

文章编号:1006-544X(2004)03-0261-08

内蒙古霍各乞铜多金属矿床含矿建造及矿床成因

刘玉堂¹, 李维杰²

(1. 内蒙古有色地勘局地质研究所, 内蒙古 呼和浩特 010010; 2. 中国冶金地质勘查工程总局 三局, 山西 太原 030000)

摘要:霍各乞铜多金属矿床含矿岩层自下而上为:底板 黑云石英片岩→碳质板岩(Pb、Zn 主要赋矿层)→下条带石英岩(Cu 次要含矿层)→透辉、透闪石岩(Pb、Zn 及 Fe 主要赋矿层)→上条带石英岩(Cu 主要赋矿层)→顶板 二云石英片岩。斜长角闪岩出现在含矿层之下,顺层产出,与围岩侵入接触。矿石 $\delta^{34}\text{S}$ 多集中在 8‰~20‰,以火山硫为主;矿石的铅同位素组成属正常铅,在构造演化图上,落在上地幔与造山带铅演化线之间的克拉通化地壳边部。含矿建造 ΣREE 多在 $84.77 \times 10^{-6} \sim 234.49 \times 10^{-6}$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 均 > 1。矿物包裹体组分类型为 Na-Ca-F, Na-Ca-Cl 型;均一温度 150~464℃;成矿压力 5MPa, pH 6.5~7, Eh -0.5~0.18。经综合分析研究,该矿床属大陆裂谷环境的海底火山喷气沉积层控(变质)型,并总结出该区寻找此类矿床的找矿标志。

关键词: 含矿建造; 铜多金属矿床; 成因; 热水沉积; 霍各乞; 内蒙古

中图分类号: P618.410.1

文献标识码: A^①

1 矿床地质特征

霍各乞矿床产于早、中元古代狼山—白云鄂博大陆边缘裂谷系的南侧分支狼山—渣尔太裂谷带内,由于裂谷发展的不平衡,使沉积基底产生隆起与凹陷(断陷盆地),狼山主峰花岗岩侵位区即为—古隆起,其南北为 2 个沉积区。霍各乞矿床位于北部沉积区内,同时由于裂谷内横向断裂的存在,又将沉积基底切割成一系列小规模的地堑式断陷盆地,按照基底构造格局将狼山地区沉积断陷盆地划分为四级。霍各乞矿区目前表现的构造形态是在原始基底构造的基础上继承式发展起来的,在挤压作用下,三级盆地表现为大向斜,四级盆地表现为次级小向斜,故总体为一复式向斜^[1]。区域上出露一套中元古界浅变质岩系,基底为太古界乌拉山群。矿区出露地层主要为狼山群二岩组,为一套浅海相泥炭质为主的碎屑岩—泥灰岩—碳酸盐岩建造,夹中基性火山岩建造^[2]。由于裂谷切割较深,本区火成活动较发育,矿区主要出露次闪辉长岩、斑状花岗岩、闪长岩、斜长角闪岩,其中斜长角闪岩与成矿

关系密切。

霍各乞矿区目前发现 3 个矿床:以 Cu 为主的 1 号矿床;Pb、Zn 为主兼有 Cu 的 2 号矿床;以 Fe 为主的 3 号矿床。矿体呈层状、似层状,与地层产状一致,具层控特点^[2-4],受后期变形影响也与地层一致,局部矿体加厚。矿石构造为条带状、纹层状、细脉浸染状,还有块状、角砾状(Pb、Zn);结构为交待结构、乳滴状结构、文象结构及变晶结构。另外在 1 号矿床西端—9 线 ZK503、ZK504 钻孔中发现角砾状的矿石,矿化呈网脉状、不规则脉状,缺少沉积构造,为与 1 号矿床结构构造不同的矿体。

2 含矿建造

含矿岩层从下至上为:底板 黑云石英片岩;碳质板岩(Pb、Zn 主要赋矿层位);下条带石英岩(Cu 次要含矿层位);透辉、透闪石岩(Pb、Zn 及 Fe 主要赋矿层位);上条带石英岩(Cu 主要赋矿层位);顶板 二云石英片岩。岩石化学成分见表 1。

(1)黑云石英片岩。灰黑色,片状构造,鳞片粒状变晶结构,主要为石英、黑云母,少量白云母及泥

① 收稿日期:2003-11-04

基金项目:“八五”国家科技攻关项目(85-901-01)

作者简介:刘玉堂(1963-),男,高级工程师,地质学专业。

表1 霍各乞矿区含矿建造岩石化学成分

Table 1 Petrochemistry composition of ore-bearing formation in Huogeqi mining district

序号	岩性	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O
1	黑云	59.73	1.13	18.55	1.42	5.04	0.26	2.73	1.02	1.38	6.70	0.17	1.62
2	石英	57.16	0.84	17.64	1.98	6.26	0.37	2.59	3.79	1.23	6.10	0.51	1.40
3	片岩	62.18	0.47	17.84	2.00	3.63	0.01	1.92	0.99	0.09	3.72	0.20	3.69
4	碳质板岩	65.08	0.90	18.20	1.69	1.78	0.31	1.35	0.53	0.19	5.16	0.11	1.88
5		60.56	0.78	15.75	1.84	3.49	0.40	3.17	2.87	0.26	4.13	0.10	2.41
6		63.84	0.55	18.98	2.32	2.01	0.01	1.59	0.35	0.56	5.56	0.13	3.70
7		62.50	0.77	18.73	2.44	2.19	0.12	1.73	0.36	0.36	5.38	0.03	2.68
8		63.40	0.77	18.03	2.51	1.95	0.05	2.00	0.42	0.93	5.08	0.053	2.54
9	条带状石英岩	81.58	0.01	0.29	3.78	8.96	0.26	0.07	1.18	0.04	0.03	0.18	1.96
10		87.58	0.01	3.12	2.15	1.62	0.01	0.07	1.08	0.04	1.08	0.19	1.36
11		88.05	0.39	2.45	1.43	1.80	0.01	0.01	1.38	0.12	0.48	0.40	2.17
12		67.72	0.32	9.42	1.57	9.07	0.01	4.05	0.39	0.14	0.27	0.22	4.42
13		74.40	0.32	0.64	6.17	7.60	1.28	2.56	2.66	0.01	0.11	0.16	3.20
14		87.85	0.27	3.93	0.66	5.32	0.16	0.40	0.13	0.14	1.14	0.09	0.58
15		40.80	0.20	1.12	3.24	43.7	3.65	2.79	1.25	0.12	0.09	0.05	1.18
16	透辉透闪石岩	38.26	0.13	0.94	TFe	3.67	1.09	5.66	22.81	0.79	0.10	3.47	0.54
17		44.31	0.13	1.44	2.95	14.0	2.30	6.39	32.38	0.21	0.12	1.06	1.25
18		52.61	0.20	0.76	0.94	23.69	1.67	4.08	10.56	0.16	0.07	0.31	0.88
19		46.32	0.20	0.78	10.47	30.58	2.50	4.12	1.37	0.05	0.20	0.11	2.00
20	二云	58.68	0.87	20.10	2.68	5.31	0.03	2.38	0.25	0.44	4.35	0.06	4.68
21	石英	59.64	0.86	16.29	TFe	8.09	0.29	3.36	0.34	0.31	4.68	0.10	2.98
22	片岩	59.76	0.87	19.21	3.03	4.67	0.04	2.11	0.50	0.48	4.16	0.06	4.94

据内蒙古有色地质一队,1978

炭质,副矿物主要有石榴子石、红柱石、电气石,少量锆石、金红石,具斜长石(钠长石)-绿泥石化及很强的硅化.岩石化学分析结果经 $al - alk$ 图解、 $K - A$ 二元图解、 $(al + fm) - (c + alk) - si$ 图解、 $(Al_2O_3 + TiO_2) - (SiO_2 + K_2O)$ 图解等均落入粘土岩、泥质岩区域或泥质岩、粉砂岩过渡区;稀土分析(表2) $\Sigma REE = 183.92$, $(La/Yb)_N = 5.06$, 相对富集轻稀土, $\delta Eu = 0.58$ 为中等程度亏损(图1), 也表明其为泥质岩;化学成分与泥质岩相比除 Si 偏高外,高 K 富 Al, $MgO > CaO$, $K_2O > Na_2O$, 均与泥质岩相符,

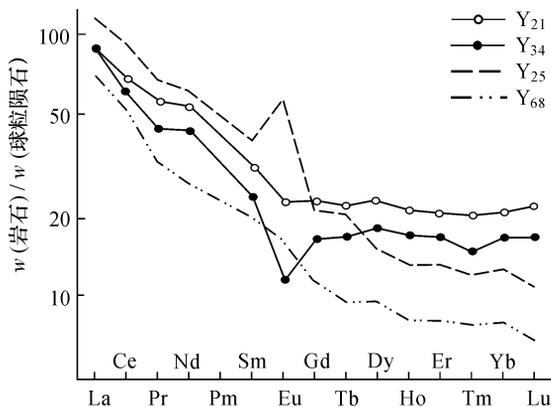


图1 石英片岩 (Y_{21} 、 Y_{34})、碳质板岩 (Y_{25} 、 Y_{68}) 稀土配分模式

Fig. 1 REE distribution patterns of quartz schist (Y_{21} , Y_{34}) and carbonaceous slate (Y_{25} , Y_{68})

底板除黑云石英片岩外还有少许为千枚岩,二者基本为一类岩石. 其原岩主要为正常沉积岩及少量粉砂岩,该层不赋存 Cu, Pb, Zn 矿床, 仅可见黄铁矿化、闪锌矿化.

(2) 碳质板岩. 岩石呈灰黑—黑色,板状—千枚状、角砾状构造,矿物颗粒细,以石英、绢云母、泥炭质为主,镜下可见变余泥质结构以及纹层状、条带状构造,还可见含量不等的红柱石、方解石、褐铁矿及少量的透闪石和帘石类. 该层与底板黑云石英片岩、千枚岩呈渐变关系,是1号矿床最底部的含矿层,主要赋存以锌为主的铅、锌矿体. 该层岩石普遍含黄铁矿,自形粒状分散产出或呈集体脉状产出. 金属矿物常见呈浸染状、细脉状产出的闪锌矿,量多时成锌矿体. 该层见有呈透镜状产出的重晶石、重晶石化大理岩,重晶石呈细粒状与粒状方解石共生, $w(Sr) = 0.14\% < 1.0\%$, $\delta^{34}S = 22.22\%$, 与矿体中硫化物硫同位素相近,按 H·普切尔特观点,重晶石属海底喷气成因.

该层于1号矿床东西延长1600 m,平均厚16 m,西段较厚且泥质岩为主,东段变薄逐渐尖灭,炭质减少铅质增加,局部含透辉石透闪石. 该层上部几乎普遍具角砾岩化;角砾为下部碳质板岩,棱角状、次棱角状大小不等,胶结物为黄铁矿、磁黄铁矿、硅质、凝灰质,是较为典型的喷气成因角砾岩.

表2 霍各乞矿床(岩) 矿石稀土元素含量及参数

Table 1 REE contents and characteristic parameter of rock and ore in Huogeqi deposit

 $w_B/10^{-6}$

编号	P ₁₃	P ₁₄	Y ₃₄	Y ₂₁	Y ₂₅	Y ₆₈	Y ₂₄	Y ₅₉	Y ₂₃	Y ₅₂	Y _{x25}	H ₁	H ₂
岩(矿) 石名称	斜长角 闪岩	斜长角 闪岩	黑云石 英片岩	二云石 英片岩	碳质 板岩	角砾状碳 质板岩	透辉、透 闪石岩	透辉、透 闪石岩	上条带 状含铜 石英岩	下条带 状含铜 石英岩	网脉状 角砾状 铜矿石	黑色碳 硅质岩	黑色硅 质岩
La	7.80	8.00	29.8	29.8	38.5	22.8	8.02	7.10	26.40	14.90	8.36	7.173	6.626
Ce	16.9	17.5	61.1	67.60	87.70	47.80	21.80	15.50	53.00	32.10	23.79	11.382	7.781
Pr	2.06	2.05	5.61	6.82	8.53	4.39	2.77	1.90	5.42	3.55	3.93	1.838	1.083
Nd	10.1	10.3	26.9	32.80	38.8	19.60	16.1	10.30	25.30	18.90	24.15	6.926	2.795
Sm	2.85	3.04	5.05	7.09	8.36	4.13	7.72	3.62	5.00	6.55	14.74	1.310	0.607
Eu	0.69	1.12	0.92	1.88	4.36	1.27	5.29	3.56	1.20	7.59	6.34	0.276	0.085
Gd	6.06	6.44	5.46	7.96	7.10	3.73	8.05	3.49	4.63	4.66	15.64	0.977	0.465
Tb	0.73	0.75	0.90	1.17	1.06	0.44	0.76	0.37	0.68	0.40	1.62	0.116	0.061
Dy	4.54	5.03	6.10	7.71	5.14	2.78	2.93	2.00	4.20	1.38	6.62	0.056	0.385
Ho	0.99	1.06	1.31	1.67	1.08	0.56	0.40	0.28	0.82	0.24	0.97	0.106	0.094
Er	2.80	3.06	3.66	4.66	3.00	1.56	0.86	0.84	2.19	0.45	1.80	0.283	0.275
Tm	0.43	0.25	0.54	0.70	0.42	0.22	0.09	0.08	0.31	0.04	0.22	0.051	0.04
Yb	2.64	2.95	3.50	4.64	2.50	1.40	0.57	0.58	2.09	0.20	1.37	0.324	0.288
Lu	0.38	0.23	0.57	0.78	0.34	0.14	0.08	0.06	0.35	0.02	26.37	0.053	0.05
Y	25.8	26.3	32.50	42.60	27.60	13.80	10.60	9.18	19.20	5.15	<0.1	2.616	1.62
ΣREE	84.77	88.31	183.92	217.88	234.49	124.62	86.04	58.86	150.79	96.13	135.92	33.972	22.255
ΣCe/ΣY	2.7	2.12	6.01	4.98	9.02	9.19	4.49	5.45	7.63	11.31	1.49	7.295	6.911
δEu	0.56	0.85	0.58	0.84	1.82	1.06	2.25	3.33	0.82	4.35	1.39	0.721	0.474
δCe	0.86	0.88	0.93	0.96	0.97	0.94	0.97	0.87	0.88	0.89	0.85	0.812	0.743
(La/Yb) _N	1.75	1.6	5.05	3.8	9.14	9.66	8.35	6.94	7.5	44.3	3.62	13.58	13.8

测试单位:原地矿部矿床地质研究所,1994;H₁,H₂引自文献[5];H₁为大厂矿区,H₂为毕家区矿区,其余为霍各乞矿区

碳质板岩岩石化学特征与黑云石英片岩相似,只是含大量碳质,经图解进行原岩恢复,均落入粘土岩区,稀土特征也与泥质岩相似,ΣREE = 234.49 含碳质使稀土总量增加,(La/Yb)_N = 9.2 也与泥质、碳质增加有关,δEu = 1.82 显示 Eu 正异常(图1),因样品具强烈的透辉、透闪石化引起。

(3)下条带状含铜石英岩。白色—灰白色,致密块状构造,成分以石英为主,其次为透辉石,少量透闪石、石榴子石、碳质。镜下呈花岗变晶结构,粒度0.1~0.3 mm,部分石英为拉长状,条带主要为透辉石,其次为碳质,分别与石英相间排列构成。该层分布于1号矿床西段,长550 m,厚15 m,是矿床下部次要赋铜层位,局部赋存小的铅矿体。

(4)透辉石、透闪石岩。该层为1号矿床铅、铁赋矿层位,出露长1300 m,平均厚34 m。矿床西段以透辉石为主,灰—灰绿色,风化后成黄褐色,粗晶状,量多时为透辉石岩;东段则变成以透闪石为主,灰—黑灰色,致密块状,透闪石呈针状、纤维状、放射状集合体,量多时成透闪石岩。有时含石英而成石英透辉(透闪)石岩。

透闪石岩含磁铁矿,量大时成磁铁矿体,故该层在1号东段赋存铁矿体,而西段赋存铅矿体。对

其进行原岩恢复研究,有如下特点:

①该层中有灰岩、大理岩残留体,尤其透辉石岩中更常见透辉石晶体中残留有方解石,岩石中也有石榴石出现。

②SiO₂ 含量偏高,Al₂O₃ 偏低,MgO 不稳定变化,透辉石一般为低镁次透辉石,透闪石为铁闪石。

③岩石化学分析尼格里四面体图解落入化学沉积区;K-A 二元图解落入碳酸盐亚相;(Al + ΣFe + Ti) - (Ca + Mg) 判别结果均属粘土质、白云质和钙质泥灰岩;A-C-FM 图解其原岩以含硅质较高的泥质灰岩及钙质灰岩为主,白云质灰岩次之。

④稀土总量平均为72 × 10⁻⁶, (La/Yb)_N 为7, δCe 有亏损,但由于泥质增加不太明显,相对富集重稀土,δEu = 2.79 为正异常,由所含斜长石、石榴石、角闪石引起,总体反映其与碳酸盐岩稀土特征相似(图2)。

综上所述,透辉、透闪石岩原岩为灰岩—泥灰岩,但存在2个问题:一是矿区外围也有很多泥灰岩,为什么单矿区出现透辉、透闪石岩;二是从区域变质程度来看,透辉、透闪石岩高于区域变质相即低绿片岩相。研究认为透辉、透闪石岩的形成,海底火山喷气高温蚀变起决定性的作用,表现在:

①有火山物的参与,透辉、透闪石岩中有 Mg、

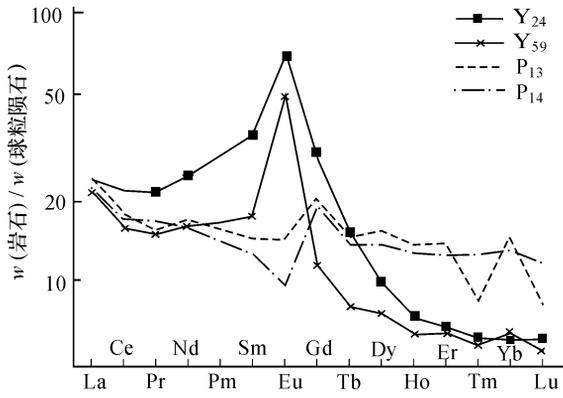


图2 透辉石、透闪石岩(Y_{24} 、 Y_{59})及斜长角闪岩(P_{13} 、 P_{14})稀土配分模式

Fig. 2 REE distribution patterns of diopside-tremolite(Y_{24} , Y_{59}) and amphibolite(P_{13} , P_{14})

Fe 闪石存在,呈放射状,矿物颗粒具环带,外环是 Mg、Fe 闪石,内环是次闪石;

②透辉、透闪石与成矿关系密切,反映其为成矿期产物;

③前述碳质板岩中重晶石层的出现也说明气液高温蚀变作用的存在。

碳酸盐岩在高温下出现滑石→透闪石→透辉石→硅灰石递进变质,原岩含粘土时可能出现石榴石、符山石、方柱石、斜长石、钾长石及金云母,其反应为:5白云石+8石英+ H_2O =透闪石+3方解石+7 CO_2 ;温度升高:3透闪石+5方解石=透辉石+2镁橄榄石+5 CO_2 +3 H_2O 。由此看来,透辉石形成温度高于透闪石,因为控制容矿盆地的同生断裂即喷气通道在矿床西部,故气液流入盆地由西向东温度逐渐降低,所以西段以高温的透辉石为主,东段以温度相对较低的透闪石为主,这也与气液蚀变的观点相吻合。

(5)上条带状含铜石英岩。灰白色,条带状、块状构造,花岗粒状变晶结构,粒度一般0.1~0.3 mm,矿物成分以石英为主,含少量泥炭质及透闪石、透辉石、云母类、帘石类矿物,普遍见有电气石及一些磷灰石,地表见孔雀石化、褐铁矿化、黄钾铁矾及一些流失孔隙。系1号矿床上部含矿层位,也是矿区内主要含铜层位,赋存矿床内最大的Cu-1、Cu-6矿体,出露长1400 m,平均厚26 m,该层有如下特点:

①西段较厚,东段较薄,向东逐渐尖灭;

②西段以条带石英岩为主,条带主要由石英与炭质、石英与透辉石相间排列而成,所含次要矿物主要为透辉石,Cu-1矿体即赋存于此段,

该段矿化最强且条带与矿化关系密切,矿化类型为黄铜矿-黄铁矿型;

③东段以块状石英岩为主,所含次要矿物以透闪石为主,Cu-6矿体即赋存此段,矿化弱于条带状石英岩,矿化类型为黄铜矿-磁黄铁矿型。

于该层中及矿床顶、底板广泛分布的电气石具成因意义。电气石呈柱状、粒状分布于石英等矿物颗粒间,据电子探针分析结果^[2],进行Al-Fe(全)-Mg和Ca-Fe(全)-Mg图解,主要落在富铅贫钙的泥质砂屑变质岩和石英电气石区内,远离火成岩有关的电气石区,属Fe-Mg系列且更靠近Mg,是富硼热液蚀变的产物,另外电气石具环带结构,由内带→外带镁增高,铁铅降低,说明热液活动的多期性,同时也反映其不是正常陆源碎屑沉积。

条带状石英岩岩石化学分析图解投影点较分散,既可能是石英岩、石英砂岩区,又可能是钙质砂岩、含铁砂岩;化学成分高硅低铝;阴极发光表明石英为自生石英;含电气石、磷灰石、萤石等富含挥发性的副矿物。种种迹象表明其原岩并非正常沉积碎屑岩,稀土分析 $\Sigma REE = 150.79$, $\delta Eu = 0.82$, $\delta Ce = 0.86$,稀土配分模式与大厂(H_1)、毕家山(H_2)等海底热泉沉积硅质岩相似(图3),只是稀土总量由于含泥炭质而偏高,表明该区含铜石英岩主要是海底喷气成因的硅质岩(燧石)经变质而成,少量为陆源沉积杂砂岩。在富含成矿物质的气液喷流的同时,也接受着陆源沉积,它们一起被封存在沉积物中,后经分异、蚀变而形成相间排列的条带状构造(纹层状),这种成因的分析能较好地解释西段石英岩厚且含透辉石;东段较薄而含透闪石;矿化与条带关系密切等现象。上、下条带石英岩稀土特征不同,系2次喷气活动而成。

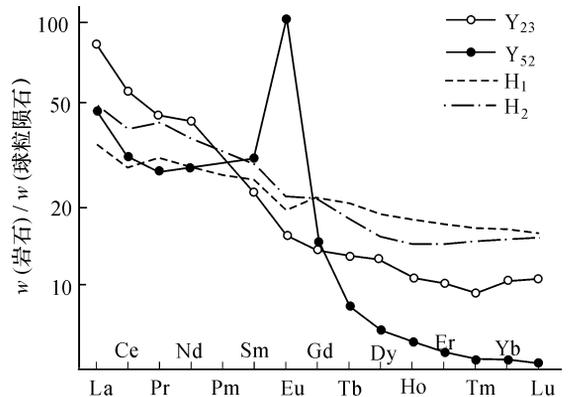


图3 含铜石英岩(Y_{23} 、 Y_{52})及硅质岩(H_1 、 H_2)稀土配分模式

Fig. 3 REE distribution patterns of cupreous quartzite (Y_{23} , Y_{52}) and siliceous rocks (H_1 , H_2)

(6)二云母石英片岩. 岩石呈灰—灰白色, 片状构造, 鳞片粒状变晶结构、变余砂屑结构, 矿物成分有细粒石英、黑云母、白云母等, 副矿物以电气石为主, 泥炭质含量较少, 与含矿层接触带已蚀变为以绢云母为主的鳞片状绢云石英片岩, 其原岩除 Si, Al 偏高, Ca, Mg 偏低外, 化学成分、稀土特征均与粘土岩相似(图 1), 经恢复为化学成分中等分异的含泥质、粉砂质的粘土岩类.

3 矿床成因探讨

3.1 斜长角闪岩的成因意义

矿区斜长角闪岩出现在二岩组中部位于含矿层之下, 顺层产出, 与围岩侵入接触, 经稀土分析(表 2), $\Sigma \text{REE} = 84.77 \sim 88.31$, $(\text{La}/\text{Yb})_N \approx 1$, 基本为平坦型稀土分布模式(图 2), Eu 稍显负异常, 与岛弧—洋脊拉斑玄武岩一致, 为裂谷早期基性岩浆活动产物, 岩体边部发生蚀变且 Eu 有亏损 ($\delta \text{Eu} = 0.56$), 说明其与成矿有关, 既是成矿热源, 又是该区断裂切割较深已达上地幔的物质表现.

3.2 同位素特征及成因意义

3.2.1 硫同位素 矿石(表 3) $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围为 $-3.1\% \sim 23.5\%$, 集中在 $8\% \sim 20\%$, 变化较大. 据国外资料(图 4), 古生代海水硫酸盐的 $\delta^{34}\text{S}$ 值标准曲线分布在 $+10\% \sim +30\%$ 之间(Holser 线), 火山硫化矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 值标准曲线则分布在 $-5\% \sim +20\%$ 之间(Sangster 线); 时代从新到老二者 $\delta^{34}\text{S}$ 递增, 推测在元古代, Sangster 线接近 $+20\%$, Holser 线接近 $+30\%$. 因此霍各乞矿床倾向火山硫源, 又重晶石中 $\delta^{34}\text{S}$ 为海水硫酸盐, 一般沉积岩中 $\delta^{34}\text{S}$ 值在矿物中

应是黄铁矿 > 磁黄铁矿 > 闪锌矿 > 方铅矿, 而上表中则磁黄铁矿 > 闪锌矿 > 黄铜矿 > 黄铁矿. 另外在 1 号矿床 CK97 孔 512 m 深处方铅矿中经电子探针分析, 发现单质硫, 其可能在强氧化条件形成或来自火山, 但由于发现在地下 512 m, 前者是不可能的, 所以应为火山硫, 这都反映出 S 的多源性^[5].

3.2.2 铅同位素 铅同位素组成(表 4) 较为稳

表 3 霍各乞矿床硫同位素组成

资料来源	样 品	变化范围	平均值
			$\delta^{34}\text{S}/\%$
	层状黄铁矿	10.6 ~ 20.0	14.9
	脉状黄铁矿	-3.1 ~ 14.1	4.07
李	条带状磁黄铁矿	7.9 ~ 23.5	17.04
兆	脉状磁黄铁矿	6.5 ~ 17.1	11.52
龙	条带状黄铜矿	11.3 ~ 23.4	15.21
1986	脉状黄铜矿	8.0 ~ 12.2	9.50
	脉状方铅矿	7.5 ~ 20.9	13.84
	脉状闪锌矿	12.0 ~ 21.1	16.55
桂林矿产地地质研究院	条带状含铜石英岩中磁黄铁矿	3.6 ~ 13.8	7.18
	条带状含铜石英岩中黄铜矿	3.7 ~ 10.0	6.07
		-3.1 ~ 23.5	9.08
文献[2]	重晶石	22.2	

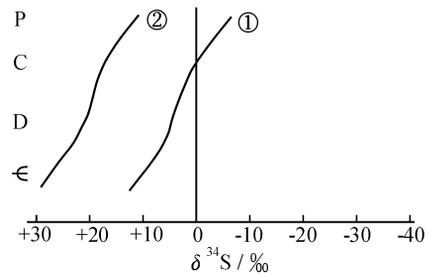


图 4 $\delta^{34}\text{S}$ 值标准曲线

Fig. 4 Normalized curve of $\delta^{34}\text{S}$

①火山成因硫(Sangster); ②海水硫酸盐硫(Holser)

表 4 霍各乞矿床铅同位素组成

Table 4 Component of lead isotope in Huogeqi deposit

序号	采样位置	岩石名称	测定对象	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
1	霍各乞	碳质板岩	方铅矿	17.179	15.474	36.945
2	霍各乞	硅化大理岩	方铅矿	17.193	14.451	36.936
3	霍各乞	透闪岩	方铅矿	17.083	15.474	36.861
4	霍各乞	透闪岩	方铅矿	17.036	15.465	36.747
5	霍各乞	透闪岩	方铅矿	17.110	15.480	36.890
6	霍各乞	碳质板岩	方铅矿	17.038	15.491	36.969
7	霍各乞	透闪岩	方铅矿	16.894	15.491	36.117
8	霍各乞	硅化大理岩	方铅矿	16.244	14.774	35.867
9	霍各乞	碳质板岩	方铅矿	16.016	14.877	33.849
10	1号矿床 CK62	透辉透闪石岩	方铅矿	17.027	15.465	36.783
11	1号矿床 CK205	透辉透闪石岩	方铅矿	17.060	15.517	36.915
12	1号矿床 CK111	条带石英岩	方铁矿	17.148	15.616	37.242
13	1号矿床	条带石英岩	黄铜矿	17.224	15.727	37.669

定,在 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图上均位于增长曲线附近,表明铅同位素是均一的,属正常铅,在Pb构造演化图上(图5),落在上地幔Pb演化线和造山带Pb演化曲线之间克拉通化地壳Pb边部。这说明大陆边缘裂谷系内,随地幔物质上涌,也使基底乌拉山群地层中的成矿物质(Cu, Pb, Zn)活化带入到成矿热液中。按Doe单阶段铅同位素演化模式计算的模式年龄为796~1116 Ma与成矿时代较接近。

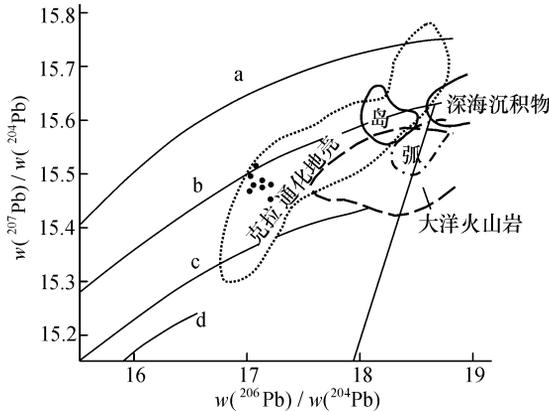


图5 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 环境分布图

Fig. 5 Environmental distribution diagram of $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

a—上地壳铅平均演化曲线;b—造山带铅平均演化曲线;
c—地幔铅平均演化曲线;d—下地壳铅平均演化曲线

3.3 单矿物微量元素特征

从表5可看出,无论条带状Cu矿体,Pb,Zn矿体,还是网脉状、角砾状Cu矿体,其Co/Ni均大于1,说明成矿金属元素为内生成因(其中2号矿床Pb是外生的),而S/Se均大于200000,说明黄铁矿中S是外源即海解S,另外从表中还可看出网脉状、角砾状铜矿体中Co,Ni含量是条带状矿石的2倍,说明其更直接来自深部,未经搬运。

3.4 矿石稀土元素特征

含矿建造稀土总量在 $58.86 \times 10^{-6} \sim 234.49 \times 10^{-6}$,含量较高,均富轻稀土, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 均大于1,曲线向右倾,说明其成因上有联系,均为热水沉积产物,稀土含量高与断陷盆地控矿粘土相矿物加入有关^[4]。上条带含Cu石英岩Eu有一定亏损,稍显负异常,与含矿流体经过搬运有斜长石晶出有关。下条带含Cu石英岩、网脉状、角砾状矿石,Eu为正异常。透辉、透闪石岩及碳质板岩(具透闪石化)Eu也显正异常,这一方面与矿液来自深部有关,另一方面闪石、辉石类矿物本自就可引起Eu正异常, $\delta\text{Ce} 0.87 \sim 0.9$,稍显负异常,说明为还原环境。

3.5 矿物包裹体特征

矿石中矿物(石英、磁黄铁矿)包裹体组分类型为Na-Ca-F,Na-Ca-Cl型(表6)。条带状矿石显示 $\text{F}^- > \text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ 较大,说明成矿流体来自地下深处(在渗流水中 $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ 一般 < 0.01 ,梅纳德,1985),另一方面 $\text{Na}^+ > \text{K}^+$,但比值远小于正常海水(47±),而且 H_2O 含量大,出现 CH_4 和 N_2 ,说明有渗

表5 黄铁矿单矿物分析结果

Table 5 Analysis results of pyrites

矿石类型	样号	S	Se	Co	Ni	S/Se	Co/Ni
1号矿床上条带含铜石英岩	Y ₃₂	37.09	<1	42	39	370 900	1.08
1号矿床下条带含铜石英岩	Y ₅₂	35.67	1.5	52	20	237 800	2.60
1号矿床网脉状矿体	Y _{X9}	34.94	<1	141	115	349 400	1.23
2号矿床条带状石英岩Cu-2	Y ₇₇	41.55	1.2	45	20	346 200	2.50
2号矿床碳质板岩Pb-1	Y ₇₈	43.06	2.8	111	171	153 780	0.65

w(S)/%;其余 $w_B/10^{-6}$

表6 矿石包裹体成分及参数

Table 6 Compositions and parameters of inclusions of ores

岩石名称	$w_B/10^{-6}$		
	H-1-23	Y _{X52}	Y _{X5-5}
矿物	石英	磁黄铁矿	石英
Na ⁺	7.694 7	11.67	2.248
K ⁺	2.941 1	1.46	4.338
Ca ²⁺	7.969 9	14.44	44.82
Mg ²⁺	0	15.31	18.00
Cl ⁻	5.278 6	4.46	6.517
F ⁻	5.578	5.47	1.589
NO ₃ ⁻	15.465	0	-
SO ₄ ²⁻	1.659 8	大量	178.00
H ₂ O	498.91	442.35	18
CO ₂	15.6	47.55	46.16
CO	-	0	5.14
CH ₄	9.47	3.18	5.4
H ₂	0.65	0.22	0
O ₂	0.19	-	0
N ₂	16.89	3.98	1.93
Na ⁺ /K ⁺	2.61	7.99	0.51
Ca ²⁺ /Mg ²⁺		0.94	2.49
F ⁻ /Cl ⁻	1.05	1.22	0.24
SO ₄ ²⁻ /Cl ⁻	0.31	大	27.3
组分类型	Na-Ca-F	Na-Ca-F	K-Ca-Cl

测试单位:原地矿部矿床地质研究所,1994;H-1-23据文献[2]

流水或海水的混入. 网脉状、角砾状矿石 $K^+ > Na^+$, SO_4^{2-}/Cl^- 为 27.3, 同时 H_2O, CH_4, N_2 较条带状矿石减少, 反映出成矿流体来自深处, 很少渗流水或海水加入, 未经明显搬运, 表明与条带状矿石不同的成矿环境. 矿石均一温度: 网脉状矿石 $357 \sim 464^\circ C$, 平均 $380^\circ C$; 条带状矿石 $155 \sim 290^\circ C$, 平均 $195^\circ C$; Pb, Zn 矿石 $150 \sim 190^\circ C$, 平均 $170^\circ C$; 网脉状、角砾状铜矿石 $>$ 条带状铜矿石 $>$ Pb(Zn) 矿石.

从流体包裹体的均一温度及物质组分大致推算出, 成矿压力为 $0.5 \times 10^8 Pa$, $pH 6.5 \sim 7$, $Eh -0.5 \sim -0.18$, $f_{O_2} 10^{-51.12} \sim 10^{-41.47}$, $f_{S_2} 10^{-21.66} \sim 10^{-15.47}$, 为酸—弱酸性, 低氧化、强还原环境.

综合含矿建造分析, 霍各乞矿床为海底火山喷气—沉积层控型铜多金属矿床, 其存在 2 种矿体, 即喷气通道(控制次级沉积断陷盆地的同生断裂)内的交切相矿体(网脉状、角砾状矿石)和含矿流体流入次级盆地的热化学沉积相矿化(条带状矿石), 目前发现的 1 号矿床为沉积相矿体.

交切相矿体为隐伏矿体, 发现于 1 号矿床西南端南大沟—9 线 ZK503、ZK504 钻孔中(图 6), 其(简称新矿体)与 1 号矿床对比如下:

- ①空间上不连续, 新矿体埋深在 400 m 以下;
- ②新矿体以 Cu 为主, 而 1 号矿床以 Cu 为主兼有 Pb, Zn, Fe;
- ③新矿体矿石构造为角砾状, 矿化呈网脉状、

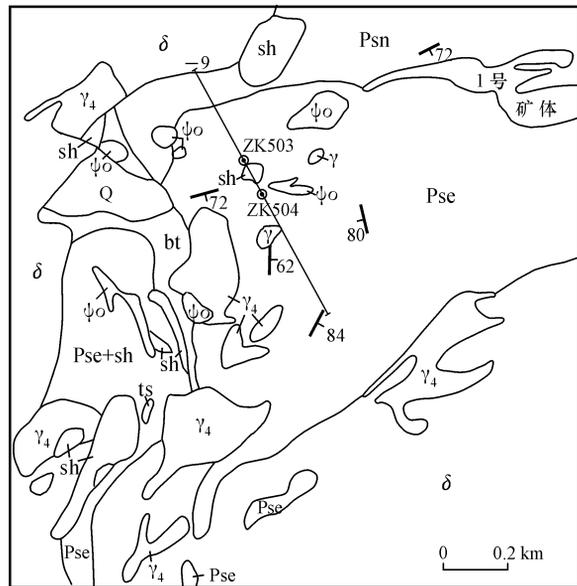


图 6 1 号矿床西部地质略图

Fig. 6 Geological map of No. 1 deposit in the west

Pse—二云母石英片岩; Psn—黑云母石英片岩; sh—黑色石英岩; ts—透闪石岩; ψ_0 —角闪岩; γ_4 —花岗岩; δ —闪长岩; bt—碳质板岩; Q—第四系

不规则脉状, 而 1 号矿床构造为块状, 矿化为条带状、纹层状;

④2 个钻孔都显示断裂带特征, 结合成因分析, 新矿体为产于喷气通道(断层)内的交切相矿体.

4 成矿模式及找矿标志

4.1 成矿模式

(1) 矿床产出构造环境为早远古代地热梯度较高的狼山—渣尔太裂谷带内(图 7), 岩石类型为宁静海相沉积岩, 包括黑色页岩、粉砂岩、砂岩、白云岩、燧石、泥灰岩一套组合.

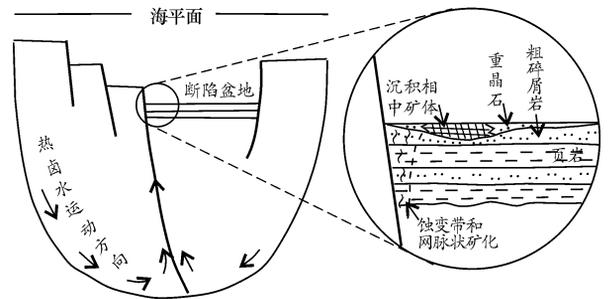


图 7 构造地层背景示意图

Fig. 7 Showing map of structural strata and background

(2) 存在同生断裂及其控制的次级同沉积断陷盆地, 同生断裂发育于 1 号矿床西端沿南大沟 NW—SE 向展布, 地层被岩体岩脉宽插, 岩石破碎, 在钻孔中可见断层角砾岩断层泥, 物探 CSAMT 法的低阻异常带与“ ΔZT ”异常带也吻合于此地, 也可能反映出该同生断裂的存在, 该断裂控制着其旁侧的次级盆地(1 号矿床). 笔者认为该断裂(带)即为喷气通道: ①空间上位于矿体即热水沉积岩一侧(强还原环境一侧); ②基底构造也有显示说明切割较深; ③具与矿化一致的蚀变, 如硅化、绿泥石化、钠长石化; ④Sb, Hg, As 异常; ⑤可见蚀变角砾岩、矿化角砾岩(钻孔中), 胶结物除硫化物外与角砾同成分且二者边界模糊.

(3) 存在喷气角砾岩.

(4) 存在硅质岩、含电气石岩(Mg 电气石)、重晶石和重晶石化大理岩等热水沉积岩, 均为喷气成因, 另外发现火山成因单质 S.

(5) 矿质具分带性: 矿床水平分带明显, 自西向东(喷口—洼地)为 $Cu \rightarrow Pb, Zn \rightarrow Ba \rightarrow Fe$; 垂向上自上而下为 $Cu \rightarrow Pb, Zn \rightarrow Cu \rightarrow Pb, Zn$, 出现了 Cu 的超覆. 这是由于喷气的脉动性造成成矿的多阶段性所致, 矿石稀土配分模式说明上、下条带状含铜石英岩

分属不同的成矿阶段;另外在 ZK503、ZK504 钻孔中所取矿石光片研究黄铜矿交代方铅矿,说明方铅矿早于黄铜矿形成,闪锌矿在碳质板岩中颗粒细、无晶形,而在含铜石英岩中则颗粒粗大,达半自形,表现出退火结构,说明在成 Cu 期又发生了重结晶,也说明 2 个成矿阶段的存在。

(6) 蚀变:矿床中普遍存在的蚀变为硅化、(Mg) 电气石化、绿泥石化、角砾岩化,底板具很强的硅化,且具典型的热液蚀变——斜长石(钠长石) - 绿泥石化。

成矿模式见图 8。

4.2 找矿标志

(1) 区域上应存在低能还原相盆地沉积,即黑色泥页岩组合(碳质板岩、千枚岩、泥灰岩),且分布有准同生期火成岩(斜长角闪岩)。

(2) 存在同生断裂,它不仅是矿质来源通道,

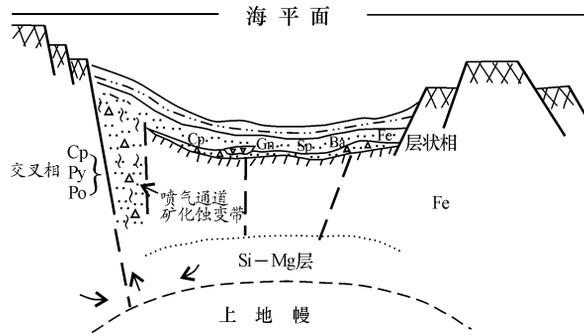


图 8 成矿模式示意图

Fig. 8 Sketch map of metallogenic model in Huogeqi

也控制着容矿场所——次级盆地。

(3) 硅质岩(条带状石英岩)突现,所谓突现是指与周围沉积相不协调,其热水沉积岩属喷气产物,是具备成矿物质、容矿场所、沉淀条件的特定成矿环境综合因素的体现。

(4) 重晶石层及重晶石化,与矿化紧密相连。

(5) 蚀变标志:硅化、(Mg) 电气石化、钠长 - 绿泥石化、角砾岩化等。

(6) Cu, Pb, Zn 异常, F, B, As, Hg 和 Sb 异常部位,指示深部隐伏矿体。

(7) 几种物探异常(ΔZ , CSAMT, TEM 等)组合部位。

参考文献

- [1] 内蒙古有色地勘局 511 队. 内蒙古霍各乞铜多金属矿区一号矿床勘探报告 [R]. 巴盟临河: 内蒙古有色地勘局 511 队, 1978.
- [2] 池三川, 扬海明, 王思源. 内蒙古霍各乞矿田并外围铜多金属成矿控制及找矿预测 [R]. 北京: 中国地质大学, 1991.
- [3] 张明华, 王春增. 内蒙古霍各乞矿田控矿构造特征 [J]. 桂林工学院学报, 2001, 21 (1): 62 - 66.
- [4] 王春增, 张明华. 幔源基性岩席在某些层状铜矿成矿过程中的作用及机理 [J]. 桂林工学院学报, 1996, 16 (4): 344 - 352.
- [5] 黄永平, 吴健民. 甘肃桦树沟(式)铜矿床成矿条件与成矿探讨 [J]. 矿产与地质, 1992, (6): 81 - 88.
- [6] 刘慷慨, 刘玉堂. 内蒙古霍各乞铜矿的稀土元素地球化学 [J]. 桂林工学院学报, 1996, 16 (2): 119 - 128.

Ore-bearing formation and genesis of the Huogeqi copper multimetal ore deposit in Inner Mongolia

LIU Yu-tang¹, LI Wei-jie²

(1. Geological Institute, Inner Mongolia Geology and Exploration Bureau (CNNC), Huhehaote 010010, China;

(2. The Third Bureau of China Exploration and Engineering Bureau, Taiyuan 030000, China)

Abstract: The ore-bearing layers of Huogeqi copper multi-metal ore deposit, from the bottom to the upper strata, are as follow: the footwall, biotite quartz schist → carbonaceous slate (the main ore-bearing bed of Pb and Zn) → lower ribbon quartzite (the minor ore-bearing bed of Cu) → diopside tremolite strata (the main ore-bearing bed of Pb and Zn and Fe) → upper strip quartzite (the main ore-bearing bed of Cu) → the top layer, mica quartz schist. Amphibolite, which occurs along the strata and intrusive contact to surrounding rock, is under the ore-bearing bed. $\delta^{34}\text{S}$ values of ore occur mainly between 8‰ to 20‰ and most of them are volcanogenic sulfur. The lead-isotope composition belongs to normal lead which enters the area of cratonization earth crust in the structure evolution diagram of lead evolution curve between upper mantle and orogenic belt. Most of ΣREE of ore-bearing formation are between 84.77×10^{-6} and 234.49×10^{-6} , $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ are more than 1. The composition styles of inclusions are Na - Ca - F and Na - Ca - Cl. Their homogenization temperature is 150 ~ 464°C and metallogenic pressures are 5MPa, pH 6.5 ~ 7, E_h -0.5 ~ 0.18. This ore deposit belongs to the sea bottom volcanic eruption - sedimentary - stratabound (metamorphic) type in the environment of continent rift.

Key words: ore-bearing formation; copper multi-metal deposit; genesis; hydrothermal sedimentary; Huogeqi; Inner Mongolia