

16-23.8 安徽省安庆铜铁矿床地质特征及成因探讨

王训诚 周育才

(安徽省地矿局 321 队·铜陵市·244033)

p618.310.2
p618.410.2

A 矿床由 I、II 两相连矿体组成, I 矿体发育在大理岩中, 垂直分带明显, 其地质地球化学特征与月山闪长岩体一致, 是夕卡岩浆上侵入充填成矿; II 号矿体地球化学特征与围岩(T₂b)一致, 是接触热变质作用和外生水循环淋滤成矿作用形成, 成矿物质来源于地层。

关键词 夕卡岩浆 外生水循环 铜铁矿床 安庆

铜矿床, 地质特征

安庆铜铁矿床自 60 年代发现以来, 已发展成为中—大型铜、铁、硫(多金属)矿床。本文是在国家科技攻关课题(75-55)工作的基础上, 提出了该矿床是岩浆接触热变质、夕卡岩浆贯入充填、大气水循环淋滤多成因的认识。

1 地质概况

安庆铜铁矿位于月山岩体东枝前缘内, 外接触带, 马鞍山背斜倾伏端(图 1)。

矿区发育从前寒武系(董岭群)至第四系各主要地层。赋矿层是三叠系扁担山组顶部白云岩段及灰岩段上部薄层灰岩, 为闭塞—半闭塞台地环境沉积岩, 岩石富镁(MgO 13.9%~16.52%wt)、富钙(CaO 33.60%~30.71%wt)、富铜(Cu 6.41×10^{-6} ~ 10.08×10^{-6})。

月山岩体以闪长岩为主, 次为石英闪长岩(中心相), 局部见有少量石英二长闪长岩。岩石具中—细粒不等粒状结构, 块状及流纹状构造。矿物成分以斜长石为主, 角闪石、黑云母、正长石次之, 石英少量。副矿物以磷灰石为主, 榍石和磁铁矿次之。岩体浅部以透辉石化为主, 深部则主要是黑云母化。同位素年龄 125(全岩 K-Ar 法)~147.24Ma(全岩

Rb-Sr 法), 系燕山期中酸性侵入岩。岩石稀土元素配分模式为右斜型, $\Sigma \text{REE} = 302.43 \times 10^{-6}$, $\Sigma \text{Ce}/\Sigma \text{Y} = 9.17$, $\delta \text{Eu} = 0.90$, 相似于上地幔混合源同熔型(I 型)花岗岩。岩石的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7064 > 0.706$, 说明岩浆在地壳范围内混染了地壳物质, 且地幔/地壳物质成分为 $5 \sim 2.100 \text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}) = 64.29 \sim 61.34$, 接近标准值(65), 说明岩体基本上没有发生过结晶分异作用, 这与岩石的不等粒结构(无斑晶)相吻合。

成因

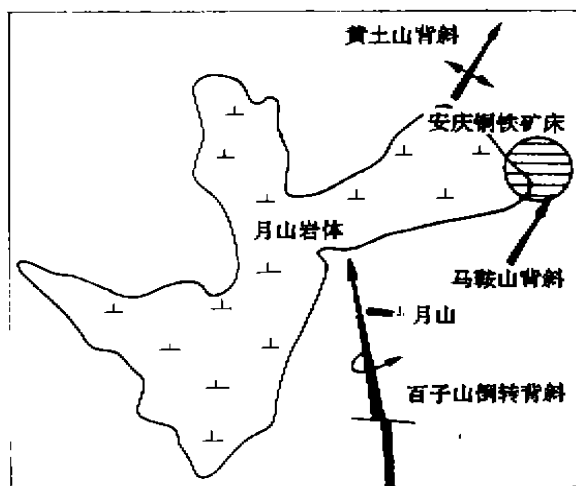


图 1 安庆铜铁矿床地质略图

本文 1994 年 9 月收到, 张正华编辑

百子山倒转背斜是本区主干构造并控矿,其次级背斜——马鞍山背斜在矿区通过并控矿。安庆铜铁矿床发育在马鞍山背斜北西倾伏端轴部及北西翼。

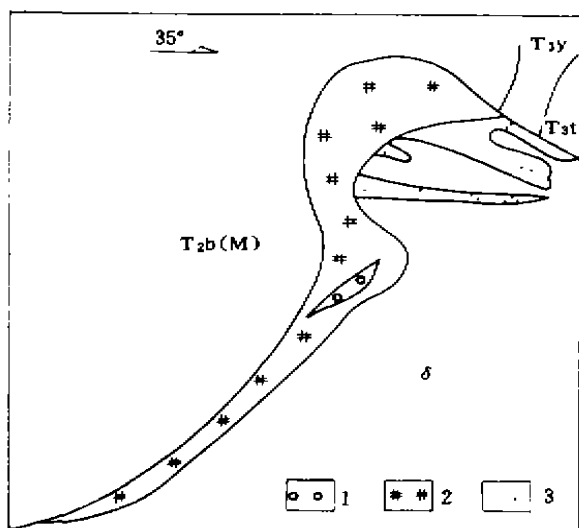


图2 安庆铜铁矿体I矿体剖面图

T_{3c}—上三叠统铜头尖组角页岩;T_{3y}—上三叠统马山组钙质角页岩及角砾状大理岩;T_{3b(M)}—中三叠统扁担山组大理岩;δ—闪长岩;1—夕卡岩;2—铜铁9矿体;3—闪长岩型铜矿体

2 矿床地质特征

2.1 矿体特征

安庆铜铁矿床包括I、II两个主矿体。

I矿体发育在闪长岩侵入体顶部内、外接触带(图2)。外接触带部分的矿体呈透镜体状,矿体与大理岩(围岩)界限清楚,易剥离,具贯入充填特征,局部界面呈舒缓波状,说明贯入流体为粘稠的高密度岩浆熔融体^[1]。矿石呈中—粗粒粒状结构,块状构造,具熔浆结晶的特征。矿石矿物以磁铁矿为主,磁黄铁矿、黄铜矿少量,磁黄铁矿与黄铜矿密切共生(发育固熔体分离乳滴状结构),可交代切穿磁铁矿,是一组随温度降低而结晶形成的矿物组合,氧化物先晶出,硫化物随后结晶。脉石矿物以石榴子石为主,透辉石次之,绿帘石和褐帘石少量,局部石榴子石富集形

成伟晶(粗晶,粒径1~2cm)石榴子石夕卡岩。矿体具明显的垂直分带,上部磁铁矿富集,下部硫化物增多,外接触带矿体呈细脉状延入内接触带形成矿化闪长岩,磁铁矿和石榴子石减少,硫化物和透辉石增多。

II矿体发育在岩体凹入部位内、外接触带,呈透镜状,矿体围岩为三叠系扁担山组白云质大理岩(图3)。矿体具明显水平分带。

内带为夕卡岩化闪长岩。脉石矿物以斜长石为主,透辉石、钠柱石次之,碳酸盐、帘石、透闪石、绿泥石、石英、钾长石等次之。矿石矿物以黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿为主,辉钼矿、胶黄铁矿次之,磁铁矿偶见。矿石具浸染状及细脉浸染状构造。矿石铜品位较低,向岩体内部矿化渐弱,反映成矿物质来于外接触带。

中心带为透辉石石榴子石夕卡岩,发育在外接触带内侧(图3)。脉石矿物以石榴子石为主,透辉石次之,透闪石、帘石、金云母少

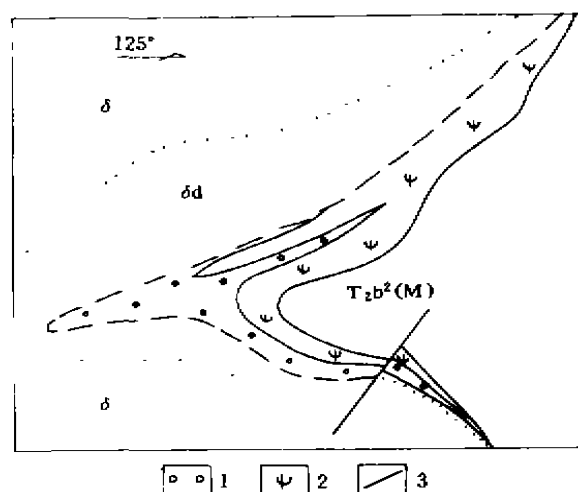


图3 安庆铜铁矿床II矿体剖面图

T_{3b(M)}—中三叠统扁担山组白云质大理岩;δ—闪长岩;δd—透辉石化闪长岩;1—透辉石-石榴子石夕卡岩;2—透辉石-蛇纹石夕卡岩;3—断层

量。矿石矿物以黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿为主,磁铁矿少量。矿石具中粒半自形粒状变晶结构,块状构造。向内与夕卡岩化闪长岩过

渡。铜品位较内带升高,说明成矿物质来源于外接触带外侧。

外带为透辉石蛇纹石夕卡岩,发育在外接触带外侧(图3)。脉石矿物以蛇纹石为主,滑石、透辉石、纤闪石次之,硬石膏、方解石少量,金云母和镁橄榄石偶见。镁橄榄石被蛇纹石交代仅留假像。金属矿物以磁黄铁矿、黄铜矿为主,黄铁矿及胶黄铁矿次之,磁铁矿少量。矿石具粒状变晶结构,带有地层层理构造的残余“阴影”——条带状构造。向内与透辉石石榴子石夕卡岩过渡,向外与围岩白云质大理岩过渡。铜平均品位1.22%,较中心带升高。

I 矿体矿物成分复杂,依据矿物化学成分特征、矿物生成物理—化学条件以及矿物间的交代关系可划分为早、晚两个阶段。

早夕卡岩阶段矿物包括石榴子石、橄榄石、磁铁矿和透辉石,主要为高温条件下形成的岛状硅酸盐矿物,且主要分布在中心带。气—液成分以 SiO_2 和 Al_2O_3 为主, Na_2O 、 K_2O 少量,系岩浆残余气液特征。

晚夕卡岩阶段矿物包括蛇纹石、滑石、硬石膏、透辉石、金云母和金属硫化物等,主要分布在外带,向中心带和内带依次减少。流体成分富镁、铁、硫,系外生水循环流体特征。

2.2 矿物化学成分特征

I 矿体透辉石呈浅绿色,结晶化学式见

表1 硅酸盐矿物结晶化学式表

岩石类型	矿物名称	矿物结晶化学式
透辉石化闪长岩	透辉石	$(\text{Ca}_{1.044-1.083} \text{Na}_{0.031-0.037} \text{Al}_{0.083-0.145} (\text{Fe}^{2+}_{0.286-0.363} \text{Mg}_{0.372-0.537} \text{Mn}_{0.035-0.032} \text{Cr}_{0.001-0.01} \text{Al}_0.005-0.01) \text{O}_{10} [\text{Si}_2\text{O}_6])$
I 矿体	细粒石榴子石	$(\text{Ca}_{2.747-3.021} \text{Mn}_{0.019-0.025} \text{Na}_{0-0.034} \text{Fe}^{2+}_{0.866-0.95} (\text{Fe}^{3+}_{0.543-1.852} \text{Al}_{0.09-0.254} \text{Ti}_{0.002-0.004} \text{Cr}_{0.003-0.006}) \text{O}_{12} [\text{Si}_2.748-2.924 \text{Al}_0.075-0.252] \text{O}_{12}]$
	粗粒石榴子石	$(\text{Ca}_{2.843-2.846} \text{Fe}^{2+}_{0.44-0.12} \text{Mn}_{0.018-0.013} \text{Na}_{0-0.013} \text{Fe}^{3+}_{0.59-1.701} \text{Al}_{0.361-0.39} \text{Cr}_{0-0.026} \text{Ti}_{0.003-0.015} \text{O}_{12} [\text{Si}_2.521-2.952 \text{Al}_0.018-0.079] \text{O}_{12}]$
	透辉石	$(\text{Ca}_{0.912-1.063} \text{Na}_{0.024-0.027} \text{K}_{0-0.001} \text{O}_{10} \text{Fe}^{2+}_{0.83-0.474} \text{Fe}^{3+}_{0.51} \text{Mg}_{0.319-0.777} \text{Mn}_{0.007-0.017} \text{Ti}_{0-0.008} \text{Cr}_{0.001-0.125} \text{Al}_0.001-0.034) \text{O}_{10} [\text{Si}_{1.92-2} \text{Al}_{0-0.07} \text{O}_{12}]$
II 矿体	透辉石	$\text{Ca}_{1.069-1.146} (\text{Fe}^{2+}_{0.64-0.089} \text{Mg}_{0.549-0.677} \text{Mn}_{0.002-0.003} \text{Ti}_{0.002-0.01} \text{Al}_0-0.01 \text{Cr}_{0.001-0.002}) \text{O}_{10} [\text{Si}_2\text{O}_6]$

表1。 $\text{Fe}^{2+}/\text{Mg}=0.24\sim1.49$,与闪长岩自变质作用形成的透辉石(表1, $\text{Fe}^{2+}/\text{Mg}=0.54\sim1.03$)化学成分一致,说明其成因上的内在亲缘关系。I 矿体细粒石榴子石呈黑褐色,化学成分(表1)中钙铁榴石分子达95%。粗粒石榴子石呈浅肉红色,钙铁榴石分子仅75%~80%,明显降低。石榴子石的化学成分变化表明夕卡岩熔体结晶分异作用晚期向贫铁方向演化,磁铁矿的大量晶出是因为早期发生了硅酸盐-氧化物(磁铁矿)液态熔离作用,这是夕卡岩岩浆贯入充填成矿又一佐证。接触带作为构造薄弱部位有利于矿浆贯入充填成矿;接触带作为热力中心提供了矿浆上升运移的良好通道和热动力条件。II 矿体3个成矿带中,透辉石是贯通矿物。就透辉石的分布而言,其在外带最多,中心带和内带依次减少。就透辉石的化学成分(表1)而言, $\text{Fe}^{2+}/\text{Mg}=0.08\sim0.14$,是I 矿体透辉石的14%~15%,与岩体自变质作用形成的透辉石(表1)明显不同。II 矿体透辉石的富镁特征说明其成矿流体富镁。在中酸性岩浆的结晶分异演化过程中, Mg^{2+} 优先进入早结晶矿物相^[2],所以不可能分异形成富镁的岩浆残余气—液,因之这种富镁的成矿流体只能来源于围岩白云质大理岩地层。因成矿流体来源于白云质大理岩而造成透辉石在外带富集,向中心带和内带依次减少的分布特征。

2.3 稀土元素地球化学特征

I、II 矿体夕卡岩和矿石稀土元素地球化学特征分别与岩浆和地层(白云质大理岩)一致,说明各自的亲缘关系及成因继承性。

I 矿体石榴子石夕卡岩、含铜磁铁矿(I)与闪长岩一致。 δEu 、 δCe 呈负异常(表 2),稀土元素总浓度较高($\Sigma\text{REE} > 200 \times 10^{-6}$)。除石榴子石夕卡岩因石榴子石富集重稀土而导致 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 值降低^[3]外,闪长岩和

含铜磁铁矿(I)之 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 值均大于 9。在球粒陨石标准化稀土元素配分模式中磁铁矿及石榴子石夕卡岩稀土配分模式曲线都与闪长岩相似,呈平缓右倾型到强烈右倾型(图 4)。

夕卡岩和磁铁矿(I)的稀土元素特征暗示其与岩浆岩(闪长岩),在成生演化过程中一度存在物理—化学平衡。

表 2 安庆铜铁矿床主要岩(矿)石类型稀土元素分配参数表

岩(矿)石类型	δEu	δCe	$\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$	$\Sigma\text{REE}(\times 10^{-6})$
闪长岩	0.90	0.95	9.17	302.43
石榴子石夕卡岩	0.92	0.94	7.96	217.03
含铜磁铁矿(I)	0.62~0.64	0.64~0.67	29.10~108.10	51.48~288.04
大理岩	1.98	0.77	4.23	15.33
透辉石蛇纹石夕卡岩	0.79~0.93	0.81~0.88	6.47~8.15	61.67~182.44
含铜磁铁矿(II)	1.79~3.62	0.57~0.98	0.90~6.62	27.43~120.59

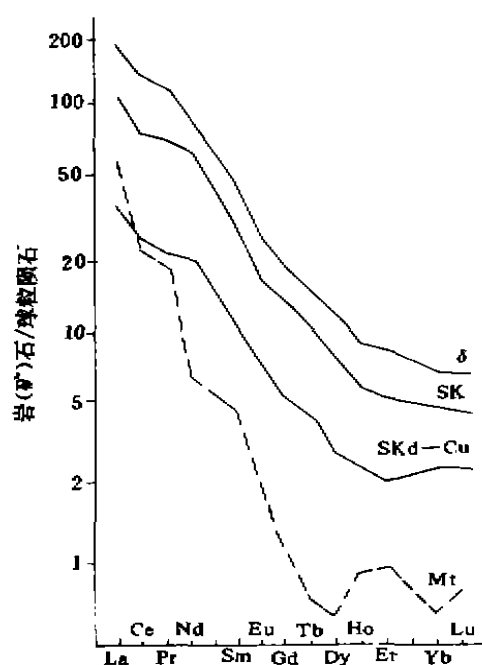


图 4 I 矿体及闪长岩稀土元素配分模式
 δ —闪长岩;SK—夕卡岩;SKd-Cu—含铜透辉石夕卡岩;
 Mt—磁铁矿

II 矿体透辉石蛇纹石夕卡岩、含铜磁铁矿

矿(II)与围岩白云质大理岩为另一组。除透辉石蛇纹石夕卡岩由于透辉石的堆积而呈现 δEu 负异常^[4]外,大理岩和含铜磁铁矿(II)之 δEu 都呈现强烈正异常。 δCe 都呈现负异

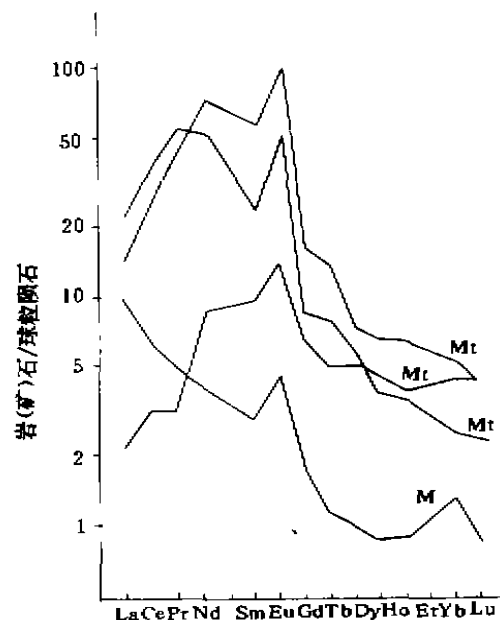


图 5 I 矿体及围岩大理岩稀土元素配分模式
 Mt—磁铁矿;M—白云质大理岩

常, $\Sigma Ce / \Sigma Y < 8.15$, 稀土总浓度较低, $\Sigma REE < 183 \times 10^{-5}$ 。在球粒陨石标准化稀土元素配分模式中(图5), 磁铁矿与白云质大理岩都呈一致的铕富集型, 曲线呈平缓右倾至平坦型。

2.4 微量元素特征

在成岩成矿过程中, Co/Ni 值有较强的继承性和成因意义。

矿区成矿围岩除三叠系白云岩 $Co/Ni = 0.88$ 较高外, 其余岩石的 $Co/Ni = 0.34 \sim$

0.37, 均较低。I 矿体矿石 $Co/Ni = 0.57$, 与地层接近, 说明两者关系密切, 同时在成岩成矿过程中 Co 、 Ni 元素发生了一定程度的分馏。浅部夕卡岩化闪长岩 $Co/Ni = 0.67$, 比原岩(0.94)降低, 说明受地层物质混染, 即气—液成分来源于围岩; 深部黑云母化闪长岩 $Co/Ni = 1.00$, 相对原岩升高, 表明黑云母化作用是岩体的自变质作用, 是岩浆残余气—液对闪长岩叠加改造的产物^[5]。

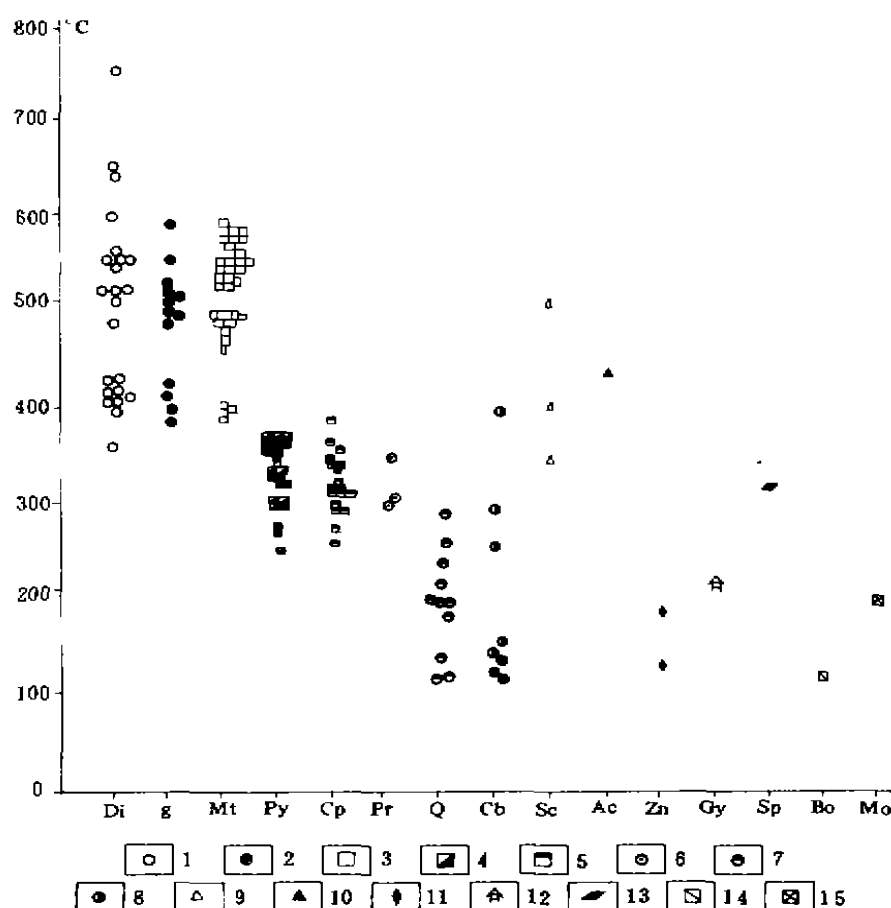


图6 安庆铜铁矿床矿物形成温度图

Di—辉石(1); g—石榴子石(2); Mt—磁铁矿(3); Py—黄铁矿(4); Cp—黄铜矿(5); Pr—磁黄铁矿(6); Q—石英(7); Cb—方解石(8); Sc—方柱石(9); Ac—阳起石(10); Zn—闪锌矿(11); Gy—石膏(12); Sp—辉石(13); Bo—硼铜矿(14); Mo—辉钼矿(15)

2.5 氧同位素特征

岩(矿)石氧同位素特征同样以白云质大

理岩($\delta^{18}O = 6.33\%$)和闪长岩($\delta^{18}O = 7.55\% \sim 11.85\%$, 平均 9.51%)划分为两

类。

石榴子石夕卡岩 ($\delta^{18}\text{O} = 8.60\text{‰} \sim 8.68\text{‰}$)、方柱石 ($\delta^{18}\text{O} = 9.63\text{‰}$)、方解石 ($\delta^{18}\text{O} = 9.63\text{‰}$)、磁铁矿 ($\delta^{18}\text{O} = 6.01\text{‰} \sim 6.26\text{‰}$) 为一组, 与闪长岩一致。

透辉石化闪长岩 ($\delta^{18}\text{O} = 10.85\text{‰}$)、次透辉石 ($\delta^{18}\text{O} = 5.97\text{‰}$)、磁铁矿 ($\delta^{18}\text{O} = 2.30\text{‰} \sim 5.97\text{‰}$) 为一组, 与白云质大理岩一致。

2.6 成矿温度特征

140 件矿物样品测温结果 (图 6) 表明, 矿床形成温度跨越了 $780 \sim 100^\circ\text{C}$ 广大区间。但是 600°C 以上形成的矿物很少, 在所测定的 15 种矿物中仅透辉石一种。硫化物的结晶温度都在 400°C 以下。

I 矿体成矿温度区间较小, 从 600°C 至 470°C 磁铁矿结晶结束, 个别硫化物的结晶温度也许会延续到更低温度。在垂直方向上, 矿体上部磁铁矿爆裂温度为 500°C (图 7), 向下依次降低为 470°C , 这一特征与矿物成分的垂直分带相吻合。由贯入充填矿体向上进入交代成矿体 (图 7), 成矿温度依次降低, 交代成矿体明显受到贯入充填成矿体的热力影响, 即贯入充填成矿体是一个热源, 从另一个角度说明 I 矿体的贯入充填成矿作用。

在水平方向上, I 矿体从两侧向中心磁铁矿爆裂温度依次降低 (图 8)。说明贯入充

填矿体结晶作用系由两侧向中心对称进行。近岩体一侧磁铁矿爆裂温度 (562°C) 略低于另一侧 (569°C), 说明成矿过程中岩体仍然提供了热量, 使熔体固结温度降低。

II 矿体成矿温度区间较大, 从 780°C 延续到 100°C , 但根据活动流体性质的不同可划分为 $780 \sim 320^\circ\text{C}$ 及 $440 \sim 100^\circ\text{C}$ 两个阶段。

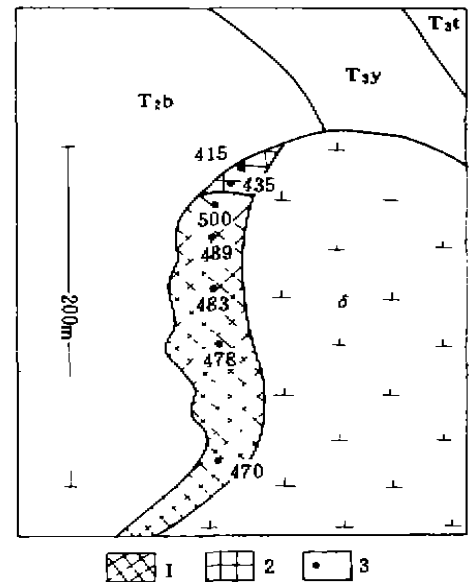


图 7 安庆铜铁矿床 14 线爆裂法测温成果图

T_{3t}—铜头山组角闪岩; T_{3y}—月亮山组角闪岩、大理岩、白云石大理岩; T_{3b}—扁担山组大理岩; δ—闪长岩; 1—贯入式铁铜矿体; 2—交代型矿体; 3—测温采样点及温度 ($^\circ\text{C}$)

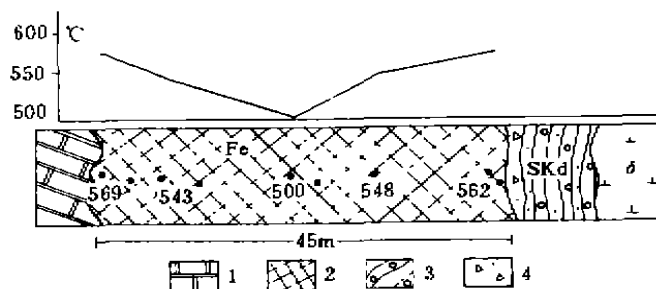


图 8 安庆铜铁矿床—400m8 线磁铁矿爆裂法测温图

δ—闪长岩; 1—扁担山组大理岩; 2—贯入充填铜铁矿体; 3—透辉石夕卡岩; 4—破碎带

$780 \sim 320^\circ\text{C}$, 为岩浆侵入接触热变质作用阶段, 侵入体对围岩进行接触热变质和气流交代作用。活动流体为轻稀土富集型富

SiO_2 、 Al_2O_3 、 Na_2O 流体, 来源于中酸性侵入岩浆。首先是接触变质作用, 使围岩白云岩变质形成透辉石大理岩, 白云岩中的低熔组分

向外带运移,矿物结晶温度 $780^{\circ}\text{C} \pm$ 。其次是岩浆气液对围岩(大理岩)的交代作用,形成石榴子石、透辉石、阳起石、方柱石及磁铁矿等,矿物结晶温度 $500^{\circ}\text{C} \pm$ 。岩浆气液作用随温度降低转变为热液作用,结晶形成少量石英和硫化物等。

$440 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 为地层水(或大气水)蚀变作用阶段。成矿流体为稀土元素分馏程度较低的富 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Na^{+} 及 CO_3^{2-} 热液,系地层水(或循环大气水)及地层中高溶度积组分的溶解迁移。蚀变形成的矿物除黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、斑铜矿、闪锌矿外,还有石膏、蛇纹石、滑石、方解石等。矿物主要分布于外带,向中心带和内带依次减少,并交代闪长岩形成富镁透辉石。说明成矿热液的运移方向是从地层、外带、中心带向内带温度逐渐升高的方向,溶度积差异造成矿物沉淀水平分带。

3 矿床成因探讨

3.1 夕卡岩浆及其成矿作用

3.1.1 I 矿体浆夕卡岩特征

安庆铜铁矿床 I 矿体的产状及舒缓波状接触界面说明矿体系高温粘稠熔体贯入充填成矿。矿石的半自形不等粒结构可与交代夕卡岩相区分。这种矿物成分上以夕卡岩矿物为主,化学成分上富钙铁的熔体称为夕卡岩浆。

最早(1864年)冯·柯塔(Von. Cotta)曾提出过石榴子石夕卡岩的岩浆成因概念。近年来,国内少数人对此作了一些研究(林新多^[1],1989;张淑贞、凌其聪等,1993;许建国等,1989;吴言昌^[6],1992)。研究者们一致认为夕卡岩浆是由于中酸性岩浆同化(吞食)了部分碳酸盐地层而形成的特殊的超基性岩浆。

I 矿体与月山岩体闪长岩密切共生,且在造岩元素、稀土元素、微量元素、同位素特征上相似,说明其同源性。但是月山岩体成岩

演化过程中没有发生过明显的结晶分异作用,所以岩浆并没有同化(吞食)大量碳酸盐地层。如果岩浆曾吞食了碳酸盐地层,则必然要消耗岩浆自身热量将其熔融,消耗的热量必须由结晶放热作用来补充,由于 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 离子优先进入早晶矿物相,则必然产生早晶镁铁矿物的结晶分异作用。

在夕卡岩的矿物组合中,碳酸盐矿物大量出现,所以这种夕卡岩浆的形成与 CO_2 富集有一定联系。

3.1.2 夕卡岩浆的可能成因

在浆夕卡岩的矿物组合中,既有 SiO_2 不饱和的岛状和链状硅酸盐矿物(石榴子石、透辉石)大量产出,又有 SiO_2 过饱和的架状硅酸盐矿物(石英)普遍发育,这样一种看似不平衡的硅酸盐矿物组合在方解石的作用下却能够平衡共生。F·J·Spera^[3]指出在高碱活度和低 a_{SiO_2} 的硅酸盐熔体中 CO_2 的可溶性大大提高。因此 CO_2 在硅酸盐熔体中的富集必然导致碱和不相容元素浓度增加并使 SiO_2 熔离(去硅作用)。在地壳浅部,夕卡岩浆(超基性岩浆)中因 CO_2 富集而熔离出来的 SiO_2 结晶形成石英。在深部岩浆房中, CO_2 在中酸性硅酸盐熔体中的富集导致 SiO_2 熔离,一方面使岩浆向着基性、超基性方向演化形成富碱和不相容元素的夕卡岩浆,另一方面向着酸性方向演化形成晚期的花岗闪长岩。硅酸盐熔体中富集的 CO_2 可能来源于岩浆本身,可能是地壳物质的重熔作用,也可能是直接来源于上地幔,但是硅酸盐岩浆吞食大量碳酸盐地层的可能性不大。

I 矿体浆夕卡岩稀土元素配分模式与闪长岩一致,但是稀土总浓度低于闪长岩,且 $\Sigma\text{Le}/\Sigma\text{Y}$ 高于闪长岩,Mysen(1980)的实验证明,当硅酸盐熔体中富水时,稀土总浓度降低(高压条件下,稀土元素在富水相中富集),而随着压力降低,稀土元素重新在硅酸盐熔体相中富集。Wondlandt 和 Harrison(1979)发现在 $20 \sim 5\text{Kb}$ 压力下,轻稀土比重稀土更易

熔解于 CO_2 和 H_2O 的熔体中。安庆铜铁矿床 I 矿体浆夕卡岩稀土总浓度低于闪长岩,说明夕卡岩与中酸性岩浆平衡压力较小, $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 高于闪长岩说明浆夕卡岩富 CO_2 和 H_2O 且平衡压力小于 20Kb,即熔离作用发生在康拉德面以上。

3.1.3 夕卡岩浆的分异演化

Hidreth(1979)提出了热重力扩散(thermogravitational diffusion)作用概念,设想岩浆房中具有元素浓度的垂直分带。浆夕卡岩的垂直分带现象为不少研究者所注意^[1,6,7]。安庆铜铁矿床 I 矿体成矿温度分带明显,矿物成分分带中石榴子石在中部富集,说明矿石的结晶速度较快,热重力扩散作用不够完全。在夕卡岩浆发生热重力扩散作用的同时,稀土元素发生了明显分馏。石榴子石夕卡岩相对于磁铁矿矿石 ΣREE 升高, $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 升高, δEu 值升高(表 2)。在正常的中酸性硅酸盐熔体中,石榴子石富集重稀土元素,且相对熔体铕亏损。但是随着熔体基性程度增加(SiO_2 减少),石榴子石逐渐富集轻稀土,且铕元素相对富集。I 矿体石榴子石夕卡岩相对磁铁矿矿石 ΣREE 、 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 、 δEu 升高,熔体(夕卡岩浆)具有超基性特征,说明 I 矿体成矿熔体是一种特殊的超基性岩浆。

3.2 变质作用及成矿

II 矿体特殊的水平分带特征以及低熔硫化物组分在外带富集,排除了经典交代夕卡岩(扩散作用和渗滤交代作用)成矿的可能性。II 矿体成矿作用的两个阶段特点(780~320℃、440~100℃)分别具有不同的成矿机制。早阶段为流体的热膨胀机制。中酸性岩浆侵入就位后,在接触带附近形成一个温度突变界面,围岩地层快速受热,沉积岩中的水及低熔组分(硫化物等)受热迅速膨胀,流体是主动迁移,迁移的方向是远离岩体(热源)。外接触带惰性组分(CaO 、 MgO 、 FeO 、 SiO_2 等)残留原地,受岩浆气液作用而形成石榴子石、透辉石、镁橄榄石、方柱石、阳起石、帘石

等矿物,外带富集硫化物。

晚阶段为流体的热对流循环机制。中酸性岩浆侵入就位晚期,发生在接触带的温度突变界面消失,形成了一个从岩体中心向围岩地层温度逐渐降低的宽缓的温度梯度场,外生水以近于水平的方向流向岩体,并进入岩体。流体是被动的在压力差的作用下流动。

外生水溶解携带地层中成矿物质运移并在有利部位富集成矿。白云岩地层中溶于水的成分主要是 CaCO_3 、 MgCO_3 、 CaSO_4 及其他易溶组分,其在水中的溶度积常数(25℃, 1atm)分别是

$$[\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3]^{2-} \text{——} 4.8 \times 10^{-9}$$

$$[\text{Mg}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3]^{2-} \text{——} 1.0 \times 10^{-6}$$

$$[\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4]^{2-} \text{——} 6.5 \times 10^{-6}$$

大小顺序依次 $[\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4]^{2-} > [\text{Mg}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3]^{2-} > [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3]^{2-}$,说明在外生水循环中,石膏首先溶解,其次是白云石中的 MgCO_3 、 CaSO_4 的溶解提高了 MgCO_3 在水中的溶解度并抑制 CaCO_3 的溶解^[10],从而 CaCO_3 残留下来在矿床周围形成广泛分布的膏溶角砾岩及(受热变质作用形成的)粗晶灰岩、大理岩。

溶解有 CaSO_4 和 MgCO_3 的外生水以近水平方向移向岩体,随着温度升高, CaSO_4 和 MgCO_3 溶解度降低而沉淀。已知 20℃ 条件每 100g 水中溶解 0.2g CaSO_4 , 100℃ 条件每 100g 水中溶解 0.169g, CaSO_4 沉淀降低了溶液的酸度从而降低 MgCO_3 在水中的溶解度。外带中硬石膏、蛇纹石、滑石普遍发育是外生水参与成矿的有力证据。外生水的移动方向(向温度升高方向)导致其携带成矿物质主要在外带富集成矿,向中心带和内带逐渐减弱。

3.3 成矿作用史

中酸性岩浆侵入于三叠系扁担山组,首先是热烘烤作用及气液成分的散发。夕卡岩浆紧随中酸性岩浆侵入就位。在岩浆的热动力作用下外生水运移并携带成矿物质成矿。

(下转第 9 页)

The Reserve Scale of Giant and Supergiant Ore Deposits; a Scheme of International Refferential Standards

Li Tong

Numerous data of metallic reserves of ore deposits show that the enrichment factors of different metallogenic elements are quite different. So that P. Laznicka's definition for giant and supergiant ore deposits is unsuitable for all ore deposits.

For the calculation of the lower reserve limits of giant and supergiant ore deposits, the giant ore deposits of different metallogenic elements can be divided into three groups by their reserve-enrichment indices (x-values): i. e. group A, x-value greater than 11; group B, x-value greater than 10; and group C, x-value greater than 9. And the supergiant ore deposits can be divided into two subgroups by 5 or 10 times of the lower reserve limits of their giant deposits.

The lower reserve limits of giant and supergiant ore deposits, as shown in Table 4, can be used as a scheme of international referential standards because of the x-values are calculated with the element abundance of the global crust.

Key words: giant and supergiant ore deposit, reserve scale, lower reserve limit, international referential standard.

(上接第 23 页)

外生水成矿作用一直延续到岩浆冷凝固晶以后。

综上所述,笔者认为安庆铜铁矿床是一个成矿物质多来源的多成因夕卡岩矿床。夕卡岩浆可能是岩浆中的 CO_2 局部富集引起岩浆自身的液态熔离作用而产生的。交代夕卡岩可分为早阶段(岩浆对围岩地层的)交代作用和晚阶段(大气水对内、外接触带的)交代作用。

本文测试数据引自《“七五”国家重点科技攻关项目 75-55-02-02A 安庆地区成矿条件及铜、金、铁等矿床成矿预测》。在此谨向参加该项目工作的其他同志致谢。

参考文献

- 1 林新冬等, 现代地质, 1989, 3(3): 351.
- 2 邵凤鸣, 安徽地质, 1992, 1(1): 351.
- 3 三田刚等, 稀二元素地球化学, 1989, 90.
- 4 王国梁, 矿物岩石学杂志, 1992, 12(2): 146.
- 5 Talor R. P. Metallization Associated with Acid Magmatism, 1982, 357~363.
- 6 吴言昌, 安徽地质, 1992, 2(1): 12.
- 7 张淑贞等, 地球科学, 1993, 18(6): 801.
- 8 Spera F. J Contrib. Mineral Petrol. 1981, 77: 12.
- 9 季克俭, 热液矿床的矿源、水源和热源及矿床分布规律, 79.
- 10 黄思静等, 去白云化作用机理的实验模拟探讨, 成都地质学院学报, 1993, 20(4): 91.

Geological Characteristics and Origin of Anqing Cu-Fe Deposit, Anhui

Wang Xuncheng Zhou Yucai

The deposit is composed of I and II ore bodies adjacent each other. I ore body developed in marble and has obvious vertical zoning, its geological and geochemical features are identical to those of yueshan diorite body. I ore body was formed through skarn magma intrusion upwards and filling. The geochemical features of II ore body are identical to those of country rock (T₂b). II ore body was formed by contact thermal metamorphism and exogenetic water circulation leaching. Ore-forming materials originated in strata.

Key words: Cu-Fe deposit, skarn magma, exogenetic water circulation, Anqing