

宁芜型铁矿床成因和 成矿模式的探讨

卢冰 胡受奚

(南京大学地球科学系)

蔺雨时 叶水泉

(江苏有色金属地质勘探公司)

内容提要: 文章以充分事实和大量资料探讨宁芜型铁矿的形成及其与气化-热液交代蚀变的关系,系统地论述了上升的成矿溶液在水/岩反应过程中所造成的交代蚀变分带和成矿及其有关元素活化转移和富集的规律,进一步强调热液-交代蚀变成矿模式的重要意义,并着重指出内生成矿作用与外生物质在宁芜型矿床形成过程中的密切联系。

主题词: 钠交代 蚀变分带 成矿模式 膏盐层

宁芜中生代火山-沉积盆地密集地发育凹山式、梅山式、吉山式、姑山式和白象山-凤凰山式等铁矿,成为长江中下游铁、铜、硫等成矿带中一个重要的、富有特色的组成部分。由于这些铁矿彼此有着成因上的联系,因此,被总称为宁芜型铁矿。许多单位和学者对这些类型铁矿进行了多方面的研究工作^[1-7]①②,取得了大量资料和成果,并建立了有关的成矿模式^[1,2,6]②。但是关于一些主要矿床和梅山铁矿、姑山铁矿和凹山铁矿等的成因问题,却存在着不同认识。有的强调岩浆(矿浆)成矿作用,有的强调气化-热液成矿作用。根据我们长期的研究,我们认为有更多的资料和根据表明它们是气化-热液成因,上升热卤水广泛的交代蚀变作用,或水/岩反应、酸-碱分离、成矿元素的活化转移和富集等作用是最主要原因。交代蚀变成矿模式更能完整地反映客观事实,成矿过程和成矿机制,并更符合当代成矿有关的各种新理论。

为了使问题具有针对性,我们用各种事实和资料表明我们的观点,并与岩浆成矿论者开展讨论。

一、气化-热液交代蚀变的广泛性和分带性

不论是气化-热液成矿论者还是岩浆(矿浆)成矿论者都一致认为不论矿体内部、周围上下,都发育强烈的、各种类型的气化-热液交代蚀变,并具有明显的分带性,这在一些论

① 胡受奚等,1978,花岗岩和中基性岩类有关的热液矿床成矿机制和模式,福建地质,第3期

② 蔺雨时等,1980,再论梅山铁矿床的热液成因——与矿浆论者商榷,华东冶金地质,第2期

文和专著^[1-5,8]中都作了详细的描述。下面我们简要综合于表1。

过去对不同蚀变岩石作过许多分析,这次我们为了进一步搞清不同蚀变带中造岩和成矿元素活化转移又作了系统的分析(表2,图1)。

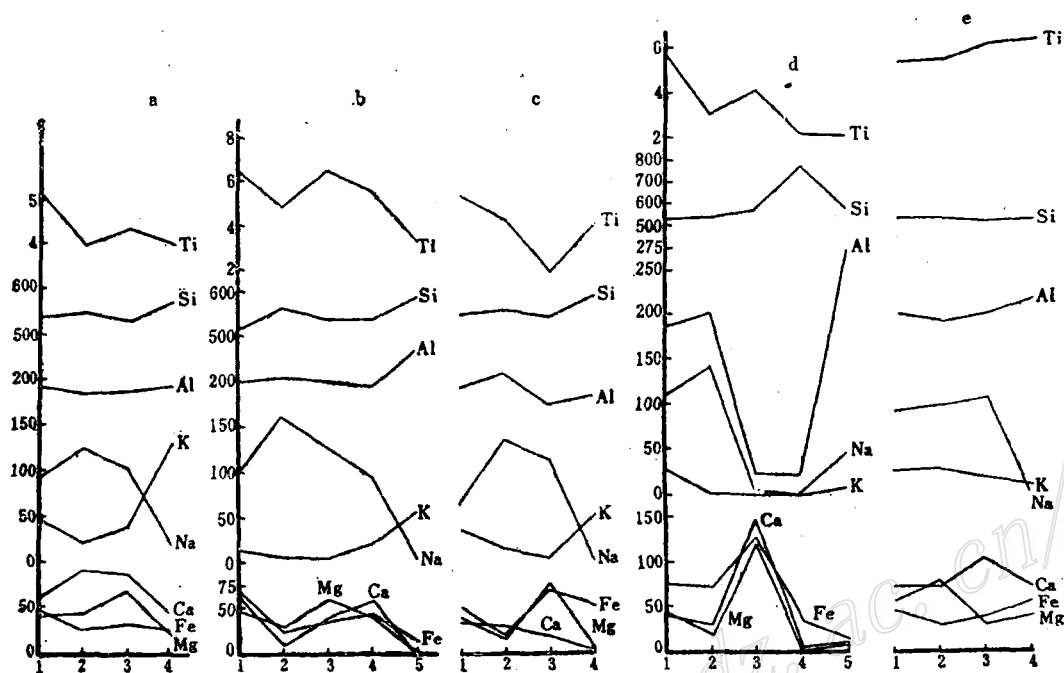


图1 一些矿区不同交代蚀变带的造岩元素带入和带出情况(巴尔特法)

a、钟九矿区: 1—辉石闪长玢岩; 2—透辉石钠长石岩; 3—透辉石方柱石岩; 4—阳起石钾长石岩;
b、凹山矿区: 1—辉石闪长玢岩; 2—钠长石岩; 3—绿帘石阳起石钠长石岩; 4—磁铁矿透辉石钠长石岩; 5—绢英岩; c、东山矿区: 1—弱钠化闪长玢岩; 2—钠长石岩; 3—阳起石钠长石岩; 4—绢英岩;
d、铸山矿区: 1—辉石闪长玢岩; 2—钠长石岩; 3—石英菱铁矿阳起石岩; 4—次生石英岩; 5—高岭土化钠长石岩 e、凤凰山矿区: 1—辉石闪长玢岩; 2—透辉石钠长石岩; 3—阳起石钠长石岩; 4—高岭土化碳酸盐化闪长玢岩

Fig. 1. Import and export of rock-forming elements in different metasomatic zones of some ore districts.

a. Zhongjiu ore district: 1—Pyroxene diorite-porphyrity; 2—Diopside albitite; 3—Diopside scapolitite; 4—Actinolite potash feldspathized rock; b. Aoshan ore district: 1—Pyroxene diorite-porphyrity; 2—Albitite; 3—Epidote-actinolite albitite; 4—Magnetite-diopside albitite; 5—Beresite; c. Dongshan ore district: 1—Weakly albitized diorite porphyry; 2—Albitite; 3—Actinolite albitite; 4—Beresite; d. Kaoshan ore district: 1—Pyroxene diorite-porphyrity; 2—Albitite; 3—Quartz-siderite-actinolite rock; 4—Secondary quartzite; 5—Kaolinized albitite; e. Fenghuangshan ore district: 1—Pyroxene diorite-porphyrity; 2—Diopside albitite; 3—Actinolite albitite; 4—Kaolinized and carbonatized diorite-porphyrity.

表 1 宁芜型铁矿交代蚀变分带特征

Table 1. Characteristics of metasomatic alteration zoning in Ningwu type iron deposits

空间位置	以蚀变岩颜色分带	以酸碱特征分带	各蚀变带蚀变种类	元素活化转移富集特征	蚀变带厚度(m)
上部	浅色蚀变带	酸性淋滤带	硅化、泥化、青磐岩化, 硫酸盐化(明矾石化、石膏化) 绢英岩化、黄铁绢英岩化	碱金属碱土金属等淋失带	300—400 以上
中部	深色蚀变带	基性元素(铁、镁、钙)交代带	纤磷钠长石化、纤闪石化、绿帘石化、纤闪-绿帘石化、类砂卡岩化	成矿元素富集带	300—400
下部	浅色蚀变带	碱(钠为主)交代带	钠长石化 辉石-钠长石化 钾长-钠长石化	成矿元素(铁、钛、磷)活化转移带	250—350 以上

蚀变岩的氧化物与样品的对应分析结果表示在图2中。由对应分析图可以看出(图2), 对应分析结果较好地反映氧化物与样品的关系, 并能成功地区分矿化、非矿化岩石及各种不同蚀变类型的岩石。

大量事实表明: 不仅矿体本身和周围紧密伴生广泛的交代蚀变, 而且矿体的上部和下部都发育大厚度的强烈的交代蚀变岩及有规律的蚀变分带, 这在岩浆矿床中是很难想像的。

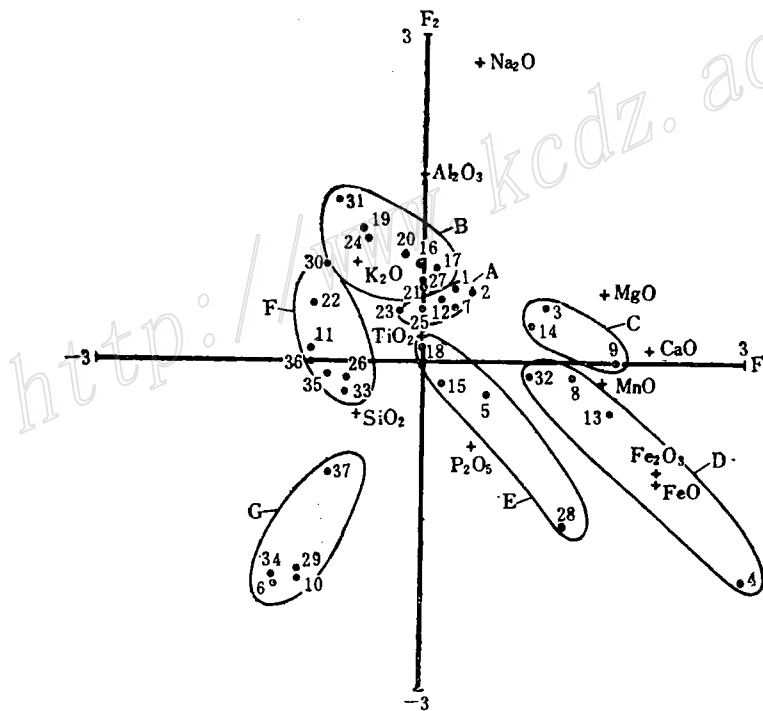


图 2 宁芜地区蚀变岩的岩石化学与样品对应分析图

A—辉石闪长玢岩; B—钠长石岩区; C—钠柱石岩区; D—磁铁矿化岩区; E—菱铁矿岩区; F—绢英岩、高岭土化岩区; G—硅化岩区

Fig. 2. Correspondence analysis of chemical composition of altered rocks in Ningwu area.

A—Pyroxene diorite-porphyrite area; B—Albitite area; C—Marialitized rock area; D—Magnetitized rock area; E—Sideritized rock area; F—Beresitized and kaolionized rock area; G—Silicified rock area.

表2 宁芜地区各矿区蚀变岩岩石化学分析结果

Table 2. Chemical analyses of altered rocks from various ore districts in Ningwu area

样号	样品名称	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
M ①	辉石闪长玢岩	50.44	0.790	16.80	1.27	3.56	0.154	3.33	7.98	4.57	2.45	0.648
M81-36②	钠长石化闪长玢岩	52.08	0.570	14.39	1.49	2.92	0.110	4.11	13.02	4.99	0.47	0.03
M81-11②	石榴子石透辉石钠柱石岩	39.08	0.490	15.45	9.90	4.58	0.080	3.20	10.35	5.01	1.03	0.41
M81-4②	磁铁矿辉石岩	27.68	0.350	3.06	22.89	11.54	0.100	3.25	14.98	0.41	0.40	0.71
M367	菱铁矿岩	46.48	0.667	11.11	3.58	3.60	0.118	1.55	12.96	0.07	1.80	0.223
火山-9	似碧玉岩	96.30	0.340	0.52	0.36	1.30	0.005	0.05	0.15	0.08	0.07	0.021
TA ①	辉石闪长玢岩	51.60	0.900	17.22	1.78	2.28	0.124	3.16	11.76	4.82	1.27	0.190
TA-36	菱铁矿化钠长石化闪长玢岩	51.26	0.552	14.21	6.63	3.03	0.048	1.35	6.90	6.96	0.13	0.283
TA-29	石榴子石砂卡岩	41.30	0.358	10.34	7.63	6.20	0.124	5.00	14.55	3.03	0.50	0.250
TA-1	菱铁矿化钠柱石岩	32.86	0.588	12.01	11.44	5.62	0.188	5.30	15.13	1.79	1.54	0.208
头 ①	辉石闪长玢岩	52.75	0.690	15.30	2.62	3.34	0.164	3.28	10.35	5.65	1.11	0.140
头-3	次生石英岩	90.94	0.661	1.42	1.31	3.53	0.011	0.15	0.15	0.21	0.14	0.072
头-8	高岭土化安山玢岩	58.30	0.788	18.99	1.22	0.22	0.005	0.25	0.50	0.14	2.97	0.355
吉31-4	辉石闪长玢岩	54.89	0.770	18.64	2.97	4.67	0.150	3.47	7.43	3.80	1.59	0.510
吉51-12	磁铁矿假象钠长石岩	37.49	0.480	12.74	19.55	10.21	0.070	1.90	6.22	5.46	0.23	0.040
吉51-11	透辉石钠柱石岩	43.16	0.740	15.45	11.84	4.73	0.190	3.70	8.57	5.55	0.35	0.450
吉-14	菱铁矿钠长石岩	56.10	0.643	10.14	5.28	1.44	0.231	2.75	8.30	3.37	0.10	0.276
风 ③	辉石闪长玢岩	53.70	0.710	17.20	3.20	2.45	0.120	3.71	6.75	4.75	1.99	0.230
风-6	透辉石钠长石岩	54.66	0.740	16.79	1.67	2.02	0.108	5.25	6.60	5.12	2.10	0.164
风-7	阳起石钠长石岩	51.04	0.788	16.66	2.40	2.02	0.118	1.75	9.40	5.36	1.58	0.060
风-8	高岭土化碳酸盐化闪长玢岩	49.84	0.793	17.44	4.08	2.52	0.140	2.45	6.30	0.24	0.89	0.355
凹 ③	辉石闪长玢岩	54.14	0.890	17.68	3.85	4.93	0.150	3.46	6.20	5.36	1.24	0.340
凹-39	钠长石岩	61.14	0.697	18.73	2.74	0.65	0.054	2.05	1.00	9.07	0.66	0.028
凹-31	绿帘石阳起石钠长石岩	57.04	0.903	17.96	2.01	2.67	0.183	4.20	3.95	6.96	0.57	0.046
凹-33	磁铁矿透辉石钠长石岩	57.24	0.776	17.44	2.66	3.24	0.124	3.00	6.00	5.28	2.00	0.290
凹-44	绢英岩	61.14	0.485	21.70	1.75	0.36	0.005	0.15	0.15	0.53	5.04	0.107
东-13	闪长玢岩	57.80	0.740	17.12	2.96	3.82	0.124	3.00	3.55	3.68	3.18	0.299
东-14	钠长石岩	60.80	0.618	19.06	1.82	1.01	0.032	1.45	3.00	7.60	1.58	0.234
D-020-1	阳起石钠长石化闪长玢岩	56.92	0.280	15.50	4.19	5.26	0.032	5.30	1.90	6.16	0.47	0.172
东-15	绢英岩	62.56	0.588	16.54	6.70	0.50	0.005	0.40	0.35	0.19	4.48	0.256
考-3	钠长石岩	54.70	0.419	17.44	7.78	2.09	0.081	1.30	2.85	7.44	0.26	0.056
考-2-1	石英菱铁矿阳起石岩	52.14	0.491	1.81	6.13	8.80	0.533	7.50	12.40	0.22	0.09	0.109
考-9	次生石英岩	90.26	0.340	2.20	3.65	1.30	0.038	0.05	0.05	0.07	0.07	0.067
考-10	高岭土化钠长石岩	61.00	0.286	24.42	1.78	0.14	0.005	0.35	0.65	2.39	0.46	0.030
陶 ③	辉石闪长玢岩	55.48	0.800	16.65	4.54	5.23	0.090	3.03	4.08	6.00	2.24	0.300
陶-28	钠长石岩	62.66	0.056	19.18	0.49	0.22	0.005	0.20	1.95	10.08	0.30	0.018
陶-13	磁铁矿阳起石钠长石岩	44.06	0.528	15.05	16.27	9.16	0.038	1.75	1.70	6.09	1.62	0.496
南 ③	辉石闪长玢岩	52.48	0.880	17.30	5.20	6.03	0.170	2.57	5.04	5.72	1.64	0.300
寨-2	高岭土绢英岩	61.00	0.909	14.53	7.00	0.36	0.016	0.55	0.15	0.19	5.04	0.286
寨-6	次生石英岩	95.14	0.661	0.78	1.21	0.94	0.011	0.05	0.10	0.07	0.08	0.044
大王-3	叶腊石化粗安岩	68.26	1.000	19.31	4.17	0.36	0.005	0.03	0.25	0.20	0.05	0.438
大王-4	高岭土明矾石岩	59.52	0.637	14.99	0.58	1.22	0.005	0.15	0.30	0.93	2.41	0.294
马-2	次生石英岩	71.16	0.497	9.17	4.95	1.37	0.005	0.05	0.05	0.12	2.55	1.740
姑1 ③	辉石闪长玢岩	54.19	0.740	16.28	5.48	1.91	0.070	3.80	7.41	4.50	1.40	0.270
姑2 ④	碳酸盐化辉石闪长岩	57.77	0.805	15.10	4.82	2.30	0.164	3.48	6.85	4.58	1.68	0.192
姑3 ④	高岭土化辉石闪长岩	60.68	0.795	17.84	6.54	0.80	0.104	1.38	1.90	1.07	1.00	0.200
钟1 ③	辉石闪长玢岩	55.23	0.700	15.74	2.72	3.34	0.110	2.96	6.76	4.86	3.93	0.240
钟2 ③	透辉石钠长石岩	56.33	0.560	15.15	1.03	2.38	0.120	2.98	8.67	6.36	1.73	0.240
钟3 ③	透辉石方柱石岩	54.30	0.590	15.19	1.20	2.85	0.170	4.67	8.20	5.30	3.07	0.280
钟4 ③	阳起石钾长石岩	57.52	0.540	15.41	0.83	2.23	0.120	1.55	4.07	1.02	10.22	0.260

资料来源: ①江苏有色807队; ②匡福祥; ③宁芜研究项目编写小组; ④安徽有色808队

二、碱(钠)交代作用的普遍性及其与成矿的关系

不论凹山式、梅山式、吉山式、姑山式还是白象山—凤凰山式铁矿的矿体内或附近, 特别是其下部几乎无例外地发育厚大的(200—500m左右)以钠交代为主的碱交代岩石, 因此,

正确认识其成因,对于解决这些矿床的成矿物质来源、成矿溶液的性质以及矿床的成因无疑是至关重要的。

1. 钠长石岩是钠交代岩, 不是岩浆岩

碱交代的结果形成多种矿物相: ①钠长石单矿物相; ②纤闪石-钠长石相; ③绿帘石-纤闪石-钠长石相; ④透辉石-钠长石相; ⑤霓透辉石-钠长石相; ⑥钠柱石-钠长石相; ⑦钾长石-钠长石相; ⑧钠长石-阳起石(纤闪石)-磷灰石-磁铁矿相等。在铁矿体下部最主要是浅色(白色和微肉红色)的、几乎不含暗色造岩矿物的钠长石岩, 或含少量辉石的辉石-钠长石岩, 在靠近微文象花岗岩接触带发育钾长-钠长石岩。

在许多矿区的辉石闪长玢岩中, 常见钠长石集合体对斜长石溶蚀交代现象, 钠长石常沿斜长石的解理、双晶或边缘进行交代, 常可形成净边结构。交代强烈者, 岩石的暗色矿物几乎全部消失, 原岩的结构构造也被改造, 形成纯净的钠长石岩(见图版 I-1, 图版 I-2, 图版 I-3, 图版 I-4)。

交代成因的钠长石岩, 大多数情况下 $An=0-8$ 与原岩斜长石 ($An=25-55$) 相比, An 分子有明显的降低, 不少情况下, 完全不存在 An 分子。与钠长石化有联系的方柱石化, 也为钠柱石, 很少见到有针柱石, 这不仅表明成矿溶液富含钠 (Na^+), 而且表明其含有 Cl^- 。

2. 碱(钠)交代过程中成矿元素和主要造岩元素的活化转移及其与成矿的关系

气化-热液在与围岩反应或交代蚀变过程中获得成矿物质和使一系列造岩和微量元素发

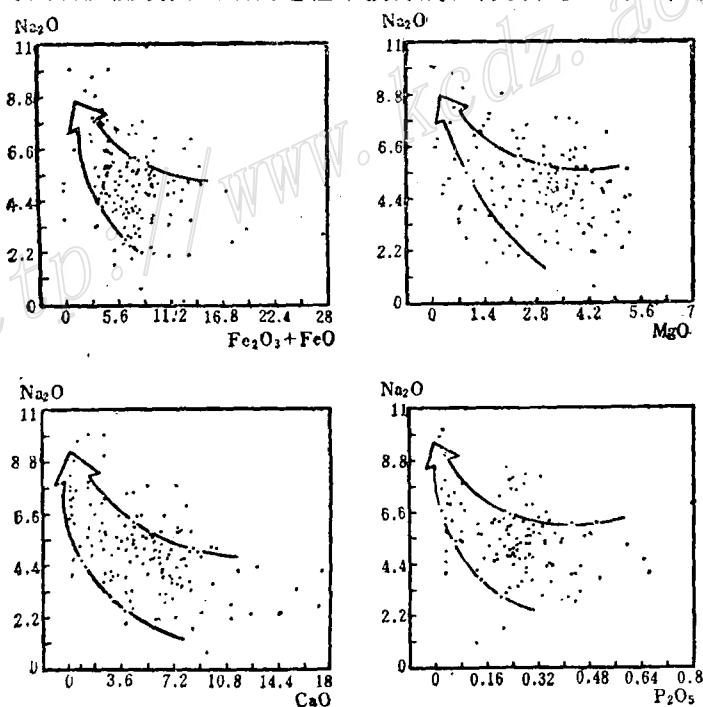


图3 钠交代岩和玢岩中 Na_2O 与 $Fe_2O_3 + FeO$ 、 MgO 、 CaO 、 P_2O_5 的相关图

Fig. 3. Correlation diagram of Na_2O versus $Fe_2O_3 + FeO$, MgO , CaO and P_2O_5 for soda-metamorphic rocks and porphyrite.

生活化转移(水/岩反应),从60年代初已为人们所注意(1979),现在已成为热液成矿的重要课题。

矿体下部碱交代岩石最显著的矿物和化学特征是:暗色矿物几乎全都消失(有时可含少量透辉石)。Na₂O与Fe₂O₃+FeO、MgO、CaO等成矿元素及其它基性组分,不仅在矿体下部浅色蚀变带,而且在深色蚀变带的各种蚀变岩石中都呈明显的负消长关系;P₂O₅也与Na₂O具负消长关系(见图3)。

胡受奚、孙明志等(1972)^①曾计算凹山铁矿下部碱交代岩每立方米能转移出131.7kg氧化铁,吉山铁矿下部钠长岩能转移出128.1kg氧化铁。据宁芜队(1974)计算,梅山—太山的钠长石岩与原岩相比,可带出80.8kg/m³氧化铁。这表明有1km³辉石闪长玢岩变为钠长石岩,则可带出8000万吨至1亿吨以上的氧化铁和大量的MgO、CaO、TiO₂、P₂O₅等,可以满足深色铁、镁、钙交代带和铁矿等的形成。至于形成3亿吨左右的梅山铁矿床,可能和其下部碱交代带更深更广,以及一部分铁可能在岩浆时期被矿化剂带出有关。

钠长石化过程中,稀土元素发生明显的活化转移,钠长石岩的稀土总量比原岩明显降低,LREE/HREE亦有所降低,说明钠长石化过程中轻稀土比重稀土更易淋失(我们将在专门文章中讨论)。

三、矿体产出部位及矿石结构、构造特征

矿体在岩体中的产出部位、各类型矿石的相互关系、矿石的结构和构造等都是确定矿床成因的有力证据。

1. 矿体产出部位

宁芜型铁矿与玢岩在时间和空间上的联系是紧密的。矿床的成因常常决定了矿体在岩体中产出的部位,因而也决定了找矿和勘探的方向。

如果矿床是岩浆成因的,则矿体主要应该分布于岩体的下部和底部(如矾-钛-磁铁矿和铜-镍硫化物矿床)。这是因为从硅酸盐岩浆中分异出来的氧化铁(或硫化铁)岩浆,其比重高出硅酸盐岩浆近一倍,因此,受重力影响,在岩体下部或底部富集形成底部主矿体。众所周知:岩体下部和底部是找寻和勘探岩浆矿床的主要对象,但是,直到现在,不论是梅山铁矿、吉山铁矿、姑山铁矿还是凹山铁矿等都没有在岩体的底板或钠长石岩下找到“底部矿体”;相反,与岩体有关的气化-热液矿床却经常产在岩体的顶部及其附近的接触带中。

2. 富矿体与围岩的关系

矿浆论者认为:富矿体,特别是贯入矿体或是矿浆流与贫矿体及上覆火山岩流之间的界线都是突变的。但是凹山式与陶村式铁矿的过渡关系已为大家公认。梅山富铁矿与贫矿体以及与其上面的安山岩的界线,突变的是少数,过渡的是大多数,如在-80m, -90m, -140m, -200m水平都见浸染状矿石过渡为稠密浸染状,再过渡为块状矿石,过渡带近几十米至百米。斑点状和竹叶状等中等品位矿石过渡为块状富矿石的现象更为常见(图4)。

矿浆流与上覆熔岩流的成层突变接触事实上是不存在的。

^① 胡受奚、孙明志(1972)长江中下游成矿带中接触交代型铁、铜矿床中碱质交代作用及有关火成岩的成矿专属性。宁芜火山岩地区铁矿会议文献(马鞍山会议)

3. 矿石的结构和构造 (表3)

① 不发育典型的海绵陨铁结构, 许多单位对标本和光、薄片的无数次观察, 直到现在还未发现典型的岩浆成因的海绵陨铁结构。由于氧化铁矿浆与硅酸盐岩浆分异的不完全性, 因此, 不论是熔离成因或是残余熔融成因的矿浆经常包含有母岩的造岩矿物, 冷凝后形成常见的海绵陨铁结构。但在宁芜型铁矿中, 磁铁矿呈它形晶交代包裹石榴石、方柱石、钠长石、霓透辉石等现象却是常见的 (图版 I-5, 图版 I-6, 图版 I-7, 图版 I-8)。

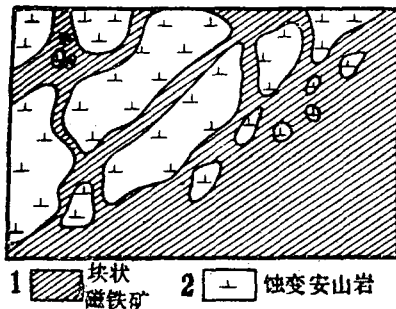


图4 块状矿石与角砾状矿石的关系
(梅山-90m中段0号进路)

Fig. 4. Sketch showing relationship between massive ores and brecciated ore (-90m level of Meishan).

1—Massive magnetite; 2—Altered andesite.

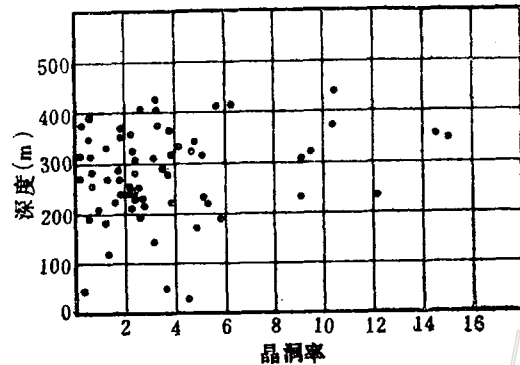


图5 晶洞率与深度关系图

(据65点统计)

Fig. 5. Plot of cavity percentage against the depth.

② “斑状”结构实则是变晶和变斑晶结构

姑山铁矿矿石的斑状等结构, 是矿浆论者最重要的证据之一, 但据顾连兴等^[8]的研究认为, 这种斑晶实是微晶赤铁矿在后期地质过程中形成的变晶、变斑晶及其集合体, 其形成温度低于350℃。

③ 所谓“气孔构造”和“杏仁状”构造实则是“晶洞构造”。大量观察表明, 不论是富铁矿石、贫铁矿石、黄铁矿石, 还是各种交代蚀变岩中都不同程度地发育大小不同(0.1—5cm, 个别达数米)的晶洞构造 (图5)。晶洞中发育石英、碳酸盐以及磁铁矿、磷灰石等矿物颗粒往往变粗, 甚至达0.6—1cm的粗晶, 这与熔岩或矿浆的气孔和杏仁构造迥然不同(图6)。

表3 矿石的结构和构造
Table 3. Textures and structures of ores

矿床成因类型	结 构 及 构 造
梅 山 式	块状、角砾状、斑点状、竹叶状、斑杂状构造, 晶洞构造。似海绵陨铁结构、交代溶蚀结构
泰 山 式	块状、网脉状、浸染状构造。似海绵陨铁结构、交代溶蚀结构
牛首山式	块状、角砾状、粉末状构造
吉 山 式	浸染状、细脉浸染状、角砾状构造
陶 村 式	浸染状、斑杂状、细脉状构造。填隙结构、交代溶蚀结构
凹 山 式	块状、角砾状、网脉状、对称梳状、多层带状、浸染状、斑杂状构造、晶洞构造。它形粒状结构、交代残余结构、填隙结构
凤凰山-白象山式	块状、条带状、浸染状、角砾状构造。自形细粒晶粒结构
姑 山 式	块状、角砾状、网脉状、浸染-网脉浸染状、杏仁状、斑点状-条纹状、骨架状构造。自形、半自形粒状结构, 板状、斑状交织结构、交代残余结构

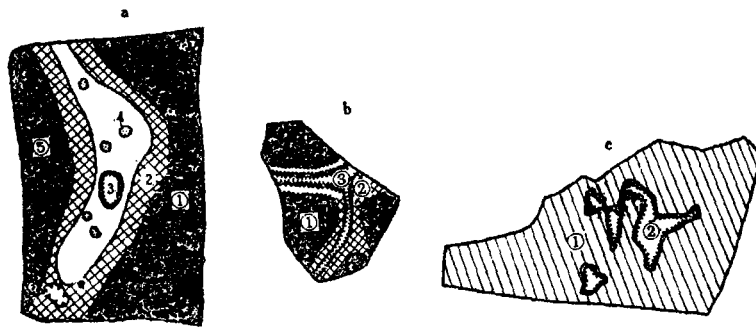


图 6 梅山铁矿磁铁矿、黄铁矿中的晶洞构造

a—致密块状磁铁矿矿石中的晶洞构造(1:3 梅山zk10) (1) 细粒磁铁矿; (2) 中粒磁铁矿; (3) 石英晶簇; (4) 半透明石英; (5) 交代残留的石榴子石; b—磁铁矿矿石中的晶洞构造: (1:1.5 梅山zk3) (1) 第一期磁铁矿; (2) 第二期磁铁矿; (3) 晶洞, 其中有黄铁矿、石英、白云石, 中心为方解石; c—黄铁矿矿石中的晶洞(1:3 梅山-174m中段): (1) 黄铁矿; (2) 晶洞, 其中有方解石充填

Fig. 6. Miarolitic structures in magnetite and pyrite of the Meishan iron deposit.

a—Miarolitic structure in dense-massive magnetite ore; (1) Fine-grained magnetite; (2) Medium-grained magnetite; (3) Quartz druse; (4) Semitransparent quartz; (5) Relict garnets; b—Miarolitic structure in magnetite ore; (1) 1st stage magnetite; (2) 2nd stage magnetite; (3) Miarolitic cavity filled with calcite (at the center), pyrite, quartz and dolomite; c—Miarolitic cavity in pyrite ore; (1) pyrite; (2) Miarolitic cavity filled with calcite.

四、成矿的物理化学条件及矿化剂的来源

1. 温度

钠长石岩形成温度, 据宁芜队 (1976) 用X-衍射法结果计算获得的温度为300—510℃, 其峰值在400—440℃间。

以梅山铁矿为重点, 我们测定了几个矿区的磁铁矿、磷灰石、赤铁矿等几种矿物的爆裂温度, 磷灰石、石英、方解石、石膏等矿物的均一温度, 结果见表4。

综合各矿区的磁铁矿的爆裂测温结果, 发现磁铁矿的最大起爆温度在220—500℃之间变化, 在350℃左右最为集中, 各样品均有较宽的爆裂峰值, 反映磁铁矿形成的温度范围较大。和磁铁矿共生的磷灰石形成温度与磁铁矿相近; 在铁矿石晶洞中产出的石英、方解石、石膏等矿物形成温度较低。

测温结果表明, 这些矿石并不是在高温的岩浆条件下结晶的, 而是在一般的气化-热液矿床成矿的温度条件下形成的。

2. 气/液包裹体成分

分析结果见表5。气相成分以CO、H₂O为主, 大东山的两个样品中, 含CH₄, 说明铁矿是在较还原的条件下形成的。成矿溶液的盐度很高, 镜下发现包裹体中有子晶析出, 液相成分中, 阴、阳离子的浓度都较大, 并且 $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^{+} > K^{+}$, $SO_4^{2-} > F^{-} > HCO_3^{-} > Cl^{-}$,

表4 宁芜地区铁矿床包裹体测温结果表

Table 4. Inclusion thermometric results of iron deposits in Ningwu area

产地	矿 石 类 型	矿物名称	爆 裂 法			均 一 法	
			最大起爆温度(℃)	平均(℃)	测数	均一温度(℃)	测数
梅山	块状矿石	磁铁矿	260—500	356	15		
	竹叶状矿石	磁铁矿	300—400	365	4		
	角砾状矿石	磁铁矿	220—330	294	5		
	斑点状矿石	磁铁矿	300—390	345	2		
	块状矿石中晶洞	石 英				270—344	6
	块状矿石中晶洞	石 膏				185—195	2
	块状矿石中晶洞	方解石				180—258	5
泰山	透辉石-磁铁矿组合	磁铁矿	320	320	1		
	磷灰石脉	磷灰石	380	380	1	354—398	4
吉 山	磁铁矿脉	磁铁矿	350	350	1		
凹山	块状矿石	磁铁矿	410—440	425	2		
	角砾状矿石	磁铁矿	410	410	1		
	磁铁矿-磷灰石-阳起石组合	磁铁矿	250—320	285	2		
	磁铁矿-磷灰石-阳起石组合	磷灰石	330—390	360	3	295—400	8
东山	磁铁矿-磷灰石-阳起石组合	磁铁矿	270—460	365	2		
	块状矿石	磁铁矿	390	390	1		
	磁铁矿-磷灰石-阳起石组合	磷灰石	350	350	1	342—390	3
考山	块状矿石	赤铁矿	350	350	1		
钟山	块状矿石	赤铁矿	140	140	1		
姑山	块状矿石	赤铁矿	340—520	430	2		

SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 的浓度较高,说明成矿溶液中的部分元素可能来自宁芜盆地的基底——三叠系膏盐层。

3. 硫同位素特征

宁芜和庐枞地区玢岩铁矿中黄铁矿的大量硫同位素资料(图7)表明:黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 的变化幅度很大(-28‰ — $+22\text{‰}$),但绝大多数大于 $+5\text{‰}$,其峰值在 $+5\text{‰}$ — $+15\text{‰}$ 。由此可以推论:矿体中的硫十分可能来自中生代火山-沉积盆地的基底——三叠系膏盐层(周冲村组),即由厚大的石膏层(石膏的 $\delta^{34}\text{S}$ 可达 30‰)还原作用形成的硫。最近资料表明,侏罗纪火山-沉积盆地中也有石膏层分布,因此可以认为盆地中的盐水也可能下渗环流参加成矿作用。

4. 三叠系膏盐层是“矿化剂”的主要来源

许多学者研究表明,分布在红海裂谷、洋中脊和优地槽带的巨大块状硫化物矿床以及日本黑矿是下渗环流海水与围岩作用,即水/岩反应过程中形成的^[11,12]。海水中的 Na^+ 、 Cl^- 等离子是重要矿化剂, SO_4^{2-} 是硫的重要来源。早在50年代末,苏联安哥拉-伊利姆地区与暗色岩筒有关的铁矿床,被认为是与其穿过寒武系膏盐层有关。一些学者对外生膏盐沉积与内生成矿作用的关系作了不少有意义的研究^[13,16,17]。我们在1972年探讨宁芜火山-沉积盆地

表 5 包裹体气/液相成分分析结果表

Table 5. Analyses of gas/liquid phases of inclusions

样号	矿物名称	包裹体液相成分（当量/升）							当 量 比					包裹体气相成分（mg/100g）						
		K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺ /Na ⁺	Ca ²⁺ / Na ⁺	Ca ²⁺ / Mg ²⁺	F ⁻ / Cl ⁻	HCO ₃ ⁻ / Cl ⁻	CO	CH ₄	CO ₂	H ₂ O	CO/ CO ₂	H ₂ O/CO ₂
M-257	磁铁矿	0.43	0.98	11.8	8.32	2.43	1.22	1.30	106.32	0.44	11.99	1.42	0.94	1.87	316.43		32.85	64.38	9.63	1.93
M-344	磁铁矿	1.55	0.60	28.2	9.62	8.04	17.16	4.82	28.30	2.58	47	2.93	3.56	1.67	45.06		23.69	106.97	1.90	4.52
M-348	磁铁矿	0.20	0.47	7.46	5.69	0.28	1.44	0.36	21.07	0.43	15.94	1.31	3.99	0.79	12.93		15.40	89.64	0.84	5.82
D-016	磁铁矿	1.28	1.31	8.32	10.79	0.44	2.44	0.48	29.83	0.98	6.36	0.77	5.12	0.92	270.03	12.80	24.09	37.88	11.21	1.57
A-021	磁铁矿	0.20	0.36	2.76	5.79	0.34	1.64	0.04	6.50	0.55	7.59	0.48	74.64	7.64	18.70		8.00	43.14	2.34	5.39
TA-27	磁铁矿	0.33	0.30	15.78	4.25	2.82	2.88	0.04	15.73	1.11	52.63	3.72	65.45	64.18	41.88		9.95	53.04	4.21	5.33
吉-8	磁铁矿	0.97	3.08	34.28	3.74	4.20	1.38	2.29	55.01	0.32	11.14	9.17	0.60	1.83	29.23		11.81	39.15	2.48	3.31
凹-2	磷灰石	0.03	0.49	3.6	0.24	0.80	0.33	0.21	4.13	0.06	7.32	14.75	1.60	3.83	83.17		12.96	160.33	6.42	12.37
凹-11	磷灰石	0.28	0.86	6.38	0.18	0.84	0.39	0.26	9.29	0.33	7.42	36.25	1.53	3.30	48.83		12.33	169.37	3.96	13.74
凹-22	磷灰石	0.15	0.65	6.22	0.16	1.06	0.26	0.28	5.86	0.23	9.60	39.90	0.93	3.79	60.62		9.87	118.79	6.14	12.03
东-18	磷灰石	0.07	0.30	4.52	0.48	0.54	0.26	0.07	6.71	0.23	15.27	9.34	3.56	7.44	344.50	11.84	21.42	240.37	16.08	11.22
TA-14	磷灰石	0.18	0.40	17.51	4.91	1.78	0.72	0.46	45.00	0.44	43.77	3.57	1.56	3.86	76.81		12.75	100.99	6.02	7.92

注: 原始数据由本系赵梅芳、蒋浩深测得, 换算过程中设成矿溶液密度为1g/cm³

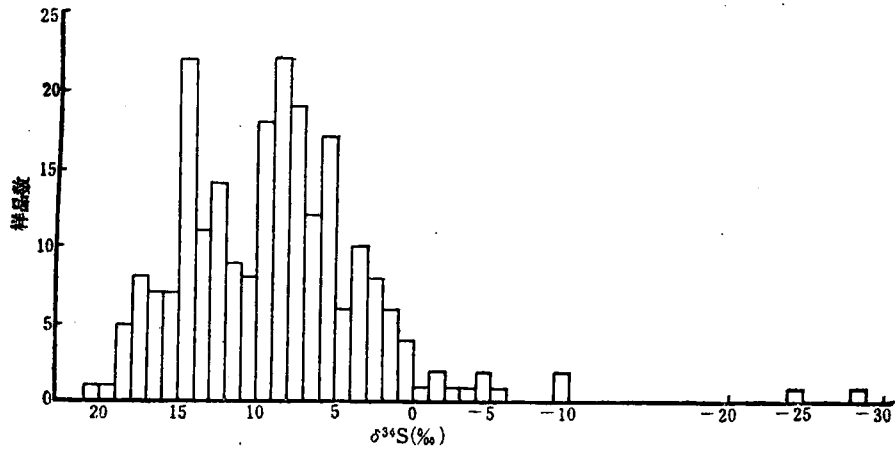


图7 宁芜庐枞地区玢岩铁矿硫同位素组成(黄铁矿)

(据中科院地化所, 1987; 陈毓川等, 1982资料综合)

Fig. 7. Sulfur isotope composition of pyrite from porphyry iron deposits in Ningwu-Luzong area.

中广泛钠化岩石中钠的来源问题, 并认为苏联学者提出膏盐层所起的作用的观点是可取的^[15,17,18]。

1980年, 蔡本俊^[9]研究三叠纪膏盐沉积, 更确切地提出铁矿等与膏盐沉积的成因联系。

事实上, 要解决钠交代的大量钠(几亿吨 Na_2O), 形成方柱石化岩石的钠和氯, 以及形成大量硬石膏化, 明矾石化以及黄铁矿化及铁矿床等的硫, 就必须考虑到三叠纪的膏盐沉积。与成矿有关的玢岩富钠和氯的特征, 以及这类矿床主要发育在具有三叠系(嘉陵江组或周冲村组 T_2^2)膏盐层的继承性盆地中, 决不是偶然的。

从南京附近周冲村石膏矿的水化学资料(见表6)表明, 膏盐沉积可以提供大量 Na^+ 、 Cl^- 、

表6 周冲村石膏矿单孔抽水试验水质分析统计表

Table 6. Analyses of water from single hole pumpage at the Zhoucun gypsum deposit

孔号	阳离子 (mg/l)					阴离子 (mg/l)						
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Fe^{2+}	Na^+	K^+	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	NO_3^-	F^-	CO_2	pH
WK11	78.2	22.5	0.04	23.9	1.3	23.1		366.1			13.2	7.4
WK12	150.7	41.2		22.0	1.1	18.1	225.3	402.7		0.08	6.6	7.5
WK13	93.8	28.2		21.3	0.7	32.6	3.8	405.2		0.14	7.4	7.4
WK14	516.3	63.7	0.52	57.6	4.9	12.4	1328.1	288.0		1.52	4.4	7.7
WK17	179.4	41.3	0.64	16.9	0.9	14.9	302.6	396.0		0.16	17.6	7.5
WK18	115.6	21.9	0.48	29.6	1.6	39.4	56.7	378.32	28.8		8.8	7.7
WK21	88.2	15.1		30.4	2.4	54.6	23.1	306.32	2.0	0.28	3.5	7.8
WK24	30.1	11.3	0.28	165.1		18.4	68.7	446.1		0.8		8.4
WK31	200.4	41.3		2.4	0.2	16.7	393.8	312.4		0.26	12.3	7.5
WK32	144.3	20.7		9.6	0.7	11.3	170.0	346.6		0.08	4.4	7.4
WK53	92.0	21.8		29.6	1.2	87.9		339.9	1.0		8.4	7.3
主观孔	125.3	45.4	0.08	27.8	1.1	35.5	147.9	425.3			12.8	7.5
漳桥井	130.3	21.9	0.02	13.4	0.2	16.0	132.6	341.7	0.04	0.22	5.7	7.3

(据周冲村石膏矿)

SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 等有关的矿化剂。

大量实验资料^{〔14,16,10〕}表明,含有 NaCl 、 CO (H_2 、 CO_2 、 HCO_3^- 的平衡产物)等的溶液在与围岩作用过程中会发生铁等元素的强烈活化转移、钠长石化、酸-碱分离,造成蚀变分带。这些都可合理地解决宁芜型各式铁矿床的各种特征。

上述各种资料表明,交代蚀变成矿模式能更完整地反映客观事实、成矿过程和机制。在许多情况下,在研究地壳中内生成矿作用中一些关键问题,如成矿溶液、矿化剂和成矿物质的来源,需要与外生沉积物、海水、雨水或埋藏水等联系起来,及与在水/岩反应过程中的各种变化联系起来。

参 考 文 献

- 〔1〕 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2期
- 〔2〕 胡受奚、周顺之 1982 碱交代成矿模式及其成矿机制的理论基础 地质与勘探 第2期
- 〔3〕 胡受奚、周顺之、刘孝善、陈泽铭 1983 矿床学(上册) 地质出版社
- 〔4〕 胡受奚 1980 交代蚀变岩岩相学 地质出版社
- 〔5〕 宁芜研究项目编写小组 1978 宁芜玢岩铁矿 地质出版社
- 〔6〕 李秉伦、谢奕汉 1984 宁芜地区宁芜型铁矿的成因、分类和成矿模式 中国科学 第1期
- 〔7〕 吴利仁等 1984 华东及邻区中、新生代火山岩 科学出版社
- 〔8〕 顾连兴、阮惠础 1988 论安徽省姑山铁矿的成矿特征 矿床地质 第2期
- 〔9〕 蔡本俊 1980 长江中下游三叠系蒸发岩特点及其对形成盐、铁、铜矿床的意义 矿物岩石学报 第1期
- 〔10〕 李九玲等 1979 闪长玢岩钠长石化的实验研究 地质学报 第53卷 第1期
- 〔11〕 Bischoff J. L., 1969, Red sea geothermal brine deposits; their mineralogy, chemistry and genesis. In: Hot brines and Recent Heavy Metal Deposits in the Red Sea, pp.369—395.
- 〔12〕 Bonatti, E., 1975, Metallogenesis at oceanic spreading centres, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, Vol. 3.
- 〔13〕 Davidson C. F., 1966, Some genetic relationships between ore deposits and evaporites. «Trans. Inst. Mining and Metallurgy», Vol. 75.
- 〔14〕 Eyré W. S., Price N. J., and Thompson A. B., 1978, Fluids in the Earth's crust. Amsterdam, Elsevier.
- 〔15〕 Ангара-Илимские железорудные месторождения М. Геохиздат.
- 〔16〕 Овчинников А. М. 1964 Мобилизация и перенос вещества при эндогенном рудообразовании. в кн. проблемы генезиса руд М. 19—35.
- 〔17〕 Павлов Д. И. 1975 Экзогенные хлоридные воды и эндогенные рудообразование М. Недра
- 〔18〕 Попов В. В. 1980 Геологические условия экзогенно-гидрогермального рудообразования М. Недра.

A DISCUSSION ON GENESIS AND METALLOGENIC MODEL OF NINGWU-TYPE IRON DEPOSITS

Lu Bing and Hu Shouxi

(Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu)

Lin Yushi and Ye Shuiguan

(Jiangsu Geological Exploration Corporation for Nonferrous Metals, Nanjing, Jiangsu)

Abstract

The Ningwu-type iron deposits, which are well-known to Chinese geologists, can be divided into some distinctive subtypes, such as 1) Aoshan subtype (actinolite-apatite-magnetite assemblage); 2) Taocun subtype (disseminated actinolite-apatite-magnetite); 3) Meishan subtype (scapolite-garnet-diopside-magnetite); 4) Jishan subtype (disseminated scapolite-albite-epidote-magnetite); and 5) Fenghuanshan subtype (lithostratigraphically-controlled carbonate-magnetite-hematite). Being genetically related to Mesozoic gabbro-diorite and diorite porphyrites and having many similarities to porphyry-type deposits, these deposits are generally called porphyrite iron deposits.

Although these deposits have been intensively investigated and explored for many years, their geneses have long been controversial as to whether they are of magmatic or pneumato-hydrothermal origin.

Based on detailed field and laboratory investigation, this paper discusses the sources of ore-forming elements and extractors such as H_2O , Na^+ , Cl , CO and SO_4^{2-} , the reactions between rocks and ore-forming fluids, factors for their mobilization and concentration. The authors lay emphasis on the metallogenic model related to metasomatic alteration.

Every investigator has admitted the fact that there are ubiquitous and intense hydrothermal alterations and regular zonation in all of the Ningwu-type iron deposits. The vertical zonation of alteration can be seen within a distance of some hundred to a thousand meters. Three main stages (from early to late) and zones (from bottom to top) have been recognized, which include 1) soda metasomatism forming albitized zone; 2) ironmagnesium-calcium metasomatism forming iron bodies and mela-altered zone; 3) acid or hydrogen metasomatism forming leuco-altered zone including silicified, alunitized and argillic zones.

(下转接48页 to be continued on p.48)

Different types of tin deposits occur in regular association. The primary tin ore deposits show regular "storeyed" three-dimensional mineralization association. The general tendency is like this: from the granite body outwards, there appear cassiterite-feldspar association → cassiterite-quartz association → cassiterite sulfide association, typical metallogenic elements of Sn-W-Be-Mo-Nb-Ta-TR → Sn-W-Cu-In-Sn-Pb-Zn-As-Cd, and pneumato-hypothermal → hypothermal-mesothermal → mesothermal-epithermal ore deposits. The difference in metallogenic-geological environment (rock-forming and ore-forming effects of granite, host rocks and ore-hosting structural system) has led to the formation of different associations.

× × × × × × × × × × × × × ×

(上接第25页 continued from p. 25)

The Triassic evaporites in the basement of the Ningwu volcano-sedimentary faulted basin are of great importance to the formation of the Ningwu type iron deposits. These evaporites are thought to have provided mineralizers or extractors for the convective hydrothermal fluids centered on a porphyrite intrusive, giving rise to hot and highly saline brines or ore-forming fluids. These fluids would react upon the rocks (porphyrite and its country rocks), resulting in albitization which was essential to iron mineralization.

<http://www.kdzz.com/>

图版说明

图版 I

1. 糖粒状钠长石 (1) 交代斜长石斑晶 (2) 凹山 $\times 37.5$ 正交偏光 正文17页
2. 钠长石 (1) 和绢云母 (2) 交代斜长石斑晶并形成净边 吉山 $\times 9.375$ 正交偏光 正文17页
3. 闪长玢岩钠化形成的钠长石岩 凹山 $\times 37.5$ 正交偏光 正文17页
4. 第 I 阶段钠长石 (1) 集合体被第 II 阶段钠长石 (2) 交代和穿插 吉山 $\times 9.375$ 正交偏光 正文17页
5. 磁铁矿 (1) 交代钠长石 (2) 吉山 $\times 9.375$ 正交偏光 正文19页
6. 磁铁矿 (1) 交代包裹方柱石 (2) 梅山 $\times 37.5$ 单偏光 正文19 页
7. 磁铁矿 (1) 交代石榴子石 (2) 梅山 $\times 9.375$ 单偏光 正文19页
8. 磁铁矿 (1) 交代包裹透辉石 (2) 梅山 $\times 37.5$ 单偏光 正文19 页

图版 II

1. 菱镁矿化白云石侵蚀结构; 菱镁矿 (黑, 成分均匀) 沿白云石 (灰, 成分不均) 晶隙或裂隙交代。邻接交代晶体的白云石出现灰白色晕, 其铁含量较高。白色小点为石英。背散射电子图象 $15\text{kV } 2.5 \times 10^{-9} \text{A}$ 白标 $= 100\mu\text{m}$, 样品号 Q12 正文78页
2. 菱镁矿矿石交代残余结构: 粗粒菱镁矿 (Mag) 中有中粒菱镁矿 (mag) 的小“岛屿”状残余 (灰色小点或残块), 消光方向未变。中、粗粒菱镁矿间局部见缝合线结构。白云石 (Dol) 具残缺双晶 $\times 22$ 正交偏光 正文78页
3. 菱镁矿矿石: 波状消光, 绢云母 (Ser) 仅残留于叶片状细粒菱镁矿中。中粒菱镁矿 (mag) 中有细粒者的“岛屿”状残余 $\times 22$ 正交偏光 正文78页
4. 细粒菱镁矿含蚀变白云岩交代残留体 (白色区), 菱镁矿 (淡灰和暗) 成斑杂状示成分轻度不均, 淡灰者含 FeCO_3 较高。石英在菱镁矿中成白色小点, 为硅质交代残余。背散射电子图象 (工作参数同图版 II-1) 样品号 Y4 正文78页
5. 一个粗晶菱镁矿: 矿物具生长韵律, 韵律的 FeCO_3 含量差 1—2%。生长过程中因应力作用局部韵律或成叠状。黑色斑点为赤铁矿。背散射电子图象 (工作参数同图版 II-1) 样品号 Q10 正文79页
6. 中粒菱镁矿: 具生长韵律, 但部分韵律受溶蚀而残缺不全, 韵律 FeCO_3 含量差约 1.4—1.8%。黑色斑点: 放电者为褐铁矿, 不放电者为赤铁矿。背散射电子图象 (工作参数同图版 II-1) 样品号 Y7 正文79页

图版 III

1. 棋盘格子状钠长石 $\times 48$ 正交偏光 正文65页
2. 细小颗粒状钠长石 $\times 48$ 正交偏光 正文65页
3. 白云石角砾 外圈铀矿化 (白色), 原大 正文71页
4. 细网脉状沥青铀矿与角砾外圈的铀矿化 (白色) 原大 正文71页
5. 纹层状白云岩 见黄铁矿斜穿细纹层, 黑色不规则颗粒为黄铁矿 $\times 120$ 正交偏光 正文72页
6. 含铀方解石脉边 (中部灰色) 的咸化水白云石亮边 (白色) $\times 60$ 单偏光 正文74页
7. 咸化水白云石 (白色) 交代充填方解石脉 (中部灰色) 后之残留结构 $\times 60$ 单偏光 正文74页
8. 钛铁矿沿解理裂隙交代金红石 $\times 15.6$ 单偏光 Ru—金 红石; Il—钛 铁矿 (黑色); Ga—石 榴子石; Om—绿辉石 正文89页

图版 I

