

14-19

浙江东部火山岩型银矿床地球化学特征

p618-520.4

耿文辉

(中国有色金属工业总公司矿产地质研究院·桂林市·541004)

浙东火山岩型银矿床属浅成中—低温火山热液成因。与成矿有关的火山岩、次火山岩具有富硅、贫铁、高钾、低钠特点。稀土元素表明,成矿火山岩与次火山岩是由地壳部分熔融形成的。同位素组成具岩浆成因特征。

关键词 火山岩 浅成中—低温银矿床 地球化学 浙江东部

浙江东部火山岩型银矿床产于江(江
山)—绍(绍兴)深断裂以东的火山岩区,本文
重点讨论天台县大岭口银矿床和嵊县毫石银
矿床的地球化学特征

1 矿床地质简况

浙东火山岩型银矿床位于华南地槽褶皱系宁波—丽水隆起的新昌—定海断隆中。矿床赋矿围岩为一套中生代晚侏罗世和早白垩世的火山碎屑岩—火山碎屑沉积岩,其地层层位为西山头组、九里坪组和朝川组。次火山岩体(脉)较发育,其中英安玢岩、花岗斑岩和霏细斑岩与矿床在时间上、空间上关系密切。矿床受断裂和火山机构控制,富矿体主要产于断裂和火山构造形成的爆破角砾岩及破碎带中。矿体呈脉状、复脉状,连续性好,产状较稳定。矿化垂直分带明显,上部银、中部银铅锌、下部铅锌铜。矿物组合为黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、自然银、银的硫化物和硫酸盐矿物。围岩蚀变有硅化、绿泥石化、绢云母化、伊利石化、玉髓化、菱锰矿化、冰长石化(毫石)。

根据流体包裹体测温结果,其成矿温度为 195~250℃,成矿压力为 350~500bar,属浅成中—低温热液矿床。

2 与成矿有关的元素地球化学特征

2.1 常量元素

与成矿有关的火山岩、次火山岩类的岩石化学(表 1),具有富硅、贫铁、高钾、低钠的特征,其 SiO₂ 含量(72.39%~80.13%)与中国流纹岩或花岗岩的含量(72.06%,黎彤,1963)相比较,本区较高。与浙江东南部火山岩相比,本区具酸度大的特点。据计算,里特曼指数(δ 值)平均为 1.4,小于 3.3,为钙碱性岩类。

火山岩、次火山岩有一个共同的特征,即 K₂O ≫ Na₂O,其 K₂O/Na₂O 值 3.4~54,致使该类矿床出现大面积的钾化蚀变,表现呈面型的绢云母化、伊利石化及呈脉状产出的冰长石化,构成冰长石—绢云母型⁽²⁾浅成中—低温热液贵金属矿床的蚀变矿物组合。

菱锰矿化是较重要的找矿标志。经 X 射线衍射分析,菱锰矿中 Fe、Ca 的含量高低与 Ag 成矿有一定关系。表 2 列出了菱锰矿中 X 射线衍射分析结果。大岭口矿床由浅至深,FeCO₃ 含量逐次减少,银则由高品位到低品位。毫石矿床 I 矿带是主要矿体的产出部位,Ag 矿化较好,其菱锰矿中 FeCO₃ 含量为 8%。其他矿带银矿体很小或矿化很弱,其菱锰矿中不含量 FeCO₃ 或含较多的 CaCO₃。由

本文 1995 年 3 月收到,张旭明编辑。

此看出,菱锰矿中 $FeCO_3$ 的含量高对银成矿有利,相反,如果菱锰矿较纯或含有 $CaCO_3$ 时则对 Ag 成矿不利。

表 1 火山岩型银矿床围岩岩石分析数据(%)

| 矿床 | 岩类 | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | 烧失 | 总量 | 资料 | |
|-----|---------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|--------|------|----------|
| 毫石 | 熔结凝灰岩 | 72.39 | 0.25 | 12.32 | 1.40 | 0.74 | 0.80 | 0.28 | 1.38 | 1.80 | 5.34 | 0.06 | 2.57 | 99.83 | 本次研究 | |
| | 角砾熔结凝灰岩 | 76.13 | 0.22 | 11.09 | 1.13 | 0.70 | 0.32 | 0.15 | 1.38 | 0.21 | 6.80 | 0.06 | 1.73 | 99.92 | | |
| | 晶屑熔结凝灰岩 | 72.58 | 0.36 | 13.19 | 1.42 | 0.79 | 0.12 | 0.28 | 1.73 | 1.10 | 6.50 | 0.08 | 2.12 | 100.27 | | |
| 大岭口 | 凝灰岩 | 76.59 | 0.22 | 12.19 | 0.98 | 1.07 | 0.34 | 0.20 | 0.29 | 0.12 | 5.26 | 0.04 | 2.25 | 99.95 | | |
| | 晶屑凝灰岩 | 80.13 | 0.27 | 9.5 | 1.35 | 0.82 | 0.42 | 0.29 | 0.52 | 0.09 | 3.62 | 0.06 | 2.34 | 99.41 | | |
| | 大口角砾岩 | 75.71 | 0.27 | 12.16 | 1.19 | 0.62 | 0.11 | 0.21 | 0.73 | 0.16 | 6.18 | 0.08 | 2.01 | 99.43 | | |
| | 角砾凝灰岩 | 77.57 | 0.24 | 12.33 | 1.00 | 0.55 | 0.11 | 0.22 | 0.35 | 0.1 | 5.44 | 0.08 | 2.02 | 100.01 | | |
| 口匡 | 流纹斑岩 | 74.84 | 0.26 | 13.41 | 1.16 | 0.50 | 0.08 | 0.28 | 0.13 | 1.06 | 6.30 | 0.03 | 3.02 | 99.78 | | 黎彤, 1962 |
| | 花岗岩 | 71.27 | 0.25 | 14.25 | 1.24 | 1.62 | 0.08 | 0.80 | 1.62 | 3.79 | 4.03 | 0.16 | 0.89 | 100 | | |
| 浙东 | 流纹岩 | 72.06 | 0.29 | 13.40 | 1.81 | 2.11 | 0.08 | 0.28 | 0.75 | 3.47 | 4.55 | 0.10 | 0.83 | 100 | | 文献 [1] |
| | 酸性熔岩 | 74.32 | 0.20 | 12.90 | 1.36 | 0.93 | 0.06 | 0.21 | 0.45 | 3.20 | 5.12 | 0.03 | | 98.78 | | |
| | 酸性火山碎屑岩 | 73.04 | 0.28 | 13.48 | 1.14 | 1.13 | 0.07 | 0.46 | 0.95 | 3.32 | 4.62 | 0.10 | | 98.59 | | |

表 2 菱锰矿 X 射线衍射分析结果(%)

| 矿床 | 样品产状 | 编号 | MnCO ₃ | FeCO ₃ | CaCO ₃ | Ag 品位及规模 |
|-----|--------------------|----------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| 大岭口 | 地表采场 | D-16 | 85 | 15 | | 高品位 ↓ 低品位 |
| | PD ₁ 坑道 | D1-1-2 | 90 | 10 | | |
| | PD ₂ 坑道 | D165-1 | 92 | 8 | | |
| | 0 米以下钻孔中 | D12-27-2 | 99 | | 1 | |
| 毫石 | I 矿带 | Hs-7 | 92 | 8 | | 规模大 ↓ 规模小 |
| | I 矿带 | Hs-20 | 93 | 7 | | |
| | I 矿带 | H2-2-2 | 97 | | 3 | |
| | IV 矿带 | H4-7 | 62 | | 38 | |

样品由本院 X 射线组测试。

2.2 银元素的存在形式

显微镜鉴定和电子探针测试,银主要以银的硫化物、硫盐形式产出,次为自然银。表 3 是银矿物的电子探针分析结果。这些银矿物大部分赋存在金属硫化物的微裂隙中或边缘,呈微脉状切穿寄生主矿物。另一种赋存方式为交代金属硫化物(主要是方铅矿)型,形

成包裹结构、交代结构以及浸蚀结构。

2.3 成矿元素间的相关关系

应用 R 型聚类分析,对大岭口、毫石矿床与成矿有关的元素进行统计分类(图 1、2),结果表明与 Ag 关系密切的元素有 Au、Pb、Zn、Cu、Sb、Mn、(As、B、Ni)等。这组元素组合的地质意义十分明显,两矿床中 Pb+Zn

达 3.3% 以上,与 Ag 有着密切的成因联系。Cu、Sb 与 Ag 组成银的硫盐矿物,如硫铜锑银矿、深红银矿、银黝铜矿等。Mn 呈含 Fe 的

菱锰矿产出,一般起地球化学屏障作用,促使 Ag、Pb、Zn 元素沉淀。

2.4 稀土元素

表 3 贵金属矿物电子探针结果(%)

| 矿床 | 矿物 | Ag | S | Sb | Cu | Fe | Pb | Zn | 测试单位 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|----------|
| 大岭口 | 深红银矿 | 53.91 | 23.90 | 17.20 | | | | | 南大分析中心 |
| | 银黝铜矿 | 17.68 | 24.48 | 38.22 | 25.83 | 2.19 | 1.10 | | |
| | 自然银 | 91.41 | 0.06 | | 0.23 | 0.34 | 0.24 | | |
| | 自然银 | 92.33 | 1.23 | | 0.09 | 0.05 | 1.31 | 0.11 | |
| 毫石 | 硫铜锑银矿 | 81.55 | 7.86 | 5.67 | 4.92 | | | | 本院探针组 |
| | 硫铜锑银矿 | 79.33 | 9.23 | 6.31 | 5.14 | | | | |
| | 硫铜锑银矿 | 77.95 | 9.82 | 7.07 | 5.16 | | | | |
| | 辉银矿 | 82.26 | 13.90 | | 4.84 | | | | |
| | 含银黝铜矿 | 10.57 | 27.81 | 25.72 | 31.92 | | | 3.93 | 中国地大测试中心 |
| | 银黝铜矿 | 19.18 | 21.38 | 30.44 | 22.92 | 1.19 | | 4.90 | |
| 石 | 辉银矿 | 87.70 | 7.18 | | 5.14 | | | | 本院探针组 |
| | 自然银 | 92.43 | 7.57 | | | | | | |
| | 自然银 | 92.52 | 7.48 | | | | | | |
| | 硫铜银矿 | 58.53 | 18.51 | 1.66 | 19.07 | 2.23 | | | |

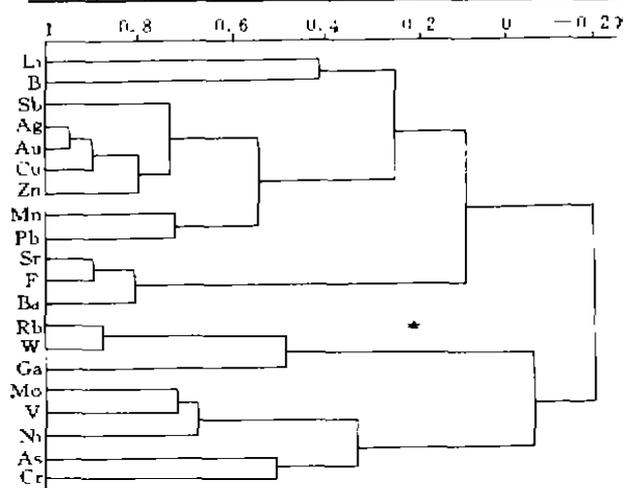


图 1 毫石矿床微量元素谱系图

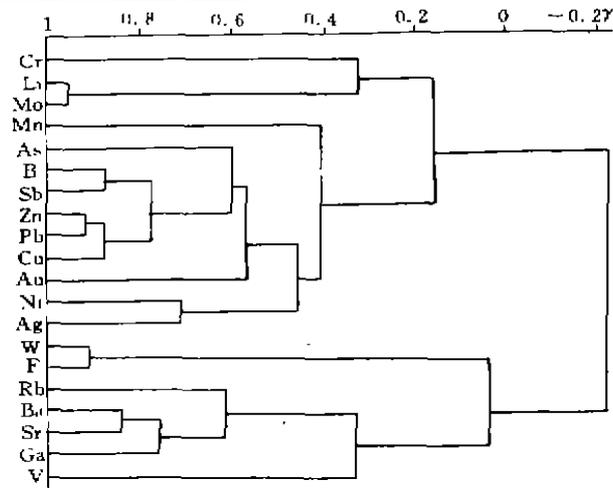


图 2 大岭口矿床微量元素谱系图

大岭口、毫石两矿床火山岩及次火山岩的球粒陨石标准化模式图(图 3)表明,火山岩—次火山岩具有富集型稀土配分模式,LREE 富集,使分布曲线呈现右倾斜。流纹质凝灰岩、中酸性—酸性次火山岩分布曲线均有明显的 Eu 亏损,具地壳硅铝层部分熔融

形成的花岗质岩类特征^[3]。中性次火山岩—英安玢岩的配分模式也呈富集型,分布曲线左高右低,由于中性岩含有多量的 Ca,使 Eu 较富集,几乎不存在 Eu 负异常。由此看出矿床的火山岩、次火山岩的稀土元素在火山作用过程中分异演化较好。

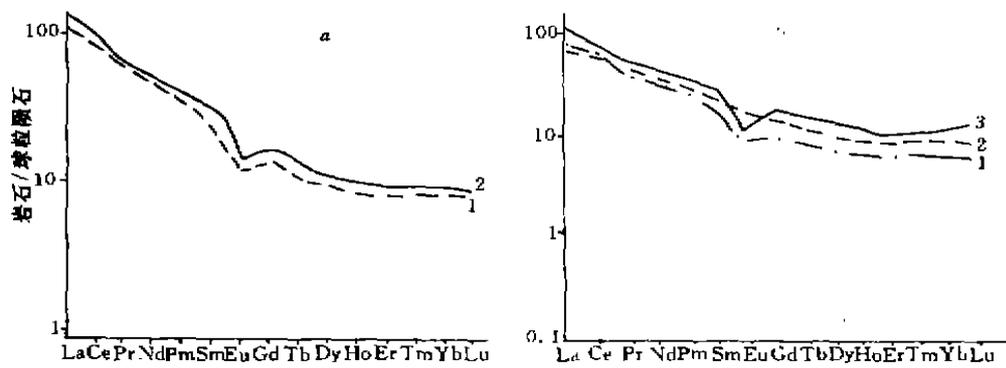


图3 火山岩、次火山岩稀土元素配分模式图^①

a—大岭口矿床,1—流纹质凝灰岩,2—流纹斑岩,3—霏细斑岩;b—毫石矿床,1—流纹质凝灰岩,2—英安玢岩,3—花岗闪长玢岩

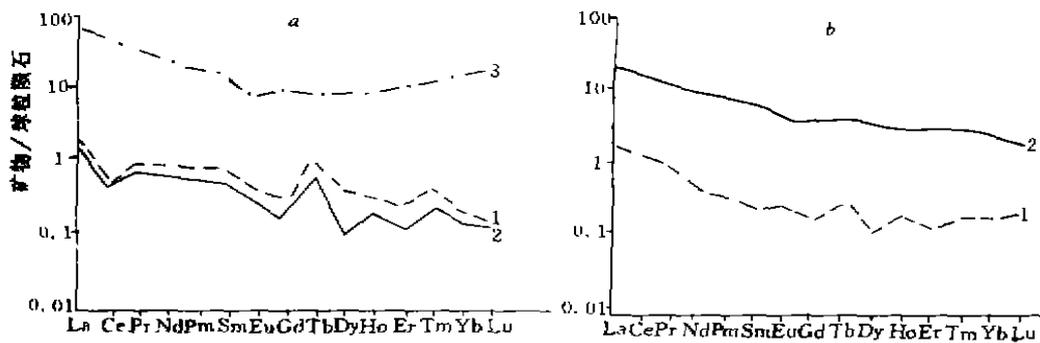


图4 单矿物稀土元素配分模式图^①

a—大岭口矿床,1—方铅矿,2—闪锌矿,3—黄铁矿;b—毫石矿床,1—方铅矿,2—矿石

表4 火山岩型热液矿床硫同位素组成

| 矿床 | 测定矿物 | 样数 | $\delta^{34}\text{S}\%$ 变化范围 | $\delta^{34}\text{S}\%$ 平均值 | 矿床平均值(X) | 极差(R) | 标准差(σ) | 资料来源 |
|-----|------|----|------------------------------|-----------------------------|----------|-------|-----------------|------|
| 大岭口 | 方铅矿 | 4 | 1.4~3.0 | 2.33 | 3.08 | 14.16 | 2.00 | 本次研究 |
| | 闪锌矿 | 3 | 3.1~7.1 | 5.03 | | | | |
| | 黄铁矿 | 3 | 0.77~7.30 | 0.37 | | | | |
| | 方铅矿 | 10 | 2.4~3.34 | 3.02 | | | | |
| | 闪锌矿 | 9 | 5.62~8.74 | 6.15 | | | | |
| 毫石 | 方铅矿 | 6 | -7.8~5.7 | 1.13 | 3.20 | 15.2 | 1.92 | 本次研究 |
| | 闪锌矿 | 9 | -0.1~4.6 | 2.96 | | | | |
| | 黄铁矿 | 7 | 4.6~7.4 | 5.79 | | | | |

本次研究样品由桂林矿地院同位素室测定。

①稀土元素数据由湖北实验地质研究所测试。

单矿物稀土元素配分分布模式见图 4, 其分布曲线均为 LREE 富集型, 与火山岩、次火山岩的分布曲线有一定的相似性, 右倾斜, 但较平缓。大岭口矿床黄铁矿、毫石矿床的 Ag 矿石具有轻微的 Eu 亏损现象。这表明矿石的稀土元素与围岩的稀土元素可能具有相同来源和演化趋势, 但成矿物质是在火山喷发期后, 从火山岩浆中分离出来形成的热液, 因此, 矿石及单矿物的稀土元素分异演化程度较低。

3 同位素地球化学特征

3.1 硫同位素

矿床硫同位素数据列于表 4。其平均值靠近 0 值, 标准差较小, 离散程度不高。

对于硫的来源, 许多学者用不同的方法讨论和确定成矿的同位素组成, D. M. Pinckney 等用共生矿物对方法对硫同位素数据统计研究, 建立回归方程, 确定了密西西比河谷型矿床的硫源。魏元柏^①利用该方法, 以方铅矿、闪锌矿为矿物对, 建立了大岭口硫同位素来源的回归方程, 计算得到 $\delta^{34}\text{S}_{\text{ZS}}$ 为 4.86‰, 笔者用同样的方法和矿物对统计, 得到毫石矿床 $\delta^{34}\text{S}_{\text{ZS}}$ 值为 2.1‰。因此认为浙东火山岩型银矿床的硫可能来源于地壳深部的岩浆。

3.2 碳、氢、氧同位素

碳同位素组成见表 5, $\delta^{13}\text{C}$ 值在 -3.82‰ ~ -9.88‰ 之间。大岭口矿床平均为 -5.28‰, 毫石矿床为 -5.14‰, 较均一, 碳同位素分馏较彻底。据福尔资料^[4], 岩浆—热液成因碳酸盐的碳同位素组成 $\delta^{13}\text{C}$ 值在 -5‰ ~ -8‰, 火山气体中 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值在 -3‰ ~ -5‰, 因此本区矿床碳同位素组成处于火成岩中氧化态碳和岩浆热液矿物包裹体中 CO_2 的同位素组成范围内, 具有岩浆成因碳的较典型特征, 说明成矿流体中的碳来源于火山岩浆作用。

流体包裹体氢、氧同位素组成测定表明, 大岭口矿床主成矿期成矿流体以岩浆水为主

导, 其 δD 值为 -73.7‰ ~ -77.0‰, $\delta^{18}\text{O}$ 为 +9.36‰ ~ +10.25‰, 计算 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 范围为 +3.16‰ ~ +4.04‰, 稍有大气降水混入。毫石矿床主矿体成矿流体的 δD 值为 -84.9‰ ~ -87.4‰, $\delta^{18}\text{O}$ 为 +8.21‰ ~ +11.97‰, 计算 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值平均为 -2.91‰, 向大气降水漂移明显, 为岩浆和大气降水混合体系。

表 5 火山岩型银矿床碳同位素组成

| 矿床 | 样号 | 测定矿物 | $\delta^{13}\text{C}$ 及范围(‰) | 资料来源 |
|-----|---------|------|------------------------------|------|
| 毫石 | CT-1 | 菱锰矿 | -4.75 | 本次研究 |
| | CT-4 | 菱锰矿 | -3.82 | |
| | CT-2 | 菱锰矿 | -4.47 | |
| | CT-3 | 菱锰矿 | -9.86 | |
| | CT-6 | 菱锰矿 | -4.32 | |
| | H2-2-2 | 菱锰矿 | -4.62 | |
| 大岭口 | | 菱锰矿 | -4.64 ~ -5.82 | 魏元柏 |
| | | 菱锰矿 | -4.93 ~ -6.13 | 封益斌 |
| | 大-16 | 菱锰矿 | -4.19 | 本次研究 |
| | 大-165-1 | 菱锰矿 | -4.89 | |
| | D1-1-2 | 菱锰矿 | -5.56 | |

本次研究样品由桂林矿地院同位素室测定。

3.3 成矿时代

矿床成矿时代主要为燕山晚期(表 6), 大岭口矿床的矿脉切穿了 78Ma 前形成的次火山岩—霏细斑岩, 而又被萤石石英脉(74~76Ma)切穿, 所以成矿年龄应为 76~78Ma 之间。毫石矿床的矿脉充填在英安玢岩裂隙中, 与花岗斑岩在空间上有着密切的关系。同样又受到了后期萤石石英脉的切割, 其萤石石英脉用裂变迹法测得成矿年龄为 79Ma; 因此该矿床的成矿年龄应为 79~96Ma。

① 魏元柏, 浙江天台县大岭口银铅锌矿床硫化物的标型特征及成矿条件, 南京大学研究生论文, 1986。

表 6 浙东大岭口、毫石矿床成矿年龄结果

| 矿床 | 产 状 | 测定样品 | 测定方法 | 年龄值(Ma) | 资料来源 |
|-------------|-------------|------|--------|---------|-----------|
| 大 岭 口 | 被矿体切穿的霏细斑岩 | 全岩 | K-Ar 法 | 95 | 芮行健(1983) |
| | 被矿体切穿的霏细斑岩 | 全岩 | K-Ar 法 | 78 | 浙江有色二队 |
| | 赋矿的流纹质熔结凝灰岩 | 全岩 | K-Ar 法 | 85 | 浙江有色二队 |
| | 切割矿脉的萤石石英脉 | 萤石 | 裂变迹法 | 76 | 本次研究 |
| | 切割矿脉的萤石石英脉 | 萤石 | | 74 | 本次研究 |
| 毫 石 | 赋矿的英安玢岩 | 全岩 | K-Ar 法 | 105 | 本次研究 |
| | 与矿脉共生的花岗斑岩 | 全岩 | K-Ar 法 | 96 | 本次研究 |
| | 切割矿脉的萤石石英脉 | 萤石 | 裂变迹法 | 79 | 本次研究 |

4 结语

对银成矿有利的火山一次火山岩具有富硅、贫铁、高钾、低钠特征。菱锰矿化与 Ag 矿化关系密切,菱锰矿中 FeCO_3 的含量多,则 Ag 矿化好,反之则矿化不利。矿床的微量元素组合为 Ag、Au、Pb、Zn、Cu、Mn、Sb 等。这些特征可以作为浙江东部火山岩型银矿床的找矿标志。

银成矿与火山演化有着密切的关系,其成矿流体以岩浆水为主,并有大气降水混入,形成混合流体,硫质、碳质等均来自火山岩浆,因此,浙江东部火山岩区的火山岩型银矿

床应为中生代燕山晚期浅成中—低温火山岩浆混合热液贵金属矿床。

本文在野外工作期间曾得到陈大经、杨佑等同仁的帮助,在此表示感谢。

参考文献

- 1 浙江省地质矿产局,浙江省区域地质志,北京:地质出版社,1989.
- 2 Daniel, O. Hayha 等,李赋屏等译,火山岩为主岩的浅成低温热液贵金属矿床的地质、矿物和地球化学特征,金属矿床地质与勘查译丛,1990(15).
- 3 陈德潜等,实用稀土元素地球化学,北京:冶金工业出版社,1990.
- 4 福尔, G., 同位素地质学原理(中译本),北京:科学出版社,1983.

Geochemical Characteristic of Volcanic Type Ag Mineral Deposit in Eastern Zhejiang

Geng Wenhui

The volcanic type Ag mineral deposit belongs to hypabyssal medium-low temperature volcanic hydrothermal genesis. Volcanic rocks and subvolcanic rocks related with metallogenesis are characteristic of rich Si, poor Fe, high K and low Na. It is indicated by studying REE that they are formed by partial melting of the crust, and that isotopic combination is characteristic of magmatic genesis.

Key words: volcanic rock, hypabyssal medium-low temperature mineral deposit, geochemistry, Eastern Zhejiang

