

我国富碱侵入岩的岩石学和岩石化学特征^{*}

周玲棣 赵振华

(中国科学院广州地质新技术研究所, 广州 510640)

摘 要

在研究我国 40 余个富碱侵入岩体基础上, 按碱性花岗岩、正长岩以及霞石正长岩 3 类分别总结了它们的岩石学和岩石化学特点. 将我国富碱侵入岩划分为 6 个岩石组合, 并讨论了岩石成因特征. 富碱侵入岩呈线型分布, 受深断裂控制, 具深源浅成属性, 岩性与幔源物质受下地壳混染程度有关, 碱性花岗岩受混染作用强, 云霞质霞石正长岩最弱, 钠质霞石正长岩介于其间.

关键词 富碱侵入岩、岩石学、岩石化学、岩石组合、岩石成因

富碱侵入岩包括碱性花岗岩与碱性岩, 过去很少有人将这两类硅过饱和与不饱和的岩石作为一个整体考虑. 涂光炽首先注意到两者成因上的联系, 空间上的共生, 同产出于特定地质环境, 并常与一些重要矿产相伴, 于 1982 年提出了富碱侵入岩的概念^[1,2]. 开展富碱侵入岩研究具重大地质理论和实际意义, 近年来相继发现与它有关的矿产中, 某些金矿床已达到大型和超大型规模. 本文是在对我国 40 余个富碱侵入岩体研究基础上, 对岩石学和岩石化学方面的总结, 不包括基性和超基性碱性岩类.

1 岩石学特征

1.1 碱性花岗岩类

即传统上的 A 型花岗岩, 以碱性长石 (50%—75%) 和石英 (20%—40%) 为主, 斜长石很少 (0%—5%), 常含碱性辉石 (0%—2%) 和碱性闪石 (0%—5%), 局部含量可达 10%, 黑云母少见, 有些可达 5%. 在 Q-A-P 图上位于钾长花岗岩区 (图 1). 钠闪石花岗岩最常见, 此外还有钠闪石霓石花岗岩及霓石花岗岩.

岩石结构构造特点有: (1) 普遍发育晶洞构造, 晶洞大小不一, 分布不均, 晶洞中主要分布有石英、钠长石、霓石、亚铁钠闪石、锆石、白云母和萤石等; (2) 碱性长石和石英呈文象连生.

碱性长石主要为正长 - 条纹长石和微斜 - 条纹长石. 据结构态分析, 正长石 $t_{10}=0.355-0.435$, 微斜长石 $t_{10}=0.611-0.998$, 钠长石 $t_{10}=0.801-0.996$, 即是说包括了正长石、过渡微斜长石、最大微斜长石、中钠长石和低钠长石. 碾子山和崂山等岩体从早期到晚

1994-01-05 收稿, 1994-04-01 收修稿.

^{*} 中国科学院院长基金资助项目.

期,由边部到内部呈现了长石由高结构态向低结构态的转变,反映岩体固结温度逐步下降^[3].

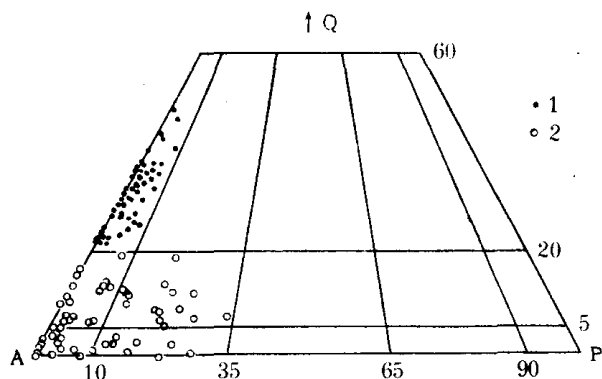


图 1 富碱侵入岩 Q-A-P 图解

1——碱性花岗岩, 2——正长岩

条纹长石总化学组成为 $Or_{0.45-0.54} Ab_{0.42-0.57} An_{0.01-0.05}$, 微区分析得知钾条纹组成为 $Or_{0.92-0.99}$, 钠条纹组成为 $Ab_{0.97-0.99}$, 据 X 衍射计算钾、钠二相分离系数 >0.992 , 表明条纹长石中钾、钠长石得到了较充分的分离。

暗色矿物以碱性闪石和碱性辉石为主,在岩石中呈它形,晶洞中为自形,系晚期结晶产物。碱性闪石中亚铁钠闪石分布广,钠铁闪石见于岗山、青田等数个岩体,魁岐和山海关岩体同时含有上述

两种闪石。碱性辉石以霓石分布广, Ae 含量为 95.7—99.8, 接近端员组分,霓辉石见于青田、太和及布尔根等岩体。此外,有些碱性花岗岩含有富钙的闪石及辉石,如响山岩体除亚铁钠闪石外,还有钠-钙闪石族及钙质闪石族的矿物出现^[4],又如若干子岩体以透辉石为特征。

副矿物组合以磁铁矿-锆石-萤石为主,普遍含变生锆石,如岗山、山海关、崂山、魁岐、桃花岛及响山等岩体。此种锆石(111)锥面发育,呈双锥状,棕黄—深红色,常见环带及裂纹,并有非晶质化现象。其它副矿物,如钛铁矿、榍石、磷灰石及某些稀有稀土矿物在某些岩体也能出现较高含量。

1.2 正长岩类

以碱性正长石为主(一般 $>60\%$),最高达 95%,斜长石($<20\%$)和石英($0\%—15\%$)含量不等,含碱性辉石或透辉石($0\%—30\%$)、闪石($0\%—30\%$)和黑云母($0\%—25\%$)等暗色矿物,包括了 Q-A-P 分类中的碱长正长岩、正长岩、石英碱长正长岩和石英正长岩,以及相应斑岩(图 1)。

碱性长石有正长石、正长-条纹长石和微斜-条纹长石,以后者为主,表明了形成温度不高,冷却速率慢。正长石见于紫金山、龙王庙、柏林川、赛马和雾灵山等岩体, $t_{10}=0.349—0.439$, 组成为 $Or_{0.61-0.79} Ab_{0.20-0.36} An_{0.01-0.03}$, 结构态以及钾长石中 Ab 的高含量都反映它们是高温产物。此外,柏林川、赛马、龙王庙和雾灵山等岩体同时出现了正长石及条纹长石,如柏林川岩体钾长石 t_{10} 由 $0.376 \rightarrow 0.606 \rightarrow 0.940$, Or 由 $0.61 \rightarrow 0.75 \rightarrow 0.93$ 。其它岩体同样也体现了钾、钠长石 t_{10} 增大,钾长石 Or 和钠长石 Ab 含量增高的变化,表明岩体经历了不同的热历史环境。

暗色矿物有碱性及非碱性辉石和闪石。辉石中透辉石分布很广;霓辉石单独见于某些岩体或与透辉石共生,常见同一颗粒内部为透辉石,边部为霓辉石的现象;霓石在正长岩中较少见,如黄木棠的英碱正长岩与太和的霓石正长岩均有分布。角闪石中最常见为钙质闪石族的浅闪石和绿钙闪石类,多与透辉石共生,少与霓辉石共生;钠铁闪石出现于黄木棠、雾灵山等少数岩体中。

副矿物主要为磁铁矿-榍石-磷灰石-锆石组合,个别岩体含较高萤石,钛铁矿或金红石等矿物。

1.3 霞石正长岩类

含副长石类矿物,以碱性长石($40\%—80\%$)和霞石($<40\%$)为主,暗色矿物含量变化大,含

霓石和霓辉石为 0%—40%, 黑云母为 0%—25%, 角闪石为 0%—7%。或含黑榴石、方钠石、假白榴石、钙霞石及异性石等矿物。依钠质系数本类岩石划分为云霞质和钠质两个系列。

碱性长石包括正长石、微斜长石、正长-条纹长石与微斜-条纹长石。它们在各个岩体的分布情况各异: 如紫金山岩体仅见正长石, 以霞石正长岩的正长石钾含量最高 (Or 为 0.95—0.99), 结构态最低 (t_{10} 为 0.350—0.360); 而永胜和丫髻山霞石正长岩只有微斜-条纹长石, 由最大微斜长石和低钠长石组成, 以钠 > 钾为特点 ($Or_{0.33-0.46} Ab_{0.53-0.62} An_{0.01-0.05}$); 此外, 赛马岩体霞石正长岩中钾长石有正长石及微斜长石之分, 由早期到晚期, 钾长石呈现 Or 升高 (0.85→0.96) 和有序度增加 (t_{10} 为 0.349→0.902) 的变化。

本类岩石仅含碱性辉石, 其中霓辉石广泛分布于云霞质系列, 而霓石则出现于钠质系列岩石中。角闪石有钙质及碱性闪石两族, 云霞质岩石常见的钙质闪石为浅闪石和绿钙闪石类; 碱性角闪石中的镁亚铁钠闪石见于赛马岩体钠质系列岩石。黑云母有镁质和铁质两类, 分别见于不同岩体。

副矿物有两类组合: (1) 云霞质系列副矿物与正长岩类相同, 主要为磁铁矿-榍石-磷灰石-锆石; (2) 钠质火成岩系列出现异性石、闪叶石、钦铌钙铈矿、钠锆石、绿帘硅铈钛矿等特殊副矿物组合。

2 岩石化学特征

富碱侵入岩的一些代表性岩石化学分析数据列入表 1。

2.1 碱性花岗岩类

其特点是: (1) SiO_2 含量高, 以 74%—76% 居多; (2) 碱高, $Na_2O + K_2O$ 为 8%—10%, K_2O 和 K_2O 重量 % 相近, K_2O/Na_2O 为 0.93—1.18; (3) Al_2O_3 较低, 一般为 11%—13%; (4) 贫水, H_2O^+ 为 0%—0.6%, 我国华南花岗岩平均为 0.7%, 华南燕山期花岗岩平均值为 0.59%; (5) 低钙, CaO 一般 <1%; (6) 低铁, $Fe_2O_3 + FeO$ 通常为 1%—2%, 高、低铁比值变化范围广, Fe_2O_3/FeO 为 0.14—4.52; (7) 其它组分含量很低, MgO 和 $MnO < 0.6\%$, $TiO_2 < 0.5\%$ 。据 SiO_2 -赖特率 (AR) 关系, 本类岩石绝大部分位于碱性岩区, 个别属过碱性岩石 (图 2)。

2.2 正长岩类

与碱性花岗岩对比, SiO_2 较低, Al_2O_3 和碱质较高。总的特点是: (1) SiO_2 含量在 53%—70% 之间, 集中于 55%—65%, 标准矿物出现 Q 者 $SiO_2 > 65\%$, $Ne < 55\%$; (2) $Na_2O + K_2O$ 一般 >10%, 最高达 20%, K_2O 与 Na_2O 相对含量变化大; (3) Al_2O_3 一般为 14%—20%; (4) CaO 含量为 0%—5.5%; (5) $Fe_2O_3 + FeO$ 含量在 1.30%—8.0%, Fe_2O_3/FeO 为 0.77—7; (6) 其它组分含量很低。从图 2 可见本类岩石属碱性, 少数为过碱性。

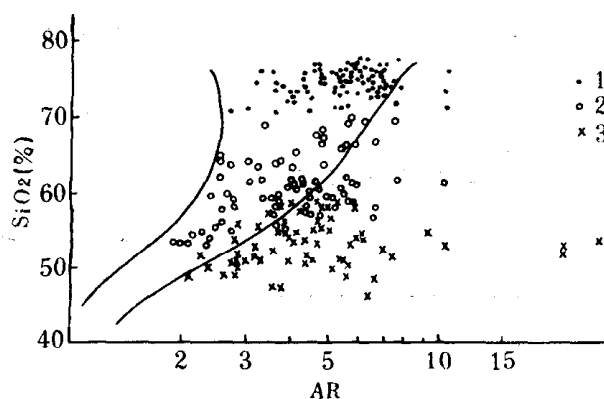


图 2 富碱侵入岩 SiO_2 -AR 变异图

1——碱性花岗岩类, 2——正长岩类, 3——霞石正长岩类

表1 我国某些富碱侵入岩岩石化学组成(重量%)

岩性	产地	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	总计	备注
钠闪石花岗岩	吉林	75.52	0.17	13.03	0.69	0.92	0.07	0.01	0.10	4.41	4.07	0.01	0.10	99.10	本文
钠闪石花岗岩	河北	71.25	0.29	12.68	2.07	2.15	0.24	0.30	0.40	5.00	5.03	0.02	0.10	99.53	本文
钠闪石花岗岩	河北	75.01	0.21	12.64	0.96	0.75	0.09	0.01	0.10	4.29	4.73	0.01	0.60	99.40	本文
钠闪石花岗岩	河北	76.01	0.17	12.24	0.88	1.01	0.06	0.01	0.10	4.12	4.35	0.01	0.27	99.23	本文
钠闪石花岗岩	吉林	73.55	0.25	13.63	0.21	1.55	0.09	0.10	0.30	4.95	4.55	0.00	0.16	99.34	本文
钠闪石花岗岩	福建	76.84	0.14	11.55	1.27	0.66	0.09	0.12	0.24	4.21	4.32	0.01	0.00	99.45	本文
钠闪石花岗岩	浙江	74.68	0.08	14.02	1.09	0.51	0.09	0.00	0.20	3.98	4.35	0.00	0.17	99.17	本文
钠闪石花岗岩	浙江	73.98	0.20	11.50	0.02	3.27	0.07	0.03	0.45	4.12	4.80	0.03	0.00	98.47	[5]
钠闪石花岗岩	黑龙江	73.80	0.19	12.45	1.91	1.04	0.09	0.02	0.69	4.65	4.38	0.01	0.46	99.67	本文
钠闪石花岗岩	内蒙	74.93	0.16	11.12	3.26	0.00	0.09	0.00	0.20	4.13	4.66	0.02	0.00	98.57	本文
钠闪石花岗岩	新疆	73.08	0.25	13.63	1.00	1.74	0.13	0.10	0.50	3.91	4.47	0.04	0.38	99.23	本文
钠闪石花岗岩	新疆	74.90	1.31	11.95	1.10	1.47	0.05	0.48	0.81	3.27	4.04	0.09	0.30	100.20	本文
碱性花岗岩	河南	70.44	0.30	12.66	1.29	2.78	0.12	0.17	1.49	3.99	5.50	0.02	0.59	99.35	[6]
碱性花岗岩	山东	76.36	0.12	12.25	0.85	0.34	0.13	0.10	0.20	4.63	4.48	0.01	0.07	99.54	本文
晶洞钾长花岗岩	福建	75.96	0.08	12.58	0.61	1.03	0.12	0.13	0.82	4.29	4.42	0.00	0.26	100.30	本文
霓石花岗岩	河北	74.36	0.42	10.71	2.72	1.38	0.16	0.57	0.17	3.49	5.04	0.00	0.00	99.02	本文
霓石花岗岩	四川	73.12	0.28	10.00	3.66	2.47	0.15	0.08	0.72	4.00	4.26	0.06	0.00	98.80	[7]
透辉石花岗岩	新疆	71.19	0.26	13.50	0.93	0.96	0.09	0.20	1.90	3.82	6.40	0.01	0.45	99.71	[7]
角闪正长岩	云南	64.16	0.46	15.07	1.85	2.14	0.12	1.96	2.78	4.18	5.98	0.21	0.41	99.32	[1]
碱闪石英正长岩	湖北	66.23	0.55	14.02	4.28	2.30	0.21	0.20	0.70	5.60	4.77	0.04	0.16	99.06	本文
碱闪石英正长岩	河北	69.58	0.39	14.55	0.94	1.82	0.15	0.36	0.24	5.86	5.43	0.00		99.32	本文
碱闪石英正长岩	河南	68.82	0.65	14.54	1.49	2.08	0.20	0.50	0.90	4.10	6.30	0.06	0.43	100.07	本文
霓辉石英正长岩	河北	67.55	0.35	15.75	1.60	1.87	0.15	0.30	1.20	5.69	5.15	0.17	0.08	99.86	本文
石英正长岩	安徽	68.49	0.43	15.42	2.24	0.68	0.09	0.34	0.56	5.10	5.89	0.10	0.57 ^{a)}	99.91	[8]
碱长正长岩	辽宁	61.53	0.46	16.84	1.47	1.73	0.09	0.70	1.75	4.72	7.88	0.16	2.59	99.92	本文
碱长正长岩	云南	55.81	0.76	19.49	1.89	2.47	0.17	0.60	4.06	6.56	4.91	0.12	0.86	100.28	CO ₂ : 2.58 ^{a)}
碱长正长岩	湖北	56.59	0.43	20.64	2.80	1.84	0.25	1.26	0.46	0.44	12.49	0.39		97.59	b)
透辉石正长岩	新疆	61.01	0.84	16.20	1.57	1.83	0.11	0.80	3.50	3.41	9.10	0.15	0.51	99.03	[7]
辉石正长岩	云南	56.00	0.70	17.45	3.00	2.52	0.08	3.69	5.56	3.86	5.70	0.60	0.40	99.63	[1]

表 I(续)

岩 性	产 地	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	总计	备注
正长斑岩	湖北 庙垭	58.19	0.31	20.00	2.35	1.29	0.24	1.26	0.00	2.04	11.28	0.14	0.00	97.10	b)
辉石正长斑岩	山西 龙王庙	61.65	0.43	18.73	2.57	1.36	0.14	0.83	1.14	6.45	6.00	0.08		99.38	本文
霓石正长岩	四川 太和	64.22	0.76	16.44	2.89	2.24	0.24	0.99	0.78	5.74	4.15	0.20		98.65	[7]
正长岩	河北 东坪	63.90	0.07	18.95	0.59	0.53	0.11	0.10	2.20	5.95	5.85	0.03	0.52	99.17	本文
霓辉正长岩	山东 穆山	67.28	0.17	15.51	1.38	1.54	0.08	0.93	1.62	6.37	3.58	0.12	0.57	99.34	[9], CO ₂ : 0.19
霓辉正长岩	吉林 永胜	59.81	0.59	18.37	2.63	3.31	0.00	0.30	2.00	6.15	5.47	0.12	0.14	99.09	本文
霓辉正长岩	河南 塔山	58.02	0.61	19.49	4.57	0.39	0.27	0.20	2.40	3.26	9.17	0.06	0.54	98.98	本文
霓石正长岩	山西 紫金山	48.44	0.59	19.65	3.44	1.91	0.10	0.69	3.88	3.07	14.34	0.13		96.24	本文
正霓正长岩	云南 个旧	52.86	0.86	22.09	1.98	1.38	0.13	0.16	3.59	9.33	7.00	0.34		99.72	a)
角闪云霓正长岩	河南 鱼池	57.26	1.20	20.93	1.13	2.13	0.34	0.60	2.10	6.32	6.79	0.11	0.07	98.98	本文
角闪霓石正长岩	广东 丫髻山	58.67	0.29	19.75	2.53	2.86	0.23	0.10	1.10	7.46	5.94	0.04	0.82	99.79	本文
霓霓正长岩	吉林 永胜	56.91	0.26	21.53	3.06	1.51	0.09	0.10	0.70	9.29	5.13	0.00	0.45	99.03	本文
霓霓正长岩	山西 紫金山	53.13	0.67	16.16	4.49	3.96	0.14	1.67	5.75	4.47	7.41	0.35		98.20	本文
霓霓正长岩	辽宁 赛马	58.42	0.20	21.17	1.54	0.41	0.10	0.10	0.40	7.30	9.10	0.08	1.11	99.93	本文
异性霓霓正长岩	辽宁 赛马	46.14	0.68	25.42	3.72	0.88	0.28	0.10	1.20	13.30	6.04	0.10	-1.85	99.71	本文
黑榴霓霓正长岩	辽宁 赛马	47.32	0.72	19.03	6.63	2.76	0.20	1.20	6.00	4.60	9.40	0.22	0.60	98.68	本文
黑榴霓石正长岩	云南 个旧	56.90	0.52	22.63	0.77	1.31	0.07	0.18	3.45	9.59	5.66	0.34		101.42	a)
方钠霓石正长岩	云南 个旧	51.48	0.26	21.19	2.24	1.35	0.17	0.20	4.60	7.21	5.84	0.00	0.83	100.14	CO ₂ : 4.77 ^{a)}

a) 陆杰, 个旧岩杂岩体地球化学研究, 1984(硕士论文).

b) 湖北地质矿产局, 湖北省竹山县庙垭碳酸岩型钨-稀土矿床研究, 1985.

c) 烧失量.

2.3 霞石正长岩类

本岩类硅不饱和,具 SiO_2 低,碱高和 Al 高特点,根据岩石钠质系数 $((\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3) > 1$ 或 < 1 可划分为钠质和云霞质两个系列. 它们 SiO_2 含量相近 (47%—58%), Al_2O_3 主要集中于 16%—22%. 钠质火成岩系列特征为: (1) $\text{Na} > \text{K}$, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 较低,为 9%—17%; (2) 贫 Ca 和 Mg, CaO 为 0.1%—3.5%, MgO 为 0.4%—1.7%; (3) Fe 含量高, $\text{Fe}^{3+} > \text{Fe}^{2+}$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ 为 7.7%—14%, $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 为 2.3—9. 而云霞质正长岩则反之: (1) $\text{K} > \text{Na}$, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 为 13%—19%; (2) CaO 为 3%—7.5%, MgO 为 2.5%—4.7%, 含量较高; (3) $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ 为 3%—6%, $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 为 0.43—1.5. 钠质岩石由于高 Na, Na 除以碱性辉石和闪石等硅酸盐形式产出外,还以钠铝硅酸盐和钠钛硅酸盐矿物出现. 此外,还可与 Ca 结合,因而形成了很特殊的副矿物组合. 本类岩石主要属过碱性岩石 (图 2).

3 岩石组合

富碱侵入岩常和一些岩石在时间与空间上密切共生,它们是特定地质环境同一构造运动的产物,表现为不同的岩石组合,我国富碱侵入岩初步可划分以下 6 类组合.

(1) 钙碱性 - 碱性花岗岩类组成的复式岩体 即传统的“I”型与“A”型花岗岩组合,在我国闽浙沿海成带状分布,如福州鼓山岩体就是由辉长岩 - 闪长岩 - 花岗闪长岩 - 二长花岗岩 - 黑云母钾长花岗岩 - 含黑云母晶洞钾长花岗岩 - 钠闪石晶洞碱性花岗岩和花岗斑岩组成的岩套^[10]. 又如新疆沿乌伦古河也有一条辉长岩 - 花岗闪长岩 - 钾长花岗岩 - 钠闪石碱性花岗岩组成的岩带.

(2) 正长岩或碱性喷出岩 - 碱性花岗岩类组合 碱性喷出岩与碱性花岗岩常成环状小岩株,如山海关岩体由碱长粗面岩、碱流岩、碱性凝灰岩 - 碱性晶洞花岗岩 - 石英碱长斑岩组成,碾子山和攀西菩萨崖等岩体也属此例. 雾灵山岩体则是由正长岩、石英正长岩 - 碱长正长岩、石英碱长正长岩 - 钠闪石花岗岩和霓石花岗岩组成的岩基.

(3) 二长岩 - 正长岩 - (霞石正长岩) 组合 以正长岩为主的有河北水泉沟岩体,是辉石碱长正长岩、石英正长岩和二长岩组成的岩基. 二长岩为主的岩体有紫金山、孤堰山和龙王庙等,其中紫金山岩体为环状小岩株,由外向内顺序分布着二长岩 - 霓辉正长岩 - 霞石正长岩 - 粗面岩,晚期还有碳酸岩脉贯入.

(4) 碱性正长岩 - 云霞质霞石正长岩组合 如个旧、永胜和丫髻山 3 个岩体,分别为碱长正长岩 - 霓辉正长岩 - 角闪正长岩 - 与霞石正长岩组合. 河南方城地区沿北西方向呈带状分布着黑云母碱长正长岩、碱性石英正长岩和角闪云霞正长岩. 此外,黄木棠岩体也属此类.

(5) 云霞质 - 钠质霞石正长岩 主要见于辽宁凤城碱性岩区. 其中赛马岩体由粗面响岩、假白榴响岩 - 云霓霞正长岩、黑色霓石霓霞正长岩 - 绿色霓石霓霞正长岩、异性霞石正长岩等组成; 顾家岩体为假白榴响岩 - 碱长正长岩 - 流霞正长岩、异性霞石正长岩组合.

(6) 正长岩类 属于此组合的有安徽安庐正长岩 - 石英正长岩岩带、沿哀牢山 - 金沙江带状分布的众多各种正长岩及正长斑岩体、攀西地区角闪正长岩和石英正长岩群、山东微山湖与四川冕宁的霓辉正长岩,以及湖北庙垭正长岩 - 正长斑岩等等.

上述 6 种组合中以第 1 类 (钙碱性 - 碱性花岗岩) 和第 6 类 (正长岩类) 分布最广.

4 岩石成因特征

在我国,乃至全球富碱侵入岩都呈线型分布,明显受深断裂控制。据断裂产出的地质背景可分为两类;一是大陆边缘活动带断裂,二为板内裂谷或深断裂。沿着大陆边缘活动带断裂产出的富碱岩石有两种组合类型:即钙碱性-碱性花岗岩,以及二长岩-正长岩组合中以正长岩为主者,如水泉沟岩体就属此类,它位于华北地台北缘海西期活动带。其余类型的岩石组合都沿板内裂谷和深断裂带分布,例如:沿着郯庐断裂有正长岩类、正长岩-碱性花岗岩、正长岩-霞石正长岩类组合,还有碱性喷出岩及金伯利岩;攀西裂谷带广泛发育正长岩类、正长岩-碱性花岗岩组合。此外,还有一些超基性基性岩出露,玄武岩、层状辉长岩和超基性碱性小岩株分布;沿着哀牢山-金沙江长达 3000km 的断裂带产出正长岩类、正长岩-碱性花岗岩、正长岩-霞石正长岩,以及火山岩;山西汾河断裂带仅见二长岩-正长岩-(霞石正长岩)组合;东秦岭一带受黑沟-栾川-固始大断裂控制有正长岩类、正长岩-霞石正长岩等组合;扬子地台北缘自湖北竹山至随县,沿北西向断裂带产出正长岩类、正长岩-霞石正长岩组合。

大陆边缘活动带与板内碱性花岗岩形成于不同的地质背景,在 $R_1(4Si-11(Na+K)-2(Fe+Ti))-R_2(6Ca+2Mg+Al)$ 图解上^[11]同位于造山后期及非造山期区域(图 3)。但 $SiO_2\text{-log}(K_2O/MgO)$ 关系^[12,13]可反映它们的差异(图 4),从图 4 可见,岗山、山海关、碾子山、太和及雾灵山等板内岩体属碱性花岗岩系列,而位于大陆边缘活动带的魁岐、布尔根和崂山等岩体却具钙碱性-碱性花岗岩系特点。图 5^[13,14]展示了上述板内花岗岩分布于碱钙性(引张型)区,属稳定地块非造山期产物,具断裂开张岩浆特点;而大陆边缘活动带岩体则属钙碱性-碱钙性特点,即造山期挤压环境形成钙碱性花岗岩,造山晚期应力松弛,由挤压转为拉张条件,碱性花岗岩浆沿断裂上升。

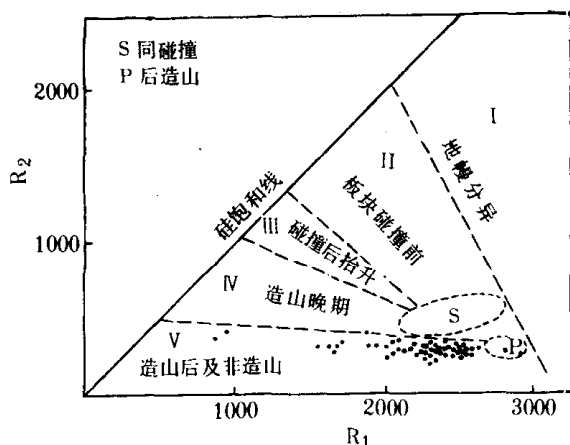


图 3 碱性花岗岩 R_1 - R_2 图解
图例同图 2

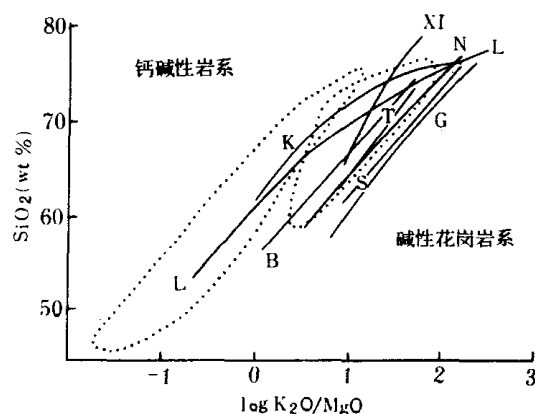


图 4 碱性花岗岩 $SiO_2\text{-log}(K_2O/MgO)$ 图解^[12,13]
G——岗山, S——山海关, N——碾子山 T——太和
XI——雾灵山, L——崂山, K——魁岐, B——布尔根

根据对碱性花岗岩研究得知,无论它们产于何种地质环境,属钙碱性-碱性花岗岩或正长岩、碱性喷出岩-碱性花岗岩组合,在 $SiO_2\text{-Ne-Kp}$ 图上,投影都体现了向着 SiO_2 过饱和方向和石英-钾长石共结线演化(图 6),表明碱性花岗岩是岩浆分异结晶高度演化的终端,处于开放系统,地壳物质较大量加入混染而成^[15]。据 Sr, Nd 同位素、微量和稀土元素地球化学研

究,碱性花岗岩以及其它富碱侵入岩都具幔源特性(另文专述)。对于碾子山和阿尔泰两个碱性花岗岩曾用稀土元素多阶段分离结晶模式来拟合成岩过程(详见本刊赵振华文),即造山期后断裂拉张条件下,幔源物质上涌经混染而成,锶初始值 $Sr_1 > 0.710$ 也表明受地壳混染作用较强。在图 6 上还体现了富碱侵入岩体演化的另一种相反趋势,即向着 SiO_2 亏损方向,主要朝向 Ne 增高和霞石-钾长石共结线演化,个别为例外。曾对紫金山岩体采用稀土部分熔融模式计算,获得较好效果,其物源为弱富集地幔,经部分熔融沿超壳断裂比较通畅上升,受地壳混染最弱,其 $Sr_1 = 0.7044$ 。钠质霞石正长岩特富大离子元素,此类岩石分布远不及云霞质广,并常与它共生,表明它们在成因方面有某些共性。对于赛马岩体以富集交代地幔为物源,采用分离结晶混染模型得到较好的拟合, $Sr_1 = 0.7083$ 也表明所经受交代混染作用强于云霞质岩石。

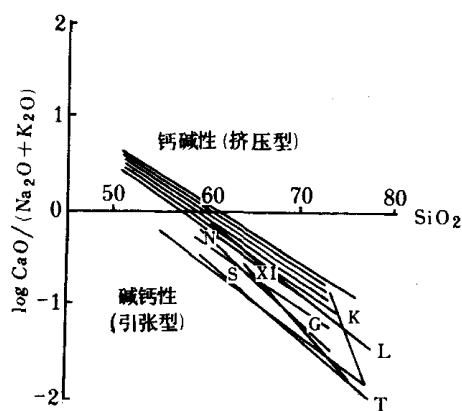


图 5 碱性花岗岩 $\log(CaO/(Na_2O+K_2O))$ - SiO_2 图解
图例同图 4

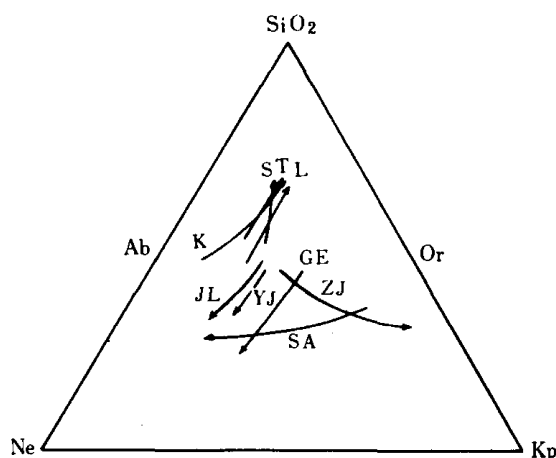


图 6 富碱侵入岩 SiO_2 -Kp-Ne 图解
ZJ——紫金山, SA——赛马, GE——个旧, JL——永胜,
YJ——Y 髻山, 箭头示演化方向, 其余图例同图 4

关于富碱侵入岩形成深度问题,从晶洞构造,文象结构普遍发育,以及和喷出岩的共生等表明具浅成特点。另外,富碱侵入岩辉石低 Al^{VI} 含量也反映了浅侵位属性,因为辉石八面体中 Al 含量与矿物结晶压力成正比。据作者统计各岩体辉石 Al^{VI} 平均值如下: 魁歧 0.026, 山海关 0.023, 雾灵山 0.010, 青田 0.018, 崂山 0.010, 巴尔哲 0.011, 布尔根 0.060, 紫金山 0.009, 龙王庙 0.003, 永胜 0.001, 柏林川 0.004, 赛马 0.044, 黄木棠 0.03, Y 髻山 0.054, 塔山 0.021, 滇西的太和, 苦干子和十里村 < 0.07 。

由此可见,富碱侵入岩都具深源浅成特点。

致谢 本文在涂光炽教授指导下完成,特此致谢。

参 考 文 献

- [1] 涂光炽等,花岗岩地质和成矿关系,江苏科学出版社,南京,1986, 21—37.
- [2] 涂光炽,矿产与地质,1989, 3(3): 1—4.
- [3] 周玲棣等,矿物学报,1993, 13(3): 220—229.
- [4] 周玲棣等,矿物学报,1989, 9(3): 193—201.

- [5] 彭亚鸣、董传万, 南京大学学报, 1991, 3(2): 138-147.
- [6] 卢欣祥, 岩石学报, 1989, (1): 67—77.
- [7] 张玉泉、谢应雯, 中国科学, B 辑, 1994, 24(10): 1102—1108.
- [8] 章邦桐等, 岩石学报, 1988, (3): 1—14.
- [9] 山东省地质矿产局, 山东省区域地质志, 地质出版社, 北京, 1991, 326—330.
- [10] 洪大卫等, 福建沿海晶洞花岗岩带的岩石学和成因演化, 北京科学技术出版社, 北京, 1987.
- [11] Batchelor, R. A. *et al.*, *Chemical Geology*, 1985, 48: 43—55.
- [12] Roger, J. W. Greenberg, J. K., *Bull. Geol. Soc. Am.*, 1981, 92: 6—9.
- [13] 许保良等, 岩石圈地质科学, 北京大学出版社, 北京, 1989, 158—170.
- [14] Brown, G. C. *et al.*, *J. Geol. Soc.*, London, 1984, 141: 413—426.
- [15] Foland, K. A. *et al.*, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1993, 57: 697—704.