

粤东宝山银（锑）矿床地质特征和成因

姚德贤 李兆麟

(中山大学地质系, 广州)

叶良法 张守基

(广东地质勘查局 931 队, 汕头)

提 要: 粤东宝山大型银（锑）矿床产于早侏罗世火山-沉积地层中，银、硫（锑）化物矿体呈脉状，沿下侏罗统金鸡组上段碳质页岩和粉砂岩的层间断裂中分布。矿床深部具青磐岩化蚀变，中部以黄铁矿化、硅化、碳酸盐化为主，上部以硅化为特征。矿区自西向东锑矿化减弱，银矿化增强，在垂直方向上，60 m 标高之上为锑矿化富集带，0 m 标高以下为银矿化富集带。研究表明，区域早侏罗世火山-沉积地层可能是矿源层，矿床是与燕山中—晚期火山-次火山活动有关的浅成中-低温热液矿床。

关键词: 浅成热液银（锑）矿床 矿床成因 粤东地区

1 矿床地质

1.1 矿区地层

矿区内出露侏罗系下统金鸡组和中统漳平群及第四系（图1）。金鸡组中段（ $J_1 j^b$ ）分布在矿区北部，由灰白色、灰黑色砂岩、夹页岩和砾岩透镜体；上段（ $J_1 j^c$ ）上部为黑色碳质页岩夹灰黑色砂岩、粉砂岩；下部为生物碎屑泥灰岩、凝灰质砂岩和玄武岩。本段是矿区出露最广泛的地层，岩石中成群出现草莓状黄铁矿，是主要的容矿围岩。漳平群分布在矿区南部和西部。下亚群（ $J_2 zh^a$ ）为灰白色、紫红色石英砂岩、灰黄色粉砂岩、粉砂质页岩，夹凝灰质砂岩、晶屑凝灰岩等。上亚群（ $J_2 zh^b$ ）下部为紫红色、黄褐色流纹质晶屑、玻屑凝灰岩，夹凝灰质石英砂岩，粉砂岩；上部为紫红色粉砂岩。近矿围岩微量元素含量见表1。

表1 近矿围岩微量元素含量表（ 10^{-6} ）

Table 1. Minor element contents of near-ore wall rocks

岩 性 \ 元 素	Cu	Pb	Zn	Ag	Au	Sn	Bi	As	Sb	Hg	Mn	F
砂岩 (6)	79	122	169	2.74	0.00	4.85	0.70	140	814	0.05	269	662
碳质页岩 (6)	1060	50	164	2.40	0.162	12.2	0.80	491	144	0.06	939	1007

注：括号内为样品数，本表资料据梁硬干，1993^[1]

姚德贤，男，1938年生，副教授，1962年毕业于北京地质学院。邮政编码：510275

1995-1-18 收稿，1995-7-12 修改回

从表1可以看出,砂岩中Sb、Ag分别高出同类岩石丰度值3~2个数量级,Sb的浓集系数达1150。Au、Ag、Pb、Zn分别高出一个数量级。Ag的平均含量是粤东地区早侏罗世砂岩Ag丰度的18倍。碳质页岩中Ag含量是粤东地区早侏罗世页岩Ag丰度值的16倍。其它微量元素均高出同类岩石的丰度值。因此,金鸡组具有构成矿源层的成矿元素丰度。

1.2 矿区构造

宝山矿区为一背斜构造,轴向北西-南东,向南东倾伏并被上侏罗统高基坪组不整合覆盖。褶皱开阔,两翼平缓,倾角 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$,北东翼向东倾斜,南西翼向南一南南西倾斜。

矿区断裂构造发育,按走向分为北东、北西和东西三组。北东组断裂(F_2 、 F_4)走向北东 $45^{\circ}\sim 50^{\circ}$,倾向南东,倾角 $35^{\circ}\sim 60^{\circ}$,延长大于千米。断面舒缓波状,挤压破碎,断裂带宽几米到几十米,属逆断层,具多次活动的特点。北西向断裂(F_1 、 F_3)走向 $310^{\circ}\sim 320^{\circ}$,倾向南西,倾角 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$,延长较大,沿断裂带出现断层崖、断层泉,属右行剪切平移断层。东西向断层走向 $80^{\circ}\sim 110^{\circ}$,倾向南南东一南南西,倾角 $35^{\circ}\sim 60^{\circ}$,长数百米至上千米,多为矿脉充填,属左行扭性断层。

1.3 矿区火成岩

矿区主要火成岩有石英斑岩、玄武岩、辉绿岩。石英斑岩呈脉状大量出现在矿区西部。岩性灰白色、斑状结构。斑晶为石英、少量长石。斑晶多熔蚀成浑圆状、港湾状。岩石硅化、绢云母化、碳酸盐化。与围岩接触部位Ag的含量变化从内接触带→正接触带→外接触带分别是 $2.63\rightarrow 2.74\rightarrow 2.15(10^{-6})$ 。辉绿岩岩脉宽几米至十几米。岩石墨绿色,变余辉绿结构。岩石全部蚀变为绿泥石和碳酸盐矿物。斜长石牌号44~46,属中长石。此外还有少量角闪石、磁铁矿、绢云母。玄武岩呈层状顺层产于金鸡组下部,多层产出,主层厚30~40m,延展稳定。岩石斑状结构,斑晶为斜长石、普通辉石和橄榄石。基质由板条状斜长石、粒状辉石、玻璃

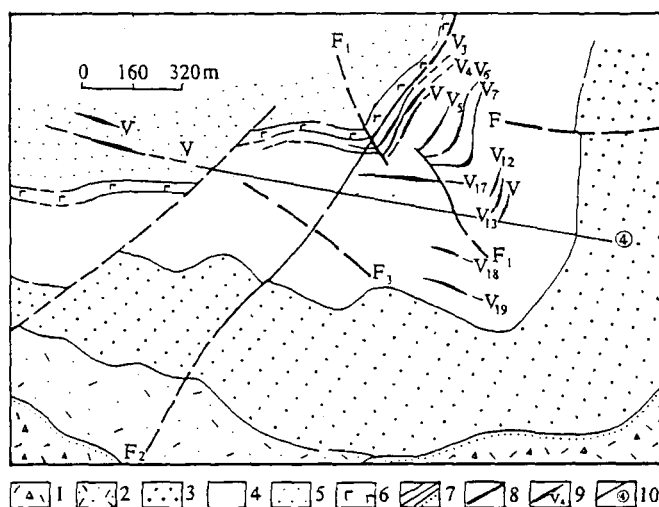


图1 宝山银锑矿区地质略图

(据931地质队资料修编)

1—上侏罗统高基坪群陆相火山碎屑岩;2—中侏罗统漳平群上段火山碎屑岩、凝灰岩;3—漳平群下段碎屑岩;4—下侏罗统金鸡组上段海相碎屑岩类火山熔岩;5—金鸡组中段碎屑岩;6—金鸡组内海相火山熔岩(玄武岩);7—地层界线或不整合界线;8—断层;9—矿脉及编号;10—勘探线及编号

Fig. 1. Geological sketch map of the Baoshan silver-antimony ore district.

1—Continental pyroclastic rock of Upper Jurassic Gaojiping Group; 2—Pyroclastic rocks and tuff of the upper member of Middle Jurassic Zhangping Group; 3—Clastic rocks of lower member of Zhangping Group; 4—Volcanic lava of marine clastic rocks of the upper member of Lower Jurassic Jinji Formation; 5—Clastic rocks of middle member of Jinji Formation; 6—Marine volcanic lava (basalt) within Jinji Formation; 7—Stratigraphic boundary or unconformity; 8—Fault; 9—Ore vein and serial number; 10—Exploration line and serial number.

质、磁铁矿、钛铁矿组成的间粒结构、粗玄结构, 具气孔、杏仁构造。岩石强烈绿泥石化、碳酸盐化。矿区各类岩浆岩含银量都较高, 其中石英斑岩、辉绿岩、玄武岩平均含 Ag 分别为 2.7×10^{-6} 、 3.53×10^{-6} 和 2.72×10^{-6} 。

2 矿体地质

2.1 矿体规模、形态、产状

矿区内共有银钨矿体 21 个, 其中以 V_1 、 V_4 、 V_6 、 V_{20} 规模最大。均分布在金鸡组上段碳质页岩和粉砂岩的层间破碎带及断层中, 依产状分二组 (图 1, 2)。

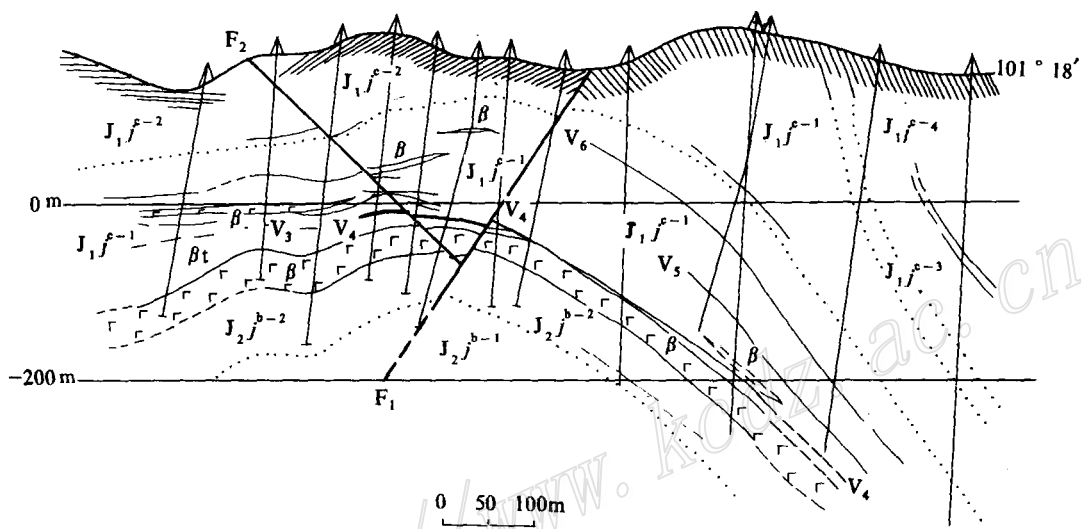


图 2 4 号线地质剖面图

(据 931 地质队资料修编)

J_1j^s —下侏罗统金鸡组上段海相碎屑岩夹火山熔岩; J_1j^b —金鸡组中段碎屑岩; β —玄武岩; β_t —凝灰岩; V_i —矿脉及编号

Fig. 2. Geological section along No. 4 line.

J_1j^s —Upper member of Lower Jurassic Jinji Formation; marine clastic rocks intercalated with volcanic lava; J_1j^b —Middle member of Jinji Formation; clastic rocks; β —Basalt; β_t —Tuff; V_i —Ore vein and serial number.

(1) 北东—北北东组矿脉 脉组走向 $20^\circ \sim 50^\circ$, 倾向南东, 倾角 $35^\circ \sim 50^\circ$ 。脉组分布比较密集, 脉长几百米至上千米, 平均厚 $0.1 \sim 1$ m, 延深大于 500 m。主要矿脉平均品位 Sb 为 $0.1\% \sim 1\%$, Ag 为 $10 \times 10^{-6} \sim 100 \times 10^{-6}$, 其中以 V_4 含 Sb 最高达 43.36%, Ag 达 1750×10^{-6} 。

(2) 东西组矿脉 该组矿脉数量较少, 分布稀疏, 切割地层层理和北东组矿脉, 矿脉长数百米, 厚 $0.1 \sim 1$ m。以 V_{20} 规模最大, 品位最高, Sb 平均 1.1% , Ag 100×10^{-6} 。

2.2 矿石的矿物组合

组成矿石的金属矿物、脉石矿物共 20 多种,具工业价值者有辉锑矿、辉铁锑矿、黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿。含锑矿物和含银矿物共 8 种:银黝铜矿、含银辉锑矿、辉铅银锑矿、辉铅锑银矿、锑银矿、黝锑银矿、深红银矿、脆硫锑银矿。各种矿物电子探针分析结果见表 2。矿石组合样多元素分析: $\text{Ag } 249.9 \times 10^{-6}$ 、 $\text{Se } 6.19 \times 10^{-6}$ 、 $\text{Te } 2.51 \times 10^{-6}$ 、 $\text{Au } 0.388 \times 10^{-6}$ 、 $\text{Sb } 0.516\%$ 、 $\text{Pb } 0.11\%$ 、 $\text{Zn } 0.186\%$ 、 $\text{Cu } 0.014\%$ 、 $\text{As } 1.19\%$ 、 $\text{S } 4.46\%$,银的物相见表 3。选矿试验结果证实,银的回收率达 93.21% [2]。

表 2 矿物电子探针分析结果 (%)

Table 2. Electron microprobe analyses of minerals (in percentage)

元素 矿物	S	Ag	Sb	Cu	Fe	Pb	Zn	As
银黝铜矿	22.5	14.89	32.36	23.88	2.78			
含银辉锑矿	16.02	4.09	33.74	0.98	0.01		0.03	
辉铅银锑矿	18.69	9.97	41.08	0.14		45.14	0.22	
辉铅锑银矿	18.90	11.08	42.90		0.09	24.63	2.05	
锑银矿		75.23	24.77					
黝锑银矿	18.80	36.44	24.60	12.44	4.67			
深红银矿	14.88	62.49	22.21		1.27			
脆硫锑银矿	18.55		37.19		1.89	40.91	1.45	
黄铁矿	52.01	0.07			46.84			
毒砂	30.62	0.05			36.66		32.75	

注:由南海海洋研究所电子探针实验室分析

表 3 银的物相分析 (%)

Table 3. Phase analyses of silver (in percentage)

银物相类型	硫化银及自然银	闪锌矿中银	方铅矿、硫锑铅矿中银	辉锑矿中银	黄铁矿、毒砂中银	难溶硅酸盐及其它含银	相和
含量	167.00	17.00	49.00	14.00	34.00	14.00	295
分布率	56.61	5.76	16.61	4.75	11.52	4.75	100

注:据黄灿辉,1993 [2]

2.3 矿石结构构造和矿石类型

矿石构造有块状、条带状、浸染状、网脉状、纹层状、角砾状等。矿石结构有自形一半自形—他形粒状、草莓状、变胶状、压碎状等及显微粒状、乳浊状、次文象状、交代熔蚀等结构。

矿石类型有:①含银多金属硫化物矿石,平均含 $\text{Ag } nnn \times 10^{-6}$ 、 $\text{Sb } 0.nn\%$;②含银黄铁石英细脉矿石,平均含 $\text{Ag } nnn \times 10^{-6}$ 、 $\text{Sb } 0.nn\%$;③浸染状银锑矿石,平均含 $\text{Ag } nm \times 10^{-6}$ 、 $\text{Sb } n.n\%$ 。

2.4 成矿阶段

根据矿脉穿插关系、矿石组构和矿物共生组合,将矿床成矿过程划为一个成矿期四个成矿阶段。

I. 黄铁矿硅酸盐阶段:黄铁矿以细-网脉及浸染状产于碳质页岩和粉砂岩中。该阶段银锑矿化弱,不具工业意义。

II. 早期石英硫化物阶段:以石英硫化物大脉形式产出,形成北东-北北东组矿脉,并使围岩强烈硅化,形成各种类型矿石。主要矿物有辉锑矿、黄铁矿、少量毒砂、闪锌矿、黄铜矿和多种含银锑矿物。矿石含银品位高,是本矿床最重要的成矿阶段。

III. 晚期石英硫化物阶段:形成东西向矿脉并切割北东-北北东组矿脉,且在交汇处矿脉厚度增大,矿化增强。本阶段锑矿化强于II阶段,但银矿化较II阶段弱。组成矿物同II阶段,是重要的成矿阶段。

IV. 碳酸盐矿物阶段:大量方解石、白云石细脉产出,只有少量黄铁矿化、无工业价值。

2.5 围岩蚀变与矿化分带

宝山矿床围岩蚀变较强,主要有硅化、黄铁矿化、青磐岩化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化。

硅化:是矿区最广泛发育的蚀变类型。发育在矿体及其两侧的围岩。硅化与矿化关系密切,硅化强处银锑矿化强,呈正相关。

黄铁矿化:广泛分布于矿脉及两旁围岩中,尤其碳质页岩中发育,呈细脉状、浸染状。黄铁矿自形、半自形立方体、五角十二面体或他形粒状、草莓状,常与硅化伴生。矿脉边缘则成细脉黄铁矿,含银高时构成石英黄铁矿矿石。

青磐岩化:主要发育在玄武岩、辉绿岩中。矿物组合绿泥石-碳酸盐-黄铁矿及少量绿帘石。青磐岩化玄武岩中Ag元素贫化,即未蚀变玄武岩Ag平均 3.34×10^{-6} ,蚀变后为 2.80×10^{-6} ,说明青磐岩化使玄武岩中Ag活化迁移。

绿泥石化、绢云母化:发育于各类岩石中,绢云母细小鳞片分布于裂隙及岩层面中。

碳酸盐化:以方解石细脉及各类碳酸盐薄膜产于各类岩石层理、裂隙中,与矿化关系不大。

蚀变在垂直方向上具一定分带性。深部主要是青磐岩化,中部以黄铁矿化、硅化、碳酸盐化为主,上部以硅化为特征。银矿化主要和青磐岩化、硅化、黄铁矿化有关,而锑矿化与硅化、黄铁矿化关系更为密切。蚀变沿矿脉两边对称分布,尤其是黄铁矿化,在碳质页岩中表现尤为明显。

矿化分带:矿区银锑矿化有一定分带现象,水平分带表现为由西向东锑矿化减弱,银矿化相对增强。垂直分带大体表现为60 m标高以上为锑矿化富集带,0 m标高以下为银相对富集带,二者之间为过渡带。

3 成矿物理化学条件

3.1 流体包裹体特征

宝山矿床的流体包裹体有五种类型:

(1) 气相包裹体(G),小于 $5 \mu\text{m}$,数量少,主要发育在II、III阶段的石英中。

(2) 气液相包裹体(L+G), $10 \sim 20 \mu\text{m}$,数量不多,均一为气相,主要发育在II、III阶段的石英中。

(3) 液相包裹体 (L), 小于 $10\ \mu\text{m}$, 均一为液相, 成群成带分布, 是最重要的包裹体类型。

(4) 多相包裹体 (L+L+G), 由 $\text{L-H}_2\text{O} + \text{L-HCO}_3^- + \text{G-CO}_2$ 等组成, 小于 $8\ \mu\text{m}$ 。

(5) 含子晶三相包裹体 (L+G+C), $5\sim 10\ \mu\text{m}$, 子晶为立方体和长柱体的 NaCl 、 KCl ^①。包裹体特征见表 4。

表 4 各类流体包裹体特征

Table 4. Characteristics of various inclusions in minerals

类型	气相比例 (%)	形态	大小 (μm)	颜色	数量	分布	备注
G	近 100	不规则	<5	无色	少	孤立	多出现在 Ⅱ、Ⅲ 成矿阶段
L+G	$50\sim 60$	圆、椭圆、不规则	<20	无色为主	占总数 10%	群体出现占 80%	
L	<10	圆、椭圆、不规则	$5\sim 10$	无色为主	占总数 80%	成群成片出现占 80%	
L+G+C	5	圆、椭圆、不规则	$5\sim 10$	无色	占 5%	孤立, 子晶为 NaCl 、 KCl	
L+L+G	5	不规则、圆、椭圆	$5\sim 10$	无色	5%	孤立	均一为不 混溶两相

注: G—气相; L—液相; C—固相

3.2 包裹体测温

综合郑庆年 (1994)^①、叶良法 (1993)^② 测温资料, 本矿床成矿温度持续在 $40\sim 390\ ^\circ\text{C}$ 之间。按成矿阶段归纳: I 阶段平均温度 $300\ ^\circ\text{C}$; II 阶段为 $160\sim 290\ ^\circ\text{C}$, 平均 $230\ ^\circ\text{C}$; III 阶段为 $160\sim 180\ ^\circ\text{C}$, 平均 $171\ ^\circ\text{C}$; IV 阶段为 $40\sim 76\ ^\circ\text{C}$ 平均 $60\ ^\circ\text{C}$, 属中-低温热液矿床。

3.3 包裹体成分

表 5 为矿物包裹体化学成分分析结果。从表中可以看出: 阳离子主要是 Na^+ 、 Ca^{2+} , 其次为 K^+ 、 Mg^{2+} ; 阴离子主要是 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- , 次为 Cl^- 、 F^- 。当成矿溶液发展到 $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$, $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{F}^-$, $\text{Na}^+/\text{K}^+ > 1$, $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+} > 1$ 时, 对成矿最为有利。流体包裹体成分数据揭示, 矿床成矿热液为 $\text{Na}^+ (\text{K}^+) - \text{Ca}^{2+} (\text{Mg}^{2+}) - \text{SO}_4^{2-} (\text{HCO}_3^-, \text{Cl}^-)$ 体系。 $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^- = 4.73\sim 20.50$, pH 为 $6.24\sim 6.96$, 属弱酸性。所以 Ag、Sb 在溶液中主要以硫络合物的形成迁移, 其次呈氯络合物迁移。

3.4 成矿流体的物理化学参数

运用冷冻法获得成矿流体盐度为 $2.23\ \text{wt}\% \sim 19.04\ \text{wt}\% \text{NaCl}$ 。求得其密度为 $0.82\sim 0.97\ \text{g}/\text{cm}^3$ 。有些包裹体出现 NaCl 子晶, 表明成矿过程某个成矿阶段成矿流体的盐度可能高于 $25\ \text{wt}\% \text{NaCl}$ 。因此, 宝山矿床成矿流体是一种中等盐度和低-中等密度的流体。算得成矿压力为 $159\times 10^5\sim 191\times 10^5\ \text{Pa}$, 成矿深度 $600\sim 700\ \text{m}$, 属浅成矿床。成矿流体的各种物理化学参数见表 6。

① 郑庆年主编, 1994, 粤东北成矿带 Ag、Cu、Au 成矿地质条件及成矿预测研究 (内部资料)

② 叶良法, 1993, 嵩溪银矿床成矿物理化学条件及成因研究 (硕士论文)

表 5 包裹体化学成分及 pH 值

Table 5. Chemical composition and pH values of fluid inclusions

样号	液相成分 (10^{-6})								气相成分 (10^{-9})				导电率 ($\mu\text{v}/10^2$)	pH
	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO	CH ₄	CO ₂	H ₂ O		
AP2002	0.20	0.85	0.31	0.12	1.20	0.075	0.19	2.08	0.80		4.15	264.70	10.1	6.45
LD36	0.64	0.74	0.05	0.04	0.61	0.092	0.16	3.28	0.73		2.61	274.85	15.3	6.24
V-3	0.20	0.39	0.36	0.16	1.02	0.081	0.47	2.32	0.26		0.52	85.30	15.2	6.58
AL011	0.12	0.61	0.64	0.17	1.44	0.077	0.22	2.29	0.12		1.13	117.75	18.3	6.86
ZK9-89	0.18	0.57	0.62	1.08	2.66	0.08	0.42	6.55	2.55		3.99	235.73	30.0	6.50
V-21	0.51	0.72	0.97	0.11	2.90	0.084	0.61	6.20	0.88	13.26	3.22	422.10	24.4	6.96

注: 据叶良法, 1993; 测试矿物为石英; AP2002、LD36、V-3 号样为 I 成矿阶段, AL011、ZK9-89、V-21 号样为 II 成矿阶段

表 6 成矿流体物理化学参数

Table 6. Physical-chemical parameters of ore-bearing fluids

样号	矿物	pH	Eh (eV)	盐度 (wt%)	密度 (g/cm ³)	压力 (10^5Pa)	深度 (m)	矿化度 (MC)	还原参数 (R)
AP2002	石英	6.45	-0.55	2.23	0.82	172	650	5.03	0.19
LD36		6.24	-0.54	2.88	0.83	167	630	5.62	0.23
V-3		6.58	-0.53	19.04	0.97	159	606	5.00	0.50
AL011		6.86	-0.55	3.01	0.89	171	645	5.57	0.11
ZK9-89		6.50	-0.56	8.09	0.90	177	670	12.16	0.64
V-21		6.96	-0.56	6.82	0.92	175	660	11.78	4.39

4 矿床成因

4.1 硫同位素特征

矿石中黄铁矿 (7 个样) $\delta^{34}\text{S}$ 的变化范围 $-0.8\text{‰} \sim 2.5\text{‰}$, 平均值 0.45‰ 。辉锑矿 (7 个样) $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围 $-3.3\text{‰} \sim -0.1\text{‰}$, 平均值 -1.1‰ 。毒砂 (3 个样) $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围 $-1.6\text{‰} \sim 1.8\text{‰}$, 均值 1.23‰ 。从硫同位素分布直方图 (图 3) 看出, 矿区硫同位素分布区间窄, $\delta^{34}\text{S}$ 值集中在零值附近, 变化在 $2.5\text{‰} \sim -3.3\text{‰}$ 之间, 基本呈塔形分布, 表明硫来源相对较单一, 主要来自地壳深部, 也不排除有生物硫的参与。

4.2 铅同位素特征

对黄铁矿、辉锑矿、辉绿岩 (全岩) 铅同位素测定 (表 7), 将其数据投影到有关图解中, 所有的点均落在造山带曲线与上部地壳曲线之间, 属壳幔混合铅, 表明成矿物质属壳幔混合来源。

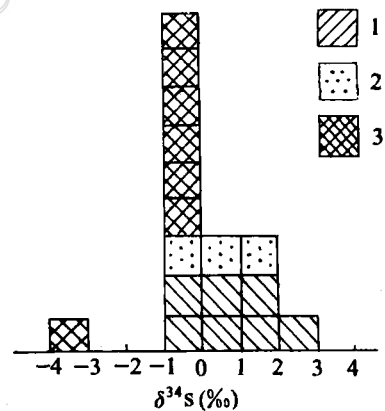


图 3 硫同位素分布直方图

1—黄铁矿; 2—毒砂; 3—辉锑矿

Fig. 3. Histogram of $\delta^{34}\text{S}$ values of sulfides.

1—Pyrite; 2—Arsenopyrite;
3—Stibnite

表 7 铅同位素组成
Table 7. Lead isotope composition

矿物	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	μ 值
黄铁矿	18.713	15.649	38.715	9.54
辉锑矿	18.466	15.704	38.553	9.65
辉锑矿	18.531	15.685	38.860	9.60
辉绿岩	18.449	15.654	38.697	9.54

4.3 氧氢同位素特征

借助氧氢同位素可探讨成矿热液来源和性质。矿石中石英的 $\delta^{18}\text{O}=16.7\text{‰}\sim 17.7\text{‰}$ ，均值 17.2‰ 。成矿溶液的 $\delta\text{D}=-78\text{‰}\sim -69\text{‰}$ ，均值 -73‰ 。计算求得成矿溶液的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}=5.2\text{‰}\sim 7.0\text{‰}$ ，均值 6.1‰ 。这些数据预示成矿流体主要来自岩浆，并混入部分大气降水。

4.4 稀土元素特征

矿石的稀土总量较低， ΣREE 介于 $3.89\times 10^{-6}\sim 6.03\times 10^{-6}$ ，均值 4.96×10^{-6} 。碳质页岩的 ΣREE 为 196.31×10^{-6} ，凝灰岩 ΣREE 为 118.79×10^{-6} ，辉绿岩的 ΣREE 为 $82.25\times 10^{-6}\sim 84.66\times 10^{-6}$ ，石英斑岩的 ΣREE 为 151.37×10^{-6} ，玄武岩的 ΣREE 为 65.58×10^{-6} 。图 4 是矿区的碳质页岩、石英斑岩、辉绿岩、玄武岩、矿石的球粒陨石标准化配分曲线。从图 4 看出，本矿区的玄武岩、辉绿岩、石英斑岩、碳质页岩、矿石具有特征相似的稀土球粒陨石标准化配分曲线，呈富轻稀土右倾型，曲线总体上近乎平行，说明他们的稀土来源有同源性。玄武岩、石英斑岩、辉绿岩的稀土配分曲线更为相近，铈亏损不明显，而在 La/Yb -REE 图解上，投影点均落在大陆玄武岩区范围内，说明上述三种岩石起源于同一岩浆源，可能为不同阶段的同源分异产物。矿石的稀土配分曲线与碳质页岩的稀土配分曲线更为相似，同是中等负铈异常。稀土元素配分特征反映矿石的 Ag、Sb 来源与上述岩石具有一定的亲缘关系，但与碳质页岩关系更加密切。矿石的 δEu 平均 0.48、 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 3.90，相当于上部地壳的平均值 (δEu 0.67、 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 3.72)。而矿石的 ΣREE 为 4.96、 ΣCe 为 3.28、 ΣY 0.84，更接近上地幔的平均值 (上地幔平均 ΣREE 17.70、 ΣCe 9.40、 ΣY 0.83，而地壳则分别为 165.35、121.60、43.75。据黎彤，1976)。矿石中稀土元素所表现的特征，反映出壳幔共同作用的结果。

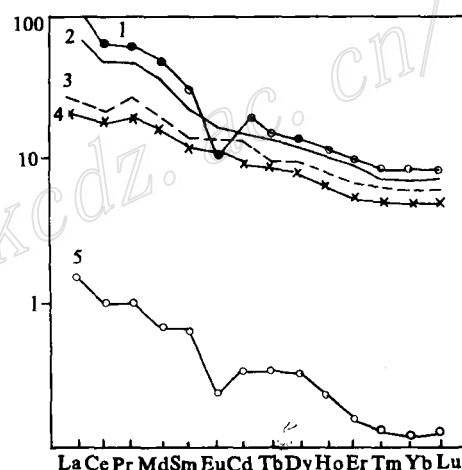


图 4 稀土元素球粒陨石标准化图解
1—碳质页岩；2—石英斑岩；3—辉绿岩；4—玄武岩；5—矿石

Fig. 4. Chondrite-normalized REE patterns of ores and rocks.

1—Carbonaceous shale; 2—Quartz porphyry; 3—Diabase; 4—Basalt; 5—Ore.

4.5 矿床成因

宝山矿床位于莲花山断裂带北侧永安-梅县拗陷带内。早侏罗世火山活动, 间歇性脉动喷溢的前后, 喷出富含 Ag、Sb、Fe 等成矿元素的残余气液, 进入富含有机质的局限—半局限海盆中, 与进入海盆的陆源碎屑物和内碎屑物共同沉积, 形成矿源层, Ag、Sb 初步富集形成一个浓集中心。燕山中—晚期, 由于大规模的区域构造活动和强烈的火山-次火山活动, 结果, 一方面从深部带出大量的 Ag、Sb 等成矿物质; 另一方面, 构造-岩浆热能驱使矿源层的成矿元素活化。大气降水下渗、淋滤矿源层的矿质, 并与上升的岩浆气液混合产生环流, 加速矿源层成矿元素的迁移。当区域的应力场从压扭性转为张扭性时, 成矿热液的封闭系统被打破, 压力突然释放, 促使成矿热液迅速上升, 在碳质页岩或碳质页岩与砂岩的层间破碎带和原生断裂中沉淀矿质。由于容矿围岩富含有机碳 (0.22%~0.37%), 使 Ag、Sb 的硫络合物、氯络合物还原, 沉淀充填于破碎带和裂隙中, 形成不同方向的 Ag、Sb 矿脉。由于 Ag、Sb 硫络合物、氯络合物的稳定性差异, 导致矿化的水平分带和垂直分带。

S、Pb 同位素组成和 REE 配分特点表明成矿物质和成矿流体具有壳幔混合的特征。H、O 同位素组成表明成矿流体是岩浆水和大气降水的混合液, 但以岩浆来源为主。所以, 矿床成因属浅成中-低温火山热液矿床。成矿方式以充填作用为主, 交代作用为次。

参 考 文 献

- 1 梁硬干. 梅县嵩溪锑银矿床地球化学异常特征. 广东有色金属地质, 1993, (1): 40~43
- 2 黄灿辉. 广东省主要银矿床类型赋存规律及找矿前景. 广东有色金属地质, 1993, (1): 13~22

GEOLOGY AND GENESIS OF THE BAOSHAN SILVER (ANTI-MONY) DEPOSIT IN EASTERN GUANGDONG

Yao Dexian, Li Zhaolin, Ye Yinfa

(Department of Geology, Zhongshan University, Guangzhou 510275)

Zhang Shouji

(No. 931 Geological Party, Guangdong Geological Exploration Bureau, Shantou 515041)

Key words: shallow-seated hydrothermal silver (antimony) deposit, genesis of ore deposit, Baoshan of eastern Guangdong

Abstract

The Baoshan large-sized (antimony) deposit in eastern Guangdong has Early Jurassic volcanic-sedimentary rocks as host rocks. Silver and antimony contents of ore-bearing wall rocks are 3~2 orders of magnitude that of their abundances in identical rocks, and are 18~16 times their abundances in the same sorts of rocks in eastern Guangdong, showing characteristics of source bed. The Yanshanian volcanic-subvolcanic rocks include quartz porphyry, diabase and basalt, which contain relatively high silver, with the concentration coefficient of silver being 33, 44 and 34 respectively. Volcanic activities brought such ore-forming materials as silver and antimony

from the depth and caused activation and migration of ore-forming elements in wall rocks, which eventually entered hydrothermal solution.

Wall rock alterations include silicification, pyritization, propylitization, sericitization, chloritization and carbonatization, showing vertical zonation. Silver mineralization is closely related to propylitization, pyritization and silicification, whereas antimony mineralization has to do with pyritization and silicification.

There are altogether 21 orebodies in the ore district, which can be assigned to two groups trending NE-NNE and EW respectively. Silver and antimony mineralizations assume horizontal and vertical zoning. Horizontally, silver mineralization grows stronger from west to east, and things are just opposite for antimony mineralization; vertically, silver mineralization gets intensified but antimony mineralization weakens from the shallow place to the depth.

Silver and antimony migrate mainly in the form of sulfur complex. The favorable conditions for the precipitation of silver and antimony are pH 6.5~7.0, Eh -0.54 eV, t 160~290°C, P $160 \times 10^5 \sim 175 \times 10^5$ Pa, ore-forming depth 630~760 m, salinity 2.23 wt%~19.04 wt% NaCl, and density 0.52~0.97 g/cm³. Sulfur, lead, oxygen and hydrogen isotopic compositions and REE partitioning show that metallogenic substances and ore-forming fluids came mainly from magma at depth, with the addition of wall rock materials and meteoric water. The ore deposit is a shallow-seated medium-low temperature volcanic-hydrothermal one, with filling as the major mineralization form.

<http://www.kcdz.ac.cn/>