

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

论我国东部与铁、铜矿床有关的中-酸性 岩类的成矿专属性*

胡受奚 周顺之 孙明志 任启江

(南京大学地质系)

一定类型和一定成分的火成岩与一定类型矿床的成因联系——成矿专属性的问题,是矿床学的基本问题之一。五十年代,闻广等^[1]曾首先提出成矿专属性这个术语,并指出火成岩的酸度是确定其内生金属矿床成矿专属性的标志,这是具有一定意义的;它反映了地球化学总的演化规律,但是它还不能指示与火成岩有关的气化-热液成矿的可能性,以及成岩与成矿的内在联系。大量地质资料及分析数据表明,火成岩的碱度(a 值或 Na_2O 、 K_2O 的含量及其总和)的异常,则是成矿的重要因素,也是识别成矿可能性的重要标志之一。至于与碱质含量有关的钙碱指数和组合指数(李特曼指数),不仅是确定火成岩类型和系列的重要标志,也是判别成矿的标志之一。与中性和基性岩类的热液作用有成因联系的各种铁、铜矿床的火成岩类岩石具有十分明显的成矿专属性。1962 年—1965 年,我们曾提出“侵入岩愈含碱质(与正常岩石比较)成矿的可能性也就愈大”^[2]。

根据我们对长江中下游热液型和接触交代型铁、铜矿床有关的侵入岩成矿专属性的研究^[2],划分出五种主要矿床类型: I. 凹山式铁矿床 $\text{Fe}-(\text{V})-(\text{Ti})-\text{P}$ 建造; II. 含铜磁铁矿矿床(大冶式) $\text{Fe}-\text{O}-\text{Cu}-(\text{S})$ 建造; III. 具有大量磁铁矿、磁黄铁矿、黄铁矿的铜矿床(铜官山式) $\text{Cu}-\text{Fe}-\text{S}-(\text{O})$ 建造; IV. 铜-钼矿床(铜山口式) $\text{Cu}-\text{Mo}-(\text{S})$ 建造; V. 铜矿床(沙滩角式) $\text{Cu}-(\text{S})$ 建造。从第 I 类型矿床到第 V 类型矿床有关火成岩,“表现为钠质逐渐降低,钾质和二氧化硅逐渐升高,这特别清楚地表现在 K/Na 值的逐渐增加上。因此清楚地表现出岩浆岩的成矿专属性,即铁矿与富钠的中性侵入岩有关,铜矿与富钾的弱酸性侵入岩有关,铁、铜都富的矿床有关的侵入岩钾、钠皆较富。”;“总结起来,与矿化有关的侵入岩以碱度特高为其最重要的特征”^[2](图 1)。

五十年代末和六十年代初,我们在华南研究与钨、锡、铍、铌、钽等矿化有关的花岗岩时,发现其普遍具有钾长石化、钠长石化、云母化和云英岩化等现象存在^[3,4,5]。国外有人称其为变花岗岩^[6];我们认为应称为交代蚀变花岗岩。同样我们发现与铁矿床和铜矿床有关的岩体,也普遍具有碱交代蚀变的现象,如与铁矿有关的岩体,常在矿体周围或其下部发育一定规模的钠长石化、方柱石化等;在铜矿四周的侵入岩体中,常发育大范围的钾长石化、绢英岩化、黄铁绢英岩化、硅化、泥化等;我们曾称在外貌上保持侵入岩特征的这些交代蚀变岩石为变闪长岩、变辉绿岩、变石英二长岩等,现在为了使概念统一和确切,把

* 文中还引用了我国西部个别矿床的岩石化学分析数据。

1) 胡受奚等, 1962 年中国地质学会论文摘要汇编(第一册)及 1963 年和 1965 年江苏地质学会年会论文摘要。

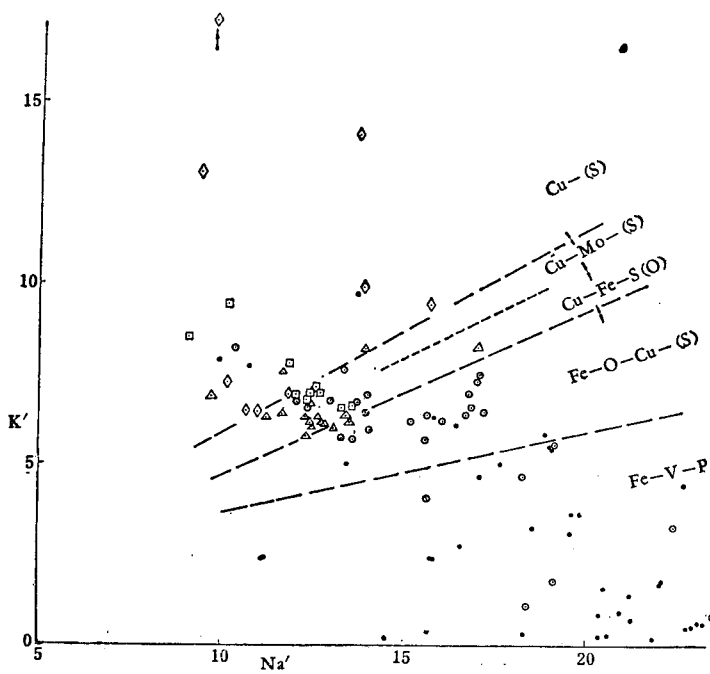


图1 火成岩的 $K' \left(\frac{K \text{ 原子数}}{Si \text{ 原子数}} \times 100 \right)$ 和 $Na' \left(\frac{Na \text{ 原子数}}{Si \text{ 原子数}} \times 100 \right)$ 座标图上所反映出来的成矿专属性

黑点为凹山式铁矿床;圆圈为大冶式铁矿床;三角为铜官山式铜矿床;方框为铜山口式铜钼矿床;菱形为沙滩角式铜矿床

这种与矿化有密切关系的,并有一定交代蚀变现象的岩石称为交代蚀变闪长岩、交代蚀变石英二长岩、交代蚀变花岗闪长岩等。因为有的矿区或矿田中,遭受交代蚀变的侵入岩分布很广,以至有时很难找到未经交代蚀变的新鲜原岩。如宁芜火山岩断陷盆地中,与铁矿有关的侵入体,几乎都发现遭受不同程度的交代蚀变。城门山斑岩铜矿有关侵入体也是如此。由于这些交代蚀变作用与侵入体本身有内在的成因联系,因此除认真研究没有被交代蚀变原岩的岩石学、岩石化学特征的同时,对这种带有普遍性的交代蚀变岩石的岩石学及岩石化学的研究和比较,同样具有重要意义,甚至后者更能反映其与成矿的关系,但应注意不同深度和不同交代蚀变种类及强度的变化情况。

我们认为确定和鉴别与热液矿床有关火成岩的成矿专属性的最重要和最有效的岩石化学参数(表1)主要是由 Na_2O 、 K_2O 的含量和总量、 SiO_2 的含量以及它们间的相关性(包括李特曼指数和钙碱指数)所决定的。

表 1

查瓦里茨基主要参数						新 采 用 的 补 充 参 数			
a	b	c	s	n	a/c	K'	Na'	n'	s'
参数换算按查瓦里茨基岩石化学计算方法						$\frac{K \text{ 原子数}}{Si \text{ 原子数}} \times 100$	$\frac{Na \text{ 原子数}}{Si \text{ 原子数}} \times 100$	$\frac{K \text{ 原子数}}{Na \text{ 原子数}} \times 100$	Si 原子数

下面我们用这些参数分别来阐述我国与铁矿床及铜矿床有关侵入岩的成矿专属性。这些资料中包括 89 个矿区、997 个火成岩硅酸盐分析资料：其中铁矿床 49 个，有关火成岩硅酸盐分析资料 685 个；铜矿床 40 个，有关火成岩硅酸盐分析资料 312 个。经过各种计算，制成各种图、表(表 2)。根据这些图、表资料，可以明确地得出以下结论：

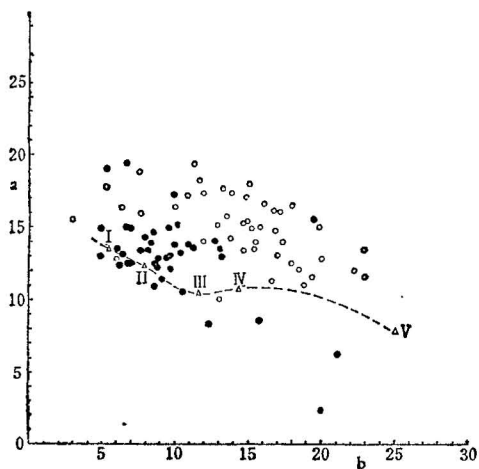


图 2 与铁、铜矿床有关的火成岩的岩石化学参数 a 、 b 座标图

虚线为戴里相应标准曲线，I. 花岗岩；II. 花岗闪长岩；III. 石英闪长岩；IV. 闪长岩(包括石英闪长岩)；V. 辉长岩(不包括橄辉长岩)。小圆点代表铁矿床(1—49)；黑点代表铜矿床(50—89)。以下各图皆同

1. 与矿化有关的火成岩具有碱度(α 值)正异常的特征

在岩石化学参数 a 、 b 座标图(图 2)和 s 、 a 座标图(图 3)上，可以清楚看出：绝大多数与铁、铜矿床有关火成岩的 a 值均明显的大于戴里相应岩石的标准参数值。这说明碱质异常是成矿的重要标志。就铁矿床和铜矿床二者比较，不难看出：与铁矿有关火成岩的 a 值(平均 14.95)略大于与铜矿有关火成岩的 a 值(平均 13.31)，因此，前者离开戴里相应岩石标准曲线较远，而后者更接近于标准值曲线。小于标准值曲线的例外情况，如银山铜铅锌矿床有关的英安斑岩(编号 58)，由于岩石遭受强烈交代蚀变，使原岩的化学成分发生很大变化，如其中烧失量达到 6.64%， Na_2O 仅含 0.06%， $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 4.27\%$ 。类似这种情况的还有与某些铜矿有关的侵入岩(编号 54、52)，由于这些原因，造成了 a 值的偏低和 n' 值的极大异常。

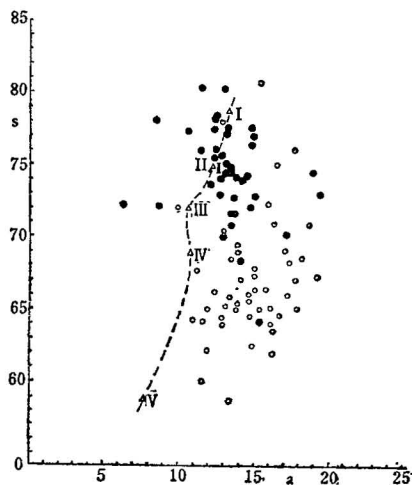


图 3 与铁、铜矿床有关的火成岩的岩石化学参数 s 、 a 座标图

表 2

编号	地 点	样品数	岩 石 氧 化 物 百 分 含 量 (平均)										查瓦里茨基主要参数位										补 充 参 数			
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	a	b	c	s	n	a/c	K'	Na'	n'	S'				
1	冀-符	17	54.34	0.73	16.59	5.06	3.19	0.153	5.17	6.22	3.68	1.92	11.1	18.70	5.80	64.40	74.84	1.91	4.41	13.15	33.61	905				
2	冀-固	9	57.72	0.58	15.96	3.58	3.17	0.124	4.09	5.41	4.92	2.78	14.8	16.70	3.0	65.50	72.93	4.93	6.13	16.54	37.10	961				
3	冀-秦	14	57.40	0.56	14.40	2.53	3.83	0.156	5.93	6.23	4.76	1.89	12.9	20.0	2.9	64.2	79.27	4.44	4.18	16.00	26.14	956				
4	冀-C	14	56.98	0.61	16.76	2.96	3.14	0.472	5.86	2.91	5.27	2.39	15.3	14.6	3.7	66.4	77.16	4.13	5.26	17.80	29.58	949				
5	冀-崇	6	57.41	0.69	16.06	3.93	2.79	0.186	3.21	5.97	5.21	1.44	14.0	13.0	4.1	68.9	84.82	3.41	3.24	17.57	18.45	956				
6	冀-K	27	59.51	0.54	16.66	3.68	2.22	0.128	1.81	4.77	5.57	3.49	17.4	11.8	2.5	68.3	84.83	6.96	3.22	18.06	17.87	991				
7	冀-洪	34	59.42	0.46	16.16	3.19	2.16	0.132	2.36	3.60	5.01	4.92	18.3	11.6	1.7	68.4	60.90	10.76	10.50	16.36	64.2	990				
8	晋-塔	7	62.30	0.43	17.66	3.52	1.54	0.03	1.31	4.00	5.70	2.33	16.1	7.6	4.0	72.3	77.31	4.04	4.72	17.74	26.6	1037				
9	晋-二	12	60.76	0.48	17.95	2.43	1.89	0.017	0.68	4.17	5.95	3.81	18.9	7.5	2.8	70.8	70.32	6.75	7.35	17.42	42.0	1012				
10	冀-中	9	53.76	0.52	14.89	1.20	2.69	0.13	5.73	7.27	4.99	2.72	15.04	19.86	2.60	62.48	73.73	5.78	6.36	17.87	35.6	895				
11	冀-西	12	60.62	0.40	14.64	1.98	2.37	0.04	4.15	5.47	5.99	1.65	15.15	15.15	2.00	67.69	84.58	7.57	3.46	19.02	18.2	1009				
12	冀-三	9	58.33	0.39	15.10	1.86	1.69	0.06	4.22	5.74	7.06	0.69	16.15	17.19	1.76	64.89	93.82	9.2	1.54	23.48	6.6	971				
13	晋-西	9	54.69	0.60	17.57	2.14	2.94	0.07	3.04	8.30	5.22	1.07	13.55	15.35	5.49	65.9	88.42	2.47	2.41	18.44	13.1	911				
14	豫-东	21	54.98	0.56	14.49	3.11	3.40	0.15	6.74	7.32	4.63	1.29	11.91	22.32	3.60	62.15	84.18	3.30	2.94	16.26	18.1	916				
15	豫-石	20	56.27	0.48	15.60	4.02	1.93	0.11	4.51	6.63	5.60	1.12	14.07	17.25	3.51	65.14	88.72	4.00	2.45	19.29	12.70	938				
16	豫-街	18	57.32	0.44	14.22	3.82	3.43	0.09	4.49	5.73	4.90	1.02	12.36	17.95	3.45	66.22	88.26	3.58	2.20	16.56	13.3	954				
17	皖-凹	18	57.63	0.70	17.64	5.90	1.51		3.06	4.42	5.79	1.39	15.17	12.91	4.49	67.43	86.11	3.37	3.12	19.39	16.1	959				
18	苏-梅	4	50.99	0.61	16.38	6.80	5.00		3.47	9.07	4.19	1.38	11.63	22.85	5.47	60.05	82.31	2.12	3.41	15.90	21.4	849				
19	皖-大	15	57.21	0.62	17.22	6.13	1.65		3.45	5.14	5.41	1.93	14.80	15.24	3.89	66.07	81.30	4.83	4.32	18.27	23.00	952				
20	皖-和	3	58.13	1.01	17.45	2.68	2.22		2.50	3.79	8.35	0.72	19.41	11.32	2.05	67.22	94.71	9.46	1.55	27.81	5.6	967				
21	皖-马	1	54.38	0.71	17.88	10.01	4.42		3.17	3.06	6.34	1.84	16.51	18.00	3.58	61.88	84.01	4.61	4.30	22.65	19.00	905				
22	皖-同	6	56.48	0.80	17.77	4.08	2.77		3.16	4.83	5.78	1.62	15.82	13.46	4.58	66.14	84.01	4.61	3.61	19.76	18.3	941				
23	苏-吉	5	49.56	0.74	16.59	9.26	3.42		3.85	8.36	5.05	1.38	13.54	22.86	4.72	58.85	84.89	2.86	3.51	19.75	17.8	825				
24	皖-落	1	57.12	0.75	17.98	4.25	3.84		7.04	3.11	6.25	2.83	16.73	18.71	2.94	61.60	77.01	5.69	6.30	21.13	29.85	951				
25	皖-南	3	52.36	0.87	17.42	4.45			3.31	6.66	5.27	1.98	15.53	14.68	4.86	64.94	80.56	3.19	4.70	19.49	24.1	872				
26	皖-陶	1	55.48	0.50	16.65	4.54	5.23		3.03	4.08	6.00	2.24	16.70	16.18	2.93	64.18	80.16	5.69	5.19	20.99	24.74	924				
27	苏-其	2	52.94	0.76	17.08	5.34	2.65		1.93	7.41	5.30	1.60	14.85	15.86	4.71	64.56	83.41	3.15	3.85	19.38	19.9	882				
28	苏-凤	1	53.70	0.71	17.20	3.20	2.45		3.71	6.75	4.75	1.99	14.01	15.57	5.16	65.24	78.86	2.71	4.58	17.11	26.8	894				

29	鄂-1	53	71.856	0.322	13.567	1.056	0.885	0.034	0.448	1.144	4.844	3.473	15.45	2.68	1.20	80.64	67.82	12.87	6.80	13.04	47.43	1193
30	鄂-2	2	67.17	0.710	15.035	1.475	1.065	0.033	0.825	2.24	7.41	1.265	17.94	5.40	0.90	75.73	89.93	19.93	2.50	21.37	11.71	1118
31	鄂-3	49	65.88	0.716	15.59	1.98	1.555	0.083	1.361	2.476	5.063	3.913	16.62	6.62	2.02	74.72	66.26	8.22	7.56	14.85	50.92	1097
32	鄂-4	79	67.707	0.626	16.531	2.762	1.938	0.094	1.943	4.380	5.388	3.242	16.50	10.09	2.79	70.60	71.90	5.91	6.62	16.94	39.08	1027
33	鄂-5	10	58.479	0.76	16.877	3.539	2.678	0.129	1.909	5.916	4.279	2.933	14.15	11.93	4.61	69.29	69.15	3.06	6.36	14.27	44.60	974
34	苏-利	40	62.85	0.45	14.20	2.12	2.14	0.32	3.23	4.75	4.88	2.25	13.81	12.73	2.49	70.95	76.58	5.54	4.58	14.99	30.57	1047
35	青-都	22	68.78	0.37	14.58	1.25	2.69	0.05	0.77	3.51	3.51	3.49	12.68	5.97	3.32	78.01	60.42	3.81	6.46	9.86	65.48	1145
36	青-同	2	61.89	0.55	15.20	2.36	2.61	0.10	2.88	6.10	2.68	2.65	9.91	12.65	5.44	71.98	60.83	1.82	5.13	8.43	64.36	1031
37	晋-张	1	60.94	0.42	17.68	4.74	2.30	0.087	0.98	4.93	5.92	3.10	17.29	10.74	3.04	68.91	74.21	5.68	6.50	18.71	34.73	1051
38	皖-庐(钟)	1	56.02	0.73	16.46	4.31	2.98	0.33	3.14	3.85	4.94	4.92	18.06	14.89	2.13	64.89	60.30	8.47	11.15	16.95	65.82	932
39	皖-庐(杨)	2	55.24	0.74	16.05	2.02	2.24	0.17	3.66	7.57	5.63	2.59	16.26	16.64	2.75	63.95	76.69	5.91	5.98	19.69	30.38	919
40	鲁-莱(矿)	19	57.10	0.59	15.43	4.57	3.21	0.10	5.05	6.11	3.77	2.59	11.94	18.53	4.27	65.24	68.75	2.79	5.78	12.72	45.45	951
41	鲁-莱(端)	12	55.96	0.60	15.76	3.17	4.44	0.12	5.58	6.10	4.33	1.41	11.63	19.26	4.75	64.33	82.35	2.44	3.21	15.02	21.42	932
42	鲁-莱(铁)	8	59.75	0.50	15.11	2.30	4.88	0.10	4.77	5.30	3.53	2.48	11.29	16.61	4.36	67.72	68.26	2.58	5.32	11.45	46.49	995
43	鲁-莱(金)	5	59.42	0.46	15.14	3.08	2.81	0.08	4.54	3.94	5.20	1.32	13.48	14.54	3.47	68.50	85.71	3.88	2.82	19.96	16.66	990
44	鲁-淄	34	57.94	0.70	13.99	3.68	3.06	0.17	5.69	6.37	4.20	2.86	12.97	20.28	2.56	64.16	69.03	5.06	6.32	14.09	44.85	965
45	皖-白	12	53.1	0.71	17.2	2.14	2.97	0.08	3.56	6.72	6.09	1.53	16.45	16.13	3.83	63.70	85.70	4.30	3.73	22.28	16.75	884
45'	皖-白	12	53.15	0.63	16.37	3.72	2.99	0.16	3.17	4.47	4.43	2.30	14.33	13.73	4.87	67.04	74.34	2.94	5.53	16.04	34.51	885
46	皖-姑	7	55.15	0.77	16.24	4.49	1.94	0.08	4.03	6.69	4.71	1.72	13.23	16.8	4.61	65.31	80.85	2.87	3.92	16.55	23.68	918
47	皖-钟	12	57.11	0.67	16.19	3.03	2.75	0.12	2.26	4.98	5.49	3.74	17.8	13.2	2.2	66.8	68.7	8.09	8.41	18.50	45.45	951
48	皖-龙	3	55.09	0.70	16.74	4.23	1.89	0.18	3.08	4.36	6.41	1.83	17.43	13.73	2.99	65.86	84.5	5.82	4.14	22.57	18.35	917
49	皖-和	2	54.39	0.65	17.11	3.72	2.41	0.18	3.24	5.54	6.31	1.64	16.83	15.03	3.43	64.71	85.3	4.9	3.86	22.4	17.24	906
50	赣-城	1	65.28	0.42	14.59	2.64	1.57	0.05	1.66	2.23	2.65	4.55	12.67	8.56	2.71	76.04	46.70	4.67	8.92	7.81	114.11	1087
51	赣-武	1	64.44	0.56	14.71	3.19	1.29	0.05	2.15	2.63	3.15	3.74	12.66	8.83	3.20	75.29	56.04	3.95	7.45	9.50	78.43	1073
52	赣-丁	2	59.51	0.81	15.59	3.54	2.66	0.06	1.71	2.50	2.18	2.40	8.73	15.80	3.24	72.22	57.85	2.69	5.14	7.06	72.85	991
53	赣-东	1	63.50	0.58	15.30	1.67	2.88	0.07	1.77	4.53	3.73	3.06	12.82	8.91	4.04	74.21	64.67	3.17	6.14	11.25	54.62	1057
54	赣-永	4	69.62	0.23	14.50	1.25	2.18	0.04	0.72	1.05	0.70	4.83	8.38	12.34	1.27	78.00	18.40	6.59	8.80	1.98	443.47	1159
55	赣-月	1	67.80	0.58	15.17	3.02	1.09	0.024	0.1	0.828	3.44	5.25	15.10	6.01	0.94	77.03	49.77	16.06	9.92	9.83	100.90	1129
56	赣-德	1	62.89	0.41	15.41	1.56	3.56	0.24	2.10	4.31	3.61	2.74	12.18	9.66	4.48	73.66	66.66	2.71	5.53	11.07	50.00	1047
57	赣-宣	1	65.56	0.375	16.11	3.72	2.57	0.096	0.87	3.70	4.32	2.86	13.63	7.63	3.95	74.77	69.50	3.45	5.49	12.72	43.88	1092
58	赣-银	3	63.88	0.36	14.41	4.08	4.12	0.56	0.91	0.43	0.06	4.21	6.20	21.25	0.47	72.06	3.26	13.19	8.36	0.28	2966.66	1064
59	皖-凤	21	63.89	0.55	15.86	2.18	2.26	0.08	1.54	4.27	4.12	3.20	13.80	8.29	3.80	74.02	66.16	3.65	6.39	12.50	51.13	1064
60	皖-狮	1	62.16	0.59	16.15	1.97	1.79	0.05	1.68	5.16	4.27	3.68	14.85	9.6	3.52	72.03	63.72	4.21	7.54	13.24	56.93	1035

续表 2

编号	地 点	样品数	岩 石 氧 化 物 百 分 含 量 (平均)										查瓦里茨基主要参数值										补 充 参 数			
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	a	b	c	s	n	a/c	K'	Na'	n'	S'				
61	皖-月	2	61.40	0.55	16.60	2.30	1.87	0.05	2.27	4.07	5.78	3.01	17.27	10.00	2.49	70.24	73.91	6.93	6.45	18.30	35.29	1022				
62	皖-沙	3	65.59	0.44	17.03	1.92		0.06	0.68	0.94	3.65	7.61	19.0	5.30	1.15	74.47	42.14	16.52	14.84	10.81	137.3	1092				
63	皖-梓	2	66.29	0.75	16.31	3.64		0.09	1.07	0.85	5.10	5.06	19.49	6.61	1.10	72.84	60.51	17.11	9.69	14.85	65.24	1104				
64	皖-铜	3	63.79	0.61	16.80	2.21	2.66		1.77	5.61	3.86	3.06	12.87	9.43	4.90	72.89	65.60	2.62	6.12	11.68	52.42	1062				
65	皖-贵	2	69.19	0.47	15.55	3.22	1.86		0.94	3.05	3.87	3.54	13.32	6.02	3.49	77.14	62.50	3.81	6.51	10.85	60.00	1152				
66	皖-溪	11	58.35	0.54	16.91	5.26	1.14	0.14	3.22	4.91	4.58	2.66	14.18	12.89	4.50	68.41	72.41	3.15	5.76	15.12	38.09	972				
67	皖-新	1	61.07	0.51	15.45	2.73	3.27	0.10	2.30	4.64	3.61	3.56	13.04	13.18	3.82	69.94	60.73	3.46	7.36	11.39	64.65	1018				
68	鄂-龙	1	64.29	0.43	14.28	1.64	2.87		1.77	4.55	3.83	3.04	12.97	9.55	3.20	74.25	65.42	4.05	6.06	11.48	52.84	1071				
69	鄂-封	3	63.79	0.50	15.35	1.46	2.32	0.02	1.84	4.08	3.67	3.49	13.42	8.07	3.81	74.68	61.45	3.52	6.96	11.11	62.71	1062				
70	鄂-铜	16	62.66	0.54	15.06	1.47	3.34	0.13	1.75	4.15	3.45	4.17	13.84	10.89	3.28	72.66	55.50	4.21	8.53	10.64	80.18	1043				
71	鄂-阳	67	61.11	0.71	16.76	2.83	2.62	0.13	1.97	4.99	4.00	3.20	13.74	10.04	4.60	71.59	65.48	2.98	6.68	12.68	52.71	1071				
72	苏-伏	5	65.39	0.46	15.06	1.69	1.92	0.07	2.15	3.69	4.71	2.89	14.48	8.63	2.74	74.13	71.02	5.28	5.69	13.95	40.78	1089				
73	苏-安	2	62.68	0.47	15.56	1.52	2.64	0.04	1.91	3.56	4.26	3.10	14.30	8.10	3.59	73.99	67.48	3.98	6.32	13.12	48.17	1044				
74	苏-铜	4	63.19	0.57	15.57	2.43	2.44	0.08	2.67	4.91	3.99	3.45	13.65	11.25	3.48	71.60	63.86	3.92	6.925	12.26	56.58	1052				
75	苏-大	1	54.77	0.76	17.37	6.47	3.28	0.23	1.70	0.94	3.45	5.28	15.44	19.52	1.17	63.85	49.77	13.19	12.28	12.17	100.90	912				
76	豫-八	20	68.69	0.27	16.65	3.26	1.45	0.04	0.71	1.27	2.18	6.23	13.19	10.38	1.43	74.98	34.65	9.22	11.53	6.11	188.57	1144				
77	豫-银	10	73.35	0.34	13.88	1.91	0.43	0.014	0.22	0.34	0.41	7.21	10.87	8.51	0.39	80.22	7.83	27.87	12.53	1.06	1176.92	1221				
78	豫-柳	4	66.24	0.29	14.14	3.68	0.54	0.04	0.63	1.12	1.16	5.44	10.67	10.67	1.39	77.25	24.18	7.67	10.51	3.35	313.51	1103				
79	闽-钟	7	64.65	0.54	14.63	1.97	2.74	0.04	1.77	2.74	2.31	4.32	11.55	9.10	3.43	75.91	44.84	3.36	8.44	6.87	122.97	1077				
80	桂-钦	2	69.30	0.32	14.22	0.38	3.10	0.034	1.17	1.97	2.92	4.32	12.50	6.82	2.36	78.29	50.81	5.43	7.885	8.14	96.80	1154				
81	滇-马	1	69.76	0.29	15.01	2.51	2.22	0.05	1.27	1.57	4.10	4.47	14.88	6.88	1.83	76.39	58.14	8.13	8.18	11.36	71.96	1161				
82	滇-长	3	67.24	0.15	15.10	2.46	1.48	0.02	1.38	3.16	2.77	4.25	12.36	6.28	3.86	77.48	49.72	3.20	8.03	7.94	101.12	1120				
83	西-玉	11	67.61	0.35	15.14	1.50	1.19	0.03	1.22	2.56	3.61	4.78	14.87	4.93	2.74	77.45	53.45	5.42	8.97	10.31	87.06	1125				
84	黑-多	20	65.93	0.29	14.85	1.44	2.75	0.05	1.95	2.41	3.58	3.27	12.64	8.72	2.95	75.67	62.50	4.28	6.28	10.48	60.11	1097				
85	辽-华	22	64.46	0.45	14.35	0.50	2.99	0.10	1.88	4.60	4.46	3.92	15.31	10.15	1.85	72.67	63.43	8.27	7.74	13.44	72.80	1071				
86	皖-滁	9	63.37	0.51	15.01	4.42	2.75	0.06	3.05	4.01	4.42	2.93	13.55	12.95	2.99	70.49	69.60	4.53	5.87	13.45	43.66	1055				
87	滇-大	27	72.45	0.25	13.04	1.37	1.48	0.05	0.91	1.34	2.94	4.69	13.00	4.80	1.60	80.60	48.71	8.12	8.29	7.87	105.26	1206				
88	湘-江	14	67.50	0.43	14.84	0.79	3.26	0.06	1.32	3.18	3.09	4.03	12.67	6.30	3.65	77.38	54.05	3.47	7.56	8.89	85	1124				
89	桂-德	2	69.30	0.325	14.22	0.38	3.10	0.033	1.175	1.97	2.92	4.32	12.50	6.76	2.43	78.29	50.81	5.14	7.88	8.14	96.80	1154				

2. 与铁矿有关的火成岩 n 值明显偏高, 与铜矿有关火成岩的 n 值偏低

这在 s 、 n 座标图上(图4)明显地反映了出来。与戴里相应岩石的参数值曲线比较, 与铁矿有关火成岩的 n 值一般明显大于标准值, 而与铜矿有关火成岩的 n 值接近和小于标准值。二者大致以 $n = 68$ 为界线, 前者主要集中在 68—88 之间, 而后者主要集中在 40—70 之间; 在 60—74 之间成为少数铁、铜矿点重合的过渡区间, 这在图上表现得尤为明显。

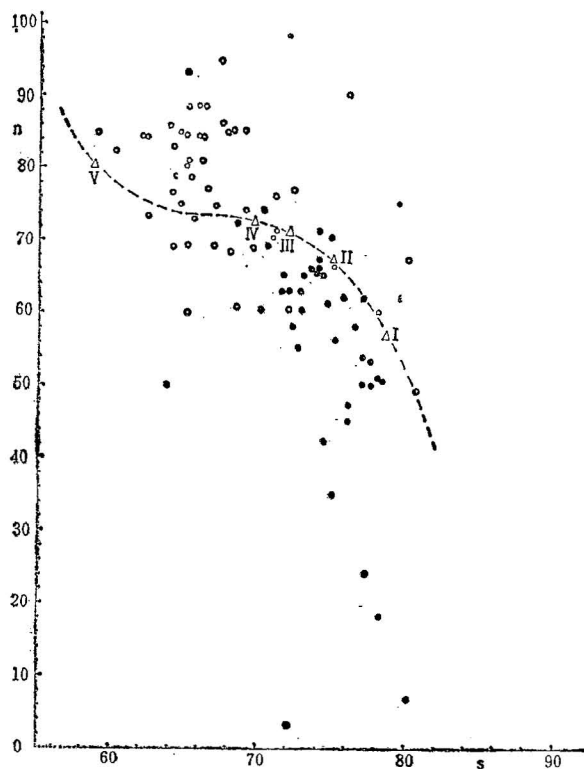


图 4 与铁、铜矿床有关的火成岩的岩石化学参数 s 、 n 座标图

3. 与铁矿有关的火成岩 $n' \left(\frac{\text{K 原子数}}{\text{Na 原子数}} \times 100 \right)$ 值低

这是由于岩石中钾含量相对较低, 钠含量相对较高的缘故, 除少数例外, 绝大多数都小于 35 (主要集中于 $n' = 35-13$ 之间); 而与铜矿有关火成岩的 n' 值则大于 35 (主要集中于 $n' = 35-100$ 之间)。编号 58、77、54 等矿床有关的侵入岩, 由于强烈的蚀变造成钠含量显著偏低, 钾含量相对增高, 从而造成 n' 值极大的异常, 这也可以纠正这些侵入岩 a 值偏低的现象。以上这些情况, 在 n' 、 s' 座标图(图 5)上清楚地表现出来。从图 5 上还可以发现, 与铁矿有关的侵入岩的 s' 值一般比铜矿有关的侵入岩为低, 大多数 s' 值小于 1000, 但少数可达 1200 以上。与戴里的标准值相比, 则与铁矿床有关的侵入岩 n' 大

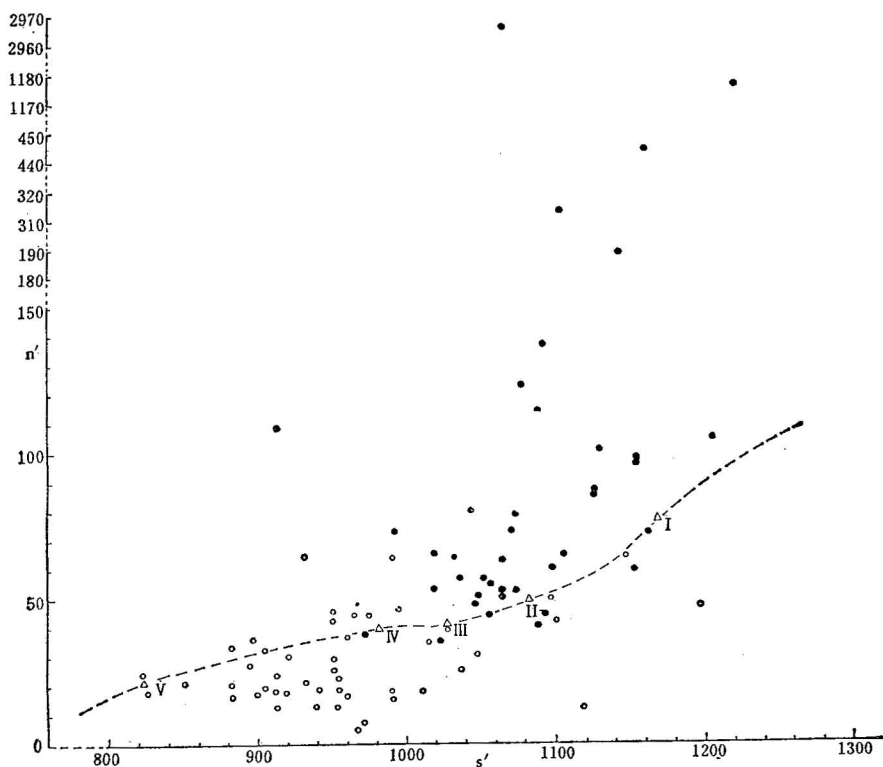


图5 与铁、铜矿床有关的火成岩的岩石化学参数 s' 、 n' 座标图

多数偏低;铜矿有关的侵入岩 n' 值大多数偏高。

4. 与铁矿有关的火成岩的 Na' 值常明显地较与铜矿有关火成岩的 Na' 值为高, K' 值则相反

在 K' 、 Na' 座标图(图6)上可以相当清楚地将与铁、铜矿床有关的火成岩区分开来。铁、铜矿床对于 K' 和 Na' 的相关性,大致以 40° 左右的斜线分开:铁矿集中于 II-II 线右下方,说明铁矿化与含 Na_2O 高的火成岩有关(K' 值变化一般在 2—7 之间,平均为 5.18; Na' 值变化一般在 15—23 之间,平均为 17.67);铜矿集中于 II-II 斜线左上方,说明铜矿化与含 K_2O 高的火成岩有关(K' 值变化一般在 5.5—9 之间,平均 7.88; Na' 值变化一般在 7.5—15 之间,平均为 10.13)。

另外,上述结论,还可根据与铁、铜矿床有关火成岩的 K_2O 、 Na_2O 和 SiO_2 的含量所作的三角图上得出来。显然,铜矿有关的侵入体集中分布于靠近 SiO_2 、 K_2O 的方向上;而铁矿有关的侵入岩集中分布于 SiO_2 、 Na_2O 的方向上。

5. 与铁矿床和铜矿床有关火成岩的 a/c 值与戴里标准值相比较

比较结果,大多数都有明显的异常,但两者之间的差异性却不很明显。除了少数例外情况外,绝大多数均比戴里的标准值为大,主要分布于 $a/c = 2.5—9$ 之间,唯铁矿相对于

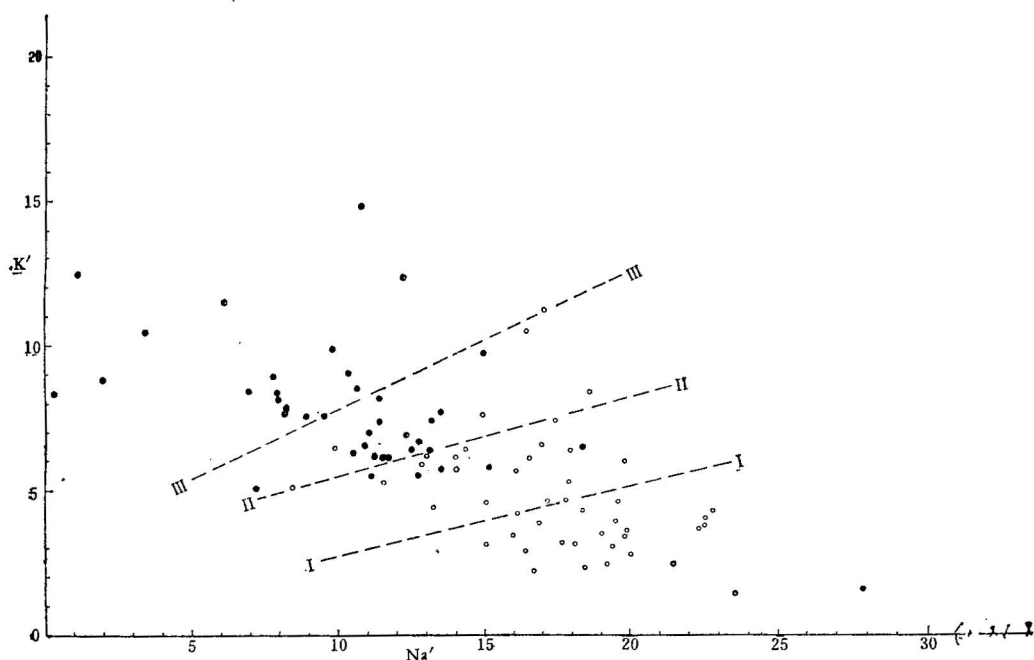


图 6 与铁、铜矿床有关火成岩的岩石化学补充参数 K' 、 Na' 座标图

I-I、II-II 和 III-III 线是与图 1 相验证。宁芜地区的与各类铁矿床有关侵入岩几乎全分布在 I-I 线之右下方。与大冶式铁矿有关侵入岩主要分布于 I-I 线和 II-II 线之间的区段内,与邢邵式铁矿有关侵入岩主要分布 I-I 线之上下,具有过渡特征。与铜官山式铜矿有关侵入岩主要分布在 II-II 线和 III-III 线之间。玉龙式斑岩铜矿主要分布于 III-III 线之左上方。黑点为铜矿,小圆圈为铁矿

铜矿有关的火成岩来说,比较均匀的分散于上述区间中,而铜矿点的主要部分则集中于 2.5—5.5 之间,也就是说,铁矿有关的火成岩的 a/c 值略大于铜矿有关火成岩的 a/c 值。其中如 No. 29、No. 30、No. 55、No. 58、No. 77、No. 63、No. 62 等,由于 CaO 的含量仅为 0.1%—1.0%,而 a 值较大,因此造成 a/c 值的特大异常。这些情况,在 a/c 和 b 的座标图(图 7)上明显地表现出来。

对于 b 值来说,铁矿有关的侵入岩的 b 值一般较铜矿有关侵入岩的 b 值为高;前者主要集中在 11—20 之间,而后者主要集中在 4—11 之间。

这里需要特别指出:许多与接触交代型铁、铜矿床有关的火成岩体都是产于碳酸盐类或含碳酸盐类的岩石的接触带中,就是宁芜火山岩地区与铁矿床有关的侵入体,有的也穿插经过许多碳酸盐岩地层。照例,如果大规模同化碳酸盐岩地层,则 c 值应当明显偏高,但事实上 c 值反而常较戴里的标准值低。因此,碱度 a 值与 c 值之间存在负相关性。这表明,当富含碱的岩浆与石灰岩等接触时,由于 Ca^{++} 和 Mg^{++} 基性组分的影响,使岩浆中碱的总活度升高,反而有利于碱性长石的形成,并使角闪石不能形成,而形成透辉石。所以许多与铁矿有关的辉石闪长岩、二长辉石闪长岩等,不一定表示与辉长岩岩浆有联系,而是富碱岩浆特征的反映。此外, b 值比同类型正常岩石要小,这不仅说明暗色矿物少,而且 Fe、Mg 也相应较低,可知它们也受碱度所控制,而决不是通常所想象的与铁矿有关的岩体,铁的含量一定就异常高。

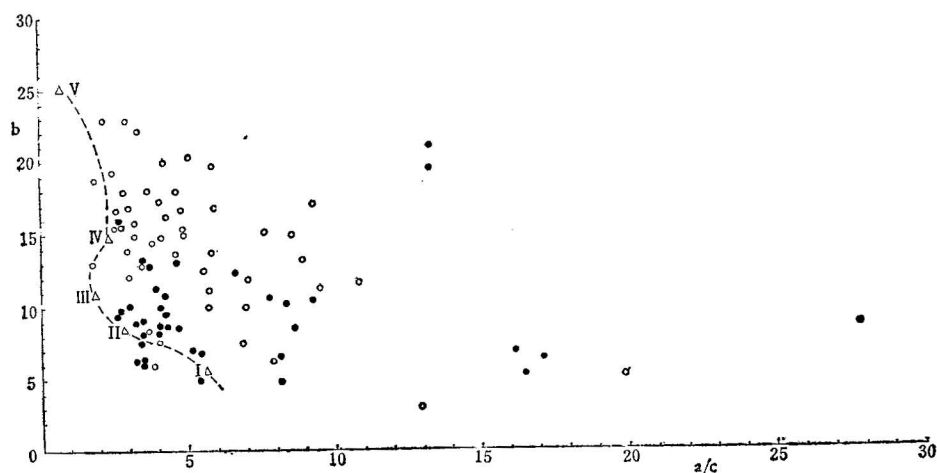


图 7 与铁、铜矿床有关火成岩的岩石化学参数 b 、 a/c 座标图

从上述有关代表碱度的参数值的变化以及各参数间的相关性图示,可以得出下列结论: ① 与铁、铜矿床有关的火成岩的碱度均比戴里相应岩石的碱度要大,表现出碱度异常; ② 与铁矿化有关的火成岩是富钠质的,因此 Na' 、 a 、 n 值均较大,而 n' 及 K' 值较小;相反,与铜矿化有关的火成岩是富钾质的,因此 Na' 、 a 、 n 值相对的较小,而 n' 及 K' 值较大。

6. 钙碱指数和组合指数(李特曼指数)

对于 89 个矿区硅酸盐分析平均值中 $Na_2O + K_2O$ 的百分含量和 CaO 及 SiO_2 的百分含量用作图法,求出各地区钙碱指数如下(表 3):

表 3

地区及矿床类型		钙 碱 指 数	特 征
鲁中地区	铁矿床	56.3	钙 碱 性
晋南地区	铁矿床	53.9	碱 钙 性
邯邢地区	铁矿床	54.8	碱 钙 性
长江中下游地区	铁矿床	53.2	碱 钙 性
本文所收集全国 49 个	铁矿床	53.7	碱 钙 性
长江中下游地区	铜矿床	55.4	碱 钙 性
本文所收集全国 40 个	铜矿床	56.4	钙 碱 性

由此可以看出,与铁矿有关的火成岩属于碱钙性系列(虽然鲁中地区数值偏高,但总体来看还是介于碱钙性和钙碱性系列之间),而与铜矿有关的火成岩则属于钙碱系列(接近于碱钙性)。

根据李特曼指数 $\sigma = \frac{(K_2O\% + Na_2O\%)^2}{SiO_2\% - 43}$, 计算出 89 个矿床的 σ 值,从 σ 与 SiO_2 相

关座标图(图8)上看出:大部分铜矿有关侵入岩的 σ 值小于3,而大部分铁矿有关的侵入岩的 σ 值大于3,这不但表明与铜矿有关的火成岩的酸度远较与铁矿有关的火成岩的酸度要大,而且也表明与铜矿有关的火成岩的碱度远较与铁矿有关的火成岩的碱度要小。

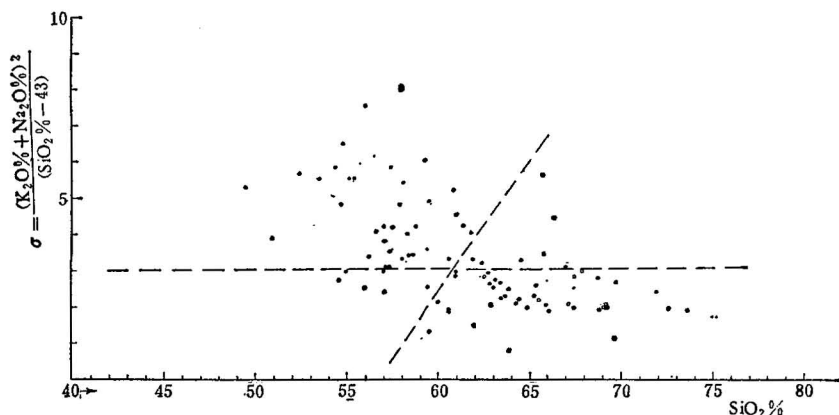


图8 李特曼指数 σ 与 SiO_2 相关座标图

7. 在岩石化学特征上,与铁矿有关的侵入岩基本上都是属于正常类型

在49个与铁矿床有关的火成岩中,除两个属于铝略为饱和(十分接近于正常类型)外,其他均属于正常类型;与铜矿床有关的火成岩,属于铝过饱和的明显增多。在22个接触交代型及热液型铜矿床中,与其有关火成岩有68%以上属于正常类型,而在18个斑岩型铜矿床中,与其有关火成岩有67%属于铝过饱和类型。这就很有意义地说明与斑岩型铜矿有关的火成岩侵入体与硅铝层的同化关系是很明显的。另外,鄂东南至南京的长江中下游地区的铜矿床,属于正常类型的占71%。由此可以得出下列结论:①总的来看,与铜矿床有关的火成岩岩石化学特征,以正常类型和铝过饱和类型两者并重,而且前者略大于后者;②接触交代型及部分热液型铜矿床有关的火成岩以正常类型为主,斑岩型铜矿床有关火成岩以铝过饱和类型为主;③在长江中下游断裂凹陷带中,与铜矿床(主要为接触交代型及热液型)有关火成岩以正常类型为主,同时这个地区的热液型及接触交代型铁矿床均属正常类型,从而可以说在整个长江中下游成矿带中与铁、铜矿床有关火成岩主要属于正常类型。

与铁、铜矿床有关的侵入岩的岩石化学特征主要可以归纳如表4。

近年来,随着地质工作的深入与发展,许多科研和生产单位^[7]都密切注意了碱质与成矿的关系,并提出了类似或相同的结论。原华北地质科学研究所^[8]铁矿小组在总结华北地区铁矿时指出:“同黎形、戴里等正常岩石类型相比,本区岩石 a 值普遍较高, a 值相差达5—8左右, b 值和 c 值都较低。”华北冶金地质518队^[9]指出:“碱质对矿化的控制,仍

1) 华北地质科学研究所等,1975年华北富铁矿工作经验交流会议地质资料汇编。

表 4

矿床类型	有关火成岩杂岩体		酸 度		碱 度						基性 组分	铁-镁 组分
			s	s'	a	n	k'	Na'	n'	a/c	c	b
接触交代型 (大冶式等)及 热液型(凹山 式等)铁矿床。	各种闪长岩、 闪长玢岩、二 长岩等为主体 的杂岩体	变化 范围	58.85— 80.84	825— 1196	9.91— 19.41	60.42— 94.71	1.54— 11.15	8.45— 27.81	5.6— 65.82	1.91— 19.93	0.9— 58	2.68— 22.86
		主要集 中范围	62—70	900— 1000	12—18	68—88	2—7	15—23	13—35	2—9	2—5	11—20
		平均值	66.89		14.95	78.18	5.18	17.67			3.48	14.64
接触交代型 (铜官山式等) 及斑岩型(铜 厂式、铜山口 式等)铜矿床。	花岗闪长(斑) 岩为主体以及 花岗斑岩、二 长岩、石英二 长岩等组成的 杂岩体	变化 范围	63.85— 80.60	912— 1206	6.20— 19.49	3.26— 73.91	5.14— 14.84	0.28— 18.30	35.29— 2966.66	2.62— 27.87	0.39— 4.90	8.4— 21.5
		主要集 中范围	70—78	1020— 1160	10—16	44—74	5.5—9	7.5— 15	35—100	2.5—9	2—4	4—11
		平均值	74.37		13.31	54.33	7.38	10.13		2.79	2.79	9.43

然是不可忽视的。本区闪长岩与国内外闪长岩对比,硅含量相似,但碱含量显著偏高;“碱含量较高者是更有利磁铁矿床的成矿岩浆”;“碱质对矿化的控制不仅指示了岩体的含矿量,更重要的还能直接指示矿化地段的赋存部位。已知矿床周围岩浆岩的碱含量,往往比外围的要高,而且以钠含量的增高为特征。”河北第一区调队指出:与成矿有关的侵入岩的特征是“过碱性高钠的浅色中性岩。”河北第二地质队指出:“岩石中 n 值较高,表示岩石中富含钠质”。山西冶金第一勘探队指出:“该区有关的火成岩都是‘过碱性岩’,“ Na_2O 、 $Na_2O + K_2O$ 及 a 值明显地递增”。山西冶金地质勘探公司铁矿组指出:二峰山铁矿有关侵入体“ a 值偏高”,“ Na_2O 的含量大于 K_2O ”。河南冶金第二地质队指出与铁矿有关岩石“碱的总量较戴里闪长岩为高。”山东第一地质队指出与铁矿有关侵入岩的“碱性组分均较戴里和中国同类型岩体高。”山东地质实验室指出与铁矿有关的侵入岩“ Na_2O 偏高、 K_2O 偏低, a 值高”。江苏第五地质队指出有关岩体的碱度“ a 值在18.5—14之间,比中国闪长岩大得多”。中南冶金地质研究所对鄂东地区的铁、铜矿床有关侵入岩的岩石化学特征的总结指出:“系统考察本区500多个岩石化学分析资料后,发现碱值及其变化,比起岩石中其他组分更能反映铁、铜、钨、钼等矿化组合与岩体之间的内在联系,而岩石系列、酸度等成矿专属性的反映不够明显”。

从以上大量事实可以看出:火成岩的碱度 a 和 K' 、 Na' 、 n' 、 n 、李特曼指数和钙碱指数等是确定其成矿专属性和判别成矿可能性的重要标志。

结 论 与 推 论

1. 对于与地幔物质有成因联系的弱酸性—中性以及基性岩类来说,它们的碱度、碱质含量(Na_2O 、 K_2O 含量)及其与 SiO_2 和 CaO 等的相关性(如钙碱指数、李特曼指数等)直接而明显地反映它们的成因系列、演化特征和形成地质条件(如深度与围岩的关系等)。

2. 火成岩的碱度异常高(与正常的相比)是成矿的重要标志。当岩浆中碱质含量异常高时,常会引起较弱的基,如 Ca^{++} 、 Mg^{++} 和 Fe^{++} 以及成矿元素铜、钼、钛等的被挤出作

用(表现在岩石中铁、镁矿物含量降低,导致岩石化学参数 b 值偏低),并使它们转入成矿溶液。

3. 由于强碱离子 K^+ 、 Na^+ 很易与 F^- 、 Cl^- 、 OH^- 、 CO_3^{2-} 等相结合,不仅这些化合物可以促使岩浆的熔点降低和有利于分异,而且也能加强岩浆对围岩的同化、混染和交代作用。随着岩浆结晶作用或上部岩浆结晶以后,一部分碱质便可转入溶液,这种溶液不仅对成矿物质具有较大的搬运能力,而且对岩体和围岩常进行不同程度的碱质交代(如钠长石化、方柱石化、钾长石化、绢英岩化等),从而又促使许多成矿元素发生活化转移作用,使它们在有利的地质环境中集中成矿。因此,碱质在成岩和成矿之间常起重要的“桥梁”作用。

4. 富钠质的弱酸性—中性以及基性火成岩(n 、 Na' 等参数异常高)表现出铁的成矿专属性,这是由地幔物质中 $Na_2O > K_2O$ 或者 $Na_2O \gg K_2O$ 的原始分配特征所决定的。这也表现在与铁矿有直接成因联系的钠质交代作用的普遍发育(不排斥从地层中获得 $NaCl$)。而与接触交代型和斑岩型铜矿床有关的侵入岩,表现为钾和酸度较高(K' 、 n' 和 s 、 s' 异常高),这主要是由于这类从地幔上升的中—酸性岩浆,在造山晚期,特别是在造山期后经长期演化以及与富钾的硅铝层和地槽(包括岛弧区)物质发生同化、混染和交代作用过程中使岩浆富含钾质有关,特别表现在岩浆期后成矿过程中广泛的钾质交代作用。

许多学者认为同斑岩铜矿有关的火成岩,直接来自地幔,但是 C. E. 赫奇^[1]根据铷同位素的研究,指出和斑岩铜矿有关的岩浆与地壳有某些明显的混染现象。我国接触交代型,特别是斑岩型铜矿有关火成岩中铝过饱和现象比较普遍,这也表明这些岩浆与富钾的地壳岩石有同化、混染作用,因此导致 $K_2O \geq Na_2O$ 。上述这些特征及和铜矿床中广泛的钾质交代作用,与地槽发展早期富钠的细碧—角斑岩系(直接与地幔物质有关)有成因联系,黄铁矿型矿床,形成鲜明对照。

主要参考文献

- [1] 闻广、闻铭, 1963, 再论岩浆岩成矿专属性。地质学报, 43卷 4期。
- [2] 胡受奚、孙明志、任启江、郑素娟、叶俊, 1977, 长江中下游成矿带中铁、铜矿床的碱质交代作用及有关火成岩的成矿专属性问题。南京大学学报(自然科学版), 第二期。
- [3] 胡受奚、周云生、孙明志, 1963, 钾质交代作用与钼矿床的成因联系。南京大学学报(地质学), 第2期。
- [4] 徐克勤、胡受奚、俞受盛, 1964, 矿床学。高等教育出版社。
- [5] 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。
- [6] Беус, А. А., Северов, Э. А., Ситнин, А. А., 1960、1962, Альбитизированные и грейзенизированные граниты (Апогранит). М. изд-во. АН. СССР.
- [7] 长江中下游火山岩区铁矿研究组, 1977, 玢岩铁矿——安山质火山岩地区铁矿床的一组成因模式。地质学报, 51卷 1期。
- [8] 沈保丰等, 1977, 某区磁铁矿床中钠质交代作用的特征及其找矿意义。地质科学, 第3期。
- [9] Коптева-дворникова, В. С., Руб, М. Г., 1964, Металлогеническая специализация магматических кооплексов. Издательство “Недра” Москва.

1) 据 1977 年国家地质总局斑岩铜矿现场会议资料。

THE METALLOGENETIC SPECIALIZATION OF ACIDIC- INTERMEDIATE IGNEOUS ROCKS RELATED TO IRON AND COPPER DEPOSITS OF THE EASTERN PART OF CHINA

Hu Shouxi Zhou Shunzhi Sun Mingzhi Ren Qijiang

(Department of Geology, Nanjing University)

Abstract

Numerous facts and chemical analyses have shown that the "ore-forming" igneous rocks are commonly characterized by high alkalinity.

"Iron-ore-forming" igneous rocks (except granites) are commonly sodium-rich and highly alkaline. The values of the petrochemical parameters such as a , n , Na' and a/c etc. are notably higher than normal. "copper-ore-forming" igneous rocks are commonly potassium-rich and of highly alkaline, and the values of petrochemical parameters, such as a , k' , n' and a/c etc. are commonly higher than normal.

In consequence of their high alkalinity, the "ore-forming" igneous rocks always undergo wide and intense alkali-metasomatism, which is closely related to the formation of ore deposits.

Alkali-metasomatism also has its metallogenetic specialization: sodium-metasomatism is closely related to the formation of iron deposits, while potassium-metasomatism to the formation of copper deposits.