

长江中下游中三迭统层控铁矿床

的碳酸盐化蚀变和铁的活化转移机制

南京大学地质系 阮惠础 顾连兴

长江中下游中三迭统层控铁矿床,是指定位于中三迭统周冲村组及其之上黄马青组下部层位中的似层状铁矿床。多年来,此类铁矿床被众多学者视为典型的气化—热液接触交代型矿床。近几年来,在徐克勤、胡受奚教授指导下,经笔者研究的结果表明,它们乃是中三迭世富铁层经后期热液改造叠加的产物,并将其归属为层状—层控型铁矿床之列。

关于此类铁矿床层状—层控的特性,笔者已有拙作予以论证^[1],本文不再赘言。在此仅探讨在本类铁矿热液叠加过程中所伴随的碳酸盐化蚀变的特征和铁的活化转移机制。笔者得出的初步结论是:在本类铁矿体上下盘岩石中,碳酸盐化是一种普遍发育的、较钠长石化更为近矿的围岩蚀变;钠长石化与铁的萃取有关,多阶段发育的碳酸盐化则与铁的沉淀有关;铁的羧基络合物可能是热液作用过程中铁的一种重要的迁移形式。

本类铁矿床碳酸盐化蚀变的基本事实

本类铁矿床,如宁芜其林山、凤凰山、白象山铁矿等(受黄马青组一段控生)和大冶铁山、安庆月山铁矿(受周冲村组控生),均产于相应地层与闪长岩类侵入体的外接触带地层一侧。与地层产状基本吻合的似层状矿体的上下盘,由于热液叠加,普遍发育有以下的蚀变分带:新鲜闪长岩→钠长石化闪长岩→碳酸盐化闪长岩→含碳酸盐的铁矿石(深色蚀变带)→碳酸盐化砂页岩。在非超覆接触情况下,地层和闪长岩中发育的碳酸盐化蚀变带分别位于主矿体的上下盘,故分别称为上碳酸盐化带和下碳酸盐化带。鉴于上碳酸盐化带主要受裂隙控制,碳酸盐矿物分布不均匀,在薄片中含量缺乏代表性,为此目估含量统计仅限于下碳酸盐化带。

宁芜其林山铁矿区(图1、2)的鉴定表明,

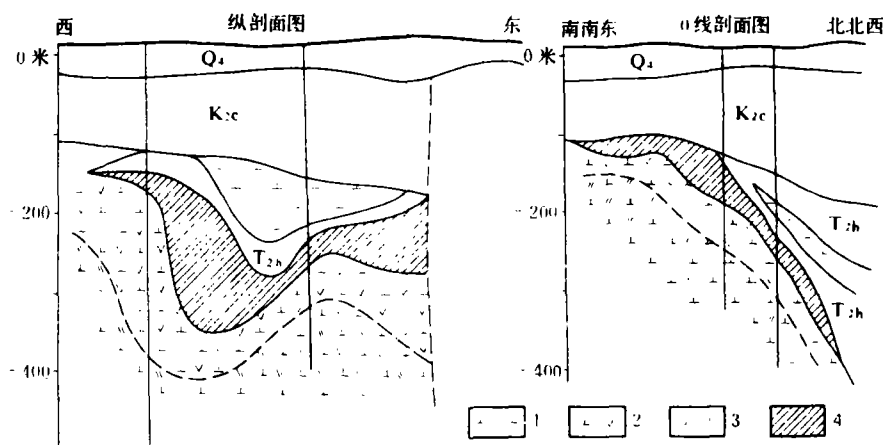


图1 宁芜其林山铁矿区东庄矿段地质剖面图

Q₄—第四系; K_{2c}—赤山组; T_{2h}—黄马青组;

1—辉石闪长岩; 2—碳酸盐化辉石闪长岩; 3—钠长石化辉石闪长岩; 4—铁矿体

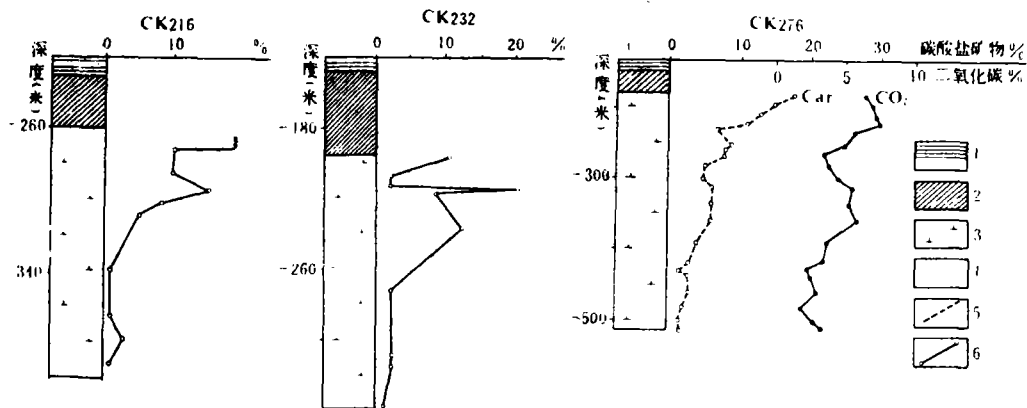


图2 宁芜其林山铁矿区东庄矿段辉石闪长岩碳酸盐矿物和CO₂含量钻孔柱状图

1—砂页岩；2—铁矿体；3—辉石闪长岩；4—碳酸盐矿物含量原始值曲线；
5—碳酸盐矿物含量三点滑动平均值曲线；6—CO₂含量三点滑动平均值曲线

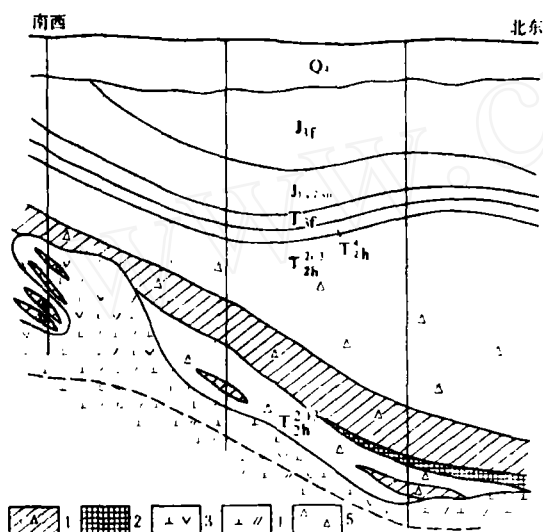


图3 宁芜姑山铁矿区青河一带剖面示意图

Q₄—第四系；J₁L—龙王山组；J₁x—象山群；
T₁f—范家塘组；T₁h—黄马青组四段；T₂h—黄马青组
二至三段；1—角砾状矿石；2—块状矿石；3—碳酸盐化
辉石闪长岩；4—钠长石化辉石闪长岩；5—角砾岩

蚀变闪长岩中碳酸盐矿物的含量，自远矿至近矿逐渐增加，与岩石自下而上的褪色增强相吻合。按碳酸盐矿物含量大于5%作为碳酸盐化蚀变带的划分界限（下同），该铁矿体的下碳酸盐化蚀变带的厚度一般为50~80米。从图2可见，CK276孔目估碳酸盐量曲线和CO₂含量分析曲线显示的变化趋势，基本上是一致的。

宁芜姑山铁矿区也显示了相同的趋势（图3、4）。

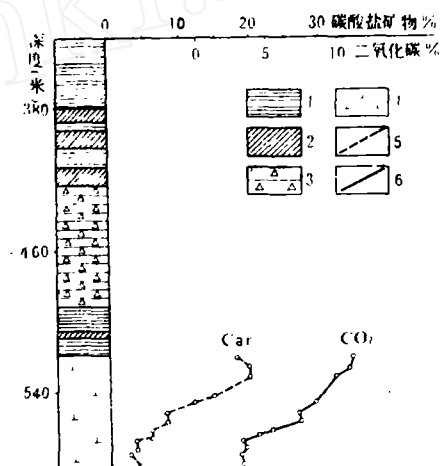


图4 宁芜姑山铁矿区CK1058孔辉石闪长岩中碳酸盐矿物和CO₂含量变化曲线柱状图

1—砂页岩；2—角砾状矿石；3—铁角砾岩；4—辉石闪长岩；5—碳酸盐矿物含量曲线；6—CO₂含量曲线

宁芜白象山矿区的研究给笔者以较大的启示，该矿区下碳酸盐化发育的强度和厚度，恰恰与热液叠加改造作用形成的铁矿体的厚度呈正相关：在同一剖面中，CK1孔和CK11孔的下碳酸盐蚀变带厚达200米以上，直至终孔仍有较强的碳酸盐化（图5、6）上述两钻孔部位显示强烈热液叠加特点的铁矿体厚度均甚大；而CK134孔中仅见有0.8米的层纹状矿石，热液叠加作用微弱，若仍以5%含量为界，铁矿体下仅能勉强划分出一个碳酸盐化蚀变带。

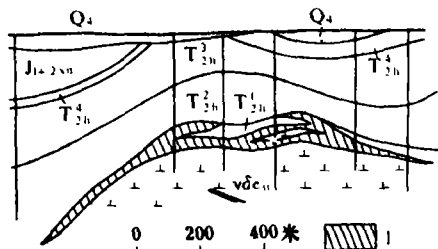


图5 白象山铁矿区第九勘探剖面示意图

Q₄—第四系: J_{1+2xn}—象山群: T_{2h}¹—黄马青组
一至四段: vδc₁₁—碳酸盐辉石闪长岩: 1—铁矿体

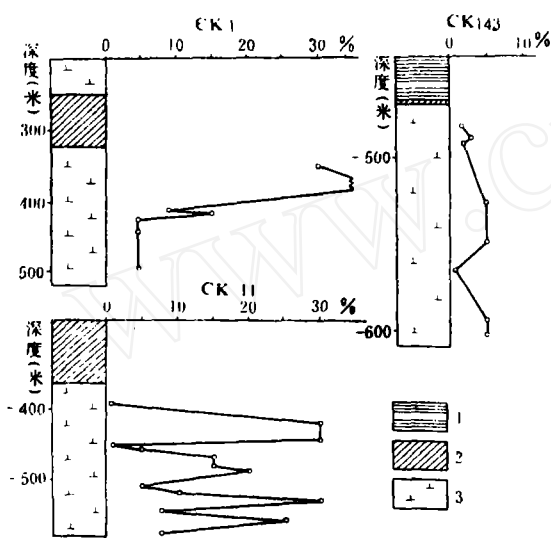


图6 白象山铁矿区辉石闪长岩
碳酸盐矿物含量变化钻孔柱状图

1—砂页岩; 2—铁矿体; 3—蚀变辉石闪长岩

安庆月山铁铜矿区的闪长岩体内, 各蚀变带具有良好的分带性: 正常闪长岩→弱钠长石化黑云母化钾长石化闪长岩→透辉石化闪长岩→碳酸盐化钠长石化闪长岩→硅化碳酸盐化绢云母化闪长岩→铜铁矿体→角岩。笔者系统观察了由叶瑛等采集的CK024孔岩芯薄片后发现, 该矿区闪长岩体上部, 除发育轻度钠长石化外, 既无碳酸盐化, 又未见矿化; 而向下至220米以下近矿闪长岩中, 出现了强烈的碳酸盐化, 局部地段, 碳酸盐矿物的含量可达80%以上。同一岩体近地表部分

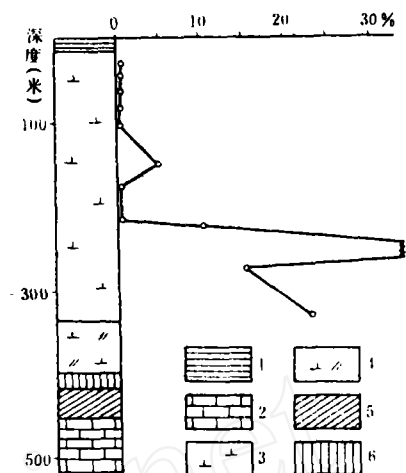


图7 安庆月山铜铁矿区CK024孔闪长岩
中碳酸盐矿物含量变化曲线柱状图

1—砂页岩; 2—大理岩; 3—闪长岩; 4—透辉石化
闪长岩; 5—铁矿体; 6—含铜铁夕卡岩

朱庄辉石闪长岩岩石化学成分 表1

氧化物	含量, %	氧化物	含量, %
SiO ₂	52.26	CaO	10.87
TiO ₂	0.83	Na ₂ O	5.10
Al ₂ O ₃	15.98	K ₂ O	0.48
Fe ₂ O ₃	1.90	P ₂ O ₅	0.17
FeO	3.20	H ₂ O	1.66
MnO	0.082	其他	2.27
MgO	5.04	总量	99.66

据金素琴, 1979。

碳酸盐化罕见, 而向下随深度有所加强的现象, 是难以用地下水淋积的成因观点来解释碳酸盐化现象的。

此外, 笔者在大冶铁山铁门坎矿段和江宁凤凰山铁矿区闪长岩体中都划分出一个下碳酸盐化带。

为便于对比, 笔者对南京紫金山东麓朱庄地区辉石闪长岩体的碳酸盐化蚀变程度进行了研究。从表1可知, 该岩体的岩石化学特征十分相似于宁芜地区其他许多成矿的同类岩体, 也属中偏基性、高碱富钠闪长岩类, 尽管该岩体与碳酸

* 叶瑛等 (1980), 安徽省安庆铜 (铁) 矿床地质特征及其成因探讨。

盐层直接接触,但迄今未见矿化。原因为,其一该处中三迭统原先就缺乏富铁沉积;其二缺乏强烈的热液叠加蚀变。据笔者对该岩体CK6孔的系统鉴定,发现该辉石闪长岩均呈深灰色,暗色矿物轮廓清楚,与上述各成矿的同类岩体近矿部分因碳酸盐化形成的灰白色成鲜明对照。该岩体碳酸盐矿物含量均在1%以下(图8),CO₂含量在2.20%以下(图9,据金素琴资料)。

综上所述便可知:本类型铁矿床中,碳酸盐化蚀变带与后期热液叠加作用形成的铁矿体密切伴生,相依相存。此外,在矿化闪长岩体中,碳酸盐化蚀变带的范围多半小于钠长石化带,并较后者更接近热液叠加铁矿体,故可作为更临近矿体的一种找矿标志。(但在这里必须强调指出,本文所指的碳酸盐化带是避开碳酸盐脉,岩石中碳酸盐矿物含量大于5%和全岩CO₂含量大于5%的某一连续蚀变范围,决非是个别薄片或样品的含量。)

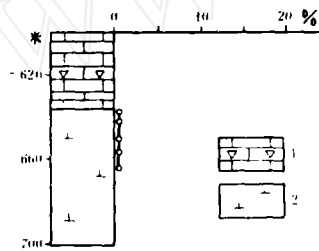


图8 朱庄CK6孔辉石闪长岩碳酸盐矿物含量曲线柱状图

1—白云质灰岩夹石膏; 2—辉石闪长岩

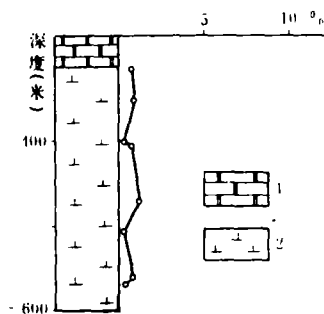


图9 朱庄CK1孔辉石闪长岩CO₂含量曲线柱状图

1—白云质灰岩; 2—辉石闪长岩

碳酸盐化带的岩石学和地球化学特征

笔者在前人研究的基础上^[2],对宁芜其林山东庄矿段的碳酸盐化蚀变带,进行了岩石学和岩石化学特征的研究。

1. 东庄矿段各蚀变带的岩石学特征

其林山铁矿东庄矿段的热液叠加蚀变分带,可作为本类型铁矿床同类蚀变的代表。该矿段具有以下各蚀变带,并分别描述其特征:

(1) 新鲜辉石闪长岩带 该带仅见于岩体深部,灰至深灰色,全晶细粒不等粒至似斑状结构。主要矿物为斜长石($An = 44 \sim 56$,占68~80%),单斜辉石(8~10%)、钾长石(5~8%)和石英(2~4%),时有角闪石和黑云母;副矿物有磷灰石、磁铁矿和榍石。矿物基本新鲜,无钠长石化,碳酸盐化罕见。

(2) 钠长石化辉石闪长岩带 与上述带呈渐变。为灰至浅灰色,原生矿物普遍被钠长石交代($An = 5 \sim 25$,严格应属钠—更长石),大多干涉色明亮,不具双晶的钠长石既可嵌布于先成矿物粒状单体之中,也可构成各种规则或不规则的交代图案。某些地段强烈蚀变构成交代成因的钠长岩。对此,胡受实教授等已有详细论述^[3]。

此蚀变带中可见微弱的碳酸盐化,其含量一般均不超过5%。碳酸盐矿物主要呈浸染状、云雾状交代辉石、斜长石等,或充填其间。脉状碳酸盐少见。碳酸盐矿物粒度微细,晶形差,镜下突起和糙面不显著,干涉色低,属贫铁种族。

(3) 下碳酸盐化带 此带闪长岩中碳酸盐矿物含量均大于5%,岩石强烈褪色,松软易碎。常见有沿裂隙充填的碳酸盐—磁铁矿脉充填,其宽度和密度自下而上逐渐递增,并过渡为网脉—角砾状矿化。王守仁在该矿区蚀变岩体中划分出紧靠主矿体的角砾状矿化带和稍远发育的网脉状矿化带,均位于强烈碳酸盐化带之内。

此外,本蚀变带尚有以下特征:

①本蚀变带是在钠长石化背景上叠加碳酸盐化的产物,故在本带可见到钠化带的岩石学特点,唯因遭碳酸盐化的强烈叠加而变得模糊;

②碳酸盐化所涉及的矿物更广泛,交代亦更

为彻底。除原岩中造岩矿物遭强烈交代外,早期蚀变的金云母、透辉石等蚀变矿物也遭受明显的交代;

③碳酸盐化常与钾长石化、硅化、高岭土化蚀变相伴生;

④碳酸盐矿物除呈弥散的粒间渗透交代外,也呈裂隙充填方式沉淀,按成分可分为:碳酸盐—磁铁矿脉、纯碳酸盐脉和(或)碳酸盐石英脉,后者石英常占据脉的中心。

(4)含碳酸盐的铁矿石 在该矿区主要为假象赤铁矿—碳酸盐。此类矿石占其林山矿石总量的75%(据李忠豪)。笔者鉴定过的东庄矿段三个钻孔的36块矿石切片中,有32块均发现有5~30%的碳酸盐矿物。

(5)砂页岩中的上碳酸盐化带 东庄矿段主矿体上部的黄马青组紫红色砂页岩均明显褪色、角岩化和破碎。碳酸盐—假象赤铁矿胶结或交代破碎的砂页岩,构成大量角砾状矿石或矿化角砾岩。弱破碎的砂页岩中过渡为碳酸盐脉,脉中除碳酸盐外,尚有磁铁矿、磷灰石、金云母和石英等。由于白垩纪古侵蚀作用,矿区本带厚度已难以确定。在姑山矿区CK1061孔,本蚀变带厚度可达100米以上。

2. 碳酸盐蚀变作用的多阶段性

以往,人们习惯地将碳酸盐化视为成矿后期热液或热水作用的产物,忽视了它们的成矿意义。笔者研究后发现,其林山铁矿区的碳酸盐矿物至少有成矿前、成矿期和成矿后期三个不同蚀变阶段的产物。

成矿前的碳酸盐矿物常呈浸染状、云雾状分布,与裂隙构造的关系不密切,反映了高温气液所具有的强力的粒间渗透性;成矿前形成的碳酸盐与钠化形成的钠长石具有以下两种关系:一是具有良好短柱状晶形的钠长石交代碳酸盐,使后者呈港湾状、不规则状或树枝状的交代残余结构,有时可见到碳酸盐被钠长石分割成若干个光性连续的孤岛(照片1),可见此种碳酸盐形成应早于钠长石;二是碳酸盐和钠长石一起构成细脉或不规则团块,交代辉石闪长岩。这些碳酸盐和钠长石可视为同阶段的产物(照片2)。值得提出的是,

笔者在同一矿区还发现了纯碳酸盐细脉明显被磁铁矿—碳酸盐细脉所切割的现象(照片3)。鉴于此种磁铁矿的钒、钛含量相似于主矿体的假象赤铁矿(表2),故可视为同一矿化期的产物,所以被它们切割的纯碳酸盐脉,应是早于主矿化期的产物。

至于成矿期碳酸盐化作用的存在更毋庸置疑,大量含碳酸盐的矿石及矿脉附近的碳酸盐化强度的增大便是佐证。

成矿期后的碳酸盐化主要和矿体上盘围岩中石英、绿泥石、粘土矿物等构成的浅色蚀变作用相伴生,前人已有详细论述。

当然,应当客观地指出,现时在上、下碳酸盐化带中保留下来的碳酸盐矿物,多半为成矿期



照片1 碳酸盐(Car)被钠长石(Ab)
交代成光性连续的孤岛
宁芜其林山,正交偏光×26

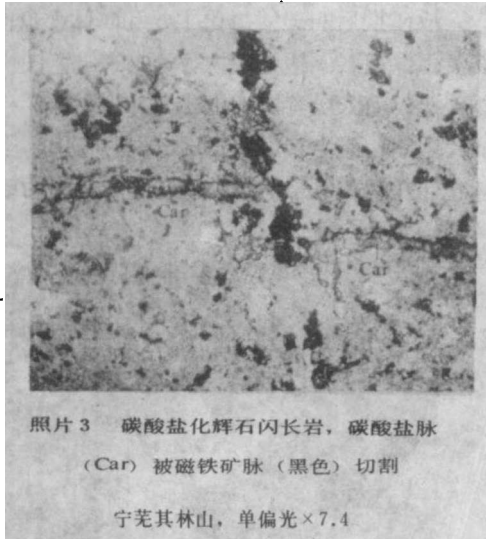


照片2 碳酸盐(Car)与钠长石(Ab)
呈脉状交代辉石闪长岩
宁芜其林山,正交偏光×15

其林山铁矿区含铁矿物钒钛含量光谱定量分析数据 (%)

表 2

标本号	矿物	地质产状	V ₂ O ₅	TiO ₂	平	均
					V ₂ O ₅	TiO ₂
KL218-3	假象赤铁矿	胶结砂页岩角砾的假象赤铁矿	0.45	1.00	0.56	0.92
KL218-2	" "	块状假象赤铁矿	0.71	0.67		
KL218-17	" "	" "	0.52	1.10		
KL276-18	磁铁矿	碳酸盐—磁铁矿脉	0.59	1.10	0.62	1.2
KL276-19	" "	" "	0.64	1.20		



其林山铁矿区碳酸盐化与其他蚀变的关系 表 3

蚀变矿物	生成阶段		
	成矿前	成矿期	成矿后
碳酸盐	—	—	—
钠长石	—	—	—
透辉石	—	—	—
金云母	—	—	—
钾长石	—	—	—
磁铁矿	—	—	—
假象磁铁矿	—	—	—
黄铁矿	—	—	—
石英	—	—	—
绿泥石	—	—	—
粘土矿物	—	—	—

和成矿后的产物; 成矿前的碳酸盐保留相对较少, 但经过详细工作也是不难发现的。

根据其林山矿区的研究, 碳酸盐化与其他蚀变的关系, 归纳制作表 3。从此表中可见, 成矿前期碳酸盐化主要与钠长石化相伴生, 稍后与金云母、透辉石化相重叠; 成矿期的碳酸盐化除了与金云母、透辉石化共存外, 主要与钾长石化、铁矿化伴生; 换言之, 在钠化带的上部, 深色蚀变带及矿体本身, 都存在有热液叠加作用形成的碳酸盐化, 而其主要作用则发生在主成矿阶段。

3 蚀变带的岩石化学和成矿溶液的演化

其林山矿区不同蚀变类型辉石闪长岩的岩石化学分析结果, 经巴尔特法计算列于表 4。从中可以得知, 辉石闪长岩经钠化作用过程, 进入固化岩体中主要是 Na^+ 、 SiO_4^{4-} 和 CO_3^{2-} 。 Na^+ 是极强的碱金属离子, 后两者均为弱酸根, 故产生钠化的溶液应是被强碱基和弱酸根所饱和的溶液。按水解原理此时溶液应呈碱性反应, 这与李九

玲等碱性条件利于钠化的实验结论相吻合。但是, 随着钠交代的发生, Na^+ 不断消耗, Ca 、 Mg 、 Fe 的不断增多, 加之酸碱分离 (胡受奚等, 1982), 溶液的 pH 值必然不断下降; 待溶液中 Ca 、 Mg 、 Fe 逐渐增富到某一程度时, 便开始深色蚀变和铁质沉淀, 而此时的碳酸盐化也表现为最强, 结果进一步导致溶液 pH 值的下降。为此, 从钠长石化到铁的沉淀, 活化转移热液演化的总趋势应该是碱度不断降低, 酸度不断增高。

其林山等矿区矿物包裹体成分测定结果表明 (表 5), 无论岩体造岩矿物或矿石矿物中, 含有相当数量的 CO 、 H_2 、 CH_4 、 N_2 等还原性气体, 表明成矿过程应是一个富含 CO 的还原环境。

铁的活化转移机制探讨

关于铁的活化转移形式, 前人已提出过多种假设, 如 FeCl_3 、 FeCl_2 、 Na_2FeCl_4 、 Na_2FeF_4 等, 一般认为简单氯化物或氯基络合物是最可能的形式。近年来, 国外虽有人提出铁以碳基络合

其林山铁矿区不同蚀变类型辉石闪长岩单位晶胞中离子数及蚀变过程中增减关系表 表 4

阳离子	新鲜辉石闪长岩 (I) I*	钠长石化辉石闪长岩 (7) II	碳酸盐化辉石闪长岩 (7) III	差 数	
				II - I	III - II
Si	141	176	120	+ 35	- 56
Ti	6	5	3	- 1	- 2
Al	178	175	163	- 3	- 12
Fe ³⁺	23	21	20	+ 1	- 4
Fe ²⁺	41	11	9	- 30	2
Mn	1	1	1	0	0
Mg	58	39	19	- 19	20
Ca	71	61	95	- 10	+ 34
Na	53	72	54	+ 19	- 18
K	17	18	22	+ 1	+ 4
P	3	2	1	- 1	- 1
C	7	21	73	+ 14	+ 52
OH	118	130	177	+ 18	+ 41

* 据林师整未发表的资料

长江中下游不同铁矿区全岩或矿石矿物中包裹体的还原性气体含量 表 5

矿 区	岩石、矿石类型	样品名称	样品数	还原性气体含量 (微升 克)			
				CH ₄	CO	N ₂	H ₂
其林山	辉石闪长岩	全 岩	24	110	110	170	99
"	块状假象赤铁矿	假象赤铁矿	2	32	57	42	
"	脉状磁铁矿	磁 铁 矿	2	30	22	36	16
姑 山	块状假象赤铁矿	假象赤铁矿	4	60	63	120	48
"	脉状假象赤铁矿	"	1	33	24	34	18
"	菊花状赤铁矿	"	1	26	32	37	
白象山	脉状磁铁矿	磁 铁 矿	2	35	65	36	
龙 山	" "	"	1	26	40	54	
吉 山	块状磁铁矿	"	1		100	23	
"	脉状磁铁矿	"	1	22	17	28	8
梅 山	角砾状磁铁矿	"	2	190	120	130	150

(空格为未测项目)

物这种可能形式^[4]，但未受广泛重视。

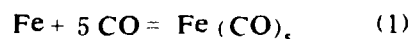
众所周知，高价铁离子只有在强酸性条件下才稳定，而在碱性条件下易水解。对闪长岩和赤铁矿的淋滤试验也证明，NaCl溶液仅在酸性条件下才对铁有较显著的淋滤能力。伴随钠化的铁质析出，并没有相当数量强酸性组分进入成矿溶液，当时碱性组分的活度显然应大于酸性组分，直至铁质沉淀，才使溶液逐渐转为酸性。故经钠长石化萃取的铁，在碱性条件下，未必能以简单氯化物或羧基络合物形式搬运。

根据近矿强烈碳酸盐化、热液磁铁矿中的还原性气体包裹体以及物理化学和热力学平衡计

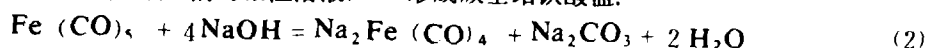
算，笔者认为应当重视铁以羧基络合物方式搬运的可能性。

铁可以与羧基 (CO) 以稳定的反馈键结合成多种络合物，如 Fe (CO)₃、Fe (CO)₅ 等。有些络合物的化学性质十分稳定：它们溶于酸可形成羧基络铁酸；溶于碱可形成羧基络铁酸盐，其中铁的化合价为零价或负价，这有利于它们在地壳内部条件下生成和稳定。

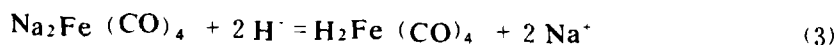
以五羧基络铁—Fe (CO)₅ 为例，在工业上通过一氯化碳直接作用于铁粉，在200℃和20~200atm下，便可制取 Fe (CO)₅：



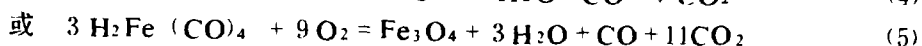
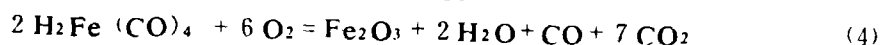
$\text{Fe}(\text{CO})_5$ 能溶于富含钾、钠的碱性溶液, 形成羰基络铁酸盐:



伴随钠长石化萃取的铁, 便可以 $\text{Na}_2\text{Fe}(\text{CO})_4$ 增大, 羰基络铁酸盐便可转变成羰基络铁酸等形式进行迁移。随着钠化过程溶液中酸度不断



羰基络铁酸在富氧环境下很不稳定, 容易生成氧化铁沉淀:



从反应式(4)、(5)可以看出, 若在富氧条件下, 又能从系统中不断取走 CO_2 , 必然会促使反应不断地向右进行, 并促使羰基络铁酸的不断分解和导致磁铁矿的沉淀。成矿前的碳酸盐化便起着这样的重要作用; 而羰基络铁酸分解所释放的大量 CO_2 , 又导致成矿期和成矿后的强烈碳酸盐化。为此, 如果说钠长石化同铁的萃取有关, 那么碳酸盐化则同铁的沉淀有关。这也较合理地解释了为什么活化转移的铁质常常沉淀在破碎带(如宁芜姑山、其林山)和与石灰岩的接触带附近(如大冶铁门坎)。

最后必须指出, 本文所强调的羰基络合物迁移形式的重要性及其成矿意义, 丝毫没有排斥其他铁的可能迁移形式之意。鉴于成矿地质条件的差异性, 在不同地区、个别地段或个别成矿阶段内, 很可能铁的氯化物、氯基络合物、甚至铁的

重碳酸盐等形式, 都能起其应有的作用。

本研究曾获得许多地质队的大力支持, 南京大学化学系沈孟长、蒋凤生等同志提出了许多宝贵意见, 在此一并致谢。

主要参考文献

[1] 阮惠础, 顾连兴等, 1982, 长江中下游中三迭统层状—层控型铁矿的成因, 南京大学学报(自然科学版), No 3

[2] 王守仁, 1978, 其林山铁矿地质特征, 江苏冶金地质, 1978年集刊

[3] 胡受奚, 1980, 交代蚀变岩岩相学, 地质出版社

Андреева Г.А. 1977, Проблемы дифференциации вещества в магматических и рудоразующих процессах. Отв. ред. Новосибирск «Наука»

栖霞山铅锌多金属矿床物质成分与矿床成因

江苏冶金地质勘探公司地质研究所 蔡彩雯

矿床地质简介

矿区位于下扬子拗陷带东部。出露地层有志留系中、上统坟头群, 泥盆系五通石英砂岩, 石炭二迭系海相碳酸盐岩和碎屑岩, 二迭系上统海陆交替相沉积岩层与上覆的侏罗系象山群碎屑沉积岩层成不整合接触(表1)。除在矿区北部边缘见到少量安山质火山碎屑岩外, 区内至今尚未发现火成岩体侵入。围岩蚀变弱, 仅局部有硅化。

区内褶皱、断裂构造很发育。自印支运动下古生代地层褶皱、倒转、断裂之后, 燕山运动加剧和发展了以前的构造形迹, 形成了纵贯全区的北北东向压扭性纵断裂和北西向张扭性横断裂, 象山群也发生了褶皱、断裂。

矿体形态、主矿体呈层状、似层状或透镜状赋存于中、上石炭统地层及其不整合面和 F_2 为主的断裂间。小矿体见于北西向断裂或灰岩的古岩溶中(图1), 矿体形态、产状虽受构造所控制,