

# 有机质在宣龙地区菱铁矿形成中的作用\*

刘敏<sup>1</sup> 陈志明<sup>2</sup> 陈其英<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(华东师范大学地理系,上海 200062) <sup>2</sup>(中国科学院地质研究所,北京 100029)

**提 要** 本文通过对宣龙铁矿中菱铁矿的分布和产状,化学成分,组构特征,碳氧同位素特征及与赤铁矿的生成关系等的分析,对区内菱铁矿进行了较深入细致的研究,进而提出宣龙铁矿中菱铁矿的形成是成岩期有机质对先成赤铁矿还原的结果,沉积物中高铁与低铁的关系直接取决于起还原作用并能把高铁转化为低铁的有机质数量。上述结论又得到了有机地球化学方面资料的证实。

**关键词** 宣龙地区 菱铁矿 碳氧同位素 有机质还原作用

**分类号** P 588.24

**第一作者简介** 刘敏 男 32岁 博士后 副教授 沉积地球化学

宣龙铁矿是中外有名的大型沉积型铁矿床,它以特有的矿石类型和组构为中外地质学家所瞩目。近年来,随着生物(有机质)成矿作用研究在中国广泛而深入的开展,人们已经较普遍地认为宣龙铁矿中的赤铁矿是菌藻微生物直接参与的结果<sup>[1,2,3,4]</sup>。但是,对宣龙铁矿中含量仅次于赤铁矿的矿石矿物菱铁矿却认识不一,发生争论,其关键是菱铁矿的成因问题。早在50年代,汪本善和陈丽容<sup>[5]</sup>就对宣龙式铁矿鲕状矿中的菱铁矿的形成,提出了“含有机质的氧化铁在还原条件下被改造而成菱铁矿”的成因解释;之后,陈志明等<sup>[6]</sup>在大量镜下观察的基础上,认为菱铁矿是沉积赤铁矿在成矿过程中被有机质还原而成。但是长期以来由于缺乏较直接的生物有机质参与的证据,仍然存在着原生沉积菱铁矿与成岩交代菱铁矿的争论。作者在参加叶连俊先生主持的“生物成矿作用与成矿背景”课题有关铁矿生物成矿作用研究中,对宣龙地区的菱铁矿的地质与地球化学进行了较全面的分析和研究,从而肯定了宣龙菱铁矿是原生赤铁矿在成岩阶段被有机还原所致的结论。

## 1 矿床地质概况

宣龙地区是指位于河北省宣化—龙关—赤城一带,地理坐标为东经114°10′到116°,北纬40°到40°50′,总面积近4000 km<sup>2</sup>。矿床处于华北准地台燕山

台褶皱西北部的宣龙拗陷内。其北界为尚义—赤城大断裂与内蒙地轴南缘相邻;西南侧在怀安马市口—右所堡一带与山西台隆相接,向南至涿鹿塔院到怀来杏林堡一带;东南侧为怀来官厅到赤城的断裂带与军都山岩浆岩相接,呈向南凸出,两翼残缺的月牙形。矿区地层主要有太古界桑干群,中元古界长城系、蓟县系,上元古界青白口系及中、新生代地层。侵入岩主要以燕山期酸性岩为主,区内局部地段受其影响,使赤铁矿变为磁铁矿,矿石变富。区内断裂构造发育,含矿层严格受断裂控制,分布在上述断裂的交汇区内。地层褶皱形态简单,为宽缓式复向斜。宣化向斜为主体,轴向近东西,轴线位于庞家堡至龙关一线。向斜的北翼经剥蚀,含矿地层出露地表且完整齐全;南翼多被中新生代地层覆盖,仅局部见矿层出露。

菱铁矿主要赋存于中元古界长城系串岭沟组串岭沟组一段为含矿岩系,厚0.6~6 m,由赤铁矿、菱铁矿、含铁砂岩、粉砂质页岩等组成。通常由三层或四层微生物铁岩与含铁石英砂岩、灰绿色伊利石石英砂岩和黑色炭质粉砂岩交替互层组成。

下矿层:主要为叠层石铁岩,下部含核形石和凝块石铁岩,总厚0.25~2.0 m。叠层石铁岩常形成层礁,最厚在龙关辛窑大东沟,可达1.2 m,延伸不超过1 km;有的呈透镜状岩礁。在大岭堡有菱铁矿核形石,顶部有菱铁矿叠层石。在庞家堡也出现有下部

\* 国家自然科学基金资助项目,生物成矿作用及其成矿背景(基金号:49132050)

收稿日期:1996-07-11

为赤铁矿叠层石, 之上有菱铁矿叠层石。

中矿层: 为粗核形石铁岩, 厚 0.60~2.58 m。在庞家堡核形石较大, 并分为两层。在宣化烟筒山, 其上部夹有凝块石和叠层石铁岩。在大岭堡核形石粒度较大, 可达 10 mm, 并出现菱铁矿核形石。

上矿层: 为细核形石铁岩, 厚 0.42~1.65 m。在龙关、三岔口和大岭堡一带核形石较大, 仅辛窑大东沟发育有叠层石铁岩, 厚达 0.85 m, 并向两侧迅速减薄尖灭。在底部和顶部, 菱铁矿核形石和微晶、细晶菱铁矿薄层发育。

顶矿层: 与上矿层相接, 为微晶或细晶菱铁矿岩和核形石菱铁矿层互层, 在龙关大东沟一带还有叠层石菱铁矿, 厚 0~0.35 m。

矿层围岩主要为含铁质石英砂岩, 愈近矿层铁质愈多, 一般呈胶结物或核形石出现。核形石多已挤压变形。在含矿岩系上, 由下至上, 含铁质石英砂岩逐渐过渡为灰黑色至灰绿色伊利石石英砂岩和伊利石粉砂岩。在有些地方灰绿色、灰黑色伊利石石英砂岩或粉砂岩直接覆盖矿层上, 使围岩与矿层含较多菱铁矿。

## 2 矿石类型及特征

根据组成菱铁矿的结构构造、矿物组分等特征, 可以将宣龙地区的菱铁矿划分为几种主要的矿石类型, 包括叠层石菱铁矿和核形石菱铁矿等生物结构类型, 以及微晶菱铁矿。

### 2.1 叠层石菱铁矿

产于各种叠层石赤铁矿的上部或顶部, 与其下叠层石在形成上具有延续性。由柱体和充填物两部分组成, 叠层石柱体直径为 4~40 mm, 柱高 10~150 mm, 柱间距 0~10 mm。柱体分叉方式有简单平行分叉、加粗平行分叉和扩散分叉。常见的叠层石形态属有层状的 *Nucleola*, *Stratifera*, 层柱状的 *Gruneria*, *Parmites* 和 *Omachtenia*; 柱状的有 *Parainzeria*, *Eucapsiphora*, *Inzeria*, *Pangjiapuella*, *Kussilla* 和 *Cryptozoom*。组成柱体的叠层石基本层为穹形, 基本层主要成分为菱铁矿及少量的赤铁矿、微晶石英以及粘土矿物等, 其特有的明暗基本纹层界线模糊, 甚至缺失。柱间充填物主要为泥晶、微晶菱铁矿、碎屑石英、微晶石英(玉髓)及赤铁矿等。

### 2.2 核形石菱铁矿

主要分布在含铁岩系的上部和顶部, 处于核形石赤铁矿向粉砂质页岩或页岩的过渡带, 或者处于

核形石赤铁矿向泥晶、微晶菱铁矿的过渡部位。粒屑成分主要由菱铁矿核形粒组成。核形粒一般大小为 0.5~2 mm, 小者仅 0.1 mm, 大者可达 10 mm, 平均大小为 1.5 mm 左右, 粒度比较均匀, 有分选现象。粗核形石呈条带状分布。核形粒形状规则, 多呈球形、椭圆形、扁球形, 有时受后期挤压而呈豆荚形, 破裂呈鸟嘴形。有的呈网格状, 推测可能为藻菌脱水收缩所致。核形粒由核心和同心纹层组成。核心多为单核, 复核少, 有时无核。核心成分一般为碎屑石英和微生物赤铁矿岩碎屑, 也有微晶菱铁矿岩和石英砂岩岩屑以及微晶石英, 有的还出现鲕绿泥石。同心纹层由亮暗基本纹层相间出现, 反复交替而成。亮层主要由非晶质二氧化硅、菱铁矿、赤铁矿、鲕绿泥石和少量的粘土组成。暗层主要由赤铁矿, 少量菱铁矿和有机质残余组成。亮暗层厚度差别不大, 一般在 0.005~0.01 mm, 薄者仅 0.002 mm, 厚度可达 0.02 mm, 同心纹层层数也不一样, 一般十几层, 多者几十层, 少者仅 1~2 层, 最多有 150 层。纹层呈同心状包裹, 可连续追踪。另外还有一种纹层, 稀疏模糊, 断断续续, 亮暗层界线不甚清晰, 但纹层轮廓仍然可见, 若将暗层放大 100~400 倍, 可见暗层中赤铁矿和菱铁矿呈断续的波纹状或凝块状。基质成分主要为细微晶菱铁矿和石英碎屑及微晶石英。

### 2.3 细微晶菱铁矿

主要分布在含铁岩系的顶部或叠层石铁岩与核形石铁岩的夹层中, 并经常与核形石菱铁矿呈渐变过渡关系。缺少粒屑成分, 主要由细微晶菱铁矿构成。基质成分, 晶粒大小为 0.04~0.08 mm, 质纯, 几乎很少有陆源碎屑的混入。由泥晶菱铁矿经重结晶作用而变成的。

## 3 菱铁矿产出状况、基本结构和成分特点

由前所述, 宣龙地区菱铁分布很普遍, 在横向上, 从西部宣化、庞家堡, 直到东部龙关, 逐渐增多, 纵向上, 由下到上, 由分散状变为成状, 而且往往产于每个矿层的顶部或与赤铁矿密切共生, 甚至成层产出。

### 3.1 菱铁矿基本结构及显微特征

菱铁矿为浅灰白—浅黄白色, 由于风化作用, 常为浅褐色, 呈玻璃光泽, 透明—半透明, 它构成宣龙铁矿中次于赤铁矿的重要矿石矿物。区内菱铁矿的

产出,大体上可分为两大类,一是近乎成层分布的泥晶、微晶菱铁矿,在叠层石矿层或核形石矿层顶部;二是分布在叠层石或核形石的基本层、柱体空隙、核心、同心纹层及胶结或充填物中,常与赤铁矿、非晶质玉髓或石英等共生

第一种微晶菱铁矿层,通过对不同矿区薄片的详细观察,发现尽管它们的交代程度不同,但都具有典型的交代现象,菱铁矿为泥晶—微晶它形粒状,大小在 0.01~ 0.03 mm,在其颗粒上有保留有明显的赤铁矿残留体。

第二种是产在叠层石或核形石中的菱铁矿,根据对大量薄片的观察,菱铁矿交代赤铁矿现象非常普遍,表明菱铁矿几乎都是成岩期的产物。核形石中的菱铁矿几乎都是成岩期的产物。核形石中的菱铁矿在基质或沿同心纹层、核心发生交代,在镜下可见到基质(胶结物)菱铁矿呈微晶—显晶结构,个别晶体结晶程度高,呈镶嵌或环带状;核心由不规则的细微晶菱铁矿组成,并保存赤铁矿残留体;同心纹层有的交代不彻底,菱铁矿沿同心纹层方向上呈斑团块或细纹状断续分布,有的穿切或截断同心纹层,有的同心纹层及核心部位几乎全被菱铁矿所替代,赤铁矿仅残留极薄的外壳,个别还见有沿各种裂纹充填的菱铁矿,在柱间充填物以及基本层中发生交代,其方式与核形石中相似,如在基本层中见有菱铁矿穿切或破坏赤铁矿纹层

不管菱铁矿呈何种状态分布,其基本结构只有两种:纤状结构,这各结构较少,只在个别薄片

发育,菱铁矿多呈“火焰状形态”,内部具生长平行纹理,生长纹小于  $10\mu\text{m}$ ,生长方向与壁近于垂直,粒状结构,这种形态最普遍,它多呈泥晶、微晶—显晶半自形产出,可见菱铁矿平行生长纹。

### 3.2 菱铁矿与其它铁矿物的关系

根据镜下对菱铁矿与赤铁矿和其它铁矿物之间相互关系的观察,表明菱铁矿是成岩期的产物。菱铁矿与其它铁矿物的赋存特征及生成顺序如表 1

### 3.3 菱铁矿化学成分特征

表 2 是不同产状的菱铁矿的电子探针分析结果,从表中可以看出,研究区菱铁矿 FeO 含量从 44.038%~ 62.576%,按其成分可将它们分为菱铁矿<sup>(7)</sup>和富镁菱铁矿<sup>(8)</sup>。本区菱铁矿总的特点是  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的含量极低,甚至低于检测限。另外,与碎屑型菱铁矿矿床的不同是矿石中 MgO、CaO 及  $\text{MnO}$  的含量普遍较高。而  $\text{SiO}_2$ ,从镜下观察可知,不是来自陆源的石英碎屑,而是盆地中自生的非晶硅,后经重结晶而变为微晶石英。为了更好地了解菱铁矿的化学成分特征,我们又列出了不同产状的菱铁矿与原生赤铁矿在含 Fe、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 、Ca 及  $\text{Al}^{3+}$ 、Si 含量方面的差异(表 3)。

从表中可见,Fe 与 Mg 呈负增长,当  $\text{Fe}^{2+}$  含量少时,则菱铁矿便会有较多的 Mg,从而形成富镁菱铁矿。总的来看,基质中的菱铁矿(包括层状菱铁矿)含  $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 、Ca 较高,为 3.67,而藻体中菱铁矿相对  $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 、Ca 含量较少,在 0.73。上述特点可能与有机质含量以及交代作用早晚有关,因为藻

表 1 宣龙铁矿中菱铁矿与赤铁矿及其它铁矿物之产蝗生成关系

Table. 1 Generating relation of siderite and hematite as well as other iron minerals in the Xuanlong iron ore deposit

矿 特 征 物	菱铁矿 $\text{FeCO}_3$	赤铁矿 $\text{Fe}_2\text{O}_3$	磁铁矿 $\text{Fe}_3\text{O}_4$	鲕绿泥石
沉 积 期		—————		
成 岩 期	—————			—————
变 质 期		—————		
赋 存 状 态	粒状、纤状	粒状	粒状	粒状
产 状	核形石同心纹层、核心、胶结物、裂隙(石英或核形石)、裂纹(藻团);叠层石基本层、柱间充填物、矿层顶部成层分布,常截切或破坏纹层;核形石同心层、粒间胶结物、个别组成核心	叠层石基本层、柱间充填物、核形石同心层、粒间胶结物、个别组成核心	叠层石基本层、柱间充填物(少)、核形石及其胶结物(少)	纹层内、充填物、胶结物
共(伴)生组合	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ 鲕绿泥石	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeCO}_3$ 鲕绿泥石	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeCO}_3$
生 成 顺 序	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ — $\text{FeCO}_3$ 鲕绿泥石 $\text{Fe}_3\text{O}_4$			

① 刘敏,1995,宣龙铁矿地质地球化学特征及成因探讨,中国科学院地质研究所博士学位论文

体中含有更丰定的有机质,因此可以提供足够量的  $Fe^{2+}$ ,而基质(胶结物)中则有机质含量相对较少。从表中我们还可以看出,即使为同一产状,如在基质中,它们的成岩作用表现形式也不尽相同,即早期为菱铁矿,在镜下它们偏暗,晚期则为含镁或锰高的菱铁矿,镜下偏灰白,并形成环带结构,这种现象在研究区内菱铁矿中是常见的,因此不同成分及类型的菱铁矿又可以反映它们形成的沉积条件及成岩作用的早晚。

## 4 菱铁矿碳氧同位素特征

自然界中碳酸盐的氧和碳同位素组成取决于形成这种碳酸盐的水体同位素组成,水体的氧、碳同位素组成又直接反映了成岩或含矿流体的性质和来源。宣龙菱铁矿的碳和氧同位素组成具有明显的特征,菱铁矿的  $\delta^{13}C$  值(PDB)为  $-9.0\text{‰} \sim -11.74\text{‰}$ ,  $\delta^{18}O$  值(SMOW)为  $18.62\text{‰} \sim 22.7\text{‰}$ <sup>[8]</sup>。与其它地区的沉积-成岩菱铁矿的氧、碳同位素进行比较(图1),可见本区菱铁矿的特点是氧同位素

表 2 宣龙铁矿菱铁矿电子探针分析数据

Table 2 Electron probing analysis data of siderite of the Xuanlong iron ore deposit

类型	产状	样号	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	FeO	MnO	TiO <sub>2</sub>	NiO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
泥晶	层状	2-L	0.366	0.154	-	-	0.083	0.022	60.51	0.937	-	0.041	0.048
		94X-5	0.110	-	-	0.007	0.231	5.022	52.72	1.92	-	0.028	0.049
		2-2L	0.068	-	-	0.005	0.03	0.048	62.05	0.237	0.025	-	0.003
		1-2L	0.13	0.014	0.013	0.017	0.133	0.057	62.58	0.19	0.028	0.036	0.026
粒状	基质	94X-5	0.096	0.014	-	-	0.296	0.293	59.27	0.599	-	0.101	-
		94X-5	0.124	-	-	0.014	0.209	0.265	59.23	0.671	-	0.016	-
		1-2U	0.043	-	-	-	0.007	8.422	50.69	0.678	0.062	-	0.041
		1-2L	0.058	-	-	0.014	0.68	10.35	46.45	0.852	0.026	0.142	-
		1-2L	0.029	-	-	-	0.123	8.561	50.71	0.707	0.012	0.061	0.055
		1-2L	0.084	-	-	0.006	0.018	0.028	61.09	0.134	-	-	0.033
		1-2M	0.131	-	-	-	0.147	0.044	61.41	0.222	-	0.052	-
半白形	柱间	2-L	0.195	-	-	0.025	0.224	0.104	60.92	0.244	-	0.031	0.026
泥晶	核心	2-L	0.171	-	0.047	0.036	0.392	11.68	44.65	0.111	0.05	-	-
		1-2M	0.092	-	-	-	0.016	2.819	56.81	0.003	-	-	0.017
泥晶	裂隙	94X-5	0.102	-	-	0.038	0.188	0.295	59.82	0.757	-	0.113	0.015
泥晶	纹层	1-2L	0.157	0.031	0.01	0.016	0.633	4.472	56.3	0.082	-	0.032	0.01
		94X-5	0.96	0.561	0.081	0.042	0.297	1.718	56.78	0.092	-	0.117	0.009
显晶	纹层 栉壳	1-2U	0.038	-	0.007	-	-	3.019	58.42	0.844	0.013	-	0.007
		1-2L	0.069	-	-	0.017	0.049	2.994	58.25	0.748	-	0.059	0.023
泥晶	纹层	2-L	0.298	-	0.005	-	0.108	0.042	59.98	1.454	0.023	0.007	-
			0.392	0.164	0.03	0.049	1.907	8.691	48.35	0.209	-	0.032	-
			0.256	0.056	0.018	0.008	1.231	2.902	55.76	0.678	0.012	0.068	-
			0.512	0.166	0.016	-	2.095	6.951	49.44	0.125	0.031	0.10	0.035
		1-2L	0.069	0.036	0.022	-	0.428	0.387	64.47	-	-	-	0.01
			0.152	0.031	0.031	0.017	0.126	13.67	44.04	0.706	-	0.112	-
菱铁矿*		1	-	-			0.10	0.13	61.08	1.12	-	-	
		2	-	-			3.6	2.50	51.87	3.17	-	-	
富锰菱铁矿*		1	-	-			1.49	0.21	40.10	19.2	-	-	
		2	-	-					37.6	24.01	-	-	

\* 引自王濮等, 1987

组成明显高于地史时期同时代正常海相碳酸岩的氧同位素组成,而  $\delta^{13}\text{C}$  为较大的负值,与四川綦江土台平硐矿区的菱铁矿区的菱铁矿氧、碳同位素组成特征相一致<sup>[9]</sup>。

表 3 宣龙铁矿中菱铁矿与赤铁矿主要元素含量关系

Table. 3 Relation of main element contents between siderite and hematite in the Xuanlong iron ore deposit

矿 物 元 素	Fe	Mg+ Mn+ Ca	Al+ Si
原生赤铁矿 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	63.39 (64.14~ 67.26)	0.08 (0.05~ 0.12)	2.57 (2.12~ 2.37)
菱铁矿(基质)	41.89 (34.70~ 47.03)	3.67 (0.8~ 8.19)	0.38 (0.05~ 1.5)
菱铁矿 (藻何或纹层)	46.41 (44.70~ 48.03)	0.73 (0.33~ 0.91)	0.75 (0.05~ 0.13)

有机碳含量总的是很低,从 0.03‰~ 0.89‰,平均为 0.12‰。有机碳含量最高者为矿层顶板的黑色粉砂质页岩,含 1.89‰,其次为菱铁矿,含约 0.11‰,矿层底板最高可到 0.13‰,平均也在 0.08‰左右,矿层夹层灰绿色泥质粉砂岩及石英砂岩含量相对较少,在 0.03‰~ 0.12‰,平均 0.068‰。赤铁矿中有机含量最低在 0.04‰~ 0.05‰之间,该有机碳含量远远低于页岩(页岩平均有机碳为 0.99‰)和碳酸盐(碳酸盐有机碳平均 0.33‰)。从含矿岩系剖面上  $C_{\text{有机}}$  分布特点来看,  $C_{\text{有机}}$  与矿层中的铁含量呈明显的反相关。即  $C_{\text{有机}}$  在层底板要高于矿石中。由前所述菱铁矿与赤铁矿密切共生,矿石结构构造为菌藻叠层石(核形石),目前又发现了可靠的菌藻微生物化石,它们都已赤铁矿化,说明当时微生物活动很旺盛,现在测出的低有机碳含量,推测是有机质经过氧化降解所致,但并非是原始生物或有机质的真实反映。因此,这些数据一方面反映了原生矿石中有机质或生物体的强度,另一方面反映了在成岩过程中有机质的消耗程度,上述特征表明生物对成矿元素的预富集以及成矿过程中有机质对成矿元素还原的体现。

## 5 菱铁矿形成的有机作用及成因讨论

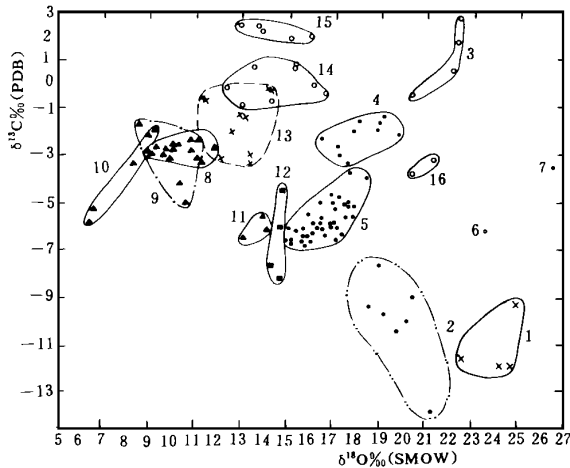
### 5.1 菱铁矿中的有机质分布特征

菱铁矿产于一套海相碎屑岩向泥质岩过渡的海侵岩系中,与泥质岩(粉砂质页岩)、赤铁矿关系密切。从含矿岩系中有机碳分布背景来看,含铁岩系中

为了进一步了解菱铁矿矿石的有机地球化学行为,我们又对铁矿石进行了氯仿提取及干酪根分离,饱和烃气相色谱分析显示,它们的 OEP 值介于 0.80~ 1.17,趋近或略大于 1,轻碳多,重碳少,碳数范围在 14~ 33 之间,主峰碳数  $\text{C}_{16}$ ~  $\text{C}_{18}$ , Pr/Ph 几乎都小于 1,在 0.73~ 1.15;干酪根红外谱线具有特征的主吸收峰  $2920\text{ cm}^{-1}$  和  $2850\text{ cm}^{-1}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  为  $-28.35\text{‰}$ ~  $-29.84\text{‰}$ ,所有上述有机地球化学特征都反映了矿石中有机质的原始母质来自低等蓝绿藻和细菌。Pr/Ph 小于 1,又说明了明显的还原成岩环境。但是,由于矿石形成时代早,而且氧化作用较强,造成有机质提取和分离方面存在很大的难度,因此,有些理论和实践问题尚需继续探讨和研究

### 5.2 菱铁矿成因及讨论

通常认为沉积有机质  $\delta^{13}\text{C}$  大约  $-20\text{‰}$ ~  $-30\text{‰}$ <sup>[10,11]</sup>,大气  $\text{CO}_2$  的  $\delta^{13}\text{C}$  大约为  $-7\text{‰}$ ,海相碳酸盐沉积的  $\delta^{13}\text{C}$  为  $0\text{‰}$ 。宣龙菱铁矿的  $\delta^{13}\text{C}$  值(PDB)为  $-9.01\text{‰}$ ~  $-11.74\text{‰}$ ,推断菱铁矿矿石中重要的碳源主要来自沉积有机质的降解(产生富  $^{12}\text{C}$  的成矿溶液),可视为生物成因的标志。但本区菱铁矿的碳同位素又稍高于有机质,表明存在其它因素的加入。O Kita et al<sup>[12]</sup>将高于有机质碳同位素解释



1. 河北宣龙地区 2. 四川綦江 3. 贵州观音山和水槽子 4. 陕西大西沟 5. 贵州菜园子 6. 贵州珠市河 7. 贵州苦李井 8. 山东淄河 9. 云南化念 10. 云南鲁奎山 11. 云南王家滩 12. 吉林大栗子 13. 云南大红山 14. 江苏梅山和凤凰山 15. 湖北铁山 16. 河南银家沟

图 1 宣龙地区菱矿

与其它地区菱铁矿  $\delta^{13}\text{C}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  值比较

Fig. 1 Comparison of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  of siderite from Xuanlong and others

为它是来自有机质与正常海水 ( $\delta^{13}\text{C}$ ) 碳同位素两者的混合。Walker<sup>[13]</sup>测定了来自条带状铁建造中菱铁矿的碳同位素,并认为在亚氧带成岩环境中  $\text{Fe}^{3+}$  被还原的同时,将轻碳(来自有机质)带给了系统,结果  $\delta^{13}\text{C}$  值在  $-10\%$  左右。另外,对于不同成岩带中的碳同位素特征及其缺氧沉积物中有机物氧化阶段已早有研究<sup>[14, 15]</sup>,如表 4 所示。在亚氧作用带中,  $\delta^{13}\text{C}$  的值在  $-9\%$  -  $-11\%$  之间。因此,结合前述菱铁矿在剖面中的分布规律及镜下观察,表明本区菱铁矿无疑是成岩期有机质参与所至,由此也说明有机质在菱铁矿形成过程中起了重要的作用。

表 4 不同成岩带中的碳同位素组成特点

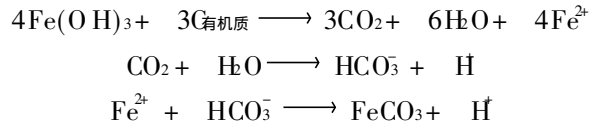
Table 4 Carbon isotope compositions in different diagenetic zones

带	作用	电子受体	$\delta^{13}\text{C}$
喜氧	氧化作用	$\text{O}_2$	+ 1到- 1
亚氧	N	$\text{NO}_3$	没有报道
	Mn	$\text{MnO}_2$	- 1到- 5
	Fe还原	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	- 9到- 11
厌氧	硫酸盐还原	$\text{SO}_4^{2-}$	- 14到- 18
	甲烷发酵		+ 9到+ 15
	热解		没有报道

(据 Froelich et al, 1979, Coleman, 1995)

宣龙地区菱铁矿不构成单一矿体,往往与赤铁矿、鲕绿泥石等共同级成工业矿体。根据菱铁矿的产出状况,如它们与赤铁矿密切共生,常产于其上部或顶部,以多种方式交代赤铁矿等现象,都表明菱铁矿并不是同生的,而是成岩作用的结果。菱铁矿的生成,必需有  $\text{CO}_3^{2-}$  和  $\text{Fe}^{2+}$ ,通常在氧化条件下,  $\text{Fe}^{2+}$  易氧化为  $\text{Fe}^{3+}$ ,因此,菱铁矿的形成要求有一个弱还原的环境。菱铁矿形成要求的特殊条件,菱铁矿很可能是生长在一种低 Eh 值 ( $-0.25\sim +0.35\text{V}$ ),硫化物活度为零,水循环严格受限制的环境里<sup>[16]</sup>。宣龙铁矿形成时的古地理特征表明,宣龙拗陷为一个半封闭的海湾环境,古地磁及古生物资料<sup>[17]</sup>则证明宣龙区串岭沟期位于  $22.8^\circ\text{N}$  的赤道附近,为典型的潮湿-炎热的气候,它非常适宜于喜氧微生物的大量繁盛,从而为铁矿的形成创造了一个合适的地质背景。在成岩过程中,硫化物活度很低的地方,有机质与沉淀的高铁化合物之间的反应,创造了有利于菱铁矿生成的条件。进入沉积物中的有机质,经

微生物的催化、分解作用而残留于沉积中的有机碳,还原沉积层中的  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  而生成菱铁矿,这一过程可用下列反应式表示:



沉积物中高铁和低铁之间的关系直接取决于还原作用并能把高铁转化为低铁的有机质的数量。而宣龙古海湾适宜的古地理环境对沉积物中的有机物含量和结构以及成岩孔隙溶液的流动,进而对菱铁矿形成、分布起着直接的控制作用。

致谢 本文承蒙导师叶连俊院士悉心指导。在论文撰写过程中,还得到了中国科学院地质研究所李任伟研究员,范德廉研究员,朱升泉副研究员及华东师范大学许世远教授的许多帮助和指导,在此,一并致以衷心的感谢。

#### 参 考 文 献

- [1] 朱世兴. 河北宣龙区的铁质叠层石及其意义. 中国地质科学院院报, 天津地质矿产研究所分刊, 1980, 1(1): 70~ 90.
- [2] 杜汝霖, 李凤臣, 李培菊等. 冀西北长城纪宣龙式铁矿层中微体植物化石的发现及其意义. 地质论评, 1992, 38(20): 184~ 188.
- [3] 刘敏, 叶连俊, 陈其英等. 宣龙铁矿地质地球化学特征及成因探讨. 沉积学及岩相古地理学新进展, 1995, 644~ 646.
- [4] 刘敏, 陈其英, 陈志明等. 宣龙铁矿生物成铁作用的初步研究. 沉积学及岩相古地理学新进展, 1995, 642~ 644.
- [5] 汪本善, 陈丽容. 宣龙区鲕状铁矿的若干特点. 地质科学, 1959, 8: 232~ 240.
- [6] 陈志明, 于洁, 侯奎. 冀西北宣龙地区菱铁矿成因. 地质科学, 1983, 4: 337~ 342.
- [7] 王濮, 潘兆麟等. 系统矿物学. 北京: 地质出版社, 1987.
- [8] 刘敏. 宣龙铁矿稳定同位素地球化学特征, 生物成矿作用研究. 北京: 海洋出版社, 1993, 150~ 157.
- [9] 陈志明, 李菊英, 王秀兰. 有机质在蓟江式菱铁矿床形成过程中的作用, 生物成矿作用研究. 北京: 海洋出版社, 1993, 119~ 126.
- [10] Hodgson, G W et al. Geochemistry of Porphyryins, Chlorins and polycyclic aromatics in soils and sedimentary rocks. Geochim. Cosmochim. Acta, 1968, 32: 732~ 772.
- [11] Berger, W H. and Vincent, E. Deep sea carbonates: Reading the carbon-isotope signal. Geologische Rundschau, 1986, 75: 249~ 269.
- [12] Okita, P M et al. Geochim. Cosmochim. Acta, 1988, 52: 2679~ 2685.
- [13] Walker, J C G. Suboxic diagenesis in banded iron formation. Nature, 1984, 309: 340~ 342.
- [14] Froelich, P N et al. Early oxidation of organic matter in

- pelagisediments of the eastern equatorial Atlantic suboxic diagenesis, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1979, 43: 1075-1099.
- [15] Coleman, M. L., Geochemistry of diagenetic nonsilicate minerals: Kinetic considerations. *Phil. Trans. Roy. Soc.* 1985, A: 315-39-56.
- [16] C. D. 柯蒂斯等. 沉积铁矿物的生成, 铁的地球化学. 北京: 地质出版社, 1980, 82-89.
- [17] 朱世兴, 邢裕盛等. 华北地台中上元古界生物地层序列. 北京: 地质出版社, 1994.

## The Role of Organic Matter in the Genesis of Siderite from the Xuanlong Area

*Liu Min*<sup>1</sup> *Chen Zhiming*<sup>2</sup> and *Chin Qiying*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (Department of Geography, East China Normal University, Shanghai 200062)

<sup>2</sup> (Institute of Geology, Academia Sinica, Beijing 100029)

### Abstract

Based on the analysis of siderite distribution, occurrence, chemical composition, structural characteristics, carbon-oxygen isotope characteristics and relationship between siderite and hematite, the paper made a systematic study of siderite in the region, and referred that the genesis of siderite in the Xuanlong area is the result of organic matter reducing primary hematite during diagenesis. The ferric and ferrous relation depends directly on organic Contents which can convert the ferrous into the ferric by erduction. The above conclusion was also proved by organic geochemistry data.

**Key Words** Xuanlong area siderite carbon-oxygen organic reduction

(Continued from page 66)

④ fractal dimension of log curves; ⑤ environment change from top to bottom of a zone; ⑥ sedimentation ratio; ⑦ sedimentary energy

#### ● Error Backpropagation Network

Notable feed-forward-pattern-classifiers were usually trained to recognize patterns via some types of error-back-propagation algorithm which was used to recognize microfacies in this paper.

#### ● Data Processing

A set of software used to recognize microfacies from well logs was developed. There are two major tasks in the software. One is network learning and the other is to recognize microfacies level-by-level.

#### ● Application

In Jish- Jif of the Changbei region in Liaohe Oilfield, 18 wells were processed and the results were wonderful.

**Key Words** well-logging microfacies neural network fractal geometry facies model