

白音诺铅锌矿床矿化分带及矿液流向

张德全 雷蕴芬

罗太阳 鲍修坡 王胜利

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京)

(内蒙古地矿局第三地质大队, 赤峰)

摘要: 白音诺矿床是一个锰钙矽卡岩型铅锌矿床, 它的矽卡岩和矿化分带是十分典型的。其矽卡岩类型、矽卡岩辉石和石榴石的成分及退化蚀变矿物组合, 在纵向上和横向上都显示出明显的分带性。相应地, 由矿床的南西往北东, 构成 $\text{Fe}(\text{Cu}) \rightarrow \text{Zn}(\text{Sn}) \rightarrow \text{Cu}, \text{Zn} \rightarrow \text{Zn}(\text{Pb}) \rightarrow \text{Pb}, \text{Zn}(\text{Ag})$ 的金属分带。研究表明, 流体是从矿床南西部深部逐渐向北东部浅部运移的, 在这个过程中, 流体热力学性质的规律性演化, 是导致矿床中蚀变-矿化分带的主要因素。

关键词: 成矿分带 流体演化 矿液流向

白音诺矿床是近年来探明的一个锰钙矽卡岩型铅锌矿床, 矿体主要产在燕山早期花岗闪长斑岩(少量石英正长斑岩)与下二叠统黄岗梁组大理岩或结晶灰岩接触带的矽卡岩中。笔者已报导过与矿床成矿有关的火山-侵入杂岩^[1]以及矿床地质特征和成矿作用^[2]。本文旨在通过对该矿床矽卡岩和矿化分带性的研究, 结合成矿流体演化, 来探讨成矿过程中的矿液流向问题。

1 矽卡岩分带

白音诺矿床中, 矽卡岩主要分布在矿区复式背斜两翼的层间滑脱构造中。以北东向复式背斜轴为界, 将矿床分为南、北两个北东向矽卡岩矿化带^[2]。无论南矿化带还是北矿化带, 它们的矽卡岩和金属矿化均具很特征的分带。由于这两个矿化带的分带格局近乎相同, 因而本文主要讨论南矿化带(图1)。

(1) 矽卡岩类型

单斜辉石和石榴石是矽卡岩最主要的造岩矿物。辉石和石榴石含量规律性地变化, 使空间上不同地段分布着不同类型的矽卡岩。南矿化带中, 沿走向从南西往北东, 依次是: 石榴石矽卡岩为主(图1中A, 最西南部铁矿点), 辉石石榴石矽卡岩为主(图1中B, 14号矿体), 辉石石榴石矽卡岩和石榴石辉石矽卡岩(图1中C, 铜锌矿体), 石榴石辉石矽卡岩和辉石矽卡岩(图1中D, 3号和2号矿体), 辉石矽卡岩为主(图1中E, 1号矿体)。这就显示出, 从南西往北东, 沿走向上, 矽卡岩中石榴石逐渐减少, 辉石逐渐增多。

相应地, 不同地段矽卡岩的化学成分也有一定变化规律。即从南西往北东, 矽卡岩的 CaO 含量逐渐降低, MnO 含量逐渐增高, 因而从钙矽卡岩逐渐变化成锰钙矽卡岩建造。

(2) 矽卡岩矿物

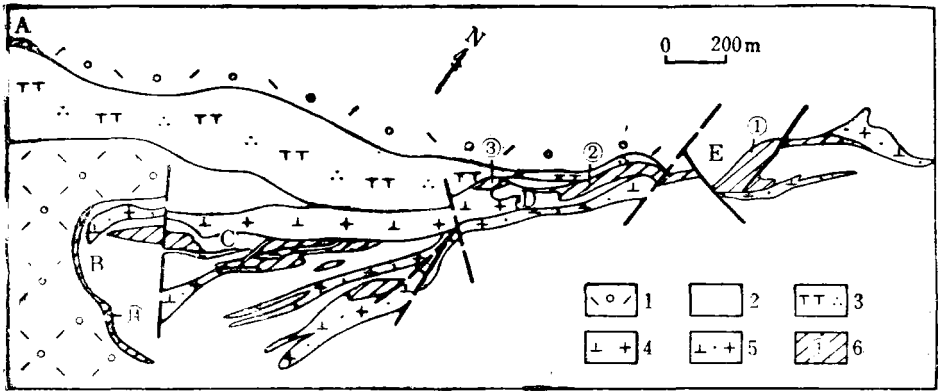


图 1 南矽卡岩矿化带分带示意图
1—晚侏罗世火山岩；2—下二叠统碳酸盐岩及碎屑岩；3—石英正长斑岩；4—花岗闪长岩；5—花岗闪长斑岩；6—矽卡岩、矿体及编号如下表：

序 号	A	B	C	D	E
水平位置	最西部铁矿点	14 号矿体	Cu-Zn 矿体	3 号和 2 号矿体 (中部)	最东部 1 号矿体
矽卡岩矿物组合	Ga ± Cpx	Ga ± Cpx ± Wo	Ga + Cpx ± Ves	Cpx ± Ga ± Wo	Cpx ± Ga ± Wo
矽卡岩辉石成分	Di 95.3, Hd 1.3, Jo 3.4	Di 88, Hd 12, Jo 0.0	Di 76.3, Hd 17.7, Jo 6.0	Di 16.1, Hd 63.6, Jo 20.0	Di 17, Hd 66.0, Jo 23
金属矿物	磁铁矿 >> 黄铜矿	磁黄铁矿 > 闪锌矿	毒砂 > 闪锌矿 > 黄铜矿	闪锌矿 >> 方铅矿	闪锌矿 > 方铅矿 > 黄铁矿
主要金属	Fe (Cu)	Zn (Sn)	Cu, Zn	Zn (Pb)	Pb, Zn
主要成矿温度(℃)	480 ±	450 ~ 340	425 ~ 327	400 ~ 325	375 ~ 360

矿物代号：Ga—石榴石，Cpx—辉石，Wo—硅灰石，Ves—符山石，Di—透辉石，Hd—钙铁辉石，Jo—锰钙辉石

Fig. 1. Geological plan showing zonation of the southern skarn and mineralization belt.

1—Late Jurassic volcanic rocks; 2—Lower Permian carbonate and clastic rocks; 3—Quartz syenite-porphphy; 4—Granodiorite; 5—Granodiorite porphyry; 6—Skarn, orebody and their serial number. Symbols for minerals: Ga—Garnet; Cpx—Pyroxene; Wo—Wollastonite; Ves—Vesuvianite; Di—Diopside; Hd—Hedenbergite; Jo—Johannsenite.

矽卡岩辉石和石榴石的种属及化学成分，空间上也呈现出规律性变化，其中辉石的变化最具代表性。南矿化带16件辉石的化学分析和电子探针分析结果表明，辉石的镁、铁、锰固溶体含量变化极大。将其投影在 $\text{CaMnSi}_2\text{O}_6(\text{Jo})-\text{CaMgSi}_2\text{O}_6(\text{Di})-\text{CaFeSi}_2\text{O}_6(\text{Hd})$ 图解上(图2)，不但Di与Hd之间明显地存在一个成分上的间断，而且依其空间位置不同，辉石有不同的种属。从南西往北东，矽卡岩辉石的种属依透辉石→次透辉石→钙铁辉石→锰钙铁辉石的序列变化(图2)。亦即辉石的MgO含量逐渐降低，FeO含量急剧增高，MnO含量在北东部最高。矽卡岩中的辉石不仅在纵向上(即从南西往北东)有逐渐富铁、锰而贫镁的变化，而且在横向上，有时也有类似的变化效应。亦即在一个横剖面上，虽然矽卡岩岩石类型的分带并不很明显，但沿岩体(花岗闪长斑岩)向大理岩或结晶灰岩方向，辉石有时亦具富铁锰、贫镁的变化趋势。

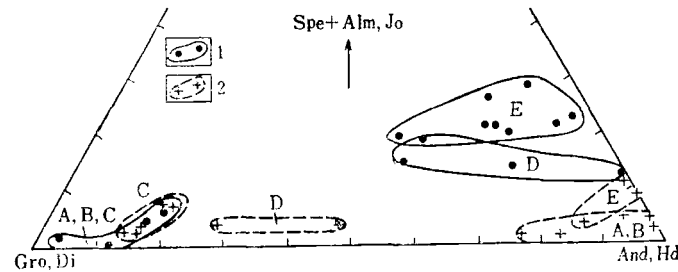


图2 辉石和石榴石成分

1—辉石及其成分范围;2—石榴石及其成分范围。A、B、C、D、E同图1。矿物代号:Di—透辉石,Gro—钙铝榴石,And—钙铁榴石,Spe—锰铝榴石,Alm—铁铝榴石,其余同图1

Fig. 2. Compositions of pyroxenes and garnets.

1—Pyroxene and its compositional range; 2—Garnet and its compositional range. Sectors represented by A, B, C, D, E as for Fig. 1. Symbols for minerals: Di—Diopside; Hd—Hedenbergite; Gro—Grossular; And—Andradite; Spe—Spessartine; Alm—Almandine.

15件石榴石的化学分析和电子探针分析表明,石榴石的种属由南西往北东亦具有一定的变化规律(图2)。其中南西部为含锰铝榴石极低的钙铁榴石,往北东方向,依次为钙铝榴石(铜锌矿体地段)、钙铝-钙铁榴石(3号矿体地段)、含锰铝榴石较高的钙铁榴石(1、2号矿体地段)。

白音诺矿床中,主要的铅锌矿化地段(1、2、3号矿体),矽卡岩矿物较富锰,其中包括石榴石和单斜辉石,均不同程度地富集锰,而具铁、铜矿化的矽卡岩辉石较富镁,这种变化趋势,与中国和世界上的含矿矽卡岩完全一致^[3,4]。

从矿床南西往北东,矽卡岩的退化蚀变矿物亦出现有序变化,其中南西部常以绿帘石、角闪石、黑柱石、石英为主,中西部以绿帘石、绿泥石、石英为主,北东部为石英、方解石。

2 金属分带

与矽卡岩分带相对应,矿床中存在明显的金属分带。这主要表现在矿石类型及矿石成分、金属矿物组合及金属矿物标型等方面。

根据矿石中金属矿物和有用组分含量,白音诺矿床存在多种矿石类型。南矿化带最西部的钙矽卡岩中,产含铜磁铁矿石,往北东方向,14号矿体为含锡闪锌矿磁黄铁矿石,然后是铜锌矿石、锌矿石、铅锌矿石(表1)。相应地,矿石中金属矿物含量及组合,从最西部铁矿点中磁铁矿 $\gg$ 黄铜矿;到14号矿体中磁黄铁矿 $>$ 闪锌矿,并有含锡矿物(如硫铁锡铜矿);铜锌矿体中毒砂 $\geq$ 闪锌矿 $>$ 黄铜矿 $\gg$ 方铅矿;再往北东,3号矿体中闪锌矿 $\gg$ 方铅矿,并偶见黄铁矿;最北东部1号矿体,闪锌矿 $\geq$ 方铅矿,并含黄铁矿。因此,南矿化带中主要有用金属组分在纵向上按 $\text{Fe}(\text{Cu}) \rightarrow \text{Zn}(\text{Sn}) \rightarrow \text{Cu}, \text{Zn} \rightarrow \text{Zn}(\text{Pb}) \rightarrow \text{Pb}, \text{Zn}(\text{Ag})$ 依次变化。其中,银在北东部较富集,尤其在北矿化带北东部的4-8号矿体中,银的富集最为明显^[2]。

对各矿体矿石的主元素和微量元素分析表明(表1,表2),由矿床南西往北东,不同地段矿石中 $\text{Zn}/(\text{Zn} + \text{Pb})$ 、 $\text{Cu}/(\text{Cu} + \text{Pb} + \text{Zn})$ 、 $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mn})$ 值有逐渐降低的趋势。微量元素Bi在西南段最高,东北段最低,而Sb则相反。Sn和挥发组分F在矿床西南段最高,东北

表 1 南矿化带矿石类型及金属组分
Table 1. Types and metallic constituents of ores from
the southern mineralization belt

水平位置	SW $\longrightarrow$ NE				
	最西部铁矿点	14 号矿体	Cu-Zn 矿体	3 号和 2 号矿体	最东部 1 号矿体
矿石类型	含铜磁铁矿矿石	含锡闪锌矿磁黄铁矿矿石	铜锌矿石	主要为锌矿石, 少量铅锌矿石	铅锌矿石 (主要), 少量铅矿石
金属矿物及含量 (%)	磁铁矿 25~50, 黄铜矿 0~5	磁黄铁矿 (单斜为主) 10~40, 闪锌矿 5~30, 黄铜矿 0~5, 方铅矿少量, 硫铁锡铜矿少量	闪锌矿 2~30, 黄铜矿 1~20, 方铅矿 0~8, 毒砂 1~30	闪锌矿 4~25, 方铅矿 0.1~5, 黄铁矿少量	闪锌矿 3~30, 方铅矿 1~40, 黄铁矿 1~5
主要金属组分	Fe(Cu)	Zn(Sn)	Cu, Zn	Zn(Pb)	Pb, Zn(Ag)
矿石中银的含量 (10^{-6})	近 于 零	1~64	0~16	0~222	2~187
Zn/(Zn+Pb)	未 分 析	0.90	0.96	0.68	0.63
Cu/(Cu+Pb+Zn)		0.05	0.23	0.04	10^{-4}
$Ag \times 10^4 / (Pb + Zn)$		40.3	7.7	10.8~3.6	3.3
Fe/(Fe+Mn)		0.99	0.94	0.87~0.65	0.80
Bi/(Bi+Sb)		0.99	0.99	0.13~0.06	0.24
Cl/(F+Cl)		0.006	0.64	0.22~0.18	0.61
Sn(10^{-6})		760	45	5~3	7

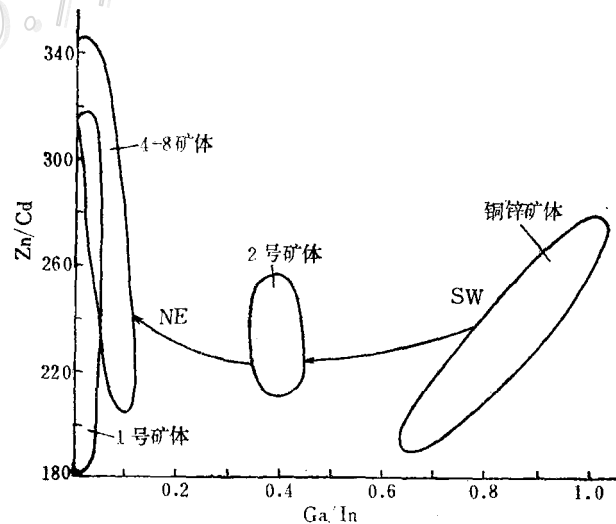


图 3 闪锌矿的 Zn/Cd-Ga/In 图解
Fig. 3. Zn/Cd versus Ga/In diagram of sphalerite.

表 2 矿石的微量元素分析
Table 2. Analyses of minor elements in ores

矿体 组 分	14 号矿体	Cu-Zn 矿体	3 号矿体	2 号矿体	1 号矿体	4-8 矿体
S	11.9	5.28	9.68	7.52	22.06	15.86
Fe ₂ O ₃	40.91	7.25	12.52	14.10	3.78	8.75
TiO ₂	0.036	0.16	0.23	0.054	0.088	0.10
MnO	0.40	0.39	1.72	6.76	0.43	2.34
CdO	0.0015	0.042	0.063	0.046	0.17	0.10
F	3.60	0.021	0.062	0.027	0.05	0.23
Cl	0.022	0.037	0.017	0.006	0.077	0.19
Sn	760	45	5.0	3.0	7.0	3.0
W	140	0.3	2.0	3.0	0.6	0.3
Mo	20	1.0	2.0	0.8	1.5	0.4
Ga	26	6.0	10.0	7.5	7.0	7.0
In	12	<1.0	<1.0	<1.0	5.0	<1.0
Ge	18	1.8	3.9	3.8	1.9	5.3
Bi	330	160	1.3	0.39	1.48	0.53
Se	3.0	3.5	<0.1	<0.1	5.5	<0.1
Te	8.0	0.6	0.3	<0.1	<0.1	<0.1
Sb	0.4	1.4	8.5	6.6	4.7	13.0
Co	20.0	<10	20.0	10.0	30.0	20.0
Ni	<10	20	20.0	<10	<10	<10
Sr	6.0	17	130	3.0	80	38
Ba	180	190	80	17	11	14
Zr	36	50	60	14	30	70
Rb ₂ O	<1	6	26	<1	4	4
Ag	25	65	200	60	100	190

注: 从 S~Cl 单位为 wt%, 其余为 10⁻⁶

段很低, Cl 的变化正好与之相反。

方铅矿和闪锌矿是矿床中最常见的金属矿物, 我们已经报导过它们的世代及其微量组分的含量变化^[2]。这里我们只补充指出, 矿床中不同地段矿石内的主要闪锌矿和方铅矿, 具有不同的世代。例如, 矿区南西部矿体中的闪锌矿和方铅矿主要是早世代产物, 而晚世代的方铅矿和闪锌矿主要见之于北东部。将各矿体中闪锌矿 (共 13 件) 的成分投影到图 3 后发现, 从南西往北东, 闪锌矿的 Zn/Cd 值增高、Ga/In 值降低。11 件方铅矿的 Bi、Sb、Ag 分析也显示出, 由矿区南西部往北东部, 方铅矿中 Bi 逐渐降低, Sb 逐渐增高, 其 Bi/(Bi + Ag + Sb) 值由 0.862 降到 0.032, 而 Sb/(Bi + Ag + Sb) 值由 0.022 增大为 0.254。

矿床中硫盐矿物种类较多^[2], 其空间分布也很不均匀。不同类型的硫盐矿物, 分布在矿床中特定的空间位置, 与一定的矿石类型相伴。白音诺铅锌矿床的硫盐矿物可分为含铋硫盐和含锑硫盐两类。前者如硫铋铜矿、哈硫铋铜铅矿、辉铋银铅矿等, 常和黄铜矿、方铅矿、自然铋等相伴, 产于矿床西南部的 14 号矿体和铜锌矿体中。含锑硫盐矿物如浓红银矿、柱硫银矿、脆银矿等, 常与方铅矿、辉银矿等相伴, 出现在矿床北东部的 1 号矿体和 4-8 号

矿体中。

上述矽卡岩及其退化蚀变,以及金属的空间分带性特点,反映矿床南西部处于相对的高温、高氧逸度环境,北东部相对低温、低氧逸度环境。

3 流体演化

在白音诺铅锌矿床中,无论是矽卡岩辉石、石榴石,还是其退化蚀变产物石英、方解石,以及闪锌矿中,镜下均见较多的流体包裹体。对这些流体包裹体,笔者进行了较多的测试工作,其一般性的结果(包括温度、盐度、压力、 f_{O_2} 、pH、Eh等)及流体的总演化趋势,已作过报道^[2]。这里将较详细地讨论不同地段流体的热力学参数变化,将流体的演化与前述蚀变-矿化的分带性联系起来加以讨论。

图4是根据矿床中不同地段的矽卡岩辉石(Cpx)中流体包裹体均一温度和不同地段矿体中心闪锌矿(Sph)中包裹体爆裂温度,作出的距离-温度图解。矿床南西部辉石及闪锌矿平均温度值分别为450℃和339℃,向北东方向,温度值渐降,并随距离增大,温度梯度逐渐增高。这个结果显示:①南西部是相对于北东部的高温场,二者间温度是逐渐降低的。这与前述蚀变-矿化的分带性是吻合的;②Gamble(1982)对钙铁辉石-透辉石固溶体的实验结果指出:加入50 mol%的透辉石,会使钙铁辉石的稳定性提高约100℃^[5]。Burton等1982年的实验结果表明:当 f_{O_2} 不变,在相同条件下 $Hd_{35}Jo_{15}$ 的稳定温度比 $Hd_{100}Jo_0$ 低50℃(Hd为钙铁辉石分子,Jo为锰钙辉石分子)^[6]。白音诺矿床最北东端的4~8号矿体中辉石比南西段14号矿体中辉石高20~28 mol%的锰钙辉石,低70 mol%的透辉石。相应地,前者比后者温度低约100℃。这种辉石的固溶体成分变化与形成温度的关系,和Gamble以及Burton等人的实验结果大体吻合;③虽然辉石和闪锌矿温度所得出的二个平均温度梯度值(40℃/km和26℃/km)尚存在一定差距,但它们均反映不同地段温度梯度值,由南西往北东,随距离增大而增大的趋势。温度梯度是距热源的距离以及流体的流动速度等诸因素的函数。这一结果,起码可以定性地说,热源是在靠近矿床的西南部深部不远处,流体的总体流向是从矿床的南西往北东。

另外,流体的盐度从矿床南西往北东也是逐渐降低的。其中南西部的石榴石和辉石中常见NaCl子晶,盐度主要在15wt%~47.5wt% NaCl之间,中部和北东段石英和闪锌矿及辉石中流体包裹体盐度在2.5wt%~15wt% NaCl之间,而最北东端与硫化物-硫酸盐共生的方解石,其流体包裹体的盐度仅为2.5wt%~5wt% NaCl。

根据矿床中不同地段辉石、闪锌矿的包裹体成分计算的 f_{O_2} 和pH值,亦反映从南西往北东流体从呈弱碱性的较高氧逸度环境($f_{O_2}=10^{-22}$ Pa)向酸性、低氧逸度环境演化(pH依

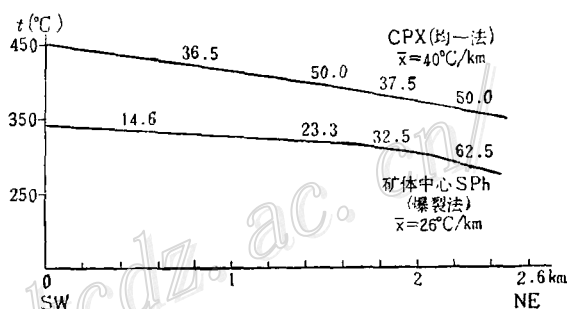


图4 不同地段的单斜辉石和闪锌矿温度梯度
Fig. 4. Temperature gradients of clinopyroxene and sphalerite from different sectors.

次为 5.1, 4.6, 3.8; $f_{O_2} = 10^{-22}$ Pa, 10^{-27} Pa)。从毒砂、磁黄铁矿、黄铁矿等金属硫化物的相平衡资料也可推算出, 从矿床南西往北东, 流体的 f_{S_2} 是逐渐增高的^[2]。

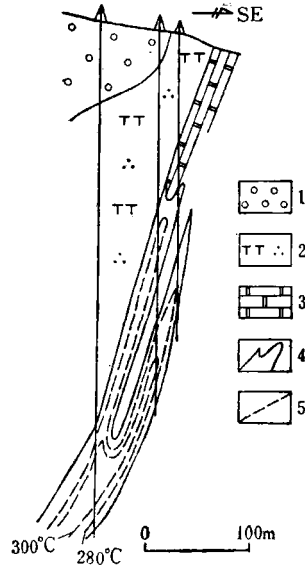


图 5. 13 线 3 号矿体闪锌矿等温线
1—火山岩; 2—石英正长斑岩; 3—大理岩; 4—
Pb、Zn 矿体; 5—等温线

Fig. 5. Isothermal contour of sphalerite from No. 3 lead-zinc orebody along No. 13 exploration line.

1—Volcanic rocks; 2—Quartz syenite-porphry; 3—Marble; 4—Lead-zinc orebody; 5—Isothermal line.

因此, 流体的演化, 是造成矽卡岩和金属矿化分带的重要因素。蚀变-成矿流体从矿床南西部深部逐渐向北东部浅部运移的过程中, 由于其和周围介质不断发生能量和物质交换, 流体的温度、盐度和氧逸度逐渐降低, 硫逸度逐渐增高, 由偏碱性向酸性演化, 并由氧化转为还原环境。在这个过程中, 流体的前锋与围岩交代反应出不同类型矽卡岩, 后续流体则与矽卡岩继续反应, 形成不同类型退化蚀变和金属矿化。金属矿物依氧化物→硫化物→硫酸盐的次序析出成矿, 金属元素依其本身的地球化学学习性分别沉淀于相应的物理化学场中, 从而导致矿床中从南西往北东, 依次出现 Fe(Cu)→Zn(Sn)→Cu, Zn→Zn(Pb)→Pb, Zn(Ag) 的金属分带。

图 5 是 3 号矿体横剖面闪锌矿的等温线图。矿体中心的温度高于边缘部位, 深部矿体形成温度高于浅部, 水平方向的温度梯度 ($1.4^{\circ}\text{C}/\text{m}$) 远大于垂直方向的温度梯度 ($0.16^{\circ}\text{C}/\text{m}$)。这一结果说明矿体上盘的石英正长斑岩岩墙可能和矿体下盘的大理岩一

样, 都只是作为围岩, 参与成矿。而蚀变-成矿流体显然是从深部上升而来的, 并非直接来自该石英正长斑岩岩墙。

4 主要金属组分的比值

将南矿化带和北矿化带各矿体在所有探矿工程中所揭示出的铅锌比值, 按其空间坐标投影 (沿走向水平展开, 倾斜方向纵投影), 并以四边形 (部分为三角形) 法插值, 分别绘制了南、北矿化带的 Zn/Pb 等值试图 (图 6)。它可以给我们提供两个比较重要的信息。第一, 无论是南矿化带, 还是北矿化带, 其 Zn/Pb 值都有南西部深部大于北东部浅部的趋势。这反映矿液总体上是从南西部深部向北东部浅部逐渐运移的, 与成矿有关的主要“热点”应在矿床南西部深部。这与前述研究结果是相互吻合的。许多资料已显示出, 矿区西南部不远的白音诺山存在一个晚侏罗世火山机构, 白音诺矿床中与成矿有关的超浅成中-酸性脉岩系导源于该火山机构^[1], 而火山机构中可能隐伏着的中-酸性侵入体, 可能是矿床蚀变和成矿的主要“热点”。第二, 南矿带出现多处 Zn/Pb 的高值域, 而每个高值域地段亦有从南西深部往北东浅部 Zn/Pb 值变小的趋势。这可能反映了热流体由导矿构造向容矿构造中“分流”和“卸

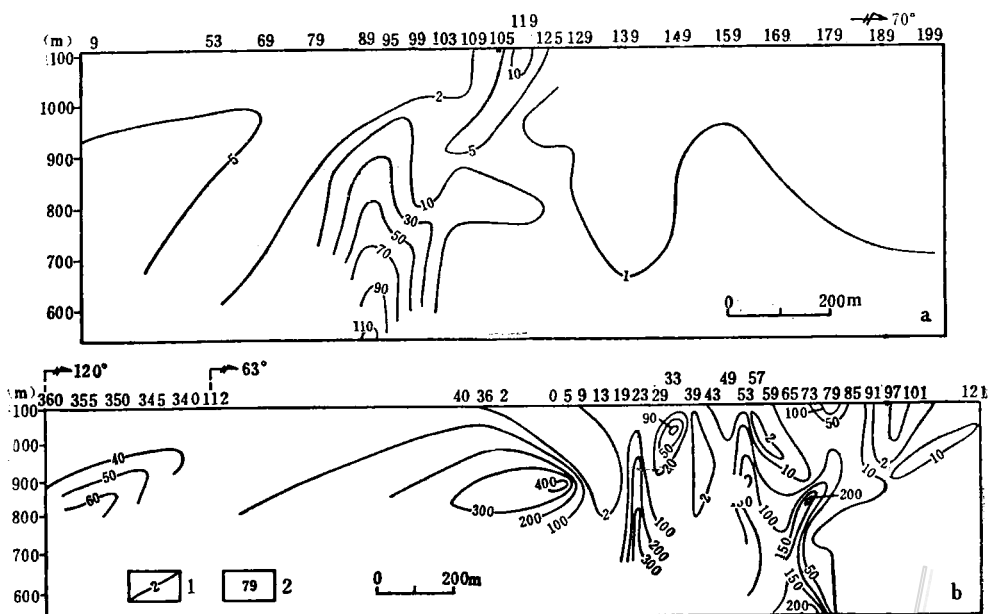


图 6 北矿化带(a)和南矿化带(b)矿体的 Zn/Pb 等值线图

1—Zn/Pb 等值线; 2—勘探线号

Fig. 6. Isopleth map of Zn/Pb ratios for orebodies in the northern (a) and the southern (b) mineralization belt.

1—Zn/Pb isopleth; 2—Serial number of exploration line.

载”的概况。因为据实地观察, 这些局部 Zn/Pb 高值域地段的容矿构造(层间滑脱带)都具较强烈的张扭性质, 其两侧的容矿构造则相对紧闭。流体向每一个有利容矿构造部位“分流”和“卸载”, 就导致了这样多个“矿化中心”的现象。

5 结论与讨论

5.1 白音诺矿床是一个锰钙矽卡岩型铅锌矿床, 它的矽卡岩和矿化分带是十分特征的。其矽卡岩类型、矽卡岩矿物辉石和石榴石的成分及其退化蚀变矿物组合, 在纵向上和横向上都显示出明显的分带。相应地, 从矿床的南西往北东, 矿石类型、金属矿物组合、矿石成分及金属矿物标型, 也构成规律性带状分布。

5.2 蚀变-矿化流体的演化, 一方面揭示了矽卡岩和矿化分带的机理, 另一方面也指示了流体的流动方向。从矿床的南西往北东, 流体的温度、盐度、压力、氧逸度逐渐降低, 硫逸度逐渐增高, 由偏碱性→酸性演化。金属元素按其各自的地球化学习性, 金属矿物大致按氧化物、硫化物、硫酸盐的次序, 分别析出成矿, 从而导致矿床中出现规则的矽卡岩和金属分带。

5.3 流体的演化(尤其是温度梯度)及空间上矿体的锌、铅比值变化, 证明矿液是从矿床南西部深部向北东部浅部运移的, 是由矿脉中心向两侧扩散的。在矿液运移过程中, 容矿构造的性质, 可能也是决定矿液运移方向的重要因素。

野外工作得到内蒙古第三地质大队大力支持和帮助, 田先知同志协助编制了图 6, 特此致谢。

参 考 文 献

- 1 张德全, 鲍修坡. 内蒙古白音诺中-酸性火山-深成杂岩体的岩石学、地球化学及成因研究. 地质论评, 1990, 36(4): 289~297
- 2 张德全等. 白音诺铅锌矿床地质特征及成矿作用. 矿床地质, 1991, 10(3): 204~216
- 3 赵一鸣等. 中国矽卡岩型矿床. 北京: 地质出版社, 1990, 67~68
- 4 Einaudi M T, Burt D M. A special issue devoted to skarn deposits. Econ. Geol., 1982, 77: 745~754
- 5 Gamble R P. An experimental study of sulfidation reactions involving andradite and hedenbergite. Econ. Geol., 1982, 77: 784~797
- 6 Burton J C, Taylor L A, Chou I-M. The f_{O_2} -T and f_{S_2} -T stability relations of hedenbergite and hedenbergite-johannsenite solid solution. Econ. Geol., 1982, 77: 764~783

MINERALIZATION ZONING AND FLOW DIRECTION OF ORE
FLUID IN THE BAIYINNUO LEAD-ZINC DEPOSIT

Zhang Dequan and Lei Yunfen

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

Luo Taiyang, Bao Xiupo and Wang Shengli

(No. 3 Geological Party, Inner Mongolia Bureau of Geology and Mineral Resources, Chifeng, Inner Mongolia)

Abstract

Ore bodies of the Baiyinnuo ore deposit occur mainly in magnesian calcic garnet along the contact zone between Late Triassic granodiorite porphyry or quartz syenite porphyry and Lower Permian marble. Obvious alteration and mineralization zoning exists both longitudinally and laterally in the ore deposit. From southwest to northeast, garnet content of skarn gradually decreases whereas pyroxene content progressively increases; Di component in pyroxene gradually decreases while Hd and Jo progressively increase. Jo in pyroxene of skarn at the northeastern end is by 20~28 mol% higher than that in pyroxene at the southwestern end, whereas Di is by 70 mol% lower. Correspondingly, minerals of degeneration alteration in skarn roughly vary in order of epidote (amphibole, ilvaite), quartz, chlorite and calcite.

According to difference in ore type, within a distance of some 3 km from southwest to northeast in the ore deposit, there exists primary metallic zoning

of Fe(Cu)—Zn(Sn)—Cu, Zn—Zn(Pb)—Pb, Zn, Ag, along which regular variations can be observed not only in $Zn/(Zn+Pb)$, $Cu/(Cu+Pb+Zn)$ and $Fe/(Fe+Mn)$ ratios of ores and minor components Bi, Sn, F, Sb and Cl but also in $Bi/(Bi+Ag+Sb)$ and $Sb/(Bi+Ag+Sb)$ ratios of galena as well as Zn/Cd and Ga/In ratios of sphalerite. In addition, minor sulfate minerals in ores change progressively from Bi-bearing ones to Sb-bearing ones.

From southwest to northeast in the ore deposit, the temperature gradient values are $26\sim40^{\circ}\text{C}/\text{km}$; in profile, the horizontal temperature gradient ($1.4^{\circ}\text{C}/\text{m}$) is by far larger than the vertical temperature gradient ($0.16^{\circ}\text{C}/\text{m}$). Longitudinally, salinity, f_{O_2} , pH and f_{S_2} of ore fluid vary regularly. All this implies that the evolution of ore fluid is an important factor causing the skarn and mineralization zoning. Ore fluid flowed gradually from the depth in the southwest of the ore deposit to the shallow place in the northeast. Quite a few high-value areas that appear in the Zn/Pb isopleth map suggest that ore fluids diffused and permeated from the center of the ore vein to both sides. When the ore fluid migrated, its frontal part constantly reacted with the wall rocks to form different types of skarn, accompanied by the evolution of its properties, and the follow-up fluid carried on the reaction with the skarn, forming different types of alterations and ore accumulations.

四通 4S 高级科技编排系统简介

四通 4S (Super Science Setting System) 高级科技书刊编排系统, 是专门为科技类书刊文献的编排而设计的, 排版功能实用性很强, 采用即打即排的操作界面, 直观形象, 从根本上解决了科技书刊排版的难题。

4S 系统具有文字、图片、数学、化学、乐谱、表格、杂志、造字等直观排版功能, 可在 24 针打印机、不同精度激光印字机及激光照排机, 输出与版式一致的样张, 目前可提供包括宋、楷、黑、仿宋、魏碑、隶书、中圆、细圆、标宋等丰富的汉字字体。

四通 4S 先后荣获第 37 届尤里卡世界发明博览会金奖、北京首届国际博览会金奖、广州第二届国际专利技术及新产品展金奖、美国纽约第 14 届国际发明展金奖、北京市发明展金奖、科技进步一等奖等 20 多项大奖, 获中国发明专利和美国发明专利授权。

四通 4S 系统自 1987 年 7 月问世以来, 受到广大用户的欢迎, 取得了令人满意的使用效果。为了使 4S 系统更加完善, 北京四通集团公司于 1990 年 6 月在珠海创办了开发生产基地, 先后推出了 4S-KNM、4S-9218 等性能价格比极优的排版机, 及国内一流的向量汉卡及激光照排机。该公司拥有一支经验丰富的技术开发队伍, 及遍布全国各地的销售、服务网点, 可为广大用户提供优质服务。