

讨 论

试论花岗岩类碱度与成矿的关系

刘 振 声 汪 之 明

(一) 问题的提出

岩浆岩成矿专属性问题,尤其是成矿岩浆岩化学成分的研究,近年来取得不少成果。有人认为是“岩浆的酸度控制了所含主要金属的种类”^[2]。但笔者认为,该论点没有解决母岩中SiO₂(所谓酸度)和成矿金属(Sn、W、Mo、Cu、Fe、Cr、V、Ti……)之间有什么内在地球化学联系;更没有说明在岩浆作用及内生成矿作用过程中, SiO₂是怎样控制着这些元素的运移与集散。事实上, SiO₂含量相近的不同岩浆岩(如闪长岩类与霞石正长岩类)有着极不同的矿化作用,即使是SiO₂含量相同的同种岩浆岩,而因其形成时代和所属大地构造单元不同,亦具有不同成矿特征^[3],并有“含矿”与“不含矿”岩石之分。所以岩浆岩“酸度”控制成矿的论点并未阐明元素成矿作用的实质。

(二) 我们的意见

在内生作用过程中,碱质(K、Na)的重要性可归纳为以下几方面:

(1) 苏联学者Д. С. 柯尔仁斯基研究“活动组分”、“惰性组分”相律时指出:岩浆结晶过程中,碱质——K、Na化学位变化决定矿物生成顺序和共生组合^[4,6,9],因此造成碱性岩与碱度正常的岩浆岩矿物生成顺序和共生组合有显著差异,并使一些暗色矿物共结比例发生变化。例如橄榄石、辉石等矿物,它们在碱性岩中是富铁贫镁;而在一般岩石中则富镁而贫铁。由此他得出结论:碱度控制着岩浆演化,决定形成各种岩浆岩。此外,许多微量元素(Ti、Nb、Ta、Zr、U、Th、TR……)在碱度不同的岩石中亦生成不同矿物,出现不同副矿物组合。

(2) 不论是花岗岩类,抑或超基性—碱性岩类岩石,在岩浆晚期及期后均广泛发育碱质(K、Na)交代作用,并与一定稀有稀土元素矿化有关。

同时,国内外许多“变花岗岩”(Апограниты)的形成也与此有关。“变花岗岩”中常具有以下几个碱质交代阶段^[10]:



早期钾 早期钠 云英岩 晚期钠 晚期钾
长石化 长石化 化 长石化 长石化

同时,不同类型的“变花岗岩”均与一定稀有元素矿化有关。如白云母(黑云母)—钠长石型“变花岗岩”中绿柱石黑钨矿矿床;黑云母—钠长石型“变花岗岩”中锆英石、铜铁矿、褐钨铜矿矿床;钠闪石—钠长石型和黑云母—钠闪石型“变花岗岩”中烧绿石、锆石、铜铁矿、锡石、独居石、钛铈钙铈矿等矿床,以及锂云母—天河石—钠长石型“变花岗岩”中烧绿石、细晶石、钽铁矿、铜铁矿、锡石矿床。

(3) 继岩浆期末的伟晶岩阶段,碱质交代亦甚重要。一些学者把稀有金属花岗岩伟晶岩拟定为六个碱质交代阶段:Na、Ca→K→Li→Na→K(Rb)→Li、K、Rb、Cs。而绝大多数具有工业意义的稀有金属矿化均与碱质交代型伟晶岩有关。一些有工业价值的霞石正长伟晶岩亦是如此。

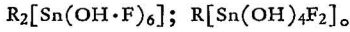
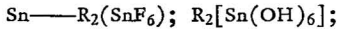
(4) 近年来,岩浆期后矿床围岩蚀变研究指出:碱质蚀变作用与成矿密切相关。如霓石化、碱性角闪石化、碱性辉石化(内蒙),钠长石化,云英岩化(湖南)与稀土元素及部分铀钍矿化有关;砂卡岩铁铜矿床中钾长石化,钠长石化,钠方柱石化等也很普遍;高温热液锡、钨、铍矿床中常见钾长石化、钠长石化、云英岩化;中低温矿床中钠长石化—钠黝帘石化、钾长石化、白云母—绢云母化、绢英岩化、黄铁绢英岩化乃至沸石化、冰长石化等均与相应的铜、铁、铅、锌、银、汞、锑、砷等矿床密切相关。由此可见, K、Na 直接参与了许多矿床的形成作用。

(5) 近来许多学者借助于矿物包体^[8],火山喷气,温泉成分以及模拟实验(Н. И. 希塔洛夫

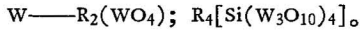
表 2 锡、钨、铋、钼、铜、铁成矿岩浆岩的化学成分

矿区号	矿种	地点	样品数	氧化 物 (%)														参 数								
				Na ₂ O	K ₂ O	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	烧失	总 计	AlK _(K)	AlK _(Na)	AlK _(K) + AlK _(Na)	AlK _(K) AlK _(Na)	a	al	fm	c
1	Sn	云南	6	3.88	4.64	74.88	0.09	13.03	0.45	1.21	0.01	0.28	1.13	0.05	0.53		100.18	5.57	7.1	12.7	0.79	70.2	14.6	1.6	1.1	
2	Sn	广 东		3.30	5.37	74.70	0.09	12.72	1.52	1.71	0.06	0.23	0.42	0.03		0.51	100.66	6.4	6.0	12.4	1.07	70.5	14.1	2.8	0.4	
3	Sn		2	3.19	4.94	73.90	0.09	12.97	1.08	2.01	0.06	0.29	0.79	0.05		0.86	100.23	6.0	5.9	11.9	1.02	70.2	14.5	2.8	0.8	
4	Sn		4	2.81	5.01	72.77	0.16	13.08	1.04	2.47	0.06	0.43	1.13	0.12	-	0.96	100.04	6.1	5.1	11.2	1.19	69.6	14.6	3.4	1.2	
5	Sn		2	2.89	5.38	74.16	0.14	12.80	0.46	2.10	0.07	0.32	0.91	0.08		0.48	99.79	6.5	5.4	11.9	1.13	70.5	14.2	2.5	0.9	
6	Sn		4	3.12	5.25	74.57	0.08	13.31	0.82	1.17	0.02	0.12	0.50	0.08		0.90	99.94	6.4	5.8	12.2	1.10	71.0	14.8	1.6	0.5	
7	Sn(W)		江西	3	3.33	5.40	73.20	0.12	13.26	1.86	1.37	0.20	0.01	0.01	0.04	0.12		98.91	6.5	6.2	12.7	1.05	69.8	14.9	2.5	0
8	Sn(W)	江西	2	4.03	5.93	72.63	0.12	13.20	2.00	1.54	0.11	0.14	0.32	0.25	0.15	0.37	100.57	7.1	7.4	14.5	0.96	68.1	14.5	2.8	0.3	
9	Sn	广西	11	3.55	5.05	74.50	0.08	12.27	0.85	1.75	0.11	0.57	0.65	0.17	0.61	0.19	100.05	6.1	6.5	12.6	0.94	70.4	13.7	2.8	0.7	
10	Sn	广西	7	2.61	5.30	72.54	0.24	12.34	1.27	2.44	0.05	0.63	0.88		0.66	0.52	99.75	6.5	4.8	11.2	1.35	70.0	14.3	3.8	0.9	
11	Sn(W)	福建		2.61	5.73	74.83	0.10	13.55	1.87	0.46		0.52	0.06				99.73	6.9	4.7	11.6	1.46	70.3	14.7	2.4	0.1	
12	W	江 西	25	3.58	4.56	74.85	0.17	14.15	0.78	0.52	0.05	0.20	0.62	0.12			99.71	6.5	6.5	12.0	0.85	70.6	15.6	1.2	0.6	
13	W		2	2.38	5.07	74.83	0.10	13.73	1.37	0.55	0.07	0.22	0.72		0.12		99.16	6.2	4.4	10.6	1.19	71.5	15.4	1.8	0.7	
14	W		1	3.78	3.02	75.43		11.17	1.32	1.28	0.78	0.79	2.30			0.43	0.87	100.74	3.6	6.9	10.5	0.52	71.3	12.5	3.7	2.3
15	W		3	4.03	3.94	74.13	0.08	14.62	0.68	0.70	0.22	0.03	0.41	0.10	0.14			99.08	4.6	7.4	12.0	0.62	70.3	16.2	1.3	0.4
16	W		1	3.06	4.60	72.00	0.25	13.43	0.83	1.70	0.07	0.54	1.43	0.08	0.12			99.33	5.7	5.7	11.4	1.00	69.3	15.2	2.8	1.5
17	W		2	3.29	4.21	72.69	0.08	13.96	0.89	1.18	0.06	0.12	0.35	0.14	2.83			99.80	5.3	6.2	11.5	0.85	70.6	15.9	1.9	0.4
18	W				4.24	4.15	76.18	0.06	14.75	0.25	0.94	0.22	0.51	0.03				101.33	4.9	7.6	12.5	0.65	70.0	15.7	1.7	0.1
19	W		湖南	15	3.46	4.20	73.52	0.16	13.86	0.56	1.56	0.07	0.47	0.79	0.21	0.76		99.57	5.2	6.4	11.6	0.81	70.0	15.5	2.4	0.8
20	W		11	3.54	5.04	74.84	0.11	13.58	1.26	0.67	0.12	0.38	0.94		0.78		100.79	6.0	6.4	12.4	0.94	69.8	14.4	1.9	1.0	
21	W	福 建	6	2.64	4.44	75.16	0.23	13.54	2.41	1.09		0.37	0.94	0.05			100.87	5.5	4.9	10.4	1.12	71.0	14.7	2.9	1.0	
22	W				3.06	3.77	71.26	0.45	14.12	3.71	0.31		1.36	1.43				99.47	4.5	5.6	10.1	0.80	67.8	15.8	4.8	1.5
23	W				3.46	4.70	75.98	0.15	12.46	2.27	0.54	0.14	0.26	0.82	0.05		0.40	101.23	5.6	6.2	11.8	0.90	71.3	13.8	2.4	0.8
24	W			2	2.93	4.56	73.84	0.15	14.76	0.28	1.25		0.36	0.48			0.39	1.41	99.94	5.6	5.4	11.0	1.04	70.3	16.5	1.7
25	Be	广 东	2	3.81	4.44	74.51	0.03	11.67	0.43	2.38	0.14	0.69	1.06	0.02	0.23	0.08		99.49	5.4	6.9	12.3	0.78	70.3	12.9	3.3	1.1
26	Be		5	3.99	4.87	74.10	0.06	12.52	1.22	1.40	0.10	0.40	1.28	0.21	0.34	0.06		100.55	5.8	7.3	13.1	0.79	69.5	13.8	2.5	1.3
27	Be		4	3.38	4.35	76.42	0.09	11.90	0.77	0.64	0.23	0.35	0.48	0.22	0.40	0.22		99.44	5.3	6.3	11.6	0.84	72.4	13.4	1.7	0.5
28	Be	江西	3	3.46	4.30	71.39	0.24	14.90	0.84	1.51	0.07	0.52	1.49	0.09	0.97	0.19		99.97	5.2	6.2	11.4	0.84	67.7	16.5	2.5	1.5
29	Be	江西	4	3.34	4.48	74.22	0.07	13.25	0.86	0.99		0.57	1.08		0.32			99.18	5.5	6.1	11.6	0.90	70.4	14.8	2.2	1.1
30	Be	福建		2.73	4.73	75.46	0.05	14.09	1.21	0.35		0.50					99.12	5.7	5.1	10.8	1.12	71.7	15.7	1.7	0	
31	Be	云南	2	3.46	5.07	73.88	0.12	12.73	0.72	0.36	0.10	0.52	0.67	0.16	0.4	0.54		99.37	6.1	6.3	12.4	0.97	70.2	14.2	1.5	1.7
32	Mn		3	3.07	2.65	69.60	0.50	16.56	1.75	0.96	0.02	0.56	2.64	0.14	0.33			99.41	3.3	6.3	9.6	0.52	65.9	18.5	2.8	2.7
33	Mo	江苏	3	4.13	3.48	63.80	0.58	15.59	2.23	2.72	0.08	2.48	4.59			0.46	100.14	4.2	7.5	11.7	0.56	69.4	17.1	7.2	4.6	
34	Mo	湖北	1	3.88	3.42	62.40	0.58	14.48	11.44	4.53	0.14	1.62	3.80		0.55	0.62		98.50	4.2	7.3	11.5	0.58	60.7	16.6	7.1	4.0
35	Mo	江 西		2.80	3.30	67.08	0.52	15.61	1.64	3.19	0.06	1.90	3.51	0.20	0.76			100.57	4.0	5.1	9.1	0.78	63.6	17.7	6.3	3.5
36	Mo	江 西		4.32	2.86	65.56	0.38	16.11	3.72	2.57	0.10	0.87	3.70	0.18	0.28			100.65	3.4	7.8	11.2	0.44	61.4	17.7	5.9	3.7
37	Mo	苏联		3.60	4.24	74.95	0.14	12.66	1.45	0.43		0.33	1.33		0.68	0.14		100.04	5.5	6.6	12.1	0.83	70.8	14.1	1.8	1.4
38	Cu	江西	1	3.61	2.74	62.89	0.41	15.47	1.56	3.56	0.24	2.10	4.31	0.24	1.69			99.82	3.4	6.7	10.1	0.51	60.6	17.6	7.1	4.5
39	Cu	安徽	4	3.77	3.64	64.77	0.63	16.80	1.33	2.18		1.80	5.49	0.28	0.71			101.40	4.3	6.7	11.0	0.64	60.0	18.4	5.1	5.5
40	Cu	安徽	1	4.80	2.91	63.78	0.52	16.49	5.37		0.08	1.84	3.76					99.55	3.5	8.6	12.1	0.41	59.6	18.4	6.4	3.8
41	Cu	安徽	2	3.87	3.54	69.20	0.47	15.55	3.22	1.86		0.94	3.05					101.70	4.2	7.0	11.2	0.60	64.2	17.0	4.9	3.0
42	Cu	江西	1	1.50	3.50	68.84	0.38	14.51	9.15	1.04	0.13	1.08	0.36	0.26				100.71	4.3	2.8	7.1	1.53	66.7	16.5	9.4	0.4
43	Cu	河北	3	3.17	3.63	69.41	0.10	16.30	3.30	1.46	0.02	1.58	2.01		0.19			101.17	4.3	5.8	10.1	0.74	64.6	17.7	5.6	2.1
44	Cu	西 秦 岭	2	2.82	2.28	62.29	0.49	16.26	2.36	2.79	0.03	3.35	5.13	0.09		0.92		98.81	2.8	5.2	8.0	0.54	59.7	18.6	8.7	5.3
45	Cu		2	3.15	2.84	63.22	0.58	15.69	1.80	3.31	0.07	1.97	4.39	0.85		1.15		99.02	3.6	6.3	9.9	0.57	62.2	18.5	5.2	4.7
46	Cu		2	3.47	2.12	66.94	0.39	15.32	1.74	2.06	0.03	0.85	3.29	0.33		3.17		99.71	2.5	6.6	9.1	0.38	65.6	17.7	4.2	3.5
47	Cu	美国		4.48	2.38	64.49	0.46	17.43	1.84	1.65	0.09	1.93	3.47	0.19	0.90	0.44		99.75	2.8	8.2	11.0	0.34	60.7	19.8	5.4	3.5
48	Fe	湖北	4	5.11	3.33	62.36	0.77	18.88	3.84	0.78	0.05	1.58	3.83		0.79			101.32	3.9	9.1	12.0	0.43	57.3	20.4	5.4	3.8
49	Fe	安 徽		6.34	1.84	54.38	0.41	17.88	10.01	4.42		3.17	3.06					101.51	2.1	11.3	13.4	0.19	49.7	19.6	14.5	3.0
50	Fe		7	5.20	3.08	58.42	0.69	17.51	5.09	1.05			3.16	4.65	0.25			99.10	3.7	9.4	13.1	0.39	54.2	19.4	8.7	4.7
51	Fe		5	4.94	3.17	57.01	0.67	16.95	5.29	1.00			3.81	5.17	0.19			98.20	3.7	9.0	12.7	0.41	53.4	18.5	9.8	5.2
52	Fe	江苏	4	3.34	2.67	55.93	0.76	15.96	4.11	2.72	0.12	3.87	5.51	0.26	2.34	1.60		99.19	3.1	5.9	9.0	0.53	50.8	17.4	10.3	5.4
53	Fe	江苏	3	3.89	1.69	52.96	0.57	15.77	7.00	5.51	0.08	3.39	9.22	0.06				100.14	2.0	7.1	9.1	0.28	49.8	17.6	14.3	9.3
54	Fe	浙江	1	3.84	2.18	58.55	0.64	17.34	1.47	5.50	0.10	2.80	5.32					97.74	2.6	7.1	9.7	0.37	55.5	19.4	9.4	5.4
55	Fe</																									

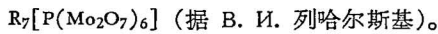
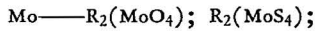
等)的研究并结合地质来探索矿液中金属的搬运形式问题^[11,12]。一般认为,许多金属主要以金属络合物进行运移,并且矿液酸—碱性质在很大程度上也取决于 K、Na 的化学活度^[10]。金属主要的碱络合物很多,现举几例如下¹⁾:



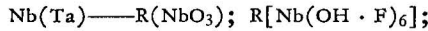
(据 B. Л. 巴尔苏科夫)。



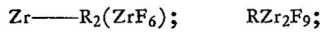
(据 B. Ф. 巴拉诺夫和 O. B. 勃雷兹加宁)。



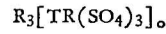
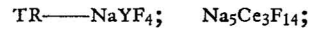
(据司幼东和 A. A. 别乌斯)。



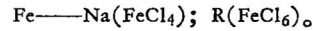
(据 E. П. 索波列夫等)。



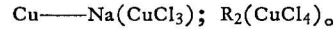
(据 И. Г. 加涅耶夫 1960 年)。



(据 A. A. 米涅夫等)。



(据 Д. B. 加里宁等)。



(据 Л. H. 沃欣尼科夫)。

最近 И. И. 戈沃洛夫 (1964 年) 总结出:岩浆早期分馏阶段, Ti、Zr、TR、Be、Fe、Nb 形成络合物类型为 $(K, Na)_k[Me_m(CO_3)]$ 和 $(K, Na)_k \cdot [(MeO)_m(CO_3)]$; 酸性蒸馏阶段 Sn、Zn、Pb、Be、Nb、Fe 等络合物类型为 $(K, Na)_k[Me(F, Cl)_n]$; 而晚期阶段 Zn、Pb、Cu、Sn 等络合物类型为 $(K, Na)_k \cdot [Me(Cl, Sn)_n]$ 和 $(K, Na)_k[Me_m(CO_3)_n(OHFCISH)_p]$ 。

综合上述可知, K、Na 不但是矿液中常在组分, 且在成矿过程中直接决定着各金属的运移与集散。

(6) 各类岩浆岩中成矿元素平均含量表明, 许多亲石成矿元素 (Li、Be、Nb(Ta)、Zr(Hf); TR、U、Th 等) 按超基性岩—基性岩—中性岩—

表 1 各类岩浆岩中元素平均含量(%)*

元 素	超基性岩	基 性 岩	中 性 岩	酸 性 岩	霞石正长岩**
Na	$5.27 \cdot 10^{-1}$	1.94	3.0	2.77	7.37
K	$3 \cdot 10^{-2}$	$8.32 \cdot 10^{-1}$	2.3	3.34	4.09
Li	$5 \cdot 10^{-5}$	$1.5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$3.7 \cdot 10^{-3}$
Be	$2 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$1.8 \cdot 10^{-4}$	$5.5 \cdot 10^{-4}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$
Zr	$3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$2.6 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$3.63 \cdot 10^{-1}$
Nb	$1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$6.92 \cdot 10^{-2}$
U	$3 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$1.8 \cdot 10^{-4}$	$3.5 \cdot 10^{-4}$	$1.6 \cdot 10^{-3}$
TR	$7.5 \cdot 10^{-3}$		$1.45 \cdot 10^{-2}$	$1.7 \cdot 10^{-1}$	$1.7 \cdot 10^{-1}$
Zn	$3 \cdot 10^{-3}$	$1.3 \cdot 10^{-2}$	$7.2 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$2.01 \cdot 10^{-2}$
Pb	$1 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$1.5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1.46 \cdot 10^{-3}$
Sn	$5 \cdot 10^{-5}$	$1.5 \cdot 10^{-4}$	—	$3 \cdot 10^{-4}$	
W	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1.5 \cdot 10^{-4}$	
Mo	$2 \cdot 10^{-5}$	$1.4 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	
Ni	$2 \cdot 10^{-1}$	$1.6 \cdot 10^{-2}$		$8 \cdot 10^{-4}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$
Mn	$1.5 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$		$6 \cdot 10^{-2}$	$2.3 \cdot 10^{-1}$
Ti	$3 \cdot 10^{-1}$	$9 \cdot 10^{-1}$		$2.3 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$
V	$4 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$		$4 \cdot 10^{-3}$	$1.05 \cdot 10^{-2}$
Cr	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-2}$		$2.5 \cdot 10^{-3}$	$2.78 \cdot 10^{-3}$

* 据 A. П. Виноградов (1962) 资料。

** 据 B. И. Герасимовский 洛沃泽尔碱性岩资料。

1) R 代表 K、Na。

酸性岩—碱性岩依次增富。一些亲硫，亲铁元素 (Pb、Zn、V、Cr、Ni、Ti、Mn……) 在碱性岩中含量亦比在酸性岩中高。这恰与各类岩石中碱度 (K、Na 含量) 递增相一致 (表 1); 这明显地反映出, 各元素含量对岩石碱度有专属关系。须知, 岩石中金属元素背景值高低是矿床形成必要 (但不充分) 条件。

(7) 许多变质岩研究者指出, 区域变质, 尤其是花岗岩化作用, 其实质就是 K、Na、Si 的带入, 而 Ca、Mg、Fe 带出。这里亦广泛发育着钾长石化, 钾、钠条纹长石化。

综上所述, K、Na 在岩浆—成矿过程中的作用是十分显著的, 因此在探讨岩浆岩成矿专属性时, 应着重研究岩石碱度情况。

(三) 花岗岩类岩石中碱度与成矿的关系

本文收集 55 个大小矿区近 300 个岩石化学全分析资料, 来探讨锡、钨、钼、铍、铜、铁六个矿种与母岩 (花岗岩类) 化学成分间的关系。

矿床类型包括:

Sn——锡石硫化物型及高温锡石, 黑钨矿石英脉型锡矿床。

W——矽卡岩型白钨矿及脉型黑钨矿矿床。

Be——钠长石化, 云英岩化花岗岩绿柱石型; 云英岩型, 高温石英脉绿柱石型及矽卡岩铍榴石-日光榴石型铍矿床。

Mo——细脉浸染型钼矿床及矽卡岩型钼铜矿床。

Cu——矽卡岩型及细脉浸染型铜矿床。

Fe——矽卡岩型及高温气化热液型铁矿床。

矿床。

这些较典型的矿区, 大都分布在我国东部, 属西太平洋成矿带, 且多与燕山期构造岩浆旋迴有关。我国南部还有大量其他时代花岗岩类侵入体, 它们因其时代不同各具一定成矿特点, 就是同一时代亦有“含矿”与“不含矿”岩体之差异。因此地质学上区分它们, 在理论上和实际上均很重要。

通过资料整理, 我们发现不同时代, 尤其是同一时代同种花岗岩类岩石, 其 SiO₂ 含量极为近似。因此, 用所谓“酸度”很难识别出金属成矿与

岩体时代和岩性的专属关系。但对全面研究 (岩石学, 矿床学, 地球化学等) 岩浆成矿专属性后, 我们发现最突出的特点是: 上述六矿种成矿母岩化学成分中含碱情况大不同于 (质和量) 普通岩石 (戴里), 且有一定演化规律。

首先把各金属成矿母岩主要化学成分换算成原子百分比 (表 2), 并令以下参数分别表示: K——AlK_(K) 称为钾碱质系数; Na——AlK_(Na) 称为钠碱质系数; AlK (AlK_(K) + AlK_(Na)) 称碱度系数; $\frac{AlK(K)}{AlK(Na)}$ 称为碱质比; Ca—C 称为钙质系数; Al——称为铝质系数; Si—Si 称为硅质系数。

以诸参数作出各金属成矿岩浆岩相关投影图 (图 1—12)。分析各图如下:

(1) 图 1 中明显指出各金属成矿岩浆岩比同种普通花岗岩类岩石, 其碱度较高。Sn 成矿岩浆岩中虽没有出现碱性铁镁矿物 (碱性辉石, 碱性角闪石, 霓石——碱性花岗岩所特有的矿物), 一般为碱土花岗岩 (戴里)。但是其碱度 (11.2—14.5) 都

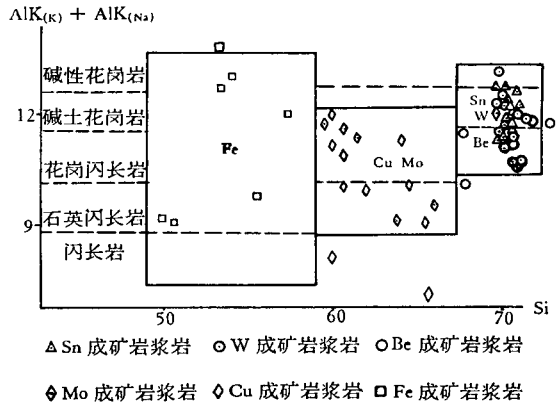


图 1 成矿岩浆岩与普通岩浆岩碱度对比图 (图 1—12 的图例相同)

显著的高于碱土花岗岩 (碱度为 11.6), 而近似于碱性花岗岩 (戴里) 的碱度值 (12.8)。Mo 成矿岩浆岩一般为花岗闪长岩, 其碱度 (9—12) 多数都高于普通花岗闪长岩 (戴里) 的碱度值 (10.2)。Cu 成矿岩浆岩为石英闪长岩, 部分为花岗闪长岩, 它们的碱度值 (8—12) 均高于普通石英闪长岩 (碱度为 8.8—戴里)。铁成矿岩浆岩高碱度 (9—13) 更为突出, 一般为普通闪长岩和石英闪长岩碱度 (8.8) 的 1—1.5 倍, 可称为富碱中性岩。

(2) 图 2 中指出 Sn、W、Be 成矿岩浆岩钾质

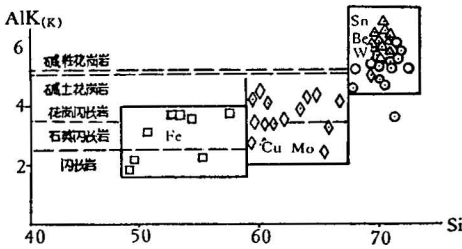


图 2 成矿岩浆岩与普通岩浆岩钾质系数对比图

系数一般都高于普通花岗岩（碱性花岗岩及碱土花岗岩）的钾质系数，即前者较后者含钾高，尤其是 Sn 成矿岩浆岩更为突出；而钠质系数则相反，一般前者低于后者。Mo、Cu 成矿岩浆岩与普通花岗岩闪长岩、石英闪长岩相比，钾质系数稍高一些，但它们的钠质系数值则相近。铁成矿岩浆岩

钠质系数值明显地高于普通中性岩（闪长岩、石英闪长岩）钠质系数值。

同时图 3—6 亦指出，各金属成矿岩浆岩碱质系数比值按 Sn—W Be—Mo—Cu—Fe 依次减小，其平均值分别为：Sn—1.10，W—0.87，Be—0.89，Mo—0.62，Cu—0.63，Fe—0.37。

此外，在图 7 中可看出，各金属成矿岩浆岩投影点分布极有规律。Sn 离钾质系数轴最近；W，Be 次之，Fe 离钠质系数轴最近，而 Mo，Cu 处于两轴之中间部位，Mo 稍偏近于钾质轴，Cu 稍偏近于钠质轴。

以上均明显地指出，各矿种与母岩中某一碱质有一定的专属关系。Sn、W、Be 成矿岩浆岩较富含钾碱质，尤其是 Sn，其母岩更富钾质；而铁成矿岩浆岩则以富钠质为特征。Mo、Cu 成矿母岩为钾钠质岩石，或稍富钾质岩石。

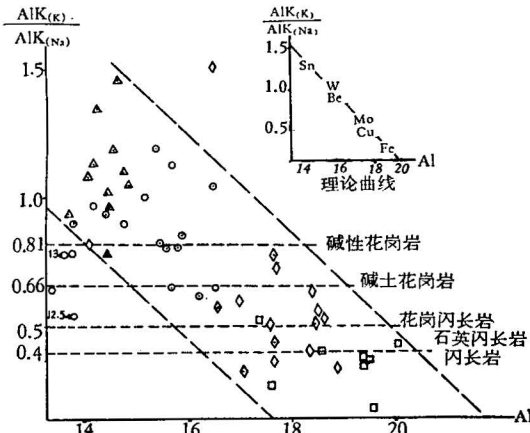


图 3 碱质系数比与铝质系数的关系图

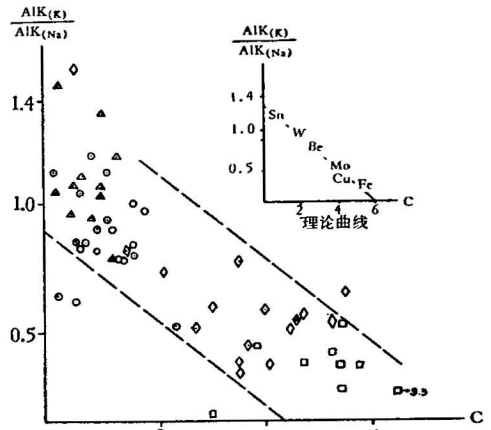


图 5 碱质系数比与铁镁质系数的关系图

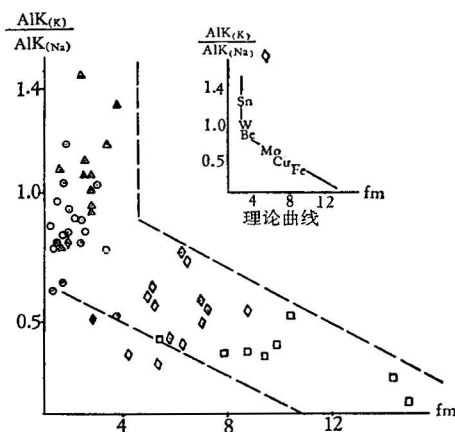


图 4 碱质系数比与钙质系数的关系图

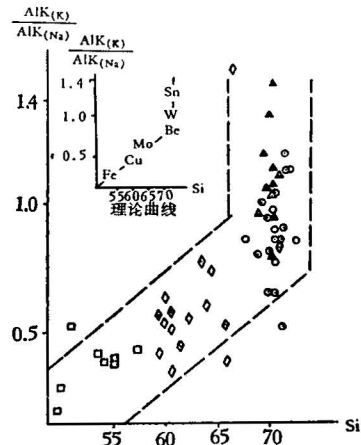


图 6 碱质系数比与硅质系数的关系图

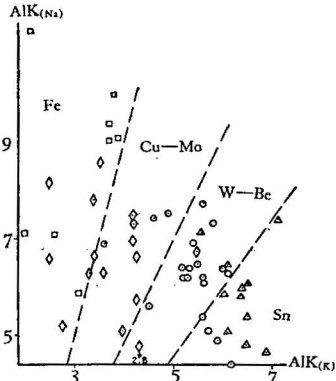


图7 钾质和钠质花岗岩类岩成矿专属图

(3) 从图 8—11 可看出, 各金属成矿岩浆岩的钾质系数值按 Sn—WBe—Mo—Cu—Fe 依次降低, 分别为: Sn— 6 ± 1 , WBe— 5 ± 1 , Mo— 4 ± 1 , Cu— 3 ± 1 , Fe— 2 ± 1 。

(4) 据各金属成矿母岩诸岩石化学参数的平均值(表 3) 作得两曲线图(图 12, 13)。图中各曲线对的变化可综合地反映出“含矿岩石”与“不含矿岩石”化学成分上的差别。

以上几点现象的简单理论探讨:

(1) 金属在岩浆中集聚和分馏出的形式均以碱金属络合物为主。碱份和挥发份可以看作岩浆中成矿金属的“吸集剂”和“载体”。因此, 碱质较多利于岩浆富含某些金属元素(表 1), 且有可能

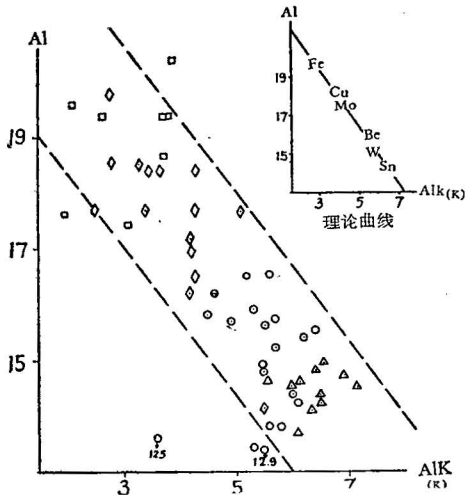


图8 钾质系数与铝质系数的关系图

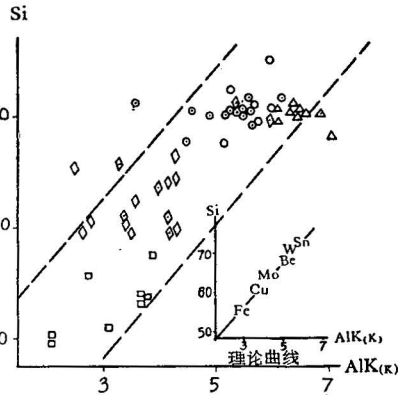


图9 钾质系数与硅质系数的关系图

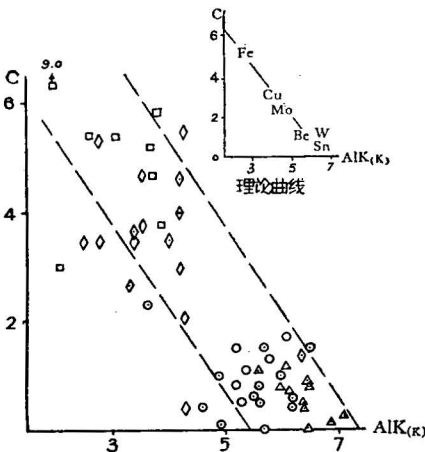


图10 钾质系数与钙质系数的关系图

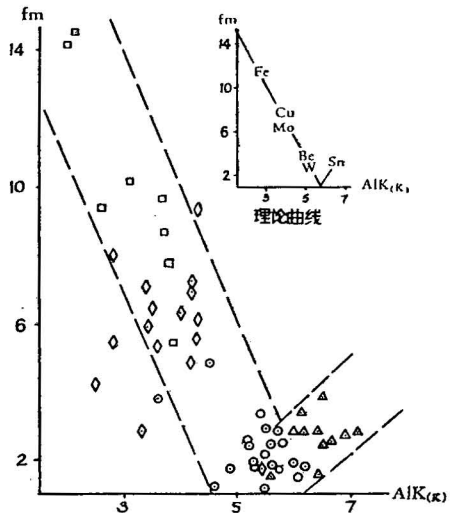


图11 钾质系数与铁镁质系数的关系图

表 3 金属成矿岩浆岩各参数平均值

岩石种类	AlK _(K)	AlK _(Na)	$\frac{AlK_{(K)} + AlK_{(Na)}}{AlK_{(Na)}}$	$\frac{AlK_{(K)}}{AlK_{(Na)}}$	Si	Al	fm	C
Sn 成矿岩浆岩	6.4	5.9	12.3	1.10	70.5	14.5	2.6	0.6
W 成矿岩浆岩	6.2	6.1	11.4	0.87	70.3	15.2	2.3	0.9
Be 成矿岩浆岩	5.6	6.3	11.9	0.89	70.3	14.5	2.2	0.7
Mo 成矿岩浆岩	4.1	5.8	10.9	0.62	63.6	17.0	5.2	3.3
Cu 成矿岩浆岩	3.6	6.4	10.0	0.63	62.4	18.0	6.2	3.6
Fe 成矿岩浆岩	3.1	8.6	11.7	0.37	53.0	19.0	10.0	5.3
碱性花岗岩	5.1	7.7	12.8	0.66	69.5	13.8	3.5	0.5
碱土花岗岩	5.2	6.4	11.6	0.81	66.3	15.7	4.3	2.2
花岗闪长岩	3.4	6.8	10.2	0.50	61.5	17.7	6.1	4.5
石英闪长岩	2.5	6.3	8.8	0.40	59.3	18.3	8.9	4.4
闪长岩	2.5	6.3	8.8	0.40	54.0	18.7	11.6	6.9

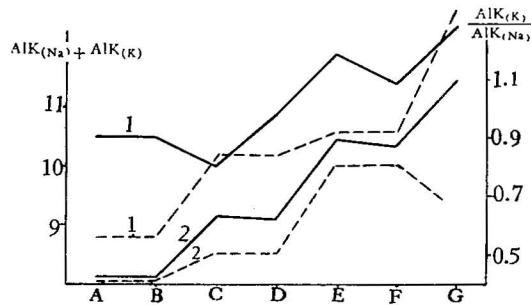


图 12 成矿岩浆岩与普通岩浆岩碱度及碱质比平均值对比曲线图

A 铁成矿岩浆岩——闪长岩(戴里), B 铁成矿岩浆岩——石英闪长岩(戴里), C 铜成矿岩浆岩——花岗闪长岩(戴里), D 钼成矿岩浆岩——花岗闪长岩(戴里), E 铍成矿岩浆岩——碱土花岗岩(戴里), F 铈成矿岩浆岩——碱土花岗岩(戴里), G 锡成矿岩浆岩——碱性花岗岩(戴里)

1—普通岩浆岩碱度曲线 2—普通岩浆岩碱质比曲线 1—成矿岩浆岩碱度曲线 2—成矿岩浆岩碱质比曲线

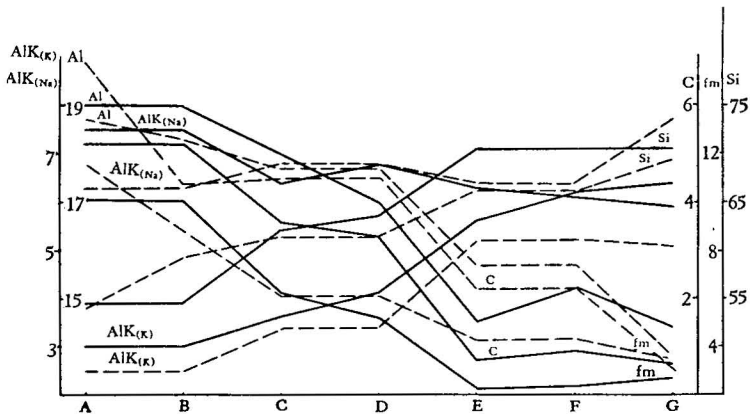


图 13 成矿岩浆岩与普通岩浆岩主要参数平均值对比曲线图

A 铁成矿岩浆岩——闪长岩(戴里), B 铁成矿岩浆岩——石英闪长岩(戴里), C 铜成矿岩浆岩——花岗闪长岩(戴里), D 钼成矿岩浆岩——花岗闪长岩(戴里), E 铍成矿岩浆岩——碱土花岗岩(戴里), F 铈成矿岩浆岩——碱土花岗岩(戴里), G 锡成矿岩浆岩——碱性花岗岩(戴里)

---普通岩浆岩的参数曲线, ——成矿岩浆岩的参数曲线

形成相应的矿床。实际上,在上述矿种的许多母岩和矿床中广泛发育着各种碱质蚀变现象,也就有力证明了碱质的作用。同时,对我国南方五十余个不同时代花岗岩类侵入体研究,根据上千个定量分析数据指出:“含锡花岗岩”锡平均含量为 25ppm,比同区“不含锡花岗岩”锡平均含量(5.6ppm)高 3.5 倍。铍成矿花岗岩铍含量为 10—30ppm,而非铍成矿花岗岩铍含量一般则低于 7ppm。这些成矿花岗岩同样具有高含碱质的特点。同时岩体中铍含量的高低正比于其碱质的总含量。

此外,金属碱质络合物的稳定性及赋存与否,完全取决于所在介质的性质(尤其是介质的碱-酸度)。所以上述酸性-中酸性-中性的各花岗岩类岩石所伴生的 Sn—W Be—Mo—Cu—Fe 规律矿化现象,可能由于岩石化学成分(介质)的逐渐变化所致。

(2) 不同金属矿床与某一碱质为什么有一定专属关系? 由于钾和钠化学性质有所差异,因此它们与各金属及有关阴离子所形成的络合物,其稳定性也不同。实际上,大量地质事实表明,在 Sn、W Be、Mo 高温矿床中所发育着的各种碱质交代作用,多以钾交代为主(钾长石化,云英岩化,黑云母化,白云母化,绢英岩化,黄铁绢英岩化,……)。因此可以推想在内生作用过程中这些金属多以钾络合物进行运移,而期后 Fe 矿床中则钠质交代作用极为发育(钠长石化,钠黝帘石化,钠柱石化,……),这说明铁钠络合物是它的携带剂。Д. В. 加里宁(1960年)实验亦证明了络合物 Na(FeCl₃), Na(FeCl₆) 在高温下极为稳定。岩浆期后铜矿床中常并存有钠质和钾质双交代现象,有时钠交代作用稍强些(钠长石化,钠黝帘石化,钠柱石化,钾长石化,绢云母化,各种绢英岩化)。依此就不难理解,为什么与 Sn、W、Be、Mo 成矿相关的花岗岩,花岗闪长岩以高碱较富钾质为特征,而期后 Fe 矿则多专属于高碱富钠质中性岩石;岩浆期后 Cu 矿则常与高碱钠-钾质的中性岩石有关。

结 论

1. 我国东部花岗岩类岩石成矿特征:

Sn 矿与高碱富钾质花岗岩有关,

W Be 矿与钾质花岗岩有关,

Mo 矿与高碱钾质花岗闪长岩有关,

Cu 矿与高碱钠质石英闪长岩,钾质花岗闪长岩有关,

Fe 矿与高碱富钠质石英闪长岩及闪长岩有关。

2. 在富碱花岗岩类岩石中,随钾质作用的减小,钠质作用的增强,形成 Sn—W Be—Mo—Cu—Fe 有规律的矿化。

3. 岩浆的碱度控制了所含主要金属的种类。此外,笔者尚认为此结论亦可适用于碱性岩及基性—超基性岩类的成矿专属。

碱性岩类中,钠质岩浆岩与钾质岩浆岩有极不同的成矿现象。在基性—超基性岩中,虽然碱质(K、Na)含量甚微,但却含有大量的碱土金属(Mg、Ca)。无疑地, Mg、Ca 决定该类岩浆的碱度。实际资料亦表明,该类岩石中,一般镁质岩石以形成铬、铂和金刚石矿床为特征;钙质岩石则以钒、钛矿床有关;而钙-镁质岩石则以铜-镍矿床有专属关系。由此可看出,在该类岩石中亦然是碱度(碱土金属 Ca、Mg)控制了所含金属的主要种类。

本文引用了有关兄弟单位和同志的资料,写作本文时又得到王德滋老师的亲切指导,徐克勤教授,张祖还教授,胡受奚老师及牟惟焜同志为之审阅,徐富林同志清绘图件,于此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 司幼东 1963 关于铍矿化交代作用的选择性问题。地质科学第 1 期。
- [2] 闻广等 1963 再论岩浆岩成矿专属性。地质学报 43 卷第 4 期。
- [3] 徐克勤等 1963 华南多旋迴的花岗岩类的侵入时代,岩性特征,分布规律及其成矿专属性的探讨。地质学报 43 卷 1—2 期。
- [4] 柯尔仁斯基 Д. С. 1963 岩石形成作用的物理化学理论问题。地质译丛第 3 期。
- [5] Барсуков, В. Л. 1953 Формах переноса олова в гидротермальных растворах. АН СССР ЛЗД.
- [6] Белов, Н. В. 1959 Кристаллохимия основного процесса кристаллизации магмы. СБ, “Геохимия редких элементов в связи проблемой петрогенезиса”, Труд симпозиума, АН СССР стр. 94.
- [7] Беус, А. А. и др. 1962 Альбитизированные и грейзенизированные граниты, “Апограниты”, АН СССР.
- [8] Ермаков, Н. П. 1950 Исследования минераллообразующих растворов. хорьковского гес Ун-та.

- [9] Коржинский, Д. С. 1960 2, Кислотность-щелочность при магматических процессах. В КН: Гранито-гнейсы. АН УССР.
- [10] Коржинский, Д. С. 1957 Зависимость активность кислотности раствора и последовательность реакций при послемагматических процессах. Геохимия № 7.
- [11] Щербина, В. В. 1956 Формы переноса химических элементов в процессах минералообразования и условия их концентрации. Сб. Вопросы геохимии и минералогии. АН СССР.
- [12] Щербина, В. В. 1962 Способы выявления форм переноса в геохимических процессах. Геохимия № 1.