文章编号:1006－544X(2003)02－0149－05

# 广东凡口铅锌矿多因复成成矿作用

王 力，彭省临，龙永珍，舒广龙

（中南大学 地质资源研究所，湖南 长沙 410083）

**摘 要**：从分析矿床宏观与微观两方面特征入手，应用包裹体矿物学、同位素地质学、地质统计学以及稀土元素地球化学等理论与方法，论述了凡口铅锌矿成矿的多大地构造演化阶段以及多因素控矿、多物质来源、多期次、多成矿作用方式等特点：矿物包裹体均一温度峰值分别在120，150，200℃；铅同位素年龄大致分为3组：340～390Ma，260～290Ma，140～190Ma，成矿元素铅有深部来源的特点，并可能在深部铅上升过程中混有部分上地壳物质；主容矿地层黄铁矿 $\delta^{34}S$ 为 +16.5‰，矿石中黄铁矿 $\delta^{34}S$ 为 +13.6‰～+25.8‰，显示硫来源主要是泥盆纪同时代海水硫；矿石矿物中含有少量的高温矿物，围岩蚀变有弱硅化、绿泥石化、白云石化及细脉状黄铁矿化等，说明成矿物质有相当一部分来源于岩浆源或幔源。认为凡口铅锌矿床属于典型的多因复成矿床.

**关键词**：铅锌矿床；地洼；多因复成；广东

**中图分类号**：P618.42；P618.43 **文献标识码**：A①

广东凡口铅锌矿位于东南地洼区浙粤地穹系西北部、粤北曲仁地洼型盆地北缘[1]. 矿床产于前泥盆系变质褶皱基底之上的沉积盖层中，矿体赋存于中、上泥盆统及下石炭统内，属于浅海碎屑岩相与浅海碳酸盐岩相的过渡带、并靠近碳酸盐岩一侧.

矿床地质特征较为复杂，兼具内生与外生、同生与后生矿床的共同特点. 本文依据矿床宏观与微观两方面证据，应用多因复成成矿理论探讨了矿床的成因问题，论证了广东凡口铅锌矿床先后经历了热水循环沉积—成岩改造富集—岩浆热液叠加等多种成矿作用，认为该矿床属于典型的多因复成型铅锌矿床.

## 1 矿床宏观与微观特征

（1）从矿体宏观地质特征来看，凡口铅锌矿床既有层状、似层状产出的顺层矿体，又有呈脉状、不规则状产出的穿层矿体，其中层状、似层状矿体多出现纹层状及条带状矿石构造，矿物组合相对较简单，而靠近主干断裂的脉状、不规则状矿体则较少出现纹层状构造，且矿物组合相对较复杂.

（2）从矿物包裹体均一温度频率分布图[2]上（图1）也可以看出矿物的均一温度明显呈三峰正态分布，其峰值分别在120，150，200℃左右，因此反映了矿床成矿作用具有多期次叠加的成矿特点，且均一温度的正态分布说明矿化温度比较均一.

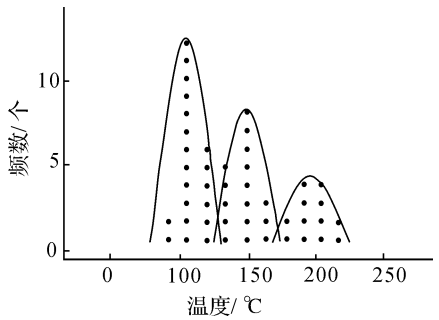



**图1 闪锌矿矿物包裹体均一温度频率分布**[2]

Fig. 1 Homogenization temperature distribution of sphalerites enclosures

① **收稿日期**：2002－04－03；**修订日期**：2002－08－25

**作者简介**：王 力（1966－），男，黑龙江齐齐哈尔人，博士研究生，从事成矿学与矿床定位预测研究.

（3）从矿区内部和外围各时代地层中 Pb 的概率分布特征上看[3]，主要含矿层中 Pb 的概率分布曲线拐点明显，也均呈 3 个成因总体. Pb 在天子岭组三段地层中分布曲线（图 2）各有 2 个明显的拐点，以拐点为界，将曲线分为 3 段，从低含量段到高含量段分别代表同沉积成因铅、成岩后改造成因铅和岩浆叠加作用成因铅. 在其它多数弱含矿层位和无矿层位内，Pb 概率分布曲线上则拐点不明显，表明以沉积成因总体为主，而改造、叠加成因微弱、不明显. 这与下文分析的铅具有不同成因来源显示了一致性. 即按霍姆斯 - 豪斯特曼斯法和立本确定的参数[4] 计算的 Pb 模式年龄值也可大致分为 3 组：340 ~ 390 Ma，260 ~ 290 Ma 及 140 ~ 190 Ma. 前一组铅同位素年龄与泥盆系地层年龄基本一致，部分老于地层年龄，而后一组与前两组差别较大，相隔时间长，模式年龄比较年轻，与粤北大部分燕山早期的岩浆活动时代一致.

（4）据矿区硫同位素分布特征（表 1），可以看出：矿石中黄铁矿 $\delta^{34}S$ 值介于 + 13.6‰ ~ + 25.8 ‰之间，众值明显，平均为 + 20.2 ‰，地层中黄铁矿平均 $\delta^{34}S$ 为 16.5 ‰，表现出矿石更富集重硫. 且两者硫同位素组成皆接近泥盆纪海水硫酸盐同位素组成（ + 17.0‰ ~ + 20.0 ‰），表明矿石中硫主要来源于海水硫酸盐. 除矿体内不同期形成的硫化物与地层内黄铁矿具有相似的 $\delta^{34}S$ 值以外，总体上也表现出 $\delta^{34}S_{Py} > \delta^{34}S_{Sp} > \delta^{34}S_{Gn}$ 的趋势，且矿石硫同位素呈狭窄的塔式分布而有别于分散性较大的围岩硫，则显示其经过了高温均一化作用. 此外，据邱小平[5]，凡口矿区也发现一些零值附近的硫同位素组成：辉锑矿 $\delta^{34}S$ 为 + 2.1‰，+4.53‰，+0.2 ‰，平均 +2.28 ‰；顶板矿（$Sh_{27}a$）黄铁矿 $\delta^{34}S$ 为 - 2.87 ‰，与辉绿岩中黄铁矿 $\delta^{34}S$（ + 3.0 ‰）接近，反映出可能有部分岩浆硫参与成矿.

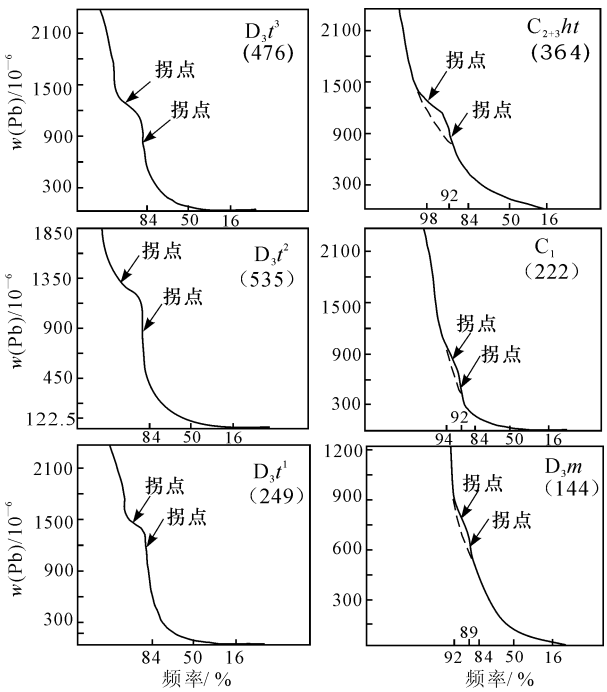



**图 2 Pb 在主要及次要含矿层中的分布概率曲线[3]**

Fig. 2 Lead distribution probability in primary and secondary strata

注：图中括号内数字为样品数

**表 1 矿区硫同位素分布特征**

Table 1 Analysis of sulfur isotope

| 测定对象 | | 取样层位、产状特点 | $\delta^{34}S$/‰ | 均值/‰ | 样品数/个 | 资料来源 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 黄铁矿 | 地层中 | 均采于中上泥盆统不同层位的灰岩中，呈显微球粒状、中细粒浸染状、条带状等 | - 8.8 ~ + 25.4 | + 16.5 | 26 | 郑庆年[2]（1987） |
| | 矿体中 | 采于早期条带状、似层状及晚期脉状、团块状、不规则状矿体中，呈稠密浸染状、细—粗粒团块状及致密块状集合体、细粒细脉状及条带状集合体 | + 13.6 ~ + 25.8 | + 20.2 | 38 | |
| 方铅矿 | | 晚期粗晶细脉状 | 13.8 ~ 15.7 | | 4 | 本文 * |
| | | 中细粒斑杂状及不规则状小脉状 | 15.8 ~ 17.2 | + 16.475 | 6 | |
| | | 细粒团块状、块状、浸染状 | 17.1 ~ 20.0 | | 18 | |
| 闪锌矿 | | 晚期脉状、细脉状 | 9.5 ~ 15.7 | | 4 | 本文 |
| | | 棕黄色、斑点状、条带状、不规则小脉状 | 18.3 ~ 19.8 | + 19.49 | 8 | |
| | | 棕褐色块状、团块状及浸染状 | 18.9 ~ 24.2 | | 15 | |

* 测试单位：桂林矿产地质研究院重点实验室，2000

## 2　成矿条件

### 2.1　沉积建造、沉积相及容矿地层条件

凡口铅锌矿床位于中、上泥盆统浅海台地相碎屑岩与碳酸盐岩建造的过渡带并靠近碳酸盐岩一侧. 从岩相古地理分析表明,中晚泥盆世矿区处于海盆边缘的水下隆起部位的浅水凹地[6],凹地中发育有北东向的同生断裂,因此有利于陆源物质的聚集并为深部矿源中的成矿物质上升提供了重要的通道.

而碳酸盐岩造岩元素本身同其它沉积岩系相比具有较强的化学活动性,尤其中、上泥盆统沉积建造中,不纯碳酸盐岩及次碳酸盐岩约占整个含矿碳酸盐岩的 71%,因其含较高的杂质而具交代质点,易使交代作用进行得更彻底,因此,中、上泥盆系碳酸盐岩沉积建造是成矿物质聚集沉淀的最有利的地球化学障壁.

### 2.2　大地构造条件

从区域上看,凡口铅锌矿大地构造位置位于东南地洼区浙粤地穹系. 自元古代起至白垩纪先后经历了地槽、地台及地洼 3 个大地构造发展阶段[7,8]:

(1)震旦纪—志留纪. 边缘海地槽发展阶段,形成以紧闭线形褶皱变形为主的近东西向构造,同时,亦伴随有逆冲或斜冲断裂的产生(如吴川－四会－北江断裂带[9])及区域性动力变质带的发育.

(2)泥盆纪—中三叠世. 以缓慢升降为主的地台发展阶段,此时由于受加里东运动余动应力场的影响,紧邻基底的中晚泥盆世沉积盖层仍有继承性发展,如西部的郴－怀断裂、东部的吴川－四会断裂带复活演变为生长断裂. 中三叠世末,印支运动开始,产生一系列以近南北向构造形迹为主的褶皱和断裂,叠加于前期构造之上,同时有少量的岩浆侵入活动.

(3)自晚三叠世,一直延续到白垩纪. 进入地洼活动阶段. 构造活动愈加活跃,产生以断裂为主的构造行迹,继承或叠加于地台期构造之上,出现了地洼型盆地(如曲仁盆地),并伴有大量的岩浆侵入活动. 如区域北部的九峰－诸广山花岗岩基,中部的(曲仁盆地南缘)大东山和贵东花岗岩基,南部的佛岗花岗岩基和西部的连阳花岗岩基等. 这类壳源重熔型岩浆以其分布广、规模大,共同构成粤北南岭花岗岩主体,也是粤北地区钨锡等有色金属矿产的主要成矿母岩[10].

### 2.3　岩浆岩条件

凡口矿区辉绿岩是矿区内唯一出露基性岩浆岩体,呈岩株状产出,规模小,全岩铅模式年龄约 240 Ma,有用金属元素含量较低,Pb 含量仅 $17\times10^{-6}$,不具备含矿性. 但矿区辉绿岩与方铅矿的稀土元素配分模式表现出十分相似的特点,两者稀土元素配分曲线均向右倾,曲线斜率基本一致,轻重稀土比值 $w(\sum \mathrm{LREE})/w(\sum \mathrm{HREE})$ 相近,方铅矿为 4.08,辉绿岩为 5.22,且 $w(\mathrm{La})/w(\mathrm{Yb})$,$w(\mathrm{Sm})/w(\mathrm{Nd})$,$w(\mathrm{Gd})/w(\mathrm{Eu})$ 的比值也基本相近,而辉绿岩中 Eu 略呈正异常、方铅矿中 Eu 明显亏损,而这种差别正是岩浆分异造成的结果. 因此,推测与成矿作用有关的含矿岩体可能与矿区辉绿岩是同一岩浆源晚期分异的产物,具有深源或远源特征. 此外,从矿床内部来看,含矿围岩常见有弱的硅化、绿泥石化、白云石化及细脉状黄铁矿化,矿石矿物中亦含有少量的高温矿物,如:毒砂、电气石、萤石等. 显然这种围岩蚀变特征也说明成矿物质有相当一部分来源于岩浆源或幔源.

## 3　成矿物质的多来源特点

(1)凡口铅锌矿产于碳酸盐岩与碎屑岩的过渡带上,并靠近碳酸盐岩一侧,矿石中富含砂质、泥质及碳质,说明成矿物质具有一定的陆源特点. 含矿层位于加里东不整合面之上,加里东褶皱基底的长期暴露、风化、剥蚀和淋滤,尤其是寒武系在该区广泛分布,其黑色含碳质泥页岩含有丰富的 Cu,Pb,Zn,V,U 等金属元素,并有许多铅锌矿点分布,因此表明古陆、基底为泥盆纪碳酸盐岩滨浅海提供了成矿金属物质来源是可能的;

(2)铅稳定同位素分析表明凡口铅锌矿床铅同位素以正常铅为主,同时也混有部分异常铅,铅模式年龄除有与围岩年龄相近的一组(340～390 Ma)以外,尚存在 290～260 Ma 与 190～140 Ma 两组,且大部分落于太平洋西岸岛弧铅、部分落于中央海岭拉斑玄武岩铅范围,表明成矿元素铅有深部来源的特点,并可能在深部铅上升过程中混有部分上地壳物质.

(3)主容矿地层与矿石中金属硫化物硫同位素组成,均以富集重硫($\delta^{34}S$)为特征,显示硫来源主要是泥盆纪同时代海水硫,它不但参与沉积成矿过程中贫矿层或矿源层的形成,也为后期成矿作用提供了丰富的硫源. 此外,凡口矿区也发现一些零值附近的硫同位素,说明可能有少部分岩浆硫参与成矿.

## 4 成矿模式

凡口铅锌矿不仅具有多大地构造演化阶段、多因素控矿组合、多物质来源系统,同时具有多期次、多成矿作用方式的特点,是典型的多因复成矿床[11],其成矿作用大致经历了如下过程:

(1)热水循环沉积成矿期:加里东运动末期,包括粤北在内的华南大部分地区开始缓慢下降,进入地台沉积阶段. 处于海盆边缘的凡口地区在中泥盆世桂头期($D_2gt$)沉积了大量的滨海相松散的碎屑岩建造,不整合于加里东褶皱基底之上,同时,由于古陆基底的长期暴露、风化、剥蚀、淋滤,从中解离出来的成矿物质,随地表水搬运到海盆内;至中泥盆世海侵扩大及基底构造活动的影响,矿区处于浅海海槽附近相对隆起的台地部位,上覆于前泥盆系基底之上的尚未完全固结成岩的沉积物发生一组NE向生长断裂,因此在隆起部位造成一个相对的低压区,而外围则为相对的高压区,从而有利于驱动含矿介质水不断地从外围向隆起部位汇集,并沿NE向生长断裂上涌到海底,与底部海水混合,从而打破原来的物理化学平衡,使成矿物质不断沉淀析出,形成厚度巨大的贫矿层或矿源层.

(2)成岩改造富集期:这一时期大致相当于海西末—印支早期,也是由相对稳定的地台阶段转化为强烈活动的地洼阶段的过渡期. 由于沉积物的逐渐埋深压实作用以及同生断裂的继续演化活动,促使沉积期间封存于沉积物孔隙间、粒间的海水及矿物吸附水、结构水释放出来,并不断地运移于沉积物孔隙及粒间,萃取原分散于沉积物中以各种形式存在的矿物质,形成高浓度的含矿热水,当遇到不断向下淋滤的大气水或沿同生断裂不断上升的深层热卤水时,其物理化学条件发生改变,溶液中成矿金属物质解离析出生成硫化物沉淀于层内、层间以及构造的有利部位,形成工业矿体.

(3)深源岩浆热液叠加期:印支末—燕山早期,整个粤北地区大规模的岩浆侵入活动开始,进入强烈的地洼活动阶段. 因此,深源或远源岩浆热液,在温度梯度、压力梯度、组分浓度梯度及构造应力梯度的作用下,携带大量的成矿物质,沿断裂通道上涌,同时促使地层中成矿物质进一步活化、富集,并与围岩发生交代反应,在断裂通道附近形成脉状、网脉状矿体.

## 参考文献


[1] 陈国达. 陈国达地洼学说文选[M]. 长沙: 中南工业大学出版社,1986.

[2] 郑庆年. 广东凡口铅锌矿[M]. 北京: 地质出版社,1987.

[3] 陈学明,邓军,翟裕生, 等. 凡口铅锌矿床地球化学特征及成矿作用分析[J]. 地质地球化学, 1999, 27(1):20 - 24.

[4] 地质部宜昌地质研究所同位素地质研究室. 铅同位素研究的基本问题[M]. 北京: 地质出版社, 1979. 41, 191 - 195.

[5] 邱小平. 广东凡口铅锌矿床成矿构造动力研究[J]. 中国地质科学院院报, 1991, (23):57 - 72.

[6] 赖应箋. 凡口铅锌矿成矿地质条件的某些特殊性及其控矿意义[J]. 南岭地质矿产文集, 1986, (2):12 - 20.

[7] 陈国达. 南岭及其邻侧地区的大地构造[A]. 陈国达地洼学说文选[C]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1986. 72 - 92.

[8] 王鸿祯. 华南地区古大陆边缘构造史[A]. 中国华南地区地壳构造发展的轮廓[C]. 武汉: 武汉地质学院出版社, 1986. 1 - 13.

[9] 陈挺光. 吴川 - 四会断裂带地质特征及成矿关系[J]. 南岭地质矿产文集,1985, (1):11 - 19.

[10] 莫柱孙,叶伯丹. 等,南岭花岗岩地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1980. 231.

[11] 陈国达. 关于多因复成矿床的一些问题[J]. 大地构造与成矿学,2000, 24(3):199 - 201.

# Polygenetic compound mineralization of Fankou Pb – Zn ore deposit, Guangdong

WANG Li, PENG Sheng-lin, LONG Yong-zhen, SHU Guang-long

(*School of Geoscience & Environmental Engineering, Central South University, Changsha* 410083, *China*)

**Abstract**: From the macrocosmic and microcosmic characteristics of the deposit and in application of the theories and techniques of inclusion mineralogy, isotope geology, geological statistics and lanthanide geochemistry, it is discussed that the Fankou deposit shares the properties of multistage geotectonic evolution, multifactor mineralization control, multisource ore-forming materials, multicycle and multimode mineralization. The research suggestes that the homogenization temperature of the fluid conclusions vary with three peak values: 120℃, 150℃ and 200℃; the lead isotope age can roughly be divided into three groups: 340 ~ 390 Ma, 260 ~ 290 Ma and 140 ~ 190 Ma; the ore-forming element lead has anatectic origin characteristics and parts of materials in the upper crust are likely to be interfused when anatectic lead moves up; the $\delta^{34}S$ values of pyrite from ore-host strata is 16.5‰ and that from ore is in the range of +13.6‰ ~ +25.8‰, and sulfur is mainly derived from Devonian sea water. In addition, a few hypothermal minerals are found in the ore and alterations as light silicatization, chloritization, dolomitization and tiny-vein shape pyritization-are are also found in wall-rocks, which indicates that quite a few metallogenic materials originate from magma or mantle. Therefore, the Fankou Pb – Zn deposit is a typical polygenetic compound ore deposit.

**Key words**: Pb – Zn ore deposit; Diwa; polygenetic compound; Guangdong