. 海西晚期英云闪长岩、黑云母花岗岩和碱性钠铁闪石花岗岩(注同图 3)

(三) K_2O-Na_2O-CaO 图能反映岩浆演化关系。从图 4(中)-I 可以看到,造山花岗岩系列交代花岗岩样点不沿岩浆演化趋势线方向分布,说明它们不是由岩浆结晶形成,而是来自深部的富含碱金属(特别是富含钠)的浆汁或热流体加入,发生交代和重结晶形成。图 4(中)-II 和图 4(中)-III 分别代表加里东期和海西期的侵位岩浆结晶的花岗岩。具有

明显的岩浆分异演化的特点。图 4 (中)-IV 是非造山(海西晚期)花岗岩系列的英云闪长岩、黑云母花岗岩和碱性钠铁闪石花岗岩, 它们的共同特征是富钠(样点偏向 Na_2O -方), 且三类岩体的样点不沿岩浆演化趋势线连续分布。看来, 它们之间不存在岩浆演化的关系, 可能各有各的岩浆源。

(四) $\text{Ab-Or-Q-H}_2\text{O}$ 图反映花岗岩形成的压力和温度条件, 将阿尔泰两个系列花岗岩类的标准矿物成分投入 O. F. Tuttle 和 N. L. Bowen (1958)^[10] 的 $\text{Ab-Or-Q-H}_2\text{O}$ 图解上, 图 4 (下)-I 显示了造山交代花岗岩的特点, 多数样点不落入花岗岩区, 说明它们不是典型的岩浆花岗岩, 形成压力较大 ($> 2000 \times 10^5 \text{Pa}$), 温度较低 ($700-750^\circ\text{C}$)。图 4 (下)-II 是加里东期的岩浆侵位花岗岩, 英云闪长岩-花岗闪长岩体的样点较集中的分布于花岗岩区的边缘, 黑云母花岗岩体的样点落到花岗岩区内, 前者形成压力较大 (约 $2500 \times 10^5 \text{Pa}$), 结晶温度稍低 (约 720°C), 后者形成压力小 ($< 1000 \times 10^5 \text{Pa}$), 结晶温度稍高 (约 775°C), 海西期重熔岩浆侵位花岗岩的样点则主要集中于花岗岩区内, 其余样点围绕花岗岩区分布 (图 4 (下)-III), 具有典型岩浆花岗岩的特点, 其形成压力 $< 2000 \times 10^5 \text{Pa}$, 结晶温度较低 (约 700°C)。非造山花岗岩系列的英云闪长岩、黑云母花岗岩和碱性钠铁闪石花岗岩投入图 4 (下)-IV, 三种岩石仅有黑云母花岗岩样点投入花岗岩区及其附近。英云闪长岩形成压力小于 $1000 \times 10^5 \text{Pa}$, 结晶温度高于 800°C , 说明它们侵位较高。而黑云母花岗岩和碱性钠铁闪石花岗岩的形成条件相近 (形成压力在 $2000 \times 10^5 \text{Pa}$ 左右, 结晶温度低于 700°C)。

(五) $\text{CaO}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})-\text{SiO}_2$ 关系图可以区分造山花岗岩和非造山花岗岩 (见图

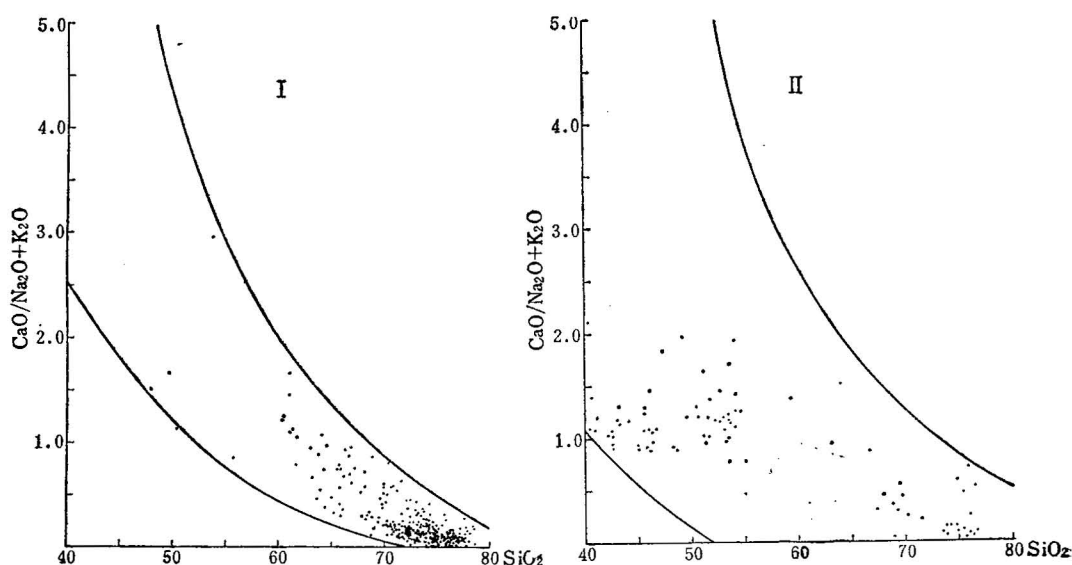


图 5 阿尔泰花岗岩类的 $\text{CaO}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})-\text{SiO}_2$ 变异图解

Fig. 5 $\text{CaO}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})-\text{SiO}_2$ variation diagram of the Altay Mts. orogenic and anorogenic granitoids

I. 造山花岗岩系列的侵入岩; II. 非造山花岗岩系列的侵入岩 (两曲线间的地段代表主要样点分布区, 下图同。注同图 3)

5), 两个系列样点分布范围大不相同, 造山花岗岩系列主要为贫 Ca 的 Si-Al 陆壳物质, 非造山花岗岩系列则以富 Ca 贫 Si 的深源铁镁质岩石较多为特征, 就花岗质岩石而言, 当 $\text{CaO}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 值等于 1.00 时的 SiO_2 值即为花岗岩的钙碱指数。对区内的造山花岗岩来说, 其钙碱指数较高(61—64), 而非造山花岗岩的钙碱指数较低(51—55)。这是由于后者比前者更富含碱金属(特别富含钠)的缘故。

(六) AFM 图可以判别造山花岗岩和非造山花岗岩(见图 6)。造山花岗岩系列岩石的样点在图内沿 FM 边分散性较小, 而非造山花岗岩系列岩石的数据点沿 FM 边很分散。

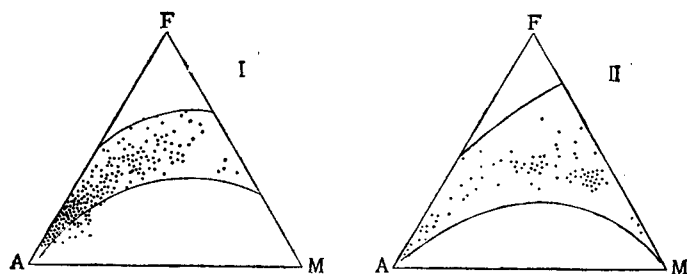


图 6 阿尔泰花岗岩类的 AFM 图

Fig. 6 AFM diagrams showing plots of the two granitoid series in Altay Mts.

I. 造山花岗岩系列的侵入岩; II. 非造山花岗岩系列的侵入岩(注同图 3)

(七) 造山花岗岩和非造山花岗岩分异指数(DI)的频率分布和标准矿物斜长石的频率分布不同。所谓分异指数(DI)系指校正到 100% 的标准石英+钠长石+正长石。阿尔泰两个花岗岩系列岩石分异指数的频率分布见图 7。造山期的交代花岗岩和重熔岩浆侵位花岗岩都是单峰分布, 而非造山花岗岩系列则是多峰分布。同理, 将两个花岗岩系列岩石的标准斜长石作频率分布图(图 8), 也同样得出造山期的交代花岗岩和重熔岩浆侵位花岗岩的标准斜长石频率均呈明显的单峰分布, 而非造山花岗岩系列的标准斜长石频率则是多峰分布。所获得的这些结果与 W. L. Petro 等(1979)^[11] 对典型的挤压性构造环境形成的花岗岩套(相当于造山花岗岩系列)和张裂性构造环境形成的花岗岩套(即非造山花岗岩系列)的研究结果完全一致。

(八) 造山花岗岩系列和非造山花岗岩系列的稀土分布型式不同^[4]。笔者取样获得区内各类岩石的稀土平均值由里德球粒陨石(A. Masuda 和 N. Nakamura, 1973)^[12] 标准化后图解, 从图 9 可见, 造山花岗岩系列的交代花岗岩(2)和重熔岩浆花岗岩(3)与区域地层平均值(1)的稀土分布型式相近, 也与 L. A. Haskin^[13] 等对地壳 213 个 $\text{SiO}_2 > 70\%$ 的花岗岩的稀土分布型式(4)一致。其特点是 LREE/HREE 值较高(5—11), 低到中等负铕异常, 具有陆壳物质的特点。非造山花岗岩系列仅有黑云母花岗岩(5)与上述岩石相同(其物质来自陆壳), 而英云闪长岩(6)和碱性钠铁闪花岗岩(7)都与之不同, LREE/HREE 值较低(2—6), 中到高的负铕异常, 物质来源较深。造山花岗岩系列岩石中的 ΣREE 含量随 SiO_2 和碱金属的增加而降低, 显示岩浆分异结晶起了主要的控制作用。而非造山花岗岩则相反, 随岩石 SiO_2 和碱金属含量增高时 ΣREE 量也高, 反之则低,

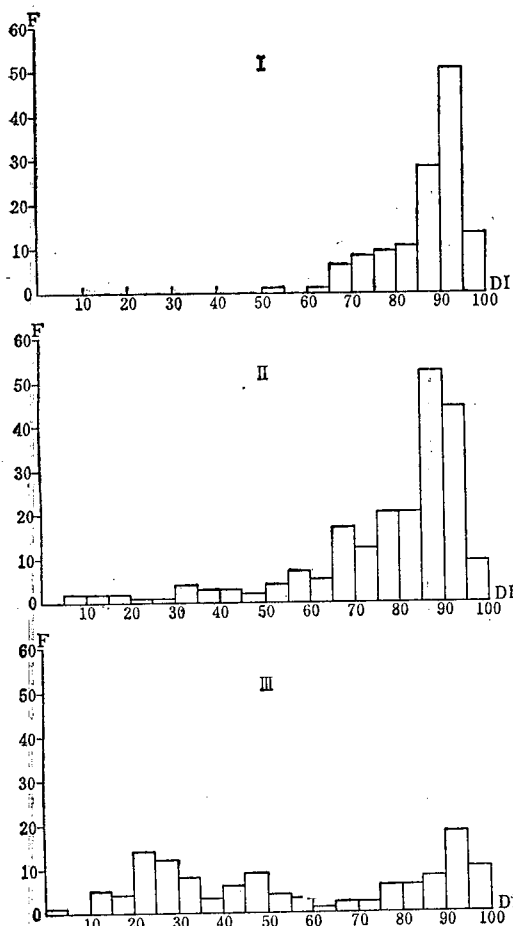


图 7 阿尔泰花岗岩类分异指数(DI)的频率(F)分布
Fig. 7. Frequency distribution (F) of differentiation index (DI) of the granitoid in Altay Mts.

造山花岗岩系列: I. 交代成因花岗岩(片麻黑云母花岗岩-黑云母花岗岩片麻岩); II. 重熔岩浆侵位花岗岩; 非造山花岗岩系列: III. 海西晚期苏长岩-闪长岩、英云闪长岩、黑云母花岗岩、碱性钠铁闪石花岗岩

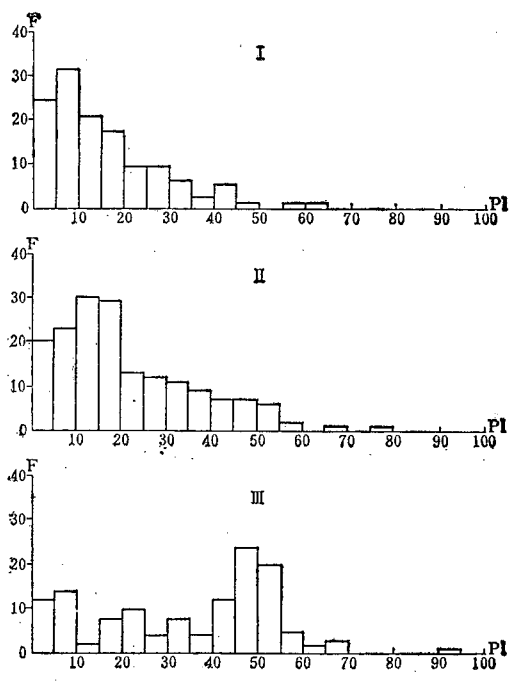


图 8 阿尔泰花岗岩类标准矿物斜长石(Pl)的频率(F)分布
(图中说明同图 7)

Fig. 8 Frequency distribution (F) of normative plagioclase (Pl) of the granitoid in Altay Mts.

表现出是岩浆形成时的部分熔融程度起了主要的控制作用。

(九) 造山花岗岩富含 H_2O 、F、B 等挥发分, 且岩石的 $\delta^{18}O$ 值较高(多为 11—13‰)¹⁾, 非造山花岗岩贫 H_2O , 而富含 F、Cl、S, 且岩石的 $\delta^{18}O$ 值较低(为 9—11.5‰)¹⁾。

(十) 造山花岗岩伴随有含丰富的工业白云母、Li、Rb、Cs、Be、Nb、Ta、Zr、Hf 和宝石矿物的伟晶岩矿床, 以及含 Be、Mo、W(Sn) 的花岗岩矿床和热液石英脉矿床。而非造山花岗岩系列则形成与基性岩-中酸性岩-碱性花岗岩-碱性正长岩有关的 Cu—Ni、Au、Pb、Zn、REE、Zr、Sn 矿床。

1) 笔者取样 42 个, 由中国地质科学院矿床所七室测定。

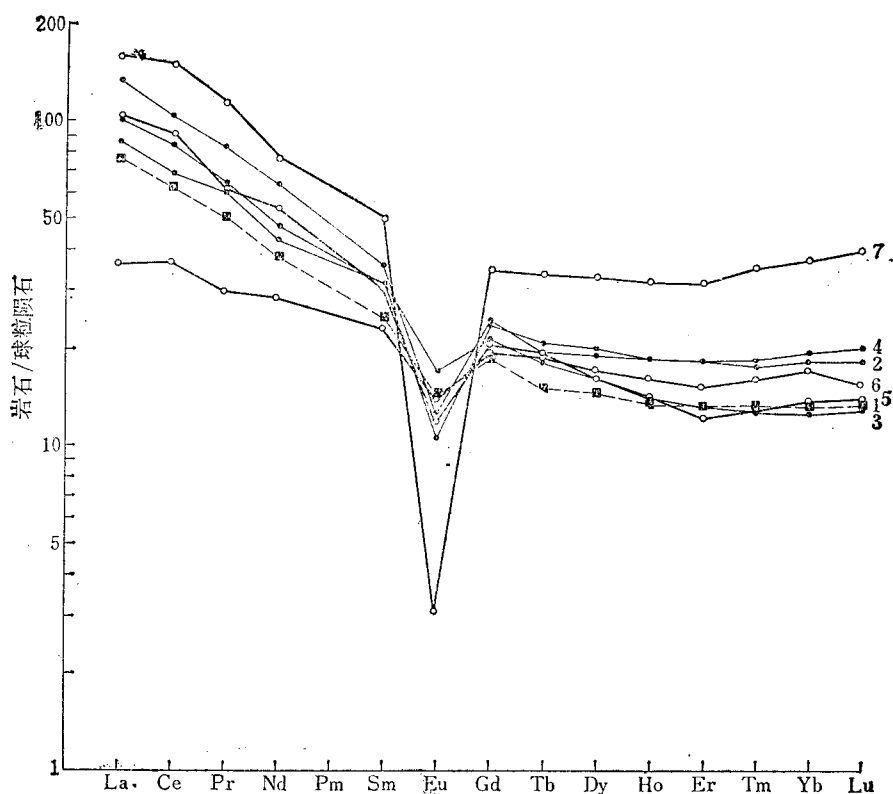


图9 阿尔泰花岗岩类稀土元素的球粒陨石标准化分布型式

Fig. 9 Chondrite-normalized REE distributive patterns of the granitoids in Altay Mts.

1. 阿尔泰地层 (Z—E, O—S, D—C) 33 个样品稀土元素平均值; 2. 阿尔泰造山花岗岩系列的交代花岗岩 9 个样品稀土元素平均值; 3. 阿尔泰造山花岗岩系列的重熔岩浆侵位花岗岩 45 个样品稀土元素平均值; 4. L. A. Haskin 等 (1968)^[13] 地壳 213 个花岗岩 ($\text{SiO}_2 > 70\%$) 稀土元素平均值; 5. 阿尔泰非造山花岗岩系列黑云母花岗岩 2 个样品稀土元素平均值; 6. 阿尔泰非造山花岗岩系列英云闪长岩 4 个样品稀土元素平均值; 7. 阿尔泰非造山花岗岩系列碱性钠铁闪石花岗岩 (1 个样品)

五、结 论

阿尔泰造山带形成于加里东晚期—海西期, 造山带是由于南部的哈萨克斯坦板块向北部的西伯利亚板块俯冲引起, 带内的花岗岩主要形成于这个时期。在此期间, 由于区域挤压变质和来自下部的岩浆或热流体的作用, 形成了交代花岗岩。同时还形成了大量的岩浆侵入岩, 加里东期包括有辉长岩—闪长岩—石英闪长岩—英云闪长岩—花岗闪长岩—花岗岩的岩石, 海西期包括有角闪黑云母花岗岩—黑云母花岗岩—二云母花岗岩—白云母花岗岩的岩石, 由这些岩石构成了造山花岗岩系列。到海西晚期, 在造山带南缘, 沿板块缝合线发生张裂, 在这些深断裂带形成了斜方辉橄岩、苏长岩—闪长岩、英云闪长岩、黑云母花岗岩、碱性钠铁闪石花岗岩和碱性钠铁闪石正长岩的岩株或填隙侵入体, 构成了非造山花

岗岩系列。

两个花岗岩系列形成于不同的构造环境, 具有不同的岩浆岩组合, 伴有不同的矿化。因此, 在区域花岗岩研究时对它们进行区分是完全必要的。文中提到的判别标志也是可行的。经过两个花岗岩系列的判别, 结合区域地球化学资料, 就能较容易地预测与两个花岗岩系列有关的两个成矿系列。

参 考 文 献

- [1] 芮行健、吴玉金, 1984, 中国阿尔泰花岗岩的成因。花岗岩地质和成矿关系, 第 14—21 页。
- [2] 邹天人, 1986, 阿尔泰花岗岩类的地球化学。中国科学院地球化学研究所年报, 第 41—42 页。
- [3] 邹天人、张相宸、贾富义、王汝聪、曹惠志、吴柏青, 1986, 论阿尔泰 3 号伟晶岩的成因。矿床地质, 第 5 卷, 第 4 期, 第 34—48 页。
- [4] 邹天人、曹惠志、吴柏青, 1988, 从稀土元素地球化学论阿尔泰花岗岩的成因。中国地质科学院, 矿床地质研究所所刊, 第 1 期, 第 11—31 页。
- [5] 邹天人、杨岳清, 1985, 中国两源伟晶岩的成矿作用。国际交流地质学论文集, 3, 第 145—158 页。
- [6] Zou Tianren, Yang Yueqing, Guo Yongquan and Ni Yunxiang, 1985, China's crust- and mantle-source pegmatites and their discriminating criteria. *Geochemistry*, Vol. 4, No. 1, pp. 1—17.
- [7] Streckeisen, A., 1973, Plutonic rock—classification and nomenclature recommended by the IUGS subcommission on the systematics of igneous rocks. *Geotimes*, Vol. 8, No. 10, pp. 26—30.
- [8] Pitcher, W. S., 1983, Granite type and tectonic environment. Mountain building processes, pp. 19—40.
- [9] White, A. J. R. and Chappell, B. M., 1977, Ultrametamorphism and granitoid genesis. *Tectonophysics*, Vol. 43, No. 1—2, pp. 7—22.
- [10] Tuttle, O. F. and Bowen, N. L., 1958, Origin of experimental studies in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{--KAlSi}_3\text{O}_8\text{--SiO}_2\text{--H}_2\text{O}$. *Geol. Soc. Amer. Mem.*, 74, pp. 65—75.
- [11] Petro, W. L., Vogel, T. A. and Wilband J. T., 1979, Major-element chemistry of plutonic rock suites from compressional and extensional plate boundaries. *Chemical geology*, 26, pp. 217—235.
- [12] Masuda, A. and Nakamura, N., 1973, Fine structures of mutually normalized rare-earth patterns of chondrites. *Geochim. cosmochim. Acta*, Vol. 37, No. 2, pp. 239—248.
- [13] Haskin, L. A., Haskin, M. A., Frey, F. A. and Wildeman, T. R., 1968, Relative and absolute terrestrial abundances of the rare earths. *Origin and distribution of the elements* (Pergamon Press, New York), pp. 889—912.

OROGENIC AND ANOROGENIC GRANITOIDS OF THE ALTAY MOUNTAINS, XINJIANG AND THEIR DISCRIMINATION CRITERIA

Zou Tianren

(*Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing*)

Cao Huizhi and Wu Boqing

(*Xinjiang Institute of Metallurgy and Geology, Urumqi*)

Abstract

The granitoid rocks comprise 40% of the rocks exposed in the Altay Mountains area. Based on many years of study, they are divisible into two series; (1) the orogenic granitoid series generated in the marginal zone of compressional plate (the north belt), and (2) the anorogenic granitoid series generated at extensional plate boundaries (the south belt). The two series can be distinguished according to the following characters:

Criteria	Orogenic Granitoid Series	Anorogenic Granitoid Series
Tectonic position	Oceanic lithosphere subducted beneath the continental lithosphere	At the extensional plate boundaries (at suture lines)
Tectonic environment	Compressional	Extensional
Intrusion time	Late Silurian and Early Carboniferous	Late Middle Permian
Form of intrusion	Batholith, layered intrusion and stock	Stock (equidimensional) and boss
Association of magmatic rocks	Gabbro-diorite; tonalite-granodiorite; hornblende-biotite granite; biotite granite; twomica granite; Muscovite granite	Harzburgite-gabbro-diorite; tonalite-granodiorite; biotite granite; arfvedsonite granite; arfvedsonite syenite
Related dikes	Abundant pegmatites	Granite porphyry; quartz porphyry; Carbonatite
Texture of rocks	Granoblastic	Granitic and graphic
Structure of rocks	Gneissic	Massive and miarolitic
Rock-forming minerals: Amphibole Feldspar Micas	Hornblende Microcline Fe-biotite; siderophyllite; Fe-muscovite; muscovite; Li-bearing muscovite	Arfvedsonite-riebeckite Orthoclase and perthite Mg-biotite and siderophyllite

续上表

Criteria	Orogenic Granitoid Series	Anorogenic Granitoid Series
Petrochemistry	Alumina oversaturation; High calc/alkali indexes (61—64); absence of peralkaline rocks; unimodal frequency distributions of differentiation index and normative plagioclase; Less scatter along FM-side in AFM diagrams	Alumina undersaturation; Low calc/alkali indexes (51—55); Presence of peralkaline rocks; bimodal distribution of differentiation index and normative plagioclase; great dispersion of data points in AFM diagrams
Volatiles	H ₂ O, F, B	F, Cl, S
Feature of trace elements	Lower K/Rb and higher LREE/HREE	Higher K/Rb and lower LREE/HREE
Granite type	Caledonian: mostly I-type, occasionally S-type; Hercynian: S-type	I-type and A-type, occasionally S-type
Related mineralization	Rare elements, Mo, W(Sn), muscovite and gem	Cu-Ni, Au, Pb, Zn, REE, Zr and Sn