

# 内蒙黄岗梁—孟恩陶勒盖矿带成矿流体特征及成矿物理化学条件\*

冯建忠 艾霞 王莉娟 张秀红

(有色总公司北京矿产地质研究所)

**摘要** 本文研究了内蒙黄岗梁—孟恩陶勒盖矿带多金属矿床包裹体特征。深源浅成矿床系列形成于 $116-480^{\circ}\text{C}$ ,  $150 \times 10^5 - < 1600 \times 10^5 \text{Pa}$ ,  $f_{\text{S}_2} = 10^{-5.04} - 10^{-8.5} \text{Pa}$ ,  $f_{\text{O}_2} = 10^{-21.88} - 10^{-36.6} \text{Pa}$ ,  $\text{PH} = > 3.8 - 7.59$ ,  $\text{Eh} = -0.37 - -0.71 \text{ev}$ , 酸性—碱性, 弱氧化—还原条件; 浅源深成矿床系列形成于 $190-580^{\circ}\text{C}$ ,  $630 \times 10^5 - > 1267 \times 10^5 \text{Pa}$ ,  $f_{\text{S}_2} = 10^{-8.5} - 10^{-9.5} \text{Pa}$ ,  $f_{\text{O}_2} = 10^{-18.38} - 10^{-29.65} \text{Pa}$ , 酸性—中性, 氧化—弱还原条件。据岩浆演化和流体性质的变化, 建立了成矿—流体演化的四阶段模式。

**关键词** 包裹体 成矿流体 物理化学条件 流体演化模式 矿床系列

## 1 成矿基本地质特征

内蒙东部多金属矿床成矿带西起黄岗梁东至孟恩陶勒盖, 北东向延伸400多公里, 宽100公里。其主体受黄岗梁—甘珠尔庙复背斜和林西—陶海营子复向斜控制。矿床(点)星罗棋布, 计有大中小型矿床22个, 矿点近200个。有用组分多, 元素组合复杂, 亲硫亲氧两大成矿元素族共存, 含Sn、Ag、Cu、Pb、Zn、Fe、W、Mo、As、Be、Au、Cd、In、Co、Nb、Ta等近20种元素。绝大多数矿床(点)含Sn、Ag高, 其中可作为独立银矿开采的大型银矿2个(大井、孟恩矿床), 中小型银矿近10个(含伴生银)。锡矿床大型1个(大井), 中小型锡矿床近10个。成因类型主要有火山—次火山岩型、矽卡岩型、岩浆侵入期后热液型、斑岩型、云英岩型、石英脉型等<sup>①</sup>。

成矿具有时间上的集中性和空间上的分带性, 成矿时期主要集中于燕山早中期, 其

① 本文1992年11月收到, 1993年4月改回, 张玉林编撰。

\* 本文为七、五攻关项目75—55—03—10的一部分, 徐景、杨伦参加了部分工作。

① 冯建忠等, 待刊

次为燕山晚期。西段（黄岗梁—林西地区）以Fe、Sn、W为主，中段（大井—白云诺地区）为Sn、Ag、Fe、Cu、Pb、Zn（W）矿化，东段（甘珠尔庙—孟恩地区）以Cu、Ag、Pb、Zn（Sn、W）为主（图1）。

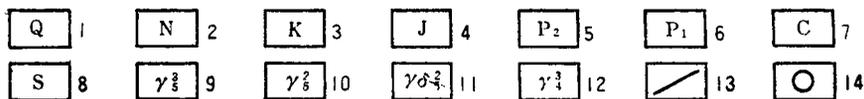
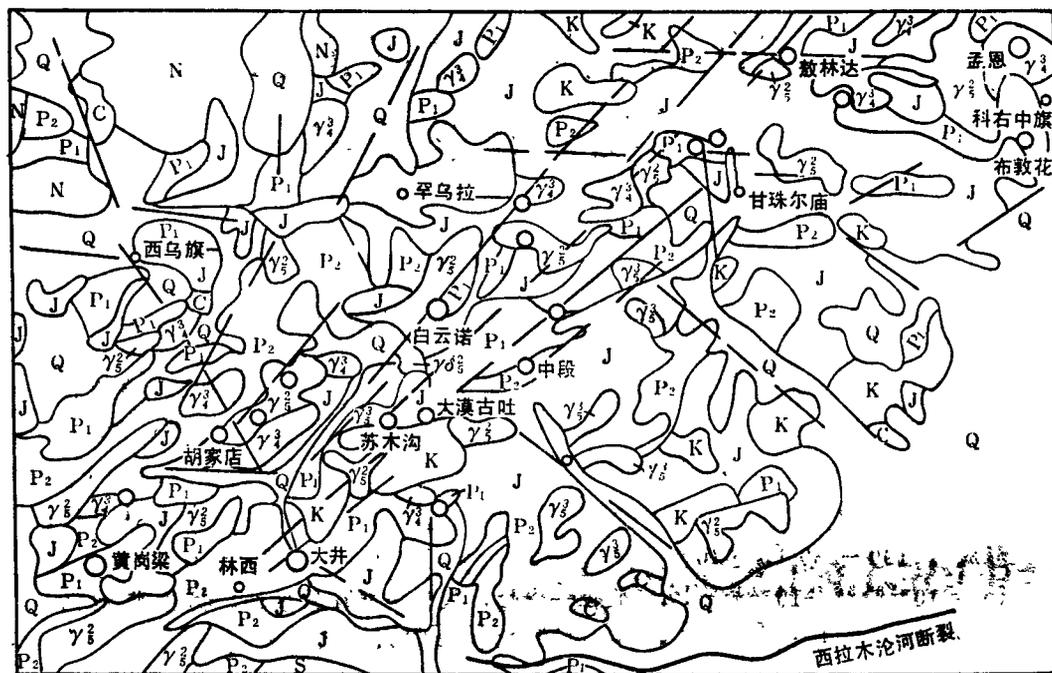


图1 内蒙黄岗梁—孟恩陶勒盖矿带地质图

1—第四系；2—第三系；3—白垩系；4—侏罗系；4—上二叠系；6—下二叠系；7—石炭系；8—志留系；9—燕山晚期花岗岩；10—燕山早期花岗岩；11—燕山早期花岗闪长岩；12—华力西晚期花岗岩类；13断裂；14—矿床（大、中型）

成矿在时间、空间及成因上与中生代陆相火山—岩浆作用关系密切，特别是当存在受同一火山岩—一次火山岩—侵入岩空间上三位一体构造控制时，往往形成有用元素多和规模大的矿床。据成矿地质环境、成矿作用、元素组合等将矿带分为深源浅成Sn—Ag—Cu—Pb—Zn（Mo、Au）矿床系列和浅源深成Fe—Sn—W—Be矿床系列。前者产在矿带中东段凹陷区火山盆地及其边缘，与上地幔同熔型岩浆形成的中酸性火山岩、次火山岩、侵入岩关系密切；后者产在矿带中西段中生代隆起区，与陆壳重熔型岩浆形成的酸性、超酸性花岗岩岩基岩株关系密切；前者定位于二叠系与侏罗系不整合面附近或其上的侏罗白垩纪火山岩中，后者定位于不整合面附近或其下的二叠系碎屑岩、碳酸盐岩地层中。除此之外，两个矿床系列的差别还表现在包裹体特征及流体性质上，反

映了本矿床成矿地质环境的多样性和成矿物理化学条件的复杂性

## 2 流体包裹体特征

浅源深成矿床系列包裹体较复杂，类型多，气液包体、气相包体、多相包体均有，有时见到有机质包体。包裹体较大，一般 $>5-15\mu$ 。子矿物及子矿物包体常见。子矿物以石盐为主，其次是无色透明浑圆状、柱状绿柱石、电气石等。其盐度都很高（一般大于35Wt%NaCl当量，表1）。经常见有沸腾包体，说明成矿流体曾有过沸腾。沸腾温度一般都较高，如东城沟、宝盖沟、小东沟、黄岗梁地区沸腾温度为340—480°C。样品中见有临界包体，说明成矿流体曾处于超临界状态，含子矿物多相包体和气相包体共存，说明成矿流体为高浓度盐水溶液和与之平衡共存的蒸气。本系列矿床的成矿温度达190—580°C或更高。

表1 矿带中主要矿床流体包裹体特征

矿区	成因类型	包裹体类型及特征	盐度	密度	沸腾及其温度	均一温度
大井	次火山岩型	I型为主，II型少见。椭圆形长条状， $<3-6\mu$ ，个别 $5-10\mu$ 。子矿物少见，偶尔见到有机质包体	3.4—21.01 平均11.5	$<0.8-1.02$	未见沸腾现象	116—370°C
宝盖沟	云英岩型	III型均有，以II型为主。子矿物较多，为NaCl及少数短柱状非均质透明无色矿物	31—55 一般 $>35$	1.05 $>1.1$	沸腾 350—440°C	190—580°C
黄岗梁	砂卡岩型	I型为主，其次是II型，III型少见。子矿物常见，以石盐为主	31—46	1.06—1.1	偶尔见沸腾包体	150—410°C
小东沟 东城沟	云英岩型 石英脉型	III型均有，子矿物较多，为NaCl晶体及无法定名的子矿物	31—50 一般 $>34$	1.05— $>1.1$	沸腾 360—480°C	220—580°C
胡家店 曹家屯	斑岩型	III型均较丰富，I型为主，II型占10—30%。子矿物较多，有的子矿物在500°C以上消失，有的600°C以上不消失。	28—47 一般 $>32$	1.05—1.09	沸腾	170—460°C
浩布高	砂卡岩型	III型共存，子晶发育	较高		有时沸腾	
白云诺	次火山岩型	I型，长管状、矩型、长柱状，不规则状。1—20 $\mu$ ，无规律分布。硅灰石、透辉石中包体有时具定向性沿长轴分布	砂卡岩型 51—45 矿化期 2.5—15	0.95—1.10	局部有沸腾包体， 沸腾温度 300—360°C	砂卡岩期 600—340°C 矿化期 400—170°C
孟恩	岩浆侵入期后热液型	I型为主	较低	$<1.00$	无沸腾	135—290°C
毛登	次火山岩型	I、II、III型包体均较发育，子矿物较多，包体管状、椭圆状	31.6—34	0.94—1.10	沸腾	220—480°C

测试单位：有色总公司北京矿产地质研究所 王莉娟等

深源浅成矿床系列包裹体比较简单,以气液包体为主,偶尔可见到多相包体和有机质包体。包体较小,一般 $1-10\mu$ ,个别 $>15\mu$ 。从成岩晚期→成矿早期→成矿晚期,随着成岩作用的结束和成矿作用的进行,气液比逐渐减小,盐度逐渐降低,如白云诺矿床从矽卡岩阶段→石英硫化物阶段→硫化物硫盐阶段,盐度为 $15-30 \rightarrow 2.5-11.5 \rightarrow 2.5-5\text{Wt}\%$  NaCl当量,气液比 $20-50 \rightarrow 15-20 \rightarrow 5-15\%$ 。〔1〕大井矿床从锡石石英阶段→早期硫化物阶段→晚期硫化物阶段→银铅(锌)硫盐碳酸盐阶段,盐度为 $[21.01 \rightarrow 15.6 \rightarrow 8.9 \rightarrow 3.44\text{Wt}\%$  NaCl当量,气液比为 $35-18\% \rightarrow 16-10\% \rightarrow 9-5\% \rightarrow <3\%$ 。本矿床系列成矿期包体气液比小,一般为 $0-15\%$ ,个别大于 $20\%$ ,盐度一般小于 $20\text{Wt}\%$  NaCl当量,密度小于1。沸腾包体只在富矿带石英中见到,沸腾温度稍低,一般低于 $360^\circ\text{C}$ 。成矿流体为低盐度低密度快速流动的热热水溶液。浅源深成矿床系列成矿不远离岩体,主要在岩体顶部或边部,成矿流体流动距离不大。而深源浅成矿床系列,不但在次火山岩、侵入岩体中成矿,而且也经常远离侵入体在侏罗系、白垩系火山岩和二叠系碎屑岩中成矿,流体运移距离大,两大矿床系列包体特征上的差别反映了本区成矿作用的复杂性。

### 3 成矿流体成分特征

据大井、白云诺、宝盖沟3个典型矿床流体包体成分分析(表2),深源浅成矿床系列流体中富含 $\text{Na}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{CH}_4$ 。(大井、白云诺),而且克离子比 $\text{F}^-/\text{Cl}^- > 1$ ,  $\text{K}^+/\text{Na}^+ > 1$ ,成分属于 $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^- - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-}$ 型。浅源深成矿床系列(宝盖沟、黄岗梁等)流体中主要为 $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{F}^-$ 、 $\text{Cl}^-$ ,

含少量的 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ ,克离子比 $\frac{\text{Ca}^{2+}}{\text{Na}^+}$ 、 $\frac{\text{Mg}^{2+}}{\text{Na}^+}$ 、 $\frac{\text{SO}_4^{2-}}{\text{Cl}^-}$ 均小于0.1。

流体成分上的差异也体现在围岩蚀变上,前者以硅化、碳酸盐化、黄铁矿化、菱镁矿化、绿泥石化、钠化为主,后者以云英岩化、钾化、钠化、电气石化、绢云母化、萤石化为主。子矿物也有所不同,前者以石盐为主;后者除了石盐外常可见到绿柱石、电气石等含F、Be的矿物,浅源深成矿床矿物组合中常出现黑钨矿、绿柱石、白云母、电气石、萤石、绢云母等含K、Na、F、B陆壳造岩元素。此外,流体成分也明显地受到具体成矿地质条件(围岩岩性)的控制,如白云诺、黄岗梁矿床,赋矿地层岩性为二叠系碳酸盐,流体中 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 明显偏高, $\frac{\text{CO}_2}{\text{CH}_4}$ 克分子比 $>10$ 。流体成分上

的差异性反映了两大矿床系列在成矿作用和成矿物理化学条件上的差异。

### 4 成矿物理化学条件

从均一温度频率分布直方图(图2)上可以看出,本区各类矿床成矿温度跨度较大。浅源深成矿床系列(宝盖沟、小东沟、黄岗梁、东城子沟Sn、Fe、W、Be矿)为中温—高温,且服从正态分布。而深源浅成矿床系列(大井、白云诺、胡家店Sn、Ag、Cu、

表2 矿带中主要矿床流体包体成分

矿区	矿物及样品数	气相成分 (WB/10 <sup>-6</sup> )						液相成分 (g/l)								克离子 (克分子) 比						
		H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	$\frac{K^+}{Na^+}$	$\frac{Ca^{2+}}{Na^+}$	$\frac{Mg^{2+}}{Na^+}$	$\frac{F^-}{Cl^-}$	$\frac{HCO_3^-}{Cl^-}$	$\frac{SO_4^{2-}}{Cl^-}$	$\frac{CO_2}{CH_4}$
大井	锡石、石英、毒砂矿脉中石英 (2)	0.001	1.00	0.20	1.30	12.50	275	1.30	5.50	5.50	6.00	2.50	3.20	0.12	6.77	1.40	0.07	0.05	0.44	0.05	0.37	5.19
		0.13	1.00	1.90	0.75	30.00	320	9.70	14.30	13.00	1.60	3.80	19.40	2.60	12.73	0.25	2.99	0.65	1.27	0.41	0.34	5.74
	锡石硫化物矿脉中石英 (3)	0.13	0.88	1.35	1.25	12.00	250	0.07	40.6	53.10	0.67	21.20	24.00	6.00	23.50	0.02	0.65	0.27	0.00	0.27	0.48	3.23
		0.001	1.00	1.35	0.50	12.50	185	0.10	31.08	24.08	1.80	18.00	13.42	3.90	27.16	0.06	0.43	0.21	0.01	0.40	0.29	3.37
		0.13	0.75	1.85	1.50	48.0	325	0.82	65.60	26.80	0.20	33.10	26.40	9.60	68.01	0.004	0.46	0.28	0.02	0.48	0.15	9.43
	铅锌矿脉中石英 (2)	0.13	1.50	1.35	1.00	24.5	285	0.06	17.80	4.90	0.60	9.10	1.60	1.00	0.83	0.04	0.1	0.10	0.01	0.02	0.08	6.60
0.001		0.75	1.35	0.75	21.5	325	11.30	42.70	16.30	4.30	10.50	12.70	4.15	0.87	0.24	0.69	0.38	0.50	0.39	0.14	5.79	
0.001		1.50	1.85	2.00	34.7	275	3.80	14.10	16.50	18.90	27.20	10.50	5.70	105.3	0.41	0.22	0.20	0.50	3.44	0.43	6.82	
银铅碳酸盐脉中石英 (3)	0.001	1.25	1.35	1.50	42.0	325	2.80	36.00	24.50	0.30	17.20	16.60	6.60	28.28	0.01	0.55	0.36	0.15	0.36	0.25	11.31	
	0.25	1.75	6.00	8.00	18.5	275	0.10	14.70	14.00	6.54	6.00	13.50	4.60	47.33	0.64	1.29	0.73	0.01	1.48	0.35	1.12	
	0.001	1.50	1.85	2.00	34.7	275	3.80	14.10	16.50	18.90	27.20	10.50	5.70	105.3	0.41	0.22	0.20	0.50	3.44	0.43	6.82	
白云诺	透辉石 (1)	0.034	1.79	0.11	1.93	113.60	549.54	0	0	801.16	0.036	0.21	331.98	2.15	/	0.02	908.9	9.73	/	/	/	371.78
	早期闪锌矿 (1)	0.076	1.69	0.10	/	45.01	141.85	1.96	10.33	859.95	8.98	9.33	64.25	0	/	0.57	3.96	0	0.35	/	30.80	162.04
	晚期闪锌矿 (6)	0.058	1.30	>0.07	/	20.09	155.95	12.75	35.58	1962	16.29	0.04	24.33	0.42	/	240.3	349.7	9.98	0.67	/	20.4	
宝盖沟	矿体中石英	0.12	6.88	0.00	25.00	33.39	462.5	1.22	15.46	3.35	8.14	13.69	1.37	0.14	/	0.35	0.058	0.009	0.15	/	0.08	/

测试单位: 有色总公司北京矿产地质研究所张秀红

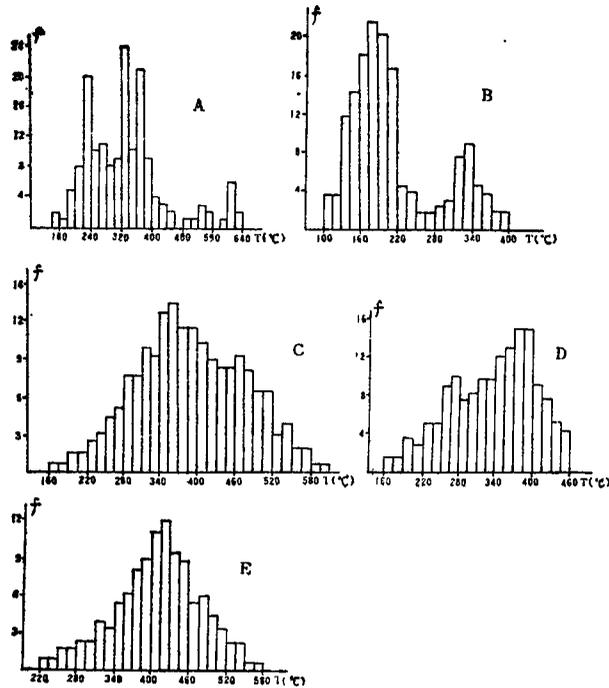


图2 矿带中主要矿床均一温度直方图

A—白云沟, B—大井, C—宝盖沟, D—桐家店, E—东坡沟

Pb、Zn、Au、Mo矿床) 为低温—高温, 出现非正态分布或多峰现象。后者可能反映热液的多来源。多期次互相叠加现象。前者矿物组合简单, 而后者矿物组合复杂, 多个世代的黄铁矿、闪锌矿、锡石或伴生或互相交代, 常具环带结构。本矿床系列从早到晚至少可分为氧化物成矿期、石英硫化物成矿期、晚期硫化物银硫盐成矿期。据研究, 本矿床系列从早到晚 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 逐渐下降变为负值〔3〕, 氧化物成矿期为岩浆水, 而石英硫化物期为岩浆水—大气降水的混合流体, 晚期流体以大气降水为主〔3〕。均一温度和盐度、密度、气液比的规律性降低, 可能都与浅成条件下岩浆水—大气降水对流循环体系的建立有关。相比之下, 浅源深成矿床系列因就位低, 流体运移距离不大, 为半开放环境, 除了岩浆水与岩浆岩(或沉积岩)发生交换反应形成再平衡岩浆水以外, 没有大量外来水的加入, 也没有以上流体性质明显的系列变化。

据包体成分、磁铁矿、闪锌矿、锡石温压计和上覆岩石静压法估算的成矿压力, 深源浅成矿床系列为 $150 \times 10^5$ — $1600 \times 10^5$  Pa, 深度为 $0.1$ — $4$  km, 浅源深成矿床系列为 $630 \times 10^5$ — $1267 \times 10^5$  Pa, 深度为 $1.8$ — $3.6$  km。从表3可以看出前者形成于硫逸度高( $f_{\text{S}_2} = 10^{-5.04}$ — $10^{-6.5}$  Pa)、氧逸度低( $f_{\text{O}_2} = 10^{-21.88}$ — $10^{-36.6}$  Pa)酸性—碱性( $\text{PH} = 3.8$ — $7.59$ )、弱氧化—还原条件( $\text{Eh} = -0.37$ — $-0.71$  eV)。后者形成于硫逸度低( $f_{\text{S}_2} = 10^{-6.5}$ — $10^{-9.5}$  Pa)、氧逸度高( $f_{\text{O}_2} = 10^{-18.38}$ — $10^{-29.65}$  Pa)、酸性—中性、氧化—弱还原条件。

表3 矿带中主要矿床成矿物理化学参数

矿区	成矿温度 (°C)	成矿压力 (Pa)	硫逸度 (Pa)	氧逸度 (Pa)	PH	Eh
大井	1. 锡石、毒砂、石英阶段 300—370°C 2. 锡石、硫化物阶段 260—320°C 3. 晚期硫化物阶段 220—280°C 4. 银铅锡硫化、碳酸盐阶段 140—220°C	1. 闪锌矿压力计: 750—769 × 10 <sup>5</sup> Pa 2. 锡石压力计: 441—484 × 10 <sup>5</sup> Pa	1. 据与磁黄铁矿、黄铁矿共生闪锌矿中 FeS <sub>2</sub> 10 <sup>-5.04</sup> —80 <sup>-8.44</sup> Pa 2. 300°C, 250°C 时据 log fO <sub>2</sub> —log fS <sub>2</sub> 图解: 10 <sup>-7</sup> —10 <sup>-8</sup> Pa	据包体成分计算: 第一阶段: 10 <sup>-21.88</sup> —10 <sup>-22.21</sup> Pa 第二阶段: 10 <sup>-30.55</sup> —10 <sup>-30.9</sup> Pa 第三阶段: 10 <sup>-36.4</sup> Pa 第四阶段: 10 <sup>-36.6</sup> Pa	包体成分计算 第一阶段: PH=4.97 —5.01 第二阶段: PH=5.91 —7.61 第三阶段: PH=6.73 第四阶段: OH=7.07 —7.59	包体成分计算: 第一阶段: —0.71— —0.51— —0.52— 第四阶段 —0.37—0.5
宝盖沟	锡石、石英均一温度 580—160°C	锡石压力计: 630 × 10 <sup>5</sup> —700 × 10 <sup>5</sup> Pa	$FeS_2 = \frac{1}{2} S_2 + FeS$ $log fS_2 = 2logK$ $fS_2 = 10^{-7.66}$ —10 <sup>-9.43</sup> Pa	$2Fe_3O_4 + \frac{1}{2} O_2 = 3Fe_2O_3$ $log fO_2 = -2logK$ $fO_2 = 10^{-18.38}$ —10 <sup>-21.43</sup> Pa	包体成分计算 PH=6.81	包体成分计算: Eh=-6.49
黄茂架	石英锡石均一温度: 240—100°C	锡石闪锌矿压力计: 807.8 × 10 <sup>3</sup> —1267 × 10 <sup>5</sup> Pa	$2FeAs_2 + 2FeS + S = 4FeAsS$ $log fS_2 = -logK$ $FeS_2 = \frac{1}{2} S_2 + FeS$ $log fS_2 = 2logK$ $fS_2 = 10^{-8.5}$ —10 <sup>-9.5</sup> Pa	$3FeAsS + 2O_2 = Fe_3O_4 + 3As$ $+ \frac{3}{2} S_2$ $log fO_2 = -\frac{3}{4} logS_2 - \frac{1}{2} logK$ $2CuFeS_2 + SnO_2 + \frac{1}{2} S_2 = Cu_2FeSnS_4 + FeS + O_2$ $log fO_2 = logK + \frac{1}{2} log fS_2$ $fO_2 = 10^{-29.02}$ —10 <sup>-29.65</sup> Pa		早期磁铁矿、锡石、毒砂平衡共生, 为氧化条件, 晚期为硫化物组合, 向还原条件演化
白云岩	砂卡岩阶段: 600—340°C 石英硫化物阶段 400—220°C 硫化物硫化阶段: 220—180°C	据包体成分: 550—700 × 10 <sup>5</sup> Pa	据 Fe—S—As 体系实验结果和金属成分分析数据估计 早期硫化物阶段: fS <sub>2</sub> = 10 <sup>-7</sup> Pa, 晚期硫化物阶段: fS <sub>2</sub> = 10 <sup>-8</sup> Pa	包体成分计算: 晚期砂卡岩阶段 fO <sub>2</sub> = 10 <sup>-22</sup> Pa 石英硫化物阶段 fO <sub>2</sub> = 10 <sup>-22</sup> —10 <sup>-27</sup> Pa	晚期砂卡岩阶段: PH=5.1 石英—硫化物阶段 PH=4.6—3.8	石英硫化物阶段 Eh=-0.4—-0.56,
五里	石英均一温度 143—237°C, 黄铁矿爆裂温度 225—280°C, 磁黄铁矿爆裂温度 230—250°C, 方铅矿爆裂温度 140—225°C	闪锌矿压力计及上覆岩石静压力估算: (1150—1800) × 10 <sup>5</sup> Pa	据闪锌矿压力计: fS <sub>2</sub> = 10 <sup>-8.5</sup> Pa	据矿物组合, Fe、Sb 物相分析, 氧逸度, 晚期硫化物阶段氧逸度增高	酸碱性常数 γ 值: 据闪锌矿和磁黄铁矿—云母阶段为 211; 石英闪锌矿阶段为 200; 银矿化阶段至 Pb 矿化阶段又升高为 175. 从早到晚 PH 递升, 由弱碱性—碱性	据闪锌矿和磁黄铁矿分析, Eh 值在早期分析, Eh 值在早期分析, Eh 值在早期分析

就具体矿床而言，从成矿早期到晚期，随着温度的降低，物理化学参数也发生规律性变化。大井矿床从锡石石英阶段→锡石硫化物阶段→晚期硫化物阶段→银、铅、硫、盐、复盐、碳酸盐阶段， $fO_2$ 逐渐降低， $fS_2$ 逐渐升高，PH由4.97升高到7.59，由弱酸向碱性条件演化〔3〕。成矿物理化学条件的系列化是不同成矿阶段形成不同元素组合、不同类型矿石的主要原因。Sn、W、Be、Fe矿石是在以岩浆水或再平衡岩浆水为主的流体中，在 $fO_2$ 高、 $fS_2$ 低的弱酸性氧化条件下沉淀的。在 $fO_2$ 降低、 $fS_2$ 升高的中性—弱碱性还原条件下，矿质从岩浆水、再平衡岩浆水与大气降水的混合流体中沉淀形成多金属硫化物矿石。矿化晚期，在以大气降水为主的流体中，在碱性与还原条件下形成铅（铋）银硫酸盐矿化。

## 5 流体演化模式

尽管各类矿床在成矿作用和成矿物理化学条件上具有差别，但其成矿流体服从于统一的流体演化体系，区内各类矿床不同矿物组合的矿石是流体演化不同阶段、不同物理化学条件下的产物。据以上流体包裹体和矿带碳、氢、氧同位素研究〔2〕，建立了4阶段流体演化模式（图3）：

1) 成岩期初始岩浆水和再平衡岩浆水形成阶段，在岩浆结晶作用晚期，流体相与结晶相分离，形成独立的高温（ $>600^{\circ}C$ ）、低盐度、低密度、不含矿或含少量矿质的初岩浆水。随着温度下降，熔融体逐渐固结，流体向上部减压区聚集转变为岩浆期后热流体，并在岩体顶部产生钾化、钠化。初始岩浆水与固结、亚固结岩体发生物质交换（包括同位素交换反应）形成富含矿质的再平衡岩浆水（含矿热液）。由于早期含钾钠等硅酸盐矿物的分解，使一部分 $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 转入溶液相，并使盐度增大。

2) 云英岩化、矽卡岩化及其晚期锡、铁、钨、钼矿化阶段，再平衡岩浆水（含矿热液）在顶部聚集使内压升高。在浅部，当内压超过围岩静压时，致使岩体顶部破裂构成低压场（特别是次火山岩顶部），从而使流体沸腾。本区这一沸腾状态的热流体在 $300-440^{\circ}C$ 的高温下使钾长石分解成为白云母、绢云母等，从而产生云英岩化叠加于钾化、钠化蚀变岩之上。此时因金属离子转入溶液和沸腾等因素使盐度加大，可达31—55Wt% NaCl当量。有的矿床可能因顶部岩石破裂，岩浆热流体开始与大气降水局部产生对流循环，又使流体的温度、盐度降低（大井、毛登等矿床）当温度降低至 $260-460^{\circ}C$ ，在弱酸性—中性氧逸度较高的氧化条件下产生锡、铁、钨、钼等矿化，叠加于云英岩化之上（宝盖沟、小东沟、东城沟矿床，大井矿床第一阶段）。

在钾化、钠化的同时，当围岩为碳酸盐时，再平衡岩浆水与岩体和碳酸盐岩层交代反应，使之矽卡岩化。此时在相对高温高压的封闭条件下，流体沸腾的可能性较小。同时，矽卡岩化使氧逸度升高。在 $340-480^{\circ}C$ ，盐度为31— $>40$ Wt%时含矿热液交代矽卡岩产生锡石、磁铁矿沉淀。流体继续向围岩方向运移，随着温度、盐度、氧逸度降低，在外接触带或岩体边部形成Cu、Pb、Zn、Ag矿化（黄岗梁、苏木沟、大莫古吐等）。

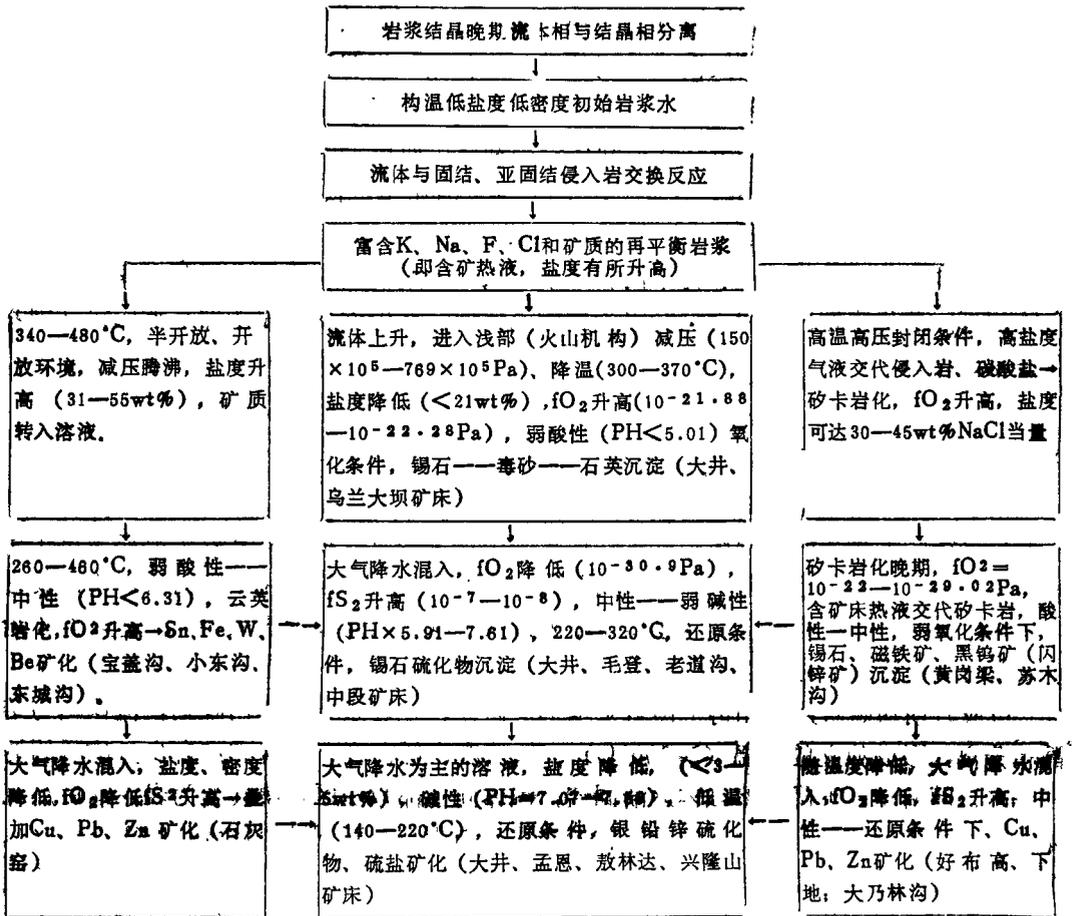


图3 矿床成矿流体演化模式图

3) 锡石—硫化物成矿阶段, 在矽卡岩内产生Sn、Fe、W矿化的同时或云英岩化Sn、Fe、W矿化晚期, 含矿热流体也沿岩体外围裂隙充填交代。此时因大气降水对流体循环形成再平衡岩浆水与大气降水的混合流体, 与前相比, 氧逸度、盐度、密度降低, 硫逸度升高。溶液为弱酸—弱碱性时, 产生大量锡石和硫化物沉淀(大井、毛登、白云诺矿床)。

4) 晚期硫化物、银硫化物碳酸盐成矿阶段, 随着温度进一步降低, 流体以大气降水为主, 流体盐度( $<3-5\text{wt}\%$  NaCl当量)、氧逸度( $<10^{-30}\text{Pa}$ )大大降低, 在中性—碱性还原条件下形成银—铅矿化, 围岩蚀变以碳酸盐化、绿泥石化为主(大井、孟恩矿床等)。

## 6 结论

据以上讨论, 可得出如下结论:

1) 深源浅成矿床系列与浅源深成矿床系列在包裹体类型、气液比、盐度、密度、

沸腾温度、成分、流体性质上各具特点，前者为低盐度、低密度、快速流动的  $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} / \text{Cl}^- - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-}$  型热水溶液，后者为高盐度、高密度、运移距离不大的  $\text{K}^+ - \text{Na}^+ / \text{F}^- - \text{Cl}^-$  型气成热液。

2) 深源浅成矿床系列形成于  $116 - 480^\circ\text{C}$ ,  $150 \times 10^5 - 1660 \times 10^5 \text{Pa}$ ,  $f\text{S}_2 = 10^{-5.04} - 10^{-8.5} \text{Pa}$ ,  $f\text{O}_2 = 10^{-21.38} - 10^{-36.6} \text{Pa}$ ,  $\text{PH} = 3.8 - 7.59$ ,  $\text{Eh} = -0.37 - -0.71 \text{ev}$ , 酸性—碱性, 弱氧化—还原条件; 浅源深成矿床系列形成于  $190 - 580^\circ\text{C}$ ,  $630 \times 10^5 - 1267 \times 10^5 \text{Pa}$ ,  $f\text{S}_2 = 10^{-4.75} - 10^{-9.5} \text{Pa}$ ,  $f\text{O}_2 = 10^{-18.38} - 10^{-29.65} \text{Pa}$ , 酸性—中性, 氧化—弱还原条件。

3) 成矿物理化学条件的系列变化是不同成矿阶段形成不同元素组合、不同类型矿石的主要原因。Sn、W、Be、Fe 矿石是在再平衡岩浆水中, 在  $f\text{O}_2$  高,  $f\text{S}_2$  低的弱酸性氧化条件下沉淀的。在  $f\text{O}_2$  降低,  $f\text{S}_2$  升高的中性—弱碱性还原条件下, 矿质从原始岩浆水、再平衡岩浆水与大气降水的混合流体中沉淀形成多金属硫化物矿石。矿化晚期, 在以大气降水为主的流体中, 在碱性还原条件下形成铅(铋)银硫酸盐矿化。

4) 成矿—流体演化简化为四阶段模式: 低盐度、低密度、高温原始岩浆水 → 沸腾的高温、高盐度、高密度、 $f\text{O}_2$  高的再平衡岩浆水交代岩体和碳酸盐形成云英岩化和矽卡岩化 Sn、Fe、W、Be (Cu、Zn) 矿化 → 大气降水循环对流形成中温、低盐度、低密度、 $f\text{O}_2$  低、 $f\text{S}_2$  高的岩浆水、再平衡岩浆水和大气降水的混合流体, 并发生锡石硫化物矿化 → 低温、低盐度、 $f\text{O}_2$  低、 $f\text{S}_2$  高 (W、Zn); 大气降水溶液在低  $f\text{O}_2$ 、高  $f\text{S}_2$ 、碱性还原条件下形成银矿化。

### 参 考 文 献

- (1) 张德全, 内蒙白云岩铋矿床地质特征及成矿作用, 矿床地质, 1991 (3)
- (2) 冯建忠等, 内蒙黄岗梁—孟恩陶勒盖地区多金属矿床稳定同位素特征, 辽宁地质, 1992 (2)
- (3) 冯建忠, 内蒙白云岩多金属矿床成矿物理化学条件及其成因探讨, 黑龙江地质, 1992 (2)

CHARACTERISTICS OF MINERALIZING FLUID AND PHYSICAL—CHEMICAL CONDITION OF HUANGGANGLIANG—MENGENTAOLEGAI ORE BELT IN INNER MONGOLIA

Feng Hanzhong    Ai Xia  
Wang Lijuan    Zhang Xiuhong

(Beijing Institute of Mineral Resources and Geology, CNNC)

Abstract

The inclusion characteristics of polymetallic ore deposit of Huanggangliang—Mengentaolegai ore belt are discussed in the paper. Deep-derived shallow-seated deposit series formed under the conditions of acid-alkaline, weak oxidation-reduction,  $116-480^{\circ}\text{C}$ ,  $150 \times 10^6 - <1600 \times 10^5 \text{Pa}$ ,  $f_{\text{S}_2} = 10^{-10.00} - 10^{-9.00} \text{Pa}$ ,  $f_{\text{O}_2} = 10^{-21.00} - 10^{-20.00} \text{Pa}$ ,  $\text{PH} = >3.8 - 7.59$ ,  $\text{Eh} = -0.37 - 0.71 \text{ev}$ . Shallow-derived hypogene deposit series formed under conditions of acid-neutral, oxidation-weak reduction,  $190-580^{\circ}\text{C}$ ,  $630 \times 10^6 - 1267 \times 10^6 \text{Pa}$ ,  $f_{\text{S}_2} = 10^{-9.00} - 10^{-8.00} \text{Pa}$ ,  $f_{\text{O}_2} = 10^{-19.00} - 10^{-18.00} \text{Pa}$ . According to the magma evolution and changement of fluid feature, four-stage model of mineralization-fluid evolution is established.

**Key Words:** Inclusion; Mineralizing Fluid; Physical-Chemical Condition; Fluid Evolution Model; Mineralizing Series