

一个海底基性火山喷流成因 的银锑矿床地质特征^①

郑庆年

(广东有色金属矿产地质研究所, 广州)

提 要: 广东梅县嵩溪宝山是个产于具裂谷性质的永-梅裂陷槽南段翼部裂陷火山-沉积盆地内的一个海底基性火山喷流成因的银锑组合大型银矿。文中阐述以下问题: 容矿层位岩性组合、建造和相及层位地球化学特征、矿区地质构造; 海底基性熔岩——玄武岩的地质、地球化学、稀土元素特征及其构造环境与成矿意义; 矿体(层)形态、产状、矿石结构构造、矿物共生组合、地球化学、稀土元素、同位素、包裹体等。

主题词: 裂陷槽 基性熔岩 气液喷流 喷流碎屑岩 银锑组合 广东宝山

广东梅县嵩溪是世界罕见的银锑皆达独立开采价值的、具银锑组合的大型矿床, 赋存于具裂谷性质的早侏罗世永(安)-梅(县)裂陷槽南段。受裂陷槽右(东)翼(肩)部一条分支的兰田-紫金北东向左旋走滑断裂与槽内同期北北西—南北向拉张断裂系统的共同作用, 形成的翼部裂陷(寨岗上裂陷)火山-沉积盆地的北缘(图 1)。嵩溪宝山矿床位于盆地内近南北走向的拉张性生长断裂的局部凹陷中。

1 矿区地层

嵩溪宝山银锑矿床出露地层仅有侏罗系下统嵩灵组和中统漳平群。

1.1 侏罗系下统嵩灵组 (J_1s)

由三个岩性段组成, 矿区仅见中、上两段。中段 (J_{1s}) 未见底, 下部灰白色—灰黑色中粗粒、细粒砂岩、粉砂岩夹页岩、含砾砂岩及砾岩等粗碎屑沉积, 代表构造强烈差异运动、断裂强烈活动、地壳开始裂陷环境; 上部中细粒砂岩、粉砂岩、黑色页岩、沉凝灰岩和薄层银锑矿体, 出现鲍马层序, 全段厚大于 90 m。所见鲍马层序为 a、b、c 或 a、b、d (不完整) 段组合, 韵律层厚度 2~5 cm, 虽然砂质段厚度较小, 但层序主要由 a 段开始、且有底面侵蚀, 表现一种流速较快且靠近物源区环境。上段 (J_{1s}^c): 下部黑色碳质页岩、细砂岩、含火山碎屑砂岩、凝灰质粉砂岩、凝灰质细砂岩、凝灰质页岩、沉凝灰岩、含生物碳质页岩、薄层生物(叶状藻)灰岩等互层或互为夹层, 夹各种喷流碎屑岩(另文讨论)及绿泥石化、碳酸盐化玄武岩数层和层状工业银锑矿体。偶见薄层玻璃碎屑岩, 底部与 J_{1s}^b 层间为一层厚 30~40 m、延

① 郑庆年, 男, 58 岁, 教授级高工, 长期从事金属矿床地质科研工作。邮政编码: 510080

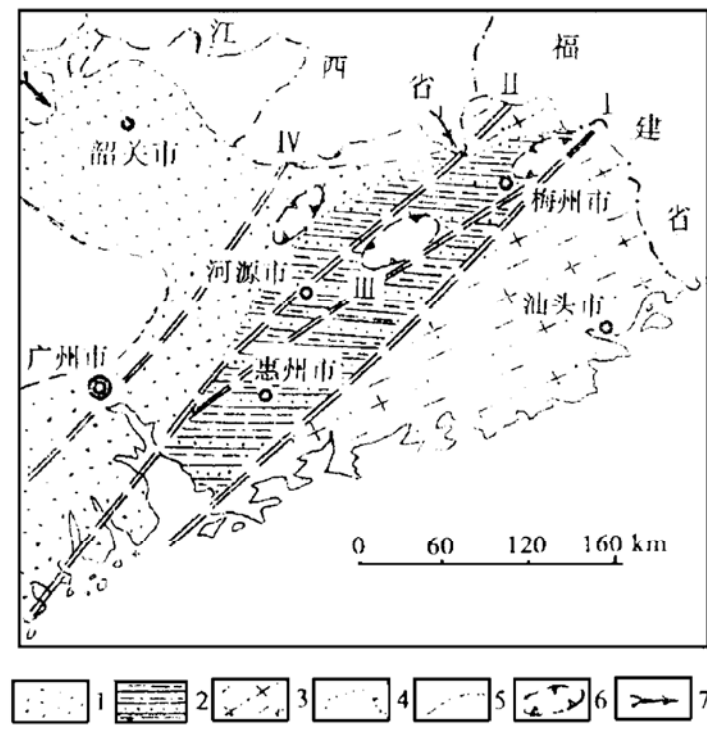


图 1 永梅拗陷南段早侏罗世裂陷发育与沉积特征图
(据广东省区域地质志修编)

1—滨海-浅海相砂岩；2—半深海相砂页岩；3—滨海相长石石英砂岩；4—岩组界线；5—最大海侵边界；6—火山盆地；7—沉积物搬运方向；I—丽水-海丰断裂；II—邵武-河源断裂；III—兰田-紫金断裂；IV—恩平-新丰断裂

Fig. 1. Diagrammatic geological map showing development of fault depression and sedimentary feature of Early Jurassic in the southern part of Yongmei depression.

1—Littoral-neritic facies sandstone; 2—Semi-abysal facies sandshale formation; 3—Littoral feldspar-quartz sandstone formation; 4—Boundary of rock formation; 5—Maximum marine transgression boundary; 6—Volcanic basin; 7—Transportation direction of sedimentary materials; I—Lishui-Haifeng fault; II—Shaowu-Heyuan fault; III—Lantian-Zijin fault; IV—Enping-Xinfeng fault.

伸稳定的蚀变玄武岩。岩系常见生物碎屑，如瓣腮、腕足、苔藓、介形及藻类，是矿区最重要的容矿段、厚 200 余米；中部黑色细砂岩、粉砂岩、凝灰质粉砂岩互层夹喷流碎屑岩，产次要层状银铋矿体；上部灰白色—灰绿色厚层状细砂岩、含喷流碎屑细砂岩与粉砂岩互层，产次要银铋矿体；顶部紫褐色—灰白色粉砂岩与细砂岩互层。全段厚 330 余米。嵩灵组内各种岩性普遍含火山物质、有机质及海相生物碎屑，在层状银铋矿体顶底层位的一定范围内，常有喷流碎屑岩，是本矿床容矿段最显著特点之一（图 2）。嵩灵组整体由下到上，底部滨岸相

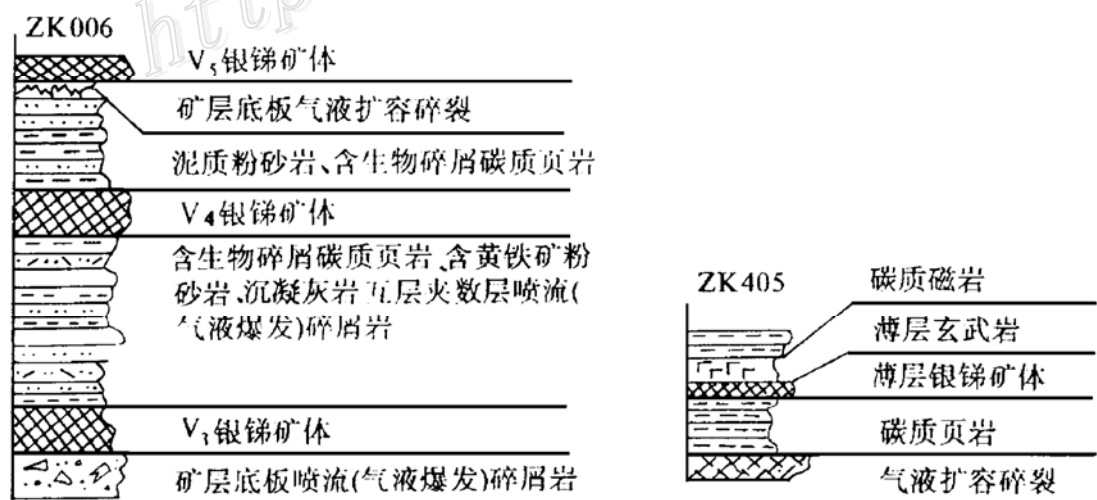


图 2 矿层顶底岩性结构示意图

Fig. 2. Lithologic character of hanging wall and foot wall of ore beds.

粗碎屑沉积向上演变→浅海相火山浊流沉积→主容矿段半深海滞流相火山-细碎屑沉积→半

封闭滞流相细碎屑岩与浅海潮汐相细碎屑岩交替沉积→浅海至海陆交互相碎屑岩沉积。

1.2 侏罗系中统漳平群 (J_2zh)

未见顶, 上亚群出露不全。下亚群下部灰白色厚层状石英砂岩夹粉砂岩; 中部灰紫色—紫红色粉砂岩与灰白—灰黄色粉砂岩互层夹细砂岩和页岩; 上部灰白色细砂岩夹紫红色粉砂岩、凝灰岩。上亚群下部紫红、灰白、黄褐色流纹质晶屑玻屑凝灰岩夹凝灰质砂岩、粉砂岩; 上部紫红色粉砂岩。

1.3 容矿层位地球化学特点

(1) 微量元素特点: 嵩灵群微量元素分析结果列于表 1。砂岩中 Sb、As、Ag、Au、Co、Ni、Cr、V、Pb、Zn、Fe、Rb、Ga 等元素平均含量皆高于涂和费 (1961) 同类岩石丰度值^[3], Sb 浓集系数达 1150×10^{-6} ; 银的平均含量是粤东地区早侏罗世砂岩丰度的 18.75 倍。页岩中 Rb、Sb、Ag、As、Cr、B、Pb、Zn、Fe、Co、V 等平均含量皆高于涂氏同类岩石丰度, Ag 的含量是粤东地区早侏罗世页岩丰度的 8 倍。碳酸盐岩中 Sb 和 Ag 的浓集系数分别为 235 和 11.5。

表 1 金鸡组主要岩性某些微量元素平均含量 (10^{-6})

Table 1. Average contents of some minor elements in main rocks of Jinji Formation

岩性	Sb	Ag	Au	As	Pb	Zn	Cu	Fe	Ni	Cr	Co	V	Ga	Rb	B
页岩(22) ^①	57.94	2.34	3.8	202.6	65.53	558.7	42.4	7.78	59.1	115.9	14.35	80.7	19.38	166.7	117.5
砂岩(10)	35.98	0.6	9.3	102.5	59.0	204.6	74	7.87	68.9	137.2	17.45	76.7	19.82	164.5	117.3
灰岩(2)	106.0	1.13	7.5	180.0	62.0	103	30	6.80	65.5	99	12	69.5	16.05	165.0	90.5
凝灰岩(3)	68.7	0.32	4.0	42.0	39.0	156	107.3	6.76	105	222.7	28.7	164.3	12	93.3	44.0

① 括号内为样品数; Au 单位为 10^{-9} , Fe 单位为 %

容矿层位砂岩的 B/Ga 比值平均 7.63, 显然属海相沉积。泥质岩石 (页岩) B 含量换算为伊利石 B 含量后^[5], 全部样品 $B > 150 \times 10^{-6}$, 在 V-B 判别图上, 样点皆落入海相沉积区, 平均 477.78×10^{-6} , 最高达 1288.81×10^{-6} , 已属超盐度环境泥质沉积物, 反映嵩溪宝山区段存在一个似卤水池的咸化局部拗陷。

(2) 地表硅质岩层 (体) 含矿性: 矿区地表百余件硅质岩层 (体) 样品化学分析结果, Sb 平均为 2830×10^{-6} , Ag 平均 7.634×10^{-6} , 硅质岩中 Sb 含量明显高于湘中锡矿山似层状硅化岩型锑矿床硅化岩平均含量 (1147.8×10^{-6})^[8]。矿区全部硅质岩样品 Ag 的含量皆大于 2×10^{-6} , 其中大于 100×10^{-6} 者占样品总量 24.07%; 大于 20×10^{-6} 者占 22.22%。

2 矿区地质构造

矿区为一轴向北西, 向南东倾状, 两翼岩层倾角 $40^\circ \sim 60^\circ$ 的开阔背斜构造 (图 3)。断裂发育, 主要有北东向、北西向与东西向三组。北东向断裂 (F_2 、 F_4) 走向 $45^\circ \sim 50^\circ$, 倾向南东, 倾角 $35^\circ \sim 60^\circ$, 延长千余米, 压性特点明显, 具多次活动的逆断层。北西向断裂 (F_1 、 F_3) 走向 $310^\circ \sim 320^\circ$, 倾向南西, 倾角 $40^\circ \sim 60^\circ$, 延长大属右行剪切的平移断裂, 从其与主玄武岩层、主矿层之空间及产状关系, 表明 F_1 为控岩控矿生长断裂。东西向断裂走向 $80^\circ \sim 110^\circ$, 倾向南, 倾角 $40^\circ \sim 60^\circ$, 长百余米至千米, 也属右行剪切性质的平移断裂。不同阶段三组断裂对

成岩成矿各有作用,成矿后对矿体又皆有轻度破坏。矿床最重要的容矿空间是特定的沉积(岩性)层及层间构造。

3 岩浆岩

矿区最重要的岩浆岩是同沉积海底喷溢的基性熔岩——玄武岩和沉火山碎屑岩。它们的特征:①熔岩和沉火山碎屑岩皆与地层产状一致,顺层与含海相生物沉积岩互层;②主熔岩层玄武岩具典型的杏仁状构造,杏仁的数量和大小的变化具旋回性;③火山碎屑岩主要是沉凝灰岩类,偶见玻璃碎屑岩薄层;④熔岩层近顶面有硅质条带与熔岩层、沉积岩层面平行;⑤熔岩无红顶、无柱状节理和管状构造,顶底围岩无蚀变;⑥熔岩层广泛绿泥石化和碳酸盐化;⑦顶板沉积岩内有不规则至豆粒状熔岩团块;⑧熔岩与海相地层共同变形、同步褶皱;⑨嵩灵群内火山岩有两个明显的喷发旋回,且皆由海底中基性喷发→海底基性岩浆脉动式溢流→海底残余火山气液喷流告终。

3.1 熔岩主要特征

矿区熔岩——玄武岩呈多层状夹于嵩灵群中段和上段之间及上段的下部。主玄武岩层厚 30~40 m, 延展稳定, 在矿区及周边皆呈面状产出, 上部旋回底层玄武岩内可见长英变粒岩或长英质火成岩捕虏岩块。

岩石具斑状结构。斑晶主要为斜长石、橄榄石(部分伊丁石化)、普通辉石。基质由板条状斜长石、粒状辉石、玻璃质及少量橄榄石、磁铁矿、钛铁矿等组成间粒结构或玻基交织结构。岩石化学成分分析 SiO_2 (29.30%~47.04%)、 Al_2O_3 (10.11%~15.16%) 明显偏低, 在 $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})-\text{SiO}_2$ 图上落入碱性玄武岩区, 在 TAS 图上点群落入苦橄玄武岩、碱性玄武岩及玄武岩区。

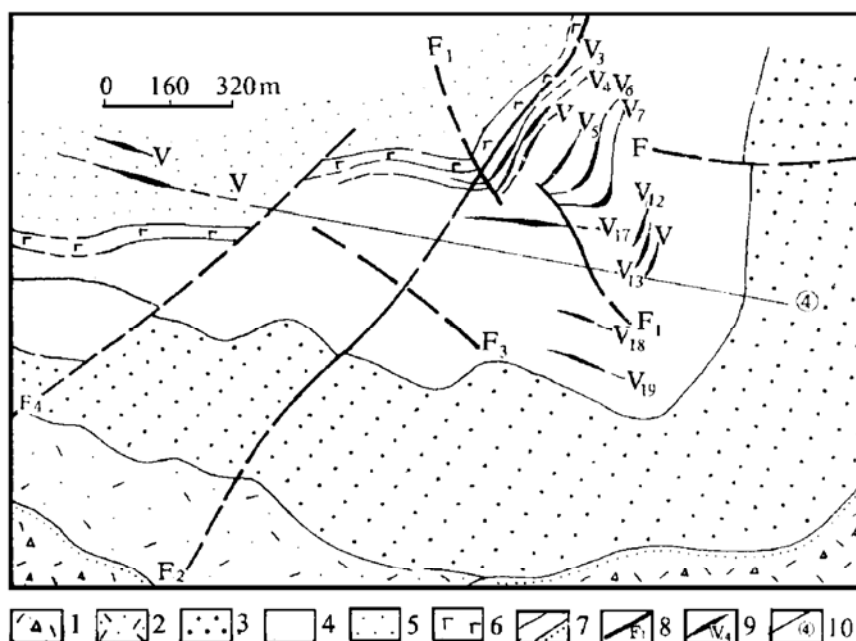


图 3 梅州嵩溪宝山银锑矿区地质略图

(据 931 队资料修编)

1—上侏罗统嵩基坪组陆相火山碎屑岩; 2—中侏罗统漳平群上段火山碎屑岩、凝灰质粉砂岩; 3—漳平群下段碎屑岩; 4—下侏罗统嵩灵组上段海相碎屑岩夹火山熔岩; 5—嵩灵组中段碎屑岩; 6—嵩灵组内海相火山熔岩(玄武岩); 7—地层界线、不整合; 8—断层及编号; 9—矿体及编号; 10—勘探线

Fig. 3. Geological sketch map of the Baoshan (Songxi) silver-antimony ore district, Meixian County.

1—Upper Jurassic Songjiping Formation: continental pyroclastic rock; 2—Upper Member of Middle Jurassic Zhangping Group: pyroclastic rock and tuffaceous siltstone; 3—Lower Member of Zhangping Group: clastic rock; 4—Upper Member of Lower Jurassic Songling Formation; 5—Middle Member of Songling Formation: clastic rock; 6—Marine volcanic lava (basalt) within Songling Formation; 7—Boundary of strata, unconformity; 8—Fault and serial number; 9—Orebody and serial number; 10—Exploration line.

岩石稀土元素分析结果列于表 2, ΣREE 平均 101×10^{-6} , ΣTSE 平均 3.73×10^{-6} , 含量顺序 $\text{Eu} > \text{Ho} > \text{Tb} > \text{Tm} \geq \text{Lu}$ 。 $\text{Eu} = 0.95 \times 10^{-6} \sim 2.16 \times 10^{-6}$, 平均 1.64×10^{-6} , 变化范围在大陆拉斑玄武岩区间内^[1]。 δEu 平均 1.29。 Eu 平均含量及 Ho/Eu 比值 (平均 0.51) 皆接近榴辉岩, 而与地壳 Ho/Eu 比值 (近似 1) 差异显著, Eu/Sm 比值平均 0.39。 岩石化学成分和 REE 都比较接近大陆裂谷碱性玄武岩, REE 配分曲线呈 Eu 无异常至弱正异常的右倾式, 具 LREE 富集特点, 但斜率不大, 与中国东部新生代玄武岩中地幔岩包裹体 REE 配分形式相似。 全岩锶同位素测定结果 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 在 0.7067~0.7103 间, 平均 0.7088, 明显低于地壳锶初始值 (0.719)。 上述特点均反映矿区熔岩岩浆源于深部上地幔, 属裂谷前地壳拱起断裂形成阶段喷溢产物。

表 2 嵩溪矿区玄武岩稀土元素含量分析结果

Table 2. REE analyses of basalt samples from the Songxi ore district

样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	L
405-33	24.40	47.78	5.48	21.34	4.57	2.16	4.43	0.72	4.01	0.78	2.38	0.33	1.93	0.30
405-37	29.94	54.21	6.27	24.77	4.91	1.81	5.03	0.82	4.53	0.95	2.47	0.38	2.46	0.38
2101-58	5.97	13.27	1.75	8.23	2.76	0.95	3.04	0.50	2.79	0.62	1.70	0.25	1.58	0.24

玄武岩富含 Sb (51.56×10^{-6})、Ag (410×10^{-9})、Au (4.1×10^{-9})、As (29.6×10^{-6})、Cu (99.2×10^{-6})、Pb (51.3×10^{-6})、Zn (153.2×10^{-6})、Cr (410.4×10^{-6}) 等微量元素; 平均含量皆高于原始镁铁质火成岩, 其中 Ag、Sb 呈正相关, 相关系数 $r_{\text{Ag-Sb}} = 0.754$ 。 本矿床玄武岩富 Ag、Au、Sb、As 特点与贵州戈塘卡林型金矿床玄武岩极相似。

3.2 火山碎屑岩

矿区火山碎屑岩主要是沉凝灰岩类, 这里只介绍玻璃碎屑岩。玻璃碎屑岩亦称淬碎玻璃碎屑岩, 通常是基性成分玄武岩高温岩浆进入水体骤然冷却淬火碎裂形成。在地史各时代皆可见到, 但很少被广泛重视, 本区所见的岩石, 玻璃碎屑约占 90%, 且呈不规则的撕裂状、撕裂长条状, 长轴 0.5~1.5 cm, 略呈定向排列。镜下观察碎屑两端及边缘皆呈参差状, 已脱玻化呈霏细长英质, 局部尚残留有弯曲细纹状橙玄玻璃。胶结物为含石英粉砂的泥质物, 岩石化学成分在 TAS 图上落入玄武安山岩区, 为玄武安山质玻璃碎屑岩。

4 矿体地质特征

4.1 矿体基本地质特征

本区银锑矿体以层状、似层状多层叠置顺层产出的为主, 局部有穿层现象。主矿体群紧紧依附 J_1s^b 与 J_1s^c 之间主玄武岩层延伸 (图 4), 或玄武岩顶板层位一定间隔 (数米至数十米) 内, 与玄武岩形影相随, 地层、玄武岩、矿层三者平行, 共同变形同步褶皱 (图 4), 垂向矿层可与薄层玄武岩互层, 纵横矿层皆可过渡为沉凝灰岩, 矿层内可夹玻屑晶屑沉凝灰岩、纹层状黄铁矿岩或生物碎屑灰岩。矿层顶底板主要为含浸染状、草莓状黄铁矿、生物碎屑或凝灰质的黑色页岩、泥质粉砂岩、沉凝灰岩等。在顶底数米范围内岩石常有扩容碎裂现象。矿体单层厚度一般几十厘米至 2 m, 最厚 9 m 左右, 走向倾向延伸十分稳定, 主矿层长数百米至千余米, 倾斜延深达数百米, 具有明显的沉积特点, 在地表浅部以含锑或黄铁矿的硅质层

银金比值高。B. 矿石中黄铁矿 Co/Ni 比值变化大, 一般皆大于 1, 平均 1.54, 与海相火山岩矿床黄铁矿 Co/Ni > 1 相近(王亚芬, 1981)。C. 矿石黄铁矿 S/Se = 25 万 ~ 94 万, 平均 511000 显示沉积成因。Se 平均 1.31×10^{-6} 与海相火山沉积型黄铁矿 Se (1.5×10^{-6}) (徐国风, 1980) 相近。D. 矿石中黄铁矿在 Co-Ni-Se 原子百分比图上, 点群落于 Co-Ni 系列一侧, 低 Se 明显, 具沉积特征。在 Ag-As-Sb 百分图上, 点落于 As-Sb 系列一侧, 显示与陆相火山和变质等成因的黄铁矿截然不同。

②毒砂: 毒砂主要成分 Fe、S、As 与理论值比较明显富 S 亏 As。S 平均 24.70×10^{-2} 高于理论值 (19.64×10^{-2})。As 平均 36.06×10^{-2} 则低于理论值 (46.01×10^{-2})。Au 含量一般为 $2.59 \times 10^{-6} \sim 6.50 \times 10^{-6}$, 最高可达 10.54×10^{-6} 。富 S 亏 As、Fe 略偏高、普遍含 Au 较高是本区银锑矿床毒砂的重要特点之一。As/S 比值大于 1, 平均 1.60; Fe/(S+As) > 0.5, 平均 0.586; Sb 含量一般 $1600 \times 10^{-6} \sim 9500 \times 10^{-6}$, 平均 4300×10^{-6} 。Sb/Bi 比值平均高达 37375; Co/Ni 比值小于 1, 具沉积特征。Se 含量很低, 一般在 $2.3 \times 10^{-6} \sim 2.8 \times 10^{-6}$ 之间, S/Se = 87035 ~ 105826, 具火山喷流沉积特点。Ag、Pb、Cu 含量变化大, Ag 一般为 $1.90 \times 10^{-6} \sim 1990 \times 10^{-6}$ 。Bi 含量低明显不同于陆相火山热液矿床。

③辉锑矿: 辉锑矿中 S、Sb 与理论值比较, S 略偏高, Sb 略偏低, Sb/S = 2.31 略低于理论值。富 Fe、Zn、Pb、Ag 特点也很明显, Pb、Zn、Ag 等明显高于湘中锡矿山似层状硅化岩型锑矿床^[8]和湘中脉状充填型锑矿床, 但比广西河池某地下热水型银锑矿床则要低得多。本矿床辉锑矿中混入元素较复杂, 已检测者有 20 余种, 富铁富锌特点突出, 是本矿床辉锑矿的主要特征。

(2) 矿物包裹体特征: 矿体主要脉石矿物石英的包裹体很不发育、分布随机、一般小于 5 μm , 以纯液相和气液两相为主, 纯液相占 80% 以上, 液相成分 $\text{Na}^+ > \text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{K}^+ + \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+}$, 阴离子 $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ 。气相 $\text{CO}_2 > \text{CO}$ 、 $\text{CO}_2/\text{CO} = 1.39 \sim 4.85$, 成矿溶液属 $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^- - \text{HCO}_3^-$ 型。阳离子 $\text{Na}^+/\text{K}^+ = 1.76 \sim 7.43$ 平均 2.93, 比湘中似层状硅化岩型锑矿床显得更富 Na 贫 K 具海水特点。均一法温度 130 ~ 190 $^{\circ}\text{C}$, 平均 162 $^{\circ}\text{C}$, 与索尔顿湖喷口卤水温度 170 $^{\circ}\text{C}$ (R W 哈钦森) 几乎相等^[7]。实测成矿流体盐度 3.69wt% ~ 9.47wt% NaCl, 平均 7.98% NaCl, 有些包裹体含 NaCl 子晶, 表明某些阶段矿液盐度可能高于 25% NaCl, 通过盐度、均一温度和密度三者关系, 求得成矿流体密度为 0.9 ~ 0.98 kg/l, 平均 0.96 kg/l。在 Na/K-K/(Ca+Mg) 关系图上 (图 5) 点群主要落在卤水线之上, 少数点落在紧靠卤水线的下方, 点群整体散布于索尔顿湖卤水点的周围, 说明本矿床成矿流体性质类似索尔顿湖卤水。

(3) 稀土元素特征: 矿区容矿层内基性火山熔岩——玄武岩、硫化物银锑矿石与黄铁矿单矿物平均稀土总量为玄武岩 (101×10^{-6}) > 矿石 (37.61×10^{-6}) > 黄铁矿 (16.68×10^{-6}), 其中玄武岩、深部钻孔银锑矿石、硅质岩和部分多金属硫化物矿石中的黄铁矿单矿物之间稀土元素标准化曲线相似 (图 6), 皆呈 Eu 无异常或弱至中等正异常的右倾式曲线, 表明它们同源于深部基性岩浆。然而多数黄铁矿单矿物 REE 标准化曲线却呈 Eu 负异常明显的右倾曲线。表明基性岩浆喷溢末期, 那些富含 Cl^- 、 F^- 、 H_2S 、 HF 、 SO_2 ……等强酸性残余火山气液在残浆中急剧增加并与进入其中的大量 Sb、Ag、Zn、Cu 等成矿元素和其它酸溶物质汇聚成矿流体, 逐渐与硅质分离一起喷入海底共同沉淀堆积成矿体。由稀土元素化学特性决定, 当

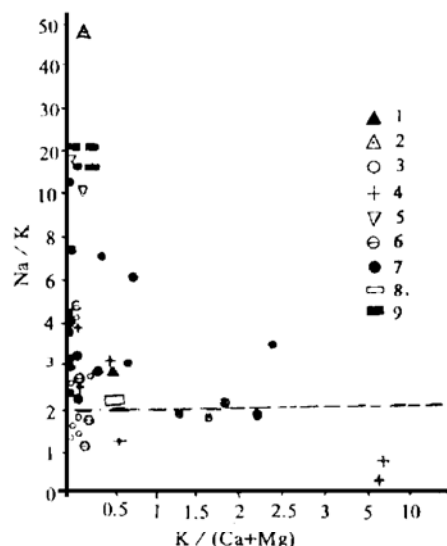


图 5 石英包裹体液相成分中 Na/K-K/(Ca+Mg) 关系

1—索尔顿湖卤水；2—红海卤水；3—湘中锡矿山锑矿床；4—西岭斑岩锡矿床；5—厚婆坳银锡多金属矿床；6—长埔锡矿床；7—梅县嵩溪银锑矿床；8—卤水；9—密西西比河谷型矿床

Fig. 5. Na/K versus K/(Ca+Mg) diagram of liquid components of inclusions in quartz.

1—Solton Lake brine; 2—Red Sea brine; 3—Xikuangshan antimony deposit in central Hunan; 4—Xiling porphyry tin deposit; 5—Houpoao silver-tin polymetallic deposit; 6—Changpu tin deposit; 7—Songxi silver-antimony deposit, Meixian County; 8—Brine; 9—Mississippi valley type deposit.

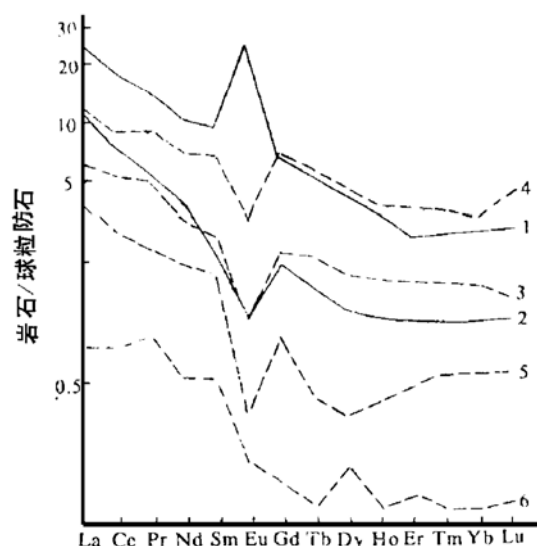


图 6 矿石与黄铁矿单矿物 REE 标准化曲线

1—钻孔深部矿石；2—地表含矿石英碳酸盐脉；3、4、5—地表含辉锑矿黄铁矿硅质体中黄铁矿单矿物；6—浅部多金属硫化物矿石中黄铁矿单矿物

Fig. 6. Chondrite-normalized REE patterns of ores and individual pyrite minerals.

1—Borehole ore from depth; 2—Surface ore-bearing quartz carbonate vein; 3, 4, 5—Individual pyrite minerals from surface stibnite-, pyrite-bearing siliceous body; 6—Individual pyrite mineral from surface polymetallic sulfide ore.

这些含矿气液喷入海盆后，迅速与海水混合，海水中 Na^+ 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 等离子大量加入， Cl^- 浓度进一步增大，使那些随残余含矿火山气液带入海盆的稀土元素与上述配位体，形成可溶性稀土金属络合物随海水继续迁移，尤其 Eu 当环境中 SO_4^{2-} 大量还原成 H_2S 与金属阳离子生成黄铁矿等金属硫化物，介质中 f_{O_2} 随之升高，使 Eu^{2+} 向 Eu^{3+} 转变并富集于介质海水中迁移，致使黄铁矿 Eu 呈负异常，最终导致玄武岩 $\Sigma\text{REE} > \text{矿石} \Sigma\text{REE} > \text{黄铁矿} \Sigma\text{REE}$ 。

(4) 黄铁矿热电系数，矿区黄铁矿 (47 个样品) 热电系数 (α) 测定结果，众值为 $+318 \sim +466 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ ，平均 $+374.6 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ (陈大经等, 1993)^①，热电动势属空穴导型 (P 型)，只有少数碳酸盐脉中黄铁矿热电系数为低正值，属 n-P 型。黄铁矿热电性受矿物内化学成分影响， α 正值反映晶体内负离子或非金属离子过剩，P 型晶体内常是低价离子类质同象替换高价离子 (陈光远, 1987)^[2]。可见本区黄铁矿热电性与其富 Ag、As、Sb 有关，说明矿床形成于

① 陈大经，浙闽粤火山岩型金银矿成矿环境分析与成矿预测

浅部低温环境中。热电系数可指示氧化还原条件酸碱性,酸性条件下一般形成 P 型黄铁矿。众所周知 S、As、Sb、Hg 等是火山气液的重要成分,现代火山喷气通道及热泉口附近,常有 S、Fe、Sb、Hg、Ag、Bi 等硫化物堆积;高温冷凝的火山气液一般饱和酸性气体 (HF、HCl、SO₂、SO₃ 等) 而呈酸性至超酸性 (П А 巴沙琳娜, 1966), 基性玄武质熔岩中所含的气体比安山质熔岩更趋饱和, 本区以 P 型为主的黄铁矿似乎也说明成矿流体与来自深部玄武岩被冷凝的火山气液有关。这类火山气液在穿过熔岩层自身及上覆沉积物层时, 溶解萃取其间成矿物质包括难溶的 Al、Si (在富 HF 条件下) 等物质 (矿层附近往往有萤石脉) 进入盆底, 由于减压分解、溶液稀释、化学失衡等作用使成矿物质析出沉淀堆积成矿层 (体)。因基性岩浆粘度小, 在减压条件下残余气液迅速急剧逸出而发生脉动式气爆, 结果在喷逸通道附近的矿层内或矿层体的顶底层位里, 出现有喷流气爆碎屑岩夹层或扩容碎裂岩。

5 矿床同位特征

5.1 铅同位素特征

矿区容矿地层碳质页岩、泥灰岩等的全岩样品和黄铁矿、毒砂、辉锑矿等单矿物中的微量铅同位组成如表 3。在 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图上, 点群背落在零等时线的右侧 (图 7), 与太平洋锰结核和海洋沉积物微量铅同位素组成相近, 其中黄铁矿、毒砂、辉锑矿等单矿物的投影点明显靠近零等时线^[6], 显示成矿物质的深源性。地层碳质页岩和泥灰岩等全岩样点则明显与上述单矿物样点分离, 相对远离零等时线而与北美洲大陆附近海岸地区沉积物相似, 具大陆地壳铅同位素组成特点。金属硫化物和地层微量铅同位素组成的这种差异, 显示成矿物质与深源玄武岩浆的密切亲缘关系。

矿区碳质页岩和泥灰岩中的微量铅, 在与海底扩张有关的一些矿化地区数据在 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 及在 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 关系图 (据多伊等), 不论在铀铅图上或在钍铅图上, 样点皆投绘在红海含金属沉积物区内及其边缘或附近, 与大陆裂谷的红海含金属沉积物相似, 反映本矿床容矿的嵩灵组沉积环境为一扩张性质的裂陷海盆。

表 3 嵩溪宝山矿床铅同位测定结果

Table 6. Lead isotopic determinations of Baoshan (Songxi) deposit

样品名称	样品产状	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	备 注
黄铁矿	脉状	18.983	15.848	39.299	据陈大经等
毒砂	脉状	18.726	15.758	39.116	据陈大经等
辉锑矿	矿石	18.136	15.790	38.461	据陈大经等
辉锑矿	矿石	18.531	15.685	38.860	本所专题组
碳质页岩	全岩	19.037	15.677	39.049	据陈大经等
泥灰岩	全岩	18.932	15.638	38.949	据陈大经等

5.2 氢、氧、碳同位素特点

矿区玄武岩、矿层 (体) 脉石矿物石英、石英包裹体氢、氧同位测定结果, 玄武岩全岩 $\delta^{18}\text{O}$ 为 +6.57‰~+10.90‰, 石英 $\delta^{18}\text{O}$ 为 +13.80‰~+15.97‰, 石英包裹体流体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 -1.03‰~+2.51‰、 δD 为 -79‰~-105‰, 在 δD - $\delta^{18}\text{O}$ 关系图上, 点落在岩浆水区外的

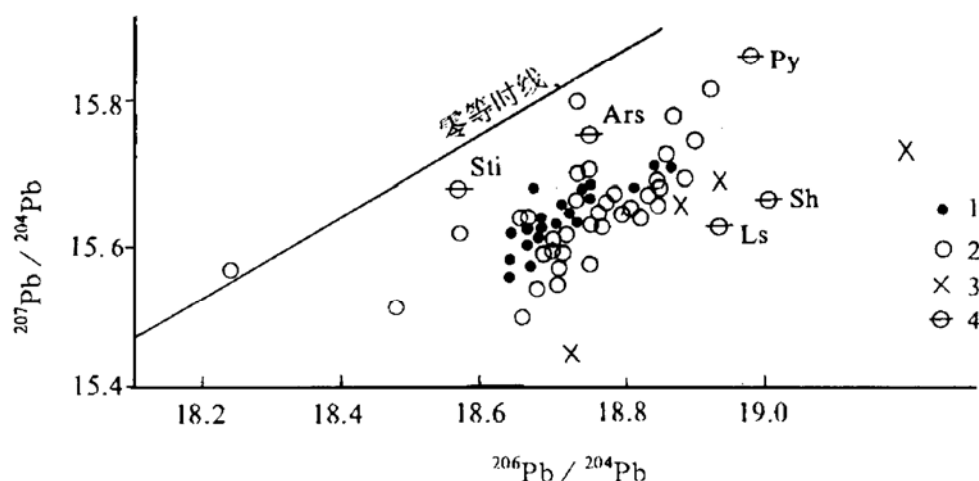


图 7 太平洋锰结核和海洋沉淀物铅同位素组成

1—太平洋中部；2—太平洋南部；3—海岸地区；4—宝山矿床；Py—黄铁矿；Ars—毒砂；Sti—辉锑矿；Sh—碳质页岩；Ls—泥灰岩

ad isotopic composition of manganese nodules and oceanic sediments from the Pacific Ocean.

1—Central Pacific Ocean；2—South Pacific Ocean；3—Coastal area；4—Baoshan deposit；Py—Pyrite；Ars—Ar-senopyrite；Sti—Stibnite；Sh—Carbonaceous shale；Ls—Marl.

热卤水区内，明显脱离岩浆水向外漂移。脉石矿物方解石碳同位素测定结果 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 为 -3.0% ，表现与海水碳酸盐 $\delta^{13}\text{C}$ 相近，反映成矿流体是一种海底热卤水。

5.3 硫稳定同位素组成特点

矿石硫化物硫同位素测定结果 $\delta^{34}\text{S}$ 为 -3.0% ~ $+14.3\%$ ，极差 17.3% ；黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 为 -0.8% ~ $+14.3\%$ ；毒砂 $\delta^{34}\text{S}$ 为 -1.6% ~ $+1.8\%$ ；辉锑矿 $\delta^{34}\text{S}$ 为 -0.7% ~ $+12.9\%$ ，一个闪锌矿 $\delta^{34}\text{S}$ 为 -3.0% 。硫同位素离散程度高、分布范围宽、与多数海底火山喷流沉积矿床相似，本区 $\delta^{34}\text{S}$ 分布直方图上的零值附近有不甚典型的塔式效应，显示岩浆硫和海水硫酸盐硫同位素的双重特点。

综上地质地球化学特征，嵩溪宝山矿床是一个产于具裂谷性质的裂陷槽内裂陷火山-沉积盆地中，海底基性火山喷流沉积成因矿床。

参 考 文 献

- 1 郭承基. 稀土地球化学演化, 第一版. 贵阳: 贵州人民出版社, 1985, 15, 442
- 2 陈光远. 成因矿物学与找矿矿物学, 第一版. 重庆: 重庆出版社, 1987, 305~306
- 3 中科院贵阳地化所编译. 简明地球化学手册, 第一版. 北京: 科学出版社, 1977, 76~80
- 4 靳是琴, 李鸿超. 成因矿物学概论 (下册). 长春: 吉林大学出版社, 1985, 33
- 5 刘宝珺, 曾允孚. 岩相古地理基础和工作方法, 第一版. 北京: 地质出版社, 1984, 314~315
- 6 E R Kanasewich (1973). 铅同位素组成数据的解释和地质意义 (梁学谦译). 金属矿床地质与勘查译丛, 1986, 第 9 辑, 20~25
- 7 R W 哈钦森 (1986). 层控矿床在地质历史中的地位 (孙海田、葛朝华等译). 国外矿床地质, 1988, (3).
- 8 林肇凤等. 湘中地区锑矿地质. 湘南地质, 1987, (3, 增刊): 116~141

MAIN GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF A SUBMARINE BASIC VOLCANIC EFFUSIVE SILVER-ANTIMONY DEPOSIT

Zheng Qingnian

(Guangdong Institute of Geology for Nonferrous Ore Resources, Guangzhou 510080)

Key words: rift-fault trough, basic lava, gas-liquid effusion, silver-antimony assemblage, effusive clastic rock

Abstract

The Baoshan deposit in Songxi, Meixian County, Guangdong Province, is an independent large-sized silver deposit with silver-antimony assemblage. Being of submarine basic volcanic effusive origin, it occurs in a rift-fault volcanic-sedimentary basin within a rift-fault trough of rift valley character. The host horizon, namely argillaceous-arenaceous rock of Lower Jurassic Songling Formation, is characterized by the existence of effusive fragments and high Ag and Sb abundances. The ore district is a NW-striking plunging anticline, and NNW-striking and SW-dipping F_1 is the ore-control growth fault. In the ore district, the major igneous rocks are synsedimentary submarine effusive basic lava — basalt and sed-pyroclastic rocks. Lava occurs mostly in multi-layer form, being olivine basalt-picritic basalt. δEu averages 1.29, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ of whole rock is 0.7088; the rocks are relatively close to continental rift alkaline basalt in chemical composition and REE contents. Silver-antimony orebodies occur along bedding in stratiform or stratoid form, and the principal orebody group adhering to the basalt bed extends persistently. Strata, basalt and ore bed are parallel to each other and folded synchronously, and the ores assuming primary laminated and banded structures consist mainly of pyrite, stibnite, arsenopyrite and sphalerite. Eight sorts of silver minerals have already been recognized; individual pyrite minerals are rich in As, Sb and Ag, $\text{Co}/\text{Ni} > 1$, and S/Se averages 510000. Ore-forming fluids are of $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^- - \text{HCO}^-$ type, with average salinity 7.89×10^{-2} . Hydrogen and oxygen isotopic compositions of inclusions show ore-forming fluids to be submarine hot brine and metalliferous temperature to be $130 \sim 190^\circ\text{C}$. The similarity in REE curves between basalt ore and individual pyrite mineral implies their cognate nature. Average pyroelectric coefficient of pyrite is $+374.6 \text{ mV}/^\circ\text{C}$, indicating Type P. Minor lead isotope compositions of pyrite, stibnite and arsenopyrite demonstrate their plutonic nature, whereas minor lead isotope compositions of shale etc. in host horizon exhibit crust-derivative nature. $\delta^{34}\text{S}$ values of sulfides in ores vary in the wide range of $-3.0\text{‰} \sim +14.3\text{‰}$ and hence show high degree of discretization, suggesting characteristics of a submarine volcanic effusive and sedimentary deposit.