

广东长坑大型-超大型金银矿床 的地球化学与成因^{*}

张 生 李统锦 王联魁

(中国科学院广州地球化学研究所, 广州)

提 要: 对长坑金银矿床的化学组成、同位素特征、流体性质、成矿物理化学条件和机理的系统研究表明, 与矿化最密切的硅质岩应主要为热液交代成因; 金、银矿体的稀土和微量元素特征既有共性又有异性; 矿床的硫、铅、碳、锶同位素组成特征反映它们均为壳源物质或沉积成因; 成矿流体相对富 Ca、K, 主要来自演化了的加热大气水或建造水; 矿床形成于中低温的热液条件, 矿化机制包括热液沸腾、流体混合与水岩反应。总之, 长坑矿床为微细浸染型金矿与碳酸盐岩交代型银矿构成的新颖矿床组合, 金、银矿体是统一的热液作用在不同的成矿环境和控矿条件下的产物, 它们与区域内的铅锌(银)矿床应属于一个成矿系列。

关键词: 金银矿床 热液交代 成矿机理 成矿系列 广东长坑

自 1962 年在内华达州卡林地区首次发现微细浸染型金矿床以来, 沉积建造中的同类型矿床(卡林型金矿)迅速得到勘探和开发, 采自卡林型金矿的贵金属曾一度占据美国黄金产量的首位。我国在 80 年代兴起卡林型金矿的找寻热潮, 目前在扬子地块周边的滇黔桂、秦岭和川西北已肯定了数十个规模不等的微细浸染型金矿^[1]。

长坑金银矿床于 90 年代初在粤发现, 并确认为广东的第一个微细浸染型金矿^[2,3]。其重要特点是大型金矿与超大型银矿各自独立的共处于同一滑覆构造带, 这在我国卡林型金矿床中可谓独树一帜。矿化特征与之有些类似的是美国的 Mercur 矿床, 该矿床除赋存浸染型金矿石外, 还发育被称作银燧石(Silver Chert)的银-贱金属矿化区, 产有贫铅的高品位银矿石^[12]。

1 矿床地质概况

研究区位于华南褶皱系粤中拗陷的三角洲上古生代断陷盆地的北西边缘, 其基底是寒武-粤陶系浅变质碎屑岩, 褶皱盖层为泥盆系—三叠系沉积碳酸盐岩和碎屑岩。除北东向恩(平)-新(丰)和东西向高(要)-惠(来)一级深大断裂贯穿本区外, 还发育东西向、北西向和北东向次一级断裂, 金银矿床与北东向石州断裂(富湾断裂组)关系密切。矿区范围未见岩浆岩, 但重磁异常显示, 深部可能存在燕山三期隐伏花岗岩体^[4]。

金、银矿体呈似层状或大透镜状, 赋存在上三叠统小坪组(T_3x)砂泥质碎屑岩与下石炭统梓门桥组(C_{1z})碳酸盐岩之间的断裂破碎蚀变带内, 在梓门桥组的层间破碎中还发育多层

^{*} 中国科学院博士点和黄金办科研基金资助项目(编号: 921133)

张生, 男, 1967 年生, 博士, 助理研究员, 主要从事成矿地球化学理论与实验研究。邮政编码: 510640

1997-04-08 收稿, 1997-11-05 修改回

银矿体,矿床具明显的构造控制和层位控制双重特征。虽然金、银矿体共处于同一断裂带内,但互不重叠和包容^[2,3],在空间上呈现北金南银、上金下银的矿化分带现象。

金、银矿石类型基本相同,主要为贫硫化物的硅化(硅质)岩矿石,占矿石总量的 60% 以上,次为硅化灰岩和硅化砂砾岩矿石。但二者的矿物组合存在较大差异,金矿石主要为黄铁矿、雄黄、雌黄、辉锑矿,次为闪锌矿、重晶石、萤石,金在黄铁矿和石英中以次显微自然金形式存在;银矿石的共生特征矿物则为黄铁矿、闪锌矿,次为方铅矿、辉锑矿、方解石、重晶石,偶见黄铜矿、毒砂,银矿物主要为含锑的硫盐,如深红银矿、黝锑银矿、硫锑铅银矿、辉锑银矿等^[2]。

2 硅化岩矿石的化学组成

对于长坑矿区硅质岩的成因,主要有热水沉积^[5,6]和热液硅化^[2,3]两种观点,我们的研究结果倾向于含矿硅质岩主要为热液渗透交代成因的硅化岩,但不排除部分原始热水沉积硅质岩角砾的混杂。

2.1 主要元素

长坑含矿硅化岩的岩石化学特征是含 SiO_2 较高(73%~95%),平均为 90%; Al_2O_3 的含量变化大(1.13%~10.44%),平均为 3.49%; Fe_2O_3 为 0.96%~6.25%,平均为 2.46%; $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$ 。表 1 为不同来源热液成因硅质岩的化学组成,在 Al-Fe-Mn 三角图中(图 1),卡林

表 1 热液成因硅质岩的化学成分(%)

Table 1. Chemical composition of hydrothermal siliceous rocks

序号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5
1	90.23	0.08	3.49	2.46	0.27	0.08	0.19	1.46	0.17	0.68	0.07
2	95.7	0.03	1.6	0.66	0.10	0.21	0.06	0.04	0.04	0.26	0.07
3	91.15	0.05	1.34	1.62		0.02	0.26	0.61	0.04	0.26	0.20
4	91.61	0.08	1.55	1.71	0.47	0.46	0.35	0.34	0.23	0.41	0.09

注:1—长坑矿床硅化岩 18 个样品^①^[5]平均;2—内华达卡林金矿硅化岩矿石^[13];3—美国北方大盆地卡林型金矿含金矿碧玉岩^[15]14 个样品平均;4—热水沉积燧石^[14]平均值

金矿硅化岩矿石位于正常水成沉积物区,因其为泥质白云岩被热液交代的产物^[13],故 Al 含量相对较高;热水沉积燧石^[14]则位于富 Fe 区内。长坑硅化岩 18 个样品^①^[5]及卡林型矿床含金碧玉岩 14 个样品^[15]的平均组成靠近两区的分界线,且前者的 12 个样品落在水成沉积物区或分界线附近,反映其继承了沉积围岩的成分特点,因而总体上与卡林型金矿的硅化岩具有类似的化学组成,呈现出相对富 Al、贫 Fe、Mn 的特征。

2.2 稀土元素

稀土元素含量分析^[7]^①表明,硅质金矿石的 ΣREE 为 $33.94 \times 10^{-6} \sim 91.86 \times 10^{-6}$,平均

① 张生,1996,广东长坑超大型金银矿床地球化学与成矿机制,博士学位论文

为 57.85×10^{-6} ; $\text{LREE}/\text{HREE} = 16.6 \sim 40.4$, 为轻稀土富集型, 有弱—中等的 Ce 和 Eu 负异常。硅质银矿石的稀土总量变化大, $\Sigma\text{REE} = 1.94 \times 10^{-6} \sim 45.18 \times 10^{-6}$, 平均为 15.84×10^{-6} ; $\text{LREE}/\text{HREE} = 4.7 \sim 11.8$, 轻稀土富集程度低于金矿石, 但重稀土含量却与金矿石较相近; 有较弱的 Ce 负异常, Eu 异常可正可负 ($\delta\text{Eu} = 0.65 \sim 1.25$), 这与银矿石含石英细脉有关, 因石英脉为正 Eu 异常^①。总之, 金、银矿石的稀土特征既有共性, 又有个性, 近矿灰岩的分布曲线总体上位于二者之间 (图 2)。采用 Grant 方程^[16]分析灰岩交代过程中的质量迁移状况, 发现金矿化时轻、重稀土发生分离, 即前者基本保持惰性, 后者被带出; 银矿化时轻、重稀土则一致带出, 从而造成金矿石比银矿石更富 LREE, 同时也说明金、银矿石是不同阶段和成矿条件下的产物。

成矿后期方解石脉的稀土总量很低^① (平均为 8.44×10^{-6}), 远低于与岩浆水有关的方解石, 而与加热围岩和大气水成因方解石^[17]相近。

2.3 微量元素

硅质金矿石的金品位平均为 11.74×10^{-6} , $\text{Au}/\text{Ag} = 1.1$, 以含较高的 As、Sb、Bi、Hg、Ba 为特征; 硅质银矿石的银品位平均为 174×10^{-6} , $\text{Au}/\text{Ag} = 1.8 \times 10^{-3}$, 以含有较高的 Zn、Pb、Cu 为特征, As、Sb、Hg、Ba 含量比金矿石略低或相近, 但仍为克拉克值的 2~3 个数量级^[7], 反映出金、银成矿之间既有联系, 又有差异。尽管金、银矿化出现明显分离, 但 Au、Ag 的地球化学异常却相吻合, 矿石的过渡元素分布型式也继承了围岩的特征^①, 进一步说明金、银富集作用代表具有不同演化阶段的统一的热液交代成矿事件。

3 稳定同位素特征与来源

3.1 硫同位素

综合有关测试数据 (表 2), 金矿石硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 变化大, 为 $-35.4\text{‰} \sim 8.8\text{‰}$, 平均约为 -2.4‰ ; 银矿石的 $\delta^{34}\text{S}$ 较为集中为 $-7.2\text{‰} \sim 7.3\text{‰}$, 平均值为 2.5‰ 。部分硫化物对给出与流体包裹体均一温度相似的同位素分馏温度 ($155 \sim 234^\circ\text{C}$)^[8], 说明成矿热液体系的硫同位素

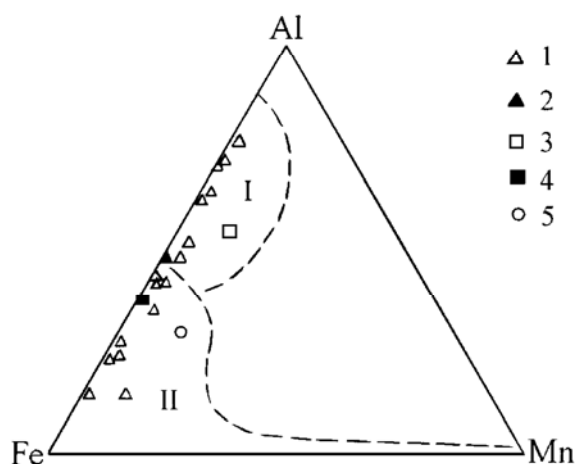


图 1 热液成因硅质岩的 Al-Fe-Mn 成分三角图

I 区为正常水成沉积物; II 区为热液 (热水) 沉积物^[14]

1—长坑矿床含矿硅化岩; 2—长坑矿床含矿硅化岩平均值; 3—卡林金矿硅化岩矿石; 4—卡林型矿床含金碧玉岩, 5—热水沉积燧石

Fig. 1. Al-Fe-Mn ternary diagram of hydrothermal siliceous rocks.

Domain I — Normal waterborne deposit; Domain II — Hydrothermal (hot water) deposit; 1—Ore-bearing silicified rock in the Changkeng ore deposit; 2—Average ore — bearing silicified rock in the Changkeng ore deposit; 3—Silicified rock and ore in the Carlin-type gold deposit; 4—Auriferous jasper rock in the Carlin-type gold deposit; 5—Hydrothermally deposited chert.

① 张生, 1996, 广东长坑超大型金银矿床地球化学与成矿机制, 博士学位论文

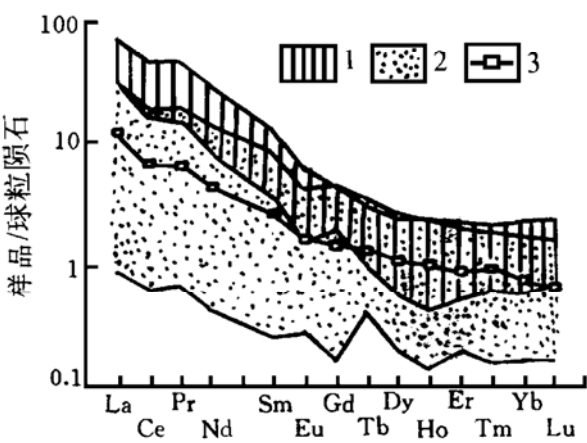


图 2 矿石和岩石的稀土元素球粒陨石标准化分布型式
1—硅质金矿石；2—硅质银矿石；3—灰岩平均值
Fig. 2. Chondrite-normalized REE patterns of ores and rocks.
1—Siliceous gold ore; 2—Siliceous silver ore;
3—Average limestone.

分馏达到部分平衡或近平衡。

根据大本模式^[18]在 Fe-O-S 体系的矿物稳定场上绘制了 200℃ 时黄铁矿和闪锌矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 等值线^[9]，发现在高氧逸度区 ($\lg f_{\text{O}_2} > -40$)，黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 对物理化学参数的变化很敏感，较小的 pH 和 f_{O_2} 波动即可使 $\delta^{34}\text{S}$ 从较大的负值变为较小的正值，这可以说明金矿石的硫同位素组成特征；随氧逸度降低，pH 和 f_{O_2} 对 $\delta^{34}\text{S}$ 的影响逐渐减弱，即 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化小并较为集中，这可能反映了银矿石的形成条件。经计算成矿热液的总硫同位素组成 ($\delta^{34}\text{S}_{\Sigma\text{S}}$) 大致取为 4‰~7‰ 左右是可行的，这说明硫主要来自沉积地层，因为源于岩浆和海水硫酸盐的硫，其 $\delta^{34}\text{S}$ 分别为 0‰ 和 20‰ 左右，而具中间值 (5‰~15‰) 的硫一般来自围岩中的浸染状硫化物或其它更老的矿床^[19]。

表 2 长坑金银矿床的同位素组成

Table 2. Isotope composition of the Changkeng gold-silver deposit

同位素	金矿体		银矿体		来源
	组成范围	样品数	组成范围	样品数	
$\delta^{34}\text{S}_{\text{硫化物}}/\text{‰}$	-5.1	1	-6.1~5.8	9	张生, 1996
	-35.4~2.3	9	0.3~5.2	14	[6]
	-6.6~8.8	12	-7.2~7.3	6	[8]
$\delta^{13}\text{C}_{\text{方解石}}/\text{‰}$	-1.9	1	-3.2~0.2	3	张生, 1996
			-0.6	1	[8]
$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{‰}$	4.9	1	0.1~0.8	4	张生, 1996
	-0.8	1			[6]
	-5.5~-4.9	2	-4.1~9.0	4	[8]
$\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{‰}$	-56	1	-48~-39	2	张生, 1996
	-46	1			[6]
	-59~-43	2	-59~-45	4	[8]
$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	18.737~19.537	2	18.687~18.871	4	张生, 1996 [6]
	18.580~19.885	4	18.820~18.891	5	
$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	15.736~15.745	2	15.682~15.941	4	
	15.672~15.824	4	15.848~15.914	5	
$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	38.930~39.177	2	38.991~39.854	4	
	38.700~39.184	4	39.579~39.786	5	

3.2 碳、氧同位素

方解石的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 -3.2‰~0.2‰，平均为 -1.14‰ (表 2)； $\delta^{18}\text{O}$ 为 8.6‰~18.6‰，平均为 14.43‰。石英脉的 $\delta^{18}\text{O}$ 值变化较小，在 9.6‰~13.0‰ 之间，平均为 11.90‰。

沉积碳酸盐和生物成因还原碳是地球上最重要的两个碳源, 其 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值分别为 0‰ 和 -25‰ 。方解石的 $\delta^{13}\text{C}$ 值靠近零值分布, 表明碳很可能主要来自碳酸盐地层; 下石炭统一个灰岩样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 分别为 0.6‰ 和 15.1‰ ^[8], 与热液方解石脉接近, 可为构成方解石的 CO_3^{2-} 来自碳酸盐地层的溶解作用提供佐证。另外, 硫化物包裹体的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 $-6.7\text{‰} \sim -17.0\text{‰}$ ^[8], 表明有机碳也参与了成矿。

3.3 铅、锶同位素

金、银矿石硫化物的铅同位素组成具有一定的差异 (表 2), 前者的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 范围较大 ($18.580 \sim 19.885$), 后者较富 ^{207}Pb 和 ^{208}Pb 。金、银矿石铅同位素比值的变化均超出正常铅的一般范围 (小于 $0.3\text{‰} \sim 1\text{‰}$), 在铅构造演化模式图中, 其组成位于上地壳演化线上方并分别呈线性排列, 表明矿石铅为壳源且富含放射性成因铅, 应为多阶段铅混合的产物。经计算金矿石中的放射性成因铅的源区年龄为 $1242 \times 10^6 \sim 1087 \times 10^6 \text{ a}$, 相当于震旦纪; 另一正常铅端员则在 $928 \times 10^6 \text{ a}$ 前已从其源区分离出来。银矿石的异常铅很可能是构成金矿石的铅与富 ^{207}Pb 和 ^{208}Pb 的放射性成因铅再混合的产物。

三件热液方解石的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值为 $0.71213 \sim 0.71657$, 平均为 0.7150 , 显著高于上地幔碳酸岩的最大 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值 (0.7060), 指示其为壳源。

4 成矿流体性质与成矿机理

4.1 流体成分与来源

流体成分具有以下特点: ① 金、银矿体石英和硫化物包裹体的液相组成相似, 阳离子含量顺序均为 $\text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$ 或 $\text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$, K^+/Na^+ 值为 $1.32 \sim 8.74$; 但方解石则是 $\text{Na}^+ > \text{K}^+$, K^+/Na^+ 为 $0.19 \sim 0.64$, 即成矿后期 Na^+ 增加; ② 阴离子主要有 SO_4^{2-} 、 Cl^- , Cl^-/F^- 为 $1.03 \sim 12.5$; ③ 气相成分以 H_2O 为主 (摩尔分数为 $0.890 \sim 0.996$), $\text{CO}_2 > \text{N}_2 > \text{CO} > \text{CH}_4 > \text{H}_2$ 。

在 Na-K-(Ca+Mg) 三角图中, 我国卡林型金矿的热液成分以相对富 Ca+Mg 和 Na、贫 K (小于 20‰) 为特征, 长坑金银矿的流体成分与之既有共同点, 又因相对富 K 而独具特色 (图 3)。而海水与现代海底喷流热液^[20]则位于富 Na 的一端, 与长坑矿床和卡林型金矿的流体成分迥异, 因而从流体化学上证明长坑金银矿床不可能主要由热水沉积 (即海底喷流) 的成矿机制所形成, 同时也反映出热液-碳酸盐岩反应和物质交换对于富 Ca 或 Ca+Mg 流体及长坑金银矿床的形成具有不可忽视的作用。

矿物包裹体水的氢、氧同位素组成介于大气降水和岩浆水之间, $\delta^{18}\text{O}$ 和 δD 值分别主要为 $-5.5\text{‰} \sim 9.0\text{‰}$ 和 $-59\text{‰} \sim -39\text{‰}$ (表 2), 总体上具有大气水与围岩进行同位素交换所造成的 ^{18}O 漂移特点, 故成矿流体应主要为演化了的下渗加热大气水或建造水。由于流体组成也位于大气水与岩浆水的混合区, 故值得注意是否有少量来自燕山三期花岗岩的岩浆水卷入, 成矿流体富 K 似不排除此种可能。

4.2 成矿物理化学条件

银矿体石英包裹体的均一温度范围为 $155 \sim 265\text{℃}$, 主要在 $175 \sim 235\text{℃}$ 之间, 盐度为 $7.7\text{wt}\% \sim 15.8\text{wt}\% \text{ NaCl}$; 闪锌矿和方解石的包裹体均一温度分别为 $175 \sim 205\text{℃}$ 和 155

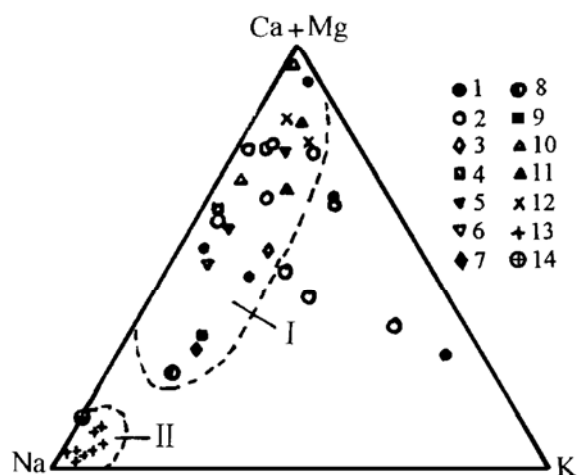


图 3 不同热液流体的 Na-K-(Ca+Mg) 成分三角图

I 区为中国卡林型金矿的成矿热液；II 区为现代海底喷流热液与海水。1—长坑金矿；2—长坑银矿；3—拉玛金矿；4—坪定砷金矿；5—李坝金矿；6—八卦庙金矿；7—紫木函金矿；8—丫他金矿；9—板其金矿；10—金牙金矿；11—高龙金矿；12—东北寨金矿；13—现代海底热液；14—海水

Fig. 3. Na-K-(Ca+Mg) ternary diagram of different hydrothermal fluids.

Domain I — Ore-forming hydrothermal solutions in Carlin-type gold deposits of China; Domain II — Modern submarine exhalative fluids and seawater; 1 — Changkeng gold deposit; 2 — Changkeng silver deposit; 3 — Laerma gold deposit; 4 — Pingding arsenic-gold deposit; 5 — Liba gold deposit; 6 — Baguamiao gold deposit; 7 — Zimudang gold deposit; 8 — Yata gold deposit; 9 — Banqi gold deposit; 10 — Jinya gold deposit; 11 — Gaolong gold deposit; 12 — Dongbeizhai gold deposit; 13 — Modern submarine hydrothermal solution; 14 — Seawater.

~225℃，盐度为 12.6wt%~12.9wt% NaCl 和 6.0wt%~12.3wt% NaCl。金矿体的石英颗粒很细，包裹体测温不易进行，仅报道两个石英样品的均一温度^[7]为 175℃和 234℃，黄铁矿等硫化物的爆裂温度为 230~410℃。总之，金、银的成矿温度比较接近，均为中低温条件，考虑压力校正取为 170~300℃是可行的，但主要集中在 200~260℃之间。

根据矿床中主要硫化物黄铁矿的稳定条件，确定 $\lg f_{O_2}$ 为 -32~-50；热液的总硫浓度 (ΣS) 为 10^{-5} ~ 10^{-2} mol/L，氯浓度为 1.0~2.7 mol/L；pH 为 4.5~6.3，早期流体偏酸性，后期向中性—弱碱性演化。

4.3 成矿机理

同一石英样品中气体包裹体与气液包裹体共存以及矿石的多期次碎裂支持流体发生过减压沸腾作用；金、银矿化分带可能与流体的混合有关；围岩和矿石的强烈硅化反映出热液的渗透交代作用对矿质富集的意义。为此，使用 PHREEQE 程序^[10,21]对 220~170℃之间的水岩相互作用进行了计算机模拟^①，取得以下认识和推论：① 降温过程中的水岩反应是矿质富集的有效机制，即灰岩的溶解可使热液 pH 上升和 f_{O_2} 下降，从而导致石英、黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、深红银矿、金的共沉淀；② 金、银沉淀量的比值为 4.6×10^{-3} ~ 5.4×10^{-3} ，与银矿体的实测 Au/Ag 比值 (2×10^{-3}) 相当吻合，表明银矿体的形成与水岩反应过程密切相关；③ 矿物的实际沉淀量或矿石品位受溶液饱和度与矿物沉淀速率的控制，金、银硅质矿石是在 H_2SiO_4 过饱

和状态下形成的，后者乃热液沸腾或热液与较冷流体混合而使温度骤降所致。

图 4 可以用来理解金、银的分离矿化作用，即较高温度下热液 pH 降低可使金、铁的浓度下降而析出金和黄铁矿，但银却可维持溶解状态；热液 pH 减小乃含矿热液与氧化势较高、温度较低的流体（如大气水）混合而被氧化 ($H_2S \rightarrow H_2SO_4$) 所致，在此过程中热液温度也发生陡降而使 SiO_2 快速析出。而在成矿断裂的较深部位，氧化性流体混入量小，水岩反应消耗 H^+ ，最终使 pH 逐渐上升，Fe、Pb、Zn、Ag 浓度均大幅下降，而 Au 浓度的变化却很小。因

① 张生，1996，广东长坑超大型金银矿床地球化学与成矿机制，博士学位论文

此，金、银矿体是统一的热液作用在不同成矿环境和控矿条件下的产物；由于 SiO_2 的溶解度与 pH 无关，故热液酸度和氧逸度变化过程中温度的降低是硅化和矿化的必要条件。

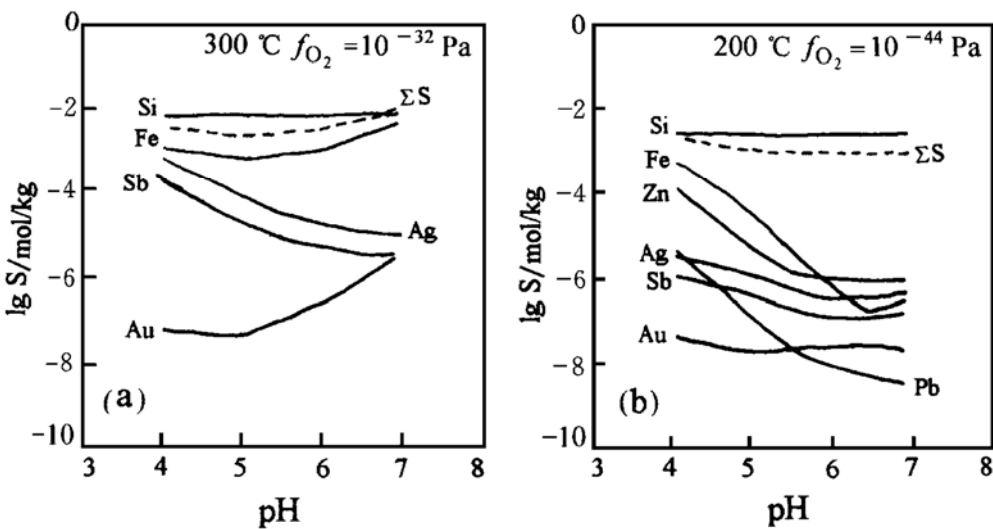


图 4 矿物组合的溶解度与 pH 关系

溶液分别与黄铁矿+金+深红银矿+石英组合 (a) 及黄铁矿+闪锌矿+方铅矿+金+深红银矿+石英组合 (b) 平衡

Fig. 4. Relationships between solubilities of mineral assemblages and pH values.

Solutions are in equilibrium with the pyrite+gold+pyrrhargyrite+quartz assemblage (a) and the pyrite+sphalerite+galena+gold+pyrrhargyrite+quartz assemblage (b) respectively

5 矿床成因探讨

通过上述矿床地球化学的综合研究，认为长坑金银矿床主要为热液交代成因，为层控和断裂控制型复合矿床，乃微细浸染型金矿与碳酸盐岩交代型银矿构成的矿床组合。尽管长坑矿区金、银矿体呈分离状态，但矿石类型、矿石成分、同位素特征、流体组成和成矿物理化学条件和机理等方面存在相似性和连续变化特征，表明金、银矿体是统一的热液作用在不同演化阶段和控矿条件下的产物，近年来金、银矿体已各自作为独立矿床来研究（分别称为长坑金矿和富湾银矿）。矿石 K-Ar 年龄^[7]相当于晚侏罗世—早白垩世，正处于燕山三期花岗岩侵入时间，故岩浆活动为金银成矿事件提供了热源，成矿物质主要来自深循环加热大气水或建造水对围岩的淋滤汲取，流体混合与水岩反应是主要的矿化富集机制。此外，金、银矿化在时空和矿化类型上具备共生性、连续性、分带性、互补性的成矿系列特征^[11]，矿区的局部地段金、银均可达到边界品位以及近年在矿区外围的鸡陵岗发现金银共生矿化体，表明矿化还具有过渡性和重叠性的特点。总之，金、银矿床与外围赋存在 T_3x/C_1z 界面上的银铅锌矿床（如鹿洲）成矿地质条件相似，从北东至南西呈现出 Au—Ag—Ag、Pb、Zn 的矿化分带特征（图 5），在成因上应属于金银铅锌铜成矿系列的一个部分，故应注意在燕山三期花岗岩体中及其周边继续找寻铜和金矿床，近期在长坑金银矿床西南方向又发现了铜铅锌矿床可为此提供佐证。

本研究的野外工作得到王秀璋、张湖、程景平研究员及广东省地质矿产局 757 大队杜均

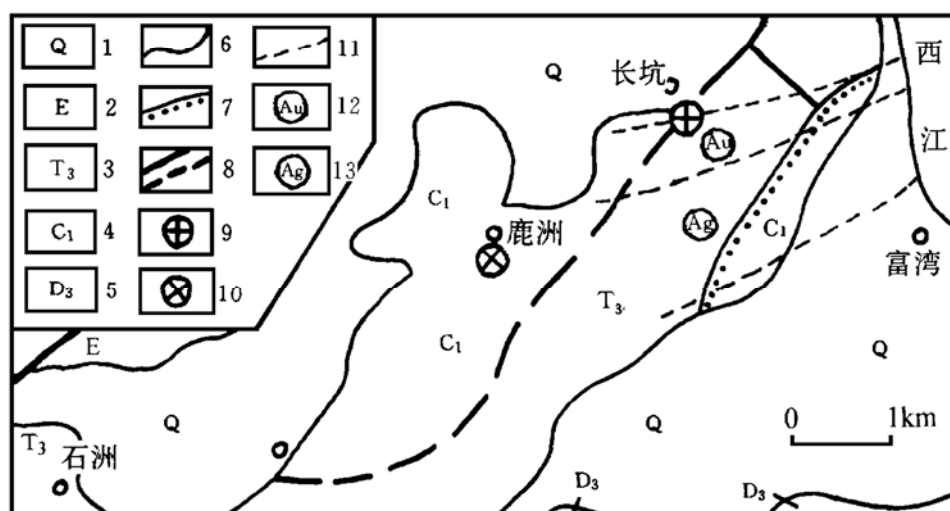


图 5 长坑地区矿床分布和分带图

(据杜均恩等, 1994 和 ZhangHu et al, 1996)

1—第四系; 2—第三系; 3—上三叠统; 4—下石炭统; 5—上泥盆统; 6—地质界线; 7—不整合线; 8—实测、推测断裂;
9—金银矿床; 10—银铅锌矿床; 11—矿带界线; 12—金矿带; 13—银矿带

Fig. 5. Geological sketch map showing distribution and zoning of ore deposits in Changkeng area.

1—Quaternary; 2—Tertiary; 3—Upper Triassic; 4—Lower Carboniferous; 5—Upper Devonian; 6—Geological boundary;
7—Unconformity; 8—Measured and inferred faults; 9—Gold-silver deposit; 10—Silver-lead-zinc deposit; 11—Boundary
of ore zone; 12—Gold ore zone; 13—Silver ore zone.

恩总工程师、张国恒工程师等同行的大力支持, 特此致谢。

参 考 文 献

- 1 刘东升, 谭运金, 王建业等. 中国的卡林型金矿床. 见: 刘东升主编. 中国卡林型(微细浸染型)金矿. 南京: 南京大学出版社, 1994, 1~36
- 2 杜均恩, 马超槐, 张国恒. 广东长坑金、银矿成矿特征. 广东地质, 1993, 8(3): 1~8
- 3 杜均恩, 马超槐. 长坑微细粒型金矿与银矿的地质特征. 见: 刘东升主编. 中国卡林型(微细浸染型)金矿. 南京: 南京大学出版社, 1994, 343~355
- 4 刘培森. 高明西安隐伏花岗岩体的圈定及意义. 广东地质, 1994, 9(2): 77~80
- 5 夏萍, 张湖, 王秀璋等. 粤西长坑金银矿区硅质岩的地质地球化学特征及成因探讨. 地球化学, 1996, 25(2): 129~139
- 6 夏萍, 程景平, 王秀璋. 粤西长坑金银矿床成因的硫、铅同位素地球化学研究. 地质地球化学, 1996, (1): 78~81
- 7 杜均恩, 马超槐, 魏琳. 广东长坑金、银矿地球化学特征. 广东地质, 1996, 11(1): 49~59
- 8 郭新生, 杜均恩. 广东长坑金银矿床流体包裹体及同位素地球化学研究. 矿产与地质, 1996, 10(3): 187~193
- 9 张生, 李统锦, 王联魁. 广东长坑金银矿床的成矿地球化学——硫同位素研究. 地球化学, 1997, 26(1): 78~85
- 10 杨友生, 李鹏九. PHREEQE 程序在 PDP-11/24 计算机上的移植. 中国地质科学院矿床地质研究所所刊, 1988, 第 1 号: 213~223
- 11 翟裕生. 成矿系列研究问题. 现代地质, 1992, 6(3): 301~307
- 12 Berger B R, Bagby W C. The geology and origin of Carlin-type gold deposit. In: Foster R P, ed. Gold metallogeny and exploration. Blackie and Son Ltd, 1991. 210~248
- 13 Radtke A S, Rye R O, Dickson F W. Geology and stable isotope studies of the Carlin gold deposit, Nevada. Econ. Geol., 1980, 75: 641~672

- 14 Zhou Y Z. Geology and geochemistry of Hetai gold field, Southern China. South China University of Technology Press, 1993
- 15 Holland P T, Beatty D W, Snow G G. Comparative elemental and oxygen isotope geochemistry of jasperoid in the Northern Great Basin: Evidence for distinctive fluid evolution in gold-producing hydrothermal systems. *Econ Geol*, 1988, 83: 1401~1423
- 16 Grant J A. The isocon diagram—a simple solution to Gresen's equation for metasomatic alteration. *Econ Geol.*, 1986, 81: 1976~1982
- 17 Moller P. The origin of ore-bearing solution in the Pb—Zn veins of the western Harz, Germany, as deduced from rare-earth element and isotope distribution in calcites. *Chem. Geol.*, 1979, 26: 197~215
- 18 Ohmoto H. Systematics of sulfur and carbon isotopes in hydrothermal ore deposits. *Econ. Geol.*, 1972, 67: 551~579
- 19 Hoefs J. Stable isotope geochemistry. New York: Springer-Verlag, 1980.
- 20 Hannington M D, Herzig P M, Scott S D. Auriferous hydrothermal precipitates on the morden seafloor. In: Foster R P, ed. Gold metallogeny and exploration. Blackie and Son Ltd, 1991. 249~282
- 21 Parkhurst D L, Thorstenson D C, Plummer L N. PHREEQE—A computer program for geochemical calculations. U. S. Geol. Surv. Water Res., Invest. Rept. 1980, 80—96.
- 22 Zhang Hu, Xie Yanbao. The horizontal zoning in Changkeng ore area, Guangdong Province, China. In: Tu Guangzhi ed. Progress in geochemistry. Zhongshan University Press, 1996. 53~62

GEOCHEMISTRY AND GENESIS OF THE CHANGKENG LARGE-SUPERLARGE GOLD-SILVER DEPOSIT, GUANGDONG PROVINCE

Zhang Sheng, Li Tongjing and Wang Liankui

(Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640)

Key words: gold-silver deposit, hydrothermal metasomatism, ore-forming mechanism, metallogenic series, Guangdong Province

Abstract

In the Changkeng gold—silver deposit, SiO_2 and Al_2O_3 contents of mineralized silicified rocks, whose compositions are distributed in both hydrothermal and hydrogenous regions of the Al-Fe-Mn ternary diagram, are 73% to 95% and 1.13% to 10.44%, respectively. The siliceous gold ores with ΣREE contents of 33.94×10^{-6} to 91.86×10^{-6} are distinctly enriched in LREE, while the LREE enrichment of siliceous silver ores with ΣREE contents of 1.94×10^{-6} to 45.18×10^{-6} is lower. Both gold and silver siliceous ores are rich in As, Sb, Bi, Hg and Ba. In addition, Zn, Pb, Cu contents of the silver ores are also high. The transitional element patterns of ores are similar to those of country rocks. The $\delta^{34}\text{S}$ values of sulfides in gold ores vary widely from -35.4‰ to 8.8‰ with an average of -2.4‰ , but the $\delta^{34}\text{S}$ values of sulfides in silver ores are comparatively concentrated, varying from -7.2‰ to 7.3‰ , with

an average of 2.5‰. The calculated sulfur isotopic composition of the hydrothermal solution is 4‰ to 7‰, and the $\delta^{13}\text{C}$ values of calcite are -3.23‰ to 0.25‰ . The gold ores are enriched in ^{206}Pb with a wide range of $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratio from 18.580 to 19.885, whereas the silver ores are relatively enriched in ^{207}Pb and ^{208}Pb , with the $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios being 15.682 to 15.941. Both kinds of ore lead are anomalous lead enriched in radiogenic lead. The sulfur, carbon and lead isotopes of the ore deposit are crust materials or of sedimentary origin. The $\delta^{18}\text{O}$ and δD values of the ore-forming solutions derived from evolved heated meteoric waters of formation waters are -5.5‰ to 9.0‰ and -59‰ to 39‰ . The ore-forming solutions mainly contain K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- and SO_4^{2-} with salinity of 6.0wt % to 15.8wt % NaCl, and the mineralizing temperatures are between 170°C and 300°C. The metallogenic mechanisms include solution boiling, mixing of fluids, and water-rock interaction. Both siliceous gold ore and silver ore are formed by hydrothermal percolating metasomatism and filling, and hence are products of a unified hydrothermal event in different metallogenic environments and under different ore-controlling conditions. The gold-silver deposit and the Ag-Pb-Zn deposit in this region belong to the same metallogenic series.

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