

凡口超大型铅锌矿床成矿流体的物理特征和地球化学特征

陈学明 邓 军 沈崇辉 兰景志

(中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要: 流体是汲取矿质、搬运矿质和沉淀矿质的介质, 是当代盆地研究和成矿研究的重要课题. 在野外矿床地质研究和室内镜下研究、地球化学研究的基础上, 对矿区矿流体包裹体的温度、盐度和化学成分的测试分析结果表明, 凡口矿床的成矿流体为低盐度、弱酸性的中低温热液, 属富 CO_2 的 $\text{K}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^-$ 型的流体. 它既不同于盆地压实流体, 也不同于斑岩型矿床的成矿流体, 是具有独特组成的深部循环流体.

关键词: 超大型层控矿床; 海底热泉; 深部循环流体; 广东凡口.

中图分类号: P618.4; P619.104 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-2383(2000)04-0438-05

作者简介: 陈学明, 男, 教授, 1943年生, 1986年毕业于中国地质大学, 获博士学位, 现主要从事矿床学的教学与研究工作.

1 地质特征

凡口铅锌矿是我国著名的超大型层控矿床之一, 矿层厚达数十 m, 铅锌品位是金顶铅锌矿的数倍, 银、汞、镓、锗、硫等都分别达到大型矿床规模, 具有重要的理论意义和经济意义. 矿床位于广东曲仁盆地的北侧, 盆地外缘出露前泥盆纪变质岩系, 构成本区褶皱基底; 内缘近东西走向的晚古生代碎屑岩和碳酸盐岩覆盖在加里东不整合面上. 硫化物矿体主要赋存在中上泥盆统灰岩中, 叠层状矿体发育于同沉积断裂的旁侧^[1], 矿层与顶底板灰岩为沉积接触关系, 矿体内部具海底滑塌构造. 矿石中条带状和纹层状构造发育. 主要矿物为黄铁矿和闪锌矿, 具碎屑和内碎屑组构. 凡口矿床是我国极具特色的发育于碳酸岩建造的海底热泉喷溢沉积矿床^[2].

2 流体温度、酸碱度和盐度

(1) 温度. 矿石中粒度较细的黄铁矿爆裂温度为

190~240 °C (校正温度 140~190 °C), 较粗黄铁矿的爆裂温度为 150~310 °C (校正温度为 110~255 °C), 脉状闪锌矿爆裂温度为 200~290 °C (校正温度为 150~240 °C), 矿石中脉石矿物方解石均一温度为 160~220 °C, 围岩中脉状方解石均一温度为 50~117 °C, 平均 80 °C. 可见, 成矿温度变化范围较大, 但基本连续. 温度上限为 220~255 °C, 下限为 110~140 °C, 残余溶液温度为 50~80 °C.

在垂直方向上, 深部(-200 m)至浅部(0 m 中段)各层位矿石测温结果(图 1)无明显差别, 不同于内生矿床温度从深部向浅部降低的特征. 喷溢到海底的热液与海水混合后的温度不随喷出时期不同而变化, 原始热液温度一直是稳定的; 但在水平方向上, 不同矿段、不同部位的测温结果有较明显的变化. 最高测温点的位置正在同生断裂旁侧、热液长期活动的地点, 远离热液喷口的地方温度较低.

(2) 酸碱度. 黄铁矿包裹体 pH 值测定结果为 5.90, 闪锌矿包裹体 pH 值为 6.10~6.20, 表明成矿流体介质为弱酸性. 根据矿物共生组合特点, 水/沉积物界面以上结晶的黄铁矿主要与石英、伊利石共生, 闪锌矿与石英、方解石共生; 水/沉积物界面以下的方铅矿与白云石或铁白云石共生, 表明成矿热液自早阶段到中阶段和晚阶段由酸性、中酸性向弱

收稿日期: 1999-08-31

基金项目: 国家攀登计划项目专题(95-预-39-2-1); 国土资源部“百名跨世纪科技人才培养计划”基金(9808); 国土资源部重大基础项目(No. 9501103).

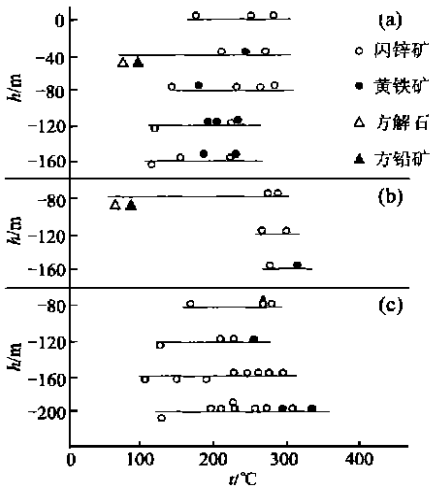


图 1 包裹体温度分布

Fig. 1 Temperature distribution of inclusions

横线以上为爆裂温度,横线以下为均一温度·a. 金星岭矿段; b. 曲塘矿段; c. 狮子岭矿段

碱性演化. 在晶簇状环边胶结结构中,黄铁矿和闪锌矿常被晶簇状石英微晶胶结,微晶石英外环又被晶簇状方解石胶结.同样表明,由早到晚溶液由弱酸性向弱碱性演化.矿区矿化的平面分带有如下特征:由中心向外分别是黄铁矿、闪锌矿、菱铁矿和白云石一方解石^[3],这也说明自早期到晚期成矿流体由酸性、中酸性向弱碱性方向演化.

(3) 盐度. 主成矿期,即海底热液沉积期形成的硫化物,用冷冻法测定的包裹体流体盐度 $w(\text{NaCl})$ 为 3.8%~7.2%,略高于正常海水盐度(约 3.5%),比美国密西西比河谷型铅锌矿流体盐度(约 20%)低.如此低的盐度难以溶解和搬运大量铅、锌、银等金属,但在细脉状通道中与硫化物共生的石英包裹体中,流体盐度在 10%~12%之间.由此推测成矿热液在进入海底与盐水混合后,盐度降低,温度降低,导致含矿热液卸载沉淀出硫化物.

3 流体化学成分

硫化物包裹体溶液为富含 CO_2 的 $\text{K}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^-$ 型溶液^①,盐度 $w(\text{NaCl})$ 为 5.7%,钾高于钠,钙高于镁,氯高于氟.这种溶液在钾钠总量与钙、镁比值方面,接近于海水、软泥水以及部分斑岩铜矿样品(图 2);但其中钾高于钠,富钙、钾和富一氧化碳、甲

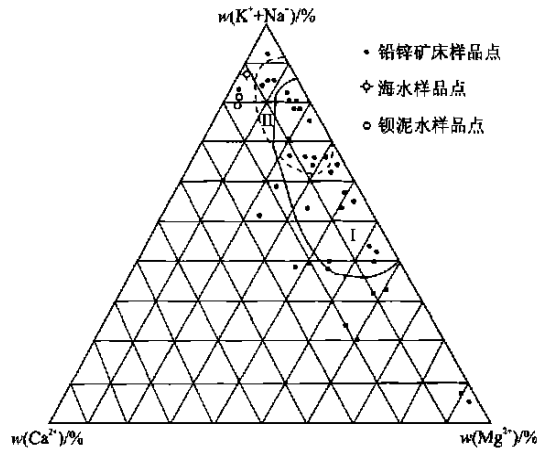


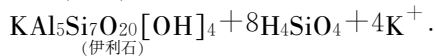
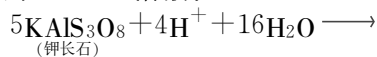
图 2 包裹体中 $w(\text{K}^+ + \text{Na}^+) - w(\text{Ca}^{2+}) - w(\text{Mg}^{2+})$ 比值分布

Fig. 2 $w(\text{K}^+ + \text{Na}^+) - w(\text{Ca}^{2+}) - w(\text{Mg}^{2+})$ ratio in fluid inclusions

I. 凡口矿区; II. 斑岩铜矿

烷等特征又是斑岩铜矿、海水、大宝山矿及杨柳塘、禾青等矿床所没有的(图 3a、图 3b).因此,这是一种有独特组成的溶液.

根据包裹体成分相关聚类分析结果,可以把有关成分分为 4 组(表 1).第一组由 Na, Ca, Mg, F, Cl, CO 等主要与海水和碳酸盐有关的组分,相关系数达 0.99;第二组为 CH_4 和 H_2 ,相关系数 0.96,可能主要与有机物质分解有关;第三组为 CO_2 ,与上述两组成分关系不密切,可能来自灰岩的分解,也可能来自大气圈或淡水,或二者兼有之;第四组为 K,与上述组分呈负相关,其来源较特殊,可能与地层岩石中长石类矿物的分解有关.原因如下:(1)矿区和外围岩石均有钾高于钠的现象,灰岩中 $w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{Na}_2\text{O})$ 比值为 6.15,砂岩中 $w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{Na}_2\text{O})$ 比值为 13.73;(2)与矿物包裹体成分相关聚类结果一样,岩石中的钾与其他组分也呈负相关,而与 SiO_2 , Al_2O_3 关系密切;(3)在矿区地层剖面中,泥盆纪地层中碎屑岩约占 2/5,如连同寒武系计算,碎屑岩占 2/3,钾来源是相当丰富的.在成岩和后生作用中,钾长石可转化为白云母,每 3 mol 钾长石转化为 1 mol 白云母时,有 2 mol 的钾进入溶液;钾长石发生水解作用时,每 5 mol 钾长石转化为 1 mol 伊利石,同时有 4 mol 的 K^+ 进入溶液:



在矿区岩石中,白云母(绢云母)和伊利石都是很常见

① 喻铁阶,刘月星.粤北凡口一大宝山地区铅锌矿床气液包裹体研究.

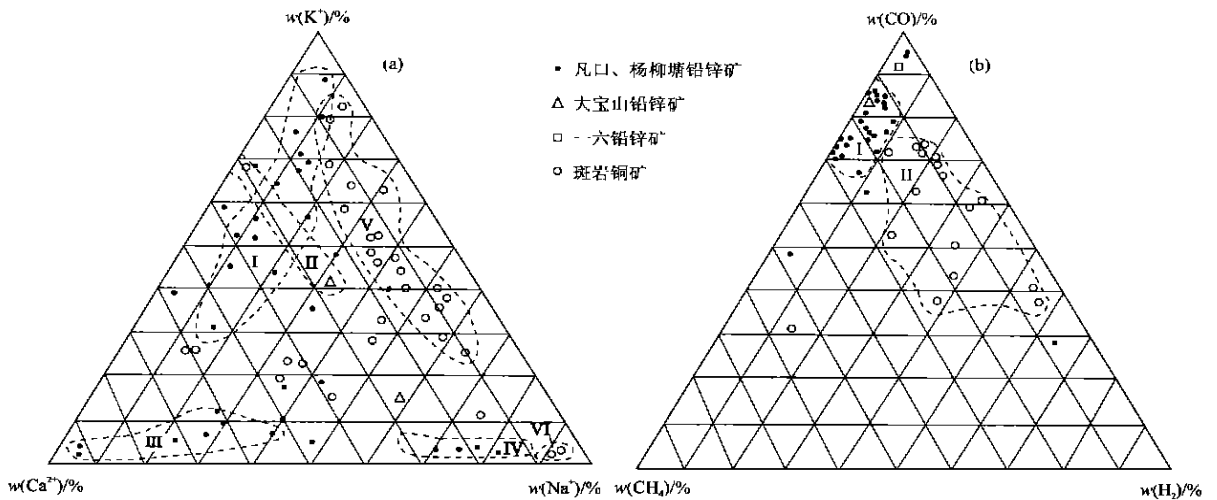


图 3 包裹体中 $w(K^+) - w(Ca^{2+}) - w(Na^+)$ (a) 和 $w(CO) - w(H_2) - w(CH_4)$ (b) 比值分布

Fig. 3 $w(K^+) - w(Ca^{2+}) - w(Na^+)$ (a) and $w(CO) - w(H_2) - w(CH_4)$ (b) ratios in fluid inclusions

a. I. 凡口矿区; II. 大宝山矿区; III. 乐昌杨柳塘矿区; IV. 红岩和密西西比河谷型铅锌矿区; V. 某些斑岩铜矿样品区; VI. 海水、软泥水样品区. b. I. 凡口铅锌矿床样品区; II. 斑岩铜矿样品区

表 1 包裹体成分

Table 1 Compositions of fluid inclusions

矿物	$w_B/10^{-6}$										$w(NaCl)/\%$			$w(K)/w(Na)$	$w(Mg)/w(Ca)$	$w(Cl)/w(F)$
	K	Na	Ca	Mg	F	Cl	CO	H ₂	CH ₄	CO ₂	%					
闪锌矿	0.872	0.573	0.398	0.157	0.012	0.000	痕量	0.002	0.035	4.948	4.5	1.54	0.39			
闪锌矿	0.817	1.133		0.362	0.101	0.940	痕量	0.013	痕量	8.068	13.4	9.55		9.7		
闪锌矿	0.816	0.781	0.827	0.060	0.012	1.501	痕量	0.007	痕量	5.605	4.0	1.02	0.07	125.1		
方铅矿	0.799	0.197	0.763	0.037	0.027	0.154	痕量	0.039	痕量	5.904	2.0	4.06	0.05	5.7		
闪锌矿	0.093	0.433		0.023	0.017	0.479	痕量	0.007	痕量	7.115	1.0	0.21		28.1		
闪锌矿	3.695	0.446	0.728	0.185	0.053	0.685	痕量	0.446	痕量	7.824	5.8	8.29	0.25	13.0		
闪锌矿	5.285	0.509	0.193	0.966	0.033	5.048	痕量	0.013	痕量	3.599	11.1	10.38	5.01	126.0		
闪锌矿	0.416	0.152	0.182	1.085	0.008	0.382	痕量	0.001	痕量	3.378	1.2	2.74	0.47	47.8		
闪锌矿	1.824	0.445	1.259	0.086	0.027	0.109	痕量	0.005	痕量	6.251	3.7	4.10	0.07	4.0		
闪锌矿	1.510	0.002	1.070	0.423	0.060	0.719	痕量	0.004	0.037	2.636	4.1	5.01	0.40	12.0		
黄铁矿	1.012	0.230	0.464	0.386	0.027	13.24	0.094	0.001	痕量	4.434	17.9	4.40	0.81	490.1		
闪锌矿	2.093	0.585		0.481	0.028	0.750	0.351	0.016	0.048	2.702	4.0	3.58				
黄铁矿	2.632	0.428	0.295	0.177	0.012	0.921	0.541	0.001	0.089	6.634	4.5	6.15	0.60	76.8		
闪锌矿	2.171	0.397	1.294	0.073	0.024	1.075	痕量	0.005	痕量	11.688	5.0	5.47	0.06	44.8		
闪锌矿	0.048	0.484	0.513	0.179	0.010	0.498	0.173	0.004	0.035	6.145	1.7	0.10	0.35	49.8		
闪锌矿	2.738	0.446	1.075	0.142	0.039	3.802	痕量	0.009	0.047	29.201	8.2	6.14	0.13	97.5		
闪锌矿	2.594	0.564	0.751	0.125	0.051	0.717	痕量	0.027	0.052	6.484	4.8	4.75	0.17	14.1		
闪锌矿	0.908	0.344	0.544	0.048	0.022	5.019	痕量	0.015	0.164	5.162	6.9	2.64	0.09	228.1		
闪锌矿	2.550	0.410	0.633	0.166	0.027	0.758	痕量	0.020	0.041	3.299	4.5	6.22	0.18	28.1		
闪锌矿	0.844	0.412	1.477	0.089	0.055	8.309	0.332	0.011	痕量	7.570	11.2	2.05	0.06	151.1		
闪锌矿	0.273	0.607	0.585	0.052	0.027	1.430	0.197	0.004	0.05	8.186	3.0	0.45	0.09	53.0		
闪锌矿	3.524	0.473		0.348	0.058	0.121	0.174	0.002	0.025	5.020	4.5	7.45		2.1		
方解石	0.123	0.659		0.829	0.114	7.186	痕量	0.027	0.03	13.104	8.9	0.19		63.0		
方解石	0.057	0.320		0.475	0.160	3.001	0.246	0.031	0.09	23.439	4.0	0.32		1.79		

的. 与硫化物包裹体成分相比, 晚期方解石包裹体成分中钠高于钾, 钾钠总量较低, 属于 $Na^+ - Ca^{2+} - Cl^-$ 型溶液; 镁离子含量较高, 是硫化物包裹体成分的 2.6 倍; 盐度 $w(NaCl)$ 较低, 为 4%~5%, 与海水盐

度较接近,其他组分也与海水较近似.由此推测,残余溶液为含更多海水成分的富镁溶液,明显偏碱性.

4 成矿物质来源

4.1 硫源

凡口矿床围岩与矿石中硫化物的硫同位素组成明显不同.矿石中硫化物以具有 $\delta(^{34}\text{S})$ 较大正值为特征,其众值在 $15 \times 10^{-3} \sim 25 \times 10^{-3}$ 之间,均一化程度较高.黄铁矿、闪锌矿和方铅矿众值依次降低,分别为 $+20 \times 10^{-3}$, $+19 \times 10^{-3}$ 和 $+17 \times 10^{-3}$,与本区同时代的重晶石的 $\delta(^{34}\text{S})$ 值 ($23 \times 10^{-3} \sim 24 \times 10^{-3}$) 相近,表明矿石硫具有海水硫酸盐特征.围岩中黄铁矿的 $\delta(^{34}\text{S})$ 值以分散和无明显众值为特征,其 $\delta(^{34}\text{S})$ 值在 $-15 \times 10^{-3} \sim 28 \times 10^{-3}$ 之间,生物硫特征明显,可能由生物活动还原海水硫酸盐而成. Ohmoto^[4] 认为在较高温度条件下,地下循环热液中海水硫酸根被有机质还原时,硫酸根可在较短时间内完全转化为硫化氢,并基本保持海水硫酸盐的同位素组成.凡口矿层硫化物硫同位素特征可能与此有关.

4.2 铅源

主要矿体硫化物铅同位素组成较集中,为单阶段正常铅,其中 $w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 为 15.820~15.552, $w(^{208}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 为 38.972~38.114.矿石 $w(^{238}\text{U})/w(^{204}\text{Pb})$ (μ) 值为 9.90~9.39, $w(^{232}\text{Th})/w(^{204}\text{Pb})$ (ω) 值为 40.19~37.00, $w(\text{Th})/w(\text{U})$ 值为 4.12~3.81.从 $w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 坐标图(图 4) 也可看出,凡口矿床的铅主要具有上地壳铅特征,推

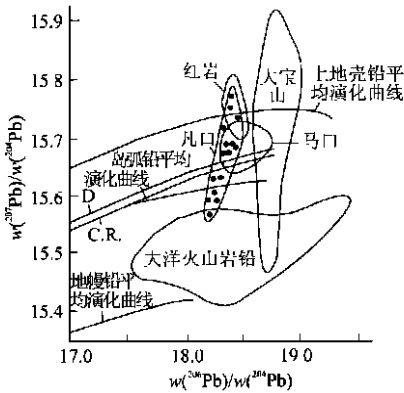


图 4 粤北泥盆系层控矿床铅同位素组成

Fig. 4 Lead isotopic compositions of Devonian stratabound deposits in northern Guangdong Province

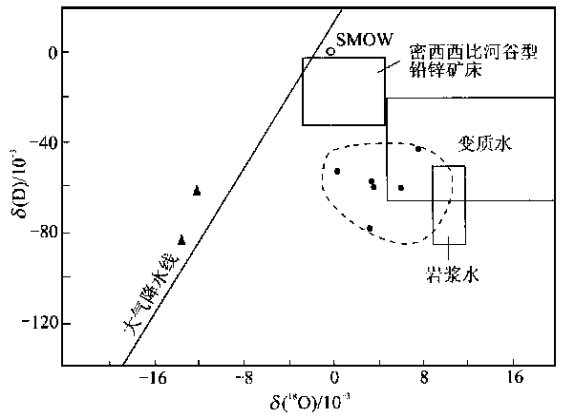


图 5 矿物包裹体 $\delta(\text{D}) - \delta(^{18}\text{O})$ 分布

Fig. 5 $\delta(\text{D})$ versus $\delta(^{18}\text{O})$ diagram of fluid inclusions in the minerals

□主矿体样品;▲晚期方解石脉样品

测其来源主要与深部建造或地质体有关.

4.3 水源

主成矿期硫化物包裹体水的氢氧同位素组成表明,主成矿期流体水介质主要具有深部建造水特征(图 5),部分投影点接近岩浆水或处在变质水范围内.由此推测,成矿流体可能主要与被强烈改造的深部沉积建造有关,不排除有少量岩浆热液参与成矿.晚期成矿流体投影在雨水线附近,表明后期有大量陆源水参与成矿.

5 成矿作用分析

随着中晚期泥盆世海侵扩大和盆地拉张裂隙作用^[5],深部富钾富二氧化碳偏酸性的 $\text{K}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^-$ 型循环热液沿同生断层喷溢到海底与海水混合,由于温度、盐度等变化,卸载沉积形成硫化物矿层.偏酸性的海底热液阻碍海水碳酸钙的沉淀,使海相碳酸盐沉积物大大减少,因此形成脉石矿物含量很低的富矿石堆积,附近灰岩厚度也大大减小.当富含铁、镁、钙的混合热液运移到外面与正常碱性海水混合时,由于 pH 值升高,便导致菱铁矿、铁白云石沉淀.与此同时,过饱和碳酸钙也发生大量沉淀,促使钙质底栖生物大量发育.碳酸盐沉积物和生物滩在成矿卤水池外围构筑“堤坝”,形成障壁,防止喷溢到海底卤水池的含矿热液不至大量流失,保持相对稳定的物理化学环境,形成“一大二富三集中”的凡口式超大型矿床.

参考文献:

- [1] 赖应 . 凡口铅锌矿区成矿地质条件的某些特殊性及其控矿意义[M]. 北京:地质出版社, 1986. 105~110.
- [2] 陈学明. 粤北层控矿床的构造演化成矿模式和找矿预测[M]. 北京:地质出版社, 1992. 42~45.
- [3] 李佩兰. 凡口铅锌矿床成矿作用演化规律[J]. 地质与勘探, 1989, 25(8): 9~16.
- [4] Ohmoto H. Systematics of sulfur and carbon isotopes in hydrothermal ore deposits [J]. Econ Geol, 1972, 67(5): 551~578.
- [5] 曾允孚. 南岭泥盆系层控矿床[M]. 北京:地质出版社, 1987. 16~29.

GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL FEATURES OF ORE-FORMING FLUID IN FANKOU SUPER-LARGE LEAD-ZINC DEPOSIT

Chen Xueming Deng Jun Shen Chonghui Lan Jingzhi

(Faculty of Earth Sciences and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The ore-forming fluid, a medium that absorbs, transports and precipitates mineral materials, is an important topic for the research into the contemporary basin and mineralization. The testing analysis is made of the temperature, salinity and chemical composition of the mineral fluid inclusions in the deposit, on the basis of the field geological research into mineral deposits, the indoor microscopic research and geochemical research. The testing analytical results show that Fankou ore-bearing fluid, the intermediate-low-temperature hydrothermal liquid low in salinity and weak in acidity, belongs to $K^+-Ca^{2+}-Cl^-$ types of deep-circulating ore-bearing fluid rich in CO_2 . This ore-bearing fluid, a specific deep-circulating fluid, differs not only from the basin compaction fluid but also from the ore-forming fluid in the porphyrite-type deposit.

Key words: super-large stratabound deposit; submarine hot spring; deep-circulating fluid; Fankou of Guangdong Province.