

# 长江中下游富钠闪长岩类与 铁矿系列的成因联系

吴言昌 王迎春 梁善荣 刘湘培 都 询

(安徽省地质科学研究所)

(安徽省地矿局)

(安徽省地矿局313地质队)

**内容提要:** 长江中下游成矿带内, 铁矿系列与中生代燕山期岩浆活动有十分密切的关系, 其形成主要与富钠闪长岩类成岩过程中发育的钠硅质异常演变相联系。富钠闪长岩类与其密切相伴的矿浆贯入-残浆气液交代充填-接触交代(矽卡岩)-热液交代充填型铁矿系列, 是深部同源岩浆顺序演化的产物。

**主题词:** 富钠闪长岩类 钠硅质异常演变铁矿系列 长江中下游

## 一、概 况

富钠闪长岩类, 在成因上属扬子式同熔型岩浆岩系列, 包括以中一中酸性岩石为主和以中基性岩石为主的两种岩石组合。它们分别出现在不同的地质构造环境, 并且在形成方式、侵位时间及深度、岩体规模和岩体的围岩特征等方面也不相同(表1)。但是, 它们的成岩演化特征, 特别是成岩过程中出现的钠硅质异常演变, 以及与这种异常演变密切相关的铁矿浆-含矿热液成矿作用却十分相似。因此, 构成了一个独特的富钠闪长岩类、矿浆-热液型铁矿成岩成矿系列。

由于富钠中一中酸性闪长岩类与富钠中基一中性闪长岩类之间存在明显的差异, 特别是它们各自产出的地质构造环境和岩浆活动方式的差异更为显著, 因此, 它们各自的成岩成矿特征也不尽相同。前者产于块断隆起区内, 在中一浅深度侵位, 深部岩浆分异和向上侵位的构造环境比较稳定, 因而铁矿浆和含铁热流体同富钠闪长岩浆的分离比较完全; 同时, 在深部岩浆分异过程中, 特别是在其中晚阶段, 部分岩浆可能受到来自围岩的富钾硅铝质低熔组分的同熔混合(包括同化混染)作用, 使得这部分岩浆的组分在高钠背景下逐渐富集钾(硅)质组分, 当其于早三叠世碳酸盐岩层就位时, 所形成的岩石便具有富硅高碱及高钠背景下相对富钾的特征。与这类富钠闪长岩类有关的铁矿床, 主要为矿浆贯入型、接触交代(矽卡岩)型、热液交代充填型, 即广义的“大冶式”铁矿。在大冶铁山, 与早期富钠闪长岩类有关的矿浆贯入型和矽卡岩型铁矿形成之后, 叠加了与形成最晚的黑云母透辉石石英二长岩有关的铜矿化, 从而构成了著名的大冶铁山铁(铜)矿床。与此相反, 后者产于断陷火山盆地中, 深部岩浆分异和向上侵位的构造环境的活动性强得多。因而, 铁矿浆和富铁热流体同富钠闪长岩浆的分离不很完全, 同时, 分异物上侵速度也较快, 岩浆与围岩间的同熔混合(包括同化混染)作用比较微弱。因此, 侵位于火山岩系中的次火山岩和超浅成岩石具有低硅高钠的特征, 同时出现富铁残浆直接演化而生成的富磁铁矿钠长闪长(玢)岩, 即残浆-气液交代型铁矿床, 和由残浆气液形成的伟晶-气液充填型铁(磷)矿床(李秉伦, 1984)。与这类富钠闪长

表1 中基性和中酸性富钠闪长岩类的比较  
Table 1. Comparison between intermediate-basic sodium-rich dioritoids and intermediate-acidic ones

	鄂东南地区西部 (以中酸性富钠闪长岩类为主)	宁芜地区 (以中基性富钠闪长岩类为主)
构造环境	早中侏罗世后块断隆起区	早中侏罗世后断陷火山盆地
岩体侵位深度	中—浅成相(1.5—3km)	次火山—超浅成相(<1—1km)
岩体规模	小—中规模(20—100km <sup>2</sup> )复式岩体	小型(<20km <sup>2</sup> ,一般<5km <sup>2</sup> )单一或复式岩体
控岩构造	NNE向断裂和沿NW向褶皱构造中发育的层间破碎带	NE—NNE向断裂侵入—火山喷发带和火山机构
围岩	主要为三叠纪碳酸盐岩层和钙泥质岩层	主要为晚侏罗—早白垩世火山岩系,部分为前火山岩系岩层
主要岩石	透辉石闪长岩、富钠透辉石黑云母闪长岩、富钠透辉石黑云母石英二长闪长石岩、钠长岩	辉长闪长(玢)岩、富钠闪长玢岩、钠长闪长玢岩、钠长岩或石英钠长(斑)岩
主要岩石化学特征	SiO <sub>2</sub>	61.07% (平均值)
	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	8.22% (平均值)
	Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	2.50
	AC	53.5
	$\sigma$	3.68
	$\Sigma$ REE	175.7—316.03ppm
	Sr <sub>1</sub>	0.7050 (?)
有关的铁矿亚系列	矿浆-接触交代(矽卡岩)-热液交代充填型铁矿亚系列	矿浆-残浆气液交代充填-接触交代-热液交代充填型铁矿亚系列
成矿元素组合	Fe (Cu, S, C)	Fe, S, (V, Ti, P)
时代	晚侏罗世—早白垩世(150—120Ma), 主要集中在晚侏罗世	早白垩世(120—100Ma)

注: AC为钙碱指数;  $\sigma$ 为组合指数; Sr<sub>1</sub>为锶同位素初始值

岩类有关的铁矿系列, 主要矿床类型为矿浆贯入型、残浆-气液交代型、伟晶-气液充填型、接触交代型和热液交代-充填型, 即著名的“宁芜式”铁矿。

## 二、钠硅质异常演化

与铁矿有关的富钠闪长岩类岩体中, 往往包含有两至三种在岩性上相互过渡(连续的或断续的)的岩石类型, 其形成顺序(以宁芜地区为例)为: (富钠)碱性辉长(玢)岩→富钠闪长玢岩→钠长闪长玢岩→钠长(斑)岩或石英钠长(斑)岩。反映岩石形成经历了一个逐渐富集钠硅质的特征性演变过程。与一般中基性岩浆的成岩演变特征比较, 这是一个异常的或特殊的演变过程, 可称为成岩过程中的钠硅质异常演变, 其主要特征如下:

1. 在岩石学上, 斜长石总量逐渐增加, 但斜长石中An分子含量逐渐降低, 由拉中长石→更长石→钠长石或含Or分子较高的钾长石。岩石中标准矿物分子Or含量逐渐减少, 但有的岩石中随钠长石含量增加, Or含量并不减少, 而是构成钾钠长石。如钟九矿区中的钠长闪长岩和钠长岩中, 钠长石中Or分子高达25—40%。石英含量往往不是随钠长石含量的增加而有明显的增加, 但在某些富钠长石的斑状岩石中, 其基质部分可见到微晶石英和微晶钠长石交生。铁镁矿物主要为透辉石和镁质黑云母(两者均具有高的Mg/(Mg + Fe<sup>3+</sup> + Fe<sup>2+</sup> + Mn)比

值,前者为0.75—0.87,后者大于0.5)或金云母,含量逐渐减少。在更富钠的岩石中,铁镁矿物往往为含钠较高的种属,如含一定数量霓辉石分子的透辉石、钠铁闪石、富钠的非闪石和浅闪石等。副矿物中以磁铁矿最多,磁铁矿分子中 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量(70—71.52%)高于理论值(68.94%),并富 $\text{TiO}_2$ (2.26%)和 $\text{V}_2\text{O}_5$ (0.49%)。在更富钠的岩石中磁铁矿含量减少,但出现较多的赤铁矿。

2. 在岩石化学成分上:主要表现为 $\text{Na}_2\text{O}$ 和 $\text{SiO}_2$ 含量的逐渐增加,其中 $\text{Na}_2\text{O}$ 的增长幅度较大。 $\text{Na}_2\text{O}$ 和 $\text{SiO}_2$ 含量变化具有强烈正相关关系( $\text{Na}_2\text{O}=0.1809\text{SiO}_2-4.7225$ ,  $r=0.6577$ ); 基性组分显著递减,并与 $\text{SiO}_2$ 含量变化呈强烈负相关关系( $\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}+\text{MnO}=-0.9537\text{SiO}_2+68.8168$ ,  $r=-0.9173$ );  $\text{K}_2\text{O}$ 含量变化是不规则的,与 $\text{SiO}_2$ 含量变化不存在相关关系,并且在不同地区表现出不同的变化特点——或者显示不规则的正变趋势(鄂东南地区西部),或者显示不规则的负变趋势(宁芜地区)。最有意义的是 $\text{Na}_2\text{O}$ 与 $\text{TFe}(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO})$ 含量变化具有强烈的负相关关系( $\text{Na}_2\text{O}=-0.4109\text{TFe}+7.9867$ ,  $r=-0.667$ , 图1),表明在成岩演变中,随着钠质的增加,铁质从岩浆中逐渐析出。这一过程与铁矿浆和含铁热流体形成有密切的关系。此外,随着岩石中钠硅质的增长, $\text{Fe}_2\text{O}_3/(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO})$ 比值也明显增大。这与“碱-三价离子效应”密切相关;同时,这种富 $\text{Fe}^{3+}$ 的特征,与岩石中磁铁矿和有关铁矿体中磁铁矿富 $\text{Fe}^{3+}$ 也是一致的。这不仅表明成岩过程中铁组分的变化特点,而且也表明成岩过程中铁离子价态的变化与继之而来的铁矿成矿作用有继承性关系。表2中列举出了几个矿区的岩石化学成分变化情况,较清楚地反映了钠硅质异常演变的特点。

3. 岩石化学成分点群分析和主成分分析<sup>①</sup>: R型点群分析结果(图2)表明,主要氧化物

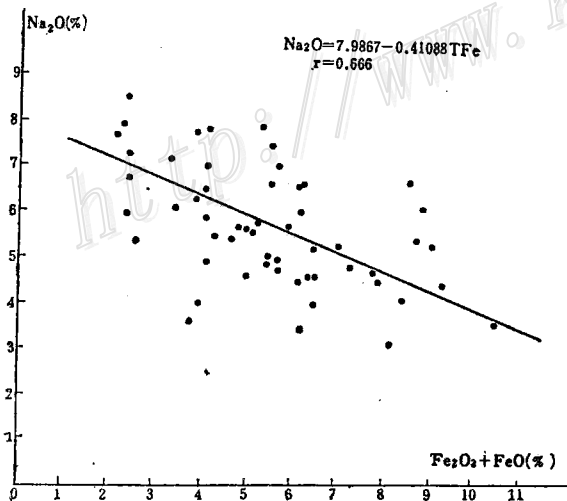


图1 长江中下游与铁矿系列有关的富钠闪长岩类  
 $\text{Na}_2\text{O}$ 与 $(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO})$ 的关系

Fig. 1.  $\text{Na}_2\text{O}$  versus  $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$  diagram of sodium-rich dioritoids related to iron ore series in the middle and lower reaches of the Yangtze River.

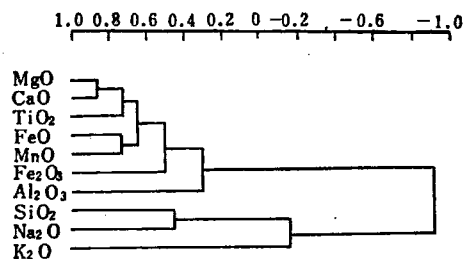


图2 与铁矿系列有关的富钠闪长岩类  
岩石化学组分点群分析图解

Fig. 2. Cluster analysis for petrochemical components of sodium-rich dioritoids related to iron ore series.

①数学计算由谢英奎同志完成

表 2 辉石闪长玢岩→钠长闪长玢岩→钠长岩化学成分的变化  
Table 2. Variation in chemical composition from pyroxene diorite through albite diorite-porphyrite to albitite

成 分 (%)	矿 区 石	雅 镇 矿 区		铁 山 矿 区		钟 九 矿 区		
		闪长岩	钠长闪长岩	透辉石 闪长岩	钠长闪长岩 + 钠长岩	辉石闪长玢岩	钠长闪长玢岩	钠长岩
SiO <sub>2</sub>		57.88	59.85	58.19	65.60	56.54	58.64	61.48
Na <sub>2</sub> O		4.24	7.54	5.14	7.66	4.90	5.94	8.54
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		4.16	2.66	3.72	3.00	1.42	2.93	3.39
FeO		3.34	1.88	2.19	1.29	2.35	2.38	0.77
CaO		5.51	3.54	5.19	1.45	7.07	3.84	0.74
MgO		3.10	1.76	3.57	0.50	3.16	1.65	0.77
K <sub>2</sub> O		2.70	1.52	3.32	0.84	3.44	4.45	1.84
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O		1.57	4.96	1.55	9.12	1.42	1.20	4.64
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /(FeO + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		0.55	0.59	0.64	0.70	0.33	0.55	0.81

的分群特点为：碱硅质组分(Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O和SiO<sub>2</sub>)为一群，基性组分(CaO、MgO、FeO和Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)为另一群，两者之间的相关系数为-0.92。表明在成岩过程中(岩浆组分演变过程中)有基性组分和碱硅质组分的分离，在主要造岩矿物形成过程中出现过铁镁矿物、基性斜长石与碱性长石和石英的分离。碱硅质组分中，Na<sub>2</sub>O和SiO<sub>2</sub>密切相关(相关系数为0.45)，而它们与K<sub>2</sub>O表现为相关程度很小的负相关(相关系数为-0.16)。这不仅反映成岩演变中出现了钠长石和钾长石的分离，而且也反映在晚期成岩过程中是以钠长石为主导。

上述岩浆演变过程中主要组分的聚合关系，与富钠闪长岩类的矿物组成及其演变特征所反映的成岩过程是基本一致的。

主成分分析(表3、表4和图3)提供的岩浆组分演变中各氧化物的聚合、分离信息，同样

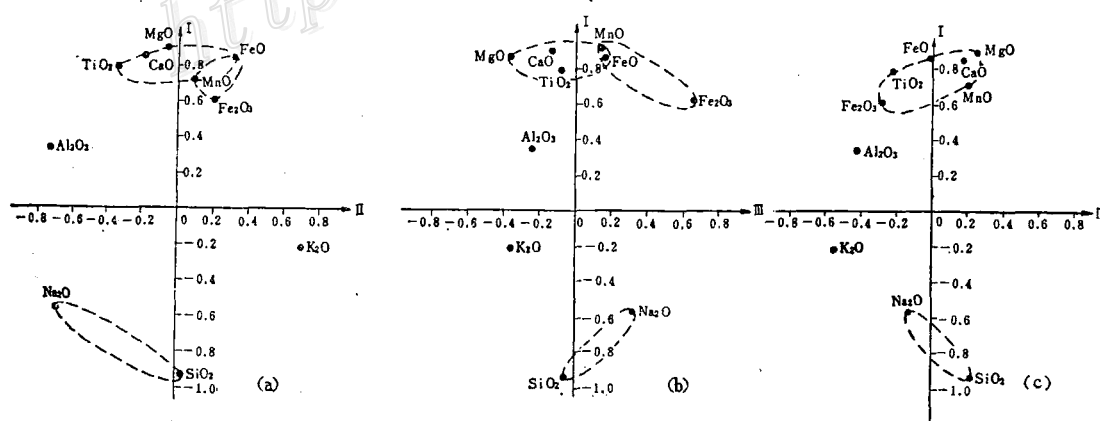


图 3 与铁矿系列有关的富钠闪长岩类岩石化学主成分分析图解

Fig. 3. Principal composition analysis for petrochemical components of sodium-rich dioritoids related to iron ore series.

表 3 富钠闪长岩类岩石化学主成分的相关矩阵  
Table 3. Correlation matrix of principal petrochemical components of sodium-rich dioritoids

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
SiO <sub>2</sub>	1.0000	-0.7833	-0.3753	-0.6829	-0.7833	-0.5469	-0.8015	-0.8006	0.4543	0.1261
TiO <sub>2</sub>		1.0000	0.5171	0.4061	0.5449	0.4328	0.6780	0.7197	-0.2199	-0.2597
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			1.0000	-0.0048	0.0884	0.1939	0.2372	0.3940	0.2532	-0.2826
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				1.0000	0.6538	0.4110	0.4231	0.2388	-0.2792	-0.0687
FeO					1.0000	0.7322	0.7020	0.5738	-0.6432	-0.0110
MnO						1.0000	0.5609	0.4984	-0.4461	-0.1710
MgO							1.0000	0.8589	-0.5625	-0.2996
CaO								1.0000	-0.4887	-0.2927
Na <sub>2</sub> O									1.0000	-0.4059
K <sub>2</sub> O										1.0000

表 4 富钠闪长岩类的主因子分析解  
Table 4. Principal factor analyses of sodium-rich dioritoids

	I	II	III	IV	公因子方差
SiO <sub>2</sub>	-0.938	0.0315	-0.0461	0.2169	0.9316
TiO <sub>2</sub>	0.7990	-0.3344	-0.0973	-0.2278	0.8115
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.3440	-0.7169	-0.2315	-0.4148	0.8508
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.6161	0.2193	0.6575	-0.2791	0.9379
FeO	0.8641	0.3151	0.1728	-0.0106	0.8759
MnO	0.7230	0.1123	0.1488	0.2063	0.6001
MgO	0.8981	-0.0360	-0.1409	0.2493	0.8899
CaO	0.8532	-0.1897	-0.3577	0.1756	0.9228
Na <sub>2</sub> O	-0.5727	-0.7013	0.3317	-0.1285	0.9463
K <sub>2</sub> O	-0.2110	0.7232	-0.3495	-0.5350	0.9759
贡献	5.1942	1.8388	0.9294	0.7873	
累计百分贡献	51.9415	70.3298	79.6241	87.4975	

注：样品取自长江中下游20个铁矿区，总数152个

反映了基性组分和碱硅质组分的分离及碱硅质组分中钠与钾的分离。同时，在基性组分中还揭示出CaO-MgO-FeO和FeO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-(MnO)两个相对独立的组合。前者代表铁镁钙硅酸盐矿物，后者代表磁铁矿，反映富钠中基性岩浆早期结晶分异过程中磁铁矿是一个重要的矿物相，对岩浆的演化特征有重要的影响，使岩浆向贫铁方向演变，导致铁镁矿物中铁含量显著减少。这从富钠闪长岩类岩石中主要铁镁矿物具有富镁贫铁的化学特征，以及形成较晚的钠长闪长岩、钠长岩显著贫铁的特征中可得到证实。从富钠中基性岩浆中分离出来的磁铁矿，在高碱（主要是钠）和富挥发分（主要是卤素，特别是氯）的条件下可能是不太稳定的。因为铁属过渡族元素，具有很强的形成络合物的倾向。因此，可能有相当一部分磁铁矿要被活化，铁离子与卤素结合生成各种络离子，并在钠离子的平衡离子效应(Counter ionic effect)影响下生成各种比较稳定的络合物转移到岩浆流体之中，从而为富钠中基性岩浆中分离出磁铁矿和铁质，并逐渐衍生为与富钠闪长质熔浆不混溶的铁岩浆和富铁热流体提供可能的条件。

4. 成岩演变趋势：富钠闪长岩类的An-Ab-Or-H<sub>2</sub>O体系(图4)和Q-Ab-Or-H<sub>2</sub>O体系(图

5), 大致勾画出了岩浆成分演化的趋势。不同岩石类型的岩浆成分点均集中在近 Ab 顶点的区域内, 显示富钠长石的鲜明特征, 并且岩浆成分的演化愈来愈富钠长石。某些富钠闪长岩中钠长石的形成温度较低, 约  $650^{\circ}\text{C}$  (高振敏等, 1983), 而这些岩石中  $\text{H}_2\text{O}^+$  含量 ( $>2\%$ ) 明显高于辉长岩 (0.75%) 和闪长岩 (1.15%) (Le Maitre, 1976)。显然, 处于相对封闭条件下的富钠中基性岩浆, 由于富含  $\text{H}_2\text{O}$  (水蒸气 + 超临界水) 而提高了水压  $P_{\text{H}_2\text{O}}$ , 使岩浆的液相线温度急剧下降 (Cox 等, 1979), 从而延长了岩浆结晶固化的时间, 有利于分异作用的充分进行, 同时也促进了铁矿浆、含矿热流体同更富钠质的闪长岩浆的分离。在 An-Ab-Or 三元系中, 当  $\text{Ab}:\text{An} > 8:2$ , Ab 的增长速度变缓, 反映岩浆演化进入了一个新的阶段, 即钠质正长岩阶段。显然, 这与一般中基性岩浆的演化特征是不同的。这种特殊的向钠质正长岩浆演化趋势是在不平衡条件下进行的。岩浆组分中  $\text{Na}_2\text{O}$  含量的增高, 或者是由于原始富钠中基性岩浆在基性组分结晶分离后, 残余岩浆中钠质组分显著增加所致; 或者是受外来组分的

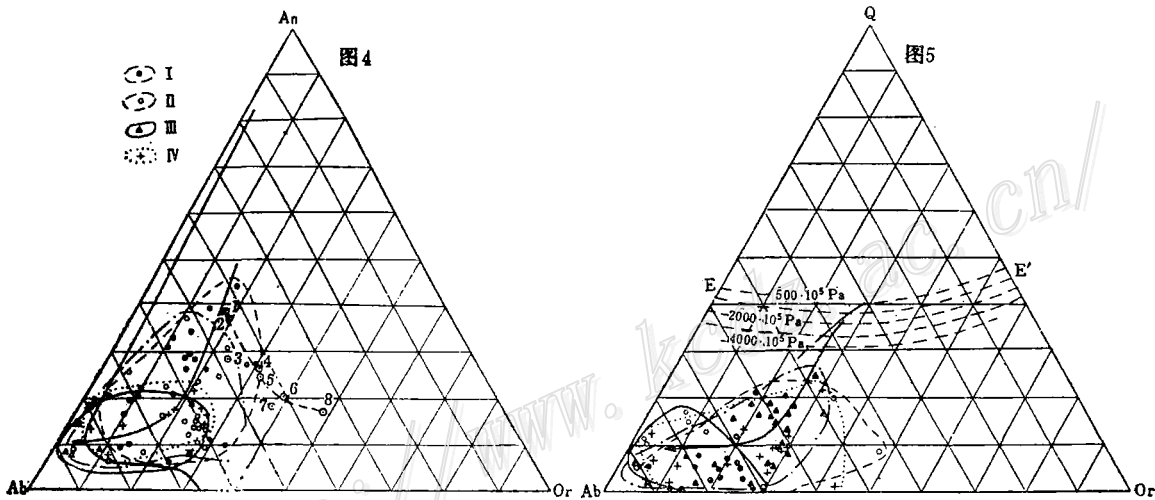


图 4 与铁矿系列有关的富钠闪长岩类在 An-Ab-Or- $\text{H}_2\text{O}$  系统中的演化趋势 ( $P_{\text{H}_2\text{O}} \geq 10^5 \text{Pa}$ )

1—闪长岩; 2—石英闪长岩; 3—花岗闪长岩; 4—二长岩; 5—石英二长岩; 6—正长岩; 7—花岗岩; 8—粗面岩; I—宁芜地区岩体; II—鄂东南地区岩体; III—雍镇地区岩体; IV—安庆地区岩体

Fig. 4. Triangular diagram of An-Ab-Or- $\text{H}_2\text{O}$  system showing evolutionary tendency of sodium-rich dioritoids related to iron ore series.

1—Diorite; 2—Quartz-diorite; 3—Granodiorite; 4—Monzonite; 5—Adamellite; 6—Syenite; 7—Granite; 8—Trachyte; I—Intrusive bodies in Ningwu area; II—Intrusive bodies in southeastern Hubei; III—Intrusive bodies in Yongzhen area; IV—Intrusive bodies in Anqing area.

图 5 与铁矿系列有关的富钠闪长岩类在 Or-Ab-Q- $\text{H}_2\text{O}$  系统中的演化趋势 ( $P_{\text{H}_2\text{O}} \geq 10^5 \text{Pa}$ )

Fig. 5. Triangular diagram of Or-Ab-Q- $\text{H}_2\text{O}$  system showing evolutionary tendency of sodium-rich dioritoids related to iron ore series.

强烈混染所致。富钠闪长岩类杂岩体中或富钠闪长岩类分布区, 钠长岩或石英钠长(斑)岩的出现, 表明同源岩浆的成岩演变经历了比较完全的钠硅质异常演变过程。由于这种异常演变与铁矿浆-含铁热流体的形成和分离密切相关, 因此反映富钠中基性岩浆成岩过程中钠硅质异常演变特征的岩石组合, 如富钠闪长(玢)岩、钠长闪长(玢)岩、钠长岩或石英钠长(斑)岩等, 可以作为矿浆-热液型铁矿系列的重要指示性标志。

### 三、铁矿浆和富铁残浆气液的形成

如上所述,富钠中基性岩浆成岩演变中,磁铁矿作为一个十分重要的独立矿物相存在,早期晶出的主要铁镁矿物为具有较高 $Mg/(Mg + Fe^{3+} + Fe^{2+} + Mn)$ 比值的透辉石和次透辉石,以及由于富碱(主要是钠质)和卤素(氟、氯)会导致岩浆中晶出的矿物相趋简单(胡受奚,1979)——主要为斜长石、透辉石和磁铁矿,这些对富钠中基性岩浆中铁质的分离是十分有利的。同时,由于 $Na^+$ 易于同岩浆中的挥发分( $F^-$ 、 $Cl^-$ 、 $OH^-$ 、 $CO_2$ 等)结合形成化合物,其存在和相对富集,可促使岩浆结晶温度降低。如凹山矿区富钠闪长岩的结晶温度为 $650^{\circ}C \pm$ ,从而有利于分异作用和富铁熔流体与岩浆之间的熔离作用的进行。随着钠硅质异常演变的发展,从富钠中基性岩浆中分离出来的磁铁矿和富铁流体逐渐聚集,并与富钠闪长岩浆不混溶,从而形成铁矿浆。当分离出来的磁铁矿和富铁流体与富钠闪长质岩浆之间的熔离作用发育不完全时,则可以相对富集,较均匀地混合在富钠闪长质岩浆之中。这种富含磁铁矿和铁质流体的岩浆上侵到浅部就位时,可以形成兼具晚期岩浆熔离和气液交代特征的低品位铁矿床,如陶村式铁矿。

上述铁矿浆-富铁流体形成的可能机制,可从有关成矿实验研究中得到证明(A. R. Philpots, 1976; 苏良赫等, 1978; 喻学惠, 1981; 梁祥济等, 1982)。据A. R. Philpots的实验结果,挥发分的存在和富集,对从闪长岩质熔浆中分离出铁矿浆似乎是非常重要的;而梁祥济等的研究表明,中基性岩浆中高钠也是铁矿浆形成和分离的决定性条件之一。结合长江中下游富钠闪长岩类、矿浆-热液型铁矿成岩成矿系列的特征来分析,高碱富钠和相对富集挥发分特别是卤素,并且具有比较稳定的钠硅质异常演化的中基性岩浆,才是铁矿浆-富铁流体得以形成和从岩浆中分离出来的必要的充分的条件。

岩浆期后含矿溶液的形成和发展,经历了一个相当复杂的过程。早在富钠中基性岩浆发生钠硅质异常演化,形成和分离出铁矿浆的同时或稍后,一方面由于岩浆富碱,铝含量也不高,水和其他挥发分(主要是卤素)的溶解度是相当大的,从而提高了热水溶液的临界温度(梁祥济等, 1982);另一方面由于富碱和挥发分降低了岩浆的熔点,使岩浆作用和热液作用的物理化学条件相互靠近,因此,可以从岩浆连续不断地向热水溶液过渡而不出现临界现象(林新多等, 1984),于是便可形成和分离出一种超临界状态的含矿溶液。这种溶液,既可以渗入矿浆之中形成一种过渡性流体(矿浆和溶液的混合物),并与富钠闪长岩浆进一步分离;也可以自成一体成为含矿气液的前驱。其后,随着富钠中基性岩浆的进一步分离结晶和温度下降,从岩浆中分离出来的含矿热液便逐渐聚集,从而完成了由矿浆→富铁残浆气液(超临界含矿气液)→含矿热液的演化。

概括地说,铁矿浆、富铁残浆气液和含铁热液都是富钠中基性岩浆异常演化的产物,但它们各自形成的时间和性状是有差别的。铁矿浆总的说来形成较早,可能主要出现在岩浆异常演变的早期或稍晚,大致相当于富钠辉长闪长(玢)岩或透辉石闪长岩形成阶段。富铁残浆气液的形成时间晚于前者,可能主要形成于富钠闪长(玢)岩或钠长闪长(玢)岩阶段。含矿气液从岩浆中大量分离的时间,相对于前两者要晚得多,主要出现在岩浆分异演化晚期的岩浆基本固结阶段,但从岩浆中最初形成和分离出超临界气体的时间,则与前两者大致同时,难辨先后。

铁矿浆、富铁残浆气液和含铁热液所产生的成矿作用,在时间和空间关系上都没有固定的顺序和配置格式。在空间上,它们可以相互重叠,也可以彼此分离。在时间上,往往是互为先后,其形成顺序因地而异。特别是由铁矿浆和含铁气液形成的矿床(体),两者在时间、空间上的关系更是如此。这可能是由于含铁气液比铁矿浆具有更大的活动性,渗透能力较强所致。在区域构造应力和(或)岩浆体中含矿溶液源所承受的过剩压力的影响下,含矿气液的迁移速度可能更快,因而它可以后来居上,其成矿作用有时比铁矿浆还早一些,成矿范围也大得多,成矿的地质构造环境也更为复杂多样,并兼具交代和充填两种成矿方式。

#### 四、铁质和钠质来源讨论

1. 铁质来源:从上面的叙述中可以认为,“大冶式”和“宁芜式”铁矿系列中铁质主要来自富钠中基性岩浆本身。这一认识可以从较原始的基性岩相对富铁( $TFe \geq 10\%$ ),而与铁矿有关的中基性岩,特别是中晚阶段形成的富钠闪长(玢)岩和钠长闪长(玢)岩却贫铁( $TFe 5-6\%$ )的事实中得到证实。但是,这一现象同矿床(体)中铁的富集并不存在直接的关系,也不存在简单的“予主”和“受主”的关系。富钠中基性岩的贫铁,主要是由于岩浆成岩演变中分离出一部分铁形成铁矿浆和含铁热流体造成的;其次是岩浆体基本固结后,岩浆晚期和期后气液交代作用,特别是比较发育的钠长石化作用,也可导致岩石中含铁矿物中铁含量的变化。热液作用从岩石的含铁矿物中活化转移出来的一部分铁,也是铁矿床(体)中铁质的来源之一。因此,富钠闪长岩类岩石中铁的含量与矿床(体)中铁质富集的关系是复杂的,但主要是同源演变关系和(或)直接演变关系。近矿岩体中所含铁质往往也是矿床的物质供应源之一,在特定情况下或许还是比较重要的。

从成岩成矿演变关系来看,矿浆型和残浆气液交代-充填型铁矿的形成,由围岩提供成矿物质的可能性是很小的。因为矿浆、残浆气液是岩浆本身在特殊条件下发生熔离作用的产物,围岩并没有参加到这一体系之中,因此,不可能对这一体系的规律性演化产生影响。含矿气液形成的交代-充填型铁矿床(体),其成矿物质的来源则与矿浆型、残浆气液型铁矿床(体)有较大的差异。当成矿溶液或气液沿岩体与围岩之间的接触构造带或围岩(包括岩体)中裂隙破碎带流动时,围岩不仅是“被动”地成为成矿溶液的运移通道和聚集场所,而且还可能以本身的物理-化学特性“主动”地改变或影响成矿溶液的性质、物质成分和演化方向。因为在成矿溶液流通和渗透所及范围内,必然会出现一个新的、包括围岩的物质组分在内的热化学平衡系统;而在这一系统的建立和发展过程中,通过交代反应,成矿溶液可以从围岩中活化和萃取部分铁质和其他物质,因此,含铁围岩(包括岩体)也就可能是铁质的部分来源。当成矿溶液的成矿作用叠加在原生沉积的铁矿层或富铁的岩层中时,则可以使其富化,从而构成有工业价值的铁矿床(体)。长江中下游地区,由含铁热液叠加改造原来的贫铁矿层或含铁岩层形成的工业铁矿床(体),虽不占重要地位,但从与富钠闪长岩类有关的铁矿系列成矿作用的发展、演变情况来看,这种沉积-热液改造型铁矿却有重要意义,它可以开阔找矿思路,扩大找矿前景。

2. 钠质来源:富钠闪长岩类中,钠质的来源也是一个十分有意义的问题。目前,对这一问题的认识尚不一致,主要有两种意见。一种意见是,长江中下游成矿带内中晚三叠世的



膏(盐)层是富钠中基性岩浆和铁矿成矿过程钠质的主要来源。主要根据是:长江中下游成矿带内,最主要的富钠闪长岩体及其有关的铁矿床,均产于中晚三叠世膏(盐)层中或其附近。当岩浆侵入或穿过膏(盐)层时,易熔的岩盐层被岩浆同化,从而使岩浆富钠质和卤素,其后成岩作用的晚期和期后,通过强烈发育的钠交代(钠长石化、钠柱石化)作用,从中基性岩中或含铁围岩中萃取铁质而形成有关的各种类型的铁矿床。另一种意见则认为,富钠闪长岩类中的钠质主要是由原始岩浆的组分特征决定的。从区域扬子式同熔型基性—中酸性岩石的化学特征来看,富钠是普遍现象,即使是与铜矿系列有关的高钾钙碱性闪长岩类也有较高的钠含量背景。此外,未侵入到三叠纪碳酸盐岩—蒸发岩相地层中的闪长岩类具有较高的钠含量,就是侵入到前三叠纪地层中,特别是侵入到经受过较强区域动热变质作用的岩层中的闪长岩类岩体(如安徽怀宁地区的一些闪长岩体),也具有较高的钠含量。因此,与铁矿系列有关的闪长岩类的富钠特征,主要是原始岩浆组分中富钠所决定的。但是,当富钠中基性岩浆侵入或穿过三叠纪膏(盐)层时,同化岩盐而更加富钠和卤素的可能性也是存在的。尽管长江中下游地区的中上三叠统和中石炭统在许多地方都存在硬石膏层,但是否也存在一定数量的岩盐层或含岩盐的岩层,迄今尚未见有确切的地层资料予以证实。

综上所述,富钠闪长岩类中钠质的来源,与其说来自尚未证实其存在的三叠纪盐层,毋宁说来自深部的中基性岩浆源,即原始岩浆本身富钠。

## 五、结 论

1. 与富钠闪长岩类有关的铁矿系列,在成因上与富钠中基性岩浆成岩过程中出现的钠硅质异常演变密切相关。这种异常演变愈发育,对铁矿浆、富铁残浆气液和含铁热液的分离和富集也愈有利。

2. 成矿作用贯穿在富钠闪长岩类成岩演变的全过程。铁矿浆形成较早,大致相当于富钠辉长闪长岩和富钠透辉石闪长岩形成阶段;富铁残浆气液形成较晚,大致相当于富钠闪长玢岩和钠长闪长玢岩形成阶段;含铁热液从岩浆中大量分离出来,主要在岩浆基本固结之后或成岩演变的晚期。

3. 铁矿浆、富铁残浆气液和含铁热液的形成有大致的时间顺序,但由它们分别形成的矿床(体)却没有固定的时间顺序。因此,不同成因类型的矿床(体)在空间上也没有固定的配置格式。它们可以彼此分离,也可以相互叠置、穿插,主要受构造—围岩条件控制。

4. 矿床(体)中铁质主要来自深部富钠中基性岩浆体,但某些热液交代或(和)充填型矿床(体)中,铁质来源比较复杂,除来自深部岩浆体外,还可能来自围岩和与矿床(体)毗邻的闪长岩类岩体中。

5. 富钠闪长岩类中的钠质,主要是由深部岩浆源富钠决定的,但不排除岩浆上侵时从膏盐层中获得部分钠质。

本文是根据《长江中下游铜、铁、硫(黄铁矿)、金(多金属)成矿带的地质特征、成矿条件和成矿规律》<sup>①</sup>综合研究报告中有关资料编写的,由吴言昌执笔,插图由李文陵清绘。

<sup>①</sup>该报告为地质矿产部“第一批三十项跨省成矿远景区划项目之十”综合研究成果,1985年9月,经地矿部委托部资料局组织的评审会议审查通过

## 主要参考文献

- [1] 宁芜铁矿研究项目编写小组 1978 《宁芜玢岩铁矿》 地质出版社
- [2] 胡受奚等 1979 论我国东部与铁、铜矿床有关的中-酸性岩类的成矿专属性 地质学报 第4期
- [3] 程裕洪等 1979 初论矿床的成矿系列问题 中国地质科学院院报 第1期
- [4] 翟裕生等 1982 鄂东大冶式铁矿成因的若干问题 武汉地质学院院报 第2期
- [5] 梁祥济等 1982 在高温高压下卤素和K、Na卤化物在铁矿形成中的作用和影响 武汉地质学院院报 第3期
- [6] 林传仙等 1983 论姑山铁矿的形成条件 地球化学 第1期
- [7] 宋学信 1980 一个“三位一体”的矿床——姑山铁矿床 中国地质科学院院报矿床所分刊 第1期
- [8] 高振敏等 1983 宁芜铁矿中磁铁矿特征及其与铁矿床的关系 中国科学院地球化学研究所年报
- [9] 徐克勤等 1982 华南两个成因系列花岗岩及其成矿特征 矿床地质 第2期
- [10] 李秉伦等 1984 宁芜地区宁芜型铁矿的成因、分类和成矿模式 中国科学(B辑) 第1期
- [11] 张文淮等 1984 大冶铁山铁(铜)矿床矿物包裹体研究及矿床成因探讨 武汉地质学院院报 第4期
- [12] 喻学惠 1984 常压高温下方铁矿-氟金云母-透辉石熔融体系相平衡实验及地质意义 武汉地质学院院报 第1期
- [13] 林新多等 1984 鄂东大冶式铁矿成矿流体性质的探讨 武汉地质学院院报 第4期
- [14] Maitre, Le, 1976, The chemical variability of some igneous rocks, J. Petrol. 17, pp. 589—637.
- [15] Cox, K.G. et al., 1979, The interpretation of igneous rocks, George Allen and Unwin LTD, 120—144.

## GENETIC RELATIONSHIP BETWEEN SODIUM-RICH DIORITOIDS AND IRON ORE SERIES IN THE MIDDLE-LOWER VALLEY OF THE YANGTZE RIVER

Wu Yanchang, Wang Yingchun and Liang Shanrong

(Institute of Geological Sciences of Anhui Province, Hefei, Anhui)

Liu Xiangpei

(Bureau of Geology and Mineral Resources of Anhui Province, Hefei, Anhui)

Du Xun

(313 Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Resources of Anhui Province, Hefei, Anhui)

### Abstract

The most important iron ore series in the Middle-Lower valley of the Yangtze River, which include series of ore-magma type—contact metasomatic (skarn) type—hydrothermal metasomatic and filling type deposits and series of ore-magma type—residual magma to pneumato-hydrothermal metasomatic and filling type—contact metasomatic type—hydrothermal metasomatic and filling type deposits, are closely related to sodium-rich dioritoids in space, time and genesis. Metallization of iron deposits proceeded through the whole process of the diagenetic evolution of the sodium-rich basic-intermediate magma and the post-

magmatic hydrothermal activities, associated mainly with abnormal evolution and concentration of sodium and silica during diagenesis. These processes are evidently demonstrated by the regular variations in mineral constituents of the rocks and major chemical composition (Table 2 and Fig. 1) as well as by the correlation between the main mineral phases (Fig. 3) which appeared during the diagenetic process.

The generation and separation of the iron ore-magma seem to have started at the early stage fractional crystallization of the sodium-rich magma, with the prerequisite being high alkalinity, rich sodium, abundant volatiles (especially halogen), and relatively stable environment suitable for abnormal evolution and enrichment of sodium and silica. The ore-bearing hydrothermal solution must have been generated and separated under the similar condition, only the formation time was somewhat later.

Ore bodies formed by ore-magma and ore-bearing hydrothermal solution generally show no regular sequence and their distribution patterns are also varied.

<http://www.kcdz.ac.cn/>