

从交代蚀变矿物标型特征 研究冀南矽卡岩型铁矿床的形成

许 晓 峰

(华北有色金属地质勘探公司)

热液成矿过程常表现在热液的交代过程中。成矿溶液从产生到结束总是伴随着交代蚀变作用,而成矿物质的集中却经常是发生在其中某一或某些阶段。在交代作用过程所形成的矿物必然会保留其形成时的某些信息。因之,研究交代蚀变矿物标型特征及共生组合,有可能建立在成矿作用过程及其产物在时间上的演化和空间上的分布,成矿物质的来源及搬运形式和集中条件等。本文从交代蚀变矿物标型特征等来研究冀南矽卡岩型铁矿床的形成。

一、一般地质特征^[1,2]

区内断裂构造十分发育,处于北北东、南北及隐伏基底东西向构造的复合区,它们控制着燕山期岩浆侵入活动的范围。本区燕山期中性岩侵入系列为早期角闪闪长岩→中期闪长岩→二长岩→晚期碱性正长岩。其化学成分演化特点是从早到晚 K_2O 、 Na_2O 、 SiO_2 及 Al_2O_3 含量由低变高,燕山中期 $Na_2O > K_2O$, Na_2O 增加较快,晚期 $K_2O > Na_2O$, MgO 、 CaO 及 $Fe_2O_3 + FeO$ 由高逐渐变低。大中型矽卡岩型铁矿床主要与燕山中期闪长岩—二长岩系列密切共生,其碱度较一般中性岩偏高。

区内中奥陶统三层角砾岩层,而于深部如赭山则为硬石膏及石盐岩层。它们在构造变动中易溶、易熔和具有可塑性,所以为早、中期中性岩浆侵入形成似层状岩体提供了有利的空间。

大中型矿床围岩中的边缘褶皱构造发育,是找矿的重要标志。在岩体部分,蚀变分带明显,交代强度和蚀变矿物的分布宽度与矿床规模呈正相关。

二、交代蚀变矿物标型特征及共生组合

矿体附近总是发育一套交代蚀变岩,并明显地呈带状分布(图1)。交代作用的特征是氧化—还原梯度较明显,从总体上看,酸碱度演化较为清楚,整个变化过程是碱和氢的交代成矿过程,也是 $Na^+ \rightarrow Ca^{2+} \rightarrow Fe^{2+} \rightarrow Mg^{2+} \rightarrow Fe^{3+} \rightarrow H^+$ 等阳离子的更替过程。

交代成矿阶段可分为气成热液早期阶段的钠质交代,形成以钠长石为主的交代岩带(如图1之Ⅱ—Ⅲ)。气成热液晚期的矽卡岩—磁铁矿阶段,由于温压的逐渐降低,交代作用演化到无水矽卡岩阶段形成方柱石、透辉石及钙铁榴石等无水矽卡岩带(图1之Ⅳ—Ⅴ),当

气液相转向液相时，即气成热液晚期和高温热液早期的过渡时期，大量磁铁矿交代无水矽卡岩和碳酸盐岩而形成磁铁矿床（图1之VI）。高温热液阶段形成以金云母、透闪石—阳起石及角闪石等交代透辉石、磁铁矿的含水矽卡岩及大量含钴黄铁矿。晚期中低温热液阶段，形成绿泥石、蛇纹石及碳酸盐等。该区交代蚀变作用是一个彼此有成因联系的多阶段的过程，其中每个阶段的交代蚀变矿物都有其标型及矿物共生组合，它们给铁矿床的形成提供了信息。

（一）气成热液早期钠质交代阶段的交代蚀变矿物标型特征及矿物共生组合^[3]

钠长石化与铁矿床关系密切，它是判别接触带有矿与无矿、大矿与小矿的重要蚀变标志。从岩体向矿体方向，钠长石化作用有从弱（即钠长石化岩）到强（钠长石岩）的趋势。岩石中氧化钠含量由低逐渐增高，如西石门矿区未钠化岩石 Na_2O 4.86%，钠长石化岩石 Na_2O 6.52%，近矿钠长石岩 Na_2O 8.29%，铁的含量从钠化岩到钠长石岩明显降低，如符山铁矿闪长岩 Fe_2O_3 2.95%， FeO 4.08%，钠化闪长岩 Fe_2O_3 1.28%， FeO 2.16%，钠长石岩 Fe_2O_3 1.17%， FeO 1.26%。钠长石范围越大，强度越大，则矿体规模越大，反之亦然。如西石门大型铁矿床其钠化岩石带超过500米，钠长岩达400米。有些小矿体其钠化宽度很小，二郎靴小矿钠化宽度不超过10米。

从岩体向矿体方向，钠长石化岩→钠长石岩中的交代蚀变矿物标型特征及共生组合亦有明显的不同。

钠长石化岩

1. 交代蚀变矿物共生组合为钠长石—一次透辉石或钠长石—阳起石—透闪石
2. 交代形成钠长石，表面被绢云母覆盖，双晶不发育，常呈现亮边，钠长石中常见斜长石的交代残留体及类似斑状结

钠长岩

1. 较钠长石化岩中矿物共生组合含量低，几乎全由钠长石组成
2. 钠长石表面纯净，钠长石双晶纹较发育，具不规则粒状结构、花岗变晶结构

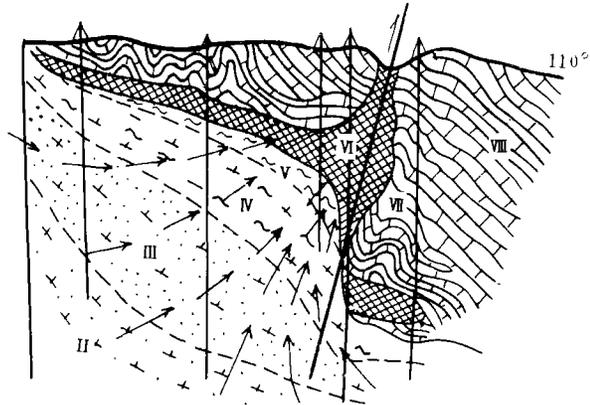
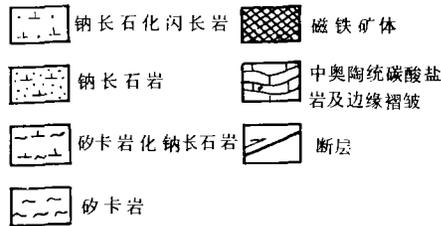


图1. 邯邢某矿矽卡岩铁矿综合剖面图



构, 钠长石斑晶中心为中长石残留体 常见净边

3. 钠长石常呈灰白色, $Nm=1.5329-1.5350$, 次透辉石含钙铁辉石分子 (Hed) 为 25—35%

4. 阳起石中含透闪石分子为 75%, 常见角闪石残留体

3. 钠长石呈雪白色 $Nm=1.5322$, 次透辉石含钙铁辉石分子为 15—20%

4. 阳起石中含透闪石分子量为 80—90%

从岩体向矿体接触带钠质交代特征是由弱变强, 交代蚀变矿物共生组合与标型也呈现明显规律。这些给早期气成热液成分与成矿铁质的来源提供了依据。钠化阶段交代蚀变矿物标型与共生组合标志着主要活动组分是钠、水及硅, 在其交代作用过程中, 原岩中铁和钾活化迁移, 在钠化强烈时钙和镁也大量活化迁出。随着钠质交代作用由弱到强, 铁和钾活化转移到气液中的量逐渐增加, 钠和硅由气液进入到蚀变岩中的量也逐渐增多, 所以钠化岩石的规模与矿体大小呈现正比关系, 即钠长石化范围越大, 强度越大, 矿体规模也越大, 计算表明该区钠化迁入气液中的铁量与接触带形成的铁矿量极为近似。说明成矿溶液中铁质主要来源于浅部中性岩体。

(二) 气成热液晚期砂卡岩—磁铁矿阶段交代蚀变矿物标型及矿物共生组合

首先无水硅酸盐矿物交代沉淀出方柱石、透辉石及钙铁榴石等, 逐渐过渡形成大量磁铁矿。矿物共生组合常以透辉石—磁铁矿, 透辉石—金云母—磁铁矿为主。该阶段交代作用除交代钠长石外, 主要是交代外接触带碳酸盐岩。其交代蚀变矿物标型及矿物共生组合特征如下:

1. 气成热液晚期无水砂卡岩矿物标型特征及矿物共生组合

区内无水砂卡岩矿物比较简单, 矿物成分分带性不强, 内蚀变带与钠长石岩, 外蚀变带与碳酸盐岩都呈现突变关系。

(1) 内蚀变带无水砂卡岩矿物标型特征: 方柱石是内蚀变带的主要无水砂卡岩矿物常与含霓透辉石共生, 以交代钠长石化岩的方式产出近于矿岩体内, 是一种重要的找矿标志。其标型特征以富含氧化钠、氯为特点, Na_2O 达 7.2—7.8%, Cl 含量达 2—5.3%, 含钠柱石分子达 70—90%。带内没有出现富钙的无水砂卡岩矿物钙铝榴石及斜长石等, 说明早期高温交代作用时, 接触带两侧组分的相互扩散, 交代不发育。反映了溶液中温度、碱度、 Na^+/H^+ 活度比降低的成矿过程。

(2) 外蚀变带无水砂卡岩矿物标型特征及共生组合: 交代 $O_2^{2-2} \sim O_2^{2-3}$ 的白云质灰岩, 常形成透辉石、钙铁榴石、金云母等共生组合, 它们与成矿关系极为密切, 其标型特征如下:

透辉石标型特征: 与磁铁矿床紧密共生, 属富镁贫铁类, 绝大多数属含钙铁镁辉石分子 ($Hed = 7-15$) 的透辉石类, 与钠长石化作用过程形成的次透辉石 ($Hed = 25-35$) 显然不同。这种透辉石氧化镁含量多在 15—17%, 铁的含量都很低。计算纯矿物分子百分含量为透辉石分子 80—95%, 钙铁辉石分子 5—20%。说明含矿气液与碳酸盐岩进行渗滤交代作用时只带入了大量硅, 而铁很少被带入, 铁质仍以络合物赋存于气液中, 并与围岩中氧化

镁、氧化钙作用形成富镁贫铁的透辉石。

钙铁榴石标型特征：以富钙、铁而缺镁为特征。其中氧化钙含量达3%以上，三氧化二铁达20—30%，而氧化镁为0.2—0.7%。计算纯矿物百分含量，钙铁榴石分子85—95%，钙铝榴石分子5—15%，基本不含镁铝榴石及铁铝榴石，这种榴石的形成消耗矿液中大量铁质。因此这种砂卡岩矿物大量出现时对磁铁矿床的形成不利，往往只形成小型铁矿。

2. 气成热液晚期与高温热液早期的过渡阶段形成大量磁铁矿及部分金云母

当大量无水砂卡岩矿物形成晚阶段，气液相转向液相时，大量磁铁矿交代透辉石、碳酸盐矿物（围岩），同时伴随部分金云母，其标型特征如下：

磁铁矿标型特征：磁铁矿与透辉石关系密切，它交代透辉石及碳酸盐岩形成各种交代残余结构，其显微硬度为741—829公斤/（毫米）²。MgO含量0.13—4.49%，TiO₂含量普遍较低为0.02—0.31%，多数小于0.1%，V₂O₅含量更低，多数小于0.08%，Al₂O₃含量一般也较低，多数小于0.5%，SiO₂含量一般在1%。微量元素特征Co含量为0.001—0.019%，Ni 0.000—0.005%，钴含量大于镍。其标型特征属于接触交代型铁矿床磁铁矿型。

与成矿岩体中副矿物磁铁矿标型特征相比有以下几点根本上的区别：（1）MgO含量在副矿物磁铁矿中低，约0.06—0.09%，而在交代磁铁矿中绝大多数≥0.50%。（2）副矿物磁铁矿中TiO₂、V₂O₅含量高，TiO₂ 0.088—0.88%，绝大多数≥0.43%，V₂O₅ 0.01—0.43%，多数≥0.3%。（3）副矿物磁铁矿中微量元素含量Cu 20克/吨，Co 20—60克/吨，Ni 10—500克/吨，Co含量小于Ni，Mn 600—3000克/吨。

在络合物分解形成大量磁铁矿同时，也沉淀出一定数量金云母与其共生，但主要的金云母是在高温热液阶段形成。

交代作用形成磁铁矿标型特征与岩体中副矿物磁铁矿显然不同，TiO₂、V₂O₅含量低，MgO含量高，钴含量大于镍。例如中关矿区磁铁矿中MgO 1.67%，王窑矿区磁铁矿MgO 0.86%，北铭河矿区磁铁矿MgO 0.59%。该地区都属含MgO高的磁铁矿。

该成矿阶段，气液中由富含钠和一定量氯氟等的中性或中偏酸性溶液转化为富含铁、钾、镁及氯氟等更偏酸性的含矿溶液。钠长石化后，在高温状态下，铁质以钾为主钠为次的(K, Na)[Fe³⁺(Cl, F)₄]和(K, Na)[Fe²⁺(Cl, F)₄]的形式运移。当含矿溶液与碳酸岩发生交代作用时，促使络合物的破坏和分解，形成内砂卡岩和外砂卡岩无水蚀变矿物组合。最后形成以富含MgO的含矿溶液沉淀大量含MgO高的磁铁矿矿床。

3. 高温热液阶段形成的含水砂卡岩矿物及含钴黄铁矿的标型特征

高温热液阶段是主要成矿阶段的延续，在磁铁矿大量形成时，碳酸盐岩中大量钙被活化向内蚀变带迁移，同时络合物分解出钾及挥发组分。在高温热液阶段形成高钙、镁质的含水砂卡岩矿物及硫化物。尤以金云母、透闪石—阳起石、角闪石最发育，并大量晶出含钴黄铁矿。这些交代蚀变矿物，交代无水砂卡岩及磁铁矿赋存于矿体中及其边缘。由于温度、碱度及K⁺/H⁺的变化，主要活动组分为Ca²⁺、K⁺及F⁻、H₂O⁻、CO₂、S²⁻等。

（1）金云母标型特征：金云母与矿化关系极为密切，常组成透辉石—金云母—磁铁矿

组合及金云母砂卡岩, 交代强度及金云母分布宽度与磁铁矿体规模呈正相相关, 是主要的找矿标志。

该区金云母标型特征是 MgO 含量高达 $25\% \pm$, K_2O 达 $7-10\%$, F 达 $1-2.96\%$, Cl 含量也较高, 而 $Fe_2O_3 + FeO$ 小于 5% , 属于富钾、镁, 挥发组分而贫铁的金云母。其中常包含有透辉石、磁铁矿残晶。

(2) 普通角闪石标型特征: 这种角闪石也是交代作用形成的, 主要分布在蚀变带, 也有呈团块状产于透辉石砂卡岩中的。其标型特征为长柱状, X形或米字形粗大连晶。晶体有时达 1 公分以上, 其中常包含有钠长石或透辉石残晶。钾、钠、铁及挥发组分含量高, 镁的含量较低。 K_2O 达 1.25% , Na_2O 达 1.72% , Fe_2O_3 为 3.91% , FeO 为 8.61% , MgO 为 14.11% , 挥发组分含量高达 3.32% , 氧化系数为 0.31 。

(3) 透闪石—阳起石标型特征: 这种含水砂卡岩矿物主要交代透辉石等, 多发育于矿体附近蚀变带内。一般 $Mg / (Mg + Fe^{2+}) \geq 0.90$ 时为透闪石, $Mg / (Mg + Fe^{2+}) = 0.49-0.89$ 时为阳起石, $Mg / (Mg + Fe^{2+}) < 0.5$ 时为铁阳起石。该区透闪石—阳起石单矿物化学成分标型特征为含铁较低, 镁、铝、钾、钠, 及二氧化碳, 水含量较高, 氧化系数为 0.17 , $Mg / (Mg + Fe^{2+}) = 0.67$ 。该区透闪石—阳起石为富碱和挥发组分。主要成分属阳起石。

(4) 黄铁矿标型特征: 铁含量普遍偏低为 $43.41-45.69\%$ (正常黄铁矿含铁为 46.6%), 硫也偏低为 $51.10-52.41\%$ (正常黄铁矿含硫为 53.4%)。钴含量为 $0.1-1.71\%$, 镍为 $0.000-0.72\%$, Co/Ni 为 $0.47-500$, 一般大于 1, 多数大于 5。

该区矿石中黄铁矿 $\delta s^{34} = 13.7-16.8\%$, 砂卡岩中黄铁矿 $\delta s^{34} = 15.3\%$ 。这些硫同位素值反映硫的来源不是深部, 主要应来自围岩中的硫酸盐, 与中奥陶统中蒸发岩层有关。

三、砂卡岩型铁矿床的形成

含矿岩体属燕山中期侵入体, 顺层及穿层侵入于中奥陶统 (O_2) 含蒸发岩—碳酸盐建造中^[7], 为闪长岩—二长岩系列。该期岩浆岩特征是 $Na_2O > K_2O$ (图 2), 副矿物磷灰石, 电气石, 独居石及磷氯铅矿等含量高。岩浆组成成分以富钠、氟、氯、水、二氧化碳等为特征, 与蚀变岩带组成成分相似。金属硫化物的硫同位素组成属重硫型, 表明主要是受沉积硫酸盐混染的关系。中奥陶统中 O_2^2 及 O_2^3 内含食盐蒸发岩层, 矿化率最高, O_2^2 层内仅含 $CaSO_4$ 层, 因而矿化率相对较低。黄铁矿中 Co/Ni 值大于 1, 多数大于 5。从交代作用演化过程, 元素活化、迁移及聚集规律与交代蚀变矿物标型特征分析, 本区铁质和气液都应来自浅部与成矿有关的闪长岩—二长岩体。

闪长岩—二长岩体上隆或突出的部位往往是减压释放带。该带附近的围岩, 由于岩浆热力及其前缘挤压作用, 总是发育着边缘褶皱构造。这种减压释放带为岩浆晚期及期后铁质和气液迁移, 集中和沉淀提供了通道和储存的条件。

成矿各阶段的交代蚀变矿物标型特征明显地反映出矿床形成时的地质环境和物化条件。在氧逸度较高、氧化钠大于氧化钾、富含挥发组分及钠等的含矿岩浆结晶冷却过程中, 从岩浆中析出的钠、硅、氟、氯及水分等气液沿减压释放带压力梯度减小的方向迁移、聚集。当

内压大于外压时，呈现开放环境，挥发组部分释放，达到平衡又处于封闭状态。气液中钠、硅等达到一定浓度时，在温度500℃以上条件下^[4]与已固结的铝硅酸盐岩发生钠质交代作用，形成钠化岩及钠长石岩，钠离子数较原岩增加一倍以上。气液中钠、硅减少。钠化过程中萃取了铝硅酸盐岩中的铁、钾及镁，它们以铁的络合物形式转入气液中，向减压释放带压力梯度小的方向迁移、聚集。当温度逐渐下降，这种气液交代了钠长石岩与碳酸盐围岩而形成无水矽卡岩矿物方柱石、透辉石及钙铁榴石等。

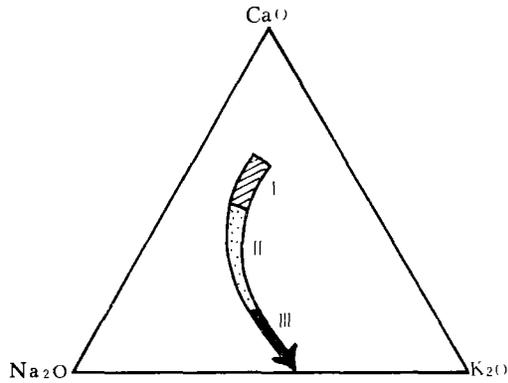


图2 邯邢地区燕山期中性侵入岩系列岩石化学成分演化趋势 (据沈宝丰资料)

I. 燕山早期侵入岩 II. 燕山中期侵入岩 III. 燕山晚期侵入岩

内蚀变带交代蚀变矿物共生组合为方柱石、含霓透辉石，未出现富钙的钙铝榴石，斜长石组合，说明早期高温交代作用在接触带两侧组分相互扩散，交代不发育。

碳酸盐矿物分解，钙、镁离子浓度增大，与气液中 $[SiO_3]^{2-}$ 作用而形成镁含量高铁含量低的透辉石。此时含铁质气液由于形成透辉石产生的大量二氧化碳、氧促使内压大于外压，又一次出现开放环境。当部分二氧化碳、氧逸度，压力再次达到新的平衡，含铁络合物分解，接触带处于封闭状态的弱还原环境，大量磁铁矿交代透辉石和碳酸盐围岩。因此，磁铁矿总是赋存在透辉石矽卡岩与碳酸盐岩之间，并且愈靠近碳酸盐岩一侧的矿石品位愈富。由于 $f(O_2)$ 在隆起的上部相对较下部高，磁铁矿的标型也不一样，上部的较下部自形程度高，结晶也粗。

当气液中络合物分解，磁铁矿大量形成，热液中逐渐增加钾、氟、氯、氢氧根等组分。磁铁矿形成越多，这种成分在热液中浓度就越大。这种热液交代磁铁矿、透辉石等形成钾、氟含量高铁低的金云母也就越多。所以金云母矽卡岩与磁铁矿体密切共生，交代强度与宽度同矿体规模呈正相关。

综上所述，同化混染中奥陶统蒸发岩层的似层状中性岩浆是形成交代蚀变矿物(包括磁铁矿)的铁质和气液的来源。岩浆上隆或突出的接触带及其共生的断裂或裂隙所形成的减压释放带是控制气液和铁质活化、迁移、聚集、调节 $(CO_2、O_2)$ 压力、促进交代作用不断进行的重要构造条件。这种构造自岩浆侵入阶段起经气液到热液阶段一直在起作用。钠长石化、矽卡岩化和热液蚀变虽经过一个较长时期的多阶段的交代过程，但从气成热液阶段到热液阶段实际上是有继承性的，是整个成矿作用过程的不同阶段。大量磁铁矿的出现是在气液晚期转向高温热液早期的过渡时期。铁质和气液在时间上、空间上和成因上与闪长岩—二长岩岩浆有着血肉的联系。

交代蚀变矿物标型特征与矿物共生组合不仅揭示矿床形成时的地质环境、物化条件与其演化客观过程,并且可作为该区的矽卡岩型铁矿床的找矿、评价、成矿预测的重要标志。

(本文中原始数据多来自518队,桂林地质研究所、及华北地质科学研究所)

主要参考资料

- [1] 沈保丰等, 1981, 冀南部邢式铁矿成矿地质条件分析, 地质学报, 55卷2期, P 127—137。
- [2] 沈保丰等, 1977, 某区磁铁矿床中钠质交代作用的特征及其找矿意义, 地质科学, 第3期。
- [3] 赵一鸣等, 1983, 中国主要矽卡岩铁矿床的挥发组分和碱质交代特征及其在成矿中的作用, 地质论评, 29卷1期。
- [4] 中国科学院地球化学研究所, 1981, 铁的地球化学, 科学出版社, P 106—112。
- [5] 许晓峰, 1965, 山东某闪长岩侵入体呈两次侵入的证据及其与矽卡岩型铁矿床的成因, 地质论评, 23卷6期。
- [6] 许晓峰, 1966, 就中性及酸性侵入岩的化学特征论若干矽卡岩型铜铁矿床的成矿专属性, 地质论评, 24卷2期。
- [7] 蔡本俊等, 1983, 中奥陶统蒸发岩对邢式铁(磁)矿床的控制, 矿物岩石, 第三卷第4期, P 31—42。

STUDY ON THE FORMATION OF SKARN IRON DEPOSIT IN THE SOUTH HEBEI FROM THE TYPOMORPHIC CHARACTERISTICS OF METASOMATIC ALTERATION MINERAL

Xu Xiaofeng

(North China geological exploration corp.)

Abstract

The typomorphic characteristics of metasomatic alteration minerals and their association obviously reveal that iron and pneumatolytic solution were derived from diorite and monzonite magma of Devonian evaporites subjected to assimilating contamination, contact zone formed by uplifted magma and the associated faults or fractures constitute the main structure controlling the activation, transition, aggregation of iron pneumatolytic solution and the adjustment for pressure of CO_2 , O_2 , so that the metasomatism could be continuously carried on.

The typomorphic characteristics and association of metasomatic minerals demonstrate that such a decompression—discharge system, started from emplacement, through pneumatolite—hydrothermal process to hydrothermal alteration stage is in fact a successive mineralization process, although it had undergone a long multi-stage metasomatic alteration process. Most magnetite were formed during the transitional period from gas—liquid to liquid phase