



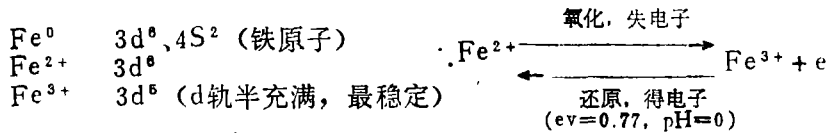
第七讲 铁的地球化学性质和内生找矿地球化学

引 玉

(一) 铁的地球化学性质

铁是四周期中部第六个过渡元素，是铁族（Ⅷ族）的代表，具有亲铁、亲硫和亲氧的三重性。亲铁性主要在地核中显示，呈铁镍互化物产出；在地壳的强还原条件下也可呈少量自然铁和铁-铂族互化物存在。亲硫性和亲氧性因外部条件的不同而各有显示，两者互为消长：还原条件下形成各种硫（砷、锑等）的化合物，氧化条件下形成各种氧（还有附加的F、OH等）的化合物。还原、低O/S条件下成 Fe^{2+} 的硫化物；氧化、高O/S条件下形成 Fe^{3+} 的氧化物，这是铁的最主要的地球化学性质和行为。

铁的原子结构决定了它的变价性。自然界最常见的价次为 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} ，两者因氧化还原、得失电子而互变。



二价铁 $R_i = 0.82 \text{ \AA}^*$, $I_2 = 16.18 \text{ eV}$, 为弱碱性元素，只在酸性溶液中呈简单离子，中至弱碱性时成 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 。内生作用中 Fe^{2+} 的存在形式主要有：

(1) 在岛状、环状、链状、带状硅酸盐矿物中作为主要阳离子。但架状硅酸盐石英、长石中则无铁。

(2) 在钛铁矿($\text{Fe}^{2+}\text{Ti}^{4+}\text{O}_6$)和尖晶石类($\text{R}^{2+}\text{R}_2^{3+}\text{O}_4$)矿物中作为部分阳离子。

(3) 中低温热液阶段与 $[\text{CO}_3]^{2-}$ 结合形成铁白云石—菱铁矿系列的矿物。

(4) 与硫结合是很主要的。有下列情况：

陨硫铁矿($\text{Fe}^{2+}\text{S}^{2-}$) $\text{Fe}:\text{S}=1$ ，只存在于陨石的硫化相中。

磁黄铁矿($\text{Fe}_{x+1}\text{S}_x^{2-}$, $x=7,8,9,10,11,12$) $\text{Fe}:\text{S}<1$, $\text{Fe}, \text{Fe}^{2+}$ 比 S^{2-} 的原子少一个，形成特殊的“缺席构造”。有人认为存在着少数几个 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} 的状态，但在高温(1190°C)条件下， Fe^{2+} 丢失的电子成为自由电子在晶格中流动，因此具有金属性与导电

* 据Zemann, 1966

性。晶体化学式也可写作 $(\text{Fe}_{\frac{x}{2}}^{2+}\text{Fe}_2^{3+}\text{S}_2)$, $x=7\rightarrow 12$ 。晶格类型为高温六方红砷镍矿(NiAs)型。

黄铁矿 $(\text{Fe}^{2+}[\text{S}-\text{S}]^{2-})$ 形成温度低于磁黄铁矿, 约 742°C 。此时介质中S浓度增高, 氧化使两个 S^{2-} 以共价键结合成哑铃状的特殊的对硫离子 $[\text{S}-\text{S}]^{2-}$, 使总的负价减低为2, 与 Fe^{2+} 发生 d^2sp^8 型轨道杂化, 形成八面体(6次)配位的立方石盐(NaCl)型晶格。在更低温度下则形成白铁矿 $(\text{Fe}^{2+}[\text{S}-\text{S}]^{2-})$, 为黄铁矿的异构体, 为其斜方变体白铁矿型晶格。两者都具有向共价键过渡的性质, 脆性大, 导电性差。

外生作用中 Fe^{2+} 的存在形式主要有:

(1) 磁黄铁矿、白铁矿(其次才是黄铁矿)易于氧化, 形成 $\text{Fe}^{2+}\text{SO}_4$ (和一定的 H_2SO_4), $\text{Fe}^{2+}\text{SO}_4$ 不稳定, 可氧化为 $\text{Fe}_2^{3+}(\text{SO}_4)_3$ 。酸性溶液经中和、水解后, 可以生成 $\text{Fe}^{2+}(\text{OH})_2$ 。干燥气候酸性溶液蒸发, 生成 Fe^{2+} 的矾类矿物。

(2) 在沉积作用的还原相中可形成菱铁矿 $(\text{Fe}^{2+}[\text{CO}_3])$ 、鲕绿泥石 $(\text{Fe}^{2+}\text{Al}[\text{Si}_3\text{O}_{10}][\text{OH}] \cdot n\text{H}_2\text{O})$, 强还原相中还可形成黄铁矿、白铁矿。

三价铁 $R_i=0.67\text{\AA}$, $I_3=30.64\text{eV}$, 为两性偏酸元素, 酸性溶液中成阳离子, 强碱溶液中成络阴离子。内生作用中主要存在形式有:

(1) 强氧化条件下形成赤铁矿 $(\text{Fe}_2^{3+}\text{O}_3)$ 或镜铁矿。

(2) 在碱性岩浆中, K、Na、Cs等过剩而 Al^{3+} 不足时, Fe^{3+} 可部分代替 Al^{3+} (甚至 Si^{4+}) 的作用, 进入架状硅酸盐的硅氧四面体格架之中。如铁透长石 $(\text{K}[\text{Fe}^{3+}\text{Si}_3\text{O}_8])$ 、霓石 $(\text{Na}[\text{Fe}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6])$ 、铁铯榴石 $(\text{Cs}[\text{Fe}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6] \cdot \text{H}_2\text{O})$ 等。在钙碱性岩浆中, Fe^{3+} 只在硅酸盐的硅氧四面体格架之外, 起一般三价阳离子的作用。

在外生作用中主要存在形式有:

(1) 由 $\text{Fe}^{2+}(\text{SO}_4)$ 迅速氧化形成的 $\text{Fe}_2^{3+}(\text{SO}_4)_3$, 是一种强氧化剂, 可以促进其他多种硫化物的氧化。 $\text{Fe}_2^{3+}(\text{SO}_4)_3$ 在中性至弱碱性溶液中不稳定, 水解后生成碱或硫酸盐, 最后成为 $\text{Fe}^{3+}(\text{OH})_3$, 脱水成针铁矿、赤铁矿及褐铁矿。干燥气候酸性溶液蒸发, 生成 Fe^{3+} 的矾类矿物。

(2) 沉积作用可形成赤铁矿、褐铁矿, 属氧化相。

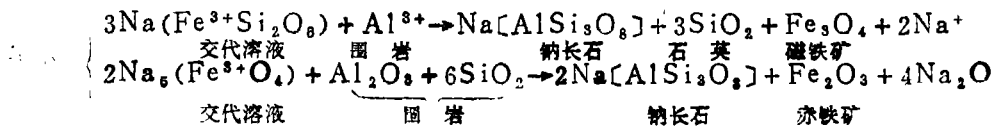
二价铁和三价铁 两者并存在同一铁矿物中是较普遍的现象, 纯的 Fe^{2+} 或 Fe^{3+} 矿物则较少。 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 并存也是内生磁性铁矿物的特征(如磁黄铁矿、磁铁矿)。

磁铁矿 $(\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_2^{3+}\text{O}_4)$ 是 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 并存的代表。它形成的条件比赤铁矿氧化程度低、比菱铁矿(其次是黄铁矿)还原程度低。赤铁矿可还原为磁铁矿, 磁铁矿可氧化为假象赤铁矿, 也可还原为菱铁矿(碳酸盐化作用)或黄铁矿(硫化作用)。与磁铁矿形成条件相似的有钛铁矿 $(\text{Fe}^{2+}\text{Ti}^{4+}\text{O}_3)$ (母岩基性程度较高), 有人认为钛磁铁矿就是钛铁矿与磁铁矿的固溶体, 也有人认为发生了 $2\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{Ti}^{4+}$ 的置换, 钒钛磁铁矿中则为 V^{3+} 置换 Fe^{3+} 或 $\text{Fe}^{2+} + \text{Ti}^{4+} \rightarrow \text{Sc}^{3+} + \text{V}^{3+}$ 。钛铁矿也可与赤铁矿成固溶体, 也认为是 $2\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{Ti}^{4+}$ 的置换。 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 并存的外生含铁矿物可指示沉积作用的氧化还原相: 如 Fe^{3+} 、 Fe^{2+} 的海绿石指示弱氧化相, $\text{Fe}^{2+} > \text{Fe}^{3+}$ 的鲕绿泥石指示弱还原相等。

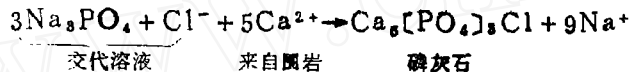
根据 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 和其他变价元素发生氧化还原反应的 E_h 值大小, 可以判断可能或不可能与 Fe^{2+} 或 Fe^{3+} 组合的元素种类与价次。如可能与 Fe^{2+} 共生组合的有: Ti^{3+} 、 Ti^{4+} 、 Cr^{3+} 、

Mo^{6+} 、 W^{6+} 、 Mn^{2+} 、 Co^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Pb^{2+} ，不可能的有： V^{6+} 、 Cr^{6+} 、 Mn^{4+} 、 Co^{3+} 、 Pb^{4+} 等。可能与 Fe^{3+} 共生组合的有： Ti^{4+} 、 V^{4+} 、 V^{5+} 、 Cr^{3+} 、 Cr^{6+} 、 Mo^{5+} 、 Mo^{6+} 、 Mn^{2+} 、 Mn^{4+} 、 Co^{2+} 、 Co^{3+} 、 Pb^{2+} 、 Pb^{4+} 、 Ni^{2+} 、 Ni^{3+} 、 U^{6+} ，不可能的有 Ti^{3+} 、 V^{3+} 、 U^{4+} 等等（据B. B. Илгерман, 1957）。例如在自然界中软锰矿（ Mn^{4+}O_2 ）或钒铅矿（ $\text{Pb}_2^{2+}[\text{V}^{5+}\text{O}_4]_2\text{Cl}$ ）不能与水绿矾（ $\text{Fe}^{2+}[\text{SO}_4]\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ）共生，而钾钒铀矿（ $\text{K}_2(\text{U}^{6+}\text{O}_2)_2[\text{V}^{5+}\text{O}_4]_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）则可以和黄钾铁矾（ $\text{KFe}^{3+}[\text{SO}_4]_2\cdot \text{H}_2\text{O}$ ）共生等等。

三价铁和钠 找矿实例证明：铁矿化往往与钠交代关系密切，这可能是在富钠的强碱性溶液中，两性偏酸的 Fe^{3+} 可成易溶络合物迁移如 $\text{Na}_3(\text{Fe}^{3+}\text{O}_4)$ 或 $\text{Na}(\text{Fe}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6)$ 等，交代溶液与围岩中的 Al^{3+} 作用将 Fe^{3+} 置换，络合物分解，形成钠长石和铁矿物。如：



三价铁和磷 与超基性-碱性岩浆、火山、高温气液作用有关的铁矿化往往伴随着磷灰石的形成，而且两者的规模和程度也大致相应。这可能是由于饱和着F、Cl、P、OH的碱性气液，可以携带大量 Fe^{3+} 和P的易溶络合物迁移，如 $\text{Na}_3(\text{Fe}^{3+}\text{F}_6)$ 、 $\text{Na}_3(\text{Fe}^{3+}\text{Cl}_6)$ 、 $\text{Na}_3[\text{Fe}^{3+}(\text{PO}_4)_2]$ 、 $\text{Na}_3(\text{PO}_4)$ 、 $\text{Na}_2(\text{HPO}_4)$ 、 NaH_2PO_4 等。在围岩发生钠交代和铁矿化的同时，也发生了“去钙化”（即溶液中的Na交代了围岩中的Ca）使围岩中的 Ca^{2+} 转入溶液，促使了磷灰石的沉淀。



（二）各种地质体中铁的平均含量

铁是分布十分广泛的常量元素之一，在地壳中的平均含量仅次于氧、硅、铝而居于第四位，各家分析数值在4.70~5.63%之间，1955年后平均数值定为5.15%。如果铁的最低工业品位以30%计，则其浓集系数（最低工业品位/地壳中的平均含量）很低，仅近似于6。这表明铁在地壳中背景含量太高，而相对集中成矿的能力很低，和那些在地壳中背景含量很低而集中成矿能力很高，即浓集系数很高的微量元素如Sb、Bi(25000)、B(17000)、Hg(14000)、Au、Pt(6000)、As(4000)、W、Ag(2000)等有很大的不同。如用铁本身作为指示元素来找铁矿（特别是贫矿），不容易得到清晰明显的地球化学异常，必须用灵敏度较低又适合于常量元素分析的仪器（如低能辐射X光荧光光谱仪等）或选用经常与铁共生或伴生的微量元素作指示。

铁在岩浆岩中的平均含量（%） 因各种岩浆岩类型而不同：

	超基性岩	基性岩	中性岩	酸性岩
土尔肯和魏德波尔, 1961年	9.43	8.65	3.67 (正长岩)	2.96(富Ca) 1.42(贫Ca)
维诺格拉多夫, 1956, 1892年	9.85	8.56	5.85 (闪长岩)	2.70
平均	9.64	8.61	5.85(闪)、3.67(正)	2.80(富Ca)、1.42(贫Ca)

可见随岩浆岩的基性程度降低而平均含铁量相应降低是一条事实规律。基性、超基性岩体中赋存（钒、钛）磁铁矿床，而酸性岩体则在接触带附近才形成磁铁矿床，与上述规律是有内在联系的。

铁在沉积岩中的平均含量 (%) 以粘土(6.5)和页岩(4.72)最高,砂页岩(3.33)其次,砂岩(0.98)及深海碳酸盐岩(0.9)又次,一般碳酸盐岩(0.38)最低,相差可达17倍。这可能与铁的外生富集形式有关:如胶凝吸附很重要,碎屑机械沉积、细菌还原作用各有其条件,而单纯的化学沉积更受特定的条件限制。

铁在土壤中的含量 以红土(含赤铁矿微粒)最高,某些热带地区(如古巴,几内亚)以产红土型残积铁矿闻名。以黑土(泥煤质、腐植质)和白土(纯灰岩、介壳砂岩或珊瑚礁风化)最低,前者因强酸性溶液使铁离子淋失而贫化,后者本身形成时就缺铁。

(三) 铁的共生元素和找矿指示元素

铁的共生元素 由于铁是最广泛存在的普通常量元素之一,它和自然界存在的所有元素都能伴生,因此不需赘述。至于在含铁矿物中可以与铁共生的元素,大体有下列情况:

(1)与铁结合的阴离子: S 、 As 、 Sb 、 (Bi) 、 (Se) 、 Te 、 F 、 Cl 、 OH 、 O 、 (C) 、 (N) (斜体者为主要,括号内为偶见,下同)。

(2)与铁结合的络阴离子: $[BO_3]^{3-}$ 、 $[CO_3]^{2-}$ 、 $[SiO_4]^{4-}$ 、 $[NO_3]^-$ 、 $[PO_4]^{3-}$ 、 $[AsO_4]^{3-}$ 、 $[SO_4]^{2-}$ 、 $[VO_4]^{3-}$ 、 $[CrO_4]^{2-}$ 、 $[MoO_4]^{2-}$ 、 $[WO_4]^{2-}$ 。

(3)与铁一起成阳离子与其他阴离子结合的: Mg 、 Ca 、 Sc 、 Ti 、 V 、 Cr 、 Nb 、 Ta 、 Mn 、 ΣPt 、(尤其是 Ru)、 Co 、 Ni 、 Cu 、 Zn 、 Al 、 Ga 、 In 、 Ge 、 Ag 、 Au 、 Tl 、 Sn 、 Pb 、 Th 、 U 、 (Be) (能与 Fe 类质同象的见下图)。

(4)能与铁一起成阳离子与其他络阴离子结合的: H 、 Li 、 Na 、 K 、 (Cs) 、 Mg 、 Ca 、 B 、 Al 。

(5)能与铁形成络阴离子存在于气液中的: F 、 Cl 、 $(HS)^{1-}$ 、 $(CO_3)^{2-}$ 、 $(PO_4)^{2-}$ 、 $(SiO_4)^{4-}$ 。总结起来与铁密切共生的是过渡元素,尤其是第四周期的过渡元素和铂族。此外, Fe^{2+} 与 Mg^{2+} 密切共生, Fe^{3+} 与 Al^{3+} 密切共生。重要的还有 O 、 S 、 As 、 F 、 Cl 、 P 和 Na 。

H	Mn — 与铁类质同象的元素															OH					
Li (Be)	Na — 与铁一起与阴离子结合的元素										B (C) (N)	O	F								
Na Mg	S — 与铁结合成阴离子的元素										Al	Si	P	S	Cl						
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As (Se)							
(Rb)		Zr	Nb	Mo			Ru	Rh	Pd (Ag) (Cd)	In	Sn	Sb	Te								
Cs		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt (Au) (Hg) (Tl) (Pb) (Bi)													
		Th	U																		

字略大者为主要的; 括号者为偶见的

铁的找矿指示元素 这方面成熟报道较少见到,试根据主要的铁矿物成份作探索性的剖析,仅供参考。

(1)磁黄铁矿、黄铁矿、白铁矿不是铁而是硫的矿石矿物,但对铁的集中、分散全过程有成因指示意义。这些矿物中 Co^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Cu^{2+} 可代 Fe^{2+} , As 、 Sb 可代 S 。另外磁黄铁矿中可含 Mn^{2+} 、 Zn^{2+} ,黄铁矿可含 Ag^{1+} 、 Au^{1+} ,白铁矿可含 Pb^{2+} 、 Tl^{1+} ($Tl^{1+} + As^{3+} \rightarrow Fe^{2+} + [S_2]^{2-}$,含 Tl 最高达0.1~0.2%)。

(2) 磁铁矿是重要的铁矿石(黑矿)矿物($\text{FeO} 31\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 69\%$, $\text{TFe} 72.4\%$), 具强磁性, 用磁法找矿最有效。在检查磁异常时可用指示元素判断不同的矿床类型。大体上高温类型组合元素比较复杂。磁铁矿中 Mg^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Co^{2+} 、 Cu^{2+} 可代 Fe^{2+} ; Al^{3+} 、 Cr^{3+} 、 V^{3+} 、 Mn^{3+} 、 In^{3+} 、 Ga^{3+} 可代 Fe^{3+} 。还有 $\text{Me}^{4+} + \text{Fe}^{2+} \rightarrow 2\text{Fe}^{3+}$ 的代换反应, 因此可含有 Ti^{4+} 、 Sn^{4+} 、 Ge^{4+} 、 Mn^{4+} 。不同成因的磁铁矿所含微量元素不同。如(钽、铌)磁铁矿多与基性、超基岩有关, 除V、Ti外, Cr、Ni、Co、Pt也可作指示。接触交代型磁铁矿可用 Zn^{2+} (偏中基性母岩)、 Sn^{4+} (偏中酸性母岩)作指示, 据实践, 磁铁矿生成温度愈高、时间愈早、深度愈大、矿石品位愈高, 则含锌量也愈高。沉积变质型磁铁矿可用Mn、Ge(Ge 平均含量0.001%, 比接触交代型高五倍); 在沉积变质型贫矿区找富矿, 可因富矿成因加选指示元素如Na、F、P等等。对于夕卡岩型、火山岩型磁铁矿化, 还可因伴生矿种不同而加选指示元素如Cu、As、P、B等。对每一具体矿化区, 需要先作试验。

(3) 褐铁矿无磁性, 磁法难找。为细分散、多矿物的胶体矿物集合体: 包括针铁矿(HFeO_2)、纤铁矿(FeOOH)、水赤铁矿($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot aq$)等等, 为 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 和 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 脱水胶凝生成。由于 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 为正胶体, $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 为负胶体, 因此可吸附数十种不同来源的正负离子。用褐铁矿中所含微量元素来找褐铁矿床意义不大。但是如发现褐铁矿中所含元素很多, 则证明极可能是铁帽型褐铁矿, 可根据元素的不同组合, 作为寻找深部其他原生金属矿床的良好指示。另外如其中某种元素含量特高, 本身也可形成矿床, 如铁帽褐铁矿型钼矿床。对于找寻现代的海底沉积金属矿床, 除分析锰结核外, 也应分析褐铁矿结核中V、Ni、Co、Zn、Mo、Pb、Ag、Cu等的含量, 作为寻找各该金属矿床的手段。这一原则对找寻古代沉积型褐铁矿也可适用。

(4) 赤铁矿含Fe70%, 是无磁性的重要富铁矿石(红矿)矿物, 用重力法找矿较有效。内生赤铁矿、镜铁矿、假象赤铁矿可用Ti、Mg及其他伴生的亲硫元素作指示。沉积赤铁矿可用Al、Ge(可达0.0015%)、Ga(可达0.005%)作指示。这方面缺乏经验, 需要普遍进行群众性的试验总结, 早日突破, 找到有效的指示元素。

(5) 菱铁矿($\text{FeO} 62.1\%$, $\text{Fe} 48.3\%$)是无磁性、焙烧后可成高质量的铁矿石矿物。菱铁矿与其他碳酸盐矿物肉眼不易区分, 但比重大, 风化后表面有褐铁矿染。可用重力法试验。内外生菱铁矿所含微量元素不同, 除Mg、Mn外, 可作指示的元素有Zn、Co、In、B($\text{In}^{3+} + \text{B}^{3+} + \text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{C}^{4+} + \text{O}_3$)。这方面也缺乏经验, 需要大力突破。

(6) 鲕绿泥石($\text{Fe}_4\text{Al}[\text{Si}_3\text{O}_{10}][\text{OH}]_6 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), $\text{FeO} 34.3 \sim 42.3\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 0 \sim 6\%$, 鲕绿泥石($\text{Fe}_{3+}^{2+}(\text{Al}, \text{Fe})_2^{2+}[\text{Si}_{2.5}\text{Al}_{1.5}\text{O}_{10}][\text{OH}]_6 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), $\text{FeO} 19.8 \sim 39.3\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 7.2 \sim 31.7\%$ 。两者都是沉积贫铁矿的矿石矿物。可作指示元素的有Ti、Mn、P等, 也需试验。

(四) 铁的内生找矿地球化学

(1) 基性、超基性岩(钕)钛磁铁矿床 与构造活动带和地台活化区的基性、超基性侵入杂岩有成因联系。岩体侵入深度较大时分异较好, 深度中等时可形成多层韵律。岩体或每一韵律层自上而下基性程度增加, 而钛磁铁矿化则多在岩体或每一韵律层偏下部的辉长岩相中, 这种岩相的化学成分特点是富Ti, 贫Ca、Al, 而Mg中等偏低, 这是玄武岩浆系列易熔的晚期低镁分异物。由于重力分异, 挥发分及Ca、Na、Al硅酸盐熔浆向上移动, 富Ti、

$$\begin{array}{ccccccc} 3(\text{Mg, Fe})_2[\text{SiO}_4] + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{CO}_2 & \rightarrow & (\text{Mg, Fe})_3[\text{Si}_2\text{O}_5][\text{OH}]_4 & + & \text{Fe}_3\text{O}_4 & + & \text{SiO}_2 \\ \text{橄榄石} & & \text{蛇纹石化} & & \text{磁铁矿} & & \text{石英} \\ + 3\text{Mg}[\text{CO}_3] & & & & & & \\ \text{菱铁矿} & & & & & & \end{array}$$

顺便提到，在碳酸岩和碱性岩与围岩发生交代作用的部位，有时也可发生磁铁矿、磷灰石和Ti、Nb、Ta、TR矿物的集中成矿。这时可用F、P、Ti、Nb、TR作指示，辅之以放射性测量。

以每个火山一次火山一侵入杂岩体为中心，在四周围绕岩体出现一组不同类型而彼此有统一成因联系的铁矿化（见图）。这种杂岩体深部往往联成整体，而在浅部则呈各种岩瘤、岩钟、岩穹窿或岩舌。就各个浅部单一岩体来讲，往往多为次火山岩相，各种矿化类型不完全具备，矿化程度也各不相同。就各类型统一联系起来看则如下图模式所示，这种较完备的复杂类型，只有过去称为“南山式”的铁矿床比较近似。其他各式矿床彼此关系如下：

②“凹山式”和“梅山式”铁矿床形成较晚于“陶村式”，系气液矿浆贯入岩体顶部直到围岩的裂隙和角砾岩带中充填交代成矿。在岩体顶部、边部，成网脉状、脉状、角砾状，直至致密块状矿化产出，下部可与浸染状矿化相连。蚀变以中期的透辉石—一次透辉石化、阳起石化、磷灰石化为主。矿石矿物有著名的阳起石—磷灰石—磁铁矿“三矿物”组合。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

(凹山式)或辉石—磷灰石—碳酸盐—磁铁矿组合,菱铁矿可交代辉石成其假象(梅山式)。

③“凤凰山式”和“梅子山式”铁矿床 这是岩浆与围岩接触交代(充填)形成的矿床。围岩为砂页岩时,充填比交代重要,发生各种角岩化(堇青石、红柱石、绿泥石、透辉石、金云母或钾长石),大部分磁铁矿发生“假象赤铁矿化”,并可有后期硫化物叠加(凤凰山式)。围岩为火山岩(安山岩、凝灰岩)时,交代比充填重要,可发生“类夕卡岩化”;石榴石较多,并有透辉石、绿帘石;但与真正的夕卡岩化尚有区别:无水夕卡岩矿物不甚发育;角砾状矿石普遍;矿石中普遍有磷灰石;赤铁矿比磁铁矿重要,说明成矿温度比夕卡岩磁铁矿床为低(梅子山式)。

④“龙旗山式”铁矿床 是岩体附近安山岩、凝灰岩等火山岩中的层状、似层状、透镜状赤铁矿—假象赤铁矿矿床。可能成因是:与火山岩同生的火山喷发沉积,赤铁矿与石英屑相伴,围岩发生铁质“碧玉化”;熔岩中铁质分离,集中成矿;最晚期的热液顺层交代,形成镜铁矿—石英透镜体,围岩发生绢云母化。

⑤“向山式”铁矿床 原生矿是岩体顶部火山岩中的黄铁矿矿床,氧化后才形成部分褐铁矿—赤铁矿矿床。围绕岩体顶部自上(外)而下(内)晚期中低温蚀变分带如下:青磐岩(变安山岩)化—高岭石—绢云母化(泥化)—硅化—硬石膏化—碳酸盐化—黄铁矿化。向山式铁矿即位于最下的黄铁矿化带中。



(4)夕卡岩多金属铁矿床 可参考夕卡岩多金属铜矿床,此处只补充讨论区分以铁为主、铁铜并重和以铜为主矿床的标志。据已有的零星报道,归纳如下:①与侵入体的“碱值”即 $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})\%$ 有关*,碱值 >9 的为单一铁矿床,碱值 $=9\sim8$ 的为铁铜并存、以铁为主,碱值 $=8\sim7.3$ 的为铁铜并存、以铜为主,碱值 <7.3 的为以铜为主(<7 铜钼、 $7\sim6$ 铜、钨);②母岩中偏基性(闪长岩)有利于铁,中偏酸性(花岗闪长岩、石英二长岩)有利于铜。侵入时代较早有利于铁,较晚有利于铜;③围岩蚀变:金云母化、透辉石—次透辉石化、阳起石化、磷灰石化与铁密切,绿泥石化、绿帘石化、黄铁矿化与铜密切;④镁夕卡岩与铁密切,钙夕卡岩与铜密切。深色夕卡岩带有利于找铁、浅色夕卡岩有利于找铜;⑤围岩和母岩中镁量接近平衡时有利于铁的集中。与磁铁矿共生的磷灰石 Sr/Ca 高有利找铁(表明 Ca 不足)**;⑥ $\text{Na}-\text{K}$ 有利于铁矿化(如钠长石化、钠闪石化、霓石化、钠柱石化),

* 据中南冶金地质研究所。

** 据桂林冶金地质研究所。

K>Na有利于铜矿化(如红色钾长石化);⑦夕卡岩铁矿化比铜矿化形成温度高,含挥发分F、Cl、B、P也高;⑧ $\text{Fe}^{3+}/\text{TFe}<0.5\%$ 可作找磁铁矿的定量指标(表明必须有相当比例的 Fe^{3+} ,才能形成 $\text{Fe}^{2+}+\text{Fe}^{3+}+\text{O}_4$) (据桂林所)。Zn、B、Co、Ni、V、Ti、Sn可作找铁指示,Cu、Ag、Au、As、Hg可作找铜指示。以上八条,有待于广大有关工作同志的补充与修正,得到实践的验证和理论的阐明。

(5)各种热液铁矿床 种类繁多,有各种温度(高、中、低)、各种产状(脉状、透镜状、不规则状)、各种形成方式(交代、充填)、各种矿石矿物(磁铁矿、赤铁矿、镜铁矿、菱铁矿,氧化后还可成褐铁矿)、各种围岩,并和各种主要铁矿床类型可有一定成因和空间上的联系。所谓“热液”是多成因的,有岩浆热液、火山热液、变质热液等等。热液铁矿床可以形成各种规模(以中小型为主)的富矿,但该类型矿石储量所占比重不大。其中重要的有特种高温气热交代型磁铁矿—赤铁矿—稀土碳酸盐矿床、围岩多暗色岩(辉长—辉绿岩)的高温热液磁铁矿床、中低温热液赤铁矿矿床、“玢岩铁矿”的“卫星矿”——热液磁铁矿—赤铁矿床,以及有时规模大、质量高、围岩多为碳酸盐岩石,值得重视的中低温热液菱铁矿床。不少热液铁矿床往往有后期硫化物的叠加,关于各该矿床的指示元素,需要因地、因成因制宜,来加以试验挑选。

(上接第36页)

(在砂光片中统计)

表6

粒级 (格数)*	颗粒数 (n)	系数 (K _i)	各级占有量 (P=nK _i)	含量, % (G=P/ΣP)	累计含量 (%)
32	3	32	96	8	8
32~16	13	16	208	17.33	25.33
16~8	54	8	432	36.00	61.33
8~4	72	4	288	24.67	86.00
4~2	66	2	132	11.00	97.00
2~1	29	1	29	2.41	99.41
<1	13	0.5	6.5	0.54	99.95
总计	251		1199.5	99.95	

*粒级中的格数为显微镜目镜十字丝刻度,镜头为6.3×16.5,每格长0.0106毫米。

用砂光片以直线法统计金的粒度时,为便于操作可直接读显微镜纵丝的格数,作图时横坐标可用对数坐标表示。某矿床金中的浸染粒度分析统计示于表6,根据表6数据作图7。

上述各种工作方法,其适用范围及优缺点

点本文评述得不多,在工作中可视矿区的具体情况以及所要求的研究程度,而采用其中的某些方法。同时在实践中还可不断的改正、完善以及摸索出更有效的工作方法。

(冯建良、付金宝整理)