

# 内蒙古绥和查干地区多金属矿床 流体包裹体研究

徐然<sup>1</sup>, 孙俊俊<sup>2</sup>, 葛梦春<sup>3</sup>, 谢德凡<sup>3</sup>

(1. 鲁南地质工程勘察院, 山东 济宁 272100; 2. 南京大学, 江苏 南京 210000; 3. 中国地质大学(武汉), 湖北 武汉 430074)

**摘要:**内蒙古绥和查干铜铅锌多金属矿床是典型的热液矿床, 处于大兴安岭成矿带南段、内蒙古二连-东乌旗铁铜钼多金属成矿远景区。该文对矿床中流体包裹体进行研究, 结果发现, 矿床划分为2个成矿期次: 早阶段属中高温(320~380℃); 晚阶段属中低温(140~160℃)。包裹体的捕获温度也存在2个高峰期, 矿床属于中—高温热液矿床。盐度也存在2个高峰范围, 第一个高峰范围在0~4%之间; 第二个高峰范围在5%~9.6%之间。流体压力范围介于22.6~101.4 MPa, 均值为59.9 MPa, 成矿的平均深度为当时地表以下1.95 km, 属中深成矿床, 成矿流体具有中—高温至中—低盐度性质。2个成矿期次和矿区的2次构造运动相对应, 矿体定位受断裂构造控制, 属于典型的断控脉状矿床。

**关键词:**多金属矿; 流体包裹体; 成矿期次; 内蒙古绥和查干

**中图分类号:** P618.41

**文献标识码:** A

**引文格式:** 徐然, 孙俊俊, 葛梦春, 等. 内蒙古绥和查干地区多金属矿床流体包裹体研究[J]. 山东国土资源, 2015, 31(3): 1-6. XU Ran, SUN Junjun, GE Mengchun, etc. Study on Fluid Inclusions in Polymetallic Deposit in Suihechagan Area of Inner Mongolia[J]. Shandong Land and Resources, 2015, 31(3): 1-6.

## 0 引言

该文基本素材来源于1:5万杭嘎拉土乌拉等5幅区调项目, 工作区位于内蒙古高原北缘中蒙边境地区, 行政区划属内蒙古自治区锡林郭勒盟东乌珠穆沁旗管辖。区内地势北高南低, 主要为低山丘陵区, 其余为平缓草原区, 一般1 000~1 300 m, 相对高差约450 m。北部沟谷比较发育, 但切割不深, 无常年地表径流, 交通便利。

原126队和内蒙地调院曾进行较为详细的普查工作, 并发现具有工业品位的矿化点, 但是对于其成矿期次、温压条件等都未作系统的研究。选择东乌旗阿拉坦合力绥和查干地区的岩浆岩与地层接触部位及构造断裂带集中区域进行详细的填图, 采集野外矿化样品, 合理选择脉石矿物并对其流体包裹体成分进行研究, 有助于认识该矿床的流体演化及成

矿过程, 再结合物化遥等的实测数据综合分析还可以为该矿床的进一步勘探和开发提供理论依据<sup>[1]</sup>。

## 1 铜铅锌多金属矿点概况

### 1.1 矿区地质概况

绥和查干多金属矿处于二连-东乌旗铁铜钼多金属成矿带上, 成矿地质条件十分优越, 各类金属矿床(点)和找矿预查区星罗棋布(图1)。华力西期强烈的造山作用造就了该区华力西期规模宏大的NE向构造-岩浆岩带的存在; 印支期以后, 由于受滨西太平洋构造活动的影响, 该区自中侏罗世以来, 进入到大兴安岭构造岩浆岩带的范畴, 中生代火山岩及花岗岩(含脉岩)发育。

### 1.2 矿点地质概况

矿点位于东乌旗阿拉坦合力公社北东31 km处。西北部出露地层为晚泥盆世安格尔音乌拉组褐

收稿日期: 2014-05-13; 修订日期: 2014-09-05; 编辑: 曹丽丽

作者简介: 徐然(1990—), 男, 山东济宁人, 助理工程师, 主要从事地质勘查找矿工作; E-mail: 731222140@qq.com

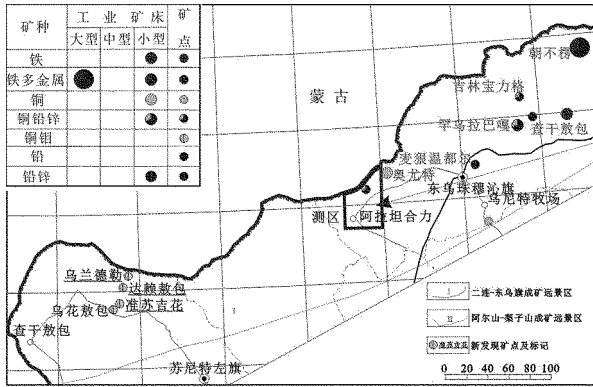


图1 测区所处成矿区带位置图

(据邵积东,2009)

黄色、灰褐色长石石英砂岩夹粉砂岩,在矿区呈单斜产出。岩石普遍见有硅化、绿帘石化。

东南出露地层为一套晚石炭世宝力高庙组灰绿、灰紫色安山岩,岩石普遍可见绿帘石化、硅化,与西北部安格尔音乌拉组呈断层接触,由于构造影响岩石破碎强烈。

### 1.3 矿化特征

矿化范围只限于构造破碎带中,不受岩性控制。成矿带总体呈NE向,但单个矿体(或矿化带)受NW—SE向次级羽状张裂隙控制。含矿热液沿NE向主干断裂运移上升而充填于其两侧的次级羽状张裂隙中。该矿区共发现15条褐铁矿化带,宽一般为5~10m,最宽16m,长一般290~550m,在晚石炭世宝力高庙组安山岩中的产状,一般倾向为NE45°,倾向角80°左右(图2)。

可见两期石英脉,其中一期被另一期所切割,显示先后关系,脉体宽20cm,脉壁处为致密块状或晶簇状,宽5cm,脉中为板状,厚1~2mm,呈垂直脉走向分布,板间有褐色粉末,推测为氧化铁粉末,可能有原生矿存在。

### 1.4 矿物生成顺序

毒砂自形晶被黄铁矿包裹,说明毒砂早于黄铁矿形成;黄铁矿被闪锌矿、黄铜矿及其他透明矿物交代,说明黄铁矿早于闪锌矿、黄铜矿及其他透明矿物;闪锌矿中有乳滴状黄铜矿,同时分布有细脉状、不规则粒状的黄铜矿和方铅矿,部分闪锌矿颗粒呈孤岛状分布于粒状黄铜矿中,说明闪锌矿与早世代乳滴状黄铜矿同时形成,而被晚世代粒状、细脉状黄铜矿交代;可见方铅矿交代黄铜矿和闪锌矿等早期矿物,表明方铅矿形成最晚。综合分析矿物的特征

及结构,得出以下矿物生成顺序:(毒砂、黄铁矿)→(闪锌矿、黄铜矿1)→(黄铜矿2)→方铅矿(图3)。

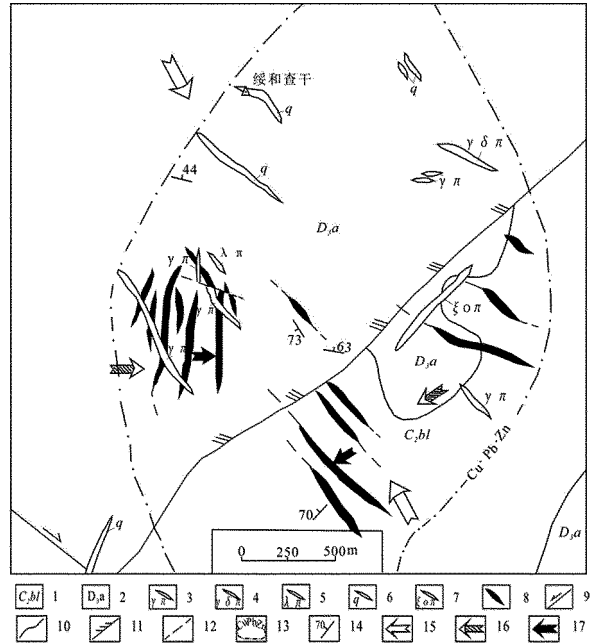
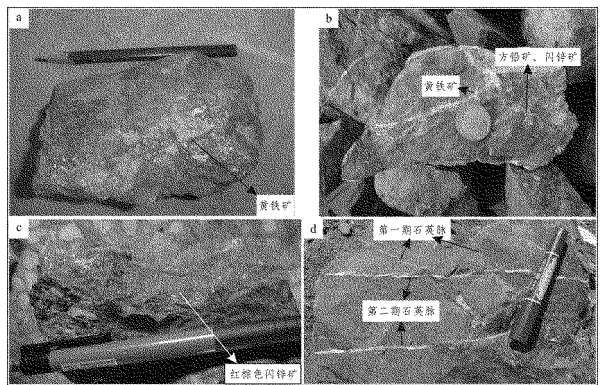


图2 绥和查干铜铅锌矿点地质草图

(据1:25万东乌旗幅区调报告修改)



a—宝力高庙组安山岩内黄铁矿化;b—方铅矿方解石脉切割黄铁矿方解石脉;c—安山岩内闪锌矿脉;d—先后2期石英脉的切割关系

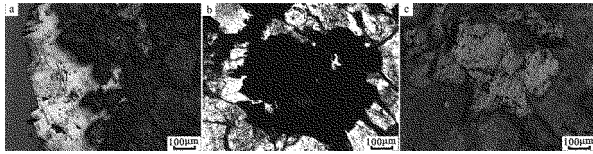
图3 绥和查干边防站铜铅锌矿床野外矿石标本

## 2 多金属成矿流体的测试分析

### 2.1 分析方法与样品特征

在内蒙古绥和查干边防站铜铅锌矿化点探槽

TC006 内采集数块流体包裹体样品,样品所含矿物主要为闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿和石英。显微镜下,闪锌矿多为他形一半自形,镜下透明度差,颜色为棕红色。石英多呈脉状,切割围岩,镜下为长柱状及六边形,为自形一半自形,石英与闪锌矿及方铅矿共生(图4)。将样品中与金属矿化相伴生的石英脉切割成厚度为 80 ~ 120 μm 的包裹体测温片。在高倍显微镜下对矿物中包裹体进行岩相学观察。



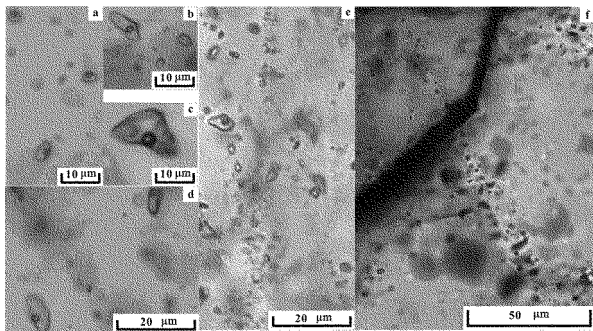
a, b—透射光; c—反射光; Gal—方铅矿; Q—石英; Sph—闪锌矿

图4 石英与方铅矿、闪锌矿共生关系

包裹体的均一温度和冰点温度在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室(GPMR)流体包裹体实验室进行测定,仪器为 Linkam GP600 显微热台。该冷热台的测温范围为 -196 ~ 600℃,测温精度为 0.1℃ 左右。

### 2.2 流体包裹体的特征

石英中的流体包裹体较发育,呈群状及定向线状分布。根据矿物中流体包裹体的成因,可将其分为原生包裹体(P)、假次生包裹体(PS)及次生包裹体(S)。包裹体物理类型多样,主要有纯液相包裹体、纯气相包裹体、富液相包裹体及富气相包裹体,含 CO<sub>2</sub> 的三相包裹体。原生包裹体多呈孤立、群状或带状分布;假次生包裹体多呈线状分布,没有延伸到矿物之外;次生包裹体多呈线状分布,大多为纯液相包裹体(图5)<sup>[2]</sup>。



a, b, d—原生包裹体呈群分布; c—原生包裹体孤立分布; e—假次生包裹体呈线状分布; f—次生包裹体

图5 石英中不同流体包裹体分布图

该文所测定包裹体边界清晰,在升降温过程中

现象明显。富气相包裹体粒径较大,多在 8 ~ 15 μm。包裹体形态有椭圆状、短柱状、多边形及不规则状等,未见负晶形包裹体。富液相包裹体,气泡多为无色透明,而富气相包裹体中气泡多为黑色,具体特征见表1描述。

表1 部分流体包裹体特征

类型	形状	气相分数/%	大小/μm	气泡颜色	产状分布
富液两相	椭圆	20	12	无色	孤立
富气两相	不规则菱角状圆	60	8	无色	孤立
富液两相	不规则菱角状圆	40	15	灰色	成群
富液两相	带棱角椭圆	16	4	无色	成群
含 CO <sub>2</sub> 三相	带棱角椭圆	20/5	8	灰色	孤立
含 CO <sub>2</sub> 三相	椭圆	70/15	5	灰色	孤立
富液两相	椭圆	30	4	无色	成群
富气两相	带棱角椭圆	50	20	灰色	线状
富气两相	带棱角椭圆	50	10	灰色	孤立
富液两相	长柱状	30	10	无色	成群
富液两相	椭圆	30	4	无色	线状
富液两相	长柱状	20	8	无色	孤立

### 2.3 流体包裹体的均一温度盐度特征

对样品中石英的流体包裹体进行详细的显微测温,测试个数为 162 个,测得石英中流体包裹体的均一温度变化范围为 110 ~ 500℃。石英的冰点温度范围是 -6.3 ~ 1℃(表2)。

表2 阿拉坦合力绥和查干多金属矿床流体包裹体显微测温结果

采样位置	成矿期次	主矿物	大小(μm)	V/L(%)	均一温度 Th(℃)	冰点 TmH <sub>2</sub> O(℃)	
绥和查干多金属矿床	1	石英	范围值	4 ~ 15	10 ~ 75	110.0 ~ 257.5	0.1 ~ 5.1
			均值	6.5	28	341.68	2.082
	2		范围值	3 ~ 14	10 ~ 40	103.5 ~ 257.5	0.2 ~ 6.3
			均值	6.7	18	168.25	2.80
站	1	盐度 (% NaCl <sub>eqv</sub> )	密度 ρ(g · cm <sup>-3</sup> )	压力 P (MPa)	捕获温度 Tt(℃)	深度 H (km)	
		范围值	0.18 ~ 8.0	0.61 ~ 0.81	36.58 ~ 92.97	318.3 ~ 439	1.35 ~ 3.76
	均值	3.42	0.66	82.581	423.12	3.06	
	2	范围值	0.35 ~ 9.6	0.78 ~ 0.99	26.61 ~ 61.55	138.5 ~ 298.5	0.94 ~ 2.28
		均值	4.50	0.93	42.166	210.96	1.56

注: V/L—气相所占百分比; L—均一到液相

对石英中的原生包裹体显微测温表明,包裹体的形成存在 2 个高峰期(即双峰结构):第一个高峰期,包裹体均一温度(t<sub>h</sub>)变化于 120 ~ 180℃ 之间,主要集中于 140 ~ 160℃ 之间(图 6a);第二个高峰期,包裹体均一温度变化于 300 ~ 420℃ 之间(甚至有的大于 500℃),主要集中于 320 ~ 380℃ 范围内。

矿区共测得冰点温度 57 个,根据 Hall 等(1988)提出的 H<sub>2</sub>O - NaCl 体系盐度-冰点计算公式

$w = 0.00 + 1.78t_m - 0.0442t_m^2 + 0.000557t_m^3$  [3], 得出其盐度  $w$  ( $\text{NaCl}_{\text{eqv}}$ ) 范围为:  $0.0\% \sim 9.6\%$ 。其盐度也出现 2 种峰值, 第一个高峰期, 包裹体盐度 ( $w$  ( $\text{NaCl}_{\text{eqv}}$ )) 变化于  $0\% \sim 4\%$  之间, 并主要集中于  $1\% \sim 2\%$  之间; 第二个高峰期, 包裹体盐度变化于  $5\% \sim 9.6\%$  之间, 并主要集中于  $6\% \sim 7\%$  之间 (图 6b)。

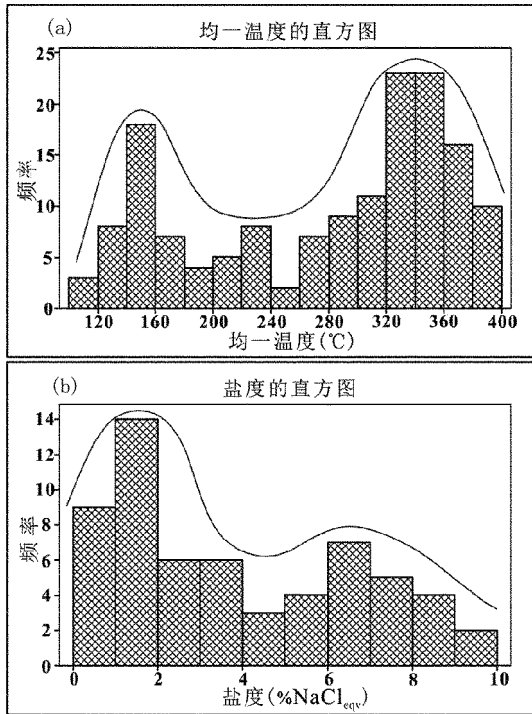


图6 石英包裹体均一温度(a)、盐度频率(b)直方图

### 2.4 成矿流体的密度成矿压力和矿化深度

根据流体包裹体均一温度和盐度, 应用刘斌和段光贤(1987)关于盐水溶液的经验公式  $\rho = a + bT_h + cT_h^2$  ( $a, b$  和  $c$  均为无量纲参数), 求得包裹体的密度。刘斌(1987)采用最小二乘法拟合曲线二次多项式, 给出流体密度式为:

$$D = A + Bt + Ct^2$$

$D$ —流体密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $t$ —均一温度 ( $^{\circ}\text{C}$ );  $A, B, C$ —无量纲参数。它们又是含盐度的函数:

$$A = 0.993531 + 8.72147 \times 10^{-3} \times W - 2.43975 \times 10^{-5} \times W^2$$

$$B = 7.11652 \times 10^{-5} - 5.2208 \times 10^{-5} \times W + 1.26656 \times 10^{-6} \times W^2$$

$$C = -3.4997 \times 10^{-6} + 2.12124 \times 10^{-7} \times W - 4.52318 \times 10^{-9} \times W^2$$

式中:  $W$ —含盐度 ( $\text{NaCl}$  的重量百分比) [4]。

显微测温结果见图 7a, 石英中包裹体流体密度介于  $0.50 \sim 1.0 \text{ g}/\text{cm}^3$  之间, 平均为  $0.81 \text{ g}/\text{cm}^3$ , 显

示流体密度较低, 其中流体密度也具有一定的双峰式分布, 主要集中在  $0.65 \sim 0.70$  之间, 及  $0.9 \sim 1.0 \text{ g}/\text{cm}^3$  之间, 这与图 8 分析结果类似; 根据流体包裹体均一温度和盐度, 应用邵洁连(1988年)计算盐水流体压力的经验公式:  $P = P_0 T_h / T_0$

式中:  $P_0 = 219 + 2620\omega$ ;  $T_0 = 374 + 920\omega$ ;  $P$  ( $10^5 \text{ Pa}$ ) 为成矿压力;  $T_h$  为均一温度;  $\omega$  为成矿流体盐度 [5], 求得相应成矿流体压力。结果表明, 主成矿阶段流体压力范围介于  $22.6 \sim 101.4 \text{ MPa}$ , 均值为  $59.9 \text{ MPa}$ ; 流体压力频率直方图分布模式也遵循双峰模式 (图 7b), 其范围为  $32.0 \sim 48.0 \text{ MPa}$  之间及  $80.0 \sim 96.0 \text{ MPa}$  之间。根据包裹体流体压力, 利用成矿深度经验公式:  $H = P/270$  ( $\text{km}$ ) (张长青等, 2007年), 求的相应成矿深度 (表 2), 主成矿深度介于  $1.01 \sim 3.76 \text{ km}$  之间, 平均为  $1.95 \text{ km}$  (图 8)。

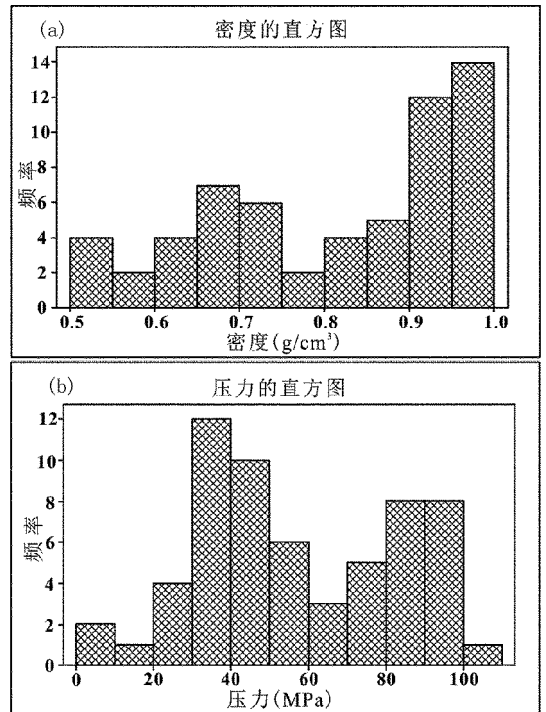


图7 成矿流体密度(a)、成矿压力频率(b)直方图

从气液两相包裹体均一温度-盐度散点图解 (图 9) 可以看出, 包裹体盐度和均一温度分布主要集中在  $a, b$  和  $c$  这 3 个区域, 流体密度在  $0.90 \sim 0.95 \text{ g}/\text{cm}^3$  之间和  $0.95 \sim 1.00 \text{ g}/\text{cm}^3$  之间, 该段均一温度较低, 分布范围在  $100 \sim 200^{\circ}\text{C}$  之间; 流体密度在  $0.60 \sim 0.75 \text{ g}/\text{cm}^3$  之间, 均一温度为  $300 \sim 350^{\circ}\text{C}$  之间。对比观察可知高温流体密度较低, 而低

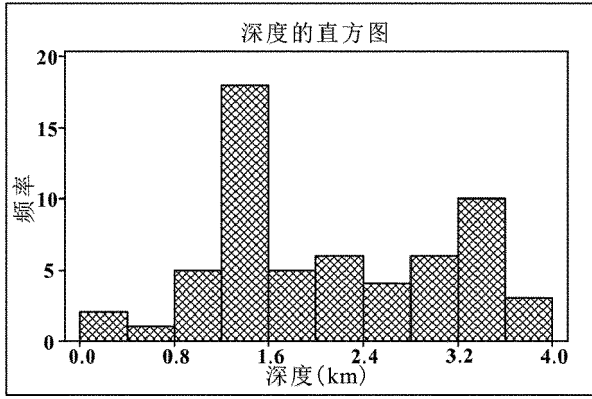


图8 石英包裹体流体深度频率直方图

温流体密度相对较高,处于中等密度水平。同时均一温度较高的包裹体其盐度分布较低,而均一温度较低的包裹体其盐度较高,通常同一种流体分异阶段分为高温高盐度和低温低盐度阶段<sup>[6]</sup>,与该文分析结果不一致。可见成矿可能分为2个不同成矿期次,同时这2期次的流体为2种具有不同的性质的流体。

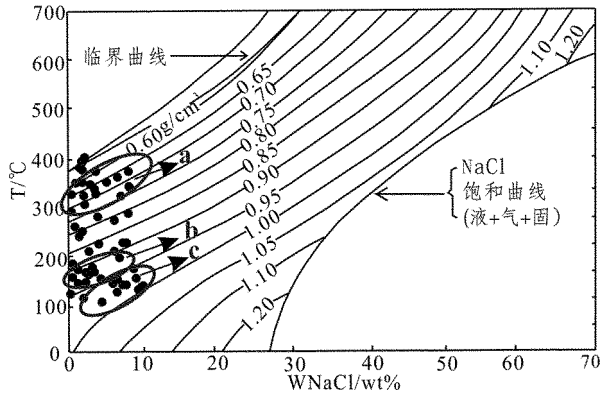


图9 NaCl-H<sub>2</sub>O体系的T-W-ρ相图

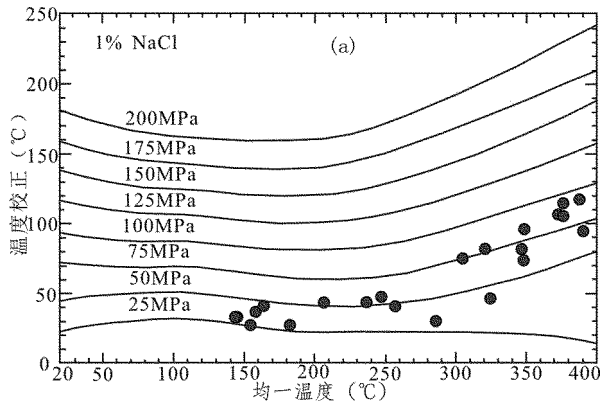


图10(a) 1% NaCl溶液的温度校正与均一温度和(据Bodnar,1983)压力的函数关系图(据卢焕章等,1990)

### 2.5 成矿温度的压力校正

一般认为从均匀流体中捕获的包裹体,其均一温度和圈闭压力代表了包裹体捕获时温度和压力的下限,为了得到捕获时的真实温度(即捕获温度),就必须按照气液包裹体溶液的体积特性进行适当的温度校正。采用波特尔二世(1978)给出的压力校正图解见图10(a,b,c)<sup>[7]</sup>,对东乌旗阿拉坦合力绥和查干多金属矿床的流体包裹体进行了校正,获得数据如表2,校正图解见图(图9a,9b,9c)。经校正后发现包裹体的捕获温度为150~515℃,绝大部分高于200℃,因此该矿床流体属于中—高温热液。

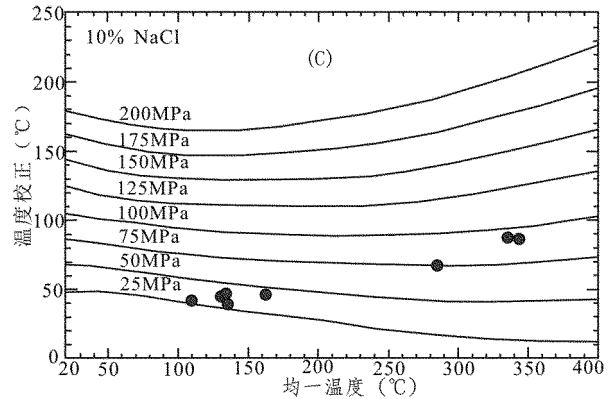
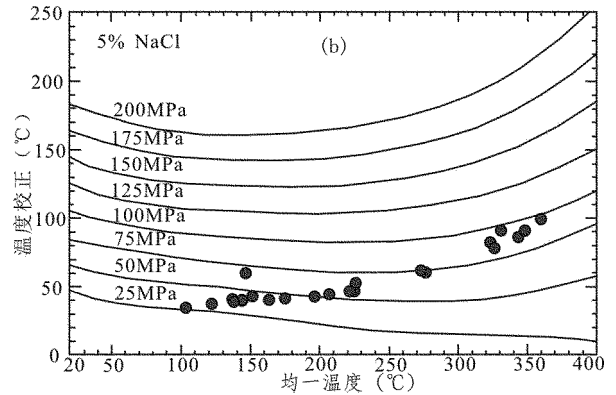


图10(b,c) 5%及10% NaCl溶液的温度校正与均一温度和压力的函数关系图(据卢焕章等,1990)

### 2.6 成矿机制成矿流体与断裂期次的关系

在野外露头上发现含矿方解石脉多呈两期次出现,其中含方铅矿方解石脉切割含黄铁矿方解石脉(图3b),同时石英脉也成先后2期次,前一期被后一期脉体所切割成菱形(图3d)。故根据室内测试及野外观察结果,暂将矿床划分为2个成矿期次:中低温(140~160℃)成矿阶段和中高温成矿阶段(320~380℃)。

流体包裹体研究显示,两期脉石矿物石英反映

了2类不同性质的热液体系,早期成矿流体相对高温低盐,而晚期成矿流体具有相对低温高盐的特征。

矿区的构造分为3个阶段,前2个构造运动可以和分析出来的流体包裹体的2个阶段相对应,另外也可以与野外露头出现的两期石英脉联系起来。

(1) 矿区第1次的大型断裂与之对应,为由NW—SE向的区域性压应力作用于晚泥盆世安格尔夫音乌拉组与早二叠世—晚石炭世宝力高庙组接触界面上(图2),产生的由北西向南东推覆的压性断裂,即NE向主干断裂,也是该区成矿的导矿构造。压性断裂的流体包裹体粒径小(普遍在3~5 μm以下),具定向排列,并有压扁特征;均一温度较高(400℃左右),流体盐度较大,常遭变质<sup>[8]</sup>。这与流体包裹体实验推导出的2个期次中的第1期次相对应。

(2) 矿区第2次为区域性压力的继续作用,伴随产生了与主干断裂平行的分力(即NE向分力),使主干断裂两侧发生相对扭动,这时不仅使主干断裂变成压扭性断裂,同时在其两侧产生了一组NW—SE向的羽状张裂隙,这期羽状张裂隙为成矿创造了空间条件,成为矿体的赋存场所。张性断裂流体包裹体数量多,粒径大(一般6~8 μm),富气相、富液相包裹体均有,且气液比变化范围大(10%

~80%),成分以H<sub>2</sub>O为主,未见CO<sub>2</sub>为主的包裹体出现。均一温度较低,流体盐度也较大<sup>[8]</sup>,比压性断裂里的流体盐度也大,这与流体包裹体实验推导出的2个期次中的第二期次相对应。

## 参考文献:

- [1] 邵积东,陶继雄,李四娃,等. 大兴安岭成矿带找矿工作新进展[J]. 地质通报,2009,28(7):955-962.
- [2] 卢焕章,范宏瑞,倪培,等. 流体包裹体[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [3] Hall DL, Stemer SM, Bodnar RJ. Freezing point depression of NaCl-KCl-H<sub>2</sub>O solutions[J]. Econ Geol, 1988,(83):197-202.
- [4] 刘斌,段光贤. NaCl-H<sub>2</sub>O溶液包裹体的密度式和等容式及其应用[J]. 矿物学报,1987,7(4):345-352.
- [5] 邵洁涟. 金矿找矿矿物学[M]. 武汉:中国地质大学(武汉)出版社,1988:38-45.
- [6] 张长青,毛景文,余金杰,等. 四川甘洛赤普铅锌矿床流体包裹体特征及成矿机制初步探讨[J]. 岩石学报,2007,23(10):2541-2552.
- [7] R. W. 波蒂尔第二(potter II)/郭其佛,译. 根据NaCl-H<sub>2</sub>O体系的体积性质对气液包裹体均一化温度进行的压力校正[J]. 地质地球科学,1979,(4):46-50.
- [8] 杨巍然,张文淮. 断裂性质与流体包裹体组合特征[J]. 地球科学——中国地质大学学报,1996,21(3):285-290.

## Study on Fluid Inclusions in Polymetallic Deposit in Suihechagan Area of Inner Mongolia

XU Ran<sup>1</sup>, SUN Junjun<sup>2</sup>, GE Mengchun<sup>3</sup>, XIE Defan<sup>3</sup>

(1. Lunan Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Jining 272100, China; 2. Nanjing University, Jiangsu Nanjing 210000, China; 3. China University of Geosciences (Wuhan), Hubei Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Cu-Pb-Zn polymetallic deposit in Suihechagan area of Inner Mongolia is a typical hydrothermal deposit. It locates in the southern section of Daxing'anling metallogenic belt, and Erlian-Wudongqi Fe-Cu-Mo multi-metal metallogenic prospect areas in Inner Mongolia. Through study on fluid inclusions in this deposit, it is found that this deposit can be divided into two metallogenic stages: early stage is in medium-high temperature phase (320~380℃) and the late stage is in low temperature phase (140~160℃). The trapping temperature of inclusion also has two peaks, and the deposit belongs to medium-high temperature hydrothermal type. Two peak values also exist in salinity: the first peak scope is 0%~4% and the second peak is 5%~9.6%. Fluid pressure value is 22.6~101.4MPa, and the average value is 59.9MPa. The average depth of ore-forming is 1.95km below the surface at that time, so this deposit belongs to medium-deep type deposit. The Metallogenic fluid is medium-high temperature type, medium voltage, low salinity on the whole. Two metallogenic stages are corresponding with two tectonic movements. Ore bodies are controlled by fractural structures and belong to typical fault control vein deposit.

**Key words:** Polymetallic deposit; fluid inclusions; metallogenic stages; Suihechagan area; Inner Mongolia