

延边地区与火山岩-斑岩有关的金（铜银）矿成矿地质特征及其成矿模式

Geological and Geochemical Characteristics and Model of Au(Cu, Ag) Deposits Associated with Volcanic Rocks and Porphyry in Yanbian Region, Jilin Province

柴社立 周永昶 孟庆丽

(吉林大学地球探测科学与技术学院, 吉林 长春 120026)

Chai Sheli, Zhou Yongchang, Meng Qingli

(Faculty of Geoprospection science and technology, Jilin University, Changchun 120026, Jilin, China)

摘 要 延边地区与火山岩-斑岩有关的金（铜银）矿床可分为浅成低温热液型金（银）矿和浅成中温斑岩-热液型金（铜）矿两个亚类。浅成低温热液型矿床的特征矿物组合为黄铁矿、石英、方解石、冰长石和重晶石，成因上与高钾的钙碱性火山岩-斑岩（137~177 Ma）有关，成矿流体属浅成低温氧化流体，在成矿过程中大气降水混入的程度大。浅成中温斑岩-热液型矿床的特征矿物组合为黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿和石英，成因上与钙碱性火山岩-斑岩（130~140 Ma）有关，成矿流体属浅成中温还原流体，在成矿过程中大气降水混入的程度相对较小。由于火山岩-斑岩的来源深度不同，斑岩体在矿床的形成中所起的作用不同，成矿流体的性质不同，造成金矿床的类型不尽相同。

关键词 火山岩-斑岩 金（铜银）矿床 成矿流体 成矿模式

吉林延边地区位于华北板块北缘东段，古亚洲构造域与环太平洋构造域的交汇处。该区是我国环太平洋带中重要的铜金矿化集中区之一，区内金矿床、矿化点近百余处。本区独特的成矿环境，造成金矿床类型多样，有金铜矿、铜金矿、金银矿、金钨矿等。从时空关系和成因上讲，这些金矿床均与中生代的火山岩-斑岩有着密切的关系，其形成受区域地质构造和火山成因构造的联合控制。自东向西代表性的矿床有农坪和小西南岔金铜矿床、刺猬沟和五凤一五星山金（银）矿床、闹枝和九三沟铜金矿床等。对与火山-次火山作用有关的金（铜银）矿床的成矿地质特征进行对比，总结控矿因素和成矿模式，将有助于了解此类矿床的成矿机理，指导本区及其邻区的矿床勘探。

1 矿床成矿地质特征

根据矿床形成的地质条件、矿石矿物和脉石矿物组合、矿床中主成矿元素组合，将延边地区与火山岩-斑岩有关的金（铜银）矿床分为浅成低温热液型金（银）矿和浅成中温斑岩-热液型金（铜）矿两个亚类（表 1）。

在浅成低温热液型金（银）矿中，典型的矿石矿物和脉石矿物组合为黄铁矿、石英、方解石、冰长石、重晶石。成矿具有多阶段性，早期成矿阶段为冰长石-石英脉、方解石-石英脉阶段，晚期为少量硫化物-石英-方解石阶段和方解石-重晶石-蛋白石阶段。矿床中出现了冰长石，同时在晚期成矿阶段还出现重晶石等具高价态的硫酸盐矿物，表明此类矿床形成于地表或近地表的氧化环境。矿床中，主成矿元素为 Au，1000Au / Cu 为 25.1~80.12。矿床定位于破火山口及其中的断裂带中，其定位时间 ≤ 137 Ma。从成因上讲，浅成低温热液型金（银）矿床与高钾的钙碱性火山岩-斑岩（137~177 Ma）关系密切。高钾的钙碱性火山岩-斑岩主要分布在 NE 向深大断裂带与 EW 向深大断裂的交汇处。高钾的钙碱性火山岩-斑岩的岩石组合为安山

岩、安山角砾岩、流纹岩和闪长玢岩、花岗闪长斑岩，岩石化学成分特征是： SiO_2 46.82%~73.93%，平均为 59.92%， K_2O 为 2.29%~4.98%，在火山岩的 K_2O - SiO_2 图上，大部分样品落在高钾的钙碱性岩区，岩石的稀土元素总量低（ $56.86 \times 10^{-6} \sim 110.10 \times 10^{-6}$ ），安山岩等火山岩和闪长玢岩、花岗闪长斑岩等浅成侵入斑岩的稀土分布型式十分相似，表明火山岩和浅成斑岩为同源岩浆作用的产物。矿床形成时间与斑岩的形成时间基本同步，但要稍微晚一些。

表 1 与火山岩-斑岩有关的金（铜银）矿床的地质地球化学特征

矿床成因类型	浅成低温热液型		浅成中温斑岩-热液型
代表性矿床	刺猬沟、五凤、五星山、	闹枝、九山沟	小西南岔、农坪
成矿地质环境	岛弧和活动陆缘	岛弧和活动陆缘	岛弧和活动陆缘
控矿构造	火山盆地内的破火山机构和断裂中	火山盆地内隆起与凹陷的过渡区中的断裂构造中	火山盆地边缘褶皱隆起区的断裂中
矿体定位时间/ Ma	<137	128	123
矿床围岩	安山质角砾熔岩、粗面安山岩	花岗闪长斑岩、闪长玢岩	闪长岩、闪长玢岩、花岗斑岩
与金矿有关的火山岩-斑岩组合及特征	玄武岩、安山质集块岩，安山质角砾熔岩、安山岩、粗面安山岩，粗面岩、流纹岩、花岗斑岩等，为一套高钾钙碱性岩系	玄武质安山岩、辉石安山岩、安山质角砾岩、花岗闪长斑岩、闪长玢岩等，为一套钙碱性火山岩系	玄武质安山岩、安山岩、粗玄岩、花岗斑岩、闪长玢岩等，为一套钙碱性火山岩系
火山岩-斑岩的年龄及来源	137 Ma 左右；锆同位素初始比为 0.705。形成深度为 80~90 km，属上地幔源	130~140 Ma；锆同位素初始比为 0.7034~0.705，形成深度为 85~95 km，属上地幔源	130~140 Ma；锆同位素初始比为 0.7034~0.705，形成深度为 85~95 km，属上地幔源
矿化类型	冰长石-方解石-石英脉型	硫化物-石英脉型、蚀变岩型	硫化物-石英脉型、蚀变岩型
矿石矿物	黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、银金矿	黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、金银矿、银金矿	磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿、毒砂、胶黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、金、金银矿、辉钼矿
脉石矿物	石英、方解石、冰长石、重晶石、白云石	石英、方解石	石英、方解石
围岩蚀变	近矿围岩蚀变为黄铁绢英岩化、酸性泥化、碳酸盐化等，早期面型围岩蚀变为赤铁矿化、青磐岩化	近矿围岩蚀变为黄铁绢英岩化、硅化、泥化等，早期面型围岩蚀变为钾长石化、青磐岩化、沸石化	近矿围岩蚀变为黄铁绢英岩化、硅化、绿泥石化、碳酸盐化等，早期面型围岩蚀变为钾长石化、阳起石化、透闪石化
主成矿元素	Au、Ag，1000Au / Cu >80	Au、Cu、Ag，1000Au / Cu >1	Cu、Au、Ag，1000Au / Cu <1
含矿流体同位素组成 / ‰	$\delta^{18}\text{O}_w$ 为 -13 ~ 0.56， δD 为 -87~-105， $\delta^{13}\text{C}$ 为 -5.6~-9.5， $\delta^{34}\text{S}$ 为 -1.8	$\delta^{18}\text{O}_w$ 为 -4.7~4.6， δD 为 -65~-124， $\delta^{13}\text{C}$ 为 1.8， $\delta^{34}\text{S}$ 为 -1.5~2.8	$\delta^{18}\text{O}_w$ 为 -4.3~5.6， δD 为 -38~-80， $\delta^{13}\text{C}$ 为 -3.5~-7.2， $\delta^{34}\text{S}$ 为 2.1~5.0
成矿温度/℃	100~400，一般低于 240	150~450，一般 240~340	160~500，但主要在 220~360
包裹体类型	气液两相、液相包裹体	气液两相包裹体	多相包裹体、气液两相包裹体
成矿流体盐度 w (NaCl _{eq}) / ‰	0~9，多数在 1~2，属低盐度流体	1~50，多数在 1.9~9.6，属中低盐度流体	2.8~56，多数在 9.29~42.2，属中高盐度流体
流体包裹体成分	Na ⁺ /K ⁺ <1，Cl ⁻ / F ⁻ >1	Na ⁺ /K ⁺ <1，Cl ⁻ / F ⁻ >1	Na ⁺ /K ⁺ >1，Cl ⁻ / F ⁻ >1
成矿流体中水的比例/%	岩浆水 14~64，大气水 36~86	岩浆水 38~67，大气水 33~62	岩浆水 33~91，大气水 9~67
成矿深度/m	263~1063	600~1556	188~1799

在浅成中温热液型金（铜）矿床中，典型的矿石矿物和脉石矿物组合为黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿和石英等。矿床中硫化物的含量相对较高，但没有高价态硫酸盐矿物出现。矿床中主成矿元素为 Au、Cu、Ag，其中 1000Au / Cu 为 <2。矿床定位于火山盆地边缘隆起区或隆起区与凹陷区的过渡带的断裂中，并受火山机构的控制。成因上与钙碱性火山岩-斑岩（130~140 Ma）关系密切。钙碱性火山岩-斑岩的岩石组合为玄武安山岩、安山岩等， SiO_2 为 47.68%~75.36%， K_2O 1.23%~4.68%，在火山岩的 K_2O - SiO_2 图上，样品落在高钾钙碱性火山岩-斑岩的下方，属中-高钾区，稀土元素的总量较高（ $169.71 \times 10^{-6} \sim 185.52 \times 10^{-6}$ ）是该类岩石的一大特点，该类岩石的稀土模式曲线与高钾的钙碱性火山岩-斑岩的曲线相似，锆同位素

组成基本相同,说明本地区不同时代的火山岩-斑岩矿均为同源岩浆不同演化阶段的产物。浅成中温斑岩-热液金矿主要产在斑岩体的内外接触带,斑岩体有不同程度的隐爆特征。矿床形成时间与斑岩的形成时间基本同步。

在本区与金(铜银)成矿关系密切的浅成斑岩是在与之同源的火山喷出岩形成之后,受火山构造控制的浅成-超浅成侵入体。总结起来,斑岩对金矿成矿的作用主要表现在:斑岩与矿质是同一岩浆作用的产物,含矿流体来自岩浆脱气作用和岩浆分异演化,本区金(银铜)矿石中微量元素组合特点、稀土元素模式曲线与斑岩体相似就证明了这一点;斑岩体起到热引擎的作用,释放出的热能使大气降水加热,并使热液流体流经围岩中的矿质部分活化出来,这一作用对浅成低温热液金(银)矿床的形成更为明显;金矿脉有时与斑岩脉处于同一构造裂隙中,断裂构造多期次活动,为成矿热液提供上升通道和赋存场所。

2 成矿流体的特点

从含矿流体的稳定同位素组成、温度、盐度等对比可以得出(表1),本区与火山岩-斑岩有关的金(铜银)含矿流体分为两类:其一为浅成低温低盐度氧化型流体,形成的金矿床为高硫型Au(Ag)矿床(即矿床中出现高价态的硫酸盐)。矿床的成矿温度小于240℃,成矿过程中大气降水的混入程度明显很强。流体包裹体较为单一,主要为液相包裹体。流体包裹体的盐度低, $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 多数在1%~2%,流体中 CO_2 的含量较高, $\text{Na}^+/\text{K}^+<1$, $\text{Cl}^-/\text{F}^->1$ 。在矿床形成的晚期,矿床中出现了重晶石等硫酸盐矿物,说明矿床形成时的氧逸度较高。其二为浅成中温还原性流体,形成的矿床为低硫型金(铜)矿床(即矿床中只有低价态的硫化物),金矿床的成矿温度220~360℃,成矿过程中有大气降水的混入,但混入的程度相对较低一些。流体包裹体的类型多,有多相包裹体、气液两相包裹体等,且在成矿早期高温高盐度多相包裹体发育,到了成矿晚期则气液两相包裹体较为发育。流体包裹体的盐度高,流体中 CO_2 的含量相对较低, $\text{Na}^+/\text{K}^+<1$,或 $\text{Na}^+/\text{K}^+>1$, $\text{Cl}^-/\text{F}^->1$ 。

本区金(铜银)矿中的硫、碳同位素组成具有深源硫、碳的特点,同时金(铜银)矿床中矿石的稀土分布型式与来自幔源的火山岩-斑岩的稀土分布型式相似,表明成矿物质来源具深源性。

3 成矿模式

从火山岩-斑岩有关的浅成热液金(铜银)矿床的地质地球化学特点可以看出,本区与火山岩-斑岩有关的浅成热液金(铜银)矿床的形成受幔源岩浆体系、深大断裂构造体系、深源含矿气液流体体系和大气环流水体系四大体系的控制。本区金(铜银)矿床的成矿模式为:晚侏罗世一早白垩世(130~140 Ma),由于太平洋板块的斜向俯冲作用,早期产生的高钾的钙碱性玄武安山质岩浆沿着活动陆缘NE向压扭性断裂带与长期活动的EW向断裂带交汇处上侵或喷发,形成以高钾的钙碱性火山岩-斑岩为代表的幔源岩浆,在岩浆演化的晚期,岩浆的脱气作用所形成的气液含矿流体在深部与下降的大气环流水混合后,在深部斑岩体放出的热的驱动下,沿着火山盆地内的破火山机构或断裂带上升,在浅部形成金(银)矿床,矿床的定位深度为263~1063 km。由于与大气降水的强烈混合作用,掩盖了深源含矿流体在矿床形成中的作用,但矿床中硫碳同位素组成仍然反映出在该类矿床的形成中深源含矿流体的存在。板块的继续俯冲作用形成以钙碱性火山岩-斑岩为代表的幔源岩浆,与之同源的含矿气液流体沿着火山盆地边缘隆起带、或隆起带与凹陷的过渡带中的断裂上升,在浅部与大气降水混合后,在斑岩的顶部或内外接触带部位形成金(铜)矿床。

参 考 文 献

- 刘文达,等. 1983. 延边与金矿有关火山岩的岩石特征及成岩问题. 吉林地质, (4): 13~30.
孟庆丽, 周永昶, 柴社立. 2001. 中国延边东部斑岩-热液型铜金矿床. 长春: 吉林科学技术出版社.
孟庆丽, 周永昶. 1995. 吉林延边东部J2-K1火山-侵入杂岩岩浆的生成与演化. 岩石矿物学杂志, 15(1): 30~39.
芮宗瑶, 等. 1995. 吉林延边地区斑岩型-浅成热液型金铜矿床. 矿床地质, 14(2): 100~126.
Hedenquist J W, et al. 1994. Geology, geochemistry and origin of high-sulfidation Cu-Au mineralization in the Nansatsu district, Japan. Econ. Geol., 89: 1~30.
Rowins S M. 2000. Reduced porphyry copper-gold deposits: A new variation on an old theme. Geology, 28(6): 491~494.