

铜陵地区海底喷流沉积 (SEDEX) 块状硫化物 矿床成矿流体研究*

Study on Fluids of SEDEX Massive Sulfide Deposits in Tongling District, Anhui Province

肖新建¹ 顾连兴² 倪培² 陈肇博¹ 李子颖¹

(1 核工业北京地质研究院, 北京 100029; 2 南京大学成矿作用国家重点实验室, 江苏 南京 210093)

Xiao Xinjian¹, Gu Lianxing², Ni Pei², Chen Zhaobo¹, Li Ziyang¹

(1 Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, China; 2 State Key Lab. of Endogenic Metallic Deposits, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China)

摘 要 安徽铜陵地区的铜-金矿床是海底喷流沉积的块状硫化物矿床, 经过燕山期岩浆热液的叠加改造而成的产物。本文主要从两方面(海底喷流期以及燕山期)来探讨该区块状硫化物矿床的流体特征。结果表明, 该区喷流沉积期流体可与世界上大多数 SEDEX 块状硫化物矿床流体对比, 而燕山期的热液流体却呈多阶段并常伴随沸腾特征。这同样也表明, 该区矿床成矿机制、流体作用的复杂性。

关键词 块状硫化物矿床 喷流期流体 燕山期流体 复杂性 铜陵地区

铜陵地区受中石炭统地层控制的铜-金矿床表现为多期成矿的特点。经过众多学者研究, 该区矿床是海底喷流沉积的块状硫化物矿层受燕山期岩浆岩热液改造和叠加的产物(徐克勤等, 1978; 顾连兴等, 1986b)。前人在该区曾探讨过海底喷流期块状硫化物矿床的流体特征, 笔者也曾探讨过该区燕山期流体(Xiao et al., 2002)。但对形成该矿床的两时期的流体(海底喷流期及燕山期改造流体)还未有系统的对比和阐述。

1 矿床地质特征

前人对铜陵地区矿床的研究论著颇丰, 故在此我们不准备赘述该区的矿床地质特征。依据矿床的地质产状和矿化特征及蚀变类型, 把该区矿体分为三种类型: 受海西期石炭纪地层控制的层状矿体, 产于层状矿体底板的脉状矿体, 经燕山期岩浆热液叠加改造的叠加型矿体。在多种情况下, 下部的脉状矿体很小, 有的仅是脉状矿化, 但在铜陵地区老庙基山、新桥牛山和东乡, 底板脉状矿化达到了工业价值。层状矿体和脉状矿体均为海西期喷流沉积而成的。

1.1 层状矿体

顾连兴等(Gu et al., 2000)对曾对该区中石炭世海底喷流沉积矿石的成矿流体作过初步探讨。我们所称的层状矿体主要是指海底喷流沉积的块状硫化物矿体, 有别于下盘的脉状矿体而言。

前人提出的海相同生沉积含铜“矿坯层”(刘裕庆等, 1991), 实际上就属于层状矿体的一部分。层状矿体集中于中石炭统黄龙组白云岩和三叠系下、中统的灰岩、白云岩层位。呈层状、似层状、透镜状产出。层状矿体的矿石类型主要有硫化物-碳酸盐型和硫化物-硅质型。矿体中金属矿物有黄铁矿(胶状黄铁矿)、磁黄铁矿、黄铜矿。脉石矿物常见的有石英(玉髓)、碳酸盐, 另外还有硬石膏、重晶石等。

层状矿体常受后期岩浆热液叠加改造, 形成叠加矿体, 在某些情况下, 表现为同生沉积(为主)及叠加改造的特点。

1.2 下盘脉状矿体(化)

许多学者研究海底喷流的块状硫化物矿床时, 发现在 MSD 矿床层状矿体的下盘围岩中, 往往存在脉状矿化现象, 有的下盘矿化甚至已构成工业矿体。现代洋中脊钻探也证明下盘脉状矿化是 MSD 的重要特征(Robert et al., 1998), 同样在铜陵

* 本文为国家自然科学基金(No.49733120, No.49773194)和地质矿产部九五攻关项目(No.9501102-04-01)资助
第一作者简介 肖新建, 男, 1976 年生, 现为博士研究生。

地区 MSD 矿床中亦发现下盘脉状矿体(化)。

在铜官山矿田老庙基山矿段,发现了产于层状矿体下盘五通组砂岩中的脉状铜矿体。脉状矿体主要为热液石英脉型,以含铜网脉为特征,脉宽从不足 1 mm 至 20 mm 不等。矿体形态不规则,多受构造裂隙控制,呈细脉状、浸染状。脉状矿体自层状矿体底界开始向下延伸达百余米,往下仍可能继续延伸。脉状矿体矿石矿物主要为黄铁矿、黄铜矿,少量辉钼矿、闪锌矿和白钨矿。脉石矿物主要为石英、碳酸盐。

我们注意到,层状矿石的金属成分与下盘矿化呈现同一性,即,以铜作为下盘主要金属成分的矿床,其层状矿石主要以铜为主(Gu et al., 1993; 肖新建等, 2000)。

1.3 叠加矿体

铜陵地区石炭纪块状硫化物矿床均不同程度地经受了燕山期岩浆流体的叠加矿化作用。有的叠加矿化严重的往往改变了块状硫化物原始特征,而成为叠加矿床或叠加改造矿床,如铜陵狮子山矿床。笔者曾专门探讨过这种叠加矿床的流体特性(Xiao et al., 2002),故在此不准备重复说明,而以受叠加矿化影响并不太严重的叠加矿体为主,或至少可见层状矿体残余的叠加矿体。

叠加矿体往往产于侵入岩与灰岩的接触带,或顺层产出。矿石类型有多种,反映不同程度的叠加特点。金属矿物主要为黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿,也有少量闪锌矿、磁铁矿、方黄铜矿等。脉石矿物在不同类型矿石中成分不同,有石榴子石、透辉石、石英、碳酸盐等。矿石组构为块状构造、脉状构造、网脉状构造,交代溶蚀结构、交代充填结构等。

叠加矿化作用包括喷流沉积矿石的热接触变质作用、岩浆热液叠加以及再活化成矿作用。其中在岩浆期后热液过程中,侵入于块状硫化物矿床的岩浆及其热液对层状矿体的加大和富集起着重要作用(顾连兴, 1986a, b)。

2 成矿流体特征

本次研究中,我们主要测定了小铜官山、宝山、马山、老庙基山、冬瓜山矿床的样品。流体包裹体在南京大学成矿作用国家重点实验室 LinKam THMS600 冷热台上测定。

盐度换算所用公式为: $w(\text{NaCl}_{\text{eq}}) = 0.00 + 1.78X - 0.0442X^2 + 0.000557X^3$

式中 X 代表冰点温度绝对值(Bodnar, 1993)。含子晶包裹体的盐度由子晶消失温度算得。

2.1 海西期 MSD 成矿流体(包括脉状矿与层状矿)

块状硫化物矿床往往包括上部层状矿体及下部脉状矿化(矿体)两部分。然而,喷流沉积成矿期形成的层状矿体矿石致密块状,通常不易找到可供实验室测定温度和成分的流体包裹体,在铜陵地区即使找到了,由于存在叠加矿化,其特征往往也不能代表原始成矿流体的特征。与之不同的是,下部脉状矿体的透明矿物中往往会有大量流体包裹体存在,这些流体包裹体是海底喷流沉积成矿期捕获的,可反映喷流沉积期的成矿流体特征。

(1) 喷流期上部层状矿体的成矿流体。在小铜官山层状矿体找到一块块状矿石标本(M811),其硫化物粒间的石英颗粒中,发现有流体包裹体,包裹体大小 50 μm , 富液相,均一温度 183.2 $^{\circ}\text{C}$, 盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 4.8% (图 1, 图 2A)。

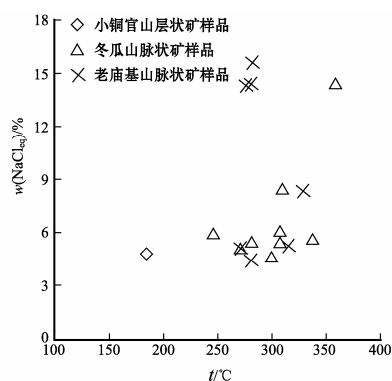


图 1 海西期喷流成矿流体温度盐度图

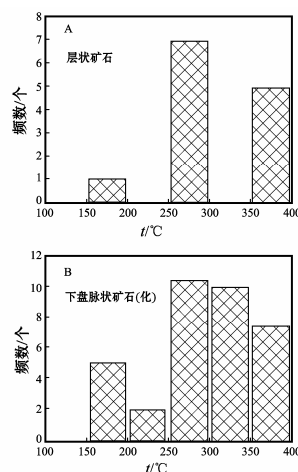


图 2 层状矿体和下盘脉状矿体(矿化)成矿流体温度频率直方图

在大团山矿床一层状矿石标本 (M868) 的石英矿物中, 发现大量的气液包裹体, 流体包裹体均一温度为 $265\sim 399^{\circ}\text{C}$, 平均为 322°C , 由于包裹体体积较小, 冰点未能测出, 没有盐度数据 (图 2A)。

(2) 喷流期下盘脉状矿体的成矿流体。在冬瓜山、老庙基山层状矿下盘的砂岩中的石英-硫化物矿脉, 均捕获有大量的流体包裹体, 该流体包裹体无子晶, 均一温度范围是 $189.6\sim 395.4^{\circ}\text{C}$, 平均均一温度为 295°C 。盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 $4.5\%\sim 15.7\%$, 平均盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 8.13% (图 1, 图 2B)。

我们对老庙基山下盘矿化的石英单矿物中的流体包裹体作了测定, 其成分为 K_2O 0.51×10^{-6} , Na_2O 2.00×10^{-6} , CaO 0.18×10^{-6} , MgO 0.04×10^{-6} , Fe_2O_3 0.08×10^{-6} , F^- 0.035×10^{-6} , Cl^- 2.10×10^{-6} , SO_4^{2-} 0.36×10^{-6} , $\text{pH}=4.38$, 表明其成矿溶液具有偏酸性和富氯、富钠的特征。

2.2 叠加成矿流体特征

小铜官山叠加矿体矿石矿物中含丰富的流体包裹体, 矿石主要有 3 种类型, 夕卡岩型矿石, 石英-硫化物型矿石, 石英-碳酸盐型矿石, 分别代表了叠加成矿流体的 3 个演化阶段; ① 夕卡岩型矿石中流体包裹体均一温度为 $435\sim 508^{\circ}\text{C}$, 平均为 474.6°C ; 盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 $14\%\sim 15.5\%$ (图 3、4); ② 石英-硫化物 (简称为 Qz-Sf, 下同) 矿石中流体包裹体均一温度为 $289\sim 452.5^{\circ}\text{C}$, 平均为 362.5°C ; 盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 $6\%\sim 15.5\%$, 平均盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 11.5% (图 3、4); ③ 石英-碳酸盐 (简称为 Qz-Car, 下同) 矿石中的流体包裹体均一温度为 $126\sim 231.5^{\circ}\text{C}$, 平均为 188°C ; 盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 $12.05\%\sim 26.44\%$, 平均 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 16.1% (图 3、4)。

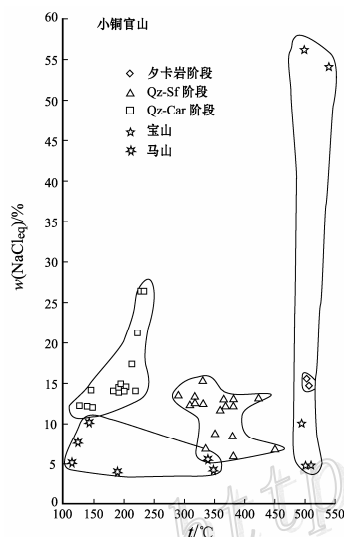


图 3 燕山期叠加矿体流体温度盐度投点图

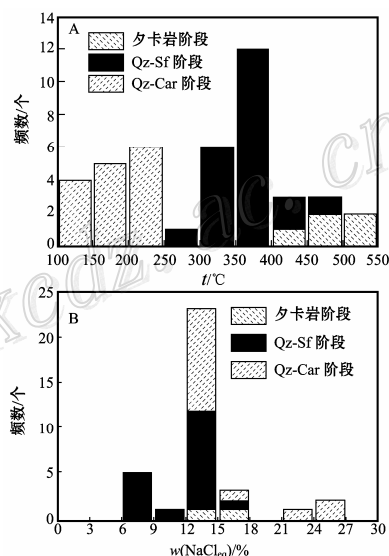


图 4 燕山期叠加矿体流体温度/盐度频率直方图

宝山矿床的标本为石榴石+方解石+黄铁矿斑杂状矿石, 包裹体主矿物为石榴石, 流体均一温度为 $495\sim 544.3^{\circ}\text{C}$, 平均为 510°C , 盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 $4.8\%\sim 56.1\%$ (图 3)。

在马山矿床中, 在白云岩中产出的黄铁矿方解石脉, 为后期叠加或再活化成因, 在方解石中产有大量的气液流体包裹体, 包裹体均一温度为 $110\sim 347^{\circ}\text{C}$, 平均为 207°C ; 盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 $4\%\sim 10.4\%$, 平均 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 6.34% (图 3)。

3 讨论与结论

由上所述, 铜陵地区矿床经历了海西期海底喷流沉积成矿以及燕山期 (岩浆) 热液叠加改造成矿作用。喷流期的流体温度为 $183.2\sim 399^{\circ}\text{C}$, 温度峰值集中于 $250\sim 300^{\circ}\text{C}$ 之间, 盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 在 $4.5\%\sim 15.7\%$ 之间 (图 1、2)。这与某些具有代表性的 Sedex 矿床的 $140\sim 280^{\circ}\text{C}$ 的成矿温度区间和 225°C 左右峰值基本相似但稍有差异 (Gardner and Hutcheon, 1985; Samson and Russell, 1987), 主要表现为该区矿床成矿流体温度稍高。Badham 认为, 矿化温度超过 150°C 的 Sedex 型矿床是十分罕见的 (Badham, 1981), 但实际上并非如此, Russell (1983) 提出的海底热液对流核模式可以成功地解释许多 Sedex 矿床成矿温度高达 300°C 以上的事实, 这也可说明, 铜陵地区矿床与世界上大多数 Sedex 矿床的喷流期成矿温度相一致。

在经历了海底喷流沉积成矿作用形成 Sedex 矿床后,燕山期的(岩浆)热液流体又对铜陵地区的块状硫化物矿床进行了叠加和改造。叠加流体分数个成矿阶段,夕卡岩阶段温度范围为 435~508℃,平均为 474.6℃;石英-硫化物阶段,温度为 289~452.5℃,平均为 362.5℃;石英-碳酸盐阶段温度为 126~231.5℃,平均为 188℃(图 3)。这一连续表现形式反映了叠加成矿流体演化过程。

小铜官山矿床缺乏高盐度值($w(\text{NaCl}_{\text{eq}}) > 30\%$),这或许是小铜官山矿床沸腾作用不明显所致,或许是在笔者实验室中未能找到效果良好的包裹体。而在与小铜官山矿床处同一矿田的宝山矿床中,却见同温区内高盐度包裹体与低盐度包裹体同时存在,这反映的是沸腾作用的迹象(图 3)。马山矿床的流体是最晚期的叠加或再活化流体,温度盐度均较上面矿床叠加流体低(图 3)。

综上所述,铜陵地区矿床早期的喷流期(即同生沉积成矿过程)与世界上大多数 SEDEX 矿床类似,在成矿温度盐度、流体成分上均有一致性;而后期叠加成矿流体,在不同矿床沸腾强度不同,流体演化总体上呈高温到低温,高盐度到低盐度的系列。这同样表明该区矿床成矿作用的多阶段、多样化特点。

致 谢 笔者在实验室测试过程中得到沈昆老师指导,在此深表谢意!

参 考 文 献

- 顾连兴,徐克勤. 1986a. 论大陆地壳断裂陷带中的华南型块状硫化物矿床. 矿床地质, 5 (2): 1~13.
- 顾连兴,徐克勤. 1986b. 论长江中、下游中炭世海底块状硫化物矿床. 地质学报, 2: 176~188.
- 刘裕庆,刘兆廉. 1991. 铜陵地区层状铜(铁、硫)矿床同位素地球化学和矿床成因研究. 中国地质科学院矿床地质研究所刊, 47~114.
- 肖新建,倪培. 2000. 论喷流沉积(SEDEX)成矿与沉积改造成矿之对比. 地质找矿论丛, 15 (3): 238~245.
- 徐克勤,朱金初. 1978. 我国东南部几个断裂陷带中沉积(或火山沉积)-热液叠加类铁铜矿床成因的探讨. 福建地质, (4): 1~68.
- Badham J P N. 1981. Shale-hosted Pb-Zn deposits: products of exhalation of formation waters? Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, 90B: 70~76.
- Bodnar B J. 1993. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H_2O -NaCl solutions. Geochimica et Cosmochimica Acta, 57: 683~684.
- Gardner H D, Hutcheon I. 1985. Geochemistry, mineralogy and geology of the Jason Pb-Zn deposits, Macmillan Pass, Yukon, Canada. Econ Geol., 80: 1257~1276.
- Gu Lianxing, Hu Wenxuan, He Jinxiang, et al. 1993. Geology and genesis of the Upper Paleozoic massive sulphide deposits in South China. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section B: Applied earth science, 102: 83~96.
- Gu L X, Hu W X, He J X, et al. 2000. Regional Variations in Ore Composition and Fluid Features of Massive Sulphide Deposits in South China: Implications for Genetic Modelling. Episodes, 23(2): 110~118.
- Robert A. Zierenberg, Yves Fouquet, Miller D J, et al. 1998. The deep structure of a sea-floor hydrothermal deposit. Nature, 392: 485~488.
- Russell M J. 1983. Major sediment-hosted exhalative zinc-lead deposits: formation from hydrothermal convection cells that deepen during crustal extension. In: Sangster D F, ed. Short Course in Sediment-Hosted stratiform Lead-Zinc Deposits. Mineralogical Association of Canada, Victoria, 251~282.
- Samson I M and Russell M J. 1987. Genesis of the Silvermines zinc-lead-barite deposit, Ireland: fluid inclusion and stable isotope evidence. Econ Geol., 82: 371~394.
- Xiao Xinjian, Gu Lianxing and Ni Pei. 2002. Multi-episode boiling in the Shizishan copper-gold deposit at Tongling, Anhui Province: its bearing on ore formation. Science in China (Series D), 45(1): 34~44.