

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

大兴安岭中南段金属矿床流体包裹体研究

盛继福 张德全 李 岩

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京)



作者通过在不同温度下对包裹体特征、相变行为的系统观察与测定, 以及对包裹体气、液相成分的分析, 获取了研究区内主要矿床成矿过程中成矿流体的温度、盐度、密度、流体成分、流体的沸腾现象、成矿压力以及 pH , Eh , f_{O_2} 、还原参数等成矿的物理化学参数, 从而为划分矿化蚀变阶段、矿床类型、成矿系列和深化对矿床成矿作用与成矿机制的认识提供了科学依据。尽管矿床属于不同的成矿系列, 只要矿床类型相同, 矿床的流体包裹体地球化学就具有某些相似的特征和相近的物理化学参数。包裹体成分则不受矿床类型制约, 而与矿床成矿系列关系更为密切。

关键词 大兴安岭中南段 金属矿床 流体包裹体 地球化学

大兴安岭成矿带是我国重要的金属成矿带。研究区北起齐齐哈尔西部, 南至赤峰北, 东临嫩江, 西至锡林浩特。该区属中朝板块与西伯利亚板块之间的乌拉尔-蒙古-鄂霍茨克显生宇地槽褶皱带的一部分。大兴安岭中南段火山-深成岩浆活动和金属成矿作用较强。区内铅-锌、银、铜、锡、稀土矿产颇为丰富, 目前已发现金属矿床(点) 300 余处。

根据程裕淇等矿床成矿系列的概念^[1,2], 本区存在 5 个成矿系列(表 1)。

依据矿床成矿作用特点, 本区主要有花岗岩型、云英岩石英脉型、斑岩型、夕卡岩型、热液脉型和火山热液型六种矿床类型。

本文旨在通过对该区主要矿床流体包裹体研究, 为深化对该区的区域成矿作用的认识提供科学依据。

1 流体包裹体类型

在矿物中保存的流体包裹体是成矿流体在成矿过程中留下的见证物。根据矿物包裹体在室温和常压下的成分、形态、相态特征(相数和气液比)以及均一方式, 把本区的原生包裹体分成 L 型、V 型、 L_{CO_2} 型、S 型和 G 型五个类型。次生包裹体是成矿后的产物, 在研究过程中已尽量避免。

L 型——液体包裹体, 由液体和少量气体组成, 气液比小于 50%, 均一至液相。

表 1 大兴安岭中南段金属矿床成矿系列

Table 1 Minerogenetic series from main metallic deposits of the south-central sector of the Da Hinggan Mountains

矿床成矿系列		矿床类型	成矿元素		代表性矿床
			主 要	次 要	
I	与华力西晚期中基性岩浆活动有关的铜、金矿床成矿系列	热液型(与辉绿岩墙有关)	Cu	Au	小坝梁
II	与燕山期中酸性超浅成-浅成侵入岩浆活动有关的金属矿床成矿系列	斑岩型	Cu	Ag, Au	布敦化
		热液脉型	Pb, Zn	Ag	孟恩陶勒盖
			Cu	Ag, Pb, Zn	莲花山
			Cu, Ag, Sn	Pb, Zn	大井
		夕卡岩型	Fe, Cu	Pb, Zn	神山
		火山热液型	Cu		奥尤特
III	与燕山期酸性岩浆作用有关的金属矿床成矿系列	斑岩型	Sn, Ag, Cu	Pb, Zn	敖瑙达巴
		热液脉型	Sn	Cu, Pb, Zn, Ag	毛登
		夕卡岩型	Sn, Fe	W, Pb, Zn	黄冈
		云英岩石英脉型	W, Sn	Pb, Zn	查木罕、沙麦
IV	与燕山期中酸性火山-侵入杂岩有关的金属矿床成矿系列	夕卡岩型	Pb, Zn	Ag, Cu, Sn	白音诺、浩布高、银碾子
		热液脉型	Pb, Zn	Ag, Cu	中段
V	与燕山期碱性花岗岩有关的稀有稀土矿床成矿系列	花岗岩型	Nb, Y	Ta, Be	巴尔哲

V型——气体包裹体，由气体和少量液体组成，气液比大于 50%，一般均一至气相。

L_{co₂}型——含液相 CO₂ 的多相包裹体，由液态 CO₂、气体和水溶液组成，加热后均一到气相或液相。

S型——含子矿物的多相包裹体，由气体、液体和固体组成，即包裹体内除气相、液相外还有子矿物(盐晶)，区内见到的子矿物多为石盐 (NaCl)。

G型——熔融包裹体，实际上封存在矿物中的原始岩浆熔体，在包裹体中除玻璃质外还有气体和液体。

经显微镜下大量观测和统计，研究区内岩浆热液和火山热液矿床中矿物包裹体以 L 型包裹体占绝对优势，仅在敖兰岩体的含钨石英脉中见有 L_{co₂} 型包裹体。夕卡岩型矿床以 L + V 型包裹体为主，有少量 S 型包裹体。斑岩型矿床以 L 型包裹体为主，有少量 V + S 型包裹体。L + V + S 型，以及少量 L_{co₂} 型包裹体是云英岩型矿床的特点，而花岗岩型矿床则以 L 型包裹体为主，V + S + G 型包裹体居其次。

2 流体包裹体的温度测量

区内各主要矿床的成矿温度均采用了与成矿关系密切的矿物包裹体的均一温度和爆

裂温度。本文着重论述包裹体的均一温度。作者采用了法国产 Chaixmeca 冷热台 ($-160-+600^{\circ}\text{C}$) 来测定流体包裹体的均一温度, 精度为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$, 区内主要矿床的均一温度见图 1。由图 1 可见, 各矿床类型的均一温度有明显的差别。

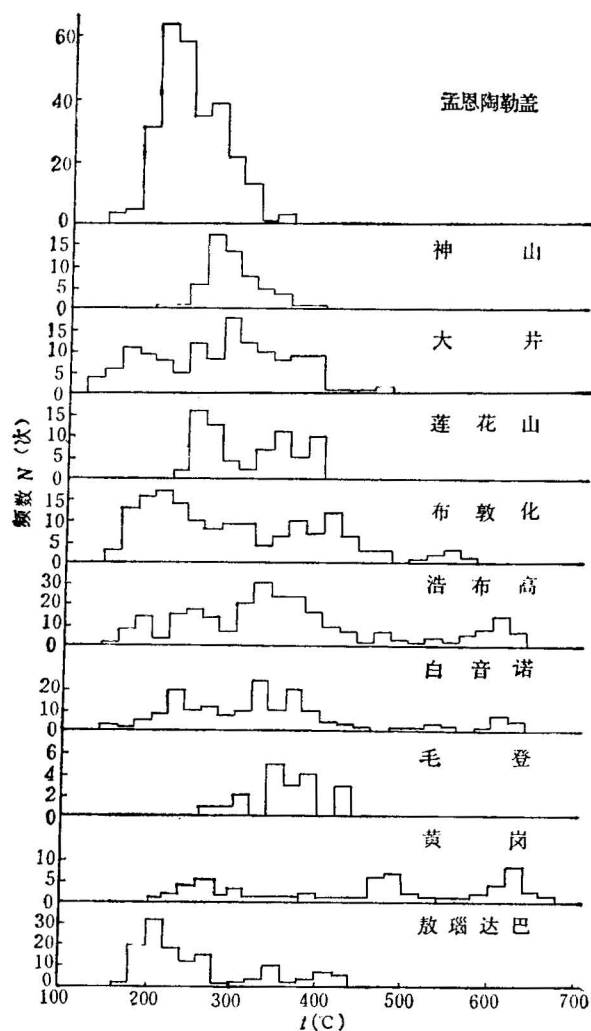


图 1 大兴安岭中南段主要金属矿床均一温度直方图

Fig. 1 Histograms for homogenization temperatures of major metallic deposits in the south-central sector of the Da Hinggan Mountains

斑岩型矿床有布敦化铜矿和敖瑙达巴锡多金属矿床, 它们虽属不同的成矿系列, 但它们的共同特点是都含有 L 型、V 型和 S 型包裹体, 反映在均一温度上, 温度变化区间范围宽 (敖瑙达巴 $440-200^{\circ}\text{C}$, 布敦化 $600-150^{\circ}\text{C}$), 在均一温度直方图上都有好几个峰值 (一般在三个以上), 反映了该类矿床成矿的多阶段性 (图 1)。如布敦化铜矿高温-气成阶段的矿化温度为 $390-600^{\circ}\text{C}$, 中高温阶段 $310-470^{\circ}\text{C}$, 中低温阶段为 $150-310^{\circ}\text{C}$; 敖瑙达巴锡多金属矿床的锡石-毒砂阶段为 $380-440^{\circ}\text{C}$, 锡石-硫化物阶段为 $300-380^{\circ}\text{C}$, 含锡银硫化物阶段成矿温度最低, 为 $160-280^{\circ}\text{C}$ (表 3)。

夕卡岩型矿床在均一温度的变化范围上与斑岩型矿床有相似之处, 温度区间大 ($640-140^{\circ}\text{C}$), 均一温度直方图上具有多个峰值, 同样反映了夕卡岩型矿床矿化蚀变的多阶段性。白音诺铅-锌矿床的夕卡岩早期为 $640-480^{\circ}\text{C}$, 晚期为 $460-340^{\circ}\text{C}$, 石英-硫化物阶段

$400-220^{\circ}\text{C}$, 硫化物-硫盐阶段为 $220-160^{\circ}\text{C}$ 。浩布高铅-锌矿床各矿化蚀变阶段的成矿温度与白音诺矿床有相似之处 (表 3)。黄岗夕卡岩型含锡磁铁矿矿床, 夕卡岩阶段的均一温度为 $680-460^{\circ}\text{C}$, 氧化物阶段 (磁铁矿) 为 $540-320^{\circ}\text{C}$, 而硫化物阶段为 $380-200^{\circ}\text{C}$ 。

热液型矿床成矿温度具二个范畴, 以大井、毛登为代表的含锡的多金属矿床, 均一温度比夕卡岩型及斑岩型矿床范围要窄, 但仍具有较大的区间, 从 480° 到 120°C 。大井矿床的均一温度亦明显的反映出矿化具有多阶段性, 即锡石-石英阶段 $480-340^{\circ}\text{C}$, 多金属

硫化物阶段 340—220℃, 硫化物-硫盐阶段 220—120℃。而以孟恩陶勒盖为代表的含银的铅-锌矿床, 不但其均一温度范围窄, 380—140℃, 而且在均一温度直方图上表现出良好的塔式分布特征。因此, 表明该矿床矿化较简单, 不具多阶段性(图 1)。

本区的小型云英岩型钨-锡矿床(点), 如查木罕、东山湾、小海青、敖兰等矿床, 它们的均一温度为 400—220℃。巴尔哲花岗岩型稀有稀土矿床, 含矿花岗岩石英中气液包裹体的均一温度为 440—286℃, 而石英中的熔融包裹体, 其溶解温度在 750℃ 以上^[3]。

3 成矿流体的盐度

本文流体包裹体的盐度是根据包裹体的不同类型, 分别采用不同的方法测定的。对于 L 型包裹体的盐度, 用法国产的 Chaixmeca 冷热台采用冷冻法测定, 精度 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。用液氮作制冷剂, 使包裹体内的液体过冷却结冰, 然后自然回温, 测定出冰的融化温度, 再在 NaCl-H₂O 体系相图上查出相应的盐度值, 对于 S 型包裹体在冷热台上加热, 测出石盐子晶的熔化消失温度, 再在 NaCl-H₂O 体系石盐晶体熔解曲线图上查出相应的盐度^[4]。区内各主要矿床成矿流体的盐度见图 2。

斑岩型矿床、夕卡岩型矿床成矿流体的盐度区间比一般热液矿床要大。斑岩型、夕卡岩型矿床 $w_{\text{NaCl}}/10^{-2}$, 一般为 5—50, 甚至高达 60, 如布敦化铜矿, 浩布高铅-锌矿; 热液型矿床盐度低、变化范围窄, $w_{\text{NaCl}}/10^{-2}$ 一般小于 10 (图 2)。此外, 成矿过程中流体沸腾亦可产生高盐度的包裹体, 如敖瑙达巴、布敦化、查木罕有 $w_{\text{NaCl}}/10^{-2}$ 为 35—50 盐度的包裹体, 浩布高矿床也见有 $w_{\text{NaCl}}/10^{-2}$ 为 28—35 的沸腾包裹体。

巴尔哲花岗岩型稀有稀土矿床亦属具有高盐度成矿流体的矿床, 包裹体中见有 NaCl 子晶, 其盐度 $w_{\text{NaCl}}/10^{-2}$ 达 32^[5]。

4 成矿流体的密度

溶液的密度、温度和盐度有一定的函数关系, 溶液的密度与温度成反比。当包裹体的均一温度和盐度确定之后, 成矿流体的密度可通过温度-盐度-密度关系图求得^[4](图 3)。

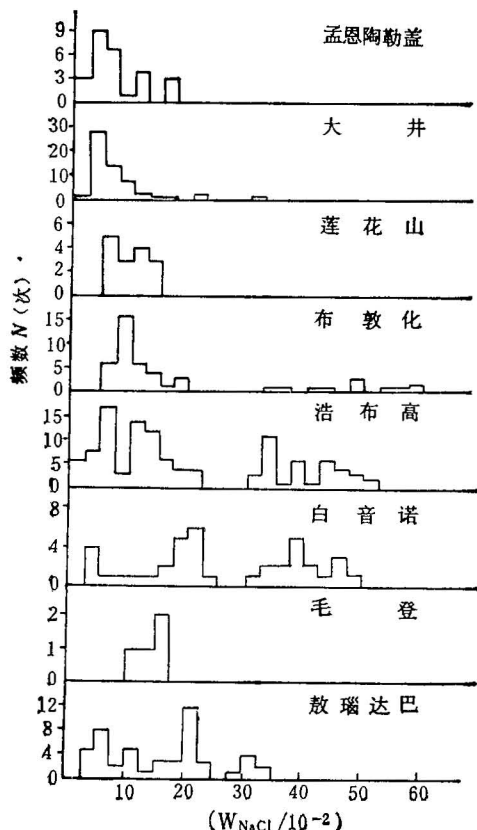


图 2 大兴安岭中南部主要多金属矿床盐度直方图
Fig. 2 Histograms for salinities of major polymetal deposits in the south-central sector of the Daxingan Mountains

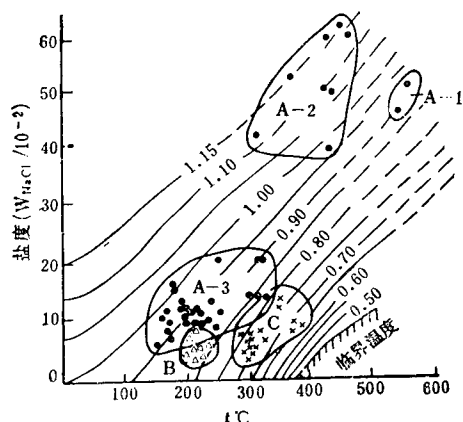


图3 温度-盐度-密度关系图

Fig. 3 Diagram showing the relationships among homogenization temperature, salinity and density

A 布敦化(A-1 气成阶段; A-2 中高温热液阶段; A-3 中低温热液阶段); B 孟恩陶勒盖; C 莲花山

A Budun Hua (A-1 pneumatolytic stage; A-2 meso-hypothermal stage; A-3 meso-epithermal stage); B Meng'en Tolgoi; C Lianhuashan

低,最后仅 $60 \times 10^1 - 40 \times 10^5 \text{Pa}$,表明在成矿过程中构造空间由封闭逐渐转化为较开放体系^[7]。

敖瑙达巴、布敦化等斑岩型矿床初始的成矿压力较低,表明成矿岩体侵位较高,加上岩体顶部往往裂隙发育,成矿作用常处在近于开放的系统中进行。

大井、孟恩陶勒盖等热液矿床的成矿压力表现不一,大井矿床成矿压力较低 $105 \times 10^3 - 260 \times 10^5 \text{Pa}$,与其浅成热液矿床的性质是一致的;孟恩陶勒盖的成矿压力为 $280 \times 10^3 - 400 \times 10^5 \text{Pa}$,反映了其中等深度的成矿环境。

6 成矿流体沸腾

成矿流体沸腾一般是在减压过程中发生的。在成矿过程中常因构造运动引起成矿裂隙的张开,致使压力骤减,从而引起沸腾。由于流体沸腾,造成流体的不均匀性,从而出现气液比相差悬殊及密度不同的包裹体并存。同样由于流体的沸腾,蒸汽相的不断分出,必然造成剩余溶液的盐度增大,甚至形成饱和或过饱和溶液。这种溶液被捕获在包裹体内,经冷却就结晶出盐晶(子矿物)。沸腾包裹体的主要特征就是各类包裹体共存,具有相近的均一温度,而气液比、盐度和密度又有较大的差异。成矿流体从平衡到不平衡的多次发生,在成矿过程中可以多次出现沸腾现象。白音诺、浩布高、布敦化等夕卡岩和斑岩型矿床的成矿压力有较大的变化,正反映了该类矿床中多种压力状态的包裹体共存的特征,说明成矿体系时而封闭,时而开放。当构造裂隙处于闭合时,体系内可以聚积很大的内压力,足以引起岩石的爆破,从而导致体系的开放,随之发生成矿流体的减压沸腾。

区内几个主要矿床成矿流体的密度值如下:布敦化铜矿为 $0.8 - 1.19 \text{g/cm}^3$,莲花山铜矿为 $0.65 - 0.8 \text{g/cm}^3$,孟恩陶勒盖铅-锌矿为 $0.85 - 0.92 \text{g/cm}^3$,浩布高铅-锌矿为 $0.72 - 1.15 \text{g/cm}^3$ 。在均一温度、盐度和密度关系图上尚可较好地反映成矿过程中的阶段性(图3)。

5 成矿压力

本节采用流体包裹体法求压力值,所取得的是一些近似值。区内矿床普遍缺乏含液相二氧化碳包裹体,成矿压力主要依据液相包裹体,采用 S. Sourirajan 等 $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ 体系的 P-T-X 相图和 E. Roedder 的 $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ 体系的 P-T D 图解来估算成矿流体的压力^[5,6]。

白音诺、浩布高等夕卡岩型矿床初始的成矿压力达 $600 \times 10^5 - 700 \times 10^5 \text{Pa}$,随成矿作用的推移,压力逐渐降

成矿过程中的沸腾作用有利于成矿元素在高温溶液里的富集。同样由于沸腾过程中挥发组分的逸散,化学性质发生剧烈变化,有利于金属络合物的分解,进而沉淀成矿,形成富矿体。

通过对区内主要矿床流体包裹体研究,可以看出本区主要大矿、富矿在成矿过程中流体都发生过沸腾(表 2)。

表 2 某些矿床的沸腾温度与沸腾流体的盐度

Table 2 Boiling temperatures and salinities of boiling fluids of metallic deposits

矿床名称	沸腾温度 ($^{\circ}\text{C}$)	沸腾流体的盐度 $w_{\text{NaCl}}/10^{-2}$	矿床名称	沸腾温度 ($^{\circ}\text{C}$)	沸腾流体的盐度 $w_{\text{NaCl}}/10^{-2}$
白音诺	350	30.0 $\pm$	大韭菜沟	231—251, 355	未测
浩布高	350 $\pm$	10.0—30.0 $\pm$	布敦化	170—198	6.4—17.0
敖瑙达巴	300—380	4.0—17.5		184—208	7.7—11.7
查木罕	360—380	5.0—17.5, 35.0—50.0		420—430	30.0—45.0

7 流体包裹体成分

7.1 液相成分

现在发表的流体包裹体液相成分分析数据,虽然以定量形式表示,但可靠性还存在一些问题。考虑到用元素摩尔比值可以消除部分系统误差,在讨论区内矿床成矿流体性质时采用了元素摩尔比值进行对比。对区内石英、方解石、萤石、石榴石、辉石等包裹体液相成分的分析,表明区内矿床的成矿流体主要属于 $\text{NaCl-KCl-CaSO}_4\text{-H}_2\text{O}$ 体系。

区内流体包裹体液相成分资料表明,成矿流体的 $\text{K}^+, \text{Na}^+, \text{Ca}^{++}, \text{Mg}^{++}$ 等成分,以及 F^-/Cl^- , K^+/Na^+ 等值一般不受矿床类型制约,而主要受成矿岩浆性质的控制,也就是说与成矿系列关系密切。区内不同成矿系列的夕卡岩矿床(黄岗矿床属 III 成矿系列,白音诺和浩布高矿床属于第 IV 成矿系列),其 F^-/Cl^- 和 K^+/Na^+ 值以及在 $\text{K}^+-\text{Na}^+-\text{Ca}^{++}+\text{Mg}^{++}$ 阳离子成分三角图上均表现有一定的差异(表 3, 图 4),与此相似的是属于不同成矿系列的敖瑙达巴和布敦化斑岩型矿床在上述特征组分上亦有很大差异。

对区内 II, III, IV 三个主要成矿系列的主要矿床进行了包裹体液相成分分析,各成矿系列特点如下: 1. 第 II 成矿系列的布敦化、莲花山和孟恩陶勒盖等矿床,除个别样品氟和氯含量(mol)相近外,氯比氟有较明显的优势 F^-/Cl^- 值(mol)为 0.13—0.22, 钾比其它成矿系列的富, K^+/Na^+ 值(mol)在 0.40—1.45 之间; 2. 第 III 成矿系列夕卡岩型黄岗锡-铁多金属矿床、斑岩型敖瑙达巴锡多金属矿床 F^-/Cl^- 值(mol)变化在 0.37—1.60, K^+/Na^+ 值(mol)变化在 0.09—0.47 之间,流体中明显的富钠; 3. 第 IV 成矿系列包括白音诺、浩布高等夕卡岩型铅-锌矿床, F^-/Cl^- 值(mol),除有一个样品为 0.35 外,其余为 1.08—61.51,表现出成矿溶液中氟有较大的浓度,该系列矿床的 K^+/Na^+ 值(mol)变化范围从 0.05—2.41。

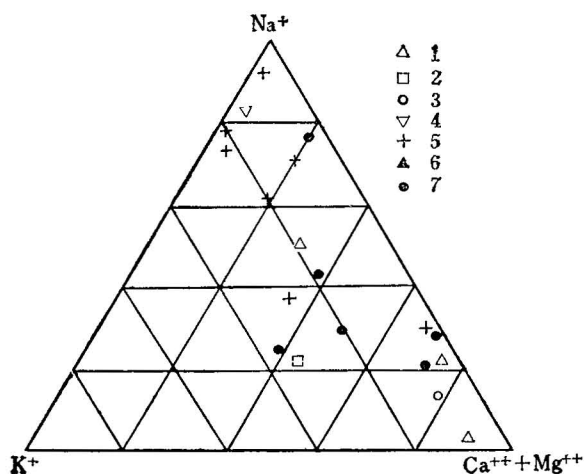


图 4 液相成分 $K^+-Na^+-(Ca^{++} + Mg^{++})$ 图解
(按 mol 数)

Fig. 4 $K^+-Na^+-(Ca^{++} + Mg^{++})$ diagram of the liquid phase

1. 布敦化; 2. 孟恩陶勒盖; 3. 莲花山; 4. 敖瑙达巴; 5. 黄冈;
6. 白音诺; 7. 浩布高
1. Budun Hua; 2. Meng'en Tolgoi; 3. Lianhuashan; 4. Aonao Daba; 5. Huanggang; 6. Bayan Nur; 7. Haobugao

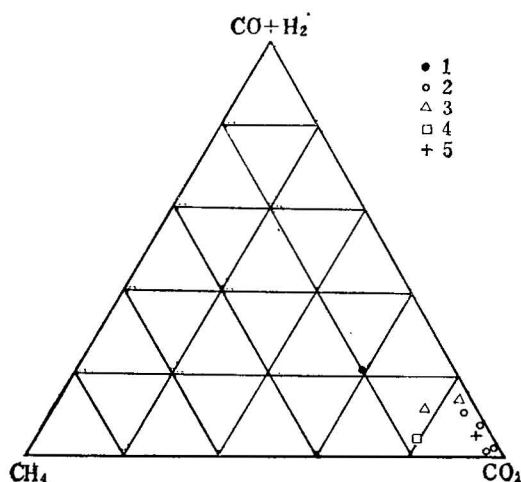


图 5 气相成分 $CO_2-CH_4-(CO + H_2)$ 三成分图解
(按 mol 数)

Fig. 5 $CO_2-CH_4-(CO + H_2)$ diagram of vapour phase composition

1. 敖瑙达巴; 2. 浩布高; 3. 布敦化; 4. 孟恩陶勒盖;
5. 莲花山
1. Aonao Daba; 2. Haobugao; 3. Budun Hua; 4. Meng'en Tolgoi; 5. Lianhuashan

把各矿床成矿流体的阳离子按其摩尔含量投影在 $K^+-Na^+-(Ca^{++} + Mg^{++})$ 成分三角图上(图 4), 成矿系列 II 表现出分布非常分散, 表明样品间成分相对变化大, 钾有一定优势; 成矿系列 III 表现出富钠、贫钾、贫钙和镁, Na^+ 分布在 $> 40\%$ 线内, K^+ , $Ca^{++} + Mg^{++}$ 均分布在 $< 20\%$ 线内; 成矿系列 IV 则表现出贫钾, 多在 $< 20\%$ 线内, 并多数集中在钙和镁富集区。

7.2 气相成分及 R, fo_2, Eh 等参数

气相成分 研究区内矿床流体包裹体的气相成分主要是碳、氢、氧的化合物, 常以 $CO_2, CO, CH_4, H_2, N_2, H_2O$ 等形式产出。在不同的温度、压力等物理化学条件下, 这些气体之间相互反应的形式不同, 其相对含量亦有所差别, 这些差别反映了捕获这些气相成分时环境的氧化还原条件。

流体包裹体主要成分是水, 其含量 (mol%) 都占 90% 以上(表 3)。排除包裹体中最大含量的 H_2O 外, 按 $CO_2, CH_4, CO + H_2$ 作出三成分图解 (图 5), 区内矿床都属富 CO_2 型, 所有矿床中 CH_4, CO, H_2 含量都很低。

还原参数 (R) 据包裹体气相成分计算的还原参数^[8,9] $R = (H_2 + CO + CH_4)/CO_2$ (表 3) 看出, 区内矿床的还原参数均较低, 大于 1 的除布敦化和浩布高两个矿床的个别样 ($R = 1.1, 2.85$) 外, 余者均小于 1, 反映区内矿床成矿环境属弱还原成矿环境。

fo_2 和 Eh 假设在成岩成矿过程中, 成矿流体中 H_2, O_2, CO_2, CO, CH_4 及 H_2O 之

表 3 大兴安岭中南段金属矿床流体包裹体主要地球化学参数

[illegible]

续表 3

成矿 系列	矿床名称	矿化阶段	均一温度 (°C)	成矿流体盐度 $W_{NaCl}/10^{-2}$	K/Na (mol)	F/Cl (mol)	CO ₂ 浓度 (mol%)	H ₂ O 浓度 (mol%)	pH	Eh	fO ₂ (Pa)	成矿压力 ($\times 10^3$ Pa)	沸腾 现象	还原 参数
III	黄岗	夕卡岩	680—460		0.39	0.84			4.49 4.04			<1000	未 见	
		氧化物	540—320											
		硫化物	380—200											
	查木罕	黑钨矿-锡石	370—340	50—35										
		硫化物	280—220	17.5—5										
IV	白音诺	夕卡岩	640—340	47.5—15										
		石英-硫化物	400—220	40—2.5	1.29	20.15	0.12 1.23	98 99	5.1 3.8	-0.4 -0.6	10 ⁻²² 10 ⁻⁴⁷	700 40	有	
		硫化物-硫盐	220—140	5—2.5										
	浩布高	夕卡岩	640—300	52.5—35										
		锡石-硫化物	420—240	37.5—2.5	0.40	25.34	0.37 27.67	67.25 99.61	5.81 4.99	-0.41 -1.17	10 ⁻¹³ 10 ⁻⁴⁷	656 60	有	0.01 285
		硫化物-硫盐	220—140	5—2										
V	巴尔哲	稀有稀土	440—290	33—3	0.10	14.81	1.79		8.5 6.7	-0.62				

间达到了化学平衡, 如已获得了成矿温度和成矿压力, 用李秉伦等^[8,9]编制 $\lg f_{O_2}$ -T 及 Eh-T 图解, 根据包裹体的气相成分可求得 f_{O_2} 和 Eh 表 3。

从表 3 看出, 白音诺、浩布高等夕卡岩矿床 f_{O_2} 变化区间大 (10^{-13}Pa — 10^{-47}Pa), 布敦化、莲花山、孟恩陶勒盖等矿床具有相近的 f_{O_2} (10^{-25}Pa — 10^{-38}Pa)。

区内矿床的 Eh 值均为负值(表 3), 表明它们在还原条件下形成的, 这与还原参数值是一致的。

8 结论

1. 在成矿过程中, 从早期到晚期流体包裹体地球化学特征遵循着从多相型到单一型液相包裹体, 从富气到贫气, 贫水到富水; 成矿温度、压力、盐度等由高到低的演化规律。

2. 矿床的流体包裹体地球化学特征受矿床类型控制。区内斑岩型、夕卡岩型、热液型矿床虽然属于不同的成矿系列(表 1), 但同一矿床类型, 它们的包裹体特征、均一温度、盐度等均有自己一定范围, 如斑岩型矿床包裹体类型复杂, 有 L, V, S 型、均一温度范围在 $600\text{—}150^\circ\text{C}$, 盐度 $w_{\text{NaCl}}/10^{-2}$ 为 $2.5\text{—}58$; 夕卡岩型矿床包裹体有 L, V, S 型, 均一温度 $640\text{—}140^\circ\text{C}$, 盐度 $w_{\text{NaCl}}/10^{-2}$ 为 $2\text{—}52.5$; 热液型矿床包裹体类型简单, 多为 L 型, 均一温度在 $480\text{—}120^\circ\text{C}$, 盐度 $w_{\text{NaCl}}/10^{-2}$ 为 $2.5\text{—}12.5$ 。

3. 区内多金属矿床的热液成矿流体主要是碱金属(钾、钠)和碱土金属(钙、镁)的氯化物、氟化物流体。矿床流体包裹体成分一般不受矿床类型制约, 主要受成矿岩浆性质控制, 也就是说与成矿系列关系密切。研究区内主要成矿系列包裹体成分特征为: 成矿系列 II 的矿床成矿流体中阳离子表现为较富钾, 其阴离子表现为氯比氟有较明显的优势; 成矿系列 III 的矿床成矿溶液中阳离子贫钾、贫钙、镁, 而钠占有显著优势, 其阴离子 F/Cl 值变化在 $0.37\text{—}1.60$; 成矿系列 IV 的矿床成矿溶液中阳离子表现为贫钾, 比较富钠、富钙、镁, 其阴离子氟比氯有较大的浓度。

本文的研究工作得到了内蒙古地质矿产局一一五地质队、长春地质学院、内蒙古地质矿产局第三地质大队等单位的大力支持, 在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- 1 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣. 初论矿床的成矿系列问题. 中国地质科学院院报(1). 北京: 地质出版社, 1979. 32—58.
- 2 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣, 宋天锐. 再论矿床成矿系列问题. 中国地质科学院院报(6). 北京: 地质出版社, 1983. 1—64.
- 3 白鸽, 袁忠信, 丁孝石, 孙鲁仁. 吉林巴尔哲稀有金属碱性花岗岩的成岩成矿作用讨论. 矿床地质研究所所刊, 1980, (1): 97—113.
- 4 卢焕章, 李秉伦, 沈崑, 赵希激, 喻铁阶, 魏家秀. 包裹体地球化学. 北京: 地质出版社, 1990. 61—155.
- 5 Sourirajan S. The system $\text{KCl-H}_2\text{O}$ at elevated temperature and pressure, Am. J. Sci. 1962, 260, 115—141.
- 6 Roedder E. Fluid inclusion, Reviews in mineralogy, 1984, 12. 250—290.
- 7 张德全, 雷蕴芬, 罗太阳, 鲍修波, 王胜利. 内蒙古白音诺铅锌矿床地质特征及成矿作用. 矿床地质, 1991, (3): 204—216.
- 8 李秉伦, 石岗. 矿物包裹体气体成分的物理化学参数图解. 地球化学, 1986, (2): 126—137.
- 9 吴利仁, 李秉伦. 中国东部中生代两大类斑岩型矿床. 北京: 科学出版社, 1991, 188—223.

FLUID INCLUSION GEOCHEMISTRY OF METALLIC ORE DEPOSITS IN THE SOUTH-CENTRAL SECTOR OF THE DA HINGGAN MOUNTAINS IN CHINA

Sheng Jifu, Zhang Dequan and Li Yan

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

Abstract

The Da Hinggan Mountains are an important metallogenic belt in China. In this belt there are five types of deposits: porphyry Cu deposits and Sn-Ag-Cu deposits, skarn Pb-Zn deposits and Fe-Cu deposits, hydrothermal vein Cu deposits and Pb-Zn deposits, gneiss W-Sn deposits and granite REE deposits. They belong to the following five mineralogical series: I. mineralogical series of Cu-Au deposits associated with Variscan intermediate-basic magma; II. mineralogical series of deposits related to Yanshanian hypabyssal-suprahypabyssal intermediate-acid magma; III. mineralogical series of deposits related to Yanshanian acidic magma; IV. mineralogical series of deposits related to Yanshanian intermediate-acid magma; V. mineralogical series of rare metal deposits related to Yanshanian alkaline granite (Table 1).

The authors have studied fluid inclusions of several major deposits in the study district in detail. They observed the characteristic and phase changes of fluid inclusions at different temperatures and analysed the compositions of both vapor and liquid phases of inclusions. By this way they determined the temperature, pressure, salinity, density, composition and boiling of ore fluids and several physicochemical parameters of mineralization such as pH, Eh, f_{O_2} and the reducing parameter (R) (Figs. 1, 2 and 3; Tables 2 and 3).

This study also indicates that the deposits that belong to the same type of deposit have some similar fluid inclusion geochemical features and physicochemical parameters though they occur in different mineralogical series, while the composition of inclusions are not conditioned by deposit types but closely related to the mineralogical series of deposits.

Key words: south-central sector of the Da Hinggan Mountains, metal ore deposit, fluid inclusion, geochemistry

作 者 简 介

盛继福, 生于 1936 年 5 月, 1962 年毕业于波兰克拉科夫矿冶学院金属矿床专业。现任中国地质科学院矿床地质研究所研究员。多年从事矿床地质与岩浆岩研究。通讯处: 北京百万庄中国地质科学院矿床地质研究所。邮编: 100037。