

中国东部中生代浅成热液金矿的类型、特征及其地球动力学背景

毛景文^{1,2}, 李晓峰², 张作衡², 王义天², 李厚民¹, 胡华斌¹

(1. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要: 中国东部中生代浅成热液金矿可以划分为与花岗岩和与碱性岩有关的两种类型;也可以分为高硫型和低硫型两大类,而且以后一种为主。这些金矿的形成和分布受区域构造制约,具体地说是受破火山口、火山角砾岩筒以及与火山机构有关的断裂控制。成矿围岩为火山岩类及同源花岗质岩石和周围地层。主要的蚀变组合为冰长石-玉髓-绢云母或明矾石-高岭石-石英(玉髓)。成矿年龄分布在180~188 Ma, 135~144 Ma, 127~115 Ma和94~105 Ma四个区间,前三组年龄分别响应于中生代华北板块与扬子克拉通的造山碰撞后陆内造山的伸展过程、构造体制大转折以及岩石圈大减薄,后一组为华南地区岩石圈再一次强烈伸展期间的产物。虽然这些矿床的形成时间有差异,但都是发育于大陆伸展环境中。

关键词: 浅成低温热液金矿床; 中国东部; 时空分布; 地球动力学背景

中图分类号: P618.51

文献标识码: A

文章编号: 1006-7493(2003)04-620-18

1 引言

浅成热液矿床(epithermal)是指产于地壳浅部环境的Au、Ag等贵金属、贱金属、Hg、Sb以及S、高岭石、明矾石等非金属矿床(Lindgren, 1922)。它们分别产于不同类型的火山构造环境中(Hedenquist et al., 2000)。根据其形成条件、特征矿物以及金属元素组合,可进一步分为低硫型和高硫型两大类(Bonham, 1986)或冰长石-绢云母型和明矾石-高岭石型(Heald et al., 1987)。过去的20年间,在中国东部(泛太平洋构造域)以及阿尔泰山-天山(中亚构造域),已经发现和评价了许多浅成低温热液金矿。其中,大多数为低硫型,只有个别为高硫型(例如福建紫金山和台湾金瓜石金矿两个大型矿床)。不同的学者从不同角度探讨了浅成低温热液矿床形成的构造环境、分类和特征。如胡受奚(1997)结合我国浅成热液矿床的基本特征,探讨了其分类;刘连登等(1999)从角砾/网脉-斑岩研究切入,初步总结了我国浅成低温热液矿床的基本特征。Qin等(2002)总结了我国新疆北部浅成热液矿床的基本特征。环太平洋构造域与中亚构造域有不同的地球动力学演化历史,相应其矿床时空分布和成矿过程也不同。本文基于以往的研究基础,综合论述了我国东部中生代浅成热液金矿的基本特征,并重点对其形成的地球动力学背景进行探讨。

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G1999043211)资助

第一作者简介: 毛景文,男,1956年生,研究员,长期从事金属矿床地质和地球化学研究。

2 中国东部中生代浅成热液金矿的时空分布

中国东部一般是指贺兰山—龙门山—线(北纬 108°)以东直至东部沿海的中国东北、华北、华东、中南等广大地区。目前,中国东部已经探明的浅成热液型金矿床有黑龙江团结沟、吉林五凤—五星山、辽宁二道沟、内蒙金厂沟梁、山西义兴寨、鲁西归来庄和七宝山、河南祁雨沟和上官、江苏溧水、安徽东溪和天头山,浙江治岭头、广西龙头山和福建紫金山(图 1)。吴尚全

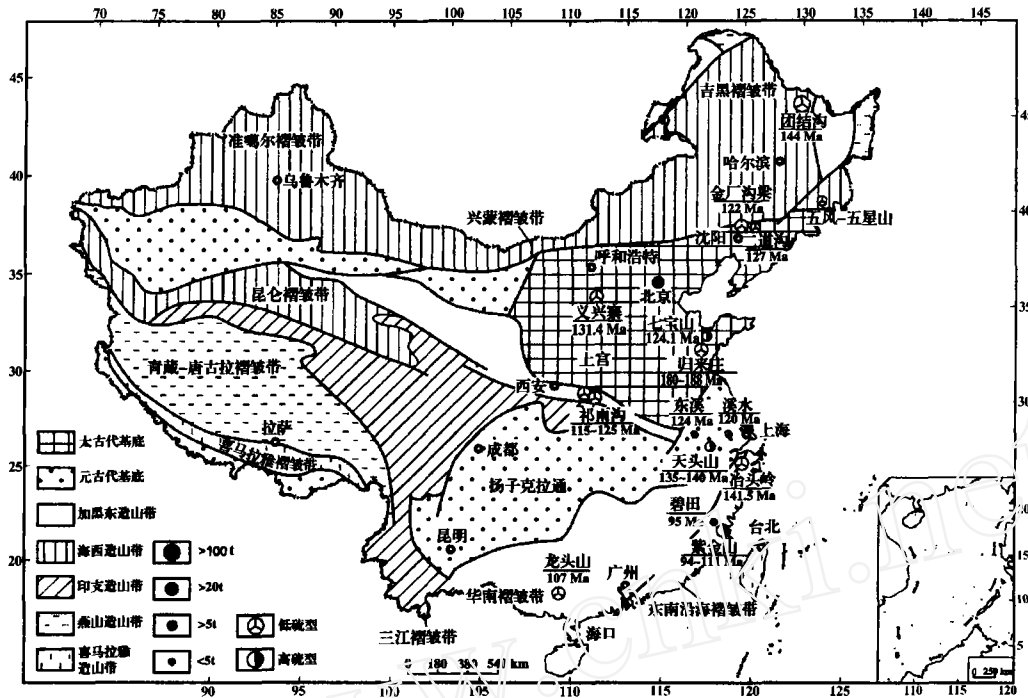


图 1 中国东部浅成低温热液金矿时空分布图

Fig. 1 Sketch map showing the major tectonic units and distribution of epithermal gold deposits in East China

等(1995)认为团结沟是一种比较典型的斑岩型金矿床,但矿化与斑岩和围岩白垩纪火山岩在空间上密切共生,其本身也具有典型浅成热液金矿的基本特点,因而陈毓川等(2001)将其归为后一类。鲁西七宝山金铜矿床产于中生代火山—侵入杂岩的斑岩体内角砾岩筒中,胡受奚等(1998)论证其为浅成热液金矿床。任富根等(1996)也将华北克拉通南缘熊耳山地区富含砷的上官金矿称为浅成低温热液型矿床。

浅成热液金矿在空间上通常出现于岛弧区或大陆边缘(涂光炽,1994;Hedenquist等,2001;陈毓川等,2001;陈根文等,2001)。中国东部浅成热液金矿床在构造位置上的分布虽然横跨兴蒙褶皱带、华北克拉通南北缘、扬子克拉通南缘、华南褶皱系和东南沿海褶皱带(图 1),但总体上位于中生代大陆边缘。从目前获得的放射性同位素测年资料来看,其成矿时代都是中生代,成矿年龄分布在 188~94 Ma 之间。除了鲁西归来庄金矿有关的碱性杂岩的成岩时代为 180~188 Ma 以外,其他金矿床出现在 135~144 Ma,127~115 Ma 和 94~105 Ma 几个时间段(图 1 和表 1)。这些金矿在时间和空间上与中生代的火山—次火山活动有密切关系。

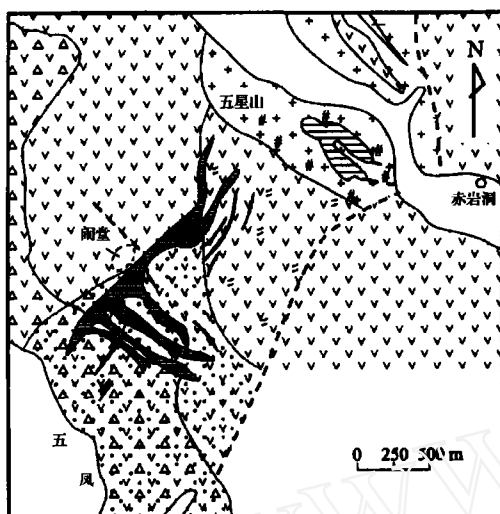
续表

矿床名称	地理位置	构造背景	赋矿岩石	控矿构造	围岩蚀变	矿石矿物组合	脉石矿物组合	均一温度 / °C	成矿时代 / Ma	矿体规模 / m	矿床储量 / t	矿石品位 / g·t ⁻¹	矿床成因类型	资料来源
归来庄	山东	尼山隆起东部	早侏罗世中偏碱性铜石次火山杂岩体 爆发角砾岩及英武系、石英系	NW向断裂	萤石化、硅化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化、绿泥石化	自然金、银金矿、碲金矿、碲铜金矿、黄铁矿、白铁矿、方铅矿、闪锌矿、辰砂	玉髓、萤石、蛋白石、方解石	200~300	188~180	长 500 宽 0.7~21.3	>20	1.51~15.89	低硫型	林景杆等, 1991; 陈希富等, 1999; 徐金方等, 1999
治头岭	浙江	遂昌断块隆起与松阳盆地交汇处	前寒武系陈蔡群变质岩	NE向断裂	硅化、绢云母化、黄铁矿化、绿泥石化、碳酸盐化	自然金、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿	石英、绢云母、绿泥石、绿帘石、方解石、萤石	310~390	141	长 400~1800	>5	12.1	低硫型	张亚雄等, 1994; 陈天虎等, 1994; 刘秉光等, 1995; 周俊法等, 1996; 毛伟雄等, 2001
祁雨沟	河南	熊耳山隆起带	太古宇太华群黑云母斜长片麻岩	NW、NE向断裂	硅化、钾长石化、绿泥石化、黑云母化、绢云母化、碳酸盐化	自然金、银金矿、黄铁矿、闪锌矿、方铅矿	石英、正长石、绿泥石、绿帘石、方解石	202~425	115~125	长 200~300 宽 0.5~1.5	30.7	6.16	低硫型	王宝德等, 1996; 刘廷强等, 1999
天头山	安徽	基底凹陷型火山盆地	上三叠统徽旌安山岩系火山岩	火山机构、NS向断裂	硅化、碳酸盐化、重晶石化、绢云母化、绿泥石化、高岭石化	磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿、自然金、银金矿	石英、重晶石	170~245	140~135	>5	>5	6.45	高硫型	邱检生等, 1998
东溪	安徽	基底隆起型火山盆地	下三叠统徽旌安粗岩系火山岩	火山机构、NE向断裂	硅化、冰长石化、碳酸盐化、绢云母化、青磐岩化	自然金、银金矿、方铅矿、黄铜矿	石英、冰长石、方解石	150~250	124	>5	>5	15.11	低硫型	邱检生等, 1998
龙头山	广西	大瑶山隆起西南缘	燕山晚期花岗岩、流纹岩、隐爆角砾岩	火山机构及有火断裂	电气石化、钾长石化、绢云母化、硅化、透闪石化、绿帘石化、碳酸盐化、角岩化	黄铁矿、方铅矿、黄铜矿	石英、电气石、绢云母	320~440	107	长 200~350 宽 80~300	6.39	4.4	低硫型	谢伦司等, 1993; 黄民智等, 1999; 朱桂田, 2002
七宝山	山东	鲁西地体、胶南地体、黄海地体拼贴带	早白垩世火山-侵入岩	火山机构及相关断裂	黄铁矿类岩化、硅化、碳酸盐化、钾化	自然金、黄铜矿、磁铁矿和辉铜矿	重晶石、菱铁矿	160~301	124.1	长 280~340	10.463	1.3	高硫型	刘廷强等, 1999 陈耀川等, 2001 胡受聚等, 1998 邱检生等, 1994

3 某些典型浅成热液金矿床特征

中国东部浅成热液金矿床的基本特征及其成矿时代列于表1。在构造上,这些金矿主要受火山口、破火山口、火山角砾岩筒以及与火山机构有关的断裂控制。矿体主要围绕火山口或者斑岩体,赋存于斑岩和/或附近的围岩中。安山岩、流纹岩、凝灰岩和火山角砾岩往往围绕次火山岩岩株、火山口和破火山口发育。矿化主要呈脉状、网脉状和角砾岩状,主要受多组方向的断裂和裂隙控制,特别是环状和放射状裂隙系统。主要的脉石矿物为石英、冰长石、明矾石、高岭石、地开石、绢云母、萤石、方解石和绿泥石等。在矿脉或蚀变岩型矿筒周围,分布一系列与温度变化密切相关的粘土矿物。与浅成热液金矿床有关的岩石类型变化主要有碱性系列和钙碱性系列岩石组合(Sillitoe, 1993)。大多数浅成热液金矿床与钙碱性花岗斑岩-火山岩有关,少数与碱性火山岩或侵入岩有关。与碱性岩类有关金矿往往富含碲(Jensen et al, 2000)。

3.1 与钙碱性系列岩石有关的金矿床



1. 第四系沉积物 (Quaternary sediments);
2. 侏罗系安山岩/石英安山岩 (Jurassic andesite and quartz andesite);
3. 侏罗系火山碎屑岩 (Jurassic pyroclastic rocks);
4. 碱长花岗岩 (alkali-granite);
5. 绢英岩化带 (Sericitization zone);
6. 硅化-水云母化带 (silicification and hydromicization zone);
7. 硅化-冰长石-沸石化带 (silicification-adularization-zeolitization);
8. 破碎蚀变带及含金石英脉 (Altered fracture zones and auriferous veins);
9. 网脉浸染状矿体 (stockwork disseminated orebodies);
10. 断裂 (faults);
11. 矿体 (orebodies)

图2 吉林五凤-五星山金矿区地质简图 (据冯守忠, 1998)

Fig. 2 Geological map of Wufeng-Wuxingshan gold deposit, Jilin province (after Feng et al, 1998)

钙碱性系列岩石有关的金矿床在中国东部相当发育,虽然与金矿有关的钙碱性系列花岗质岩石和相应的喷发岩有壳源和壳幔混源之别,但与之相关的金矿床却没有明显的差异。在这一类金矿床中,由于成矿流体的酸碱度差别,分别形成高硫型和低硫型矿石。

3.1.1 五凤-五星山矿床

五凤-五星矿床位于中朝边界,兴蒙褶皱带的东缘,延吉断陷盆地之中。矿区出露的岩石类型为上侏罗统安山质熔岩和安山质火山角砾岩,下白垩统陆相沉积岩,北部出露碱长花岗岩以及零星分布的次粗面安山岩和次安山岩。在西南部,金矿体主要赋存于火山岩中,在东北部,矿体主要赋存于碱性花岗岩中,并分别命名为五凤和五星山矿床(图2)。在东北部的五星山矿区,金矿体主要发育于次安山岩与细粒花岗岩体的接触带上。在五凤矿区矿体主要沿NW向、NE向断裂发育(图2),最大的矿体长2 km,宽3~8 m,矿体主要呈脉状、网脉状和浸染状。两个矿床的物质组分基本相同,以微细冰长石-绢云母-方解石-石英,萤石-方解石-石英和玉髓脉广泛发育为特征。围绕矿脉或者矿体往往发育较大的蚀变晕。矿石矿物主要有碲金矿、银金矿、自然金、自然银、辉银矿、黄铁矿、磁铁矿、闪锌矿、方铅矿、赤铁矿、黄铜矿、黝铜矿和辰砂。脉石矿物主要有蛋白石、玉髓、方解石、石

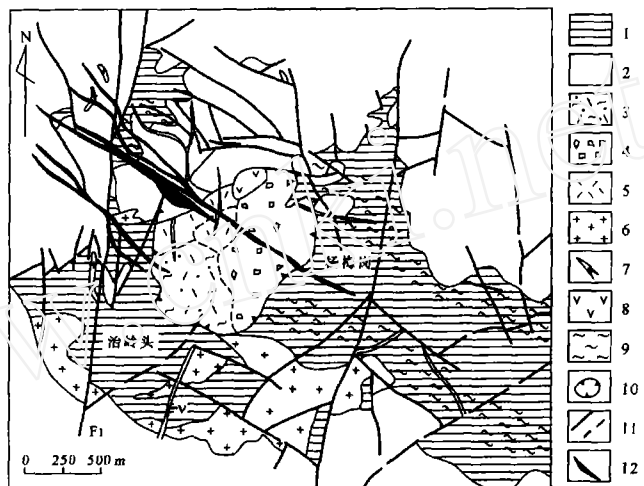
英、萤石、绢云母和高岭石(冯守忠,1998)。五凤-五星山矿床已探明金的储量为 5 吨,金的平均品位为 6 g/t。虽然迄今未见有成矿年龄数据的报道,但与矿化有关的围岩为侏罗纪末期的安山质火山岩及稍晚侵位的花岗岩,因此,相应的成矿时代为侏罗纪末期到白垩纪早期,约 140~150 Ma。矿床的流体包裹体的均一温度为 100~180 ℃,盐度 $\omega(\text{NaCl})$ 为 0.5%~5.0%。黄铜矿硫同位素为 1.0‰~2.6‰,平均值为 1.7‰,方解石的碳同位素为 -6.9‰~-9.4‰(冯守忠,1998),说明它们可能来源于地幔。然而,石英流体包裹体 O、H 同位素则显示主要为大气降水来源。

3.1.2 冶岭头金矿

浙江冶岭头金矿位于江山-绍兴深大断裂与余姚深大断裂之间遂昌断隆的东北倾伏端(毛伟雄等,2001)。矿区产出在元古宙基底陈蔡群变质岩与晚侏罗世磨石山组火山岩系中(图 3)。陈蔡群变质岩由二云片麻岩和黑云角闪岩组成,其内两组 NW 向韧性剪切带强烈发育。晚侏罗世磨石山组火山岩由酸性凝灰岩、流纹岩、流纹斑岩和火山角砾岩组成,构成一个破火山口。两者之间呈明显的角度不整合接触。燕山期花岗斑岩体出露在矿区外围。燕山期石英闪长玢岩墙、花岗斑岩墙、霏细斑岩墙、闪斜煌斑岩墙广泛发育(毛伟雄等,2001)。

矿化出现在破火山口周围的 NW 向韧性剪切带中,同时也受华峰尖中心塌陷式破火山构造的控制。构成了宽几十米,延长大于 2 500 m 的矿脉带。矿体由交代和充填形成的玉髓状含金石英岩、含金石英脉和含金石英网脉及黄铁绢英岩化片麻岩组成(毛伟雄等,2001,周俊法等,1996)。主要矿石矿物为黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、金银矿物系列、金银碲化物系列和银硫化物及硫盐;脉石矿物有石英、方解石、冰长石、蔷薇辉石、菱锰矿、绢云母、绿泥石。岳树勤(1983)^①将成矿划为自然金-碲化物阶段和自然金-金银矿-银硫化物阶段。近矿围岩蚀变有硅化、绢云母化、蔷薇辉石化、碳酸岩化和黄铁矿化。

前人用 K-Ar 法和流体包裹体 Rb-Sr 等时线方法对成矿年龄进行了测定,由于方法本身的精度限制,得出的结果变化范围大,为 82~141 Ma(王华田,1989^②;周俊法等,1996)。鉴于矿化与火山岩和相关脉



1. 元古界八都群黑云斜长片麻岩 (Proterozoic biotite-plagioclase gneiss of Badu group);
2. 上侏罗统中酸性火山岩 (Upper Jurassic intermediate-acid volcanic rocks);
3. 侏罗系火山角砾岩 (Jurassic volcanic breccia);
4. 侏罗系流纹岩 (Jurassic rhyolite);
5. 燕山期花岗斑岩 (Yanshanian granite-porphry);
6. 燕山期霏细岩 (Yanshanian felsite);
7. 侏罗系中酸性次火山岩 (Jurassic intermediate-acid subvolcanics);
8. 侏罗系凝灰岩 (Jurassic tuff);
9. 糜棱岩带 (mylonites);
10. 火山构造 (volcanic structures);
11. 断层 (faults);
12. 矿体 (orebodies)

图 3 浙江冶岭头金矿地质简图(据周俊法等,1996)

Fig. 3 Geological map of Zhitouling gold deposit, Zhejiang province (modified after Zhou et al, 1996)

① 岳树勤. 1983. 关于浙江冶岭头金银矿中硫铁铜矿的初步研究. 未公开出版资料

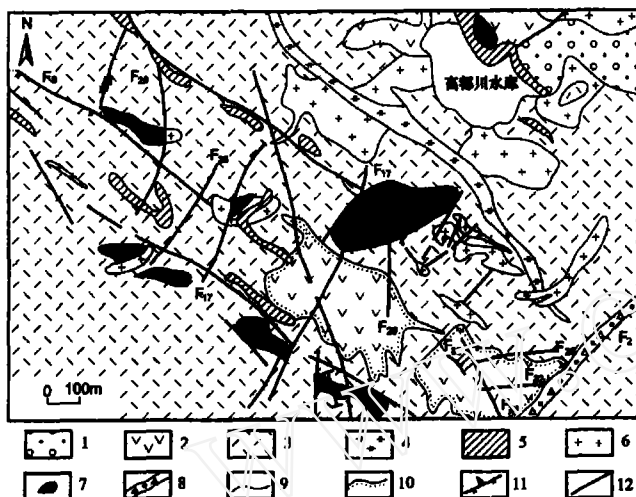
② 王华田. 1989. 浙江遂昌-龙泉一带金矿床成矿规律及找矿预测. 未公开出版资料

岩的密切关系,又对贯入在断裂中的石英闪长玢岩中角闪石进行 Ar-Ar 年龄测定和对花岗斑岩中的锆石进行 U-Pb 年龄测定,分别获得 167 ± 0.8 Ma 和 148 ± 0.5 Ma 数据(周俊法等,1996)。这些资料表明冶岭头金矿成矿时代可能为 141 Ma,与花岗斑岩的成岩时代相吻合,为晚侏罗世火山-岩浆事件的产物。

毛伟雄等(2001)对冶岭头金矿进行了系统地球化学研究,厘定矿石中 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围为 $-2.76\% \sim +4.58\%$,平均 $+1.3\%$,认为硫来自深部或岩浆,氢氧同位素显示为岩浆热液与大气降水的混合物。流体包裹体测温表现出 $330\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $270\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $170\text{ }^\circ\text{C}$ 三个峰值,成矿深度为 $460 \sim 1200$ m。

3.1.3 祁雨沟金矿

祁雨沟金矿(探明储量 40 吨)位于熊耳山东缘,中生代华山花岗岩体南东 5 km。在金矿区及邻区未见同时代火山岩,但金矿体赋存于隐爆角砾岩筒中。已发现 38 个角砾岩筒和许多小的斑岩体沿 NW 向和 NE 向断裂发育(图 4)。与金矿化有关的钾长石 Ar-Ar 法年龄为 $115 \sim 125$ Ma(任富根等,1996;王义天等,2001),稍晚于华山花岗岩体侵位的 Rb-Sr 等时线年龄(邵克忠和栾文楼,1989)。



1. 第四系残破积 (Quaternary sediments); 2. 中元古代熊耳山群中性火山碎屑岩夹镁质火山岩 (Middle Proterozoic intermediate-felsic volcanic rocks intercalated with clastic rocks, mafic volcanic rocks of the Xiong'ershan group); 3. 晚太古代太华群 (Late Archean crystalline basement rocks of the Taihua group); 4. 白垩纪花岗斑岩 (Cretaceous granite porphyry); 5. 白垩纪二长花岗斑岩 (Cretaceous diorite porphyry); 6. 白垩纪黑云母花岗岩 (Cretaceous biotite granite); 7. 含金角砾岩 (gold-bearing breccia); 8. 破碎角砾岩带 (fractured breccia zone); 9. 地质界限 (geological boundary); 10. 不整合地质界限 (discordant boundary); 11. 逆冲断层 (thrust fault); 12. 断层 (fault)

图 4 祁雨沟金矿地质简图 (据任富根等,1996)

Fig. 4 Geological sketch map of Qiyugou area showing the distribution of breccia pipes (after Ren et al., 1996) along a group of NW-trending faults. The pipes cut through and brecciate both Late Archean and Middle Proterozoic country rocks

祁雨沟金矿主要有 6 个含金角砾岩筒组成(图 4)。角砾岩筒在平面上呈椭圆形和纺锤形,面积 $0.01 \sim 0.03$ km^2 ,垂直延伸大于 660 m。角砾的直径大小一般为几厘米到几米不等。角砾的成分比较复杂,主要为顶板及周围的太华群各类片麻岩、熊耳群安山岩和各种岩株、岩脉的碎块,其形态多为次棱角状和棱角状。

祁雨沟金矿的热液活动可以划分为 3 个阶段。第一阶段主要与云英岩化有关,蚀变矿物组合有石英-黄铁矿、石英-白云母-玉髓以及石英-白云母-黄铁矿组合。第二阶段是金的主要成矿期,主要有金、贱金属硫化物和石英组成,还有钾长石、绿钙闪石及少量的辉碲铋矿。第三阶段有石英、方解石和黄铁矿网脉组成(邵克忠和栾文楼,1989;任富根等,1996)。三个成矿阶段流体包裹体的均一温度分别为 $433 \sim 331\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $338 \sim 240\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $200 \sim 174\text{ }^\circ\text{C}$ (邵克忠和栾文楼,1989;陈衍景和富士谷,1992)。热液蚀变及矿化主要局限于角砾岩筒中,富金地段主要位于角砾岩筒的

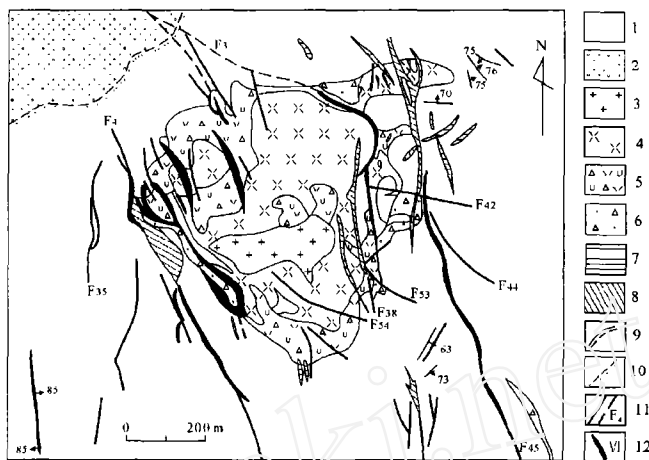
中—中上部及裂隙发育地段。钾长石-石英-黄铁矿蚀变与金的矿化作用最为密切。

黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-1.8\text{‰} \sim +2.7\text{‰}$, 黄铜矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-2.3\text{‰} \sim -1.0\text{‰}$, 方铅矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-3.5\text{‰} \sim -2.1\text{‰}$ (邵克忠等, 1989; 任富根等, 1996)。含金石英脉石英流体包裹体的氢、氧同位素分别为 $1.4\text{‰} \sim 7.0\text{‰}$ 和 $-52\text{‰} \sim -74\text{‰}$ (任富根等, 1996)。这些表明祁雨沟金的矿化作用与岩浆作用有关。

3.1.4 龙头山金矿

龙头山金矿床位于华南大瑶山隆起区西南的龙山鼻状背斜倾伏端 (广西地质矿产局, 1985), 平天山金银多金属矿田西南部。区内出露地层主要为寒武系浅变质碎屑岩与泥盆系—二叠系碳酸盐岩与碎屑岩, 三叠系、白垩系和第三系在矿区周边零星出露 (图 5)。矿区内燕山晚期岩浆活动强烈, 其中流纹斑岩、角砾熔岩和花岗斑岩构成的龙头山火山—侵入杂岩体呈筒状侵位于下泥盆统碎屑岩中, 其锆石 U-Pb 年龄为 $103.5 \sim 107.7 \text{ Ma}$ (陈毓川等, 2001), 属第一次岩浆活动产物。第二次侵入以黑云母花岗岩为主体的平天山岩体, 呈岩株状侵位于寒武系浅变质碎屑岩和下泥盆统碎屑岩, 出露面积 29 km^2 ; 还有以狮子山花岗斑岩为代表的岩脉群, 呈 SN 向分布于矿田中部寒武系浅变质碎屑岩, 其黑云母 K-Ar 年龄为 $92.2 \sim 96.0 \text{ Ma}$ 。这一套花岗质岩石及喷出岩为富含挥发组分的壳源钙碱性系列岩石。区内褶皱和断裂构造发育, 褶皱构造主要有加里东期 (NEE 向)、华力西—印支期 (NE 向) 和燕山期 (NEE 向) 褶皱; 断裂按其走向大致有 NW, NNW (近 SN), NE, 近 EW (NEE) 向 4 组 (黄民智等, 1999)。

龙头山金矿床包括斑岩角砾岩和构造角砾岩两种矿化类型。矿化明显受火山机构及其有关断裂的控制, 矿体出现于花岗岩超浅成侵入体的接触带, 围岩主要为火山角砾岩、角砾熔岩和流纹斑岩。已经探明 20 余个矿体, 长度一般 $200 \sim 359 \text{ m}$, 延深 $80 \sim 300 \text{ m}$, 厚度 $0.2 \sim 25 \text{ m}$ 。沿走向矿体有膨大缩小、分枝复合等现象。金品位为 $3 \sim 20 \text{ g/t}$, 银品位 $20 \sim 30 \text{ g/t}$ 。主要矿物为石英和电气石, 次为黄铁矿、绢云母、褐铁矿与赤铁矿。微量矿物为自然金、毒砂、黄铜矿、辉铜矿、方铅矿、闪锌矿、铜蓝以及银的硫酸盐。围岩蚀变主要类型有电气石化、钾长石化、黄铁矿化、绢云母化、硅化、透闪石化、绿帘石化、碳酸盐化和角岩化等, 其中电气石化、硅化、黄铁矿化蚀变与金矿化的关系极为密切 (谢抡司等, 1993)。



1. 泥盆系石英砂岩夹细砂岩 (Devonian quartzose sandstone with intercalated fine-grained sandstone); 2. 寒武系浅变质细砂岩 (Cambrian epimetamorphic fine grained sandstone); 3. 燕山期花岗斑岩 (Yanshanian granite porphyry); 4. 燕山期流纹斑岩 (Yanshanian rhyolite porphyry); 5. 燕山期隐爆角砾岩 (Yanshanian cryptoexplosion breccia); 6. 燕山期火山角砾岩 (Yanshanian volcanic breccia); 7. 燕山期石英斑岩 (Yanshanian quartz porphyry); 8. 燕山期霏细岩 (Yanshanian felsite); 9. 地质界线 (geological boundary); 10. 不整合地质界线 (discordant boundary); 11. 断裂 (faults); 12. 矿体 (orebodies)

图 5 龙头山金矿床地质简图 (据广西地质六队)

Fig. 5 Geological sketch map of Longtoushan gold deposit (After the Sixth Geological Team, Guangxi)

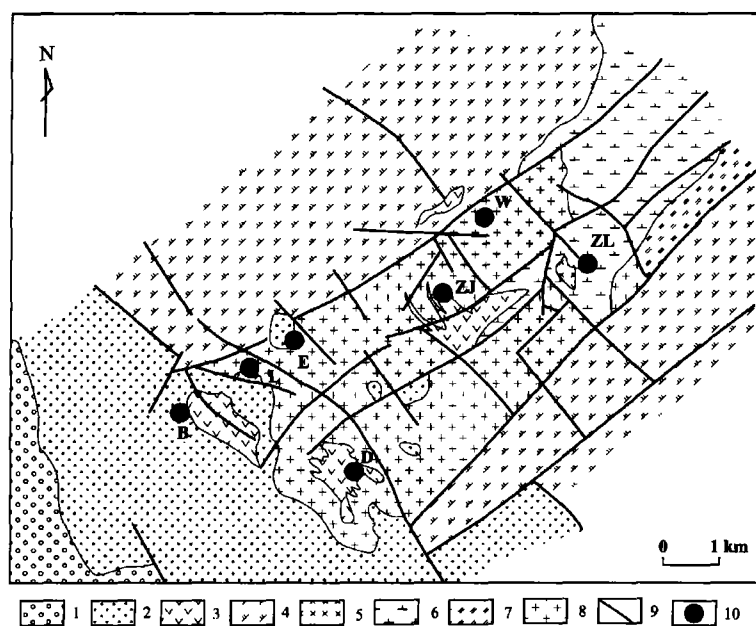
龙头山金矿流体包裹体均一温度为 $177\sim 286\text{ }^{\circ}\text{C}$,属于中低温矿床。矿石中的黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $0.64\text{ }_{\text{‰}}\sim 2.48\text{ }_{\text{‰}}$,平均为 $1.7\text{ }_{\text{‰}}$ (朱桂田,2002),显示硫来自深部。成矿晚期的石英流体包裹体的 δD 为 $-61\text{ }_{\text{‰}}\sim -80\text{ }_{\text{‰}}$,而 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $-2.2\text{ }_{\text{‰}}\sim -7.44\text{ }_{\text{‰}}$,表明流体以大气降水为主(朱桂田,2002)。

3.1.5 紫金山金矿田

紫金山铜金矿田位于东南沿海火山岩带西部早白垩世上杭火山构造洼地北缘,盆地基底岩石为新元古代变质碎屑岩,盖层为白垩系英安岩、粗面安山岩、凝灰岩和流纹岩。该构造洼地北缘曾经是一个火山活动中心,火山机构盖层已经被剥蚀殆尽,次英安斑岩及其下部的花岗闪长斑岩先后沿火山管道侵位,构成一个复式火山岩筒。环绕斑岩发育 $100\sim 200\text{ m}$ 的隐爆角砾岩环,总体呈“蟹状”紫金山火山机构是矿田最重要的矿化蚀变中心(高天钧,1998)。矿田内NE、NW和EW向三组断裂发育,将岩石切成菱形块体,这些裂隙也是各类岩墙和矿化形成的空间。紫金山矿田发育有斑岩型铜矿(中寮矿床)、高硫型浅成低温Au-Cu矿(紫金山矿床)和低硫型浅成低温Ag-Au-Cu矿床(碧田)(华仁民等,2002;张德全等,2003)。

碧田Ag-Au-Cu矿床位于上杭—碧田火山盆地西南边缘,在基底与盖层之间发育有一系列铲式断裂,大多数为热液角砾岩和Ag-Au-Cu矿脉充填。矿体一般沿走向长 $100\sim 700\text{ m}$,沿倾向延长在 $500\sim 1\ 500\text{ m}$ 之间。赋矿围岩有粗安质火山岩和花岗岩。矿石矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、自然金和微量的辉银矿、方铅矿、闪锌矿、自然银和银金矿。脉石矿物有石英、玉髓、绢云母、水白云母、冰长石和少量的菱铁矿和重晶石。围岩蚀变主要有玉髓、冰长石和绢云母。从脉中心向两侧,依次发生玉髓化、硅化、冰长石化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化和粘土化(包括水白云母和高岭石)(黄铁心等,1996)。紫金山Cu-Au矿床位于矿田的中心(图6),是典型的高硫型浅成低温热液矿床(张德全等,1991)。矿床处于一个被剥蚀了早白垩世火山机构旁侧,绝大多数矿体产于早白垩世火山岩与晚侏罗世花岗岩体($157\pm 7.3\sim 141\pm 67\text{ Ma}$,张德全等,2001)不整合面之下的蚀变花岗岩中。少部分矿体出现在蚀变英安岩中。围岩蚀变以大量明矾石化和硅化为特征,矿化表现为上金下铜的分带现象,金矿石由黄铁矿,自然金,石英和少量蛋白石组成。铜矿石由黄铁矿、硫砷铜矿、蓝辉铜矿、铜蓝、石英、明矾石,少量迪开石和绢云母组成。金矿化与硅化、铜矿石与明矾石关系密切(张德全等,1991)。中寮斑岩铜矿位于矿田的NE部(图6),矿区内有早白垩世中寮和罗卜岭花岗闪长岩体。由黄铁矿,黄铜矿,斑铜矿和少量细网脉状—浸染状矿化。以岩体为中心有钾硅酸盐蚀变带和青盘岩化带,后期叠加有石英绢云母化。张德全(2001)对中寮、五子骑龙、紫金山和碧田矿床进行Ar-Ar和Rb-Sr年龄测定,分别为 $104.5\pm 1.7\text{ Ma}$, $102.5\pm 1.5\text{ Ma}$, $101.9\pm 1.3\text{ Ma}\sim 100\pm 3\text{ Ma}$ 和 $94.7\pm 2.3\text{ Ma}$,这组数据也与成矿有关的花岗闪长岩的Rb-Sr年龄 $105\pm 7.2\text{ Ma}$ 相吻合。

与中寮矿床、紫金山矿床相比,碧田矿床远离白垩纪花岗闪长岩株。与之相对应,中寮成矿流体的均一温度和盐度最高(钾长石—黑云母带均一温度为 $420\sim 660\text{ }^{\circ}\text{C}$,盐度 $\omega(\text{NaCl})$ 为 $10.5\%\sim 68.5\%$;绢云母—石英带均一温度为 $260\sim 440\text{ }^{\circ}\text{C}$,盐度 $\omega(\text{NaCl})$ 为 $4.5\%\sim 44.0\%$);紫金山次之(绢云母—石英带均一温度为 $220\sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$,盐度 $\omega(\text{NaCl})$ 为 $3.9\%\sim 15.2\%$;石英—冰长石带均一温度为 $120\sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$,盐度 $\omega(\text{NaCl})$ 为 $0.9\%\sim 20.9\%$),而碧田最低(均一温度 $126\sim 269\text{ }^{\circ}\text{C}$,盐度 $\omega(\text{NaCl})$ 为 $0.9\%\sim 5.0\%$)(张德全等,2003)。显而易见,从斑岩铜矿、高硫型浅成低温热液矿床到低硫型浅成低温热液矿床,有越来越多的的大气降水加入到成矿流体中,



1. 晚白垩世红色砂岩 (Late Cretaceous red beds); 2. 早白垩世陆相火山岩 (Early Cretaceous subvolcanic rocks); 3. 早白垩世潜火山岩/火山碎屑岩/热液角砾岩 (Early Cretaceous subvolcanic and hydrothermal breccia); 4. 震旦纪和晚古生代变质沉积岩 (Meta-sediments of Upper Proterozoic and Upper Palaeozoic); 5. 早白垩世萝卜岭花岗岩闪长斑岩 (Early Cretaceous Luoboling granodiorite); 6. 早白垩世中寮花岗岩闪长岩 (Early Cretaceous Zhongliao granodiorite); 7. 早白垩世才溪二长花岗岩 (Early Cretaceous Caixi monzogranite); 8. 晚侏罗世紫金山花岗岩 (Late Jurassic Zijinshan granite); 9. 断裂 (faults); 10. 矿床 (deposits): B. 碧田 (Bitian) (Ag-Au-Cu), L. 龙江亭 (Longjiangting) (Cu), D. 大炭岗 (Dajigang) (Cu-Au), E. 二庙沟 (Ermiogou) (Au-Cu), ZJ. 紫金山 (Zijinshan) (Cu-Au), W. 五子骑龙 (Wuziqilong) (Cu), ZL. 中寮 (Zhongliao) (Cu(Mo))

图6 福建紫金山地区地质简图 (据张德全等, 2003)

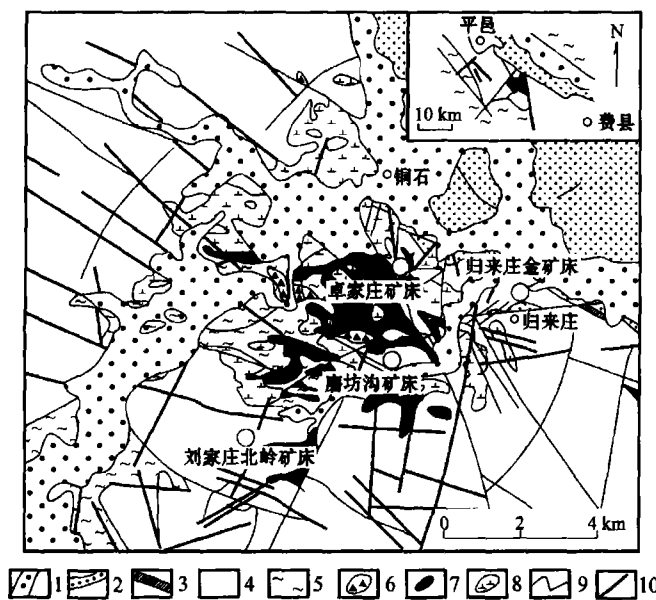
Fig. 6 Simplified geologic map of the Zijinshan area, Fujian province (after Zhang et al, 2003)

这一点与 Hedengryst 和 Lowenstern (1994) 所提出的模型基本吻合。张德全等 (1992) 和华仁民等 (1998) 通过稳定同位素研究认为紫金山矿床组合中的成矿流体以循环的大气降水为主, 有少量的岩浆水的混入。

3.2 与碱性岩浆系列有关的金矿床

与碱性侵入-喷出杂岩有关的金矿床通常为一种低硫型浅成热液矿床。由于美国科罗拉多与碱性火山杂岩有关的 Creep Creek 金矿拥有 700 多吨金的累计储量, 以及斐济的 Ladolam 和巴布亚新几内亚的 Porgera 大型斑岩-浅成热液金矿的探明 (Jensen and Barton, 2000), 此类型金矿一度成为找矿热点。我国 80 年代在冀北水泉沟碱性杂岩体南缘发现了东坪等金矿床 (宋官祥, 1990), 并认为是一种类似于 Creep Creek 的矿床 (宋官祥, 1991; Zhang and Mao, 1995)。但是, 后来的进一步研究证明水泉沟碱性杂岩与金矿化具有 100 Ma 的时间间隔 (江思宏等, 2000; Hart et al, 2002)。目前, 我国此类矿床以鲁西归来庄矿床为代表 (林景仟等, 1997)。山西义兴寨金矿也可能属于此类 (李双宝等, 1997; 刘连登等, 1999)。

归来庄金矿位于山东省西部, 郯庐深大断裂带西侧。归来庄金矿及外围的磨坊沟, 桃方沟等位于铜石中生代次火山杂岩体中 (图 7)。铜石次火山杂岩体出露面积 30 km², 主要有早期侵位的石英二长闪长斑岩和晚期的二长斑岩-正长斑岩组成, 并形成次火山穹隆。矿化在



1. 第四系沉积物 (Quaternary sediments); 2. 中生界石英砂岩 (Mesozoic quartz sandstone); 3. 上古生界铁铝质泥岩 (Upper Paleozoic ferromudstone); 4. 下古生界碳酸盐岩 (Lower Paleozoic carbonate rocks); 5. 泰山群黑云变粒岩及太古代花岗岩 (Biotite-leptynite and Archean granite); 6. 燕山早期隐爆角砾岩 (Early Yanshanian cryptoplosion breccia); 7. 燕山早期二长质/正长质岩石 (Early Yanshanian monzonitic/orthoclastic rocks); 8. 燕山早期二长闪长斑岩 (Early Yanshanian monzonitic diorite porphyry); 9. 地质界线 (geological boundary); 10. 断层 (faults)

图7 山东铜石次火山杂岩体分布区域地质图 (据林景仟等, 1995)

Fig. 7 Simplified geological map of Tongshi subvolcanic complex, Shandong province

主要的矿化类型。在这些矿床中很少见银金矿、自然金、自然银等金属矿物, 主要有碲金矿、碲铅矿、碲铋矿、碲汞矿、碲银矿、碲镍矿等碲化物, 以及黄铁矿、磁黄铁矿、白铁矿、黄铜矿、自然铜、方铅矿和闪锌矿。脉石矿物主要有蛋白石、玉髓、石英、绢云母、碳酸盐和萤石。流体包裹体研究 (林景仟等, 1995, 沈昆等, 2000) 表明石英-冰长石阶段均一化温度为 $300\sim 350\text{ }^{\circ}\text{C}$, 相应盐度 $\omega(\text{NaCl})$ 为 $1\%\sim 6\%$; 绢云母化阶段 $205\sim 275\text{ }^{\circ}\text{C}$, 盐度 $\omega(\text{NaCl})$ 为 $4\%\sim 10\%$; 水云母化阶段温度为 $140\sim 180\text{ }^{\circ}\text{C}$, 盐度 $\omega(\text{NaCl})$ 约为 20% 。流体包裹体的气相组分以 CO_2 为主, 液相组分为 CO_2 和 H_2O , 矿石中黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 为 $-0.71\%\sim 2.99\%$, 石英的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{R}}$ 为 $6.3\%\sim 13.5\%$, 表明成矿流体主要来自岩浆。

4 地球动力学背景

Hedenquist 等 (2001) 在对全球浅成热液型金矿进行总结的基础上, 认为许多浅成热液型金矿主要产于环太平洋岛弧带和大陆边缘地区。说明浅成热液金矿在成因上与太平洋板块的俯冲作用有关。作为环太平洋成矿带的一部分, 中国大陆远离太平洋俯冲带和日本岛弧带, 除了东南沿海地区以外, 其他地区的中新生代地球动力学演化与太平洋板块俯冲没有显示出清

时空上与二长-正长斑岩有密切关系, 矿体主要产于铜石以东沿断裂侵入的隐爆角砾岩体及其两侧的古生代围岩中 (图 7)。铜石次火山杂岩体角闪石 Ar-Ar 年龄测定表明, 石英二长-闪长斑岩为 $189.8\pm 0.2\text{ Ma}$, 二长斑岩为 $188.4\pm 1.6\text{ Ma}$ (林景仟等, 1997)。该次火山杂岩侵位于新太古代黑云母斜长片麻岩和寒武纪碎屑岩、碳酸盐岩。环状和放射状断裂围绕火山口发育, 其中的一部分成为矿化角砾岩筒。角砾岩包括斑岩、片麻岩、石英岩、白云岩, 胶结物由一系列细微矿物组成, 往往包含石英-冰长石-绢云母-水白云母-萤石-方解石和少量金属硫化物及含金矿物等。林景仟等 (1997) 将归来庄角砾岩矿石中的矿化蚀变组合总结为黑云母-磷灰石-黄铁矿、石英-冰长石-萤石-方解石-黄铁矿、绢云母-石英-萤石-碳酸盐岩, 水白云母-萤石-碳酸盐岩和含高岭石蚀变岩。此外, 还有少量的矽卡岩型金矿化沿岩体与寒武纪白云岩接触带发育。在磨坊沟和桃方沟, 含金石英脉是最

楚的直接关系。

中国东部浅成热液金矿,成矿时代局限于 188~94 Ma 之间(表 1),主要出现在 188 Ma, 135~144 Ma, 127~115 Ma 和 94~105 Ma 几个时间段,说明中国东部浅成热液金矿是地质历史演化过程中特殊地球动力学背景的产物。

毛景文等(2003a)研究提出在华北克拉通及其邻区(包括长江中下游地区),中生代金属矿床大规模成矿作用出现在 200~160 Ma, 140 Ma 左右和 130~110 Ma 3 个时期。通过对中生代地球动力学演化的分析研究,认为这三大成矿期所对应的地球动力学背景分别为华北板块与扬子板块的碰撞造山后陆内造山和伸展过程(碰撞造山后陆内造山和伸展过程指碰撞后同一方向或者同一应力场板块的持续挤压或松弛(或者伸展)),南北主应力场向东西主应力场构造体制大转折和东西向岩石圈大规模减薄作用。华北克拉通及其邻区浅成热液金矿床作为区内大规模成矿作用的组成部分,其成矿时限和背景基本相同。鲁西归来庄金矿出现于华北克拉通与扬子克拉通碰撞对接后的陆内造山期间,挤压与伸展交替出现,与金矿化有关的碱性杂岩体在壳幔强烈作用的伸展期生成。因此,控矿断裂以近东西向的张性断裂系统为主。从 160 Ma 开始南北向的主应力场逐渐开始向东西向转变,并于 140~135 Ma 完成,目前认为以早白垩世为界线。在此期间,深部岩浆以底辟形式侵位,形成了华北克拉通南北缘和长江中下游地区的斑岩型 Cu-Mo 矿和斑岩型-矽卡岩型-层状交代型 Cu-Mo-Au 矿床(毛景文等, 2003a, 2003b)。形成浅成热液型金矿的岩浆表现为高侵位(深度 < 1500 m),并伴随着火山喷发,这些矿床包括浙江治头岭(毛伟雄等, 2001),安徽天头山(邱检生等, 1998)和黑龙江团结沟(胡受奚等, 1998)。从 140 Ma 之后,开始出现东西向大规模伸展作用,并以 125~115 Ma 为鼎盛时期(毛景文等, 2003a),由于拆沉或去根作用岩石圈大幅度减薄,软流圈直接侵蚀到上地壳,大面积壳源岩浆形成及上侵定位和喷发。正是在这种背景下形成了剪切带型金矿和浅成热液型矿床,两者往往在同一地区同时形成。例如,在熊耳山地区,除了祁雨沟和上宫浅成热液矿床外,其他几十个矿床都是剪切带型(任富根等, 1996)或造山型(Mao et al, 2002)。此外,还有华北克拉通北缘的辽宁二道沟(刘家秀等, 2002)和内蒙古金厂沟梁(储金锁等, 2000; 刘家秀等, 2002),鲁西七宝山(胡受奚等, 1998)以及长江下游火山盆地中的江苏溧水(邱检生等, 1998)和安徽东溪(邱检生等, 1998)以及山西义兴寨(杨洪英等, 1997)。

对于华南地区中生代地球动力学演化尚不十分清楚。华南地区中生代有 1 000 多公里宽的花岗岩带,与太平洋板块俯冲有关的安第斯型活动大陆边缘花岗岩带不同,不仅表现为 7~10 倍宽于后者而使板块俯冲模型难于解释其形成,而且整个华南不像北美西岸有那样清楚的构造-岩石分带,即从太平洋向前寒武纪地盾有火山岩带、花岗岩带、过渡带、强变质变形带和前陆带(Monger et al, 2000)。陈培荣等(2001)认为在赣南和闽西南地区存在燕山早期的 A 型花岗岩(180~170 Ma)和双峰式火山岩(158~179 Ma)曾经出现过一个东西向的碱性岩带,具有双峰式特点,反映出一个伸展带或古坳拉槽,这一地球动力学过程可能与华北克拉通和扬子克拉通碰撞对接后陆内造山过程的地球动力学背景一致。李献华(2000)总结出华南白垩纪岩浆活动与岩石圈伸展的密切联系,并划分出 164~153 Ma, 146~136 Ma, 129~122 Ma, 109~101 Ma 和 97~87 Ma 五次花岗岩侵位事件,说明华南岩石圈出现过多期次的伸展作用。其中 146~136 Ma 和 129~122 Ma 两次事件可以与华北克拉通及邻区的地球动力学大转换和岩石圈大减薄相对应。在华南中部广泛发育的 NNE 走向的辉绿岩墙可能指示着岩石圈进一步裂解,其成岩时代为 136.6 ± 11 Ma(贾大成等, 2003)。无论如何,华南地区岩石圈

减薄不如华北地区及其周缘那样强烈,却在东南沿海一带有大面积的火山喷发(王德滋等,1999)。濒临华南褶皱带位于扬子克拉通南缘的冶岭头金矿在146~136 Ma时间段形成,与华北克拉通及其周缘同时代的其他几个矿床具有统一的形成背景。这一时期也是华南最重要的成矿时期,柿竹园钨多金属矿床(毛景文等,1998)、芙蓉锡矿(刘义茂等,2002)和赣南诸多钨锡矿床都是在此时生成(李华芹等,1993)。在103~110 Ma这一时间段虽然没有浅成热液金矿床的发现,但是花岗岩或火山岩有关的铀矿床却广泛分布,均为岩石圈伸展环境的产物(温志坚等,2000)。109~87 Ma时间段是华南地区颇具地域特色的岩石圈伸展时期,福建紫金山-碧田和广西龙头山等几个浅成热液矿床都在这一时间段形成,同时包括大厂在内的丹池锡多金属带(陈毓川等,1993)和个旧锡矿田也在此时生成。

5 结 论

通过对中国东部中生代浅成热液金矿床的综合分析研究,可以得出以下几点结论:

(1) 中国东部中生代浅成热液金矿床主要出现于大陆边缘的断陷火山盆地或隆起区沿断裂发育的岩浆-火山岩带中。大多数矿床直接受破火山口或火山机构裂隙的控制,矿体经常出现在角砾岩筒内。

(2) 中国东部中生代浅成热液金矿床可以分为低硫型和高硫型两种,除紫金山和天头山外其余都属于低硫型。按照与金矿有关的岩浆类型,也可以分为钙碱性和碱性两个岩石组合系列。除归来庄和义兴寨外,都属于钙碱性岩石组合系列。

(3) 中国东部中生代浅成热液金矿成矿时代局限于188~94 Ma之间,主要出现在188 Ma,135~144 Ma,127~115 Ma和94~105 Ma几个时间段,他们分别对应的地球动力学背景为华北板块与扬子板块的碰撞造山后陆内造山和伸展过程,南北主应力场向东西主应力场构造体制大转折和东西向岩石圈大规模减薄作用以及华南地区的再次伸展。

后 记:作者谨以此文表达对我国矿床学界泰斗、著名科学家徐克勤院士逝世的深切怀念。

参考文献:

- 陈常富,李炎水,蒋明霞. 1994. 山东归来庄金矿床岩浆岩化与成矿物理化学条件. 地质科技情报, 18(1): 60-66.
- 陈殿芬,那建国,钟通德. 1997. 福建碧田铜金银矿床的金属矿物研究. 岩石矿物学杂志, 16(3): 260-270.
- 陈根文,夏斌,肖振宇,等. 2001. 浅成低温热液矿床特征及在我国的找矿方向. 地质与资源, 10(3): 165-171.
- 陈培荣,华仁民,章邦桐,等. 2002. 南岭燕山早期后造山花岗岩类:岩石学制约和地球动力学背景. 中国科学(D辑), 32(4): 279-289.
- 陈天虎,林文通. 1994. 浙江冶岭金矿床成因研究. 合肥工业大学学报(自然科学版), 17(1): 187-192.
- 陈衍景,富士谷. 1992. 豫西金矿成矿规律. 北京:地震出版社, 1-234.
- 陈毓川,黄民智. 1993. 大厂锡矿地质. 北京:地质出版社, 102-181.
- 陈毓川,李兆蒲,毋瑞身. 2001. 中国金矿床及其成矿规律. 北京:地质出版社, 102-181.
- 储金锁,贾洪杰. 2000. 金厂沟梁金矿地质特征及成因. 矿产与地质, 14(3): 155-157.
- 冯守忠. 1998. 吉林五凤-五星山低硫型浅成热液金矿床地质特征与成矿条件. 火山地质与矿产, 19(2): 113-118.
- 高天钧,黄仁生. 1998. 福建省上杭紫金山矿田铜金银矿床类型及对比. 火山地质与矿产, 19(4): 283-294.
- 广西地质矿产局. 1985. 广西壮族自治区区域地质志. 北京:地质出版社.
- 胡受奚,王文斌. 1997. 与火山-次火山-侵入岩-热液作用有关的金矿床分类的探讨. 黄金地质, 3(3): 25-29.
- 胡受奚,王鹤年,王德滋,等. 1998. 中国东部金矿地质及地球化学. 北京:科学出版社, 296-338.

- 华仁民, 胡金化, 黄耀生, 等. 1998. 福建紫金山矿床流体运移—反应模式及其氧同位素示踪研究. 地球化学, 27(2): 187-195.
- 华仁民, 陆建军, 陈培荣, 等. 2002. 中国东部晚中生代斑岩—浅成热液金(铜)体系及其成矿流体. 自然科学进展, 12(3): 240-244.
- 黄民智, 陈伟十, 李蔚铮, 等. 1999. 广西龙头山火山—隐爆角砾岩型金矿床. 地球学报, 20(1): 39-46.
- 黄铁心, 刘晓东, 张金成. 1996. 碧田金矿—石英冰长石型浅成低温热液贵金属矿床. 地质地球化学, (6): 1-6.
- 贾大成, 胡瑞忠, 卢炎, 等. 2003. 湘东北钠质煌斑岩地幔源区特征及成岩构造环境. 中国科学(D辑), 33: 344-352.
- 贾永山, 戈全厚. 1994. 山西省义兴寨金矿床地质特征及成因探讨. 黄金, 15: 13-16.
- 江思宏, 聂风军. 2002. 冀西北水泉沟杂岩及有关金矿床的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 同位素年代学. 地质论评, 46: 621-627.
- 景淑慧. 1992. 繁峙义兴寨金矿的成矿条件. 山西地质, 7(1): 51-64.
- 李华芹. 1993. 热液矿床流体包裹体年代学研究及其地质应用. 北京: 地质出版社.
- 李双保, 李俊建. 1997. 山西恒山义兴寨金矿田成矿地球化学特征. 前寒武纪研究进展, 20(2): 1-21.
- 李献华. 1999. 华南白垩纪岩浆活动与岩石圈伸展——地质年代学与地球化学限制. 见: 中国科学院地球化学研究所, 等主编. 资源环境与可持续发展. 北京: 科学出版社, 264-275.
- 林景仟, 谭东娟, 于学峰, 等. 1997. 鲁西归来庄金矿成因. 济南: 山东科学技术出版社, 1-160.
- 林景仟, 谭东娟, 于学峰, 等. 1995. 归来庄金矿成因及成矿模式. 长春地质学院学报, 25(3): 286-293.
- 刘秉光, 易善峰. 1995. 基底岩系对火山岩型金矿成矿的意义. 贵金属地质, 4(2): 81-85.
- 刘家秀, 魏存弟, 赵春光, 等. 2002. 金厂沟梁—二道沟金矿田地质地球化学特征及成因探讨. 世界地质, 21(1): 13-17.
- 刘连登, 李颖, 兰翔. 1999. 论角砾/网脉-斑岩型金矿. 矿床地质, 18(1): 29-36.
- 刘义茂, 许继峰, 戴桂模, 等. 2002. 骑岭岭花岗岩体 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄及其地质意义. 中国科学(D辑), 32(增刊): 41-48.
- 栾文楼, 高永丰. 1990. 祁雨沟地区不同类型金矿床同期/同源的地质地球化学证据. 见: 中国科学院矿床地球化学开放实验室主编. 矿床地质与矿床地球化学研究新进展. 兰州: 兰州大学出版社, 62.
- 毛景文, 李红艳, 宋学信, 等. 1998. 湖南柿竹园钨锡钼多金属矿床地质与地球化学. 北京: 地质出版社, 1-215.
- 毛景文, 张作衡, 余金杰, 等. 2003a. 华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学背景: 从金属矿床年龄精测得到的启示. 中国科学(D辑), 33(4): 289-299.
- 毛景文, Holly Stein, 杜安道, 等. 2003b. 长江中下游地区铜金(钼)矿 Re-Os 年龄测定及其对成矿作用的指示. 地质学报, (印刷中).
- 毛伟雄, 华杰雄. 2001. 治头岭金银矿床成矿地球化学特征及矿床成因分析. 南方冶金学院学报, 22(4): 253-258.
- 庞奖励. 1997. 二道沟矿床绢云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义. 矿物学报, 17(4): 443-447.
- 庞奖励. 1998. 辽宁二道沟金矿稳定同位素地球化学研究. 陕西师范大学学报(自然科学版), 26(2): 81-84.
- 邱检生, 王德滋, 任启江, 等. 1994. 山东五莲七宝山金矿床成矿物理化学条件及矿床成因. 矿产与地质, 8(1): 12-18.
- 邱检生, 王玉华, 王德滋, 等. 1998. 郑庐断裂中南段与中生代火山—次火山作用有关金(铜)矿床的成矿控制及成矿规律. 矿床地质, 17(增刊): 119-122.
- 任富根, 李维明, 李增慧. 1996. 熊耳山—崂山地区金矿成矿地质条件和找矿综合评价模型. 北京: 地质出版社, 130.
- 邵克忠, 栾文楼. 1989. Bi-硫酸, Bi-碲化物——祁雨沟爆发—坍塌角砾岩型金矿床成因及找矿标志. 河北地质学院学报, 12(3): 299-305.
- 宋官祥. 1991. 一个与碱性杂岩有关的金矿床——冀北东坪金矿. 地质与勘探, 27(8): 1-8.
- 沈琨, 林景仟. 2001. 鲁西南归来庄金矿成矿流体特征和演化. 地质科学, 36(1): 1-13.
- 涂光炽. 1994. 中国火山岩型金矿床. 中国金矿研究新进展, 第1卷(上篇). 北京: 地震出版社, 65-82.
- 王宝德, 李胜荣. 1996. 河南祈雨沟爆发角砾岩型金矿床地球化学特征初步研究. 地质地球化学, 6: 37-54.
- 王德滋, 邱检生. 1999. 中国东部中生代火山岩系及其成因与构造制约. 见: 中国科学院地球化学研究所, 等编. 资源环境与可持续发展. 北京: 科学出版社, 256-263.
- 王义天, 毛景文, 卢欣祥. 2001. 嵩县祁雨沟金矿成矿时代的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年代学证据. 地质论评, 47(5): 551-555.
- 温志坚, 杜乐天, 刘正义. 2000. 相山矿田热液水云母化及其与铀矿化关系研究. 矿床地质, 19(3): 257-263.
- 吴尚全. 1984. 黑龙江团结结构斑岩金矿中的草莓状白铁矿. 矿物与岩石, 4(4): 20.
- 谢抡司, 孙邦东. 1993. 广西贵港市龙头山火山—次火山岩性金矿床地质特征. 广西地质, 6(4): 27-42.
- 杨洪英, 周军, 王建国. 1997. 山西省义兴寨金矿地质地球化学. 沈阳: 东北大学出版社.
- 叶荣, 赵伦山, 沈毓立. 1999. 山西义兴寨金矿成矿地球化学研究. 现代地质, 13(4): 415-418.
- 张长春, 王时麒, 张韬. 2002. 内蒙古金厂沟梁金矿稳定同位素组成和矿床成因讨论. 地质力学学报, 8(2): 156-164.

- 张德全, 李大新, 丰成友, 等. 2001. 紫金山地区中生代岩浆系统的时空结构及其地质意义. *地球学报*, 22(5): 403-408.
- 张德全, 李大新, 赵一鸣, 等. 1991. 福建紫金山矿床——我国大陆首例石英明矾石型浅成低温热液铜—金矿床. *地质论评*, 37(6): 481-491.
- 张德全, 李大新, 赵一鸣, 等. 1992. 紫金山铜金矿床蚀变和矿化分带. 北京: 地质出版社, 1-77.
- 张德全, 余宏全, 李大新, 等. 2003. 紫金山地区的斑岩—浅成热液成矿系统. *地质学报*, 77(2): 253-261.
- 周俊法, 钱建民. 1996. 冶头岭金银矿床的成矿时代. *浙江地质*, 12(1): 60-67.
- 朱桂田. 2002. 广西龙头山金矿床地质特征及成因研究. *矿产与地质*, 16(5): 266-272.

References:

- Bonham H F Jr. 1986. Models for volcanic-hosted epithermal precious metal deposits: A review; International Volcanological Congress, Symposium 5, Hamilton, New Zealand, February 1986, Proceedings, 13-17.
- Chen Changfu, Li Yanshui and Jiang Mingxia. 1994. Magmatic evolution and metallogenic physical and chemical condition of Guilaizhuang gold deposit in Pingyi, Shandong Province. *Geological Science and Technology Information*, 18(1): 60-66 (in Chinese).
- Chen Genwen, Xia Bin and Xiao Zhenyu, et al. 2001. Characteristics of epithermal deposits and the prospecting guide in China. *Geology and Resource*, 10(3): 165-171 (in Chinese with English abstract).
- Chen Dianfen, Na Jianguo and Zhong Tongde. 1997. Studies of metallic minerals from the Bitian copper-gold sliver deposit in Fujian Province. *Acta Petrological et Mineralogica*, 16(3): 260-270 (in Chinese with English abstract).
- Chen Peirong, Hua Renmin, Zhang Bangtong, et al. 2002. Early Yanshanian post-orogenic granitoids: contrasted on petrology and its geodynamic setting. *Science in China (Series D)*, 32(4): 279-289 (in Chinese).
- Chen Tianhu and Lin Wentong. 1994. Metallogenic mechanism of Zhilingtou gold deposit in Zhejiang Province. *Journal of Heifei University of Technology*, 17(1): 187-192 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yanjing and Fu Shigu. 1992. Metallogenic Regularities of Gold Deposits in the West of Henan Province. Beijing: Seismic Publishing House, 1-234 (in Chinese).
- Chen Yuchuan and Huang Minzhi. 1993. The Geology of Dachang Tin Deposit. Beijing: Geological Publishing House, 102-181 (in Chinese).
- Chen Yuchuan, Li Zhaonai and Wu Ruishen. 2001. Gold Deposits and Its Metallogenic Regularities in China. Beijing: Geological Publishing House, 102-181 (in Chinese).
- Chu Jinsuo and Jia Hongjie. 2000. The characteristics and genesis of Jinchanggouliang gold deposit. *Mineral Resources and Geology*, 14(3): 155-157 (in Chinese with English abstract).
- Feng Shouzhong. 1998. Metallogenic and geological features of Wudeng-Wuxingshan gold deposit in Jilin Province. *Volcanology & Mineral Resources*, 19(2): 113-118 (in Chinese with English abstract).
- Gao Tianjun, Huang Rensheng. 1998. Comparison of typical character of Zijinshan copper-gold-silver deposit, Fujian Province. *Volcanology & Mineral Resources*, 19(4): 283-294 (in Chinese with English abstract).
- Guangxi Bureau of Geology and Mineral Resources. 1985. The Regional Geology in Guangxi. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Hart C J R, Goldfarb R J, Qiu Y M, et al. 2002. Gold deposits in northern margin of the northern China craton: Multiple late Paleozoic-Mesozoic mineralization events. *Mineralium Deposita*, 37 (3): 326-351.
- Hedenquist J W and Lowenstern J B. 1994. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits. *Nature*, 370: 519-527.
- Hedenquist J W, Arribas A R and Gozalez-Urein E. 2000. Exploration for epithermal gold deposits. Gold in 2000, Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology, 13: 245-278.
- Henley R W and Ellis A J. 1983. Geothermal systems, ancient and modern. *Earth Science Review*, 19: 1-50.
- Hu Shouxi, Wang Wenbin. 1997. The classification of gold deposits related to volcanism and subvolcanism intrusion hydrothermal processes. *Gold Geology*, 3(3): 25-29 (in Chinese with English abstract).
- Hu Shouxi, Wang Henian and Wang Dezi, et al. 1998. The Geology and Geochemistry of Gold Deposits in East China. Beijing: Science Press, 296-338 (in Chinese).
- Hua Renmin, Hu Jinhua and Huang Yaosheng, et al. 1998. Fluid migration reaction model of Zijinshan deposit as traced by variation of oxygen isotope compositions. *Geochimica*, 27(2): 187-195 (in Chinese with English abstract).
- Hua R M, Lu J J and Chen P R, et al. 2002. The late Mesozoic porphyry-epithermal Au-Cu system in East China and their ore-

- forming fluids. *Advance in Natural Sciences*, 12(3): 240-244.
- Huang Minzhi, Chen Weishi and Li Weizheng. 1999. Longtoushan gold deposit of subvolcanic-Cryptoexplosion breccia type, Guangxi. *Acta Geoscientia Sinica*, 20(1): 39-46 (in Chinese with English abstract).
- Huang Tiexin, Liu Xiaodong and Zhang Jincheng. 1996. The Bitian gold deposit—A quartz-adularia type epithermal precious metal deposit. *Geology and Geochemistry*, 6: 1-6 (in Chinese with English abstract).
- Jensen E P and Barton M D. 2000. Gold deposits related to alkaline magmatism. *Gold in 2000*, Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology. 13: 279-314.
- Jia D C, Hu R Z and Lu Y, et al. 2003. The mantle source characteristics and the tectonic setting of agpaite lamprophyre. *Science in China (Series D)*, 33: 279-289.
- Jia Yongshan and Ge Quanhong. 1994. The metallogenesis and characteristics of Yixingzhao gold deposit, Shanxi Province. *Gold*, 15: 13-16 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Sihong and Nie Fengjun. 2002. ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology of the Shuiquanguo alkaline complex and related gold deposit, North-western Hebei, China. *Geological Review*, 46: 621-627 (in Chinese with English abstract).
- Jing Shuhui. 1992. The mineralogenetic conditions of Yixingzhai gold deposit, Shanxi. *Shanxi Geology*, 7(1): 51-64.
- Li Huaqin. 1993. The Study on the Geochronology of Fluid Inclusions of Hydrothermal Deposits and Its Implications. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Li Shuangbao and Li Junjian. 1997. Characteristics of metallogenic geochemistry of Yixingzhai gold mine field, Shanxi Province. *Progress in Precambrian Research*, 20(2): 1-21 (in Chinese with English abstract).
- Li Xianhua. 1999. Cretaceous magmatism and lithosphere extension in South China: the geochronology and geochemistry constraints. In: Institute of Geochemistry, Chinese Academy. ed. Resource Environment and Sustaining Development. Beijing: Science Press, 264-275 (in Chinese).
- Lin Jingqian, Tan Dongjuan and Yu Xuefeng, et al. 1997. Genesis of Guilaizhuang Gold deposit, Western Shandong. Jinan: Shandong Science and Technology Publishing House, 1-160 (in Chinese).
- Lin Jingqian, Tan Dongjuan and Yu Xuefeng. 1995. Genesis and metallogenic model of Guilaizhuang gold deposit. *Journal of Changchun University of Earth Science*, 25(3): 286-293 (in Chinese with English abstract).
- Lindgren W. 1922. A suggestion for a terminology of certain mineral deposits. *Econ. Geol.*, 17: 292-294.
- Liu Bingguang and Yi Shanfeng. 1995. The significance of basement rock in mineralization of volcanic rock type of gold deposit. *Journal of Precious Metallic Geology*, 4(2): 81-85 (in Chinese with English abstract).
- Liu Jiaxiu, Wei Cundi and Zhao Chunguang, et al. 2002. Discussion on genesis and geological-geochemical features of Jinchanggou-liang-Erdaogou gold mineralogenetic field. *World Geology*, 21(1): 13-17 (in Chinese with English abstract).
- Liu Liandeng, Li Ying and Lan Xiang. 1999. A discussion on breccia/stock-porphyry type gold deposits. *Mineral Deposits*, 18(1): 29-36 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yimao, Xu Jifeng and Dai Guimo, et al. 2002. ^{40}Ar - ^{39}Ar isotopic age on the Qitianling granite and its implications. *Science in China (Series D)*, 32(Suppl.): 41-48 (in Chinese).
- Luan Wenlou and Gao Yongfeng. 1990. The geochemical evidence on the same epoch and origin of different type gold deposits in Qiyugou area. In: Open Laboratory of Mineral Deposit Geochemistry, Chinese Academy, ed. Advance in Mineral Deposits and Geochemistry. Lanzhou: Lanzhou University Press, 62 (in Chinese).
- Mao Jingwen, Li Hongyan, Song Xuexin, et al. 1998. The Geology and Geochemistry of Shizhuyuan W, Sn, Mo and Bi Poly-metallic Deposit in Hunan. Beijing: Geological Publishing House, 1-215 (in Chinese).
- Mao Jingwen, Zhang Zuoheng and Yu Jinjie, et al. 2003a. Geodynamic setting of Mesozoic large-scale mineralization in the North China and adjacent area; implication from high precious and accurate ages of metal deposits. *Science in China (Series D)*, 33(4): 289-299 (in Chinese).
- Mao Jingwen, Holly S and Du Andao, et al. 2003b. Re-Os dating of Cu, Au (Mo) deposit and its implications for mineralization in Middle-Low branch of Yangtze River. *Acta Geologica Sinica*, (in Press) (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Goldfarb R J and Zhang Z W, et al. 2002. Gold deposits in the Xiaoqinling-Xiong'er shan region, Central China. *Mineralium Deposita*, 37(3): 306-325.
- Mao W X and Hua J X. 2001. On the geochemistry and genesis of gold-silver deposit of Zhilingtou field, Zhejiang. *Journal of Southern Institute of Metallurgy*, 22(4): 253-258.
- Monger J W H and Price R A. 2000. A transect of the Southern Canadian Cordillera from Vancouver to Calgary. Geological Survey of Canada, Open File 3902, 170p.
- Pang Jiangli. 1997. ^{40}Ar - ^{39}Ar dating of sericite and its geological implication. *Acta Mineralogica Sinica*, 17(4): 443-447 (in Chi-

- nese with English abstract).
- Pang Jiangli. 1998. Hydrogen and oxygen isotope in Erdaogou gold deposit, Liaoning Province. *Journal of Shannxi Normal University (Natural Science Edition)*, 26(2): 81-84 (in Chinese with English abstract).
- Qin K Z, Sun S, Li J L, et al. 2002. Paleozoic epithermal, Au and porphyry Cu deposits in North Xinjiang, China: epochs, features, tectonic linkage and exploration significance. *Resource Geology*, 52(4): 291-300.
- Qiu Jiansheng, Wang Dezi and Ren Qijiang, et al. 1994. The physics and geochemistry conditions of ore-formation and the genesis of Qibaoshan gold deposit, Shandong Province. *Mineral Resource and Geology*, 8(1): 12-18 (in Chinese with English abstract).
- Qiu Jiansheng, Wang Yuhua and Wang Dezi. 1998. The metallogenesis and ore-forming controlling of gold (copper) deposit related to Mesozoic volcanism-subvolcanism in middle and south part of Tanlu fault. *Mineral Deposits*, 17(Suppl.): 119-122.
- Ren Fugen, Li Weiming and Li Zenghui. 1996. Ore-Forming Geological Conditions and Models for Ore Searching and Ore Evaluation of Gold Deposits in Xiong'ershan-Xiaoshan Areas. Beijing: Geological Publishing House, 130 (in Chinese).
- Shao Kezhong and Luan Wenlou. 1989. Genesis of the bismuth sulfosalt and prospecting marks. *Bull. Geol. Coll. Hebei*, 12(3): 299-305 (in Chinese with English abstract).
- Shen Kun and Lin Jingqian. 2001. Characteristics and evolution of ore fluids in Guilaizhuang gold deposit, Southwest Shandong. *Scientia Geologica Sinica*, 36(1): 1-13.
- Sillitoe R H. 1999. Epithermal models: genetic types, geometric controls, and shallow features. Geological Association of Canada Special Paper 40: 403-417.
- Song Guanxiang. 1991. A deposit related to the alkaline complex - Dongping gold deposit in northern Hebei Province. *Geology and Exploration*, 27(8): 1-8 (in Chinese with English abstract).
- Tu Guangchi. 1994. Volcanic Type Gold Deposit in China. New Advance in the Study of Gold Deposits in China, Volume 1 (Part 1). Beijing: Seismic Publishing House, 65-82 (in Chinese).
- Wang Baode and Li Shengrong. 1996. The preliminary study on the geochemistry of Qiyugou explosive breccia gold deposit in Henan Province. *Geology and Geochemistry*, 6: 37-54 (in Chinese with English abstract).
- Wang Dezi and Qiu Jiansheng. 1999. The Mesozoic volcanic rock and its genesis and tectonic constraint. In: Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, ed. Resource Environment and Sustaining Development. Beijing: Science Press, 256-263 (in Chinese).
- Wang Yitian, Mao Jingwen and Lu Xinxiang. 2001. ^{40}Ar - ^{39}Ar and geochronological constraints on the ore-forming epoch of the Qiyugou gold deposit in Songshan county, Henan Province. *Geological Review*, 47(5): 551-555 (in Chinese with English abstract).
- Wen Zhijian, Du Letian and Liu Zhengyi. 2000. Relationship between hydromicatization and uranium mineralization in the Xiangshan deposit. *Mineral Deposits*, 19(3): 257-263 (in Chinese with English abstract).
- Wu Shangquan. 1984. The characteristics of framboidal marcasite in Tuanjieou porphyry gold deposit. *Mineralogy and Petrology*, 4(4): 20 (in Chinese with English abstract).
- Xie Linsi and Sun Bangdong. 1993. Geological characteristics of Longtoushan volcanic-subvolcanic gold deposit, Guangxi. *Guangxi Geology*, 6(4): 27-42 (in Chinese with English abstract).
- Yang Hongying, Zhou Jun and Wang Jianguo. 1997. The Geology and Geochemistry of Yixingzai Gold Deposit in Shanxi Province. Shenyang: Northeastern University Press (in Chinese).
- Ye Rong, Zhao Lunshan and Shen Yongli. 1999. Geochemistry features of Yixingzhai gold deposit in Shanxi Province. *Geoscience*, 13(4): 415-418 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Changchun, Wang Shiqi and Zhang Tao. 2002. Stable isotope characteristics of the Jinchanggouliang gold deposit in Inner Mongolia and its origin. *Journal of Geomechanics*, 8(2): 156-164 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Dequan, Li Daxin and Feng Chengyou, et al. 2001. The temporal and spatial framework of the Mesozoic magmatic system in the Zijinshan region and its geological significance. *Acta Geoscientia Sinica*, 22(5): 403-408 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Dequan, Li Daxin and Zhao Yiming, et al. 1991. The Zijinshan gold deposit: the first example of quartz-alunite type epithermal deposit in the continent of China. *Geological Review*, 37(6): 481-491 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Dequan, Li Daxin, Zhao Yiming, et al. 1992. Alteration and Mineralization Zoning of the Zijinshan Copper-Gold Deposit. Beijing: Geological Publishing House, 1-77 (in Chinese).
- Zhang Dequan, She Hongquan, Li Daxin, et al. 2003. The porphyry-epithermal metallogenic system in the Zijinshan region, Fujian Province. *Acta Geological Sinica*, 77(2): 253-261 (in Chinese with English abstract).

- Zhang Z C and Mao J W. 1995. Geology and geochemistry of the Dongping gold telluride deposit, Hebei province, North China. *International Geology Review*, 17: 1094-1108.
- Zhou Junfa and Qian Jianmin. 1996. The metallogenetic epoch of Zhilintou gold silver deposit. *Geology of Zhejiang*, 12(1): 60-67 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Guitian. 2002. The characteristics and genesis of Longtoushan gold deposit, Guangxi. *Mineral Resources and Geology*, 16(5): 266-272 (in Chinese with English abstract).

Geology, Distribution, Types and Tectonic Settings of Mesozoic Epithermal Gold Deposits in East China

MAO Jing-wen^{1,2}, LI Xiao-feng², ZHANG Zuo-heng², WANG Yi-tian², LI Hou-min¹, HU Hua-bin¹

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100037, China)

Abstract: We preliminarily describe the basic characteristics of the epithermal gold deposits in East China. The epithermal gold deposits in East China can be divided into low-sulfidation and high-sulfidation types, which are related to granitic and alkaline series magmatic rocks. Except for the Zijinshan in Fujian province and the Tiantoushan in Anhui province, the others are low-sulfidation epithermal gold deposits. The Guilaizhuang in the west Shandong and possibly the Yixingzhai in northwestern Shanxi are alkaline rock-related gold deposits. The epithermal gold deposits in East China are spatially distributed in the faulting-depressing volcanic basins or along the magmatic-volcanic zones in the uplift areas. Most of them are structurally controlled by calderas, craters, diatremes and related faults and hosted in volcanic rocks, intrusions and surrounding strata. The alteration assemblages are mainly adularia-chalcedony-sericite for low-sulfidation gold deposits, and alunite-kaolinite-quartz (chalcedony) for high-sulfidation gold deposits. In general, the alterations in these Mesozoic gold deposits do not show the obvious zoning as those in the Cenozoic gold deposits in the southeast Pacific islands and Japan. The ore-forming ages of the epithermal gold deposits in East China are within four pulses of 180-188 Ma, 135-144 Ma, 127-115 Ma and 94-105 Ma, respectively. The former three pulses geodynamically correspond to the extensional periods of post-collision orogenic process between North China and Yangtze cratons, transformation of the tectonic regime from NS- to nearly EW-directions, and significant thinning process of the lithosphere; The latter pulse is the products of the lithosphere extension in South China. We suggest that all the epithermal gold deposits in East China are the products of magmatic heat events in the extensional tectonic setting within the continental margin.

Key words: epithermal gold deposits; East China; time-space distribution; tectonic setting

(收修改稿日期:2003-08-18)