# 粤北凡口超大型铅锌矿热液方解石流体包裹体 特征和C-O-Sr同位素组成<sup>\*</sup>

梁业恒<sup>1,2</sup>,孙晓明<sup>1,2\*\*</sup>,陆红锋<sup>3</sup>

(1 中山大学海洋学院,广东 广州 510275; 2 中山大学地球科学系,广东 广州 510275;3 国土资源部广州海洋地质调查局,广东 广州 510760 )

摘 要 凡口铅锌矿床是世界上著名的大型有色金属矿床。关于矿床的成因,一直以来争议很大。前人的研究主要是针对硫化物矿石矿物的,但事实上,凡口铅锌矿的矿体主要赋存于中、上泥盆统和下石炭统碳酸盐岩建造中,且以热液方解石为代表的碳酸盐矿物是凡口铅锌矿最主要的脉石矿物,因此,有必要对矿床中的碳酸盐矿物进行研究,从而通过一个新的角度阐述凡口铅锌矿床的成因。本文对凡口铅锌矿床围岩和矿体矿石中的碳酸盐矿物(主要是方解石)的包裹体特征和C-O-Sr同位素组成进行研究,并对矿床的成因进行了初步的讨论。研究显示:凡口矿中方解石可分为早期、中期和晚期3种类型,其中中期方解石与硫化物矿石矿物共生,是凡口矿主成矿期的产物。经系统观察和冷热台测定,早期和晚期方解石包裹体的均一温度和盐度都较低,δ<sup>13</sup>C<sub>VPDB</sub>值变化区间较大,在-3.1‰ ~ 3.6‰之间,δ<sup>18</sup>O<sub>V-SMOW</sub>值在12.2‰附近;中期方解石包裹体的均一温度和盐度最高,δ<sup>13</sup>C<sub>VPDB</sub>值变化区间值小于-4.0‰,δ<sup>18</sup>O<sub>V-SMOW</sub>值主要在17.0‰附近。凡口热液方解石的矿物包裹体均一温度和盐度数据表明该矿成矿溶液与深层热液和海水有关,C-O-Sr同位素组成则表明凡口主要矿体为海底热泉喷流沉积成因。

关键词 地球化学; 流体包裹体; C-O-Sr 同位素组成; 热液方解石; 海底热泉喷流; 凡口铅锌矿

## Fluid inclusions and C-O-Sr isotopic compositions of hydrothermal calcite in Fankou superlarge scale Pb-Zn deposit

<sup>2</sup> LIANG YeHeng<sup>1,2</sup>, SUN XiaoMing<sup>1,2</sup> and LU HongFeng<sup>3</sup>

(1 School of Marine Sciences, Sun Yatsen University, Guangzhou 510275, Guangdong, China; 2 Department of Earth Sciences, Sun Yatsen University, Guangzhou 510275, Guangdong, China; 3 Guangzhou Marine Geological Survey, MLR, Guangzhou 510075, Guangdong, China)

#### Abstract

Fankou lead-zinc deposit is a famous large-scale lead-zinc deposit in China. Its ore bodies are mainly hosted in the carbonate formations of Middle-Upper Devonian and Lower Carboniferous strata. Country rocks and ores of the deposit contain lots of carbonates, such as calcites etc. Former research of the Fankou lead-zinc deposit almost focused on the fields of sulfides, the importance of carbonates were neglected, so it is necessary to reveal the cause of formation of the Fankou lead-zinc deposit by means of carbonates. In this paper, we discuss the

<sup>\*</sup>本文得到广东省自然科学基金项目(970123)的资助

第一作者简介 梁业恒, 男, 1980年生, 矿床学博士, 研究方向为矿床地球化学。Email: gtogto54321@msn.com \*\*通讯作者 孙晓明, Email: eessxm@mail.sysu.edu.cn

characters of carbonates inclusions in the ore bodies. The fluid inclusions of calcites from Fankou lead-zinc deposit are divided into three stages. Pre-ore and late-ore stage fluid inclusions are characterized by low homogeneous temperature and low salinity, the values of  $\delta^{13}C_{V-PDB}$  range from -3.1 ‰ to 3.6 ‰, and  $\delta^{18}O_{V-SMOW}$  are around 12.2 ‰. Ore stage fluid inclusions are characterized by higher homogeneous temperature and salinity, the values of  $\delta^{13}C_{V-PDB}$  range from 12.0 ‰. Based on the study of hydrothermal calcites and fluid inclusions, it indicates that deep source hydrothermal solution and sea water play an important role during the ore forming, the Fankou is a submarine exhalative sedimentary Pb-Zn deposit.

Key words: geochemistry, fluid inclusions, C-O-Sr isotopes, hydrothermal calcites, submarine exhalative, Fankou Pb-Zn deposit

凡口大型铅锌矿床是中国目前最大的铅锌矿床生产基地,它位于华南褶皱系桂湘粤拗陷东侧,粤北曲 仁海西构造盆地北缘的凡口倾伏向斜昂起端,吴川-四会深大断裂(F<sub>4</sub>)附近。矿区北侧大片出露的寒武系 浅变质碎屑岩系构成矿区褶皱基底。在加里东旋回区域不整合面上,矿区内发育一套由新古生代碎屑岩和 碳酸盐岩组成的沉积盖层。矿区含矿层位即处于加里东褶皱基底不整合面以上的海侵旋回下部的滨一浅海 相碳酸盐岩建造中。凡口大型铅锌矿床不仅具有重要的经济意义,而且因其复杂独特的地质特征,成为广 大地质工作者研究的热点。前人从不同的方面对该矿床进行了研究,并提出了不同的成因观点: ① 通过研 究矿床矿体的形态特点和在分析其成矿作用的基础上,认为凡口矿床为双源卤水沉积叠加改造成矿(吴健 民等,1987); ② 从整个区域构造着手,提出了凡口矿床属超大型层控矿床,为海底热泉喷溢沉积成因(陈 学明,1992;朱上庆等,1992); ③ 通过对矿床矿石的退火结构的研究,认为凡口矿床是一个较为典型的 经受退火变质作用的中温热液矿床(邱小平,1993); ④ 运用构造与成矿结合,矿化与蚀变统一的观点, 提出了同构造热液填充交代成因(王濮等,1995); ⑤ 从矿石矿物包裹体研究出发,从超大型矿床的角度 提出了海底喷流-同生沉积成因(李兆鳞等,1997)等。

前人的研究主要针对硫化物等矿石矿物进行的,但考虑到凡口矿床具有以下几个特点:① 整个矿床赋 存在碳酸盐地层中,围岩为碳酸盐岩;② 脉石矿物主要为方解石等碳酸盐矿物;③ 在主成矿期,方解石 等碳酸盐矿物与硫化物互相穿插填充,温度、盐度研究显示方解石等脉石矿物与矿石矿物同时形成,因此 有必要加强对热液碳酸盐矿物的研究,以从一个新的角度认识凡口矿的成因。

本文在学习和吸收前人成果的基础上,对凡口铅锌矿床碳酸盐矿物和少量闪锌矿中的流体包裹体进行 了研究,包括流体包裹体镜下特征描述和包裹体均一化温度和盐度的测定,并辅以碳、氧、锶同位素组成 测定,从而阐明矿床的流体性质,并进一步讨论矿床的成因。研究显示:凡口大型铅锌矿床属于海底热泉 喷逸沉积型矿床。

#### 1 矿床区域概述

凡口矿区位于华南褶皱系桂湘粤坳陷东侧,粤北曲仁海西构造盆地北缘的凡口倾伏向斜昂起端。矿区 北侧大片出露的寒武系浅变质碎屑岩系构成矿区褶皱基底。在加里东旋回区域不整合面上,矿区内发育一 套由新古生代碎屑岩和碳酸盐岩组成的沉积盖层。矿区含矿层位即处于加里东褶皱基底不整合面以上的海 侵旋回下部的滨-浅海相碳酸盐岩建造中(图1)。



图 1 凡口超大型铅锌矿区地质图 (据孙晓明等, 1996)



#### 1.1 出露地层

矿区出露地层自下而上为:

(1) 寒武系八村群 (Ebc): 为浅变砂页岩互层, 厚1500 m 以上。

(2) 中泥盆统桂头群 (D<sub>2</sub>gt): 为一套代表海侵旋回底部的陆相 – 滨海相陆源碎屑建造。底部为砾岩; 下部为砂砾岩、石英砂岩夹粉砂岩; 上部为紫红色粉砂质页岩夹粉砂岩。层厚 120~130 m,与下伏寒武系 八村群呈区域不整合接触。

(3) 中泥盆统东岗岭阶 (D<sub>2</sub>d): 与下伏地层整合接触,按岩性划分为上下两个亚阶。下亚阶为深灰 色泥质粉砂岩页岩、粉砂岩夹白云岩,厚约 50 m;上亚阶为深灰色灰岩、白云质灰岩,厚约 70~210 m。

(4) 上泥盆统天子组(D<sub>4</sub>t):与下伏地层整合接触,按岩性划分为3个亚组。下亚组为深灰色鲕状、 生物屑灰岩夹瘤状、条带状灰岩、薄层泥灰岩,其中以顶部的中厚层鲕粒灰岩和底部的球状层孔虫灰岩为 标志,厚约90~115 m;中亚组为灰黑色条带状、瘤状灰岩,其中以底部核形石灰岩和中部含星点状黄铁 矿条带状灰岩为标志,厚约110~150m;上亚组为深灰色厚层花斑状灰岩及花斑条纹瘤状灰岩,其中部夹 泥灰岩为标志,厚约 50~105 m。

(5) 上泥盆统帽子峰组(D<sub>3</sub>m): 与下伏地层整合接触,下部为条带状粉砂岩、石英砂岩夹薄层白云 岩: 上部为粉砂质页岩、泥质页岩夹粉砂质。厚度 110~140 m。

(6) 下石炭统 (C<sub>1</sub>): 与下伏地层呈平行不整合接触。下部为白云质灰岩,上部为浅灰色粉砂质页岩 夹砂岩。该层位在矿区东侧发育完整,但在矿床地段明显变薄,厚仅10~17m、甚至局部缺失,矿区西侧 则全部缺失。

(7)中上石炭统壶天群(C<sub>2+3</sub>ht):下部为块状厚层状白云岩,上部为厚层白云质灰岩。厚约 400 m, 与下伏地层呈微不整合接触,在矿区内超覆于泥盆系地层之上。

(8) 二叠系(P): 下统为灰岩, 上统为砂页岩、硅质页岩, 属煤系地层, 仅见于矿区东南隅, 与下

伏地层呈整合接触。

1.2 主要构造

凡口倾伏向斜为一轴向北西并向西昂起的复合向斜,它由次一级的安岗岭背斜、杨屋倾伏向斜、狮岭 倾伏背斜、金星岭倾伏背斜等一系列褶曲构造组成。

矿区的断裂主要有3组。

(1) NNE向断裂:为一系列(F<sub>3</sub>、F<sub>4</sub>、F<sub>5</sub>……)大致等距平行排列,断面东倾的陡倾向反扭斜冲断裂, 走向 10~30°,局部走向可成北北西、南北和北东,似为追索利用早期构造的结果。

(2) NNW向断裂(F<sub>203</sub>): 位于矿床西部、NNE向断裂的西南侧,为反扭斜冲断裂,其规模大于NNE向断裂,并限制了NNE向断裂的南延,似为NNE向的断裂的主干断裂,两者构成一个横切凡口倾伏向斜的 帚状构造。

(3) NE向断裂(F<sub>101</sub>、F<sub>102</sub>):为一组压扭性断裂,仅见于狮岭北部,其南北延伸部分构造形迹可能已被F<sub>3</sub>、F<sub>4</sub>断裂追索利用。

#### 1.3 矿体形态和产状

凡口矿床已探明大小矿体近 200 条,集中于由金星岭、狮岭、狮岭南地段组成的一个走向长 1 800 m、 纵深 800 m的北东向狭窄范围。这些矿体在空间依附F<sub>3</sub>、F<sub>4</sub>断层并顺地层产出,且靠断层处变厚,甚至 2 个矿体在靠断层处粘合,因而形成众多矿体在空间瓜藤连接,以断层为主干、顺地层伸展,形态受断层和 地层控制的巨大矿体群(图 2)。

#### 1.4 矿石矿物组成

凡口矿床矿石矿物成分简单,主要矿物仅有黄铁矿、闪锌矿、方铅矿,3种矿物占矿石总量60%以上。



1—第四系; 2—中上石炭统; 3—下石炭统; 4—上泥盆统天子岭上亚组; 5—天子岭中亚组; 6—天子岭下亚组;

7—中泥盆统东岗岭组上亚阶; 8—东岗岭组下亚阶; 9—矿体编号; 10—断裂编号; 11—矿体; 12—辉绿岩

第28卷 增刊

次要矿物及微量矿物有黄铜矿黝铜矿、车轮矿、毒砂辉锑矿、硫锑铅矿、深红银矿等合计少于2%,脉石 矿物主要方解石及少量白云石,次为石英等,脉石矿物占矿石 30%~38%。

矿石中铅锌平均含量达15%,铅锌比1:2.1,伴生有用组分较高的有银、镉、锗、镓、汞。

#### 1.5 碳酸盐矿物

凡口矿区的方解石等碳酸盐矿物可分为早、中、晚3期,早期方解石属成矿前的构造活动阶段形成, 此阶段的方解石一般为瓷白色,光泽较差;中期方解石则形成与黄铁矿化、铅锌矿化和多金属硫化物-碳酸 岩化阶段,这个阶段的方解石多呈暗淡灰白色,解理面弯曲,不规则;而晚期方解石,则完全在物化条件 相对平静的环境中沉淀出来,多为无色透明,结晶好,光泽强,是各期中结晶最好的方解石矿物。

2 流体包裹体特征及测试方法

#### 2.1 包裹体镜下特点

本次选取了早、中、晚3个不同期的方解石(少部分闪锌矿)的样品进行研究,在高倍数的双筒显微 镜下进行流体包裹体观察,主要特征见表 1。总的来说,方解石中的包裹体主要为液体包裹体、气液包裹 体,液体包裹体一般为无色透明;气液包裹体中气体边缘较暗,可能是有机气体成分,气体所占比例一般 在 5% ~ 25%之间,大多数在 10%上下。除了部分样品之外,包裹体一般都十分微小,长径介乎于 1~8 µm 之间,但部分样品可达到 30 µm。

表1 凡口铅锌矿方解石和闪锌矿流体包裹体镜下特征

#### Table 1 Type, Size and gaseous phases ratios of fluid inclusions in hydrothermal calcites in Fankou Pb-Zn deposit

样品号	矿物名称	世代	包裹体类型	包裹体大小/µm	气相分数/%
2000001	方解石	早期	气液、液	长径 4~8	5~10
2000008	方解石	早期	气液	长径1~6	10
2000035	方解石	早期	气液	长径 6~10	10
2000024	方解石	早期	0 气液	长径 4~8	10
2000024	闪锌矿	早期	气液、液	长径 4	10
2000059	方解石 🔍	中期	气液	长径 6~10	10~20
2000068	方解石	中期	气液	长径 4~10	5~20
2000029	方解石	中期	气液	长径 6~10	5~20
2000022	方解石	中期	气液	长径 10	10~20
2000030	方解石	中期	气液、液	长径 4~8	10~20
2000081	方解石	中期	气液	长径 4~8	10
2000081	闪锌矿	中期	气液	长径 3~4	5~10
2000006	方解石	晚期	气液	长径 8~15	5~10
2000053	方解石	晚期	气液	长径 8~10	10
2000004	方解石	晚期	气液、液	长径 4~12	10
2000047	方解石	晚期	气液、液	长径 10	5~10

早期的方解石中,包裹体一般都比较小,在1~6µm之间,长柱状、不规则状,气相分数为5%~10%。 中期的方解石,包裹体较大,在6~10µm之间,柱状、短柱状、不规则状,气液比较大,为10%~20%。 晚期的方解石包裹体大小为4~10µm,柱状、不规则状,气相分数在5%~10%之间。

为了对比研究,此次笔者还选择了个别闪锌矿研究了其中的包裹体。闪锌矿中的包裹体总体都比较小, 在 3~4 μm 之间,气相分数在 10%左右。

#### 2.2 测试和分析方法

本次包裹体的均一化温度是在中山大学流体包裹体实验室中测定,对每个样品中的包裹体进行了多次

均一化,采取"同一样品测多个包裹体、同一包裹体多次均一化"的严密实验测温。流体包裹体的盐度测 定是在中山大学流体包裹体实验室的英国产 LINKAM THMSG600型冷热台上进行。具体方法是:先测定 包裹体的冰点温度,然后运用公式换算出包裹体的盐度。

方解石锶同位素(<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)组成和铷、锶的含量测定在中国科学院地质与地球物理研究所同位素超净实 验室完成,测试仪器为VG354 固体同位素质谱仪,标样为NBS987;氧同位素和碳同位素分析在中国科学 院地质与地球物理研究所完成;分析方法采用磷酸法,分析仪器是MAT252 质谱仪,分析误差为 0.2 ‰。

3 分析结果

#### 3.1 包裹体的均一化温度

所有 3 期的方解石包裹体的均一化温度都在 220℃以下;早期的均一化温度较低,在 100~160℃之间;中期的均一化温度在 3 期当中最高,在 100~210℃之间,且大部分集中于 140~200℃之间;而在晚期,包裹体的均一化温度则有高有低,既有在 140~160℃之间的,也有少数几个均一化温度在 200℃附近的(图 3)。



Fig. 3 Histogram of homogenization temperature of fluid inclusions in Fankou hydrothermal calcite

本次样品中闪锌矿包裹体的均一化温度与方解石包裹体差别不大,早期的均一化温度在 140℃左右, 中期的均一化温度约在 160~170℃之间,本次的实验并在晚期矿脉中找到闪锌矿。

#### 3.2 包裹体的盐度

三期的方解石包裹体盐度w(NaCl<sub>eq</sub>)在 0.52 %~8.53 % 之间,其中早期和晚期形成的方解石的盐度w(NaCl<sub>eq</sub>)在 0.52 %~1.72 % 之间,而中期方解石的盐度相对较高,多集中在 2.5 %以上,部分更高于 5 % (图 4)。

值得注意的是,早期和中期矿脉中的闪锌矿包裹体盐度w(NaCleq)都在1.5%以下。



#### 3.3 包裹体的均一化温度和盐度对应关系

总括3期的方解石包裹体均一化温度及其盐度,早期的均一化温度较低,与其对应的盐度也较低;中 期的均一化温度最高,总体盐度也是最高的;晚期的均一化温度较高,除了个别的样品均一化温度偏高以 外,总体上比中期要低,晚期的盐度也是比较低的(图5)。



Fig. 5 Homogenization temperature and salinity of fluid inclusions in Fankou hydrothermal calcite

#### 3.4 成矿流体的压力

根据成矿流体包裹体均一温度和盐度,运用流体包裹体组成计算软件Flincor Version 1.4 (Philip E. Brown, 1989) (使用Zhang and Frantz公式),笔者计算出了凡口铅锌矿成矿压力,发现早期方解石形成时的压力在(5~7)×10<sup>5</sup> Pa之间;中期方解石形成时的压力在(5~9)×10<sup>5</sup> Pa之间;晚期方解石形成时的

压力则在(4~6)×10<sup>5</sup> Pa之间,可知成矿压力较低低,成矿深度不大。

### 3.5 热液方解石 $\delta^{13}$ C<sub>V-PDB</sub>和 $\delta^{18}$ O<sub>V-SMOW</sub>组成

凡口铅锌矿热液方解石碳氧同位素组成见表 2。结果显示:

(1) 所测定的凡口铅锌矿床早期和晚期方解石的 $\delta^{13}C_{V-PDB}$ 值主要在-3.1 ‰  $\sim$  3.6 ‰之间, $\delta^{18}O_{V-SMOW}$ 值在 11.0 ‰  $\sim$  17.9 ‰之间,大部分在 12.2 ‰附近。

(2)中期方解石δ<sup>13</sup>C<sub>V-PDB</sub>值小于-4.0 ‰,δ<sup>18</sup>O<sub>V-SMOW</sub>值在 14.7 ‰ ~ 19.0 ‰之间,大部分在 17.0 ‰附 近;而凡口铅锌矿床中灰岩围岩的δ<sup>13</sup>C<sub>V-PDB</sub>值主要在 0.1 ‰~ -2.67 ‰之间,δ<sup>18</sup>O<sub>V-SMOW</sub>在 15.2 ‰ ~ 20.5 ‰之间,大部分大于 18.8 ‰。由此可以看出,灰岩的碳氧同位素值基本集中在δ<sup>13</sup>C=0±2 ‰和δ<sup>18</sup>O=18.0 ‰ ~20.5 ‰,属于典型的海相沉积范围之内(杨晓勇等,2000)。因此,凡口矿床中与成矿作用密切相关的方解石碳氧同位素值明显小于沉积碳酸盐岩,显示成矿物质主要不是来自碳酸盐围岩。

(3)从泥盆纪正常灰岩、矿化灰岩到矿化灰岩中和硫化物中的中期方解石,δ<sup>13</sup>C<sub>V-PDB</sub>值逐步降低,从 0.1‰降到-0.6‰以下,进入到岩浆成因的碳同位素组成范围(邱小平,1998)。说明主成矿期成矿流体可 能与岩浆热液来源有关(表 2)。

Table 2 δ <sup>13</sup> C <sub>V-PDB</sub> -δ <sup>18</sup> O <sub>V-SMOW</sub> composition of Fankou hydrothermal calcite								
样品号	期	次	测定矿物	$\delta^{13}C_{V\text{-PDB}}/\!\!\%$	$\delta^{18}O_{V-SMOW}$ /‰			
2000001	早	期	方解石	-5.9	17.5			
2000008	早	期	方解石	-2.1	17.9			
2000015	早	期	方解石	-1.2	12,2			
2000042	早	期	方解石	-3.1	14.0			
2000022	中	期	方解石	-2.9	14.7			
2000068	中	期	方解石	5.0 0	18.8			
2000029	中	期	方解石	-8.0	17.8			
2000064	中	期	方解石	-5.6	19.0			
2000030	中	期	方解石	-8.3	17.1			
2000024	中	期	方解石	-5.7	17.3			
2000059	人一中	期	方解石	-5.1	16.9			
2000060	中	期	方解石	-4.5	16.4			
2000002	晚	期	方解石	3.2	7.2			
2000004	晚	期	方解石	2.0	12.5			
2000006	晚	期	方解石	3.6	12.4			
2000051	晚	期	方解石	-3.0	12.2			
2000053	晚	期	方解石	-1.8	11.5			
2000047	晚	期	方解石	-5.2	16.9			
2000023	韦	岩	灰岩	0.1	18.0			
2000034	围	岩	灰岩	-2.5	20.5			

表 2 凡口铅锌矿热液方解石碳和氧同位素组成

## 3.6 热液方解石锶同位素 (<sup>87</sup>Sr / <sup>86</sup>Sr) 组成

<sup>87</sup>Sr是<sup>87</sup>Rb的衰变产物,Sr的晶体化学性质与此同时Ca相近,所以含钙的矿物和岩石都含有大量的初始 锶<sup>87</sup>Sr<sub>o</sub>;而岩石中所含的铷又不断地衰变,产生锶同位素<sup>87</sup>Sr<sub>1</sub>。所以,方解石中锶同位素含量<sup>87</sup>Sr由2部分 组成,如下式:

$${}^{87}Sr = {}^{87}Sr_{o} + {}^{87}Sr_{1}$$

而此次所测方解石样品铷的含量都很低,大部分为检测限以下,因此,上式中的<sup>87</sup>Sr<sub>1</sub> 可忽略不计,得出:<sup>87</sup>Sr≈<sup>87</sup>Sr<sub>0</sub>

第28卷 增刊

式子两端除以非衰变成因的稳定同位素<sup>86</sup>Sr,得<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr≈<sup>87</sup>Sr₀/<sup>86</sup>Sr₀

由此可得,热液方解石锶同位素的组成基本可以代表成矿流体的锶同位素的组成。

凡口铅锌矿床几个热液样品锶同位素比值和铷、锶的含量见表 3,可见各样品的锶同位素比值在 0.7123~0.7180 之间, 铷的含量多数在检测限以下, 锶的含量则在 87.5×10<sup>-6</sup>~823.5 ×10<sup>-6</sup>之间。

1	able 5 SI/ SI composition	of Fankou nyurothermai calen	ie
样 号	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	$W_{Rb}/10^{-6^*}$	$W_{Sp}/10^{-6}$
2000006	0.7138	—	87.5
2000008	0.7141	—	461
2000042	0.7180	0.003	146.4
2000047	0.7170	_	305.7
2000029	0.7123	_	629.4
2000068	0.7166	0.011	823.5

表 3 凡口铅锌矿热液方解石锶同位素组成

 Table 3
 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr composition of Fankou hydrothermal calcite

"一"为低于检测限。

## 4 成因讨论

#### 4.1 方解石成因类型

通过对凡口铅锌矿床中方解石进行系统的研究后,全区大体上可以分出3种不同类型的方解石,这3 种方解石基本上隐含了矿床在整个成矿过程前、中、后3个阶段的各种信息,这些信息对了解凡口铅锌矿 床的成因具有十分重要的意义。

凡口铅锌矿床中方解石总体分为以下3种:

早期方解石一般呈现瓷白色,光泽暗淡,Mg的含量较高;包裹体都比较小,气相比例为5%~10%; 气液包裹体的均一化温度较低;这种类型的方解石形成的时间相对较早,在主成矿期之前形成,此时的流 体温度较低,没有或还没与深层的热液发生完全混合,物理化学条件相对较稳定,但由于已经含有相当量 的成矿物质,所以在这种流体中沉淀形成的方解石光泽较差,大多数为暗淡的瓷白色。

中期方解石大多数呈现淡灰白色,解理面弯曲,与铅锌矿石互相充填,Mn、Pb的含量很高,杂质较多;包裹体均一化温度、盐度最高,气相比例也相对较大,可见成矿中期有明显的热液活动。这时期的方 解石与成矿作用有较密切的关系,隐含了大量的成矿信息。

晚期方解石无色透明,结晶好,光泽强,Fe、 Mg 的含量较高,显示晚期仍有热液的活动。晚期方 解石包裹体的气相比例和均一化温度规律不明显。

3 个阶段的方解石分别代表了凡口铅锌矿床各个阶段的成矿信息,而中期的方解石与成矿作用的关系 最为密切。另外,成矿流体自早阶段到中阶段和晚阶段由酸性、中酸性向弱碱性演化,晚期流体还原性较强。

#### 4.2 成矿流体的来源

由流体包裹体的盐度来看:样品的盐度普遍较低,如此低的盐度是不利于溶解和搬运大量 Pb、Zn 等 金属离子的。但结合前人的研究成果可以认为:深层热液在与盆地间水、海水混合之前盐度应该是比较高 的,在沿构造断裂上升混合后,盐度降低,温度下降,从而使方解石的总体盐度下降。

从样品的锶同位素比值看:比值都较高(在0.7123~0.7180之间),远超过0.706,可以认为成矿流体 来源于地壳;同时也排除了成矿流体是纯海水的可能性,因为海水的锶同位素比值在0.7078~0.7085 之 间;至于另外一个可能性就是大气降水,页岩中的地下水循环使这些流体含有了与成矿热液数量相当的锶 同位素比值,但从本次的数据来看,支持这个观点的论据还不够充分。

#### 4.3 成矿过程推测

随着中泥盆世海侵扩大和盆地边缘继承性断裂活动的加剧,深部循环热液沿同生断裂向海底喷溢,偏酸性的热液与偏碱性的海水混合,硫化物发生结晶沉淀。硫化物堆积体在底水作用和构造作用下,沿海底地形发生滑塌流动,形成各种形态的同生沉积组构,活动在水/沉积物界面以下的成矿热液,形成各种成岩特征的组构。

酸性含矿热泉与海水混合后,造成底层海水 pH 值的降低,从而阻碍了海水中碳酸钙的沉积,使含矿 热泉活动带附近正常海相碳酸盐沉积物大大减少,因此形成脉石物质含量很低的富矿石堆积,附近灰岩的 厚度也大大减少。与此同时,当富含碳酸钙的混合有含矿热泉的海水运移到外面与正常碱性海水相遇时, 由于 pH 值升高,使过饱和的碳酸钙迅速大量沉淀,同时促使钙质底栖生物大量发育,碳酸盐沉积物和生 物滩在卤水池外围构筑"堤坝",形成障壁,防止喷溢到海底卤水池的含矿溶液不至于大量流失,并能保 持相对稳定物理化学环境,沉积出厚度较大的似层状,楔形硫化物矿体,形成"一大二富三集中"的凡口 式矿床。泥盆纪末石炭纪初,本区地壳运动性质变化,同生断裂停止活动,海底热泉沉积矿化结束。随后 石炭纪碳酸钙沉积在晚泥盆世硫化物矿体之上,覆盖并保护了已形成的矿层。

## 5 主要结论

通过对前人研究成果的总结,和对凡口大型铅锌矿床中碳酸盐矿物进行的地球化学特征分析,得出以 下结论:

(1) 凡口铅锌矿床中的方解石等碳酸盐矿物可分为3期:早期、中期和晚期。

(2) 矿床成矿温度和盐度变化:成矿前期流体的温度和盐度较低,主成矿期的成矿流体温度和盐度 都较高,成矿后期流体的温度和盐度规律性则不显著。

(3)碳氧同位素组成表明凡口铅锌矿床属于典型的海相沉积矿床。由铷、锶同位素分析结果可知: 成矿深度较浅,成矿时的压力也较低。凡口铅锌矿床深部循环热液沿同生断裂向海底喷溢,偏酸性的热液 与偏碱性的海水混合,硫化物发生结晶沉淀。硫化物堆积体在底水作用和构造作用下,沿海底地形发生滑 塌流动,形成各种形态的同生沉积组构,活动在水/沉积物界面以下的成矿热液,形成各种成岩特征的组构。

#### 参考文献

陈学明. 1992. 粤北地区层控矿床的构造演化成矿模式和找矿预测. 北京: 地质出版社.

李兆鳞, 郭洪中. 1997. 粤北超大型铅锌矿床地质地球化学. 广州: 中山大学出版社.

邱小平. 1998. 固态位移在凡口铅锌矿床中的成矿作用. 矿床地质, 17(增刊): 953-956.

孙晓明, 柯长桂, 张显球, 林绍标. 1996. 粤北丹霞红层地质地貌及超大型矿床. 北京: 地质出版社.

吴健民, 张声炎. 1987. 论广东凡口铅锌矿床成矿作用及双源卤水成矿模式讨论. 矿产与地质, 1(1): 46-55.

王 濮, 翁玲宝, 陈代璋. 1995. 粤北凡口铅锌矿床的成因、成矿时代、成矿模式与找矿. 现代地质, 9(1): 60-68.

杨晓勇, 章雨旭, 郑永飞, 杨学明, 等. 2000. 白云鄂博赋矿白云岩与微晶丘和碳酸岩墙的碳氧同位素对比研究. 地质学报, 74(2): 169-180.

朱上庆, 池三川. 1992. 层控矿床及找矿. 北京: 地质出版社.

Brown P E. 1989. FLINCOR : A microcomputer program for the deduction and investigation of fluid inclusion data. American Mineralogist, 74: 1390-1393.