

6. 关于铜在气热溶液中气相搬运形式, 因实验条件和技术限制, 未能直接测定, 现据某些实验结果作如下讨论。

在300~550°C和50~480atm的范围内, 铜在纯水中的迁移量达30.5~40.9%, 表明CuCl₂具有较大的挥发性。从实验后溶液中Cu、Cl含量计算出其原子数比为1:2。因此, 铜以CuCl₂的形式迁移不可忽视。从图1c又看出, 随着温度从350°C上升到550°C, 压力从160增加到480atm, 铜在纯水中的迁移百分数从40.9逐渐降到30.5, 实验后溶液中发现有白色沉淀物, 说明铜的水解作用随着温度的升高而增大, 致使其迁移能力随之降低。但在相同温度、压力条件下, 铜在碱金属氯化物介质中迁移量往往高达50%, 从而有理由推测: 铜在碱金属氯化物介质的气热溶液中, 可能不是呈简单化合物, 而是以某种络合物形式被搬运的。这是因为络合物与简单化合物相比, 具有更大的热稳定性、溶解性和挥发性。关于铜的氯络合物形式, 据斑岩铜矿的成矿介质特点判断最可能的是K₂[CuCl₄]和Na₂[CuCl₄]。

综上所述, 富家坞、多宝山等一类斑岩铜矿床, 铜在气热溶液中气相迁移的有利条件是压力为170~490atm, 温度为350~600

°C, 流体介质为浓度低于9%的呈酸性的KCl、NaCl溶液。迁移过程中, 以二价铜的络合物为主(K₂[CuCl₄]、Na₂[CuCl₄]), 其次是化合物CuCl₂。

本实验是本所矿床室成岩成矿实验组与分析室三组协作完成。整个实验过程中得到了矿床室斑岩铜矿组, 分析室原子吸收光谱组和二组的大力支持; 贵阳地化所王玉荣同志对此项工作提出了宝贵意见, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- (1) 中国科学院贵阳地球化学研究所成岩成矿研究组: 铈、钼氟络合物在气热溶液中地球化学特征的实验研究(1972)
- (2) 冶金部地质研究所测温组: 江西德兴斑岩铜矿气液包裹体特征、成矿温度及“蒸发晕”找矿实验小结(1976)
- (3) 冶金部地质研究所成岩成矿实验组, 《地质与勘探》, 1978, No3, 18~23
- (4) 吴厚泽等, 《地质与勘探》, 1980, No7, 21~28
- (5) Souriajan S., Kennedy G. C. Am. J. Sci. 1962, 260, 2, 136
- (6) E. Dwin Roedder, Econ. Geol. 1977, V.72, No3, pp. 503~520

论海南石碌铁矿成因

冯建良 王静纯

广东海南石碌铁矿是我国的重要铁矿基地, 它以规模大、储量集中、矿石质量优良而著称。解放以来, 许多地质工作者在该区进行过大量地质工作, 解决了许多地质问题, 但对矿床成因却有较大的争论, 最初大部分同志认为是夕卡岩型铁矿床; 70年代初, 沉积变质铁矿的看法开始占优势, 但有不少同志则认为是火山沉积铁矿, 少部分同志认为是沉积变质热液加富, 个别同志则认为是热液矿床或热液倒贯矿床。自1976年海南富铁矿会战开始, 三年多来经过多方面的工作, 虽有少部分同志仍认为是火山成因的矿床, 但大部分同志都认为是沉积变质铁矿。不过对

铁质来源却有较大的争议, 一种认为铁质来自“远源火山”, 一种认为铁质来自“陆源”。各有其自身的说法, 均有一定的依据, 但都未能圆满解释一些地质现象。

我们认为石碌铁矿是受变质的“渗流热卤水”沉积矿床, 并企图用这一成因观点解释上述两种看法所解决不了的问题, 但是否正确, 有待实践证明, 同时恳切希望同志们提出批评。

矿床基本地质特征

矿区地层石碌群, 根据Rb—Sr同位素地质年龄测定为541百万年, 属中一早寒武世。

按岩石组合特征石碌群分为6层, 与上覆的C—P地层不整合。1至5层岩石组合简单, 6层较复杂, 主要铁矿体分布在6层的第二段($E_{1-2} SL_6^2$), 个别铁矿体分布在第四段($E_{1-2} SL_6^4$), 钴铜矿体分布在第一段($E_{1-2} SL_6^1$), 因此第六层可称为含矿层。

含矿层中透辉透闪石岩类分布较广泛, 构成铁矿体的主要围岩, 其中含铁(铁质)透辉透闪石岩往往呈铁矿夹层或为铁矿的顶底板, 铁矿下部的近矿围岩中常见绿帘石榴石岩、红帘石榴石岩等, 此外含铁(铁质)千枚岩, 变质含铁(铁质)粉砂岩也常在铁矿顶底板出现。石膏—硬石膏岩局部出现(CK 714钻孔见硬石膏层厚达十多米), 并与白云岩和赤铁矿构成微细的韵律性互层。重晶石是Ba的主要赋存形式, 分布极不均匀, 多以细脉状和薄层状产出, 富集地段呈似层状, 形成大型重晶石矿(枫树下铁矿体下盘)。碧玉常以星点状、团块状、似层状分布在铁矿体及其下盘的围岩中。岩石分布的最大特点是相变剧烈、组合多变、韵律清楚。岩石化学成分及微量元素含量见表1、表2。各类岩石中一般 $K > Na$ 、 $Ca > Mg$ 、 Mg/Ca 比值均 < 0.84 , Co 、 Ni 含量低, 而 Ni 总是大于 Co , Mn 、 Ba 含量高, C 含量低。

从区域上看, 矿床位于东西向大断裂和北西向断裂交汇处。矿区本身的褶皱构造为一北西—南东向的复式向斜, 西部褶皱紧密并扬起, 向东逐渐倾伏并开阔。复向斜由次一级的北一向斜、红房山背斜、石灰顶向斜组成。褶皱构造主要使矿体发生塑性变形, 重复加厚, 如北一矿体E₄线以西褶皱紧密, 形态复杂, 厚度加大(垂厚达430米)。矿体东部褶皱舒缓, 形态简单, 厚度变薄, 层数增多, 累计垂厚约100米。矿石及岩石广泛发育的显微挤压结构和揉皱结构亦显示了褶皱构造对矿床的影响。

断裂构造以北西向上冲断层和近南北向平移正断层为主, 前者较早, 后者较晚; 均为成矿后的断裂, 对矿床起破坏作用。

矿区南、北及西部被大片花岗岩(YB_6)环绕。属儋县岩体, 经K—Ar法和Rb—Sr法测定其年龄为80~249百万年, 分属印支

表1 含矿岩层各类岩石平均化学成分(%)

岩石名称	样品数	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	H ₂ O*	S	F	Cl	BaO	有机碳	石墨碳
透辉透闪石岩	24	54.72	0.56	9.26	3.67	4.30	0.37	9.98	8.45	3.81	0.24	0.01	1.10	2.18	0.33	0.062	0.052	0.54	0.256	
石榴石透辉石岩	7	37.41	0.44	7.09	19.90	8.53	3.12	12.95	2.67	1.41	0.23	0.09		1.19	0.43	0.11	0.03	0.49	0.11	
白云岩	8	3.47	0.042	0.52	1.71	0.72	0.09	29.02	20.61	0.16	0.20	0.05	43.27	0.35	0.07	0.01	0.02	0.061	0.17	0.23
蚀变白云岩	8	25.65	0.44	3.04	1.61	2.98	0.12	25.84	16.10	0.48	0.19	0.09	20.31	1.81				0.52		
大理岩	10	21.22	0.24	4.24	1.79	1.55	0.27	36.14	3.37	0.80	0.15	0.05	28.11	1.40				0.14		
含铁变质粉砂岩	15	86.34	0.30	3.49	8.32	1.55	0.20	1.32	0.92	1.27	0.08	0.06	0.13	0.71	0.06	0.017	0.017	0.34	0.176	
含铁千枚岩	9	53.81	0.65	13.69	17.29	2.62	0.34	1.61	1.14	4.33	0.37	0.10	0.61	1.63	0.16	0.045	0.014	0.394	0.115	1.20

表 2

含矿岩层岩石类型微量元素平均含量 (ppm)

岩石类型	样品数	Pb	Sn	Ga	Cu	Mo	Ni	Co	BaO	MnO	V ₂ O ₅	TiO ₂	F	Sr	Zr	Zn
赤铁矿矿石	107	42.9	18.9	9.4	59.9	3.0	30.7	8.3	5205.1	1124.8	48.4	1817.6	502.8	320.2	160.9	17.0
白云岩一大理岩	58	16.6	26.2	9.8	559.2	3.1	56.2	25.8	1526.1	2127.8	96.1	2443.4	790.0	261.7	74.5	39.3
硬石膏岩	6	16.0	14.7	12.3	18.5	2.8	18.5	5.3	873.3	2385.0	56.8	1791.7	783.3	1103.3	75.0	15.0
透辉透闪石岩	99	26.5	29.1	15.6	40.2	3.4	47.5	16.4	3942.6	3685.0	108.1	4974.3	1198.1	155.7	192.6	30.4
含铁千枚岩	40	30.6	16.8	21.6	81.8	3.0	32.5	6.0	4632.5	2041.1	104.5	6305.0	1240.0	110.5	242.8	24.5
变质含铁粉砂岩	88	42.9	18.1	10.1	141.1	3.3	40.2	22.7	3384.3	3055.8	99.8	3232.0	617.2	162.8	262.0	24.0

矿石自然类型化学成分 (%)

表 3

类型编号	矿石类型	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	Cu	Co	Ni	S	Ba
I	片岩赤铁矿型富矿石	10.35	0.22	0.33	86.89	1.10	0.10	0.22	0.16	0.00	0.04	0.009	0.008	0.001	0.003	0.190	0.57
II	块状赤铁矿型富矿石	10.79	0.23	0.52	80.23	1.96	0.09	1.30	0.62	0.04	0.09	0.036	0.012	0.005	0.003	0.557	3.16
III	磁铁矿型矿石	20.99	0.25	0.46	54.45	19.89	0.09	0.67	0.51	0.04	0.14	0.041	0.030	0.003	0.003	0.722	1.22
IV	磁铁矿赤铁矿石英砂岩型贫铁矿石	49.72	0.40	5.09	38.48	1.38	0.15	1.09	0.30	1.60	0.09	0.04	0.008	0.002	0.002		0.11
V	粉砂质千枚岩型赤铁矿矿石	20.33	0.44	4.46	70.67	1.02	0.05	0.33	0.40	1.00	0.28	0.053	0.010	0.00	0.003	0.029	<0.01

期和燕山期的产物。从野外分布来看,以印支期为主,燕山期为次。

本区大小铁矿体共数十个,钴铜矿体若干个,其中最大的为北一铁矿体(占全区铁矿储量80%)、一号钴矿体、一号铜矿体,北一铁矿严格受层位控制,呈似层状产出,与围岩界线明显,整合接触;上部多为优质低硫的富赤铁矿石,往下含硫增高,磁铁矿增多,局部可见1~2米厚的磁铁矿层,贫矿相对较多。镜下研究及化学分析资料表明,高硫的主要原因是重晶石含量增加。根据矿石结构构造、金属矿物种类的不同,可将矿石划分为5种自然类型(表3)。从表中可知各矿石自然类型的K、Na、Ca、Mg、Co、Ni含量都较低,但仍然是Ca>Mg, Mn、Ba含量较高,全区铁矿石BaO的平均含量为0.52%、MnO为0.11%,这是一个重要的特点。

矿床的成因

为了深入讨论矿床成因,必须注意下面几个问题。第一,矿床具明显的接触变质特点;第二,具有一系列的沉积特征;第三,还存在一些有别于正常沉积的现象。

(一)接触变质作用特征 从宏观上来看,矿区被大片花岗岩包围,如此巨大的岩体,其热量和温度梯度不可能不对矿床有影响,使矿床发生热接触变质作用。从岩石及矿物的变化特点来说亦有一系列反映,主要表现在:

1.普遍见到变余砂状、变余泥状及角岩结构,出现变质粉砂岩、透辉透闪石角岩、石榴石透辉透闪石岩、泥质角岩、长英质角岩、黑云母石英角岩、红柱石角岩等。

2.在赤铁矿石中常见磁铁矿变斑晶。

3.主要变质矿物的成分特征:

石榴石据7个电子探针分析及晶体化学式计算可知石榴石主要为钙铁榴石,个别为锰铝榴石。由国内外有关资料认为,钙铁榴石—钙铁榴石系列反映变质程度较浅,常出现在夕卡岩或硅钙质岩石中,而铁铝榴石—锰铝榴石—镁铝榴石系列出现在区域变质作用岩石中。本区石榴石主要反映岩石遭受热接触变质作用的特征。

透辉石据14个化学分析及晶体化学式计

算,投影在 $MgSiO_3-FeSiO_3-CaSiO_3$ 三角形图解(图1)中,可知本区辉石大部分为透辉石,少量次透辉石及钙铁辉石,但透辉石中往往或多或少的含有铁,其 $FeSiO_3$ 分子的含量大约是2~12%。透辉石多产于接触变质岩中,少数产于区域变质岩中,而次透辉石、钙铁辉石则产于接触变质岩。据此认为本区透辉石—钙铁透石系列反映岩石曾遭受接触变质作用。

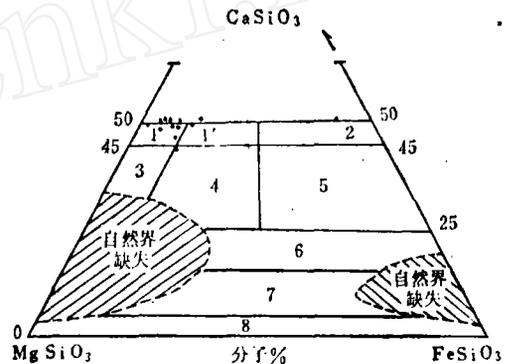


图1 Ca—Mg—Fe(±Al)单斜辉石的分类和命名

1—透辉石, 1'—次透辉石, 2—钙铁辉石, 3—镁质普通辉石, 4—普通辉石, 5—铁质普通辉石, 6—富钙普通辉石, 7—易变质辉石, 8—斜顽辉石—斜紫苏辉石—斜铁辉石

透闪—阳起石过去认为是透闪石,但经7个单矿物电子探针分析及晶体化学式之计算,大部分应属透闪—阳起石,其中含所 $Ca_2Fe_3(Si_4O_{11})_2(OH)_2$ 分子为6~7%,少量阳起石,含 $Ca_2Fe_3(Si_4O_{11})_2(OH)_2$ 分子为10~34%。该系列矿物出现亦标志着本区岩石曾遭受接触变质。

(二)矿床的沉积特征

1.原岩性质 综合石碌群地层的岩石组合特点,可将本区分为板岩—千枚岩—片岩类、变质粉砂岩—石英岩类、大理岩—白云岩类和透辉透闪石岩类。前三类岩石明显可见原始沉积水平层理,变余砂状、变余泥状结构、蠕虫状结构,未见确认的火山岩成分。按A.西蒙南岩石化学分区(al+fm)-(C+alk)-Si分布图解(图2),此三类岩石的投影点分别落于厚层泥岩区、砂岩区及钙质沉积区附近,可以认为它们是正常沉积产物。第四类岩石由于亚类较多,矿物成分复杂,

全分析22个，与本区的透辉透闪石岩岩石化学全分析49个一起进行了判别分析(表4)。

三种岩类判别分析结果 表4

岩石类别	变沉积岩 (1)	火山岩 (2)	透辉透闪石岩 (待判)
样品数	82	22	49
归入类	1	6	31
	2	16	18
归入概率	90%	73%	63%

从表4可知，透辉透闪石岩类基本上判入变沉积岩；其归入概率虽仅有63%，但考虑到变沉积岩和火山岩归入概率也只有90%和73%，因而结果基本可信；⑤岩石化学全分析在图2基本投影在钙质沉积物区，少部分落入厚层泥岩区、砂岩区和火山岩区。落入火山岩区的样品经镜下观察，未见火山岩成分，可能与蚀变较强有关；⑥B.E.利克等人认为在副变质岩中，尼格里系数Mg与微量元素Co、Ni、Ti、P的关系为负相关或无规律，而在正变质岩中则表现为正相关。本区透辉透闪石岩的Mg与Ni、Co、Ti、P的关系为负相关或无规律，表明为副变质岩。

最后，本区四大类岩石的 $(al-alk)$ 与C的关系图解(图3)与阿尔卑斯沉积岩和变沉积岩的图解(图4)极为相似，说明本区几类岩石的原岩均为正常的沉积岩。

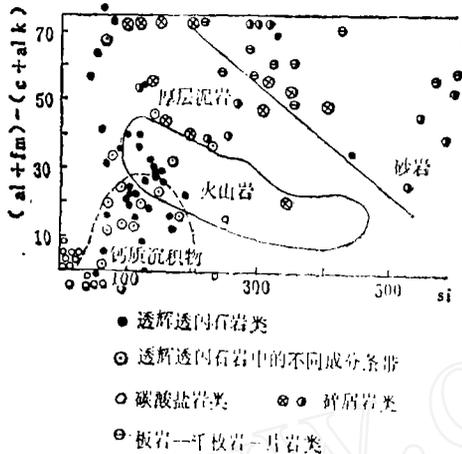


图2 不同成因类型岩石化学分区中 $(al+fm)-(c+alk)$ 与si的分布图解 (据A.西蒙南, 1953)

原生结构保存较少，因而对其原岩性质争论较大。我们认为这类岩石乃是陆源和海相混合沉积的产物。其依据有：①野外产出呈层状或似层状，可见千枚岩或含铁千枚岩的夹层，有时有变质含铁粉砂岩的夹层，夹层厚薄不等，层理清楚。可见明显的纹层状、条带状构造，局部可见变余砂状结构；②钾长石在确定原岩性质上是有争议的矿物。其产出有两种形式，一为与透辉石或透闪石相嵌出现，颗粒较粗，另一种与楣石组成条带，颗粒极细，经电子探针对13个样品的分析， $K_2O > 15\%$ ， $Na_2O \leq 0.3\%$ 。因而，可肯定是钾长石，而非钠长石。对10颗粗粒钾长石用费氏台四轴解理法在 $\perp(010)$ 光轴面上测定 $(-)$ 2V均大于 60° 。这肯定不是高温钾长石或透长石。根据王德滋的意见，只有沉积岩中自生的钾长石成分很纯， Na_2O 的含量不超过0.3%。由此看来，这种钾长石应为低温钾长石。细粒钾长石未能测定2V，但它的成分与粗粒一致，故也应是低温形成的产物；③锆石一般呈滚圆一次滚圆状。据中国科学院华南科研队对锆石表面结构的电子显微镜观察，表面有拖痕、擦痕，均为搬运痕迹；④为了与典型的变沉积岩和火山岩进行岩石化学成分对比，我们搜集了苏联太梅尔前寒武纪陆源沉积物岩石化学全分析52个，阿盖尔州北内普代尔泰瓦利奇半岛变沉积岩化学全分析30个，国内大红山、谢尔塔拉、拉拉厂、白乃庙等地火山岩岩石化学

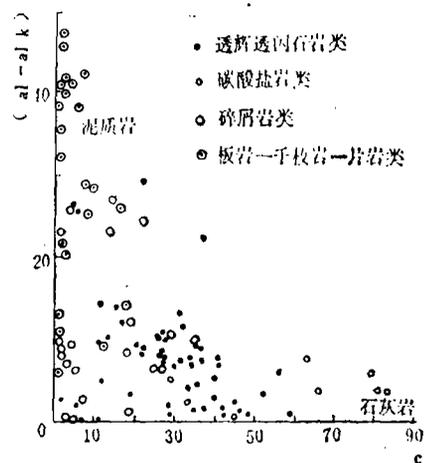


图3 $(al-alk)$ 与C的关系图解

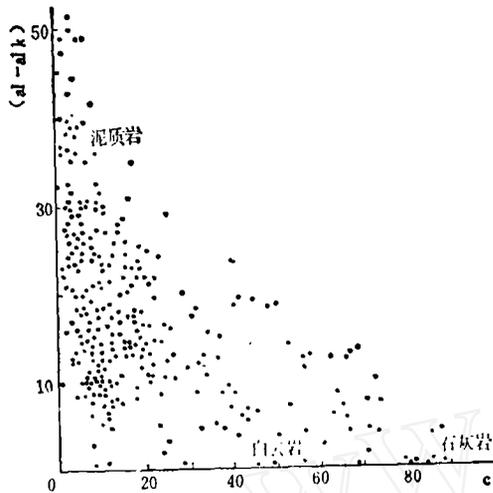


图4 阿尔卑斯沉积岩和变沉积岩的 (al-alk) 与C关系图解

2. 矿体基本上呈似层状产出, 由西向东延伸, 从CK719、CK724钻孔见矿的情况来看, 往东延伸还有一定距离, 可能直至F₇断层, 而CK702、CK717、CK666、CK667四孔见矿则预示着下部矿层可能延伸到石灰顶向斜而与南六铁矿相连, 构成一个较稳定的铁矿层位。铁矿与围岩为连续沉积, 没有斜交或穿插现象, 沉积后同受构造变动影响而形成同步褶曲。矿石以块状构造为主, 条带状、纹层状为辅。在贫矿石中普遍可见鲕状结构, 脉石矿物大部分为粉砂砂屑。

3. 用均化法测定含铁石英岩中的石英颗粒, 7个温度数据为140°C、235°C、243°C、293°C、473°C、465°C、591°C。用炸裂法测定赤铁矿矿石中的石英碎屑, 在300±~800°C均有不大连续的包裹体爆炸声, 爆炸曲线显犬齿状, 与一般的热液矿物的峰状曲线不同, 没有一定的规律性, 也不同于本区脉石英的爆裂区间(240~300°C), 其温度范围跨越了从热液到岩浆的温度。上述两种产状的石英碎屑显然来源于形成温度不同的母体, 显示了正常机械沉积的特征。

4. 据矿体和围岩153个硫化物及29个硫酸盐类矿物硫同位素测定结果认为: ①本区富集S³⁴(即δS³⁴‰是正值), 仅有绢英片岩和白云质灰岩的个别样品δS³⁴‰为负值; ②地层与铁钴铜矿体硫化物硫同位素组成分布区间为: 地层δS³⁴ = -3.8~20.9‰, 铁矿δS³⁴ = 0.2~19.5‰, 钴铜矿体δS³⁴ =

10.7~17.3‰, 按姜齐节等人的统计资料: δS³⁴ = -10~+10‰可作为岩浆来源硫化物同位素组成的常见值分布区。与此相比, 本区的硫化物为非岩浆来源; ③硫同位素组成在频数直方图(图5)上的分布特点是数据离散大, δS³⁴值的变化达20%左右, 不出现塔式分布。就一种硫化物的单矿物数据来说, 也是离散的, 并不构成各自独特的分布区(图6), 这些均显示了沉积矿床的特点。

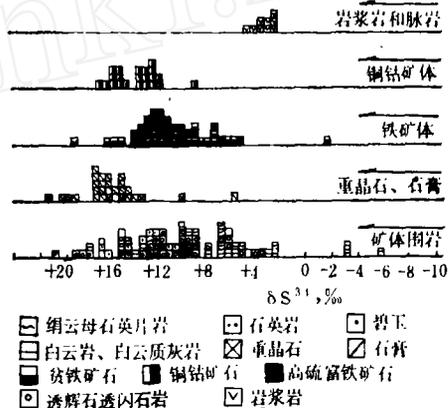


图5 石碌矿区岩石、矿石硫同位素组成频数图

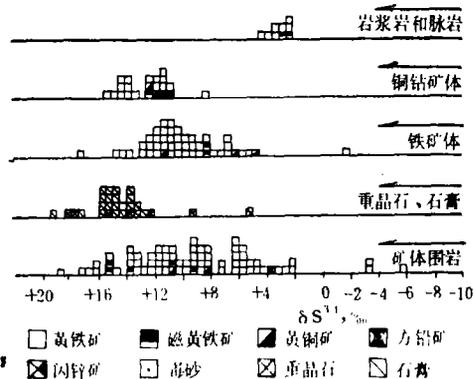


图6 石碌矿区硫化物硫酸盐硫同位素组成频数图

5. 17个赤铁矿、16个磁铁矿和15个石英的氧同位素分析结果表明: 赤铁矿δO¹⁸‰的变化范围是2.32~9.11; 磁铁矿δO¹⁸‰ 2.43~10.87; 石英δO¹⁸‰ 6.35~19.49。总的来看变化范围较大, 与澳大利亚哈默斯铁矿(δO¹⁸‰变化范围: 赤铁矿-2~1, 磁铁矿1~5, 石英(硅质)20.2~22)及我国罗河铁矿(磁铁矿δO¹⁸‰变化范围3.40~6.13)、弓长岭铁矿(磁铁矿富矿δO¹⁸‰-2

~1, 磁铁贫矿 0~1) 这些明显与火山岩或热液有关的铁矿不同, 表现出沉积铁矿的特征。

(三) 有别于正常沉积的地质现象 石碌铁矿虽具有一系列的沉积特征, 但却仍然存在一些用沉积说所不能解释的地质现象:

1. 北-主矿体虽以似层状在一定范围内稳定分布, 但矿体的厚度和厚度梯度较大, 延伸距离短, 只是孤立的矿化, 在区域范围内没有一个稳定的分布层位。其它次要矿体一般呈透镜状、叠瓦式排列。这些与一般的沉积铁矿有明显的差别。

2. 铁、钴铜矿床共生, 同时存在着铁矿在上、钴铜矿在下的空间关系, 就目前所知国内外沉积铁矿中, 这种关系是罕见的。

3. 碧玉与铁矿关系比较密切。在铁矿中碧玉有时以薄层状与铁矿相间出现, 有时呈团块状分布在铁矿中, 有时则呈质点状与赤铁矿共生; 总之, 形态多样, 分布不匀, 局部相当富集(南六铁矿)。碧玉的成因虽然是多样的, 但作为一个正常的沉积矿床, 一般很少出现碧玉, 以这样的形式产出也是少见的。

4. 铁矿石的脉石矿物除粉砂石英外, 还有硅质、碧玉、硬石膏、重晶石、透辉石、透闪石。可见硅质团和铁质团。含铁石英岩的石英颗粒和贫铁矿石中的石英碎屑见有云雾状的赤铁矿质点分布, 这也是正常沉积铁矿所不具备的。

5. 铁矿石及近矿围岩中 Ba 的含量都较高。各岩石类型及矿石类型 BaO 含量见表 1、表 3。据我国宣龙式铁矿、宁乡式铁矿、华弹式铁矿, 各含煤地层中的沉积铁矿资料, 它们均无重晶石高含量富集的记载。这说明石碌铁矿高含量重晶石的存在, 是非正常沉积铁矿所具有的特征。

综上所述, 石碌铁矿不是一个正常的沉积铁矿床, 但在矿区范围内缺乏确认的火山岩存在, 因而也不是一个火山成因的铁矿; 至于热液矿床, 不但地质特征不具备, 而且也找不到与矿床形成时间相同而又有成因关系的岩体, 所以矿床也不应是热液成因。为此, 我们提出受变质渗流热卤水沉积矿床的成因观点来解释这种“非此非彼, 亦此亦彼”的地质现象。

(四) 渗流热卤水成矿的基本特征 根

据近年来对红海凹地中现代成矿作用和富含重金属现代热卤水的研究, 说明热卤水成矿的可能性是存在的。从 1964 年起, 国外一些学者就先后对这些问题提出了自己的见解。据目前我们收集到的资料, 对渗流热卤水成矿的基本特征认识如下:

1. 热卤水中所含主要阳离子为 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{+2} 、 Mg^{+2} 及少量重金属元素, 主要阴离子为 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- (及其相应的络阴离子) 及少量 F^- 、 Br^- 、 I^- , 还有未离解的 H_2SiO_3 、 HBO_2 等。根据其阴离子含量不同, 可将卤水分为氯化物型水 (以 Cl^- 为主)、硫酸盐型水 (以 SO_4^{2-} 为主)、重碳酸盐型水 (以 HCO_3^- 为主)。当各类水中

$\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ 及 $\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-$ 均 ≤ 0.01 时称为高纯氯化物型水, 这种卤水可以通过成岩作用、地下水渗流作用及溶解蒸发盐岩而形成, 是一种独立于火山 (岩浆) 成因卤水以外的卤水。高纯氯化物型水的成矿可能性最大, 它广泛分布在油田卤水、深地层水及蒸发盐湖卤水和溶解蒸发盐岩卤水中, 因而具有广泛的意义。

2. 高纯氯化物型卤水成分的特点是 $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ 、 $\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-$ 均小于 0.01, $\text{Ca} > \text{Mg}$, $\text{Hg}/\text{Ca} < 1$, 重金属 Ba 的含量较高, 如英国和加拿大 823 个油田水样中, 含 Ba 较海水高 2~3 个数量级, 我国四川盆地侏罗纪凉山层油田水含 Ba 高达 5367 毫克/升, 而 SO_4^{2-} 为零; 又如阿尔伯达北部深地层水中 Ba 含量较高 (0.3~150 ppm)、平均达 14.3 ppm, 高于海水中 Ba 400~500 倍、英国诺森伯兰—达腊弗煤田内—600 或—1000 英尺以下有含 Ba 的卤水, Ba 含量高于 1750 ppm, 美国弗吉尼亚西部克雷斯顿中晚石炭世地层中一个深 1402 英尺的钻孔中的卤水含 Ba 高达 1550 ppm。由于氯化钡具有很高的溶解度和稳定性, 有利于钡的长距离迁移和在水中聚集, 因此热卤水成矿的一个重要特点是富含重晶石 (部分火山热液矿床及近源火山沉积矿床除外)。

3. 渗流热卤水沿断裂减压带上升、渗流的过程, 不断从围岩中淋滤出多种重金属元素, 因而它的矿化组分比正常沉积铁矿要复

杂,往往伴有锰铜铅锌钴或稀土的沉积,有时还可出现硅质岩、碧玉和硅质矿石。

4.由于热卤水的运移、上升、渗流都受到断裂构造的控制,因而它们的成矿位置往往与构造有关,并局限于一定范围,出现孤立矿化,矿化厚度和厚度梯度大,上百米的矿化可在短距离内尖灭。

5.渗流热卤水矿床硫同位素组成常见值分布区与岩浆(火山)成因的矿床有明显差别(岩浆 $\delta S^{34} = -10 \sim 10\%$)。在频数直方图上的分布特点,如果数据离散大, δS^{34} 值的变化达20%左右,单一硫化物数据也是离散的,并不能构成各自的分布区,与一般沉积矿床无甚差别,如果硫同素组成不出现塔式分布,且相邻类似矿床变化很大,则有别于岩浆热液矿床;如果离散范围不大,不呈现典型的脉冲式弥散分布,又不类于沉积矿床。

以上所说渗流热卤水沉积铁矿的成矿特点与石碌铁矿的沉积特征及用沉积说所不能解释的地质现象相对照,无疑矿床成因应属渗流热卤水沉积铁矿,非沉积的地质现象恰好是这种类型铁矿的成因标志。

沉积环境分析

渗流热卤水上升至海底时,海底的氧化还原电位及酸碱度对铁矿的沉积一定有重大的影响,因而分析沉积环境会有助于了解石碌铁矿大而富的原因。含矿岩系的沉积环境可从下列几点进行讨论。

1.贫铁矿石及变质含铁粉砂岩和含铁千枚岩普遍发育鲕状结构,但鲕粒并不标准,同心环常成单环和双环,极少数出现多环,鲕粒椭圆、半圆或次棱角形,鲕核及鲕环的成分除石英及赤铁矿外,还有透闪石、透辉石、绿泥石、碳酸盐等矿物。围岩中普遍发育微斜层理和水平层理。这些特点反映了浅海相的沉积特点,同时亦说明当时沉积环境不甚稳定。

2.矿物相分布,由下而上依次为硫化物相(黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、其它含钴硫化物)一磁铁矿相(磁铁矿为主,少量赤

铁矿)一硫酸盐相(硬石膏、石膏、重晶石)、一赤铁矿相(赤铁矿为主,少量磁铁矿),具垂直分带。伴随矿物相分带,岩层(矿层)的垂直分带也大致有一定规律,由下而上为碳酸盐岩(含钴铜或构成钴铜矿体)一贫铁矿为主的赤铁矿体一石膏、硬石膏岩、重晶石岩一含磁铁矿条带的透辉透闪石岩一磁铁矿体一富铁矿为主的赤铁矿体。这反映沉积环境由碱性到酸性、由还原至氧化的变化过程。这种沉积特点只有在比较封闭的环境、海水循环受到限制、蒸发量大于降水量的情况下才能具备,这正是浅海海湾一泻湖相的反映。

3.通过微量元素的因子分析,可知矿石和各类岩石都出现了Ba—Sr的共同因子。Ba—Sr的共生组合反映了盐类矿床的沉积特点,本区虽不是盐类矿床,但这个组合的出现,起码反映了蒸发量大于降水量。

4.在含矿岩系中生物化石种属贫乏,经多年的地质工作及近期的富铁会战,只在石碌群第六层上部碳酸盐的炭质板岩夹层中找到了石碌虫化石。这说明当时的沉积环境盐度较高,不利于生物的生存。

综上所述,含矿岩系($E_{1-2}SL_3$)的沉积环境是海湾泻湖相。铁钴铜矿的沉积模式是在东西向及北东向断裂交汇处,形成“海沟”或“洼地”,渗流热卤水沿此薄弱地带向上运移和渗流;同时溶解了围岩的大量重金属,矿液浓度不断增高,到达水体后,由于沉积环境为一海湾泻湖,卤水不易为海流冲淡、扩散,重金属不断集中,首先在还原条件下沉积了黄铁矿、含钴黄铁矿、黄铜矿及其它含钴的硫化物,形成大型钴矿和小型铜矿。此时的pH值约9.52~10.20*。由于地壳缓慢上升,海水逐渐退却,还原环境逐渐变为半还原一氧化环境,沉积了磁铁矿及部分赤铁矿,这时的pH值约8.72~9.12*,地壳继续上升,最后转化为氧化环境,沉积了大量的赤铁矿,形成了大而富的铁矿床。这时的pH值是8.80~9.20*。

*中南矿冶学院测试,1978年。