

郯庐中南段与中生代火山-次火山作用有关金(铜)矿床的成矿控制因素及成矿规律*

邱检生 王玉华 王德滋 徐兆文

(南京大学地球科学系, 南京)

提 要: 郯庐中南段及邻区是我国东部与中生代火山-次火山作用有关金(铜)矿床的重要产地之一。据矿床地质环境、地质特征及成因, 区内与火山-次火山作用有关的金(铜)矿床可分为 2 大类 6 种型式。在详细研究基础上, 对各类矿床成矿控制因素和成矿规律进行了全面总结。

关键词: 火山-次火山岩型金(铜)矿床 成矿特征 成矿控制因素 郯庐中南段

郯庐中南段及其邻区中生代火山活动强烈, 形成了一系列与火山-次火山作用有关的金(铜)矿床, 如山东平邑归来庄大型金矿床、大别山北麓磨子潭-晓天火山盆地中的东溪金矿床、下扬子断陷带庐枞盆地中的天头山金(铜)矿床和宁芜盆地中的铜井金(铜)矿床, 以及紧邻断裂带分布的安徽沙溪铜(金)矿床、山东七宝山金(铜)矿床及沂南金(铜)矿床等等。据矿床产出地质环境、矿床地质特征及矿床成因, 将矿床归为 2 大类 6 种型式(表 1), 第一类为岩浆热液型金(铜)矿床, 包括斑岩型、斑岩-角砾岩型和夕卡岩型 3 种型式, 矿例为沙溪、七宝山和沂南; 第二类为浅成低温热液型金(铜)矿床, 包括碲金型、石英-冰长石型和石英-锰菱铁矿型 3 种型式, 矿例为归来庄、东溪和天头山。

1 火山-次火山岩浆活动对成矿作用的控制

区内与火山-次火山作用有关的金(铜)矿床既可出现在次火山岩体之外, 也可产于火山岩中, 剥蚀程度较深的地区, 则在次火山岩体内外缺失同时代的火山岩(如山东沂南金场、平邑归来庄)。这类矿床的成矿作用与次火山岩浆活动的关系更密切, 赋存在火山岩中的多为中小型矿床或矿点。在岩石组合上, 本区不同成因类型的金或金(铜)矿床对火成岩表现出一定的选择性, 岩浆热液型金(铜)矿床的成矿岩石均为中酸性钙碱质岩石, 如沙溪为石英闪长玢岩, 七宝山为石英闪长玢岩-花岗闪长斑岩, 沂南金场为霏细斑岩, 沂南铜井为闪长玢岩-石英闪长玢岩, 这些岩石的化学成分在 Peccerillo 等(1976)提出的划分岩石系列的 $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ 变异图上均投影在高钾钙碱性岩系范围内, 它们既是矿体的主岩, 同时又是矿质的主要源区。浅成低温热液型金(铜)矿床的赋矿岩石主要为偏碱性的富钾岩石, 如东溪金矿的矿体主要赋存在上侏罗统毛坦厂组第一旋回下部的粗安质熔岩、火山碎屑岩中, 天

* 国家自然科学基金资助课题

邱检生, 男, 1965 年 11 月生, 博士, 副教授, 主要从事火山-次火山作用与成矿关系及壳幔演化与成岩成矿同位素地球化学方面的研究工作。邮政编码: 210093

表 1 郯庐中南段与火山-次火山作用有关典型金(铜)矿床成矿特征

矿床	沙溪	七宝山	沂南	归来庄	东溪	天头山
矿床概况	产于大陆内部与深断裂带中, 高碱石英闪长玢岩有关的铜(金)矿床	产于中生代橄榄安粗岩系火山岩分布区与角闪岩有关的金(铜)矿床	产于靠近斑岩与中、下寒武统不纯质灰岩接触处的金(铜)矿床	金碲硫化物产于浅成碱性侵入岩有关的角砾岩带中	含金、银的石英-冰长石-方解石脉赋存于中生代橄榄安粗岩系火山岩中	产于橄榄安粗岩系火山活动区, 基底拗陷型火山构造洼地内脉状金(铜)矿床
成矿岩石类型	石英闪长玢岩	石英闪长玢岩-花岗闪长斑岩	霏细斑岩, 闪长玢岩-石英闪长玢岩	二长闪长玢岩-正长斑岩	毛坦厂组橄榄安粗岩系火山岩	砖桥组橄榄安粗岩系火山岩
成岩时代	$(123.6 \pm 0.7) \times 10^6 \text{ a}$ ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄)	$124.1 \times 10^6 \text{ a}$ (K-Ar 年龄) ^[1]	$(154.8 \pm 0.3) \times 10^6 \text{ a}$ (Rb-Sr), $121.6 \times 10^6 \text{ a}$ (K-Ar)	$(188.4 \pm 1.6) \times 10^6 \sim (189.8 \pm 0.2) \times 10^6 \text{ a}$ ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) ^[2]	$(124.1 \pm 0.7) \times 10^6 \text{ a}$ ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) ^[3]	$(140 \sim 135) \times 10^6 \text{ a}$ (K-Ar 年龄)
成矿环境	被动侵位的浅成侵入岩体中	塌陷角砾岩筒	中、浅成侵入岩与灰岩接触带	近地表的隐爆角砾岩带中	变质火山岩中, 接近火山活动中心	沉积岩基底, 火山-侵入岩浆活动中心
构造背景	大陆内部深大断裂带中	昌邑-大店断裂与胶南隆起、胶莱拗陷的复合部位	断裂交汇部位	NW 向深大断裂旁侧的次一级近 EW 向构造角砾岩带中	基底隆起型火山岩盆地, 板块聚合断裂带边缘	基底拗陷型火山岩盆地, 邻近深断裂带
矿物组合	黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、自然金、石英、钾长石、硬石膏	黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、镜铁矿、方铅矿、磁黄铁矿、褐铁矿、自然金、银、金矿、重晶石、铁白云石	黄铜矿、黄铁矿、斑铜矿、辉铜矿、磁铁矿、自然金、银、金矿、钙铁榴石、透辉石、绿帘石	自然金、银、金矿、斑铜矿、辉铜矿、磁铁矿、方铅矿、磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿、石英、萤石、蛋白石、萤石等	脉石矿物为石英、冰长石、碳酸盐; 矿石矿物为银金矿、自然金、方铅矿、黄铁矿等	石英、镜铁矿、重晶石、黄铁矿、黄铜矿、自然金、银金矿、铁锰碳酸盐等
围岩蚀变	硬石膏-黑云母-钾长石化、石英-绢云母化、绿泥石-绿帘石-碳酸盐化	硅化、黄铁绢英岩化、碳酸盐化	夕卡岩化、钾化、硅化、绿帘石化	萤石化、低温硅化、绢云母化、碳酸盐化、绿帘石化、泥化	硅化、冰长石绢云母化、青磐岩化	硅化、铁锰碳酸盐化、镜铁矿化、重晶石化、绢云母化、绿帘石化、高岭石化
$t/^\circ\text{C}$	300~380	250~350	420~306	200~300	250~150	170~245
$P/(10^5 \text{ Pa})$	600~1300	300~400	>1000	<300	<300	<400
$S_{\text{NaCl}}/\%$	10.10~20.49	10.6~21.0	-13.26	1.28~5.31	2.01~8.67	3.67~20.9
f_{O_2}	$10^{-43} \sim 10^{-36.5}$ ($t = 320 \sim 380^\circ\text{C}$)	$10^{-22} \sim 10^{-17}$ ($t = 250 \sim 350^\circ\text{C}$)	$10^{-22.5} \sim 10^{-25}$ ($t = 400 \sim 350^\circ\text{C}$)	$10^{-52} \sim 10^{-43}$ ($t = 200 \sim 300^\circ\text{C}$)	$10^{-52} \sim 10^{-50}$ ($t = 250^\circ\text{C}$)	$10^{-37.5}$ ($t = 210^\circ\text{C}$)
流体成分	以富 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 为特征	富 Cl^- 、 HCO_3^-	SO_4^{2-} 较高, $\text{Na}^+ > \text{K}^+$, $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$	富 K^+ 、 Na^+	低 SO_4^{2-} 、富 HCO_3^-	$\text{Na}^+ > \text{K}^+$, $\text{Cl}^- > \text{F}^-$, 富 SO_4^{2-}
$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$	-0.8~+3.8	-0.3~5.9	-0.9~+3.0 1.9~3.5	-0.7~3.0 ^[2]		-8.0~-0.1
$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{‰}$	4.0~4.6	3.1~5.8	8.0~10.8	2.2~13.5 ^[2]	-2.8~-8.2	-5.0~-4.6
$\delta\text{D}/\text{‰}$	-82~-72	-78~-48	-87	-15~-148 ^[2]	-68~-128	-65~-69
$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	-6.5~-5.3		-1.5~-3.6		-5.0~-6.4	-3.4~-13.8
热液来源	岩浆水为主	岩浆水为主	岩浆水为主	岩浆水与天水混合	天水为主	天水为主 (少量建造水)
物质来源	深源	深源	深源	深源及基底	深源及基底	深源及基底
富集机制	减压沸腾	沸腾、混合	接触交代	沸腾、减压扩容	沸腾	沸腾、混合
成因类型	斑岩型	斑岩-角砾岩型	夕卡岩型	碲金型	石英-冰长石型	石英-锰菱铁矿型

头山金(铜)矿的矿体赋存在上侏罗统砖桥组粗安质火山岩中, 归来庄金矿的矿体主要赋存在二长质-正长质的隐爆角砾岩中, 上述偏碱富钾岩石均可归之为橄榄安粗岩系(shoshonite series), 可见区内二类矿床对应于二类不同的火山岩系, 表现出一定的成矿专属性。

从岩浆演化的角度看, 区内这类矿床主要与演化较晚阶段的岩浆活动有关, 如山东七宝山存在早、晚二期火山-次火山杂岩, 但成矿仅与晚期的石英闪长玢岩-石英二长斑岩有关; 山东沂南金场金(铜)矿床存在由闪长岩-二长岩-霏细斑岩的演化系列, 但金(铜)矿化主要与晚期的霏细斑岩有关; 宁芜铜井地区, 其火山活动自早至晚依次有龙王山、大王山、姑山和娘娘山多次旋回, 但成矿主要与晚期娘娘山旋回的火山活动有关。总之, 高度分异演化的岩浆有利于这类矿床的形成。

2 火山构造对成矿作用的控制

区内绝大多数火山-次火山岩型金(铜)矿床均与火山机构存在较为密切的空间共生关系, 表明火山机构是矿化发生的有利部位, 按其与火山机构的关系可分为 3 种情况: ①产于火山机构内的矿床, 如江苏铜井金(铜)矿产于娘娘山火山机构中, 七宝山金(铜)矿床产于七宝山火山机构中, 金场金(铜)矿产于金场火山机构中, 这类矿床常与火山机构内的环状断裂、放射状和纵向高角度断裂以及沿这些断裂在火山复活期侵入的次火山岩密切相关; ②产于火山机构附近的矿床, 如天头山金(铜)矿位于黄公山火山机构附近, 沙溪铜(金)矿位于中沙溪次火山活动中心附近, 东溪金矿也位于火山机构附近; ③与火山机构无直接空间关系的矿床, 这类矿床较少, 只有沂南铜井夕卡岩型金(铜)矿床属于此类。从经济意义而言, 第一类与第二类矿床最重要, 足见火山机构与成矿的密切联系。国内外许多重要的火山-次火山岩型金(铜)矿床均较明显地受到火山机构的控制, 如我国的团结沟金矿、紫金山金(铜)矿, 美国科罗拉多洲及加拿大科迪勒拉等地的同类矿床均表现出明显的火山机构控矿的特点。火山机构之所以与成矿密切相关, 可能与以下几方面的原因有关: ①火山机构内火山-岩浆活动复杂, 经历时间较长, 给成矿提供了热源及足够的物质和时间; ②火山机构内断裂发育, 一些张性的放射状、环状断裂和挤压破碎带以及沿环状断裂分布的次级火山通道等给成矿提供了导矿构造和储矿空间; ③火山机构附近广泛发育火山碎屑岩以及破火山沉陷期形成的沉积碎屑岩, 孔隙多, 渗透率高, 利于导矿和容矿; ④火山机构常位于断裂构造带或几组断裂交汇处, 与基底断裂有一定联系, 有利于深部成矿物质的上升。

3 区域性断裂构造对成矿作用的控制

区内各类矿床、矿点的产出均与区域性深大断裂密切相关, 这些深大断裂常常是重要导矿构造, 控制着成矿带的展布, 如区内岩浆热液型金(铜)矿床的展布明显受郯庐主干断裂控制, 大别山北麓火山盆地中浅成低温热液型矿床的展布明显受 NW 向聚合断裂带控制, 但控制岩浆热液型与浅成低温热液型金(铜)矿床的断裂构造条件有一定区别, 岩浆热液型矿床控矿断裂的方向常与主干断裂方向一致, 无论沙溪、七宝山还是沂南铜井和金场, 其控矿断裂的方向主要为 NE-NNE 向, 与郯庐断裂方向一致。而浅成低温热液型矿床的控矿断

裂常常是主干断裂派生的次级断裂,如归来庄金矿位于 NNW 向燕甘深大断裂派生的近 EW 向次级断裂中,天头山金(铜)矿主要受 NE-NNE 向主干断裂派生的次级近 SN 向断裂控制,东溪金矿主要受 NW 向主干断裂派生的次级 NE 向剥离断层控制。对岩浆热液型矿床,多组断裂交汇部位直接控制着成矿岩体的产出。因此,断裂构造对成矿具有重要的控制作用。

4 基底及围岩的含金性对成矿作用的控制

基底及围岩中金含量的高低与金矿化无直接关系。我们对山东沂沭断裂及其二侧地区火山岩的 Au 含量进行了较系统的测试,火山岩 Au 含量平均为 1.11×10^{-9} ($N=121$),低于地壳的克拉克值(约 3.5×10^{-9})。区内基底地层的大量 Au 丰度测试数据也表明 Au 含量较低,多在 3×10^{-9} 以下,因此,基底及围岩中 Au 含量的高低在很多情况下往往不是成矿与否的决定性因素。国内外许多重要金矿产区的基底 Au 背景含量均较低,如小秦岭地区绝大多数岩石建造 Au 丰度都低于 4.3×10^{-9} 的维氏克拉克值,矿床最集中的太华复合地体结晶基底的 Au 丰度只有 1×10^{-9} (陈衍景等, 1993)^[4],南非 Barnerton 绿岩带和加拿大卡卡奇湖绿岩带的 Au 丰度分别为 1.8×10^{-9} 和 0.98×10^{-9} (Anhaeusser, 1976)^[5]。矿床的形成在更大程度上取决于 Au 能否被释放以及矿质在后续成矿过程中能否被集中,任何岩石都可以提供 Au 的来源,成矿的关键是矿质能否在一个相对很小的范围内集中,只要有 Au 被迁移后再集中,即可成矿。

综上所述,岩浆的分异演化、火山构造、断裂构造对成矿具有重要的控制作用,而基底及围岩的含金性在很多情况下往往不是成矿与否的决定性因素。

参 考 文 献

- 1 陈克荣,潘永伟,陈小明. 山东五莲七宝山早白垩世破火山口与火山-侵入杂岩特征和成因. 南京大学学报(自然科学), 1993, 29 (1): 92~103.
- 2 林景仟,谭东娟,于学峰等. 鲁西归来庄金矿成因. 济南: 山东科学技术出版社, 1997.
- 3 周泰禧,陈江峰,彭子成等. 安徽中生代中酸性火山岩的时代归属. 矿物岩石学论丛, 1992, (8): 58~64.
- 4 陈衍景,富士谷,胡志宏等. 豫西主要岩石建造的金丰度. 地质论评, 1993, 39 (1): 64~72.
- 5 Anhaeusser C R. Archean metallogeny in Southern Africa. Econ. Geol., 1976, 71 (1): 16~43.