

论安徽省姑山铁矿床的热液成矿特征

顾连兴 阮惠础

(南京大学地质系)

内容提要: 姑山铁矿床产在燕山期辉石闪长岩与中三叠统黄马青组砂页岩的接触带上。矿石具有典型的斑状、球状和骨架状结构。镜下研究表明,这些结构不是矿浆结晶的产物,而是热液成因微晶赤铁矿在后期地质过程中发生变晶生长所致。矿床中的蚀变和矿化自下而上呈现规律性的分带。碳酸盐化是特征性的蚀变类型,其形成与成矿密切相关,并可作为一种近矿找矿标志。在热液成矿过程中,辉石闪长岩中的铁很可能以羧基络合物的形式发生活化转移。在热液演化过程中由于氧逸度的升高和碱度、压力的降低,羧基络合物发生分解而使铁在接触带附近沉淀成矿。

主题词: 铁矿石 热液矿床 活化转移 安徽姑山

安徽省当涂县姑山铁矿床是一个正在露天开采的大型铁矿床。其工业价值之重要,地质特征之特殊,使研究人员纷至沓来,各抒己见。近年来矿浆说盛行,许多作者将此矿也纳入其中。笔者等屡赴姑山,对矿区作了岩石学、矿相学和地球化学研究,认为矿浆说有值得商榷之处。

一、矿区地质概况

姑山铁矿产于宁芜中生代陆相火山岩盆地南部边缘。矿区内(图1)中三叠统黄马青组(T_2h)砂页岩和下、中侏罗统象山群(J_{1+2})砂岩构成火山基底,白垩系下统姑山组(K_1g)火山岩系不整合于其上,其岩性主要为安山质火山碎屑岩、熔岩夹层凝灰岩。安山岩的钾-氩法年龄为 $115.7\text{Ma}^{[1]}$ 。

姑山侵入体呈岩株状侵入于黄马青组地层中。岩性为辉石闪长岩(vd),深灰至灰绿色,不等粒至似斑状结构,粒径多为 $0.1-1.5\text{mm}$ 。矿物成分中,中长石80%以上,钠长石5—10%,单斜辉石3%,石英2—3%。副矿物有磁铁矿、榍石、磷灰石等。全岩的钾-氩法年龄为 $137.5\text{Ma}^{[1]}$ 。

铁矿体主要沿辉石闪长岩与黄马青组砂页岩的接触带分布,在平面上呈半环状(图1),剖面上呈钟状。接触带附近由砂页岩角砾和闪长岩角砾构成的角砾化带是主要容矿构造,因而矿区除了块状矿石外,还存在数量可观的角砾状矿石。

金属矿物在地表和浅部主要是赤铁矿和假象赤铁矿,在深部还保留有相当数量的磁铁矿。硫化物的含量甚微。矿石内的铁氧化物主要呈微晶状,粒径多为 $0.02-0.1\text{mm}$ 。在赤

① 中国科学院华东富铁矿研究队地质研究所岩矿教研组, 1977, 钟姑地区侵入岩的岩石、矿物特征及其与铁矿的关系

铁矿和假象赤铁矿微晶基质中常有较粗的赤铁矿板状晶体呈斑点状分布, 构成斑点状矿石。板晶粒度多大于2mm, 大者可超过1cm。当赤铁矿板晶呈同心辐射状排列时则构成球颗状矿石。球颗直径多为0.5—1cm。当板晶无定向地排列成架状时则构成骨架状矿石。在以赤铁矿和假象赤铁矿为主的矿石中, 脉石矿物主要是微细粒石英和玉髓, 而在以磁铁矿为主的矿石中则主要是碳酸盐矿物。

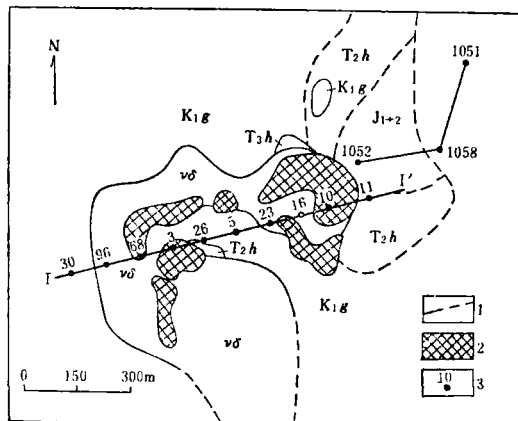


图 1 姑山铁矿区基岩地质平面示意图

1—实测与推测地质界线; 2—铁矿体; 3—钻孔号; T_2h —黄马青组; J_{1+2} —象山群; K_{1g} —姑山组; $v\delta$ —辉石闪长岩

Fig. 1. Schematic geological map of the Gushan iron ore district.

1—Measured and inferred geological boundary; 2—Iron orebody; 3—Serial number of drill hole; T_2h —Huangmaqing Formation; J_{1+2} —Xiangshan Group; K_{1g} —Gushan Formation; $v\delta$ —Augite diorite.

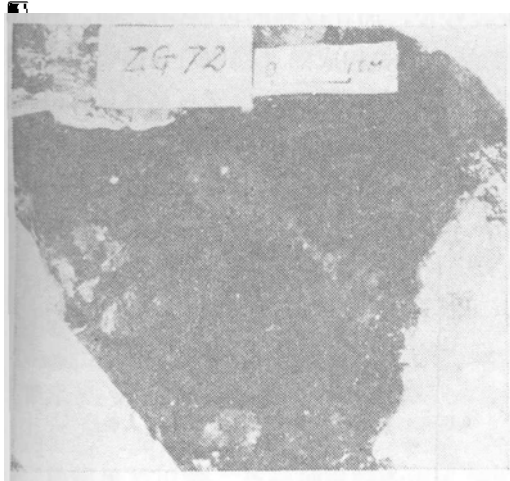
二、对矿浆成因说的异议

以姑山矿床作为矿浆成矿的典型例子, 最重要的依据之一是姑山矿石具有特征的斑状、球颗状和骨架状结构。构成斑晶、球颗和骨架的粒度较粗的赤铁矿板状晶体被解释为矿浆结晶作用早阶段的产物, 而构成基质的微晶赤铁矿 (其中包括微晶假象赤铁矿, 下文与此同) 则是矿浆结晶作用晚阶段骤冷所致。

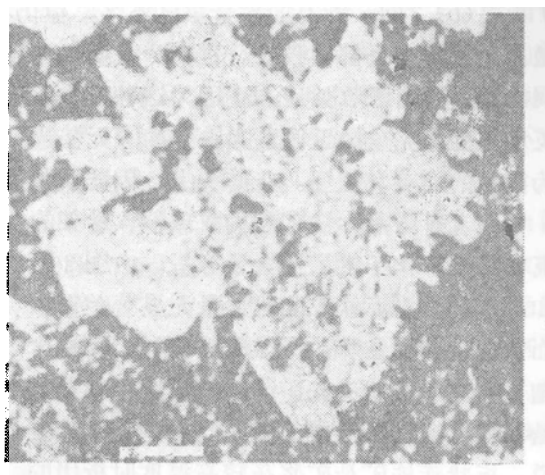
笔者的野外观察和室内研究表明, 无论斑晶、球颗还是骨架, 均不是矿浆早期结晶的产物。恰恰相反, 其形成晚于微晶赤铁矿, 是微晶赤铁矿在后期地质过程中形成的变晶和变晶集合体。

在采坑露头上可以看到, 斑晶和球颗虽可呈浸染状散布于微晶基质中, 但往往沿裂隙分布或密集于裂隙附近, 表明这些特征性结构的形成与沿裂隙活动的后期热液有一定联系。当球颗产于裂隙中时可由圆球状变为拉长状、椭圆状或纺锤状 (照片 1), 这可能是由于变晶集合体在裂隙中生长时外界环境的各向异性所致。也经常见到球颗与板晶赤铁矿相连以及球颗之间由板晶赤铁矿脉沟通的现象 (照片 1)。构成斑晶、球颗和骨架的板状赤铁矿通常具有完整的晶面 (照片 2、3), 而不具有熔体中早结晶的斑晶那种浑圆状或港湾状的熔蚀外貌。在有些赤铁矿球颗的内部可以清楚地看到残留的微晶赤铁矿团块。在照片 2 中, 一些赤铁矿

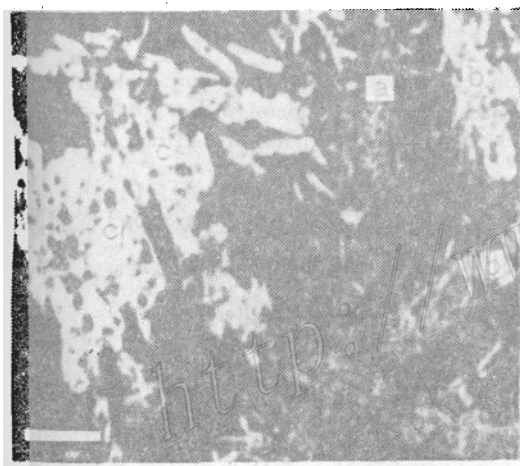
板状晶体围绕着一个由微晶赤铁矿和玉髓镶嵌而成的团块呈辐射状生长而构成球颗。这种屡见不鲜的现象,是微晶形成在先,球颗形成于后的又一个依据。



照片 1 沿裂隙分布的赤铁矿球颗呈拉长状。球颗之间由板晶赤铁矿脉沟通 手标本磨光面
标本号ZG-72



照片 2 残留在赤铁矿球颗内部的微晶赤铁矿团块。
赤铁矿板状晶体围绕团块呈辐射状生长 光片
单偏光 标尺 = 0.2mm 标本号ZG-17



照片 3 不同成熟度的赤铁矿变晶
a—初具板条状轮廓的微晶赤铁矿集合体; b—未成熟的赤铁矿变晶; c—成熟的赤铁矿变晶 光片 单偏光
标尺 = 0.2mm 标本号 ZG-71

在光片中可以看到,基质中的微晶赤铁矿与微晶石英和玉髓密切共生而其中完全缺乏石英和玉髓的包裹体,表明其形成早于石英和玉髓。与此相反,构成斑晶、球颗或骨架的板状赤铁矿中却含有大量石英和玉髓包体,构成筛孔变晶结构,表明这种板状赤铁矿的形成晚于基质中的石英和玉髓,因而必晚于微晶赤铁矿。更为有趣的是,在光片我们还可以恢复赤铁矿变晶的生长过程,区分出成熟的和未成熟的两种变晶。在变晶生长的初期阶段,基质中的赤铁矿微晶借助颗粒间吸引力相互靠近,并发生初步的定向排列。照片3中的集合体a虽已初步具有赤铁矿的板条状外形,但尚未形成赤铁矿变晶。

其镜下光性特征也表明,这些板条状集合体只不过是一些赤铁矿微晶的聚集体。当变晶过程进一步发展,各微晶颗粒不断调整其方位,并相互“焊接”,于是形成了如照片3中b所代表的未成熟的赤铁矿变晶。之所以称之为未成熟变晶,是因为这时形成的板条状体已基本上具有赤铁矿变晶的连续光性,但高倍正交镜下仍可看到其内部尚含有光性上与变晶主体不协调的未被完全“消化”的一些微晶颗粒。当未成熟的变晶进一步生长,其内部与整体不协调的微晶残留体被进一步消化,最后形成了内部光性均一的成熟的赤铁矿变晶(照片3中c)。从照片3中还可以看出,成熟的和未成熟的变晶在整体反光率上也有显著的差别,后者明显地高于前者。

在未发生显著重结晶的矿石中,常有大量微晶赤铁矿与石英和玉髓交生,随着重结晶作用的不断进行和板状变晶的不断成熟,微晶的量亦不断减少。在照片3中,在未成熟的赤铁矿板晶(b)之间,微晶的数量虽已不多,但仍有少数残留,而在成熟的板晶(c)之间,附近的微晶已基本上全部被吸收。这充分表明,赤铁矿变晶在生长和成熟过程中对周围化学成分相同的微晶具有吸收效应。正因为这种吸收效应,在变斑晶和球状的外缘常可见到仅含微晶石英和玉髓而完全缺乏微晶赤铁矿的“无铁边”。在典型的骨架状矿石内,其充填物也几乎全部为微晶的石英和玉髓。在露头上,因硅质易被风化淋失,故骨架状矿石常呈现多孔状构造。

笔者对微晶赤铁矿和构成球状、骨架的板状赤铁矿作了钒、钛含量分析。由图2可知,两种类型赤铁矿的钒含量无显著差别,而钛含量差异悬殊。微晶赤铁矿的 TiO_2 含量显著高于板状赤铁矿晶体,说明板状晶体是在较低温度下形成的变晶。如果按矿浆之说,板状赤铁矿是矿浆在较高温度时析出的原生斑晶,那么,根据铁氧化物中钛含量与温度之间的关系^[7],其 TiO_2 含量必然高于微晶赤铁矿。

据前人^[1]研究,矿区内磁铁矿和假象赤铁矿的爆裂温度大多为350—500℃。实际成矿温度还应当远低于此值。这样低的形成温度,也与矿浆成矿机制不符。

至于局部存在于姑山矿石中的圆形、椭圆形和不规则的气孔,也不是非求助于矿浆说不可。在热液成矿过程中,因残留挥发分受圈闭而形成形态迥异的空洞亦不足为奇。

总而言之,矿浆成矿说未能对姑山矿区的特征作出令人信服的解释。

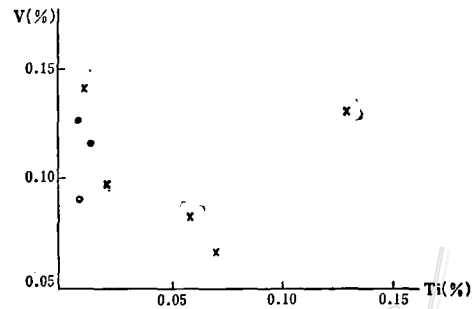


图2 微晶赤铁矿(×)与板状赤铁矿(•)钒、钛含量对比图

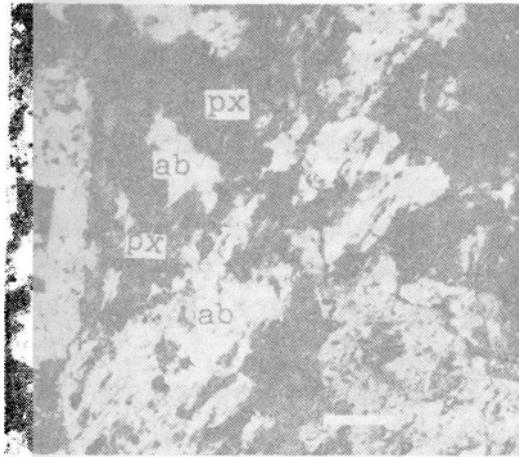
Fig. 2. Comparison of vanadium and titanium contents between microgranular (crosses) and lathlike (dots) hematites.

三、热液蚀变带地质特征

笔者曾对长江中、下游中三叠统层控铁矿床作过研究^[2,3]。在这类矿床的热液叠加矿体附近普遍发育着一定数量的透辉石、金云母等蚀变矿物,有人称之为深色蚀变。在姑山矿区,深色蚀变并不发育,然而这并不意味着该矿区不存在热液蚀变。详细的野外和镜下研究表明,热液成矿作用在姑山同样留下了广泛的交代蚀变痕迹。从深部较新鲜的辉石闪长岩开始,所形成的蚀变带自下而上依次为(图3):钠长石化辉石闪长岩带、碳酸盐化辉石闪长岩带(下碳酸盐化带)、硅质和碳酸盐型矿石带、碳酸盐化砂页岩带。各蚀变带的特征如下:

1. 钠长石化辉石闪长岩带 此带中的辉石闪长岩普遍受到钠长石化。辉石(照片4)等造岩矿物沿边缘或裂隙可被钠长石交代。斜长石的钠长石化不但在其周围形成环状“亮边”,还可被钠长石交代成团块状、补丁状或不规则状。钠长石呈细脉、网脉或树枝状交代斜长石的现象也不鲜见。胡受奚等^[4,5]曾详细论述过钠长石化对铁矿成矿的重要作用。

2. 碳酸盐化辉石闪长岩带(下碳酸盐化带) 钻孔CK1058的系统切片和化学分析(图4)



照片 4 钠长石 (ab) 沿边缘交代辉石颗粒 (px), 并已伸入其内部 正交偏光 标尺 = 0.25mm

表明, 从下部的钠长石化辉石闪长岩开始, 岩石中的碳酸盐矿物和 CO_2 含量往上不断增加。若以碳酸盐矿物含量大于5% (大致相当于全岩 CO_2 含量大于5%) 作为碳酸盐化的边界, 则此孔中的碳酸盐化蚀变带厚度约30m。由图3剖面可以看出, 碳酸盐化在矿体下方稳定地呈带分布。

在镜下, 碳酸盐矿物呈浸染状、云朵状和脉状交代各种造岩矿物。这种交代形成的碳酸盐矿物又可受到后期石英、玉髓的交代和穿插。在下碳酸盐化带的上部, 往往有强烈的高岭土化与之伴生。由于强烈蚀变的结果, 此带岩石常退变成灰白色, 岩性松软易

碎, 肉眼极易识辨, 是一种很好的近矿找矿标志。

下碳酸盐化带是在钠长石化背景上叠加碳酸盐化而成的, 因而, 钠长石化带的许多特征

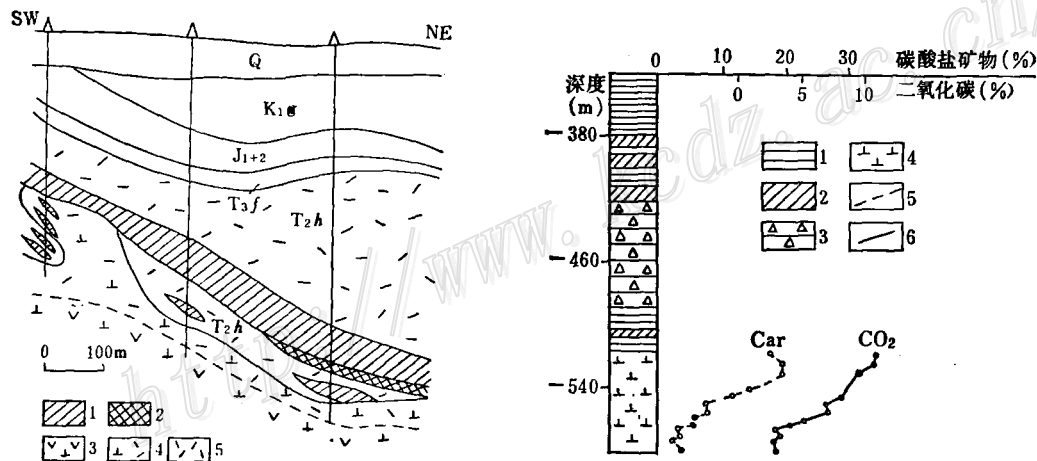


图 3 姑山矿区北东侧蚀变分带示意图 (左图)

1—角砾状矿石; 2—块状矿石; 3—钠长石化辉石闪长岩; 4—碳酸盐化辉石闪长岩; 5—碳酸盐化砂页岩; T_3f —范家塘组页岩; 其他同图1

Fig. 3. Geological profile showing alteration zoning in the northeast part of the Gushan ore district (left).

1—Brecciated ore; 2—Massive ore; 3—Albitized augite diorite; 4—Carbonatized augite diorite; 5—Carbonatized sandstone and shale; T_3f —Fanjiatang Formation; other symbols as for Fig. 1.

图 4 姑山矿区 CK1058 辉石闪长岩中碳酸盐矿物和 CO_2 含量变化柱状图 (右图)

1—砂页岩; 2—角砾状矿石; 3—铁矿化角砾岩; 4—辉石闪长岩; 5—碳酸盐矿物含量曲线; 6— CO_2 含量曲线

Fig. 4. Variations in carbonate mineral and carbon dioxide contents of augite diorite cores from Drill Hole No. 1058 in the Gushan ore district (right).

1—Sandy shale; 2—Brecciated ore; 3—Mineralized breccia 4—Augite diorite; 5—Variation in carbonate mineral contents; 6—Variation in carbon dioxide contents.

在此带均可见到,但因碳酸盐化的强烈改造而往往模糊不清。碳酸盐化所涉及的矿物比钠长石化更广泛,不但辉石闪长岩的原生造岩矿物受到强烈交代,次闪石、金云母(黑云母)等早期蚀变矿物也受到显著交代。在碳酸盐化带中还常有铁氧化物的浸染和脉状充填。还经常可以见到铁氧化物对闪长岩造岩矿物的交代作用。铁的这种直接交代作用充分表明了铁质由热液带入的机制。

3. 硅质铁矿或碳酸盐型铁矿带 姑山矿区地表主要是硅质赤铁矿矿石。角砾状构造是这种矿石的一种特征性构造。肉眼看砂页岩、闪长岩等角砾与铁质胶结物之间似乎界线分明,但镜下观察往往可发现铁质对角砾的直接交代作用。不过,由于砂页岩的化学稳定性相对较高,其交代作用不像灰岩中那样强烈,因而区内普遍缺乏深色蚀变。

在大姑山两侧和曹港一带的钻孔中有相当数量的碳酸盐型铁矿石。其主要矿石矿物是磁铁矿和假象赤铁矿,主要脉石矿物是碳酸盐矿物。

姑山矿区两类矿石的化学成分数据(表1)清楚地显示了磁铁矿与碳酸盐、赤铁矿与硅质的伴生关系。由于姑山块状矿石中硅酸盐矿物含量甚微,故其CaO+MgO含量基本上代表了碳酸盐矿物的丰度,而SiO₂含量基本上代表石英和玉髓的总和。从表1可以看出, SiO₂/(CaO+MgO)的比值从块状磁铁矿矿石的2.7增高到块状赤铁矿矿石的39.3。

表1 不同类型矿石的主要化学成分(%)
Table 1. Main chemical composition of different types of ores (in percentage)

矿石类型	Fe ₂ O ₃	FeO	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃ /FeO	CaO+MgO	SiO ₂ /CaO+MgO
块状磁铁矿矿石	53.00	16.83	9.69	2.36	1.21	3.15	3.57	2.7
块状赤铁矿矿石	75.08	0.90	20.82	0.29	0.24	83.42	0.53	39.3

据安徽省冶金地质勘探公司808队

在显微镜下常可见到碳酸盐型磁铁矿矿石普遍受到晚期硅质的进一步交代,并且随着硅质交代强度的加大,磁铁矿含量降低而赤铁矿含量增高。所以笔者认为,碳酸盐型磁铁矿矿石是姑山矿区最原始的矿石组合,而姑山地表的硅质赤铁矿矿石则是深部那种碳酸盐型矿石受后期富硅富氧热液强烈改造的产物。由于姑山矿床形成于近地表超浅成环境中,所以,硅化和氧化作用的发生很可能同环流的地下水热液有关。

4. 碳酸盐化砂页岩带(上碳酸盐化带) 该带发育于铁矿体之上黄马青组砂页岩中,在姑山北东侧青山河一带的钻孔中尤其显著(图4)。在此带中,碳酸盐矿物可呈团块状和浸染状交代,也可呈脉状穿插砂页岩。当砂页岩遭受剧烈破碎和角砾化时,碳酸盐矿物也可作为角砾的胶结物出现。在胶结物中,除碳酸盐矿物外,薄片中还可见到一定数量的铁氧化物、磷灰石和钠长石等,足证这种碳酸盐胶结物属于热液成因,并与成矿作用密切相关。上碳酸盐化带的发育程度受砂页岩中的裂隙构造所控制。据钻孔岩心观察,其厚度一般为数十米至200m(图4)。在姑山地表缺乏上碳酸盐化带,这可能是因为该处后期硅化过于强烈,碳酸盐化受到了严重破坏,而其幸免于硅化的部分又遭到了近代剥蚀所致。

由上可知,碳酸盐化是姑山矿区十分普遍而又最特征的一种蚀变。作者曾认为,铁矿床

中的碳酸盐化可以分为成矿前、成矿期和成矿后三个阶段^[3], 并给出了存在成矿前碳酸盐化的令人信服的证据。由于碳酸盐化与铁矿体密切伴生, 其分布范围又比铁矿体大得多, 因而可作为姑山式铁矿找矿和勘探的有效标志。

为研究不同蚀变带形成过程中元素的迁移特征, 笔者对CK1508钻孔不同蚀变带辉石闪长岩作了系统岩石化学分析, 并将分析数据作了巴尔特法计算。今将计算所得的不同蚀变带辉石闪长岩单位晶胞阳离子数平均值对比于表2。由表2可知, 辉石闪长岩在钠长石化过程中带人的主要组分有Na、K、Si和CO₂, 带出的主要组分有Ca、Mg和Fe。这与薄片中所见暗色矿物和斜长石被钠长石交代的现象相一致, 也与薄片中所见钠长石化辉石闪长岩的轻度碳酸盐化相一致。

钠长石化过程中进入围岩的阳离子Na⁺、K⁺是较强的碱金属, 而阴离子SiO₄⁴⁻和CO₃²⁻却是较弱的酸根, 说明钠长石化溶液是被强碱基和弱酸根所饱和的溶液。根据盐类的水解原理, 这种溶液应当呈碱性反应。这与李九玲等^[6]的碱性条件利于钠长石化的实验结论相一致。与此不同的是, 在强烈碳酸盐化过程中(表2), 大量带人的组分主要是碱土金属Ca、酸根CO₃²⁻和H₂O, 大量带出的组分有Na、Mg、Al和Si。由于强烈的碳酸盐化也伴随有矿化, 故此带中铁含量也有所增加。

表2 姑山矿区不同蚀变类型辉石闪长岩岩石化学巴尔特法计算结果
Table 2. Barth's petrochemical calculations for augite diorite from the Gushan ore district

阳离子数	新鲜辉石闪长岩 (1)	钠长石化辉石闪长岩 (2)	碳酸盐化辉石闪长岩 (3)	差数	
	I	II	III	II - I	III - II
Si	450	490	425	40	-65
Ti	5	5	4	0	-1
Al	172	182	141	10	-41
Fe ³⁺	26	15	18	-11	3
Fe ²⁺	14	15	37	1	12
Mn	2	1	3	-1	2
Mg	65	36	25	-29	-11
Ca	65	45	57	-20	12
Na	76	100	3	24	-97
K	16	23	25	7	2
P	0	2	1	2	-1
C	0	35	111	35	76
OH	199	170	291	-29	121

表中(1)、(2)、(3)表示样品数

四、铁的活化转移和成矿机制

胡受奚等曾对钠长石化与铁矿成矿的关系作过研究^{[4][5]}。他们认为, 钠长石化可使辉石闪长岩中的铁发生活化转移, 然后在合适的条件下重新聚集成矿。如上所述, 姑山矿区钠长石化带中析出铁的事实与胡受奚教授等的结论完全一致。

至于钠长石化过程中铁的活化转移机制, 前人提出过多种假设, 但以往普遍认为铁最大

可能以简单氯化物或氯基络合物的形式进行迁移^[7]。在徐克勤教授和胡受奚教授的指导下,作者得出结论^[3],在长江中、下游中三叠统层控铁矿床中,羰基络合物可能是使铁发生迁移的一种重要形式,并提出了羰基络合物使铁活化、迁移和再沉淀的化学模型。

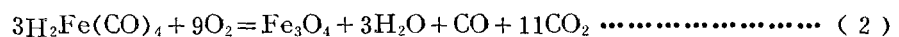
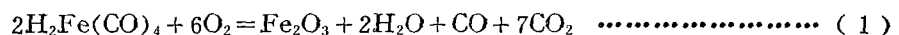
与中三叠统层控铁矿床十分相似的是,姑山矿区不但存在着广泛的钠长石化和碳酸盐化蚀变,在蚀变辉石闪长岩和矿石的包裹体中还存在着反映成矿过程(还原条件)的多种还原性气体。据笔者测定(表3),无论块状赤铁矿、脉状赤铁矿还是球颗状赤铁矿,其单矿物包裹体中都含有相当数量的CH₄、CO、H₂等还原性气体。这一特征表明,羰基络合物可能也是姑山矿区铁活化转移的一种重要形式。

表3 姑山矿区赤铁矿包裹体中还原性气体含量(μL/g)
Table 3. Contents of reducing gases in hematite inclusions of the Gushan ore district

矿物产态	样品数	CH ₄	CO	N ₂	H ₂
块状赤铁矿	4	60	63	120	48
脉状赤铁矿	1	33	24	34	18
球颗状赤铁矿	1	26	32	37	未测

铁可以与羰基(CO)以稳定的反馈键结合成多种络合物,如Fe(CO)₃、Fe(CO)₅、Fe₂(CO)₉、Fe₃(CO)₁₂等^[8]。在CO分压较高的条件下,辉石闪长岩中的原生含铁矿物可与CO直接进行高温反应而生成羰基络合物。如:Fe₃O₄+19CO=3Fe(CO)₅+4CO₂,生成羰基络合物Fe(CO)₅。羰基络合物能溶于富含钾、钠的碱性溶液而形成羰基络铁酸盐:Fe(CO)₅+4NaOH=Na₂Fe(CO)₄+Na₂CO₃+2H₂O。于是,伴随着碱性溶液对辉石闪长岩的钠长石化作用,铁以Na₂Fe(CO)₄的形式发生迁移。

在钠长石化过程中,由于强碱金属钠不断进入围岩,因而溶液的酸度将不断增加。在偏酸性环境里,羰基络铁酸盐很容易转变为羰基络铁酸:Na₂Fe(CO)₄+2H⁺=H₂Fe(CO)₄+2Na⁺。羰基络铁酸在富氧环境里很不稳定,极易形成铁氧化物沉淀:



从反应(1)和(2)可以看出:①若从系统中取走CO₂,必然会使平衡向右移动,从而加速铁的沉淀。成矿前碳酸盐化就起了这样的重要作用,而羰基络合物分解所释出的大量CO₂,又造成了强烈的成矿期和成矿后碳酸盐化。②铁质沉淀的过程中气相分子将显著增加。按照吕查德里原理,压力降低会促进这两个反应向右进行,从而加速铁质的沉淀。姑山矿区的角砾化地段,为热液系统的气体释放和减压提供了条件,因而成了良好的控矿构造。

此项研究是在徐克勤教授、胡受奚教授指导下进行的。在研究过程中,安徽省冶金地质勘探公司808队曾给予大力支持;方长泉老师为本文中的岩石化学数据作了计算机处理。笔者在此谨致谢忱。

参 考 文 献

- 〔1〕 华东地质研究所、地质矿产所联合研究队姑山专题组 1978 姑山铁矿床的地质特征和成因 宁芜火山岩铁铜矿床会议选集 地质出版社
- 〔2〕 阮惠础、顾连兴、郑素娟、叶俊 1982 长江中下游中三叠统层状-层控型铁矿床的成因 南京大学学报(自然科学版) 第3期
- 〔3〕 阮惠础、顾连兴 1983 长江中下游中三叠统层控铁矿床的碳酸盐化蚀变和铁的活化转移机制地质与勘探 第6期
- 〔4〕 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2期
- 〔5〕 胡受奚 1980 交代蚀变岩岩相学 地质出版社
- 〔6〕 李九玲、刘玉山、缪婉萍、曲国林 1979 闪长玢岩钠长石化的实验研究 地质学报 第1期
- 〔7〕 南京大学地质系 1979 地球化学 科学出版社
- 〔8〕 Huheey, J. E., 1979, Inorganic chemistry. Principle of Structure and Reactivity. Second edition Harper and Row.

ON THE HYDROTHERMAL ORIGIN OF THE GUSHAN IRON ORE DEPOSIT IN ANHUI PROVINCE

Gu Lianxin and Ruan Huichu

(Department of Geology, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu)

Abstract

The Gushan iron deposit, located at the south end of the Nanjing—Wuhu Mesozoic terrestrial volcanic-sedimentary basin, is one of the most important iron ore sources in East China. A subvolcanic augite diorite stock here intruded into the Triassic siltstones, sandstones and shales which, along with the Jurassic sandstones, formed the basement underlying the andesitic volcanics. The intensely brecciated sedimentary rocks along the contact zone provided the main structure for ore deposition. The major components of the ores are hematite (martite), quartz, chalcedony and carbonates.

Hydrothermal alterations are extensively developed in this deposit and can be divided upwards from the lowest unaltered augite diorite into four zones: (1) albitized augite diorite, (2) carbonatized augite diorite, (3) siliceous or carbonate-bearing iron ores and (4) carbonatized sedimentary rocks. The widespread carbonate minerals within, below and above the orebodies and a considerable amount of reductive gases such as CH_4 , CO and H_2 contained in the inclusions of the ore minerals indicate that carbonyl complexes may have been the important form for the remobilization of iron in augite diorite during the post-magmatic processes. In reducing environments, carbon monoxide can break down iron-bearing minerals in the parent rocks and combine with iron released from these minerals into iron carbonyls such as $\text{Fe}(\text{CO})_5$, which will be dissolved in soda-rich alkaline solutions and be tran-

sported in iron carbonylate $\text{Na}_2\text{Ee}(\text{CO})_4$. The progressive acidification of the ore-transporting fluid caused by albitization will transform iron carbonylate into carbonyl hydrite $\text{H}_2\text{Fe}(\text{CO})_4$, which is unstable in relatively oxidizing environments and ready to be decomposed to form iron oxide precipitation.

研究简讯

桂北宝坛地区火山岩型铜镍硫化物 矿床——我国一个新铜镍矿床类型

桂北宝坛地区分布有20个铜镍硫化物矿床(点),前人将其定为与超基性侵入岩有关的正岩浆熔离型矿床。经过最近几年的研究,特别是对含矿岩石的研究,笔者认为该矿床属于火山岩型铜镍硫化物矿床,系我国一个新的铜镍矿床类型。

宝坛地区的中元古界四堡群(自下而上可分为九小组、文通组和鱼西组)内发育有数层至十多层镁铁质-超镁铁质火山杂岩,其为岩浆间歇性多次喷出一侵入的产物,在地表分布面积约60 km^2 。就目前研究而论,该杂岩总体可分出三大旋回。从九小组至文通组中部,出现多层枕状玄武岩、火山角砾岩、辉长辉绿岩和硅质岩。它们代表了第一次火山活动的后半旋回,其前半旋回的超镁铁质岩类尚未出露。在文通组上部和鱼西组下部分别存在一个比较完整的火山活动旋回,由其所形成的各岩套厚几十米至几百米不等,自下而上有:超镁铁质岩层—辉长辉绿岩层—闪长岩层—细碧角斑岩层—角砾岩和凝灰岩并夹有一些薄层硅质岩。

区内铜镍硫化物矿床在时空诸方面均与各岩套中的镁铁质岩密切相关,其特点如下:

1. 铜镍硫化物矿体呈似层状、透镜状产于超镁铁质岩的底部。区内20个矿床(点)实际上是两个时隐时现、断续相连的矿层。矿体厚度最大可至几十厘米,最薄为1cm左右。

2. 矿石构造以斑杂状、星散状为主,也有少许的块状体。矿石与主岩之间呈渐变关系。在清明山、文得、大坡岭等矿床中可见斑杂豆状体矿石的长轴方向与岩流底部接触带呈 10° — 30° 夹角,这基本上指示出矿质生成于动荡环境中,在其定位时曾受到地球吸引力和岩流冲力的联合影响。

3. 矿石矿物组合比较简单,通常有:磁黄铁矿、黄铜矿、镍黄铁矿、镍磁黄铁矿、紫硫镍矿、辉砷镍矿、砷镍矿、针镍矿、镍白铁矿、闪锌矿、磁铁矿、铬铁矿、自然镍和宝坛矿(铜、镍金属互化物,系作者最近发现,正在工作)。该矿物组合反映出一种贫硫环境。脉石矿物有单斜辉石、紫苏辉石和橄榄石及其变成的透闪石、蛇纹石和镁绿泥石。

4. 成矿主岩明显贫Cu、Ni和S(较同类岩石的克拉克值低数倍),这表明该岩套在未喷出之前已经历了较好的分异和熔离作用。矿石中的 $\text{Ni}/\text{Cu}=1.5$ — 3.0 , $\text{Ni}/\text{Co}=25$ — 40 。

5. 矿石与其主岩具有类似的稀土元素的变化趋势和分布模式,均反映出大洋生成环境。

6. 矿石、磁黄铁矿和成矿主岩的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 3.4 — 23.5% 。而且 ^{34}S 在矿化密集处降低,于矿化分散处及岩流中则大大富集。这似乎映射出海底硫大幅度地参与了成岩成矿作用。

根据以上实际资料,笔者认为宝坛地区的铜镍硫化物矿床是一组比较典型的火山岩型铜镍矿床。关于其生成机制,初步拟定为矿质深部熔离—海底分异—硫源混染的特殊过程。

(毛景文 周科子)