

## 宁芜盆地热液脉型金铜矿床地质特征 ——以江苏铜井金铜矿床为例

高丽坤, 邹芝红, 李书春, 蔡卫东, 孙喜华, 钱凌宇, 张龙生  
江苏省地质矿产局第一地质大队, 江苏南京 210041

**摘 要** :宁芜盆地分布着众多热液成因的脉型金铜矿床, 铜井金铜矿床是区内该类矿床的典型矿床. 矿体主要呈脉状、似脉状和透镜状赋存于近北北西向压扭性断裂与古火山机构复合部位, 具有等距雁行排列的特点. 研究表明, 铜井金铜矿床先后经历了早期石英硫化物阶段、中期石英硫化物碳酸盐阶段和晚期碳酸盐阶段. 矿石中黄铜矿硫同位素  $\delta^{34}\text{S}$  平均为 3.63‰,  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  平均为 22.139, 为幔源硫来源. 金、铜成矿物质为白垩系娘娘山组碱性玄武安山质岩浆分异演化到晚期分熔的产物, 成矿热液沿着压扭性断裂构造上升, 在有利的构造空间富集成矿. 流体包裹体均一温度为 171~253 °C, 成矿深度为 100~400 m. 总体上, 铜井金铜矿床属与构造-火山活动有关的中浅成热液充填脉型矿床.

**关键词** :金铜矿床, 热液脉型, 宁芜盆地

DOI:10.13686/j.cnki.dzyzy.2015.02.006

## GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE HYDROTHERMAL VEIN TYPE GOLD-COPPER DEPOSITS IN NINGWU BASIN: A Case Study of Tongjing Gold-Copper Deposit in Jiangsu Province

GAO Li-kun, ZOU Zhi-hong, LI Shu-chun, CAI Wei-dong, SUN Xi-hua, QIAN Ling-yu, ZHANG Long-sheng

No. 1 Geological Brigade, Jiangsu Bureau of Geology and Mineral Exploration, Nanjing 210041, China

**Abstract** : Numerous hydrothermal vein type Au-Cu deposits are distributed in the Ningwu basin. Among them Tongjing Au-Cu deposit is a typical one. The ore bodies are hosted in the composite positions of NNW-trending compressive-shearing faults and ancient volcanic edifices in vein, veinoid and lentiform, with the characteristics of isometric en echelon arrangement. Studies show that Tongjing Au-Cu deposit underwent the early stage of quartz sulfide, mid-stage of quartz sulfide carbonate and late stage of carbonate. The sulfur isotope  $\delta^{34}\text{S}$  of chalcopyrite is 3.63 ‰, averagely, with  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  of 22.139, suggesting a mantle source. The ore-forming materials of gold and copper are the liquation production in the late period of differentiation and evolution of alkaline basaltic andesitic magma of the Cretaceous Niangniangshan Formation. The ore-forming hydrotherm rose along the compressive-shearing fault structure, and enriched to mineralization in favorable structural spaces. The homogenization temperature of fluid inclusions ranges from 171 to 253 °C, with metallogenic depth of 100 – 400 m. The Tongjing Au-Cu deposit generally belongs to epi-mesothermal filling vein type related to tectono-volcanic activities.

**Key words** : Au-Cu deposit; hydrothermal vein type; Ningwu basin

宁芜火山岩盆地是长江中下游重要的多金属成矿区<sup>[1]</sup>. 在整个宁芜地区分布着一系列与火山-岩浆侵入作用有关的热液脉型金铜矿床<sup>[2]</sup>, 显示该区是寻找

金铜矿床的重要地段.

铜井金铜矿床位于宁芜火山岩盆地中段的西翼, 它不仅是宁芜盆地内一个重要的金铜矿床, 而且也是

收稿日期 2014-08-05, 修回日期 2014-10-09. 编辑 李兰英.

基金项目 江苏省地质矿产勘查局地质勘查基金项目“宁芜(江苏省境内)火山岩型金矿找矿靶区优选”(苏地矿发[2012]30号).

作者简介 高丽坤(1981—), 女, 博士, 主要从事矿产勘查及研究工作. 通信地址 江苏省南京市珠江路700号28号楼501室, E-mail//gaolk@163.com

我国东部火山岩地区热液脉型金铜矿床的典型矿床。随着地质工作的进展,铜井金铜矿床找矿难度越来越大,属极度危机矿山。因此对该矿床的基础地质特征的研究显得极为重要,正确认识这些问题对总结矿床的控矿条件、研究矿床成因、预测和寻找同类型矿床十分必要。本文在综合前人研究的基础上,分析铜井金铜矿床地质特征,对其成矿阶段及矿床成因进行了探讨,以期在其深部及外围寻找相关热液脉型金及多金属矿床提供依据。

### 1 成矿地质背景

#### 1.1 区域地质背景

宁芜火山岩盆地位于长江中下游成矿带东部,江苏省南京市与安徽省芜湖市之间,是下扬子褶皱带上发育起来的继承式中生代陆相火山盆地<sup>[3-4]</sup>,呈北北东向展布,南北长约60 km,东西宽约20 km(图1)。盆地边界受北北东向长江断裂、方山-小丹阳断裂,北西向南京-湖熟断裂、芜湖断裂控制。盆地内断裂主要是北北东、北西向两组,断裂具有近似等距的网格状格局,构成宁芜火山岩盆地的构造格架。

盆地内出露的地层主要有三叠系上统黄马青组( $T_3h$ )砂页岩、侏罗系下统象山群( $J_1-2xn$ )陆相碎屑岩和上统西横山组( $J_3x$ )类磨拉石建造,另有少量白垩系上统浦口组及古近系、新近系的砂砾岩<sup>[2]</sup>。

盆地中火山岩划分为4个火山喷发喷溢旋回,从早到晚依次为龙王山组、大王山组、姑山组和娘娘山组。各火山岩旋回以爆发相开始,此后溢流相增多,最后以火山沉积相结束。其中,龙王山组(约占20%)主要分布于盆地的东部和北部,由下部安山质火山角砾岩、安山质凝灰岩、沉凝灰岩、凝灰质砂岩和上部歪长粗面岩、橄榄粗安岩、角闪石粗安岩组成;大王山组是盆地火山岩的主体(占75%),下部以辉石粗安岩为主,中部为紫红色安山岩,上部为灰红色、浅灰色粗面岩、粗面质熔结凝灰岩;姑山组和娘娘山组分布范围较少(5%)<sup>[6]</sup>,姑山组火山岩仅见于盆地南部和北部,主要为安山岩、英安岩、火山碎屑岩和沉积岩;娘娘山组火山岩仅见于盆地西部娘娘山一带,下部主要为粗面质集块岩、假白榴石响岩及黝方石熔结凝灰岩,上部为响岩质熔结角砾岩、黝方石响岩等。伴随着火山活动,在宁芜地区发育有大量的侵入岩,大致可分为两类:一类为与铁矿化作用关系密切的中性(碱性)侵入岩,以辉石闪长玢岩为代表<sup>[7-13]</sup>;另一类为后期发育的花岗质岩石,以花岗闪长斑岩为代表,与金、铜矿化有关<sup>[3]</sup>。

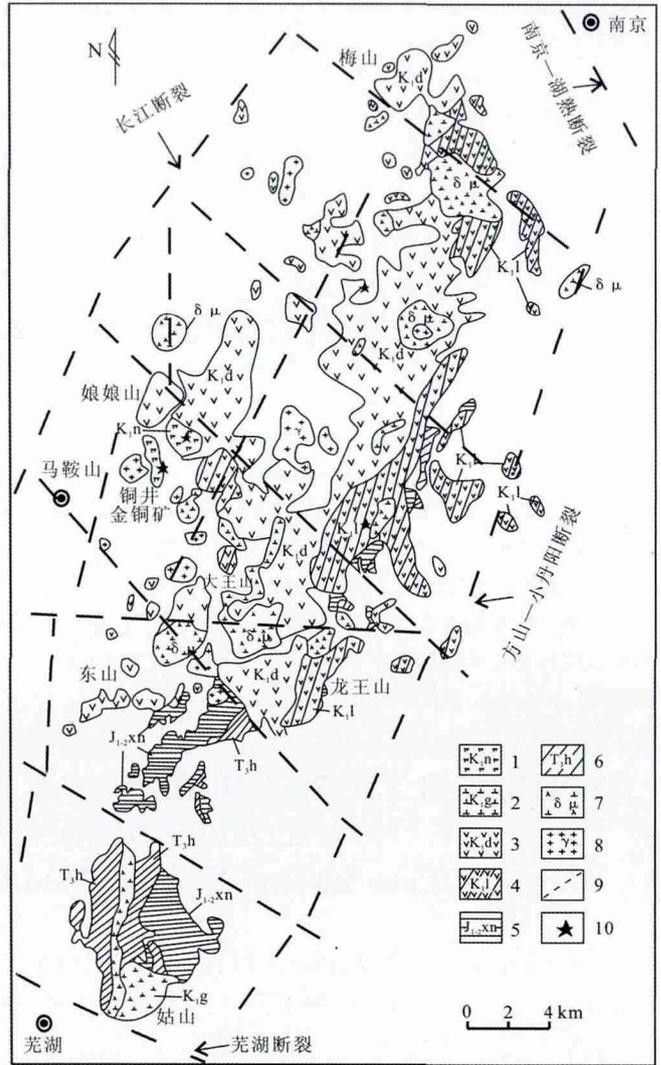


图1 宁芜盆地地质矿产简图  
(据文献[2,5]修改)

Fig. 1 Geological sketch map with minerals of Ningwu Basin  
(Modified from References [2, 5])

- 1—娘娘山组粗面质(熔结)凝灰岩夹响岩(trachy tuff with phonolite of Niangniangshan fm.)
- 2—姑山组安山岩、英安岩夹火山碎屑岩(andesite and dacite with volcanic clastic rock of Gushan fm.)
- 3—大王山组安山岩、粗面岩夹(沉)凝灰岩(andesite and trachyte with tuff of Dawangshan fm.)
- 4—龙王山组安山岩夹安山质火山碎屑岩(latite with andesitic volcanic clastic rock of Longwangshan fm.)
- 5—象山群灰白色石英砂岩、长石石英砂岩(grey-white quartz sandstone and feldspathic quartz sandstone of Xiangshan gr.)
- 6—黄马青组灰紫色钙质粉砂岩、页岩(gray-purple calcareous siltstone and shale of Huangmaqing fm.)
- 7—闪长玢岩(dioritic porphyrite)
- 8—花岗岩类(granitoid)
- 9—断裂(fault)
- 10—金矿床(点)(gold deposit/spot)

#### 1.2 矿区地质概况

矿区构造为典型的火山机构——娘娘山古火山口(图2),位于娘娘山西侧,平面上呈北东向的椭圆形,长约5 km、宽2~3 km,面积约15 km<sup>2</sup>,其侵入岩筒被碱

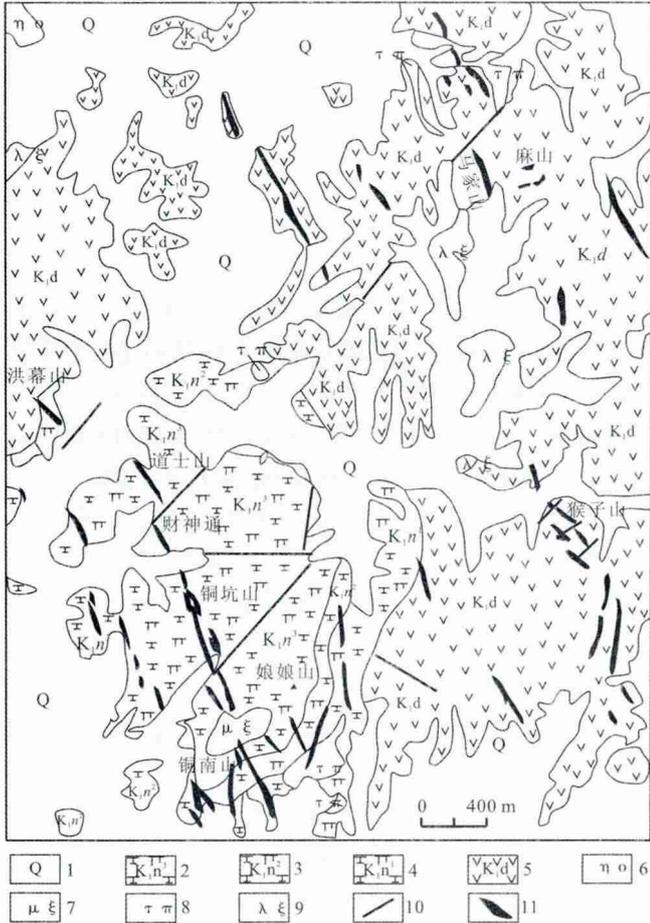


图 2 铜井金铜矿矿区地质图

Fig. 2 Geological map of Tongjing gold-copper orefield

1—第四系(Quaternary) 2—娘娘山组上段溢流相熔岩(lava of effusive facies of U. mem. of Niangniangshan fm.) 3—娘娘山组中段火山灰流相熔岩(lava of volcanic ash fluid facies of M. mem. of Niangniangshan fm.) 4—娘娘山组下段爆发相火山碎屑岩(volcanic clastic rock of explosive facies of L. mem. of Niangniangshan fm.) 5—大王山组粗安-安山质熔岩、熔结凝灰岩(trachyandesitic andesitic lava and ignimbrite of Dawangshan fm.) ; 6—石英二长岩(quartz monzonite) 7—黉方霞辉正长斑岩(orthophyre) ; 8—粗面斑岩(trachyte porphyry) 9—方沸石碱煌岩(monchiquite) ; 10—断裂(fault) ; 11—金铜矿(体)(Au-Cu orebody)

性火山岩所充填。在古火山口边缘地带发育着环状和放射状断裂,火山期后受区域性构造应力影响,断裂发育,按其生成顺序,大致分为成矿前及成矿后两期断裂。

成矿前断裂走向主要为 320~345°,局部地段走向 10~15°。北北西向断裂为主要控矿构造,多数被含金、铜石英-菱铁矿脉充填。沿走向和倾向均呈舒缓的波曲,倾向不定,倾角较陡,一般为 75~90°。在平面上呈平行带状分布,剖面上呈雁行式排列的特点,在火山口附近的南东侧呈“似鱼尾”状撒开。这组断裂为北北东向构造体系派生的次级压扭性断裂。

成矿后断裂主要有两组:①走向 40~55°,一般延伸数百米,最长达 1000 m 左右,断距自数米至百余米不等。断层中常见破碎角砾岩及断层泥等,属张扭性断裂;②走向 270~280°,规模一般较小,走向延伸数百米,多倾向南,倾角 80°左右,断层面具水平擦痕,属压扭性断裂。上述两组断裂均切割矿脉。

矿区内除第四系外均为白垩系火山岩地层。大王山组安山质火山岩分布于火山机构的四周,娘娘山组碱性火山杂岩则分布于火山机构的内部。区内侵入岩规模较小,呈岩脉、岩株、岩墙状产出,主要有黉方霞辉正长斑岩、石英正长岩、假白榴石斑岩和粗面斑岩等,多属次火山岩(相)。矿区及其边缘地带尚有零星分布的石英二长岩、花岗斑岩、闪长玢岩及方沸石碱煌岩等脉岩。

### 2 矿床地质特征

铜井金铜矿床为一脉型矿床,矿体严格受断裂构造和古火山机构控制,主要赋存于近北北西向压扭性断裂构造中,矿体具有等距雁行排列的特点,产状与构造破碎带一致(图 2)。主矿脉为铜坑山-铜南矿脉,全长 3000 m,矿脉走向 330~340°,倾角陡直,大于 75°,乃至近直立。倾向变化不定,沿走向自北西而南东,其倾斜由北东逐渐转为南西。在垂向上,矿体倾向亦反复变化,如-220 m 以上矿体倾向北东东,其下又逐渐转换为南西西。矿体沿走向与倾向均呈舒缓波状变化,有分枝复合、膨缩及尖灭再现现象,矿体与围岩界线较清楚。由于成矿后的构造断裂活动,致使矿体遭到破坏,错移而成长为长短不一的 5 个矿段,自北西向南东依次为洪幕山矿(床)段、道士山矿段、财神通矿段、铜坑山矿段及铜南矿段。

矿体的形态基本相似,为脉状、似脉状及透镜状(图 2)。铜坑山及铜南矿段最为稳定,脉的厚度变化于 2~22 m 之间,一般为 3~6 m, -270 m 以上为主要工业矿体, -320 m 以下矿体逐渐变薄乃至尖灭。在有利成矿部位,矿脉延伸与延深较稳定,矿脉间断长 2600 余米,矿脉最大延深达 500 m,延伸与延深之比为 5:1。

在主矿脉的南西和北东两侧还有若干条与主矿脉平行延展的矿脉(图 2),产状特征与主矿脉相似,规模较主矿脉稍小,延长数十至千余米,倾向延伸数十至百余米,厚度一般 0.4~3.5 m。金平均品位 3.0×10<sup>-6</sup>~5.0×10<sup>-6</sup>、铜平均品位 1.0%~2.61%。

矿石均为原生硫化物矿石。自然类型主要为含金铜石英脉及石英-菱铁矿脉,其次为含金铜石英-重晶

石脉、含金铜石英-方解石脉。工业类型主要为含金铜石英脉型。矿石结构主要为不等粒结构,其次为细粒结构,并有少量交代结构、包含结构及压碎结构等。矿石构造主要有团块状、细脉状、浸染状、角砾状、网脉状、晶洞状及梳状构造。

近矿围岩主要是火山口-火山颈相的岩石,岩性通常为黝方石响岩质熔结角砾岩和熔结凝灰岩以及黝方石响岩等。围岩蚀变主要有硅化、绢云母化、高岭土化和碳酸盐化。蚀变在矿体旁侧呈线型分布,宽度一般1~3 m,局部大于3 m,且具有分带现象,由内而外依次为:绢云母-石英为主的强蚀变带、高岭土-碳酸盐化为主的弱蚀变带。

### 3 矿物组成

#### 3.1 矿石矿物组合

该矿床矿石矿物由自然金、黄铜矿、斑铜矿、黝铜矿以及少量硫盐矿物所组成,各种矿物特征如下。

**自然金、银金矿:**自然金主要赋存于青灰色-灰白色石英脉中,少量产于菱铁矿脉。矿物呈粒状、半自形粒状等形状(图3a),粒径一般为0.07~0.08 mm,最大达0.5 mm。化学成分含金91%、银6.4%、铜0.0582%。此外,含有铂 $0.25 \times 10^{-6}$ 、钯 $0.8 \times 10^{-6}$ 、铑 $0.25 \times 10^{-6}$ 、锇 $0.0015 \times 10^{-6}$ 。银金矿呈不规则粒状与自然金共生,同一颗粒边缘含银量相对较高。

**黄铜矿:**分别晶出于石英脉、菱铁矿脉及重晶石脉中,通常呈散粒状,局部于黄铁矿压碎裂纹中呈不规则的网状(图3b、3c)。菱铁矿脉中的黄铜矿有2个世代,早世代黄铜矿

被斑铜矿、辉铜矿交代(图3d),或与黝铜矿呈乳浊状结构;晚世代黄铜矿则在斑铜矿内呈类似雁行排列的细小叶片。黄铜矿中含金、银之外,尚含硒0.00182%、碲0.0007%。

**斑铜矿:**石英、菱铁矿脉中均有所发育,通常交代黄铜矿、黄铁矿(图3e),并为黝铜矿、辉铜矿、方铅矿、脆硫铜铋矿等矿物所交代(图3e)。一般呈散染粒状,部分呈细脉、网脉或呈其他矿物的交代反应边。矿物中含银较高,银 $1658 \times 10^{-6}$ 、金 $8.36 \times 10^{-6}$ 。此外,尚有硒0.00002%、碲0.00008%、砷0.390%、锑0.113%。

**硫盐矿物:**经光片鉴定与X光测定,矿区内还出现含铋为主的硫盐矿物——脆硫铜铋矿、硫铜铋矿、辉碲铋矿及黑黝铜矿、黝铜矿等矿物<sup>①</sup>。脆硫铜铋矿呈针状、粒状、细脉状,粒度最大者达0.55 mm×0.1 mm,主

要分布于菱铁矿脉的上部,与斑铜矿紧密共生,通常交代菱铁矿、黄铜矿及斑铜矿。硫铜铋矿常以细小的包裹体赋存于脆硫铜铋矿内。黑黝铜矿(汞黝铜矿)含量极少,呈粒状出现于重晶石脉中,通常交代黄铜矿。辉碲铋矿仅在乳白色石英脉中发现。黝铜矿主要分布于菱铁矿中,呈粒状或细脉状交代黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿等矿物(图3f)。

**黄铁矿:**石英脉中含量较多,菱铁矿和重晶石脉中含量甚微。矿物呈粒状,常见显微角砾状构造,通常被黄铜矿、斑铜矿及黝铜矿所交代(图3c、3f)。矿物内含金从微量至 $27.72 \times 10^{-6}$ 、银 $10.64 \times 10^{-6}$ ~ $15.0 \times 10^{-6}$ 、钴0.0154%、镍0.078%、硒0.00044%、碲0.00022%。

**镜铁矿:**呈束状、放射状、网脉状或巢状分布于石英脉及近矿蚀变围岩内。巢状体内有粒状黄铁矿、黄铜矿为镜铁矿集合体所胶结,表明镜铁矿的晶出时间稍晚。

#### 3.2 脉石矿物组合

脉石矿物为石英、菱铁矿、方解石、重晶石、天青石、玉髓等。

**石英:**按其特点及晶出顺序有3种:①大脉,脉宽1~2 m,青灰-灰白色,中粗粒状或块状,多具晶洞及梳状构造,为金、铜的主要脉石矿物。②细脉,脉宽小于5 mm,形成于菱铁矿之后。③细粒状石英与方解石共生,组成了成矿期后的石英方解石脉。

**菱铁矿:**呈脉状,常胶结早期的含铜石英脉,又为重晶石脉、玉髓-叶腊石细脉所穿切。菱铁矿为灰-灰褐色,氧化后表面呈褐黑色。化学成分含量:FeO 49.52%,CO<sub>2</sub> 44.90%,MnO 2.64%,MgO 1.98%,CaO 0.51%,Cu 0.019%,Pb 0.0012%。矿物晶体化学式为:Ca<sub>0.01</sub>Mn<sub>0.04</sub>Mg<sub>0.05</sub>Fe<sub>0.73</sub>C<sub>1.08</sub>O<sub>3</sub>。

**重晶石、天青石:**重晶石呈肉红色粒状或乳白色板状集合体。天青石含量甚少,呈浅天兰色,粒状,生长于重晶石晶洞壁上。

**方解石:**晶出先后有2期:早期为乳白色、浅玫瑰色,呈脉状、细脉状,偶见有黝铜矿与之共生,常具晶洞构造;晚期为无色的细粒方解石,与石英组成石英-方解石脉。

#### 3.3 金、银的赋存状态

金的赋存状态以自然金为主,银金矿含量极少。选矿试验结果<sup>①</sup>(矿样破碎粒度小于1 mm)游离金77.79%、硫化物连生体金17.15%、石英等脉石连生体金5%。金与黄铜矿、黄铁矿矿物关系较为密切,分配

① 华东地质科学研究所. 宁芜火山岩地区铁(铜)矿床成矿规律、找矿标志及找矿方法专题研究报告. 1976.

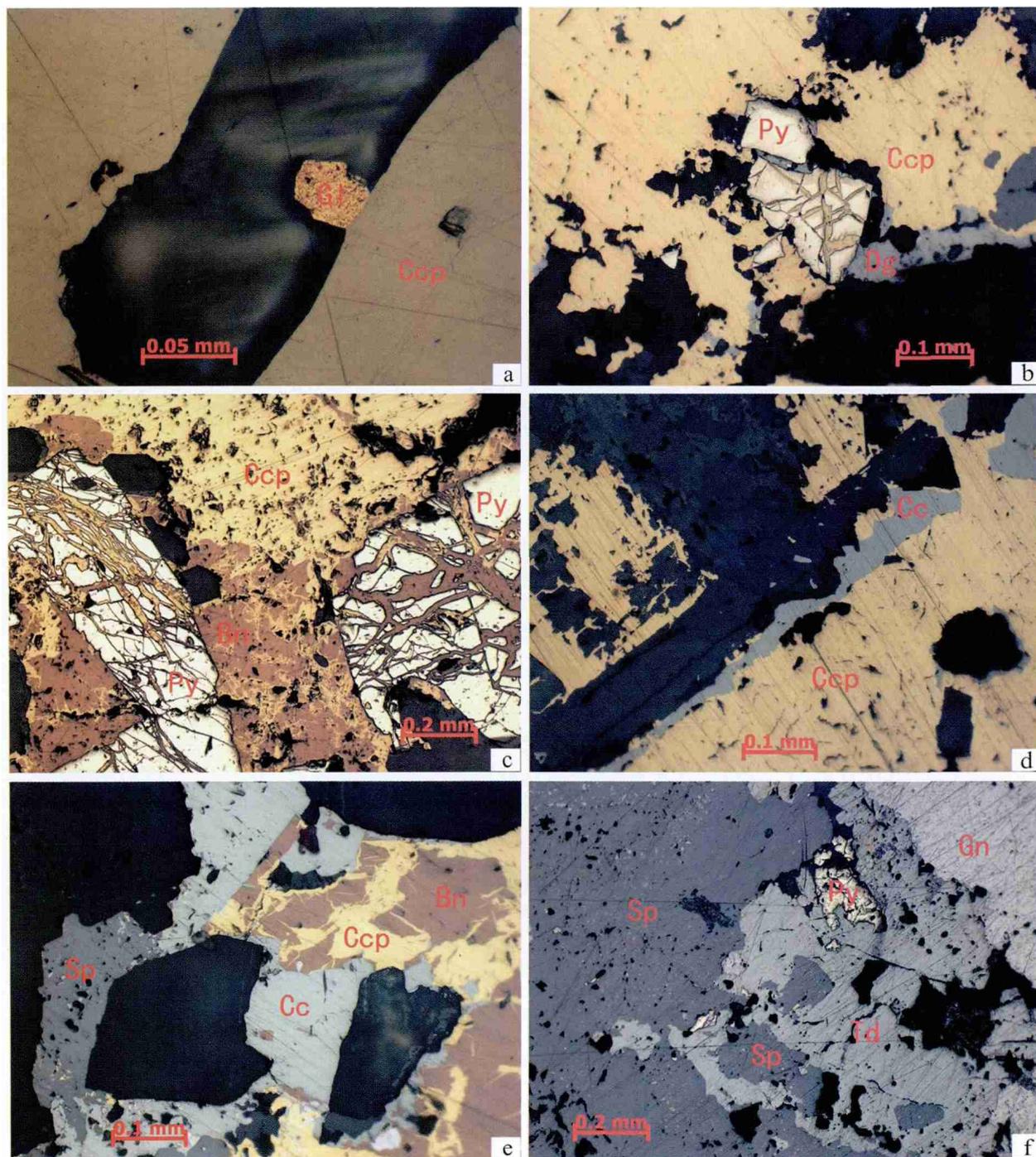


图 3 铜井金铜矿床矿物显微照片(单偏光)

Fig. 3 Micrographs of minerals from Tongjing gold-copper deposit (plane-polarized light)

a—自然金呈粒状与黄铜矿连生 (grainy native gold interlocked with chalcopyrite) ;b—黄铜矿分布于黄铁矿压碎裂纹中呈不规则网状 (chalcopyrite distributed in the crushed fissures of pyrite in irregular network) ;c—黄铜矿、斑铜矿交代于黄铁矿裂纹中 (chalcopyrite and bornite replacing in the fissures of pyrite) ;d—辉铜矿交代黄铜矿 (chalcocite replacing chalcopyrite) ;e—辉铜矿交代闪锌矿、黄铜矿和斑铜矿 (chalcocite replacing sphalerite, chalcopyrite and bornite) ;f—黝铜矿交代包裹黄铁矿、闪锌矿 (tetrahedrite replacing and including pyrite and blende) ;Gl—自然金 (native gold) ;Ccp—黄铜矿 (chalcopyrite) ;Py—黄铁矿 (pyrite) ;Dg—蓝辉铜矿 (digenite) ;Bn—斑铜矿 (bornite) ;Cc—辉铜矿 (chalcocite) ;Sp—闪锌矿 (sphalerite) ;Gn—方铅矿 (galena) ;Td—黝铜矿 (tetrahedrite)

率为 69.98%。单矿物黄铁矿中金含量变化很大, 从微量到  $21.72 \times 10^{-6}$ 。黄铜矿中金含量较高, 金与铜具有

正相关关系, 金大体叠加于铜矿体中上部, 矿体下部黄铁矿递增时, 金相对贫化。由此看来, 金与黄铜矿的

关系尤为密切。

银在矿石的主要矿物中均有一定的含量。黄铜矿中银的分配率高达 73.71%。高灵敏度的光谱微量分析结果证明<sup>①</sup>，银的谱线与铜的谱线的黑度变化呈同消长关系。银在黄铜矿中没有发现 10 μm 以上银的独立矿物，因而银主要呈类质同象形式存在。银在黄铁矿中存在独立矿物，其粒径在 10 μm 上下，光片中发现有 4~7 μm 的辉铜银矿微包体存在。斑铜矿中银的含量较高，有时可达 1656×10<sup>-6</sup>。0.042 mm 以下斑铜矿光谱法试验与矿物选择性溶解试验结果推断，银在斑铜矿中也未能形成 10 μm 以上的独立矿物。因而，银在斑铜矿中的赋存状态可能呈类质同象，或许尚有小于 10 μm 的微包裹体。

4 成矿期及成矿阶段

通过野外地质观测，结合室内对光、薄片、中矿物的共生组合、结构构造、矿物间穿切关系及矿物生成顺序的研究，将铜井金铜矿床的成矿作用划分为早、中、晚 3 期(表 1)。

早期为石英硫化物阶段，主要为含硫化物石英脉，石英呈乳白—灰白色致密块状或细粒集合体，含金约 6.8×10<sup>-6</sup>、银约 3×10<sup>-6</sup>、铜 0.2%~3.8%。

中期为石英硫化物碳酸盐阶段，主要表现为硫化物—菱铁矿—石英集合体。石英为灰—青灰色，含金 2.4×10<sup>-6</sup>~8.0×10<sup>-6</sup>(平均 5.6×10<sup>-6</sup>)，银 9.5×10<sup>-6</sup>~250×10<sup>-6</sup>(平均 16×10<sup>-6</sup>)，铜 1.3%~16.4%(平均 2.6%)。此外尚含 Bi、Zn、As、Mo、Sn 等。该阶段为主成矿(矿化)阶段。

晚期为碳酸盐阶段，主要表现为重晶石—玉髓—方解石脉，矿化微弱，含金 0.05×10<sup>-6</sup>~0.3×10<sup>-6</sup>，银 0.1×10<sup>-6</sup>~2.2×10<sup>-6</sup>，铜 0~0.15%，宣告了矿化作用的终结。

5 成因类型探讨

铜井金铜矿床在空间上处于北北西断裂与古火山口共轭部位，显示其受构造—火山活动双重作用。北北西向压扭性断裂的多次活动为矿液的脉动充填提供了空间构造条件，古火山口则对矿化富集有一定的意义。矿石中黄铜矿硫同位素 δ<sup>34</sup>S 平均为 3.63‰，<sup>34</sup>S/<sup>32</sup>S 平均为 22.139，岩石中副矿物黄铁矿 δ<sup>34</sup>S 为 1.0‰，<sup>34</sup>S/<sup>32</sup>S 为 22.197。岩石与矿石中的硫同位素比值相近，说明铜井金铜矿床的成矿作用与白垩系娘娘山组碱性火山喷发旋回密切相关<sup>[14]</sup>，霓辉正长斑岩、粗面斑岩等次火山岩侵入体为矿床提供热源和矿源。硫同位素比值接近

表 1 铜井金铜矿床成矿阶段及矿物生成顺序表  
Table 1 Metallogenic stages and mineral forming sequences of Tongjing gold-copper deposit

成矿阶段	矿液作用			表生作用
	石英硫化物阶段	石英硫化物碳酸盐阶段	碳酸盐阶段	表生阶段
石英	—	—	—	---
黄铁矿	—	—	—	---
自然金	—	—	—	---
银金矿	—	—	—	---
辉铜银矿	—	—	—	---
黄铜矿	—	—	—	---
斑铜矿	—	—	—	---
黝铜矿	—	—	—	---
辉铜矿	—	—	—	---
辉碲铋矿	—	—	—	---
镜铁矿	—	—	—	---
针铁矿	—	—	—	---
菱铁矿	—	—	—	---
方解石	—	—	—	---
白云石	—	—	—	---
脆硫铜铋矿	—	—	—	---
硫铜铋矿	—	—	—	---
闪锌矿	—	—	—	---
方铅矿	—	—	—	---
重晶石	—	—	—	---
黑黝铜矿	—	—	—	---
天青石	—	—	—	---
玉髓	—	—	—	---
叶腊石	—	—	—	---
赤铁矿	---	---	---	---
水针铁矿	---	---	---	---
铜蓝	---	---	---	---
孔雀石	---	---	---	---
自然铜	---	---	---	---

陨石型，说明成矿物质来源于地壳下部的上地幔，娘娘山碱性火山岩母岩浆推测为来自上地幔的碱性玄武安山质岩浆。因此，金、铜成矿物质可能是属于碱性玄武安山质岩浆分异演化到晚期分熔的产物。古火山口岩筒中黝方石霓辉正长斑岩存在含矿石英细脉和含矿菱铁矿细脉，这些细脉的矿化类型和矿物组合与金铜主矿脉特征相一致，乃至认为它们相互贯通。这些现象说明金铜成矿作用时间略晚于侵入岩筒，皆属于火山活动末期的产物。

综合分析认为，晚白垩世时区域性北北东向与北西向基底断裂复活，导致碱性岩浆的喷发，娘娘山古火山机构是多次喷发与侵入活动的产物，火山活动末期火山管道堵塞之后，残余碱性岩浆沿火山颈南侧的寄生管道侵入形成黝方石霓辉正长斑岩筒。岩石中成矿元素金、铜、银丰度较高，金含量为 4.3×10<sup>-9</sup>，铜含量

① 华东地质科学研究所. 宁芜火山岩地区铁(铜)矿床成矿规律、找矿标志及找矿方法专题研究报告. 1976.

$33 \times 10^{-6} \sim 1100 \times 10^{-6}$ , 银含量平均为  $0.45 \times 10^{-6}$ , 且遭受岩浆期后的钾长石化交代作用( $K_2O > Na_2O$ ). 在此过程中大量的 Au、Cu 等元素从围岩活化迁移出来, 成矿热液沿着压扭性断裂构造上升, 在有利的构造空间富集成矿.

在成矿过程中, 从早期阶段到晚期阶段, 温度呈现有规律下降趋势. 包裹体均一法测温结果显示早期石英硫化物阶段为  $253 \sim 230 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 中期锰菱铁矿硫化物阶段为  $211 \sim 207 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 晚期重晶石阶段为  $174 \sim 171 \text{ }^\circ\text{C}$ . 另外其 Ag/Au 比值依次为 0.5、4、8, 随温度递减金含量呈逐渐降低的规律. 根据矿体的围岩剥蚀深度不大, 为保存较好的火山口-火山颈相岩石. 矿石内角砾化现象较普遍, 金的品位很不均匀. 成矿作用具有脉状多阶段性与垂直分带性的特点. 矿脉出现代表氧化环境的巢状镜铁矿矿体. 所有这些矿床地质与矿石特点, 都说明矿床形成于浅成环境, 成矿深度一般为  $100 \sim 400 \text{ m}$ .  $400 \sim 550 \text{ m}$  矿化明显减弱(并以银、硫、铜矿化为主).  $600 \text{ m}$  以下仅见矿化构造破碎带(元素含量低于边界品位), 推测形成时上覆层厚度  $300 \sim 1000 \text{ m}$ . 各不同阶段形成的矿脉界线清晰, 穿插胶结关系显而易见, 矿物常以晶洞状、晶梳状或带状分布特点, 矿石角砾状构造比较发育, 交代作用仅限于硫化物矿物之间, 不具普遍性, 显示热液活动的方式系以充填为主. 因此, 铜井金铜矿床属与构造-火山活动有关的中浅成热液充填脉型矿床.

## 6 结论

(1) 铜井金铜矿床是宁芜盆地热液成因脉型金铜矿床的典型矿床. 矿体主要呈脉状、似脉状和透镜状赋存于近北北西向压扭性断裂与古火山机构复合部位, 具有等距雁行排列的特点.

(2) 铜井金铜矿床先后经历了早期石英硫化物阶段、中期石英硫化物碳酸盐阶段和晚期为碳酸盐阶段, 其中石英硫化物碳酸盐阶段为主成矿(矿化)阶段.

(3) 研究表明, 矿石中黄铜矿硫同位素  $\delta^{34}\text{S}$  平均为

$3.63\text{‰}$ ,  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  平均为 22.139, 为幔源硫来源, 金、铜成矿物质为白垩系娘娘山组碱性玄武安山质岩浆分异演化到晚期分熔的产物, 成矿热液沿着压扭性断裂构造上升, 在有利的构造空间富集成矿. 流体包裹体均一温度为  $171 \sim 253 \text{ }^\circ\text{C}$ , 成矿深度为  $100 \sim 400 \text{ m}$ . 总体上, 铜井金铜矿床属与构造-火山活动有关的中浅成热液充填脉型矿床.

## 参考文献:

- [1] 赵玉琛. 宁芜火山岩型铜金矿类型和成因探讨[J]. 黄金, 1994, 15(11): 13—19.
- [2] 周小栋, 郭坤一, 陈国光, 等. 宁芜北段脉状铜矿床地质与成矿流体特征研究[J]. 中国地质, 2013, 40(5): 1622—1633.
- [3] 宁芜研究项目编写小组. 宁芜玢岩铁矿[M]. 北京: 地质出版社, 1978: 1—196.
- [4] 中国科学院地球化学研究所. 宁芜型铁矿床形成机理[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 1—152.
- [5] 周涛发, 范裕, 袁峰, 等. 宁芜(南京-芜湖)盆地火山岩的年代学及其意义[J]. 中国科学 地球科学, 2011, 41(7): 960—971.
- [6] 徐志刚, 盛继福, 孙善平. 关于“橄榄安粗岩系列(组合)”特征及某些问题的讨论[J]. 地质论评, 1999, 45(增刊): 43—62.
- [7] 毛建仁, 苏郁香, 陈三元, 等. 长江中下游中酸性侵入岩与成矿[M]. 北京: 地质出版社, 1990: 1—191.
- [8] 刑凤鸣. 宁芜地区中生代岩浆岩的成因——岩石学与 Nd、Sr、Pb 同位素证据[J]. 岩石矿物学杂志, 1996, 15(2): 126—137.
- [9] 范裕, 周涛发, 袁峰, 等. 宁芜盆地闪长玢岩的形成时代及对成矿的指示意义[J]. 岩石学报, 2010, 26(9): 2715—2728.
- [10] Zhou T F, Fan Y, Yuan F, et al. Geochronology and significance of volcanic rocks in the Ning-Wu basin of China[J]. Science in China (Series D), 2011, 54(2): 185—196.
- [11] 袁峰, 周涛发, 范裕, 等. 宁芜盆地花岗岩类的锆石 U-Pb 年龄、同位素特征及其意义[J]. 地质学报, 2011, 85(5): 821—833.
- [12] Duan C, Li Y H, Hou K J, et al. Late Mesozoic ore-forming event in the Ningwu ore district, Middle-Lower Yangtze River polymetallic ore belt, East China: Evidences from zircon U-Pb geochronology and Hf isotopic compositions of the granodioritic stocks[J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(3): 719—736.
- [13] 段超, 李延河, 毛景文, 等. 宁芜火山盆地凹山铁矿床侵入岩锆石微量元素特征及其地质意义[J]. 中国地质, 2012, 39(6): 1874—1884.
- [14] 王元龙, 张旗, 王焰. 宁芜火山岩的地球化学特征及其意义[J]. 岩石学报, 2001, 17(4): 565—575.