

霍各乞铜多金属矿床的地质-地球化学 特征及矿质来源

余金杰

杨海明 叶会寿

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京)

(中国地质大学, 北京)

提 要: 霍各乞铜多金属矿床的地质-地球化学特征表明该矿床为有海底喷气参与的同生沉积作用所形成。区域变质及岩浆热变质作用对矿床改造也极为明显, 但成矿物质重新活化、迁移、富集基本限于含矿层中。改造的结果使得矿床的硫、铅同位素产生均一化作用。

主题词: 铜多金属矿床 海底喷气 均一化作用 霍各乞

霍各乞铜多金属矿床发现于50年代末, 随着第二轮找矿工作进行, 发现了一些新事实, 有可能对矿床成因提出一些新看法。

1 矿区地质概况

霍各乞矿区出露地层为中元古界狼山群第二、三岩组, 主要岩石类型有黑云母石英片岩、二云母石英片岩、碳质板岩、千枚岩、红柱石云母石英片岩、透辉石透闪石岩、石榴透辉石透闪石岩、石榴黑云母石英片岩、石英片岩、条带状碳质石英岩、硅质岩、石英岩、斜长角闪岩、钠长绿泥片岩、钙质绿泥片岩。岩石均经历了绿片岩相-低角闪岩相的区域变质作用。由老至新分述如下:

第二岩组 (Pt_2I_2): 本组又分为三段。第一岩段 ($Pt_2I_2^1$) 以高碳千枚岩、千枚岩为主, 夹大量顺层钠长绿泥片岩、钙质绿泥石英片岩及少量灰岩透镜体, 分布于矿区北部及一、二号矿床之间广大区域 (图1), 厚度300m。第二岩段 ($Pt_2I_2^2$) 为主要含矿地段, 岩石组合有碳质板岩、条带状碳质石英岩、硅质岩、透辉石透闪石岩, 厚度180m。本段出露不稳定, 有的矿床只出露以上岩层中几类。第三岩段 ($Pt_2I_2^3$) 为矿床顶板岩石, 岩性包括二云母石英片岩、红柱石二云母石英片岩及混染二云母石英片岩, 厚度190m。

第三岩组 (Pt_3I_3): 为薄层石英片岩、厚层石英岩、块状石英岩, 分布于矿区北部大敖包及南部摩天岭一带, 厚度400m。

矿区分布的钠长绿泥片岩、钙质绿泥片岩、角闪岩、斜长角闪岩的原岩为拉斑玄武岩, 它们只出现在第二岩组第一岩段中, 片理与围岩一致, Sm-Nd等时年龄 $1491.1 \times 10^6 a^{[1]}$ 。

矿区岩石经历了三期变形, 按组成褶皱的变形面特征及样式、方位可分为:

第一期褶皱 (f_1): 变形面 S_0 , 枢纽 $212^\circ \sim 238^\circ \angle 5^\circ \sim 30^\circ$, 轴面倾角 $60^\circ \sim 80^\circ$ 。

余金杰, 男, 26岁, 助理研究员, 1991年于中国地质大学(北京)研究生毕业。现从事矿田、矿床构造地球化学研究。邮政编码: 100037

1991年8月收稿, 1992年4月二次修改回

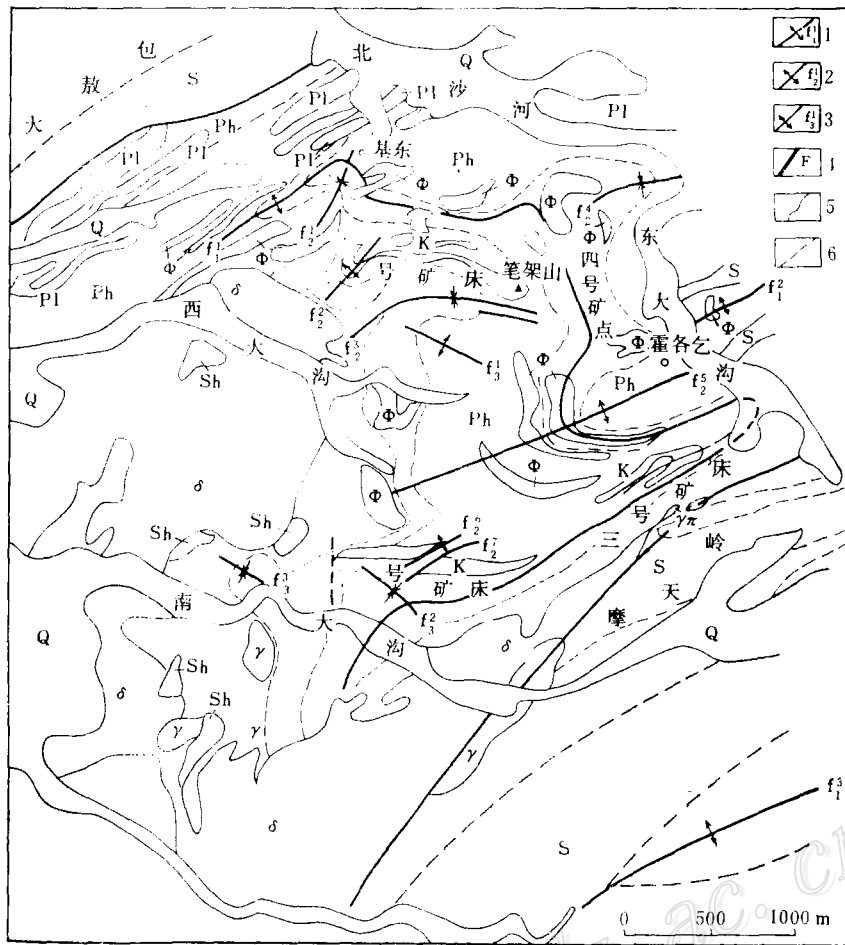


图 1 霍各乞铜多金属矿区地质构造略图

Q—第四系；Pl—绿泥片岩；Φ—角闪岩；K—矿体；Sh—黑色石英岩；S—石英岩；γπ—花岗斑岩；γ—花岗岩；δ—闪长岩；1—第一期褶皱轴迹及编号；2—第二期褶皱轴迹及编号；3—第三期褶皱轴迹及编号；4—断层；5—地质界线；6— S_1 走向线

Fig. 1. Geological sketch map of the Huogeqi copper-polymetallic ore district.

Q—Quaternary; Pl—Greenschist; ϕ —Amphibolite; K—Orebody; Sh—Black quartzite; S—Quartzite; $\gamma\pi$ —Granite porphyry; γ —Granite; δ —Diorite; 1—Axial trace of 1st stage fold and its serial number; 2—Axial trace of 2nd stage fold; 3—Axial trace of 3rd stage fold; 4—Fault; 5—Geological boundary; 6—Trend line of S_1 .

第二期褶皱 (f_2): 变形面 S_0 或 S_1 , 枢纽 $216^\circ \sim 244^\circ \angle 60^\circ \sim 80^\circ$, 轴面倾角 $70^\circ \sim 80^\circ$ 。

第三期褶皱 (f_3): 变形面 S_1 , 枢纽 $310^\circ \angle 70^\circ \sim 80^\circ$, 轴面倾角约 $70^\circ \sim 80^\circ$ 。

其中, 第一期褶皱之后, 第二期褶皱之前, 形成了霍各乞—那仁宝力格 (超出图 1) 韧性剪切带。

矿区西南及北侧分布有大规模海西期花岗岩 (全岩 K-Ar 年龄 345.8×10^6 a)、花岗闪长岩、晚元古代闪长岩 (黑云母 K-Ar 年龄 772×10^6 a)。受其影响, 矿区地层在区域变质作用基础上叠加有接触热变质作用, 形成红柱石、透闪石、透辉石等热变质矿物。

矿区共有四个矿床 (点)。经内蒙古有色地质勘探公司 511 队证实, 一号矿床是以铜为

主的铜、铅、锌、铁矿床, 二号矿床是以铅、锌为主的铅、锌、铜、铁矿床, 三号矿床是以铁为主的铁、铅、锌、铜矿床, 四号仅见铅锌矿化。这里以一号矿床为例, 由老至新对含矿层层序叙述如下: (1) 碳质板岩, 是赋存铅锌的特定层位, 铜达不到工业品位, 为最底部的含矿层, 长 1750m, 平均厚度 16m; (2) 下条带状碳质石英岩、硅质岩, 是铜矿体赋存层位, 铅、锌含量低, 达不到工业品位, 长 550m, 平均厚度 15m; (3) 透辉石透闪石岩, 是铅、锌、铁的赋存层位, 铜在本层中达不到工业品位, 长 1300m, 平均厚度 34m; (4) 上条带状碳质石英岩、硅质岩, 是铜矿体赋存的“特定”层位, 铅、锌含量低, 一般达不到工业品位, 分布于最顶部。长为 1400m, 平均厚度 26m, 走向 NE 70°~80°, 倾向南, 倾角 70°。以上各层之间为整合接触。

2 矿床地质特征

2.1 矿体形态、产状

2.1.1 矿体呈层状、似层状、透镜状, 形态比较简单, 与地层产状一致, 具明显的成层性和沉积控制特点。

2.1.2 矿体厚度与含矿层厚度成正比关系, 有的整个含矿层都是矿体。

2.1.3 矿体和含矿层因受成矿后变形作用影响, 形成和围岩协调一致的褶皱形态使矿体倾角大大变陡, 并使矿体局部加厚、品位变富, 见图 2。

2.2 矿石的矿物成分、结构、构造

前面已叙, 不同的含矿层赋存有不同矿种的矿体, 因而矿物成分也不尽相同, 详细情况见表 1。

矿石主要构造是: ①浸染状构造: 金属矿物呈稀疏浸染状到稠密浸染状沿岩石的原始层理或片理分布; ②层纹条带状构造: 金属硫化物沿碳质板岩板理、条带状碳质石英岩的透辉石透闪石条带或碳质条带分布, 界线清晰, 层纹宽小于 3mm, 但是延长可达 10m 以上; ③细脉充填和细脉浸染状构造: 金属矿物呈脉状穿插于非金属矿物中及金属矿物浸染于非金属矿物颗粒缝隙间的小质点, 汇集成的小脉; ④网脉状构造: 金属矿物沿裂隙充填成网脉状形式。另外, 还有块状构造、角砾状构造等。

矿石结构有: ①变晶结构: 其中有自形变晶结构、半自形变晶结构、他形变晶结构; ②交代结构: 其中有交代残余结构(如黄铁矿、磁黄铁矿往往被黄铜矿交代而呈残余)、交代溶蚀结构(如半自形—它形的磁黄铁矿被方铅矿交代呈溶蚀结构)、交代骸晶结构(如方铅矿交代毒砂而成骸晶结构); ③固溶体分离结构: 其中有乳滴状结构, 黄铜矿在磁黄铁矿中, 磁黄铁矿或黄铜矿在铁闪锌矿中呈乳滴状分布; ④文象结构: 磁铁矿与透辉石组成文象状,

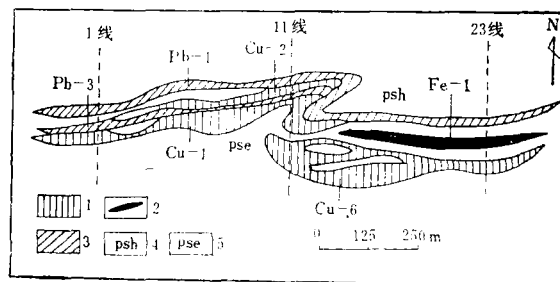


图 2 霍各乞一号矿床 1914 中段平面图

(据内蒙古有色地勘公司 511 队, 1978)

1—铜矿体; 2—铁矿体; 3—铅矿体; 4—黑云母石英片岩; 5—二云母石英片岩

Fig. 2. Plan view of 1914 level of No. 1 ore deposit of Huogeqi.

1—Copper orebody; 2—Iron orebody; 3—Lead orebody; 4—Biotite quartz schist; 5—Two-mica quartz schist.

表 1 霍各乞矿床中矿物成分表
Table 1. Mineral composition of the Huogeqi
ore deposit

含矿层	矿物成分 矿体	原生金属矿物			次生金属矿物	非金属矿物 (物质)
		硫化物		氧化物		
		主要的	次要的			
条带状碳质石英岩、硅质岩	铜矿体	黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿	斑铜矿、方黄铜矿、毒砂、钛铁矿、方铅矿、铁闪锌矿	磁铁矿	褐铁矿、孔雀石、自然铜、赤铜矿、铜蓝	石英、透闪石、透辉石、碳质
透辉石透闪石岩	铅锌矿体	方铅矿、铁闪锌矿、磁黄铁矿	黄铁矿、黄铜矿	磁铁矿、金红石	白铅矿、铅矾、菱铁矿、赤铁矿	黑云母、绢云母、白云母、碳质、透辉石
碳质板岩	铅锌矿体	铁闪锌矿、方铅矿、磁黄铁矿	黄铁矿、黄铜矿、毒砂、斑铜矿	磁铁矿、褐铁矿	赤铁矿、铅矾、菱铁矿	石英、碳质、绢云母、透闪石
透辉石透闪石岩	铁矿体		黄铜矿、磁黄铁矿、铁闪锌矿、方铅矿	磁铁矿		铁闪石

Cu—Pb(Fe)—Cu—Zn的分带现象，与同生沉积矿床的韵律分带相一致；③矿石结构为微晶、细晶结构，构造为浸染状、层纹条带状构造。据阎积慧(1986)研究，金属硫化物结晶细小，对五个矿体的统计表明粒度小于0.3 mm者占95%以上。以上几点表明矿床为沉积产物，矿床的海底喷气成因将在下文叙述。

2.3.2 区域变质改造期 ①矿体水平面上呈“Z”形(详见图2)，为后期变形所致；②同生沉积成因的微晶、细晶结构的矿石被变质改造为中晶—粗晶结构，并有斜切层(面)理的细脉状、网脉状构造，但不切大层，表明没有新的成矿物质参与。这种硫化物细脉、网脉是由原始沉积的硫化物重新活化、迁移、富集的产物；③镜下见金属矿物间的穿插关系。

2.3.3 岩浆热液改造期 ①海西期花岗岩大面积侵入，矿体围岩直接与花岗岩接触，同时引起硫化物活化、迁移再富集，生成斜切层(面)理的细脉。这种细脉与区域变质作用生成的细脉不易区别；②透辉石透闪石岩为热变质作用产物(冶金部天津地质调查所，1983)；③热变质作用矿物透辉石、透闪石、石榴石的出现，表明其变质温度为600℃以上，高于绿片岩相温度。

2.4 围岩蚀变

围岩蚀变主要有透辉石化、透闪石化、硅化、重晶石化、绢云母化、方解石化、绿泥石

方黄铜矿在黄铜矿中组成条纹、格状结构；⑤具有交代特征假象的黄铁矿沿磁黄铁矿{1010}解理分布，因受外力作用而发生塑性变形。假象黄铁矿系由磁黄铁矿转化而来，在弯曲解理中充填有黄铜矿。方铅矿三组解理造成的黑三角形空穴规则地排列成弯曲状，反映矿物解理受后期作用发生了弯曲。

2.3 成矿期次的划分

霍各乞矿床经历了海底喷气沉积成矿期、区域变质改造期和岩浆热液改造期，各期次划分依据如下。

2.3.1 海底喷气沉积成矿期

①矿体呈层状、似层状、透镜状产出，与围岩整合；②Cu、Pb、Zn、Fe基本受层位控制。Fe(Pb)受透辉石透闪石岩控制，Cu产于上(下)条带状碳质石英岩、硅质岩中，Pb、Zn产于碳质板岩中。含矿层自上向下有

化。与矿化有关的围岩蚀变有硅化、透辉石化、透闪石化、重晶石化。

本区围岩蚀变仅是变质作用对矿床(体)的改造, 所赋予的一种热液特征。围岩蚀变有无矿化, 取决于产出的层位是否有足够多的矿质。

3 黄铁矿、磁黄铁矿中微量元素组成特征

根据前人大量统计结果认为, 沉积成因的黄铁矿、磁黄铁矿中 $Co/Ni < 1$, $S/Se > 200000$ 。内生成因的黄铁矿、磁黄铁矿中, $Co/Ni > 1$, S/Se 为 $100000 \sim 200000$ 。

表 2 黄铁矿、磁黄铁矿中 Co、Ni、S、Se 含量 (%)

Table 2. Cobalt, nickel, sulfur and selenium contents of pyrite and pyrrhotite (in percentage)

序号	岩石名称	测试矿物	矿物共生组合	Co	Ni	S	Se	Co/Ni	S/Se
1	二云母 石英片岩	Py	黄铜矿、 磁黄铁矿、 黄铁矿	0.0120	0.0280	51.08	0.00043	0.43	118791
2	透辉石岩 ^①	Po	黄铜矿、 磁黄铁矿	0.0215	0.0140	39.79	0.00023	1.54	173000
3	透辉石岩	Po	黄铜矿、 磁黄铁矿	0.0190	0.0140	39.78	0.00029	1.36	137172
4	透辉石岩	Po	黄铜矿、 磁黄铁矿	0.0100	0.0093	36.5	0.00024	1.08	152083
5	绿泥石 石英片岩	Po	磁黄铁矿、 黄铁矿、 钛铁矿	0.0460	0.0500	39.43	0.00030	0.92	131433
6	灰岩	Py	黄铁矿	0.0050	0.0120	50.10	0.00047	0.42	106595
7	绢云母 石英片岩	Py	黄铁矿	0.0060	0.0150	48.25	0.00060	0.40	80417
8	石英岩	Po	磁黄铁矿、 黄铜矿	0.0068	0.0100	37.44	0.00050	0.68	74880
9	二云母石 英片岩	Po	磁黄铁矿、 黄铁矿	0.0040	0.0300	51.06	不存在	0.13	

① 表中透辉石岩相当于文中透辉石透闪石岩; 据冶金部天津地质调查所 1978 年内部资料
矿物代号: Py—黄铁矿; Po—磁黄铁矿

从表 2 可以看出, 霍各乞矿床中黄铁矿的 $Co/Ni < 1$, 反映为沉积成因, S/Se 为 $80417 \sim 118791$, 又似乎为内生成因。磁黄铁矿 S/Se 为 $74880 \sim 173000$, 表中 2、3、4 号样品的 $Co/Ni > 1$, 反映为内生成因, 5、8、9 号样品的 $Co/Ni < 1$, 又反映出沉积成因。黄铁矿、磁黄铁矿中 Co/Ni 和 S/Se 比值分别显示热液和沉积作用的双重特征, 亦有力地证明了区域变质及接触热变质作用对矿床发生了一定程度的改造。

4 海底喷气成因证据及矿质来源

4.1 海底喷气成因证据

已经积累起来的大量实际资料和野外地质关系的研究证明,与块状硫化物矿床有关的各种硅质岩、长石岩及(含)电气石岩等均属热液沉积岩^[2]。霍各乞矿床能见到硅质岩和(含)电气石岩。

4.1.1 前人所说的条带状碳质石英岩有一部分为硅质岩。野外观察它具有非常发育的沉积条纹状构造,由硅质和碳质相间排列显示出来;镜下石英颗粒间边界平直,结晶程度差,粒度微细且很均匀。

我们知道石英阴极发光有三种类型:①具紫色、兰紫色、兰色的阴极发光,为高温石英,形成温度 $>573^{\circ}\text{C}$,往往产于火山岩、深成岩及接触变质岩中;②具褐色阴极发光的石英,形成温度为 $300\sim 573^{\circ}\text{C}$,往往生成于区域变质岩中;③不发光的石英,为成岩过程中形成的自生石英。霍各乞部分条带状碳质石英岩经阴极发光照射后,石英颗粒大部分不发光。如果确是一般沉积变质的石英岩,石英颗粒会发蓝光或褐色光,并且会有次生加大现象,但本区样品不发光或有少量发褐色光,应为自生石英。

4.1.2 电气石在含锌碳质板岩、条带状碳质石英岩、硅质岩、顶底板云母石英片岩中分布普遍,其含量超过20%的为电气石岩,但大多为含电气石岩(电气石 $<20\%$)。电气石镜下

表3 霍各乞矿床电气石电子探针分析结果(%)

Table 3. Electron microprobe analyses of tourmaline from the Huogeqi ore deposit(in percentage)

编号	名称	位置	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Cr ₂ O ₃	NiO	FeO	P ₂ O ₅	BaO
1	电气石	内带	2.09	7.61	33.46	37.66	—	0.19	0.42	—	0.06	0.07	5.62	0.11	—
2			2.11	6.90	32.85	37.56	0.10	0.12	0.32	0.02	—	—	6.13	—	—
3	电气石	外带	1.85	9.74	31.79	37.36	—	1.41	0.71	0.13	0.25	—	3.88	—	—
4			1.40	10.24	29.08	39.07	0.99	2.24	0.14	—	0.02	—	3.05	0.04	—
5	电气石		1.17	4.06	33.89	35.46	0.12	1.43	0.93	0.03	0.08	0.14	7.44	—	0.20
6	电气石		1.35	4.28	32.72	37.83	0.03	0.08	0.20	—	0.06	0.28	8.68	—	0.47
7	电气石		1.48	6.89	32.27	39.89	—	0.01	0.40	—	0.17	0.02	4.64	—	—

中国地质大学(北京)电子探针室测试

呈它形一半自形晶,粒状或短柱状, N_o 为玫瑰色, N_e 为浅玫瑰色,反吸收性明显。在条带状碳质石英岩和硅质岩中,电气石具环带构造,内带 N_o —深绿色, N_e —浅玫瑰色,外带 N_o —黄褐色, N_e —浅玫瑰色。

一般情况下,与火成岩有关的脉状电气石是典型的黑电气石,而与块状硫化物矿床有关的层状电气石是镁电气石或者是镁电气石与黑电气石类质同象系列的过渡种属(Tayler, 1984)。在Plimer(1986)的Al-Fe-Mg(mol%)三角图上投点落入4区,在Ca-Fe-Mg

(mol%)三角图上投点落入8区(图3)。从上述投影区来看,霍各乞矿床的电气石位于镁电气石与黑电气石之间,但更靠近镁电气石,远离与火成岩有关的电气石成分区(图3中1、2、3区)。

4.1.3 CK111孔724.96~739.96m可见重晶石岩和重晶石化大理岩。

总之,硅质岩、(含)电气石岩和重晶石岩(重晶石化大理岩)的存在,均指示了矿床的海底喷气成因。

4.2 矿质来源

4.2.1 硫源 桑斯特用电子计算机处理了世界上110个层控矿床的2300个硫同位素数据,得出的结论是硫源主要是成矿时的海水硫酸盐,生物硫和深部硫不占主导地位。张乾研究了容矿岩石为泥岩-细碎屑岩型的海底喷气矿床的硫同位素组成,认为矿床的硫主要来自海水硫酸盐的分解,变化范围介于10‰~30‰^[5]。

笔者收集前人测定的硫同位素76个,按矿物成分及产状列于表4。从表4可以看出硫同位素有如下特点:①变

表4 霍各乞矿床硫同位素组成一览表
Table 4. Sulfur isotopic composition of the Huogeqi ore deposit

样品	$\delta^{34}\text{S}$ 变化范围(‰)	$\delta^{34}\text{S}$ 平均值(‰)
层状黄铁矿	10.6~23.5	17.78
脉状黄铁矿	-3.1~14.1	4.07
条带状磁黄铁矿	7.9~23.5	17.04
脉状磁黄铁矿	6.5~17.1	11.52
条带状黄铜矿	11.3~23.4	15.21
脉状黄铜矿	3.6~12.2	7.00
脉状方铅矿	7.5~20.9	13.84
脉状闪锌矿	12.0~21.1	16.55
重晶石	22.2	

李兆龙,叶会寿,511队资料综合

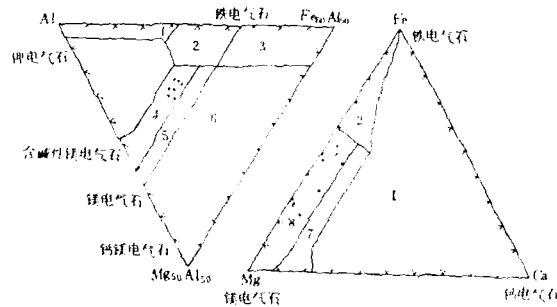


图3 霍各乞矿区电气石的Al-Fe-Mg图解和Ca-Fe-Mg (mol%)图解

(底图据I. R. Plimer, 1986)^[6]

- 1—富锂花岗岩、伟晶岩及细晶岩; 2—贫锂花岗岩、伟晶岩及细晶岩; 3—热液蚀变花岗岩; 4—含铝饱和矿物的泥质岩和碎屑变质岩; 5—变质泥岩与变质砂屑岩; 6—富铁电英岩、钙硅质岩及变质泥岩; 7—富钙变质泥岩; 8—贫钙变质泥岩、变质砂屑岩及电英岩

Fig. 3. Triangular diagrams showing composition of tourmalines.

- 1—Lithium-rich granite, pegmatite and aplite; 2—Lithium-poor granite, pegmatite and aplite; 3—Hydrothermally altered granite; 4—Argillaceous and psammitic metamorphic rocks containing aluminium-saturated minerals; 5—Metamorphic mudstone and psammite; 6—Iron-rich tourmalite, calc-siliceous shale and metamorphic mudstone; 7—Calcium-rich metamorphic mudstone; 8—Calcium-deficient metamorphic mudstone, metamorphic psammite and tourmalite.

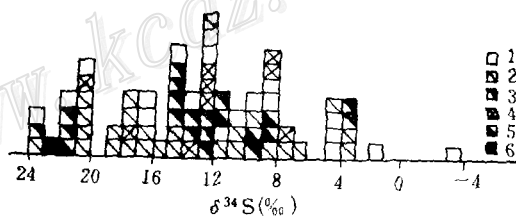


图4 硫同位素组成频率图

- 1—黄铁矿; 2—磁黄铁矿; 3—黄铜矿; 4—方铅矿; 5—闪锌矿; 6—重晶石

Fig. 4. Histogram of sulfur isotopic composition.

- 1—Pyrite; 2—Pyrrhotite; 3—Chalcopyrite; 4—Galena; 5—Sphalerite; 6—Barite.

化范围为 -3.1% ~ 23.5% ，平均值为 $+14\%$ 。除一个脉状硫化物为负值外，其余样品均为正值，且与零点偏离较大；②脉状硫化物以富轻硫为特征；③硫同位素变化大，在频率图上无明显峰值，呈波浪分布（图4）。

区域变质及热变质作用对矿床硫同位素有一定影响，促使硫同位素均一化，使脉状硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围缩小。至此，笔者认为霍各乞矿床的硫为海水硫酸盐分解所致。

表5 霍各乞矿床铅同位素分析结果表

Table 5. Lead isotopic composition of the Huogeqi ore deposit

样品号	采样位置及岩性	测试矿物	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	ϕ 值	模式年龄 (10^6 a)
H-4	第二岩组碳质板岩	方铅矿	17.179	15.474	36.945	0.6580	896.74
H-5	硅化大理岩	方铅矿	17.193	15.451	36.939	0.6551	886.77
H-8	透闪石岩 ^①	方铅矿	17.083	15.474	36.861	0.6662	961.59
H-10	透闪石岩	方铅矿	17.036	15.465	36.747	0.6690	986.98
H-11	透辉石岩	方铅矿	17.110	15.480	36.890	0.6646	951.07
H-12	碳质板岩	方铅矿	17.038	15.491	36.869	0.6722	1012.62
62-13	透辉石透闪石岩	方铅矿	17.027	15.465	36.783	0.6698	993.68
205-25	透辉石透闪石岩	方铅矿	17.060	15.517	36.915	0.6737	1024.17
CK111-6	块状黄铁矿矿石	黄铁矿	17.148	15.616	37.242	0.6787	1063.87
H-1-90	块状黄铜矿矿石	黄铜矿	17.224	15.727	37.669	0.6862	1121.36

① 表中透闪石岩相当于文中透辉石透闪石岩

H-1-90、CK 111-6 由中国科学院地质所测试；62-13、205-25 由核工业部三所测试；其它据李兆龙资料⁽⁴⁾

4.2.2 铅源 矿床内方铅矿的产状有两种：（1）与地层产状一致的似层状、透镜状铅锌矿体；（2）受构造裂隙控制的脉状矿脉。前一种占主导地位，后一种规模很小，一般几厘米至几十厘米，常插入条带状矿体中。

方铅矿、黄铁矿、黄铜矿的铅同位素数据见表5。从表5可以看出， $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 变化于17.027~17.224，极差0.097； $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 变化于15.451~15.727，极差0.276； $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 变化于36.747~37.669，极差0.922。可以认为矿床中铅同位素组成很稳定。

方铅矿的铅同位素平均值与黄铜矿、黄铁矿的铅同位素十分接近（表6），说明三者中的铅具有相似的经历或共同的来源。

用H. H法计算的铅同位素模式年龄值介于 $886.77 \times 10^6 \sim 1121.36 \times 10^6$ a（见表5）。方铅矿的模式年龄能否当作样品所在层位的形成年龄必须经过验证，判别标志有二⁽⁵⁾：一是具有代表性的样品的模式年龄必须一致，除非可证明有分幕的矿化作用；二是必须与其它方法取得的年龄相一致。就第二种判别标志而言，考虑到与成矿有成因联系的顺层展布的角闪岩、斜长角闪岩Sm-Nd等时年龄（ 1491.1×10^6 a）远大于铅模式年龄（ $886.77 \times 10^6 \sim 1121.36 \times 10^6$ a），而矿床本身又具有明显的同生成因特征，所以不能把上述铅模式年龄作为矿床的形成时代。

那么，矿床的铅同位素变化范围为什么很小呢？前已叙述，区域变质及海西期花岗岩大

面积侵入导致的热变质作用对矿床改造极为明显。因此，我们认为区域变质及热变质作用使铅同位素产生了极为强烈的均一化作用，致使铅同位素变化范围很小。

铅同位素组成能够给我们提供的另一个信息，是其来源的构造环境。狼山一带的构造演化是这样的：（1）太古代，源自上地幔的物质形成了狼山一带的原始地壳，后经强烈的褶

表 6 霍各乞矿区方铅矿、黄铜矿、黄铁矿的铅同位素比值

Table 6. Isotope proportions of galena, chalcopyrite and pyrite in the Huogeqi ore district

铅同位素 比值	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
方铅矿(11)	16.898	15.360	36.435
黄铜矿(1)	17.224	15.727	37.669
黄铁矿(1)	17.148	15.616	37.242

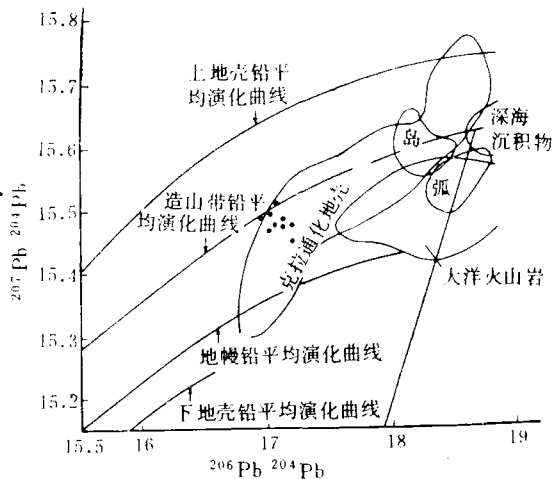


图 5 铅同位素 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 对 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 环境分布图 (据 B R Doe 和 R E Zartman, 1979)^[7]

Fig. 5. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ versus $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ geotectonic environment diagram.

皱、岩浆活动及变质作用（分布于狼山主峰太古界乌盖群的一套深变质岩），从而形成了稳定地块；（2）元古代，华北地台边缘由于拉张作用形成了东西向展布的裂谷，如狼山北部的霍各乞裂谷和南部的东升庙裂谷。伴随裂谷的形成，构造岩浆又趋剧烈，形成了海底基性岩浆的喷发及一系列浅海相冒地槽沉积。将表 5 中霍各乞矿床铅同位素数据投到铅同位素环境分布图上（图 5），不难看出，霍各乞矿床中铅主要分布在克拉通化地壳区，少数分布在上地壳铅演化曲线附近，表明克拉通化地壳是其主要来源，少量来自上地壳。结合狼山地区构造演化特点，我们认为铅应主要来源于狼山主峰太古界乌盖群。据李惠（1982）对狼山主峰太古界乌盖群（基底岩石）的微量元素研究认为，Pb 含量为 24.0×10^{-6} ，Zn 含量为 103×10^{-6} ，比克拉克值高，说明基底岩石（乌盖群）提供矿质来源是完全可能的。狼山群第二岩组 Pb 含量为 44.2×10^{-6} ，Zn 含量为 64×10^{-6} ，含量也比较高。狼山群第二岩组出现高丰度 Pb、Zn 可能为下面两种作用所形成：（1）矿床原始沉积时，太古界乌盖群中 Pb、Zn 被淋滤出来（热源为拉斑玄武岩）；（2）矿床原始沉积时，太古界乌盖群岩石遭受强烈风化、剥蚀，致使 Pb、Zn 等元素进入裂谷海水环境。

4.2.3 铜源 根据现有资料，我们对霍各乞矿床中铜的来源作一简要叙述。

前已述及，本区绿泥片岩和角闪岩的原岩为拉斑玄武岩，绿泥片岩和角闪岩代表了中元古代海底基性火山喷发，尤其当它们处于含矿层底部时对成矿是极为有利的。矿区绿泥片岩、斜长角闪岩的铜含量较高，分别是 29×10^{-6} 和 60.5×10^{-6} ，海底基性火山喷发直接提供铜是有可能的。乌盖群的铜含量为 27.6×10^{-6} ，为地壳克拉克值的 5.87 倍。地层中如此高

含量的铜, 只要被淋滤出来(热源为拉斑玄武岩), 形成大型铜矿是可能的。

5 结 论

从上面的分析, 我们得出如下几点认识:

(1) 霍各乞矿床是以海底喷气参与的同生沉积作用所形成。硅质岩、镁电气石、重晶石岩(重晶石化大理岩)指示了矿床的海底喷气成因。

(2) 区域变质及热变质作用对矿床改造极为明显。这样, 黄铁矿、磁黄铁矿中微量元素显示出热液和沉积作用双重特征, 同时促使硫同位素、铅同位素产生均一化作用。

(3) 矿床中硫来源于同时期海水硫酸盐的分解, 铅主要来源于基底岩石(太古界乌盖群), 铜除少量来自拉斑玄武岩(绿泥片岩、斜长角闪岩)外, 主要来自乌盖群。拉斑玄武岩处于含矿层底部, 起着热源的作用。

本文编写过程中, 得到池三川教授、黄华盛教授、师其政副教授指导。野外工作期间, 得到内蒙古自治区有色地质勘探公司 511 队崔养权、贾凤鸣、刘孙决大力支持和帮助, 深表谢意。

参 考 文 献

- 1 杨海明, 苏尚国. 内蒙古狼山北侧中元古代变基性岩特征及其成矿意义. 矿床地质, 1992, 11(2): 142~152
- 2 韩发, R W 哈钦森. 大厂锡多金属矿床热液喷气沉积的证据——含矿建造及热液沉积岩. 矿床地质, 1989, 8(2): 25~40
- 3 张乾. 泥岩-细碎屑岩型铅锌矿床的主要地质地球化学特征及时控因素. 地球化学, 1990, (3): 230~237
- 4 李兆龙等. 内蒙古中部层控多金属矿床硫、铅、碳和氧同位素组成及矿床成因. 地球化学, 1986, (1): 13~22
- 5 葛朝华, 韩发. 广东大宝山矿床喷气-沉积成因地质地球化学特征. 北京: 北京科学技术出版社, 1987. 56~62
- 6 Plimer J R. Tourmalinites from the Golden Dyke Dome. Min. Dep., 1986, 21: 263~270
- 7 Doe B R, Zartman R E. Geochemistry of hydrothermal ore deposits. Hohn Wiley and Sons., 1979. 22~26

GEOLOGICAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND MATERIAL SOURCES OF THE HUOGEQI COPPER-POLYMETALLIC DEPOSIT, INNER MONGOLIA

Yu Jinjie

(*Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing*)

Yang Haiming and Ye Huishou

(*China University of Geosciences, Beijing*)

Abstract

Geological and geochemical characteristics of the Huogeqi copper-polymetallic deposit indicate that it is a product of syngenetic sedimentation with the participation of submarine exhalation. Regional metamorphism and magmatic thermometamorphism evidently reformed the ore deposit; nevertheless, remobilization, migration and enrichment of metallogenic materials took place mainly within the ore-bearing bed. The reformation has led to the homogenization of sulfur and lead isotopes in the ore deposit.