

内蒙古龙头山多金属硫化物矿床同生重晶石 流体包裹体特征 ——海相热水沉积成因证据

孙兴国^{1,2} 李永兵²

(1. 中国铝业公司, 北京 100082; 2. 中国科学院 研究生院 地球科学学院, 计算地球动力学实验室, 北京 100049)

摘要: 龙头山多金属硫化物矿床位于内蒙古大兴安岭中南段东坡, 海西期地槽褶皱带西拉木伦河深大断裂北侧。野外地质研究发现, 该矿床主要发育层状和筒柱状两类矿化, 两类矿化的产状、蚀变、矿物特征等显示出典型的海底热水沉积成矿作用特征。对该矿床金属硫化物同生沉积的重晶石进行流体包裹体岩相学研究发现, 重晶石中的包裹体反映了热水沉积成矿期快速沉淀的特征, 除次生包裹体外, 与成矿作用有关的流体包裹体中纯气相和富气相包裹体很少, 主要是富液相包裹体。对重晶石中富液相包裹体的显微测温研究发现, 其均一温度为 101.4~279.9℃, 冰点温度为 -5.5~-0.3℃, 盐度为 0.5%~8.5%, 所代表的成矿流体密度为 0.75~0.97 g/cm³, 反映的成矿流体温度、盐度、密度等特征符合典型海底热水沉积硫化物矿床的包裹体特征。

关键词: 流体包裹体; 热水沉积; 重晶石; 多金属硫化物矿床; 龙头山

中图分类号: P619.25⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2011)04-0637-08

Characteristics of fluid inclusions of barite in the Longtoushan polymetallic sulfide deposit, Inner Mongolia: evidence for submarine hydrothermal sedimentary origin

SUN Xing-guo^{1,2} and LI Yong-bing²

(1. Aluminum Corporation of China, Beijing 100082, China; 2. Laboratory of Computational Geodynamic & College of Earth Science, GUCAS, Beijing 100049, China)

Abstract: The Longtoushan polymetallic sulfide deposit is located on the east slope of the middle-south Da Hinggan Mountains and the north side of the Xar Moron River fault along the Hercynian geosyncline fold belt. Field geological survey shows that the ore deposit has two mineralization types, namely layered mineralization and cylinder mineralization. Attitudes, alterations and minerals of the two mineralization types show typical characteristics of submarine hydrothermal sedimentary deposition. A systematic study of fluid inclusion petrography and microthermometry was carried out for fluid inclusions in syndepositional barite from the ore deposit. The inclusions in the barite suggest rapid sedimentary characteristics during the hydrothermal sedimentary deposition. Except for secondary fluid inclusions, gas-pure and gas-rich inclusions related to the mineralization are very rare, with the majority being liquid-rich inclusions. Microthermometric analysis shows that the liquid-rich inclusions have homogenization temperature 101.4~279.9℃, freezing temperature -5.5~-0.3℃, salinity 0.5%

收稿日期: 2010-09-06; 修订日期: 2011-03-31

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向资助项目(XMXX280734)

作者简介: 孙兴国(1981-), 男, 汉族, 博士, 矿物学、岩石学、矿床学专业; 通讯作者: 李永兵, 硕士生导师, 从事矿物学、岩石学、矿床学, 计算同位素地球化学研究, E-mail: yongbingli@gucas.ac.cn.

~8.5%, and fluid density 0.75~0.97 g/cm³. Reflective features such as temperature, salinity and density of the ore fluids are consistent with features of the inclusions developed in submarine hydrothermal sedimentary sulfides ore deposits. The results provide positive evidence for the viewpoint that the Longtoushan polymetallic sulfide ore deposit is a marine hydrothermal sedimentation deposit.

Key words: fluid Inclusion; hydrothermal sedimentation; barite; polymetallic sulfide ore deposit; Longtoushan

龙头山多金属硫化物矿床地处大兴安岭南坡的赤峰市阿鲁科尔沁旗,所处的大地构造位置为内蒙古大兴安岭中南段东坡西拉木伦河深大断裂北侧,属晚古生代增生造山带。有学者研究发现,大兴安岭中南段区域内 90% 的矿床产在二叠纪地层中,并识别出了热水沉积岩(Liu *et al.*, 2001a, 2001b),提出区域内曾有一期与二叠纪盆地演化有关的海底热液喷流-沉积成矿作用的新认识(刘建明等, 2004)。初步地质研究认为龙头山矿床的成矿时代为早二叠世,成矿类型为海底热水沉积型硫化物矿床^①,但自 2004 年被勘查发现至今,该矿床的相关研究还很欠缺,尚未有科学研究支持其热水沉积成因。因此,查明龙头山矿床的成因,对于填补该矿床的研究空白,认识区域内的成矿规律以及开拓找矿新思路有重要意义。本文较系统的对龙头山矿床金属硫化物矿体中同生沉积重晶石的流体包裹体特征进行了研究,并与现代海底热液喷口及典型热水沉积矿床的流体特征进行了对比,以期对矿床的成因研究提供依据。

1 矿床地质特征

大兴安岭中南段北东向晚古生代增生造山带以西拉木伦河断裂带和二连-贺根山构造带为其南、北边界,向东被嫩江-白城断裂和松辽盆地所截。区域内已发现白音诺尔铅锌矿、浩布高铅锌锡矿、孟恩陶勒盖银铅锌矿等一大批重要矿床,是我国北方重要的矿产资源集中区(刘建明等 2004)。

龙头山矿床地处大兴安岭中南段东坡海西期地槽褶皱带,产于褶皱带内西拉木伦河深大断裂的北侧(图 1)。矿区主要容矿地层为二叠系大石寨组灰岩、结晶灰岩、蚀变安山岩、钙质粉砂岩、粉砂质凝灰岩、晶屑岩屑凝灰岩。矿区内地层呈一倾向 SW 的单斜构造。矿区内 NW 向、NE 向、近 SN 向断裂构

造比较发育,以 NW 向为主。NW 向构造为成矿前构造,控制着热液成矿阶段矿体、矿化体及矿化蚀变带的分布,为热液活动、有益元素富集提供了有利空间。矿区内除二叠系大石寨组安山岩外,岩浆侵入岩不甚发育,仅在矿区内零星分布有石英斑岩和花岗斑岩脉。

根据目前揭露的情况,矿区内发育两个规模较大的主矿带和若干规模较小的矿(化)体(图 2),总体上近于平行分布,走向均为 280°~320°。I 号矿带的下盘近矿围岩为青灰色、暗青色、绿色、灰紫色和灰白色含角砾的安山质凝灰岩、安山岩及粉砂质凝灰岩;上盘为白色结晶灰岩或大理岩。II 号矿带下盘为青灰色、暗青色、绿色、紫灰色晶屑岩屑凝灰岩和蚀变富角砾凝灰岩;上盘为结晶灰岩。这些矿带、矿化体根据特征可分为层状和筒柱状两类矿化,显示出典型的海底热水沉积成矿作用特征。

层状矿化一般以层状、似层状矿体产出,矿体产状稳定,厚度变化不大,赋存于结晶灰岩与各类安山质凝灰岩、晶屑岩屑凝灰岩、富含角砾凝灰岩等的接触部位,或者直接产于结晶灰岩、大理岩中,矿体一般与围岩整合接触(图 3a、3b)。矿物组成比较简单,特征矿物为草莓状、鲕粒状黄铁矿(图 3d),致密块状、层纹状重晶石等。矿石中发育特征性的同生沉积结构,闪锌矿、方铅矿等与黄铁矿、重晶石呈互层分布,并发育典型的软沉积滑动变形构造(图 3c)。

筒柱状矿化发育在强烈绿帘石化、绿泥石化、绢云母化带中,并产出微细粒浸染状金属硫化物(黄铁矿居多)。筒柱状矿化体与不同围岩如灰岩、凝灰岩等紧密接触,一般与层状矿体关系密切,主要产于层状矿体下盘。此类矿体多发育绿帘石化、绿泥石化以及大小不一的角砾。角砾岩大多矿化,角砾成分约占 10%~30%,包括灰岩、凝灰岩,角砾大小不等;胶结物占 70%~90%,以绿泥石化、绿帘石化凝灰质成分为主。

① 刘洪涛,刘建明,曾庆栋,等. 2004. 内蒙古阿鲁科尔沁旗龙头山银铅锌多金属矿床地质-地球物理勘查报告.

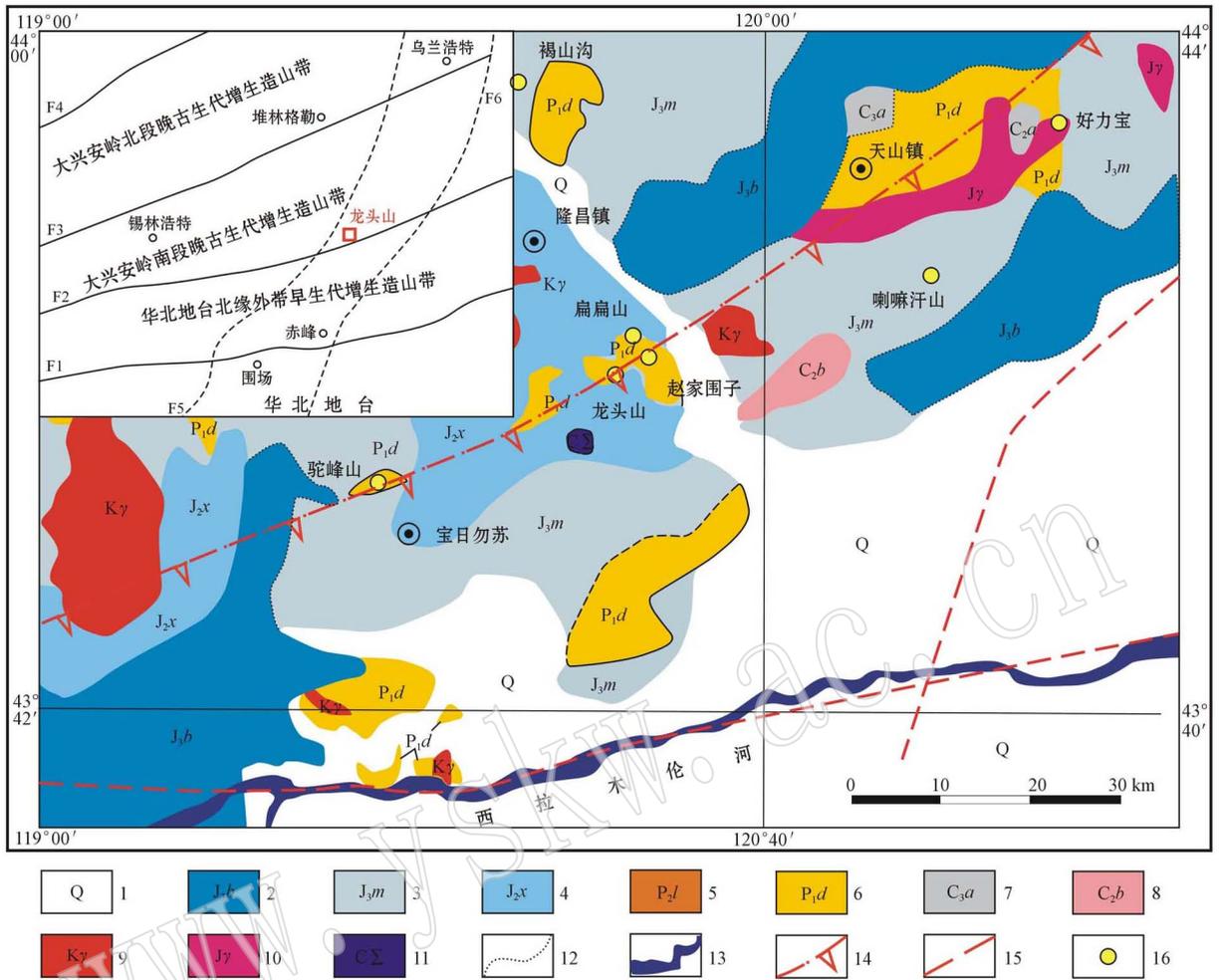


图 1 龙头山多金属硫化物矿床区域地质图[据王长明等(2006)]

Fig.1 Regional geological map of the Longtoushan polymetallic sulfide ore deposit (after Wang *et al.*, 2006)

1—第四系；2—侏罗系白音高老组；3—侏罗系满克头鄂博组；4—侏罗系新民组；5—二叠系林西组；6—二叠系大石寨组；7—石炭系阿木山组；8—石炭系本巴图组；9—白垩系花岗岩；10—侏罗系花岗岩；11—石炭系超基性岩；12—平行不整合界限；13—河流；14—地壳拼接断裂带；15—性质不明断裂；16—金属矿床(点)；F1—华北地台北缘断裂；F2—西拉木伦河断裂；F3—二连-贺根山断裂；F4—乌努尔鄂伦春断裂；F5—大兴安岭主脊断裂；F6—嫩江断裂

1—Quaternary; 2—Jurassic Baiyingaolao Formation; 3—Jurassic Manketouebo Formation; 4—Jurassic Xinmin Formation; 5—Permian Linxi Formation; 6—Permian Dashizhai Formation; 7—Carboniferous Amushan Formation; 8—Carboniferous Benbatu Formation; 9—Cretaceous granite; 10—Jurassic granite; 11—Carboniferous ultramafic rock; 12—parallel unconformity; 13—river; 14—faulted zone of crustal mosaics; 15—unidentified fault; 16—mineral deposit (ore spot); F1—marginal fault of North China craton; F2—Xar Moron river fault; F3—Erlian-Hegenshan fault; F4—Onor Oroqen fault; F5—main ridge fault of Da Hinggan Mountains; F6—Nenjiang fault

2 流体包裹体的显微岩相学研究

对龙头山矿床流体包裹体岩相学的研究发现，与矿石矿物共生的石英比较少见，方解石和重晶石比较发育。方解石主要呈不规则团块状和细脉状产出。不规则团块状方解石系生物成因，镜下比较暗淡，以海百合茎、棘皮动物等生物碎屑为主。细脉状

方解石晶粒细小，沿裂隙充填，为后期热液充填。不规则团块状和细脉状方解石中流体包裹体均不发育。重晶石主要以大小不等的粒径产出，与金属矿物密切共生，是与金属矿物同一成矿阶段先后沉淀的矿物。根据流体包裹体在室温下的相态特征，按照流体包裹体分类准则(Roedder, 1984; 卢焕章等, 2004)将龙头山矿床中与金属硫化物共生的重晶石中的流体包裹体分为如下 4 种类型：

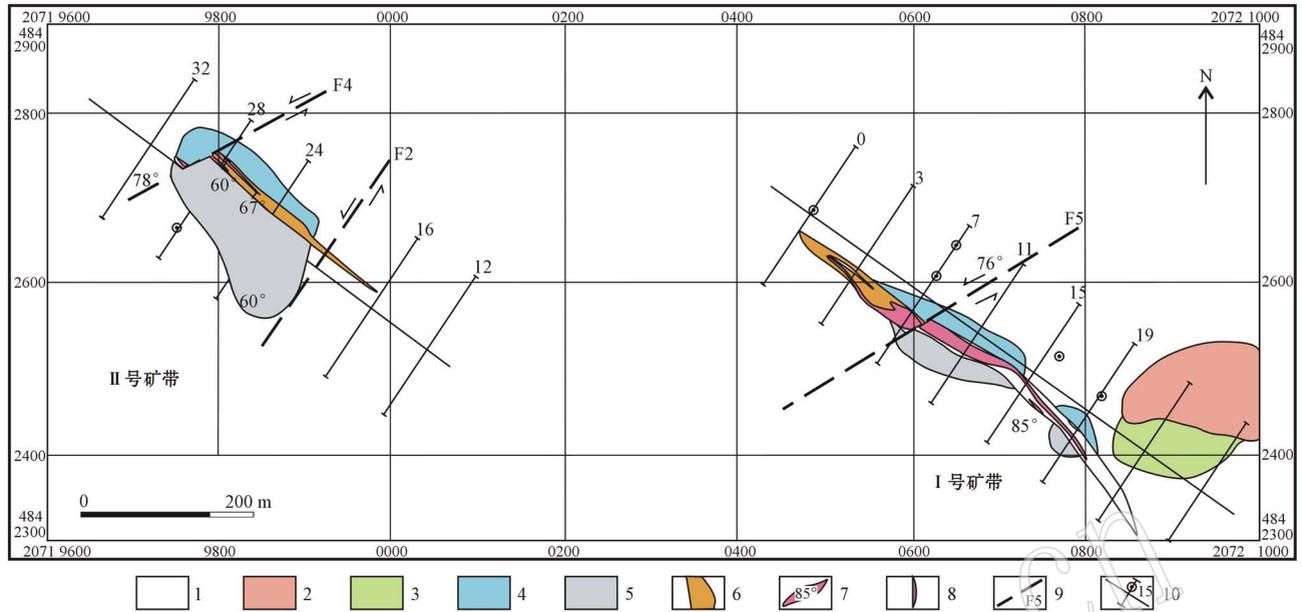


图2 龙头山多金属硫化物矿床地质简图

Fig. 2 Geological sketch map of the Longtoushan polymetallic sulfides ore deposit

1—第四系; 2—石英斑岩; 3—粉砂质凝灰岩; 4—安山质凝灰岩; 5—灰岩、大理岩; 6—矿化带; 7—矿体; 8—花岗斑岩; 9—断层;
10—勘探线及编号

1—Quaternary; 2—quartz porphyry; 3—silty tuff; 4—andesitic tuff; 5—limestone and marble; 6—mineralized zone; 7—ore body; 8—granite porphyry; 9—fault; 10—exploration line and its serial number

A型,次生气液两相包裹体(L+V)(图4a、4b),部分沿长轴方向延长较长,大小一般 $<5\ \mu\text{m}$,主要沿矿物内部次生裂隙呈线状分布,包裹体大小比较一致,大多呈米粒状、椭圆状和长椭圆状,常见包裹体集合体呈断续线状分布。这类包裹体约占重晶石矿物中流体包裹体总数的30%,与热水沉积主成矿期没有成因联系。

B型,纯气相包裹体(V)(图4c、4d),大小 $2\sim 8\ \mu\text{m}$ 不等,一般约 $5\ \mu\text{m}$ 。此类包裹体所占比例较少,形态多为负晶形,不规则状、半自形状,深色,镜下观察其外壁较模糊。这类流体包裹体在矿物中呈分散状自由分布或者小群分布,约占重晶石矿物中流体包裹体总数的2%。

C型,富气相两相水溶液包裹体(L+V)(图4e、4f),水溶液相充填度小于45%(体积分数,下同),加热均一到气相。包裹体个体较小, $2\sim 7\ \mu\text{m}$ 不等,绝大部分集中于 $2\sim 4\ \mu\text{m}$,孤立自由分布或群状分布,长圆状、浑圆状或不规则状,一般颜色发暗。这类包裹体约占重晶石矿物中流体包裹体总数的5%。

D型,富液相两相水溶液包裹体(L+V)(图4g、4h),水溶液相充填度一般大于70%,通常在85%~95%,加热均一到液相。包裹体个体也较小, $2\sim 8$

μm 不等,绝大部分集中于 $3\sim 4\ \mu\text{m}$,多呈群状分布,形状以长圆状或浑圆状居多,包裹体壁薄,透光性好,气泡一般跳动不止。这类包裹体约占重晶石矿物中流体包裹体总数的60%以上,是成矿阶段的主要包裹体类型。

3 流体包裹体热力学研究

3.1 均一温度和冰点温度

流体包裹体的显微测温在中国科学院地质与地球物理研究所矿物探查中心流体包裹体实验室完成,所用测温仪器为英国产Linkam THMSG600冷热台($-196\sim 600^\circ\text{C}$),均一温度和冰点温度测定误差分别为 $\pm 1^\circ\text{C}$ 和 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。测温过程中,尽可能对同一包裹体进行均一和冰点温度的双重测试,以获得一一对应的均一温度和冰点温度数据。冰点温度测定时,升温速度由开始时的 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 渐次降低为 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ 、 $3^\circ\text{C}/\text{min}$,接近相变点时的升温速率减小到 $0.2^\circ\text{C}/\text{min}$;均一温度测定时,开始时的升温速率较快,达 $20^\circ\text{C}/\text{min}$,在接近相变时,升温速率降低到 $1^\circ\text{C}/\text{min}$ 。

对来自层状矿体的16个典型流体包裹体测温片

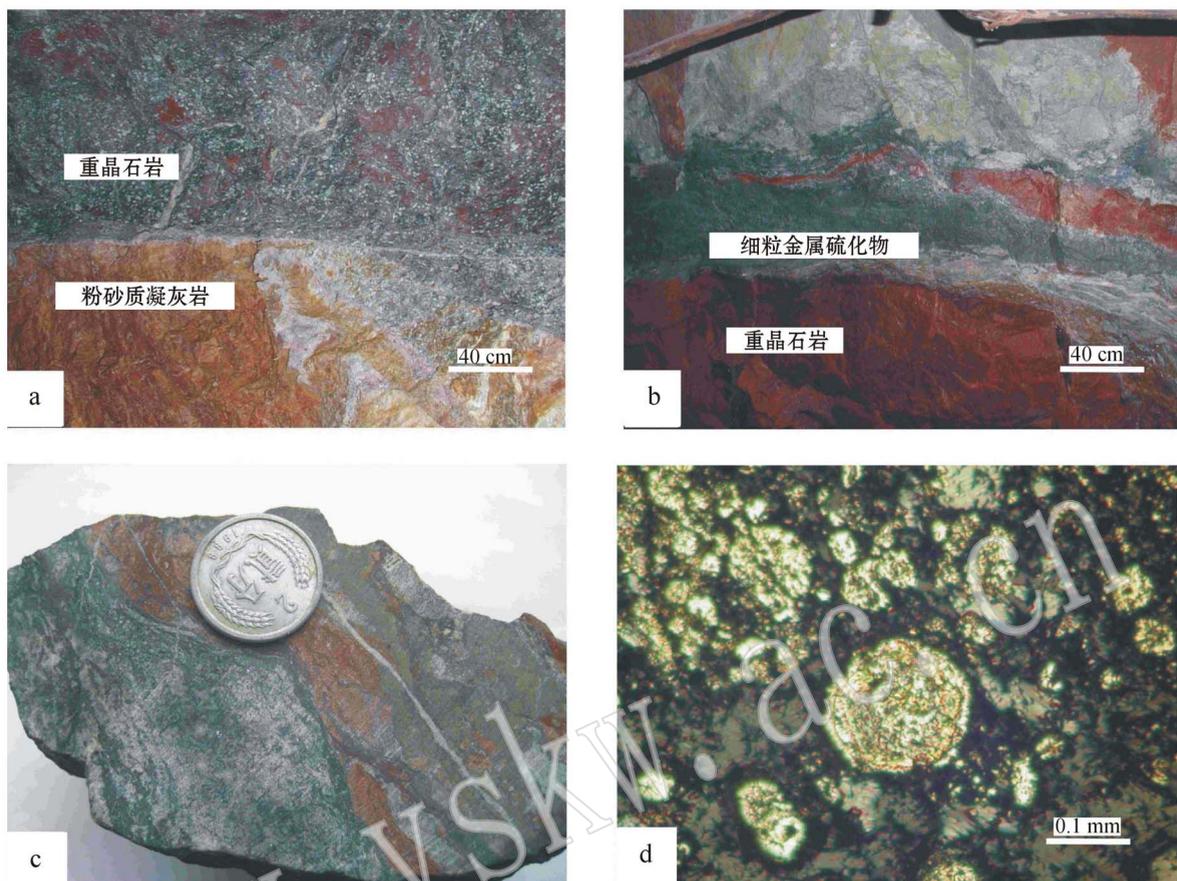


图 3 龙头山多金属硫化物矿床岩相学照片

Fig. 3 Petrographic photo of the Longtoushan polymetallic sulfide ore deposit

a—粗粒重晶石岩与粉砂质灰岩紧密接触；b—重晶石与金属硫化物呈互层状产出；c—重晶石、金属硫化物的软沉积滑动变形构造；
d—图 c 手标本镜下鲕状黄铁矿(反射光)

a—coarse-grained barite in close contact with silty tuff; b—interbedded barite and polymetallic sulfides; c—soft sedimentary sliding deformation structure of barite and polymetallic sulfides; d—oolitic pyrite microscopic photo of the hand specimen in graph c (reflected light)

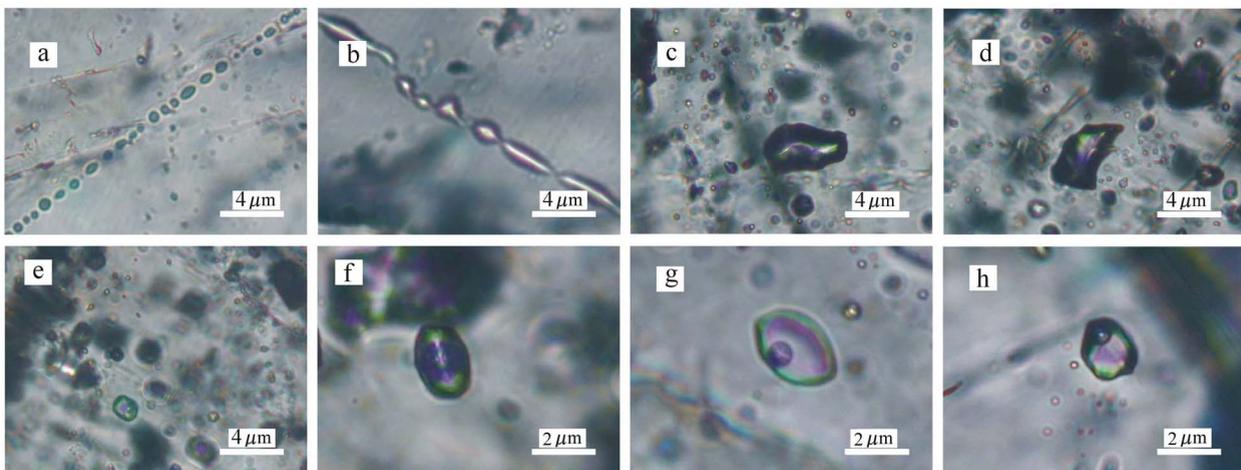


图 4 龙头山多金属硫化物矿床重晶石流体包裹体显微照片

Fig. 4 Microphotograph of barite fluid inclusions in the Longtoushan polymetallic sulfide ore deposit

a, b—次生气液两相包裹体；c, d—纯气相包裹体；e, f—富气相两相包裹体；g, h—富液相两相包裹体

a, b—secondary gas-liquid two-phase inclusion; c, d—pure gas inclusion; e, f—gas-rich two-phase inclusion; g, h—liquid-rich two-phase inclusion

中重晶石矿物的流体包裹体进行了显微测温研究。由于 A 型流体包裹体与主成矿阶段关系不大,没有进行进一步的测温研究;B 型和 C 型两类流体包裹体镜下颜色较深、不易观察到明显的相变现象,也没有获得有效的测温数据;D 型富液相流体包裹体是本次研究的主要对象。16 个测温片的显微测温共获

得 D 型富液相流体包裹体的 213 个冰点温度和 203 个均一温度数据。

测温结果显示 D 型富液相流体包裹体的冰点温度变化范围为 $-5.5 \sim -0.3^{\circ}\text{C}$, 冰点温度峰值为 $-1 \sim -0.0^{\circ}\text{C}$, 均一温度变化范围为 $101.4 \sim 279.9^{\circ}\text{C}$, 均一温度峰值为 $160 \sim 220^{\circ}\text{C}$ (表 1、图 5)。

表 1 龙头山 Ag-Pb-Zn 多金属矿床重晶石矿物中富液相流体包裹体参数
Table 1 Data of liquid-rich fluid inclusions in the Longtoushan Ag-Pb-Zn polymetallic ore deposit

样号	大小/ μm	冰点温度 $t_m/^{\circ}\text{C}$		均一温度 $t_h/^{\circ}\text{C}$		盐度 $\omega_{\text{NaCl}}/\%$		密度 $\rho/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	
		范围	平均值(N)	范围	平均值(N)	范围	平均值(N)	范围	平均值(N)
I-07a	2.5~6	-4.1~-0.7	-2.6(5)	168.1~239.2	196.2(4)	1.2~6.6	5.4(5)	0.87~0.93	0.90(4)
I J-19	2~7	-3.8~-0.3	-1.8(28)	101.4~230.5	180.0(28)	0.5~6.2	3.0(28)	0.86~0.97	0.91(28)
II-05a	2~7	-4.4~-0.3	-2.8(11)	101.7~279.9	196.0(11)	0.5~7.0	4.6(11)	0.78~0.97	0.90(11)
II-05b	2~5	-4.0~-0.6	-2.3(11)	104.1~258.7	174.1(11)	1.1~6.4	3.8(11)	0.75~0.97	0.91(11)
II-08a	2~6	-4.6~-0.5	-1.7(15)	144.9~239.1	195.4(15)	0.9~7.3	2.9(15)	0.84~0.94	0.89(15)
II-09	2~8	-4.9~-0.4	-5.2(7)	131.2~229.9	187.0(7)	0.7~7.7	2.8(7)	0.87~0.95	0.90(7)
II-10a	2.5~6	-5.5~-0.3	-2.5(18)	137.4~190.1	175.2(17)	0.5~8.5	4.1(18)	0.90~0.96	0.93(17)
II-10b	2~7	-5.2~-0.7	-3.4(4)	142.6~190.1	174.4(4)	1.2~8.1	5.4(4)	0.92~0.94	0.93(4)
II-11a	2~6	-4.5~-0.3	-1.7(21)	138.9~242.9	182.8(21)	0.5~7.2	2.8(21)	0.81~0.95	0.90(21)
II-17a	2~7	-5.4~-0.3	-1.9(24)	125.1~251.2	187.2(24)	0.5~8.4	3.2(24)	0.82~0.96	0.90(24)
II J-01a	2~7	-3.0~-0.8	-1.8(14)	158.6~241.3	195.3(8)	1.4~5.0	3.1(14)	0.84~0.94	0.89(7)
II J-01b	2~7	-3.7~-1.4	-2.9(4)	106.9~237.1	199.1(4)	2.4~6.0	4.7(4)	0.85~0.97	0.90(4)
II J-04b	3~4	-3.7~-0.3	-2.1(6)	174.1~224.1	192.4(6)	0.5~6.0	3.5(6)	0.87~0.92	0.90(5)
II J-05b	2~4	-3.5~-0.4	-1.1(12)	107.2~257.8	180.7(12)	0.7~5.7	1.9(12)	0.80~0.97	0.90(12)
II J-17a	2~7	-3.2~-0.5	-1.7(20)	190.6~279.1	228.9(17)	0.9~5.3	2.8(20)	0.78~0.89	0.85(16)
II J-17b	2~7	-2.8~-0.3	-1.4(13)	111.6~219.0	179.9(14)	0.5~4.7	1.8(13)	0.85~0.95	0.90(8)

注: N=参与统计的数据个数。

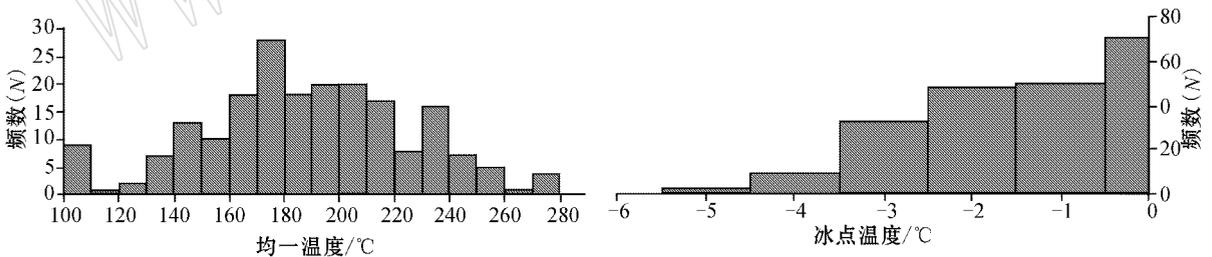


图 5 龙头山多金属硫化物矿床富液相流体包裹体冰点温度和均一温度

Fig. 5 Freezing and homogenization temperatures of liquid-rich fluid inclusions in the Longtoushan polymetallic sulfide ore deposit

3.2 盐度

根据 Bodnar(1993)总结的盐度-冰点关系表以及 Hall 等(1988)提出的 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ 体系盐度-冰点温度公式: $\omega_{\text{NaCl}} = 0.00 + 1.78t_m - 0.0442t_m^2 + 0.000557t_m^3$

式中 ω_{NaCl} 代表矿物的盐度(质量分数,下同), t_m 代表冰点温度绝对值($^{\circ}\text{C}$)。

计算获得 213 个龙头山矿床 D 型富液相流体包裹体的盐度数据(表 1),盐度范围为 $0.5\% \sim 8.5\%$ 。

3.3 密度

前人总结了 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ 体系密度计算的公式(刘斌等,1987,1999;卢焕章,1997;卢焕章等,2004)即:

$$\rho = A + Bt_h + Ct_h^2$$

$$A = 0.993531 + 8.72147 \times 10^{-3} \omega_{\text{NaCl}} -$$

$$2.43975 \times 10^{-5} \omega_{\text{NaCl}}^2$$

$$B = 7.11652 \times 10^{-5} - 5.2208 \times 10^{-5} \omega_{\text{NaCl}} +$$

$$1.26656 \times 10^{-6} \omega_{\text{NaCl}}^2$$

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

式中 ρ 为流体密度(g/cm^3); t_h 为均一温度($^{\circ}\text{C}$); ω_{NaCl} 为盐度,其余为无量纲参数。

根据经验公式计算并经 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ 体系的 $T-\omega-\rho$ 相图(Bischoff, 1991)验证,获得 194 个龙头山矿床 D 型富液相流体包裹体的密度数据(表 1),其密度范围为 $0.75 \sim 0.97 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

4 讨论

研究发现,现代海底喷出口热液流体最高温度可达 350°C ,盐度不超过海水的 2 倍(约 3%)(Sato *T*, 1972; Rona and Scolt, 1993; 侯增谦等, 2003)。典型热水沉积硫化物矿床如澳大利亚 Hellyer 铜多金属矿床包裹体的均一温度为 $165 \sim 322^{\circ}\text{C}$,盐度 $4\% \sim 7.5\%$ (Amond and Ohmoto, 1983; Khin *et al.*, 1996); 加拿大 Tom 矿床的流体包裹体均一温度为 $74.5 \sim 313^{\circ}\text{C}$,盐度变化于 $1\% \sim 10.6\%$ (芮宗瑶等, 2003); 我国锡铁山铅锌矿床热水沉积相层状

矿体的流体包裹体均一温度为 $108 \sim 407^{\circ}\text{C}$,盐度变化于 $0.35\% \sim 20.87\%$ (王莉娟等, 2009); 广西佛子冲、东桃热水沉积型铅锌矿流体包裹体的均一温度分别为 $110 \sim 190^{\circ}\text{C}$ 和 $105 \sim 242^{\circ}\text{C}$,盐度分别变化于 $1.3\% \sim 3.2\%$ 和 $0.3\% \sim 6.1\%$ (杨斌等, 2002)。

龙头山矿床热水沉积成因重晶石中除次生包裹体外,与成矿作用有关的流体包裹体主要有纯气相、富气相和富液相三类包裹体。这三类包裹体个体都比较小,大多数集中在 $2 \sim 5 \mu\text{m}$,反映了热水沉积成矿期快速沉淀的特征。本次主要研究的 D 型富液相流体包裹体,其均一温度为 $101.4 \sim 279.9^{\circ}\text{C}$,冰点温度为 $-5.5 \sim -0.3^{\circ}\text{C}$,盐度为 $0.5\% \sim 8.5\%$ 。如表 2 所示,龙头山矿床 D 型富液相流体包裹体反映的成矿流体特征与现代海底喷出口热液流体特征较为相似,也与典型热水沉积硫化物矿床的包裹体特征一致。

根据上述讨论,龙头山矿床的流体包裹体特征显示出较典型的海底热水沉积成矿作用特征,佐证了对龙头山矿床为海底热水沉积型硫化物矿床的判断。

表 2 龙头山多金属硫化物矿床与现代海底热液喷口及同类矿床流体特征的对比

Table 2 Characteristics of fluids of the Longtoushan polymetallic sulfide ore deposit in comparison with modern submarine hydrothermal vents and ore deposits of similar origins

流体来源	温度	盐度	数据来源
现代海底热液喷出口	流体最高温度 350°C	$\sim 3\%$	Sato, 1972; Rona and Scolt, 1993; 侯增谦等, 2003
澳大利亚 Hellyer 矿床	包裹体均一温度 $165 \sim 322^{\circ}\text{C}$	$4\% \sim 7.5\%$	Amond and Ohmoto, 1993; Khin <i>et al.</i> , 1996
加拿大 Tom 矿床	包裹体均一温度 $74.5 \sim 313^{\circ}\text{C}$	$1\% \sim 10.6\%$	芮宗瑶等, 2003
中国青海锡铁山矿床	包裹体均一温度 $108 \sim 407^{\circ}\text{C}$	$0.35\% \sim 20.87\%$	王莉娟等, 2009
中国广西佛子冲矿床	包裹体均一温度 $110 \sim 190^{\circ}\text{C}$	$1.3\% \sim 3.2\%$	杨斌等, 2002
中国广西东桃矿床	包裹体均一温度 $105 \sim 242^{\circ}\text{C}$	$0.3\% \sim 6.1\%$	杨斌等, 2002
中国内蒙古龙头山矿床	包裹体均一温度 $101.4 \sim 279.9^{\circ}\text{C}$	$0.5\% \sim 8.5\%$	实测

5 结论

龙头山矿床主要具有层状和筒柱状两类矿化,两类矿化的产状、蚀变、矿物特征等显示出典型的海底热水沉积成矿作用特征;其热水沉积成因重晶石中的包裹体反映了热水沉积成矿期快速沉淀的特征,包裹体反映的成矿流体温度、盐度、密度等特征符合典型海底热水沉积硫化物矿床的包裹体特征。

致谢 审稿人在稿件修改过程中提出了重要意见,在此表示衷心感谢。

References

- Amond V P and Ohmoto H. 1983. Thermal history and chemical and isotopic compositions of the ore-forming fluids responsible for the Kuroko massive sulfide deposits in the Hokuroku district of Japan [J]. *Economic Geology*, Monograph, 5: 523-558.
- Bischoff. 1991. Densities of liquids and vapors in boiling $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ solutions: a pvtx summary from 300°C to 500°C [J]. *American Journal of Science*, 291: 309-338.
- Bondar R J. 1993. Revised equation and table for determining the freezing point depression of $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ solutions [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57: 683-684.
- Hall D L, Sterner S M and Bodnar R J. 1988. Freezing point depression of $\text{NaCl}-\text{KCl}-\text{H}_2\text{O}$ solutions [J]. *Economic Geology and the Bulletin*

- of the Society of Economic Geologists, 83: 197~202.
- Hou Zengqian, Li Yinqing, Zhang Qiling, *et al.* 2003. End-members and mixing of fluids in submarine hydrothermal system: evidence from fluid inclusion in the Baiyinchang and Gacun VMS deposits [J]. Acta Petrologica Sinica, 19(2): 221~234 (in Chinese with English abstract).
- Khin Zaw, Gemmill J B, Large R R, *et al.* 1996. Evolution and source of fluids in the stringer system, Hellyer VHMS deposit, Tasmania, Australia: evidence from fluid inclusion microthermometry and geochemistry [J]. Ore Geology Reviews, 10: 251~278.
- Liu Bin and Duan Guangxian. 1987. Density and isochoric formulae for NaCl-H₂O inclusion and their application [J]. Acta Mineral Sinica, 7(4): 345~352 (in Chinese).
- Liu Bin and Shen Kun. 1999. Thermodynamics of Fluid Inclusion [M]. Beijing: Geological Publ. House, 1~277 (in Chinese).
- Liu Jianming, Ye Jie, Li Yongbing, *et al.* 2001a. Preliminary study on exhalative mineralization in Permian basins, the southern Segment of the Da Hinggan Mountains, China-Case studies of Huanggang and Dajing deposit [J]. Resources Geology, 51: 345~358.
- Liu Jianming, Ye Jie, Zhang Anli, *et al.* 2001b. A new exhalite type-siderite-sericite chert formed in fault-controlled lacustrine basin [J]. Science in China (Series D), 44: 408~415.
- Liu Jianming, Zhang Rui and Zhang Qingzhou. 2004. The regional metallogeny of Da Hinggan Ling, China [J]. Earth Science Frontiers, 11(1): 269~277 (in Chinese with English abstract).
- Lu Huanzhang. 1997. Ore-forming Fluid [M]. Beijing: Science Press, 1~207 (in Chinese).
- Lu Huanzhang, Fan Hongrui, Ni Pei, *et al.* 2004. Fluid Inclusion [M]. Beijing: Science Press, 1~450 (in Chinese).
- Roedder E. 1984. Fluid inclusions [J]. Reviews In Mineralogy. Mineral Society of America, 12: 1~644.
- Rona P A and Scott S P. 1993. A special issue on sea-floor hydrothermal mineralization: New perspective Preface [J]. Economic Geology, 88: 1 933~1 976.
- Rui Zongyao, Li Yinqing, Wang Longsheng, *et al.* 2003. Approach to ore-forming condition in light of ore fluid inclusions [J]. 22(1): 13~23 (in Chinese with English abstract).
- Sato T. 1972. Behaviour of ore-forming solutions in seawater [J]. Mining Geology, 22: 31~42.
- Wang Changming, Zhang Shouting and Deng Jun. 2006. The metallogenic space-time structure of copper-polymetallic deposits in the southern segment of Da Hinggan Mountains, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 33(5): 468~483 (in Chinese with English abstract).
- Wang Lijuan, Peng Zhigang, Zhu Xinyou, *et al.* 2009. Sources and evolution of ore-fluid of the Xitieshan sedimentary-exhalative lead-zinc system, Qinghai province: Evidence from fluid inclusion and isotope geochemistry [J]. Acta Petrologica Sinica, 25(11): 3 007~3 015 (in Chinese with English abstract).
- Yang Bin, Li Baohua and Zhang Fang. 2002. Fluid inclusion geochemistry of early Silurian's exhalative-sedimentary deposits in southeast of Guangxi [J]. Mineral Resources and Geology, 16(1): 47~49.

附中文参考文献

- 侯增谦, 李荫清, 张绮玲, 等. 2003. 海底热液成矿系统中的流体端员与混合过程: 来自白银厂和呷村 VMS 矿床的流体包裹体证据 [J]. 岩石学报, 19(2): 221~234.
- 刘斌, 段光贤. 1987. NaCl-H₂O 溶液包裹体的密度式和等容式及其应用 [J]. 矿物学报, 7(4): 345~352.
- 刘斌, 沈昆. 1999. 流体包裹体热力学 [M]. 北京: 地质出版社, 1~277.
- 刘建明, 张锐, 张庆洲. 2004. 大兴安岭地区的区域成矿特征 [J]. 地质前缘, 11(1): 269~277.
- 卢焕章. 1997. 成矿流体 [M]. 北京: 地质出版社, 1~207.
- 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 等. 2004. 流体包裹体 [M]. 北京: 科学出版社, 1~450.
- 芮宗瑶, 李荫清, 王龙生, 等. 2003. 从流体包裹体研究探讨金属矿床成矿条件 [J]. 矿床地质, 22(1): 13~23.
- 王长明, 张寿庭, 邓军. 2006. 大兴安岭南段铜多金属矿成矿时空结构 [J]. 成都理工大学学报 (自然科学版), 33(5): 468~483.
- 王莉娟, 彭志刚, 祝新友, 等. 2009. 青海省锡铁山 Sedex 型铅锌矿床成矿流体来源及演化: 流体包裹体及同位素地球化学证据 [J]. 岩石学报, 25(11): 3 007~3 015.
- 杨斌, 李保华, 张芳. 2002. 桂东南地区早志留世热水沉积矿床流体包裹体地球化学 [J]. 矿产与地质, 16(1): 47~49.