



福建泰宁何宝山-长兴地区脉状金矿床断裂构造系统研究

郭树仁

广东省佛山地质局, 广东 佛山 528000

摘 要: 以何宝山和长兴脉状金矿床为研究对象, 意在找到多级断裂构造与成矿关联, 解决制约本区深部及外围找矿难题。基于矿田构造调研和室内多元信息研究分析, 总结了控矿构造框架中多级断裂对不同规模成矿单元的控矿特征, 建立了构造格架。主要成果如下: 1) 坳上-南溪及叶家断裂, 为矿分布区控岩控矿构造, 控制矿田的空间展布; 2) 朱溪、大马圩断裂, 为何宝山矿田控岩控矿构造, 控制矿床的空间分布; 3) 北东向、北西向断裂, 为主要的控矿(导矿)断裂, 属成矿期构造, 控制矿带产出位置; 4) 北东东、北西向断裂, 属成矿期赋矿断裂, 控制矿体产出; 5) 朱溪、大马圩断裂为脉状金矿床边界断裂, 外围成矿规模及品位锐减; 6) 矿体受加里东期侵入岩接触带和北东东、北西向构造控制明显, 在断裂构造复合部位、不同岩性接触部位和产状变化明显处, 均可能是成矿有利部位可做为找矿构造标志。

关键词: 脉状金矿; 构造格架; 控矿构造; 多期性; 福建省

STUDY ON THE FAULT SYSTEM OF HEBAOSHAN-CHANGXING VEIN GOLD DEPOSITS IN TAINING COUNTY, FUJIAN PROVINCE

GUO Shu-ren

Foshan Geological Bureau, Foshan 528000, Guangdong Province, China

Abstract: Taking Hebaoshan-Changxing vein gold deposits as the study object, the paper aims to find the relation between multi-order fault structures and mineralization and solve the problems restricting the deep and periphery prospecting in the area. The ore-controlling characteristics of multi-order faults on different scales of metallogenic units are summarized and the tectonic framework is established on the basis of orefield structure survey and indoor multivariate information analysis. The main results are as follows: Aoshang-Nanxi and Yejia faults, as the rock- and ore-controlling structures in the orefield distribution area, control the spatial distribution of orefield. Zhuxi and Damaxu faults are the rock- and ore-controlling structures in Hebaoshan orefield to control the spatial distribution of deposit. The NE- and NW-trending faults are the major ore-controlling/conducting faults, belonging to metallogenic structure and controlling the location of ore belt. The NEE- and NW-trending ore-host faults of the metallogenic period control the orebody occurrence. Zhuxi and Damaxu faults are the boundary faults of the vein gold deposit, beyond which the metallogenic scale and grade drop down sharply. The orebody is obviously controlled by the contact zone of Caledonian intrusive rocks, NEE- and NW-trending structures. The composite of faults, lithological contact and position with obvious occurrence change are all potential mineralization sites and structural indicators for prospecting.

Key words: vein gold deposit; tectonic framework; ore-controlling structure; multiple phase; Fujian Province

收稿日期: 2019-09-18; 修回日期: 2019-12-04. 编辑: 李兰英.

作者简介: 郭树仁(1992—), 男, 硕士, 主要从事地质矿产勘查和地质灾害研究工作, 通信地址 广东省佛山市禅城区卫国路 43 号, E-mail//277157398@qq.com

成矿作用与区域地层、构造、岩浆岩活动有着密切的关系,矿床的形成和分布由区域地质构造背景和演化史决定^[1].研究区自1996年进入开发阶段以来,随着生产的扩大和发展,现保有资源储量与开发进程不匹配.为缓解现有资源紧张问题,通过20多年的努力,在泰宁地区先后发现了长兴、五里亭和梅桥等多个中小型脉状金矿床.

1 区域地质背景

何宝山金矿田位于福建武夷成矿带中部,构造位置属闽西北隆起带次一级构造单元浦城-泰宁断裂与光泽-建宁拗陷过度地段,崇安-石城北东向断裂带和泰宁-湄洲湾北西向断裂带的交汇处^[2-3](图1).区域构造线方向与武夷山地区一致,经历了加里东期-燕山期多期复合叠加改造,是闽西北重要的金属资源富

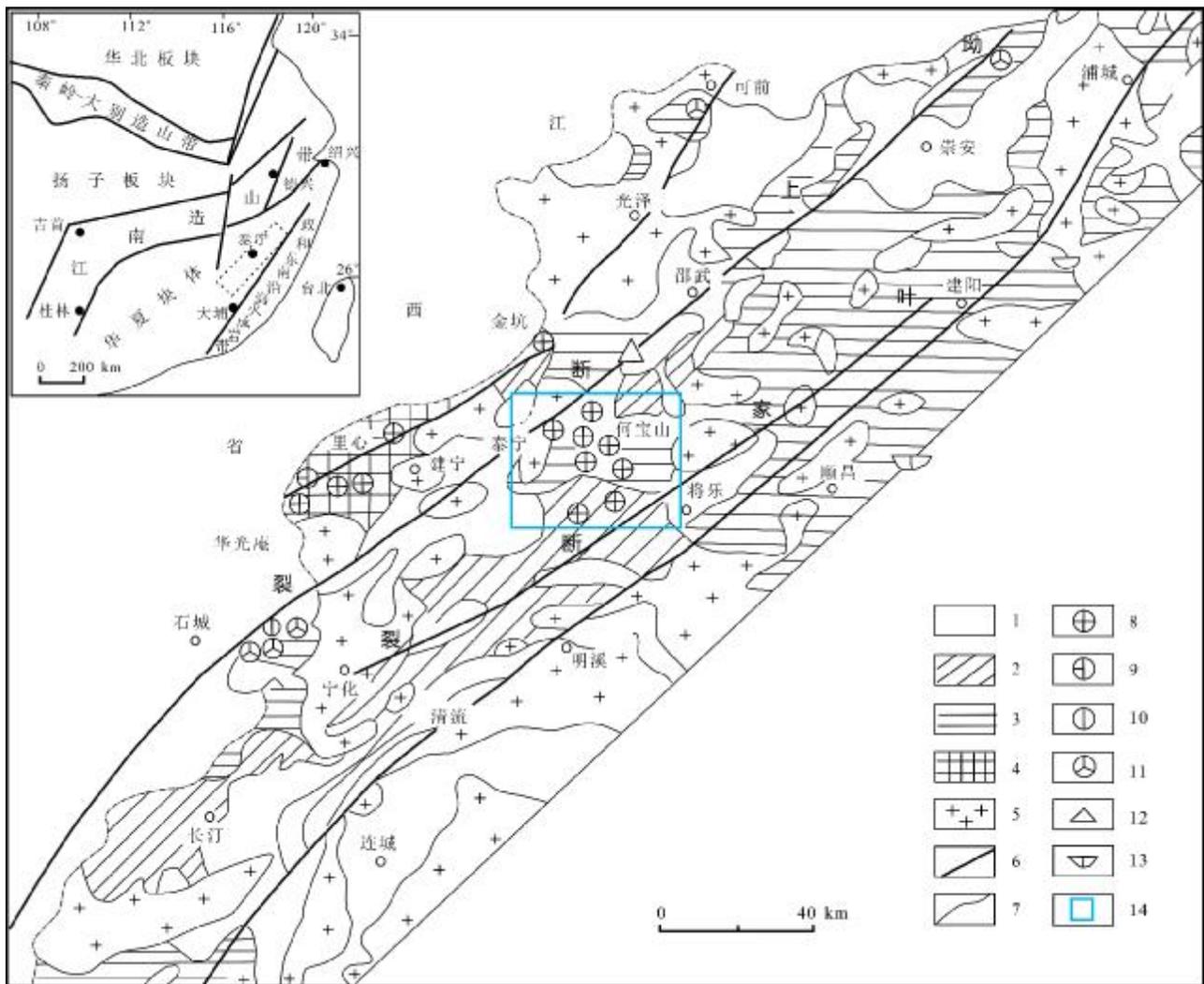


图1 华南构造格架及武夷成矿带地质简图

(据文献[4-5]修编)

Fig. 1 Tectonic framework of South China and geological sketch map of Wuyi metallogenic belt

(Modified from References [4-5])

- 1—上古生界—新生界(Upper Paleozoic-Cenozoic);
- 2—震旦系—下古生界(Sinian-Lower Paleozoic);
- 3—古元古界麻源群(Paleoproterozoic Mayuan gr.);
- 4—古太古界天井坪组(Paleoarchean Tianjingping fm.);
- 5—花岗岩(granite);
- 6—断裂(fault);
- 7—地质界线(geological boundary);
- 8—金矿床(gold deposit);
- 9—铅锌银矿床(Pb-Zn-Ag deposit);
- 10—铅锌矿床(Pb-Zn deposit);
- 11—多金属矿床(polymetallic deposit);
- 12—硫铁矿矿床(pyrite deposit);
- 13—蛇纹岩矿床(serpentine deposit);
- 14—研究区(study area)

集区。

区域基底主要为前寒武系交溪(岩)组变质岩系,是建宁-建瓯西南褶皱带和何宝山矿区重要赋矿围岩。Wang et al.^[6]和于津海等^[7]认为其原岩建造可能是新元古代沉积岩夹少量火山岩。研究区加里东期和燕山期岩浆底侵迹象明显,两期侵入岩与同时期构造岩浆热事件关系密切。NE 向拗上-南溪断裂带及叶家断裂为崇安-石城断裂带的次级断裂,属于 I 级断裂,是中生代晚期多金属成矿作用的重要导矿和控矿断裂,具有多期性。在两条区域深大断裂旁侧,近 NE 向展布的加里东期钾长花岗岩和花岗闪长岩与燕山期花岗岩穿插交替出现,并与区域性断裂近平行。对花岗岩地球化学特征和岩浆锆石 U-Pb 测年分析认为,受区域强烈混合岩化作用影响,闽、浙一带沉积岩或变质岩可能为混合岩与 S 型花岗岩的原岩^[8]。

2 典型矿床地质特征

2.1 何宝山金矿床

何宝山金矿床出露地层单一,主要是中元古代交溪(岩)组的变质岩系,片理化发育,岩性主要为黑云二长变粒岩、黑云钾长变粒岩、斜长变粒岩及斜长角闪变粒岩,地层以单斜方式产出,倾向 NE,倾角 30~50°。本地区这套地层普遍受到后期不同程度岩浆热动力引发的区域变质影响,常见肉红色花岗质、长英质脉体,局部见基性辉长岩细脉。断裂构造表现出长期性、多阶段等特征,NE 向 F7 断裂带和 NW 向 F5 断裂带是最主要的导矿和容矿断裂,II 号矿化带南段发育一条近 E-W 向后期破矿断裂。矿田岩浆活动强烈,矿区侵入岩仅零星出露在矿区南部及北部,以加里东期钾长花岗岩和花岗闪长岩为主。

何宝山矿区 33 个矿体全部位于变质岩断裂破碎带中,且 II 号矿化带的规模、品位优于 I 号带,矿段主体走向为 NE,倾角略陡,产状稳定,其中 II Au₄ 矿体规模最大,总体走向 330°,倾角 23~47°,呈 NE 向侧伏,平均厚度 3.6 m,局部见尖灭再现、波状起伏特征。矿石构造包括块状、浸染状、脉状-网脉状和斑点-斑杂状构造。矿石结构有聚粒镶嵌、包含、碎裂和乳浊状结构。金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、自然金等,次生金属矿物有磁铁矿、赤铁矿、辉钼矿等。研究区围岩蚀变明显,包括与矿化关联密切的硅化、黄铁

矿化、绢云母化、绿泥石化和碳酸盐岩化等,具中低温蚀变矿物组合特征。结合野外调查、矿石结构构造及光薄片矿物穿插关系等特征,将何宝山金矿床主要分为 3 个成矿阶段。I:粗粒黄铁矿-石英阶段;II:多金属硫化物-石英阶段;III:石英-碳酸盐岩阶段。早期粗粒黄铁矿阶段是金富集的主要阶段,矿物组合以石英、黄铁矿和绢云母为主。

2.2 长兴金矿床

长兴矿区出露地层相对较少,研究区北部是覆盖较厚的第四纪冲洪积物和交溪组变质岩基底,I 号和 III 号矿带南段地质体内均见岩浆上涌的捕获体。研究区断裂构造发育,F4、F6、F8 作为矿区导矿断裂,将长兴矿区近等分为 3 个矿化带,严格控制次级断裂带和矿体的空间展布及形态特征。次级断裂带表现为多组走向 NE、NNE 和 NW 向的走滑剪切断裂,与长兴岩体总体展布趋势近乎一致。加里东期钾长花岗岩作为主要赋矿围岩,大面积出露于矿区北部,整体形态膨大,与变质岩系界限清晰。本套岩体受后期构造影响改造痕迹明显,伴有强烈的热液蚀变和矿化特征。矿区间的钾长花岗岩和变质岩地层间存在花岗闪长岩岩浆柱,其中钾长花岗岩作为长兴矿区主要的赋矿围岩,其成岩年代集中在加里东晚期 [(436.6±1.1)~(437.1±1.3)Ma]^[9-10],属于区域岩石圈地幔基底拆沉地壳熔融的产物,刘锐等^[8,11]和梅勇文^[12]认为闽西北混合岩与广东东北部、江西武夷山等地的花岗岩类均形成于此种同变形地壳深熔作用。

加里东期以来的多次构造体制转换,在长兴矿区出现不同规模、产状和力学特征的导矿与含矿断裂,次级主含矿断裂带矿化规模较大,矿体多直接产于次级破碎带内,具波状起伏、分支复合和尖灭再现等特征。矿石构造类型有块状、脉状、浸染状和条带状构造,偶见石英晶簇构造。矿石结构主要为压碎、包含、交代残余和网脉状结构。黄铁矿、黄铜矿、自然金以及少量闪锌矿、方铅矿构成矿石主要金属矿物,其中金主要以裂隙金和包裹金为主。蚀变围岩具有动力和热液变质作用复合叠加特征,在构造带不同产状变化部位蚀变类型和强度差异明显。通过对巷道及室内光薄片观察,认为长兴金矿床存在 3 个岩浆活动成矿阶段。I:粗粒黄铁矿-石英阶段;II:细粒黄铁矿-石英阶段;III:石英-碳酸盐岩阶段。在成矿期次方面与何宝山主要

区别在于方铅矿、闪锌矿、黄铜矿等部分金属矿物较少见。笔者推测出现这一差异原因可能是成矿流体随岩浆热液上涌达地壳浅部时，两矿区赋矿围岩的分选差异造成多金属矿物不同。

3 区域构造演化特征

对研究区黄铁矿 Rb-Sr 测试,获得主成矿期年龄为 208 Ma,结合收集的区域构造背景、矿床成因、岩石地球化学特征资料 and 前人对区域构造期次与岩浆-热事件的研究,笔者认为何宝山金矿田在成岩成矿过程中,至少经历了 5 次构造运动,各期活动在成矿中扮演角色各异,其构造演化过程及应力场特征如下。

(1)加里东期(460~450 Ma),扬子与华夏板块基本完成拼贴合并,武夷-云开造山带遭受强烈挤压运动.受近 E-W 向挤压应力场作用后,我国东南沿海挤压碰撞造山带出现,伴生大量近 S-N 向褶皱及逆冲断裂.通过对华南东段加里东期岩体大量测试数据分析,研究区花岗岩岩体形成于早一中志留纪(420~440

Ma),具 S 型花岗岩特征^[10, 13-14].结合全岩主微量元素特征,认为在早志留纪存在板内褶皱后造山伸展环境,此时岩石圈地幔可能沿着变质核部发生拆沉,软流圈上涌造成岩石圈地幔部分熔融,形成何宝山中部和广东东北部等地的一些基性岩浆岩产物;随着变质核两侧的下地壳地温梯度的升高而发生部分熔融,形成 I 型或 S 型花岗岩^[15-16].

(2)印支早-中期(约 240~220 Ma),伴随古特提斯构造域与华南板块发生碰撞,引发华南从浅海向陆相环境转变^[17],华南东部与左行走滑剪切带伴生的地壳重融型花岗岩沿武夷山断裂带分布^[6, 18-19].此过程中何宝山地区受 NNE 向持续挤压作用^[18],叠加前期韧性构造域,同时在何宝山等矿区形成了近东西向褶皱,指示了区域应力场方向为近 S-N 至 NNE 向,这与张岳桥等^[20]提出的华南东部地区近东西向褶皱带形成时代、构造背景一致.具有右行压扭性质的 NW 向断裂和左行剪切 NNE 向断裂带处于相对紧密状态(图 2),不利于大规模成矿流体的运移和沉淀成矿。

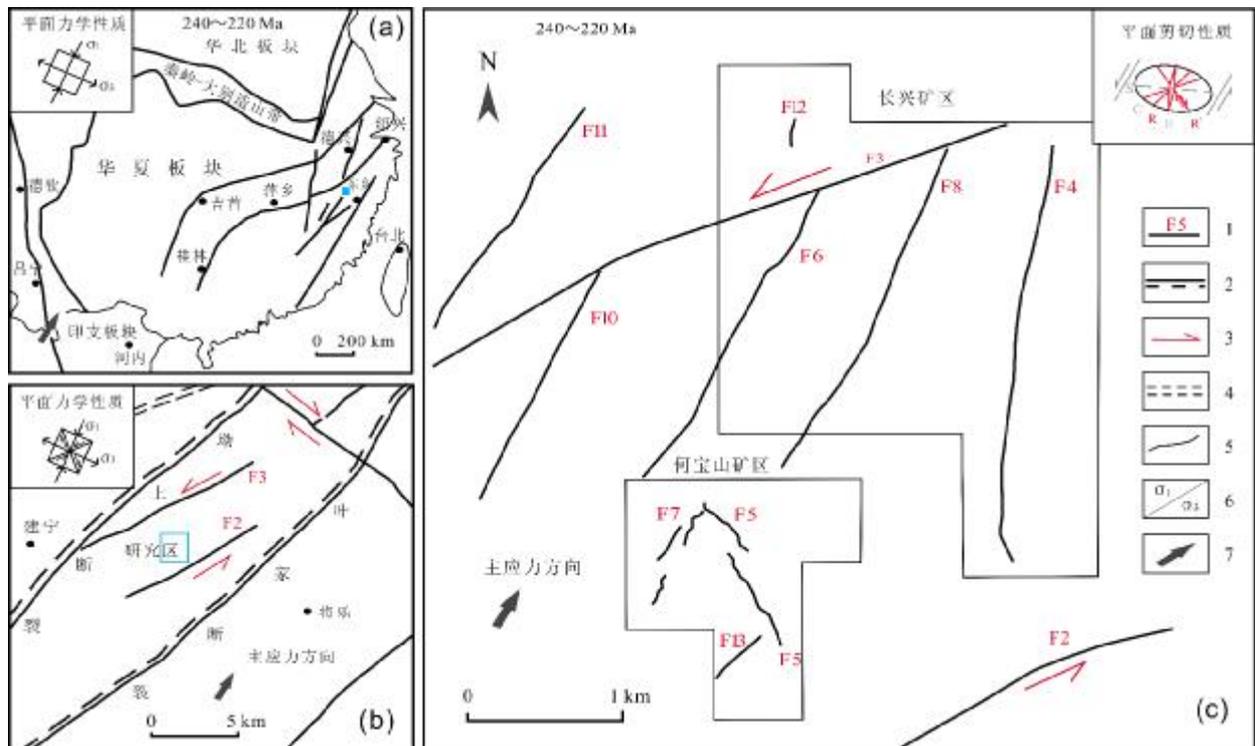


图 2 中三叠世泰宁地区与何宝山金矿田构造应力机制图

Fig. 2 Middle Triassic tectonic stress mechanism in Taining area and Hebaoshan gold field

a—印支板块与华南板块的正向碰撞 (normal collision between Indosinian Plate and South China Plate); b—武夷成矿带中部断裂走滑 (strike-slip faulting in central Wuyi metallogenic belt); c—中三叠世何宝山金矿田应力机制 (Middle Triassic stress mechanism of Hebaoshan gold field); 1—断裂构造及编号 (fault and number); 2—区域深大断裂 (regional deep fault); 3—走滑方向 (strike-slip direction); 4—韧性剪切带 (ductile shear zone); 5—地质界线 (geological boundary); 6—最大/最小主压应力轴 (maximum/minimum principal stress axis); 7—主应力方向 (direction of principal stress)

(3) 印支晚期 (220~195 Ma), 华南东部地区的侏罗纪 A 型花岗岩及其他基性—超基性幔源岩浆是深源岩浆侵位产物, 暗示了晚三叠纪—早侏罗纪可能处于大规模岩石圈挤压后的局部减压—伸展构造环境中^[21]. 区域构造应力场由碰撞挤压转换为伸展体制^[22], NNE 向挤压应力同步转换为近 S-N 向右行走滑拉张作用^[23]. 福建东部地区形成一些规模较小的拉伸沉积盆地, 同时改造早期的 NNE 向和 NW 向控矿断裂.

(4) 燕山早期 (175~135 Ma), 随着伊泽奈其板块向华南板块低角度俯冲, 中国东南地区进入新的大陆边缘造山环境, 岩石圈地幔消减拆沉, 上升的玄武质岩浆指示下地壳熔融发生, 形成酸性火山侵入杂岩^[20, 24]. 同时, NWW 向挤压应力场对 NNE 向和近 S-N 向断裂持续改造, 在其两侧派生大量具有压性特征的右行 NE 向断裂带和左行的 NW 向断裂 (图 3). 该期形成的节理脉按其错动方位定性, 本阶段主压应力方向为 NWW 向, 与区域上应力背景方向一致.

(5) 燕山中—晚期 (135~99 Ma), 随着古太平洋板块俯冲阶段结束, 板块后撤诱发了弧后扩张作用^[25], 区域构造体制由 NWW 向挤压转变为近 SE 向伸展^[26], 区域上形成大量 NNE—NE 向大型断陷盆地. 在泰宁县城 NW 方位衍生出一个受坳上断裂支配的火山岩盆地, 加剧了何宝山矿田次级容矿通道扩张.

4 控矿构造系统及特征

断裂构造作为金成矿的关键因素, 控制了矿集区、矿田、矿床 (点) 和矿体的空间分布、定位排列及矿化富集规律等特征. 通过对比区域构造演化史, 包括断裂规模、力学性质、岩相学特征、演化期次划分等, 认为泰宁地区自二叠纪以来, 至少经历了 4 次较大规模的构造应力机制变迁, 伴随其中 2 次构造挤压而产生的地壳增厚, 分别诱发了华南地块三叠纪和晚侏罗世地壳深熔作用、岩浆侵入以及成矿活动 (图 4). 研究区黄铁矿 Rb-Sr 测年表明, 区内金成矿发生在挤压向伸展过渡的晚三叠世. 含矿断裂研究结果表明, 低序次含矿构造在相对张开条件下, 矿化较好, 反之矿化相对较弱.

坳上—南溪断裂带作为区域上的一条深大断裂带, 不仅是研究区控矿主干断裂, 而且控制了区内火山—沉积盆地的形成与演化. 据断裂构造的规模、产

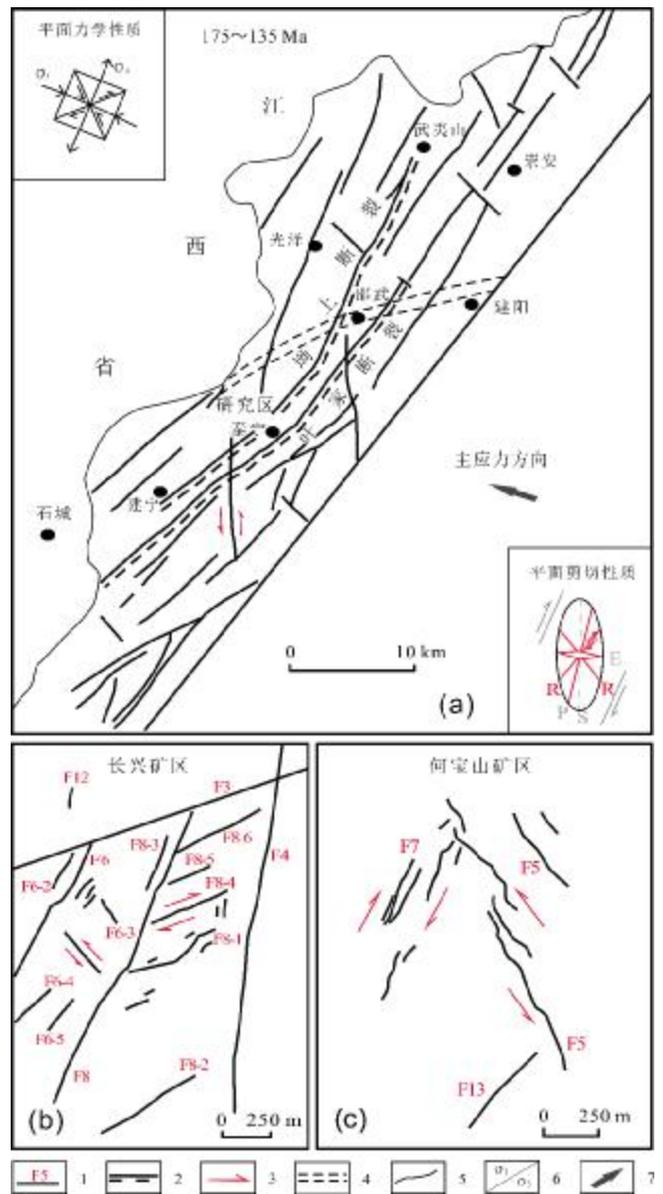


图 3 中侏罗世—早白垩世武夷成矿带中部与何宝山金矿田构造应力机制图

Fig. 3 Middle Jurassic-Early Cretaceous tectonic stress mechanism in central Wuyi metallogenic belt and Hebaoshan gold field
a—武夷成矿带断裂构造走滑 (strike-slip faulting in Wuyi metallogenic belt); b—长兴矿区断裂构造 (fault structures in Changxing orefield); c—何宝山矿区断裂构造 (fault structures in Hebaoshan orefield); 1—断裂构造及编号 (fault and number); 2—区域深大断裂 (regional deep fault); 3—走滑方向 (strike-slip direction); 4—韧性剪切带 (ductile shear zone); 5—地质界线 (geological boundary); 6—最大/最小主压应力轴 (maximum/minimum principal stress axis); 7—主应力方向 (direction of principal stress)

状、力学性质和控岩控矿等特征, 并结合地质、化探、遥感等资料, 对何宝山矿田及区域内揭露的多组断裂构

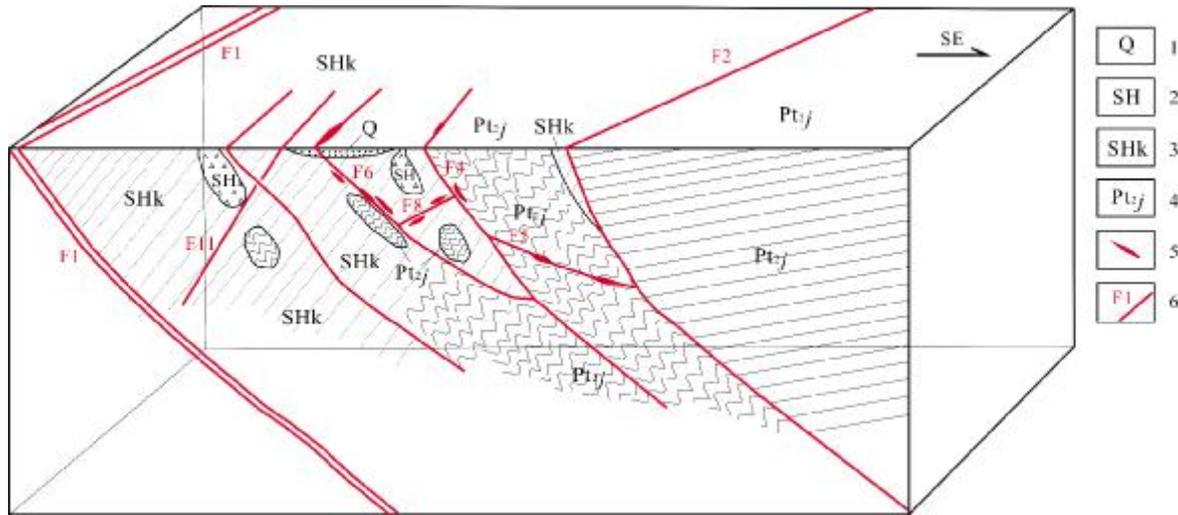


图4 何宝山金矿田控矿构造格架示意图

Fig. 4 Sketch of ore-controlling structure framework for Hebaoshan gold field

1—第四系(Quaternary); 2—志留纪黄坑单元花岗岩(Silurian Huangkeng-unit granodiorite); 3—志留纪横坑单元钾长花岗岩(Silurian Hengkeng-unit K-feldspar granite); 4—中元古界交溪组(Mesoproterozoic Jiaoxi fm.); 5—矿体(orebody); 6—断裂构造及编号(fault and number)

造进行了系统划分,具体如下.

I级控矿构造: 坳上断裂带和叶家断裂带是研究区I级控岩控矿断裂, 属于崇安-石城断裂带重要组成, 其不仅控制了重要的火山-沉积盆地的形成, 同时为成矿流体运移提供了通道及热源. 该断裂斜穿全区, 控制白垩纪朱口-金湖拉分沉积盆地形成及演化, 地貌上为典型的线性沟谷, 位于矿田北西角, 长度大于35 km, 宽5~200 m, 总体呈近NE向展布.

II级控矿构造: 朱溪和大马圩断裂靠近矿田边界, 构成何宝山矿田II级导矿断裂. 其中朱溪断裂出露长度约10 km, 宽10~20 m, 主体沿NE向河谷展布, 自NE向SW依次切穿研究区花岗岩岩体、闪长岩岩体及中元古代变质基底. 大马圩断裂出露长约8 km, 宽2~20 m, NEE走向, 穿过梅桥及长兴矿区, 断裂两端分别是花岗岩岩体与白垩系沙县组沉积岩. 何宝山矿床、长兴矿床的分布直接受II级断裂支配, 限制了成矿边界, 是限定成矿范围的关键断裂.

III级含矿构造: 构造体制的多次转变导致主应力方向改变, 并在印支期形成NE、NW和近S-N向导矿断裂, 对何宝山矿田Au元素异常的展布具有导向及控制作用, 控制矿田金矿床(点)的产出. 金矿多产于III级断裂上盘的次级羽裂断裂带内, 受节理控制明显, 矿体与破碎带产状一致, 断裂分支复合, 矿化强烈.

IV级含矿构造: 研究区断裂受到多向、强度不同应

力场持续作用, 导致III级断裂旁派生多组雁列式近平行排列的NE、NW向次级主含矿断裂, 直接控制矿体在矿带、矿段内产出和分布位置. 在成矿过程中, 深源流体迁移至次级破碎带附近, 由于处于温度、压力急变带, 导致水-岩系统物理化学性质突变从而矿质大量沉淀.

5 结论

(1)何宝山地区主干控岩控矿断裂由南溪和叶家深大断裂带构成, 控制了研究区岩石和矿体的分布, 朱溪断裂和大马圩断裂作为矿田控岩导矿断裂, 引导I级断裂内中酸性侵入体和含矿热液运移方向和富集区域分布.

(2)构造活动具有多期性. 研究区从加里东期-燕山期至少存在4次与成矿有关的运动. 第一次为加里东期韧性变形, 与区域构造方位一致; 第二次为近SN向挤压作用下形成的NE向左行脆性断裂, 对成矿贡献巨大, 属矿床的控矿构造; 第三次为近E-W向挤压作用下形成的NE向和NW向右行脆性断裂, 对矿体富集作用突出, 局部发育推覆构造, 为矿区的控矿构造; 末次为E-W向右行压扭性断裂, 属成矿后构造.

(3)印支期以来, 矿田至少有2期大规模成矿事件, 均为构造蚀变岩型. 其中第一阶段为印支末期的

含矿热液沿 NE 向和 NW 向Ⅲ级断裂上侵和围岩相接触蚀变,形成矿体;第二阶段为燕山中—晚期携带含矿热液的岩浆活动在研究区 NE、NEE 和 NW 向Ⅳ级断裂内堆积富集,形成矿体。

(4)构造标志:主矿体受 NE 向、NEE 及 NW 向断裂支配,断裂构造产状变化较大部位及岩性接触带附近是富矿体有利富集部位。

参考文献(References):

- [1]余心起,吴淦国,张达,等.北武夷地区逆冲推覆构造的特征及其控矿作用[J].地质通报,2008,27(10):1667-1677.
Yu X Q, Wu G G, Zhang D, et al. Thrust Nappe structure and its ore-controlling effects in the North Wuyi area, China [J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(10): 1667-1677.
- [2]黄春鹏.福建省金矿成矿特征和成矿预测研究[D].北京:中国地质大学(北京),2003.
Huang C P. Research on the metallogenic characteristics and forecast of gold deposits in Fujian Province, China[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2003.
- [3]陈国建.福建泰宁何宝山金矿田成矿规律与找矿预测[J].福建地质,2016,35(1):46-54.
Chen G J. The metallogenesis and prospecting prediction of Hebaoshan gold ore field, Taining county, Fujian Province[J]. Geology of Fujian, 2016, 35(1): 46-54.
- [4]舒良树.华南构造演化的基本特征[J].地质通报,2012,31(7):1035-1053.
Shu L S. An analysis of principal features of tectonic evolution in South China Block[J]. Geological Bulletin of China, 2012, 31(7): 1035-1053.
- [5]姜耀辉,陈鹤年,陈三元.闽西北三种新的金矿成因类型及地质特征[J].矿产与地质,2000,14(4):209-214.
Jiang Y H, Chen H N, Chen S Y. Geological characteristics and three new genesis of gold ore deposit in north-west Fujian province [J]. Mineral Resources and Geology, 2000, 14(4): 209-214.
- [6]Wang Y J, Fan W M, Sun M, et al. Geochronological, geochemical and geothermal constraints on petrogenesis of the Indosinian peraluminous granites in the South China Block: A case study in the Hunan Province[J]. Lithos, 2007, 96(3/4): 475-502.
- [7]于津海,魏震洋,王丽娟,等.华夏地块:一个由古老物质组成的年轻陆块[J].高校地质学报,2006,12(4):440-447.
Yu J H, Wei Z Y, Wang L J, et al. Cathaysia block: A young continent composed of ancient materials[J]. Geological Journal of China Universities, 2006, 12(4): 440-447.
- [8]刘锐,张利,周汉文,等.闽西北加里东期混合岩及花岗岩的成因:同变形地壳深熔作用[J].岩石学报,2008,24(6):1205-1222.
Liu R, Zhang L, Zhou H W, et al. Petrogenesis of the Caledonian migmatites and related granites in northwestern Fujian province, south China: syn-deformational crustal anatexis[J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(6): 1205-1222.
- [9]陈国建,张伟波,刘江涛.福建省泰宁县何宝山金矿床长兴岩体锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及其地质意义[J].中国地质,2015,42(2):547-555.
Chen G J, Zhang W B, Liu J T. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and geological features of Changxing intrusion in the Hebaoshan gold deposit, Taining County, Fujian Province [J]. Geology in China, 2015, 42(2): 547-555.
- [10]张芳荣,舒良树,王德滋,等.华南东段加里东期花岗岩类形成构造背景探讨[J].地学前缘,2009,16(1):248-260.
Zhang F R, Shu L S, Wang D Z, et al. Discussions on the tectonic setting of Caledonian granitoids in the eastern segment of South China [J]. Earth Science Frontiers, 2009, 16(1): 248-260.
- [11]刘锐.华夏地块前海西期地壳深熔作用——以浙闽地区为例[D].武汉:中国地质大学,2009.
Liu R. Pre-hercynian crustal anatexis in the Cathaysia block: A case study from Zhejiang and Fujian provinces [D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2009.
- [12]梅勇文.武夷地区成矿地质条件与主要矿产分布规律[J].江西地质科技,1996,23(4):151-160.
Mei Y W. Metallogenic geological conditions and distribution of main mineral resources in Wuyi area[J]. Geological Science and Technology of Jiangxi, 1996, 23(4): 151-160. (in Chinese)
- [13]宋美佳.华南早古生代与早中生代陆内构造演化[D].南京:南京大学,2017.
Song M J. Early Paleozoic and early Mesozoic intracontinental tectonic evolution in South China[D]. Nanjing: Nanjing University, 2017.
- [14]舒良树,卢华复,贾东,等.华南武夷山早古生代构造事件的⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素年龄研究[J].南京大学学报(自然科学),1999,35(6):26-32.
Shu L S, Lu H F, Jia D, et al. Study of the ⁴⁰Ar/³⁹Ar isotopic age for the Early Paleozoic tectonothermal event in the Wuyishan region, South China [J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 1999, 35(6): 26-32.
- [15]Yao W H, Li Z X, Li W X, et al. Corrigendum to "Post-kinematic lithospheric delamination of the Wuyi-Yunkai orogen in South China: evidence from ca. 435Ma high-Mg basalts" [J]. Lithos, 2012, 154: 115-129.
- [16]Xia Y, Xu X S, Zou H B, et al. Early Paleozoic crust-mantle interaction and lithosphere delamination in South China Block: evidence from geochronology, geochemistry, and Sr-Nd-Hf isotopes of granites[J]. Lithos, 2014, 184-187: 416-435.
- [17]Tong J N, Yin H F. The lower Triassic of South China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2002, 20(7): 803-815.
- [18]舒良树,周新民,邓平,等.南岭构造带的基本地质特征[J].地质

- 论评, 2006, 52(2): 251-265.
- Shu L S, Zhou X M, Deng P, et al. Principal geological features of Nanling tectonic belt, South China[J]. Geological Review, 2006, 52(2): 251-265.
- [19] Sun T, Zhou X M, Chen P R, et al. Strongly peraluminous granites of Mesozoic in eastern Nanling Range, southern China: Petrogenesis and implications for tectonics[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2005, 48(2): 165-174.
- [20] 徐先兵, 张岳桥, 贾东, 等. 华南早中生代大地构造过程[J]. 中国地质, 2009, 36(3): 573-593.
- Xu X B, Zhang Y Q, Jia D, et al. Early Mesozoic geotectonic processes in South China[J]. Geology In China, 2009, 36(3): 573-593.
- [21] 郭春丽, 郑佳浩, 楼法生, 等. 华南印支期花岗岩类的岩石特征、成因类型及其构造动力学背景探讨[J]. 大地构造与成矿学, 2012, 36(3): 457-472.
- Guo C L, Zheng J H, Lou F S, et al. Petrography, genetic types and geological dynamical settings of the Indosinian Granitoids in South China[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2012, 36(3): 457-472.
- [22] Wang Y J, Fan W M, Cawood P A, et al. Sr-Nd-Pb isotopic constraints on multiple mantle domains for Mesozoic mafic rocks beneath the South China Block hinterland[J]. Lithos, 2008, 106(3/4): 297-308.
- [23] Wang Y J, Zhang Y H, Fan W M, et al. Structural signatures and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the Indosinian Xuefengshan tectonic belt, South China Block[J]. Journal of Structural Geology, 2005, 27(6): 985-998.
- [24] 陈润生, 林东燕, 江剑丽. 福建早侏罗世火山作用的动力学机制及大地构造学意义探讨[J]. 福建地质, 2008, 27(2): 156-165.
- Chen R S, Lin D Y, Jiang J L. Dynamical mechanism and tectonics significance of early Jurassic volcanism in Fujian Province[J]. Geology of Fujian, 2008, 27(2): 156-165.
- [25] 李建华. 华南中生代大地构造过程[D]. 北京: 中国地质科学院, 2013.
- Li J H. Mesozoic tectonic processes in South China [D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2013.
- [26] 李晔. 华南东南部早白垩世演化及其地质意义: 来自长乐-南澳地区变质和岩浆作用的启示[D]. 武汉: 中国地质大学, 2015.
- Li Y. The early Cretaceous evolution of SE China and its tectonic implications: insights from magmatism and metamorphism in Changle-Nan'ao Metamorphic Belt [D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2015.

(上接第 26 页/Continued from Page 26)

- [11] 沈其韩, 宋会侠, 杨崇辉, 等. 山西五台山和冀东迁安地区条带状铁矿的岩石化学特征及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2011, 30(2): 161-171.
- Shen Q H, Song H X, Yang C H, et al. Petrochemical characteristics and geological significations of banded iron formations in the Wutai mountain of Shanxi and Qian'an of eastern Hebei [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2011, 30(2): 161-171.
- [12] 崔培龙. 鞍山-本溪地区铁建造型铁矿成矿构造环境与成矿、找矿模式研究[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
- Cui P L. Metallogenic tectonic setting, metallogenic and prospecting models for Precambrian iron-formation in the Anshan-Benxi area[M]. Changchun: Jilin University, 2014.
- [13] Danielson A, Möller P, Dulski P. The europium anomalies in banded iron formations and the thermal history of the oceanic crust [J]. Chemical Geology, 1992, 97(1/2): 89-100.
- [14] Dymek R F, Klein C. Chemistry, petrology and origin of banded iron-formation lithologies from the 3800 Ma Isua supracrustal belt, West Greenland[J]. Precambrian Research, 1988, 39(4): 247-302.