



钦杭带南段庞西垌-金山银金矿田控矿构造 分析及找矿指示*

林振文^{1,2,3}, 周永章^{1**}, 秦艳², 郑义¹, 梁志鹏¹, 邹和平¹, 牛佳¹

(1 中山大学地球科学与地质工程学院, 广东 广州 510275; 2 中国科学院广州地球化学研究所矿物学与成矿学重点实验室, 广东 广州 510640; 3 广东省海洋地质调查院, 广东 广州 510080)

摘要 钦杭成矿带南段的庞西垌-金山银金矿田位于粤东与桂西交界处, 包括庞西垌、金山、中苏、竹根坡、高村等银金矿床及一系列银金矿点, 是20世纪80年代规划的十大银矿基地之一。庞西垌地区经历了多期的构造-岩浆活动, 韧性剪切带和断裂构造尤其发育。印支期以来, 可识别出3期主要构造: 第一期为右行韧性剪切, 前人利用糜棱岩中白云母测得时代为221 Ma; 第二期为左行韧性剪切, 北东向的庞西垌-金山断裂带反映最为突出, 切过燕山晚期花岗岩; 第三期为脆性走滑。银金矿体及矿石结构、构造主要受第二期左行韧性剪切带控制。应用里德尔剪切体系对控矿构造的分布特征分析显示, 银金矿脉主要赋存于里德尔体系的D、R和T裂隙中, D裂隙是最重要的赋矿构造, 热液蚀变岩型和石英脉型矿体呈透镜状左行斜列于主断裂面中, 沿走向往南西侧伏; R和T裂隙主要发育梳状含金石英脉。R裂隙呈密集扇形破裂产出, 与主断裂面夹角 $15^{\circ}\sim 35^{\circ}$; T裂隙呈雁列状等距分布, 与主断裂面夹角约为 45° 。这些矿脉就位体系, 可以为该区进一步找矿作参考。

关键词 地质学; 银-金矿; 控矿构造; 韧性剪切; 钦杭带; 里德尔剪切

中图分类号: P618.52; P618.51

文献标志码: A

Ore-controlling structure analysis of Pangxidong-Jinshan silver-gold orefield, southern Qin-Hang belt: Implications for further exploration

LIN ZhenWen^{1,2,3}, ZHOU YongZhang¹, QIN Yan², ZHENG Yi¹, LIANG ZhiPeng¹, ZOU HePing¹
and NIU Jia¹

(1 School of Earth Science and Geological Engineering, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, Guangdong, China; 2 Key Laboratory of Mineralogy and Metallogeny, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China; 3 Guangdong Institute of Marine Geological Survey, Guangzhou 510080, Guangdong, China)

Abstract

The Pangxidong-Jinshan silver-gold ore-field is located in Guangdong-Guangxi border area, belonging to the southern part of the Southern Qin-Hang belt. It consists of Pangxidong, Jinshan, Zhongsu, Zhugenpo, Gaocun silver-gold deposits and some other ore spots and was among the top ten planning silver ore concentration areas of China in the 1980s. The Pangxidong area has well developed ductile shearing zone and fractures due to multi-

* 本项目得到国家自然科学基金(编号:41502070)中国科学院矿物与成矿重点实验室开放基金(编号:KLMM20150204)以及中国地质调查局工作项目(编号:1212011120831、1212011085412)资助

第一作者简介 林振文,男,1986年生,博士后,主要从事造山带成矿学研究。Email:linzhenwen9704@163.com

** 通讯作者 周永章,男,1963年生,教授,主要从事矿床地球化学研究。Email:zhouyz@mail.sysu.edu.cn

收稿日期 2016-04-01; 改回日期 2017-04-30。张绮玲编辑。

phase tectonic-magmatic evolution. At least three stages of deformation can be identified since Indosinian. The first stage is dextral ductile shearing at 221 Ma dated by phengite in mylonite. The second stage is the sinistral ductile-brittle shearing that cut the late Yenshanian granites, characterized by NE-trending Pangxidong-Jinshan fault. The last stage is brittle fault. Recent studies suggest that the Pangxidong-Jinshan fault zone, a regional NE-SW-trending structure formed during the second stage, played an essential role in the formation and localization of the fault-hosted silver-gold veins systems. Regional sinistral ductile-brittle shearing of the Pangxidong-Jinshan fault zone controlled the general occurrences and orientations of lodes and veins, and constrained the development of the internal structures, geometric details and final localization of lodes and veins. Therefore, the development and final localization of the silver-gold system can be comprehensively recognized in terms of both the Riedel shear system theory and the effects of the regional progressive deformation of sinistral ductile-brittle shearing, which may guide the further ore prospecting work in future. The D fracture is the most important ore-bearing structure. The lodes and veins belong to D fracture range lenticular sinistral en echelon in the main fracture. The R fracture and T fracture with en echelon arrangement mainly contain auriferous quartz veins. The R fracture shows intensive shear fractures output, with an angle of $15^{\circ} \sim 35^{\circ}$ to the main fracture. T fracture shows nearly equidistant distribution, with an angle of 45° to the main fracture.

Key words: geology, silver-gold deposit, ore-control structure, ductile-brittle shearing, Qin-Hang belt, Riedel shear system

庞西垌银金矿田位于钦杭带南段博白-岑溪断裂东南的庞西垌-金山断裂带内。沿断裂带自南西北东依次分布庞西垌银金矿床、金山银金矿床及中苏银金矿床等,分布范围约 10 km^2 ,已探明银金属储量 $>1400 \text{ t}$,平均品位 195 g/t ,金 $>10 \text{ t}$,铅、锌储量均大于 5 万吨,综合价值较高,是中国十大银矿基地之一。自 20 世纪 80 年代以来,前人对庞西垌-金山银金矿田的基底演化、矿区地质、矿石结构、地球化学分析、元素迁移特征及成矿流体等进行了大量研究,取得了一系列的成果(陈辉琪,1987;刘腾飞,1990;王鹤年等,1992;张乾等,1994;王祖伟等,2002;孙华山等,2005;钱建平等,2011;吕文超,2013;曾长育,2014),但对矿田构造演化和构造控矿研究薄弱。孙华山等(2005)、钱建平等(2011)等分别对庞西垌银金矿床和金山银金矿床进行了构造分析,但是仍存在一些争议:孙华山(2005)认为成矿作用受庞西垌-金山断裂带右行张扭性剪切作用影响,而钱建平等(2011)则认为该断裂带具有左行剪切的性质。以上的分歧直接影响了对矿床深部及外围的找矿勘查部署,也制约了下一步的找矿工作。

本文在总结前人工作的基础上,经过详细的矿床地质研究及外围的地质调查,运用构造解析及里德尔剪切体系的理论和方法,研究庞西垌银金矿田的构造变形特征和构造演化史,探讨构造对成矿的控制作用,以期进一步推进云开地区同类矿床的地质找矿工作。

质找矿工作。

1 区域地质背景

钦杭带是华夏地块和扬子地块两个构造单元之间的巨型构造结合带(水涛,1987;Gilder et al.,1996),从西南端广西钦州湾,经湘东和赣中,延伸到东北端浙江杭州湾地区,全长近 2000 km,宽 50~200 km,总体呈反 S 状弧形展布(杨明桂等,1997)。云开地区位于钦杭带南段,东西两侧分别为北东向展布的吴川-四会断裂带和博白-岑溪断裂带所限,是钦杭结合带的重要组成部分,记录了自元古代以来的多期构造-岩浆事件(图 1)(彭松柏等,2006;覃小锋等,2007;2013;Wang et al.,2011;周永章等,2012;2017;Zhang et al.,2012)。区域内出露的基底包括元古界高州杂岩及云开群高绿片岩相-角闪岩相变质岩。盖层主要有古生界砂岩、砂页岩等。岩浆岩包括加里东期花岗岩、海西-印支期含堇青石花岗岩及燕山期花岗岩。印支期及燕山期岩体多沿吴川-四会、博白-岑溪两条区域性边界断裂带以及云开地块内部断裂带侵入。

云开地区复杂的基底、构造-岩浆演化过程孕育了丰富的矿产,包括河台金矿田、新洲金矿床、黄泥坑金矿床、长坑-富湾金矿床等大型、超大型金矿床,云浮超大型硫铁矿矿床、圆珠顶大型斑岩铜钼矿

床、佛子冲大型铅锌矿床等(毛景文等, 2011; 周永章等, 2012, 2017; Zheng et al., 2015; 郑义等, 2017)(图1)。区域内金、银矿床多沿区域断裂或剪切带分布, 赋矿地层包括前寒武系变质地层及古生界沉积岩, 如河台金矿田、黄泥坑金矿床等金矿床赋存于合浦-河台韧性剪切带等构造带中的寒武系、前寒武系中(朱江建等, 2014; Zheng et al., 2015)。

2 矿田地质

2.1 地层

区内出露的地层主要有新元古界云开群变质岩, 下古生界石英云母片岩、花岗质糜棱岩, 白垩系砂泥岩及第四系沉积岩(图2)。花岗质糜棱岩包括条带状糜棱岩和眼球状糜棱岩(旧称条带状混合岩

和眼球状混合岩), 夹有少量的云母石英片岩、大理岩、斜长角闪岩等(陈辉琪等, 1987)。

2.2 岩浆岩

岩浆岩主要为燕山期花岗岩, 包括塘蓬花岗岩、英桥花岗岩以及大量酸性岩脉。塘蓬岩体位于庞西垌-金山断裂东南, 呈岩基产出, 出露面积为 663 km², 岩性为中粗粒黑云母二长花岗岩, 含有少量黑云母花岗闪长岩包体。岩体无明显变形。英桥岩体沿庞西垌-金山断裂带分布, 呈岩柱状产出, 面积为 33 km²。岩体与围岩的接触关系比较复杂, 可分为 2 期: 早期似斑状黑云母二长花岗岩分布于庞西垌-金山断裂带上盘, 东南部与晚期黑云母花岗岩断层接触, 其余为侵入接触; 晚期黑云母花岗岩分布于庞西垌-金山断裂带下盘。酸性岩脉主要分布在庞西垌-金山断裂带东部, 走向 NE。

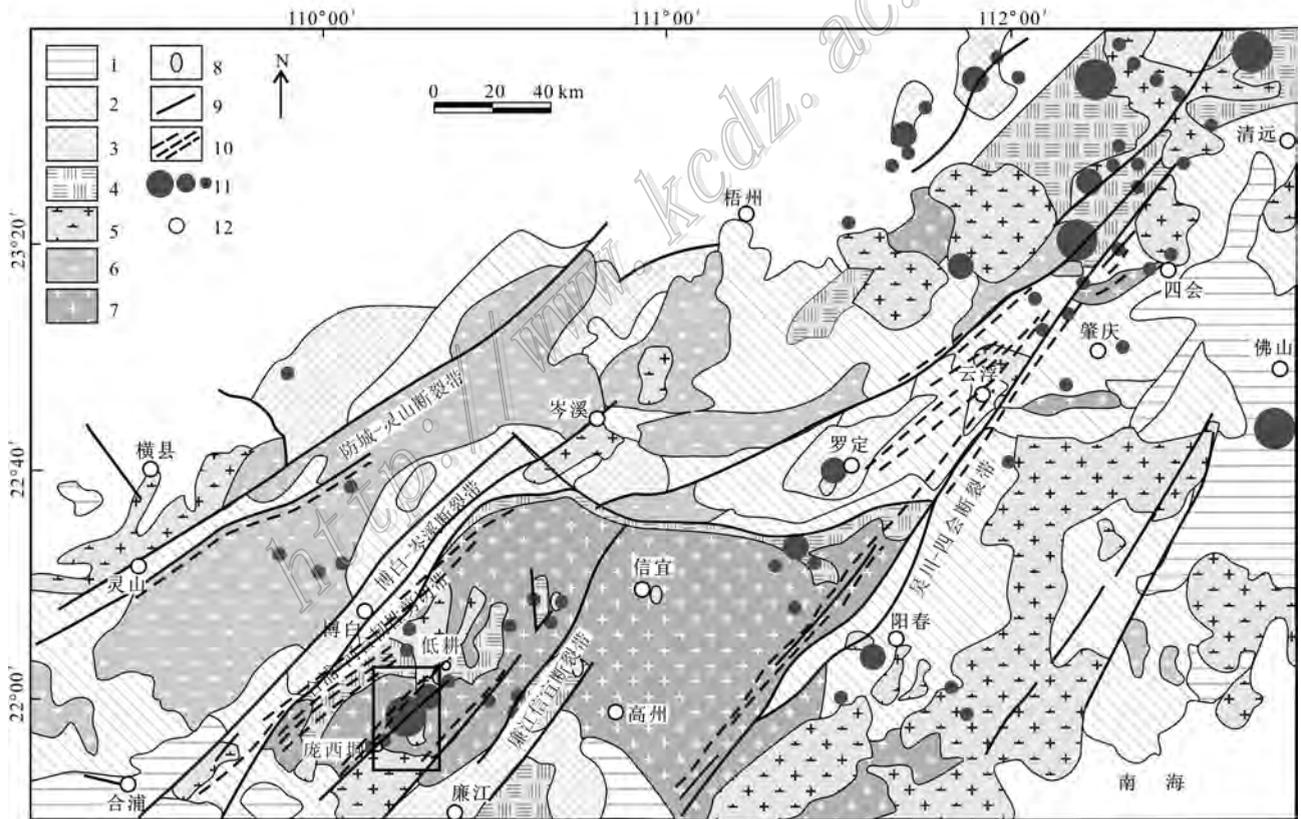


图1 钦杭带南段云开地块地质及金矿分布图(据彭松柏等, 2006 修改)

1—新生代; 2—中生界; 3—古生界; 4—前寒武系; 5—燕山期花岗岩; 6—海西—印支期花岗岩; 7—加里东期花岗岩; 8—变基性超基性岩; 9—断裂; 10—韧性剪切带; 11—金矿床位置; 12—地点/城镇

Fig. 1 Simplified geological map of Yunkai terrain, showing the locations of gold deposits (modified after Peng et al., 2006)

1—Cenozoic; 2—Mesozoic; 3—Palaeozoic; 4—Precambrian; 5—Yanshanian granites; 6—Hercynian-Indosinian granitoids; 7—Caledonian granitoids; 8—Metabasic-ultrabasic rocks; 9—Faults; 10—Ductile shear zone; 11—Locations of gold deposits; 12—Location/Town

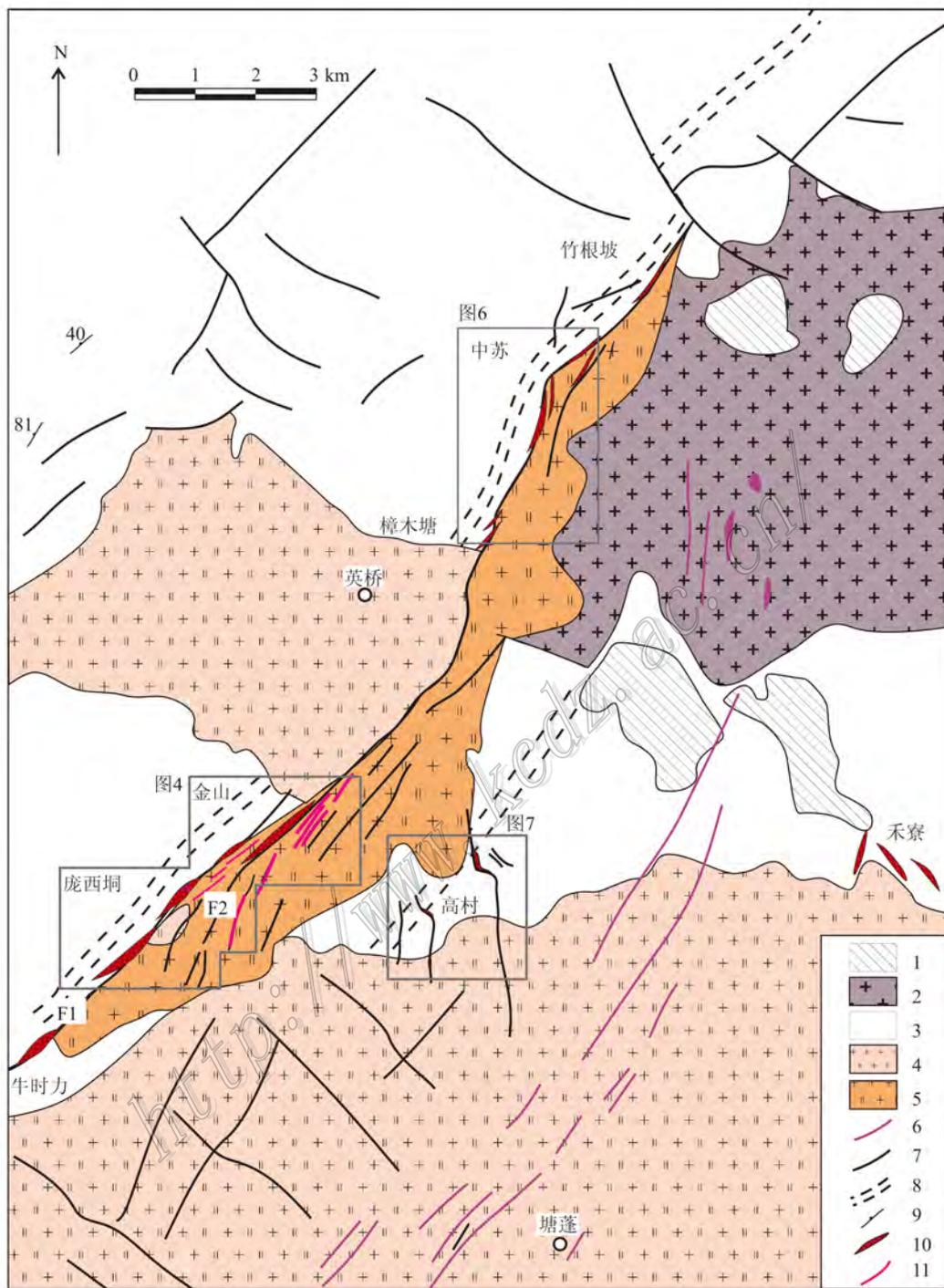


图 2 庞西垌地区地质简图(据陈辉琪等, 1985 修编)

1—石英云母片岩; 2—混合花岗岩; 3—眼球状糜棱岩; 4—黑云母二长花岗岩; 5—黑云母花岗岩; 6—岩脉; 7—断裂; 8—韧性剪切带; 9—片理产状; 10—矿体; 11—矿脉

Fig. 2 Geological and structural outline map of the Pangxidong area (modified after Chen et al., 1985)

1—Quartz mica schist; 2—Migmatitic granite; 3—Augen-mylonite; 4—Biotite monzogranite; 5—Biotite granite; 6—Dyke; 7—Fault; 8—Ductile-shear zone; 9—Attitude of foliation; 10—Orebody; 11—Ore vein

2.3 构造

矿区构造以韧性剪切带和断裂为主, 褶皱不发育。韧性剪切带走向 NE, 以发育眼球状糜棱岩和条

带状糜棱岩为特征。NE 向的庞西垌-金山断裂及 NNE-NE 向和 NE 向次级断裂是区内最主要的断裂, 其次为 NNW-NW 向 3 组次级断裂(图 2)。

2.3.1 庞西垌-低耕韧性剪切带

庞西垌-低耕韧性剪切带位于合浦-河台韧性剪切带东侧,廉江-信宜断裂带以西,延长超过 100 km。剪切带自庞西垌南部向北东延伸(走向为 $NE50^{\circ}\sim 70^{\circ}$),切穿过加里东期花岗岩及古生代地层。岩体和地层发生强烈的片理化、糜棱岩化,形成眼球状糜棱岩、条带状糜棱岩及云母石英片岩(图 3a)。糜棱岩片理倾向 NW,局部 NE 向,倾角 $40^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。眼球状糜棱岩具有 S-C 组构(夹角约 30°)、眼球状构造或千糜状构造,旋转碎斑以长石变斑晶及石英集合体为主,云母和石英发生片理化成分分层,可见拉丝构造,局部出现核幔构造、云母鱼构造及书斜构造等(图 3a~c)。这些特征均指示糜棱岩形成于右行韧性剪切作用。韧性剪切带被弱变形的英桥岩体和塘蓬岩体等燕山期花岗岩侵入。

因此,庞西垌-低耕韧性剪切带具有陡倾剪切特征,野外露头及镜下观察 S-C 组构、旋转碎斑、云母

鱼、石英拉丝构造及书斜构造等,均显示庞西垌-低耕韧性剪切带具有右行剪切性质。

2.3.2 庞西垌-金山断裂带

庞西垌-金山断裂带是本区的一级断裂,由庞西垌断裂(F1)、金山断裂(F2)及一系列次级断层组成,延长 >70 km,地表宽度 20~200 m(图 2)。F1 经过金山、庞西垌向南西延伸;F2 自金山地区经樟木塘、中苏延伸至茶子窝岩体。断层走向与博白-岑溪断裂带、防城-灵山断裂带平行,呈 NE 向($40^{\circ}\sim 55^{\circ}$)展布,倾向 NW,倾角 $55^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 。

断裂带具有韧脆性剪切的特征,糜棱岩、碎裂岩及断层角砾发育,形成 S2 面理及一系列的次级裂隙。其中 S2 面理穿切早期糜棱岩面理(S1)(图 3c),次级裂隙往往被梳状石英脉充填(图 3d)。断裂带沿走向出现尖灭侧现和膨胀收缩现象。根据断裂带分布可以划分为庞西垌-金山地区、中苏地区及高村-禾寮地区(图 2)。

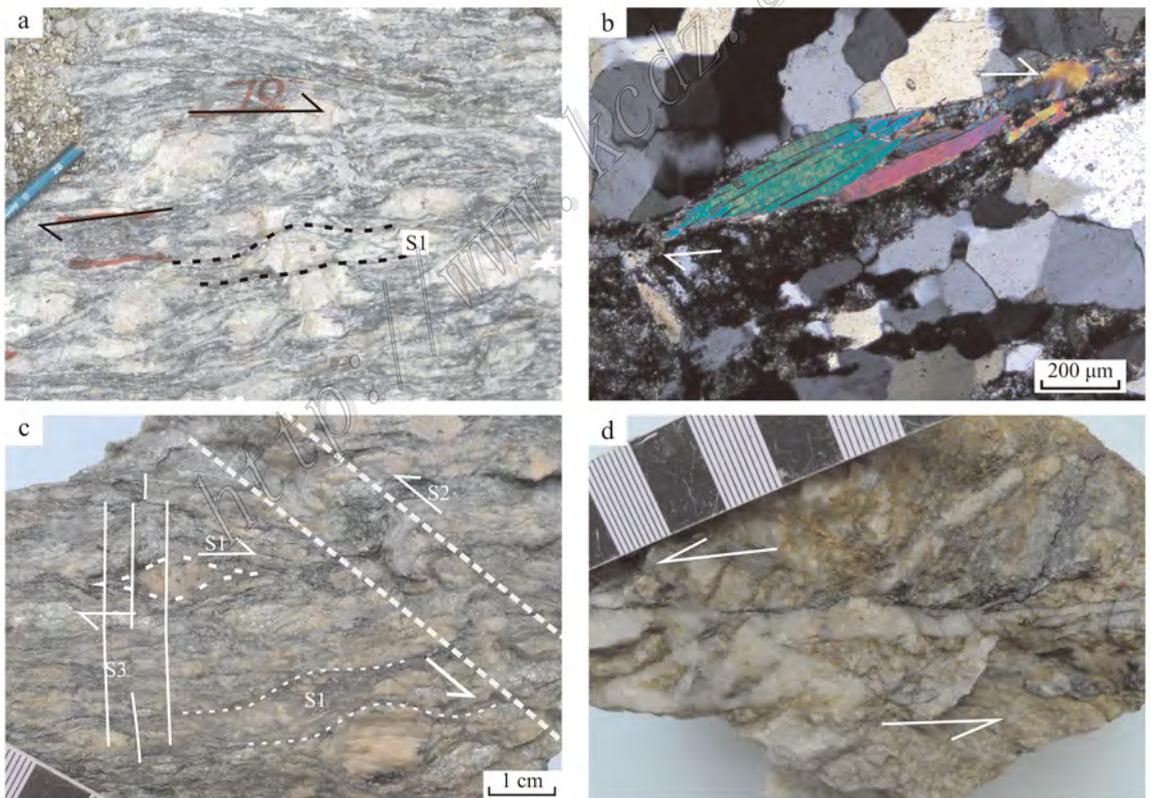


图 3 庞西垌地区构造特征

- a. 糜棱岩眼球状构造,指示右行剪切; b. 云母鱼构造; c. 糜棱岩化片理(S1)被后期面理(S2、S3)穿切;
d. 左行剪切形成裂隙被梳状石英脉充填

Fig. 3 Photographs showing structure characteristics of the Pangxidong area

- a. Augen structure of mylonite, showing dextral ductile shearing; b. Mica fish from mylonite; c. Later stage fabrics (S2, S3) crosscutting the mylonite fabric (S1); d. Fractures formed in sinistral shearing filled by comb quartz veins

庞西垌-金山地区

F1 断裂位于 F2 断裂上盘，二者呈左行右阶式排列。F1 断裂走向为 NE45°，倾向 NW，倾角 50°~74°。断裂带地表宽约 5~50 m，切过眼球状糜棱岩及黑云母二长花岗岩，于金山地区尖灭。

F2 走向为 NE 40°~50°，倾向 NW，倾角 58°~70°，延深超过 1 km。断裂下盘为中细粒花岗岩，上盘为条带状糜棱岩或似斑状黑云母花岗岩，断层岩以花岗质角砾岩为主。F2 西南端发育大量次级破碎带。次级破碎带呈帚状向南西向撒开，多被石英脉或酸性岩脉充填(图 2、图 4)。F1 与 F2 断裂之间存在大量的 NE、NNE 走向的次级破碎带(图 4)。

断裂带可以划分为 6 个岩相带(图 5)。自上盘糜棱岩向下分别为：条带状糜棱岩相带、绢云母化糜棱岩化角砾岩相带、糜棱岩(或断层泥)岩相带、黄铁

绢英岩化角砾岩相带、绢英岩化角砾岩相带、中细粒花岗岩 6 个碎裂岩相。糜棱岩相带位于断层中心，宽为数厘米至 20 cm，并具有左行特征，与围岩眼球状糜棱岩显示的右行特征不同，镜下可以见到拉长石英碎斑中发育有新生裂纹。

F2 断裂下盘在金坑地区发育一系列羽状剪裂隙，长 100~500 m，走向为 NE 10°~25°，与主断裂面夹角约 15°~35°，倾角 70°~80°，总体倾向 NW，呈“人”字型并入 NE 向主断裂面(图 4b)。裂隙多被含金石英脉或绢英岩化压缩岩细脉充填。

高村-禾寮地区

该区位于 F2 断裂以东 2 km，发育数条南北向 S 型雁列状断裂(图 2)，是庞西垌-金山断裂带的次级断裂。断裂延长 2~4 km，宽 5~15 m，走向约为 NW 330°，倾向北北东，倾角 35°~45°，具有正断层性质。

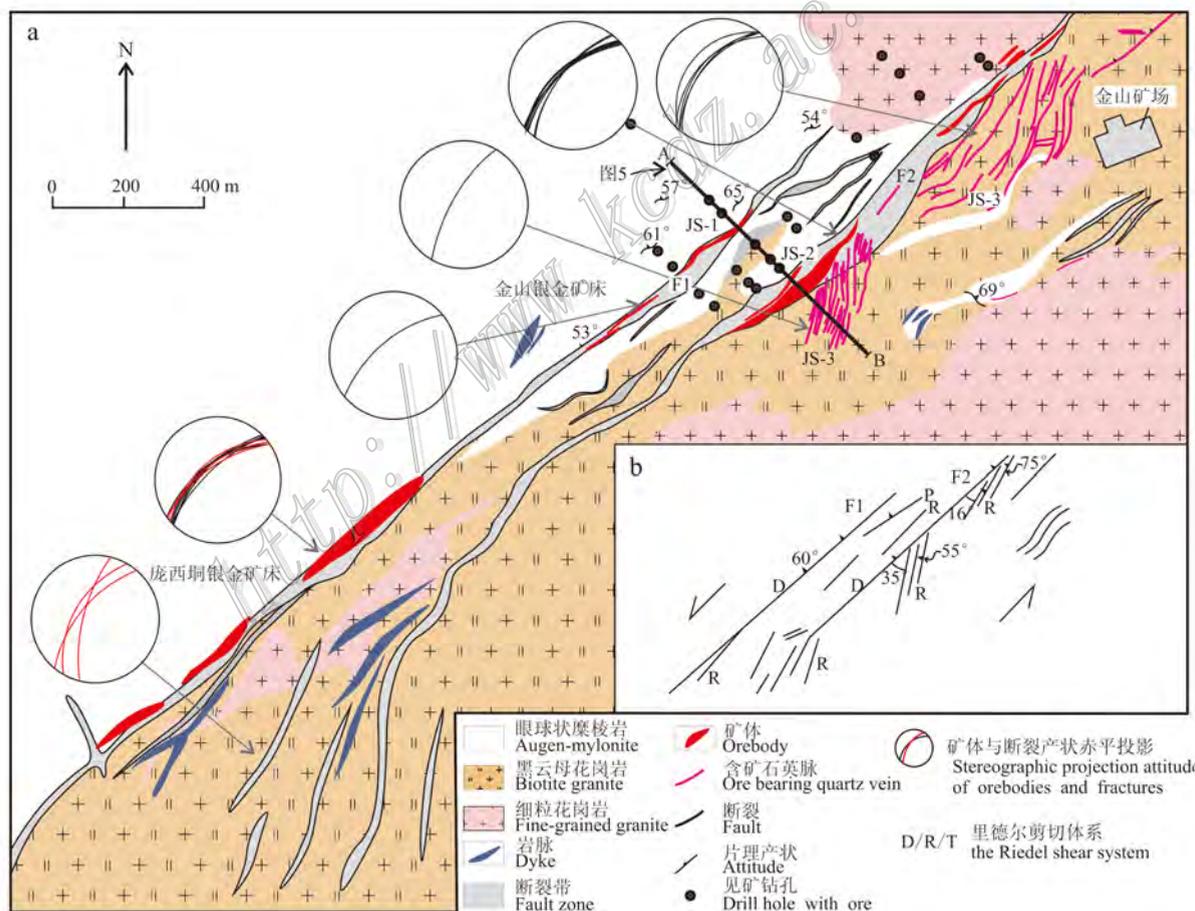


图 4 庞西垌-金山金银矿区地质简图(a)和构造示意图(b)(底图据陈辉琪等, 1985; 谢抡司, 1984 等修编) 断层、矿体产状赤平投影图(上半球), 红色为断层产状, 黑色为矿体产状(下同)

Fig. 4 Simple geological map (a) and sketch structural map (b) of the Pangxidong-Jinshan silver-gold deposit (modified after Chen et al., 1985; Xie, 1984)

The stereographic projection (upper hemisphere), red line for fracture, black for ore (the same below)

中间转折端宽约 40 m,倾向 NE,倾角 65°。断层切过眼球状糜棱岩或云母石英片岩,两侧分布宽度 0.2~0.5 m 的片理化岩石或构造角砾岩。除此之外还发育与 F1 平行的断层,倾向 NW,倾角 55°~65°。

中苏地区

该区 F2 断裂自英桥以 15°呈“S”型往北延伸,沿眼球状糜棱岩及花岗岩边界发育,走向为 NE 15°~45°,局部地区走向转为 5°,倾角 57°~78°(图 2,图 6)。断裂宽 30~210 m,沿走向、倾向均有膨胀、狭缩现象。断层岩侧向分带明显。F2 在中苏地区发生转折,走向由 NE15°转为 NE45°,宽度变窄。主断裂旁发育 NE 向次级断裂及雁列状张裂隙,倾向 300°,倾角 51°~72°,延长超过 2 km,轴线与主断裂夹角约 25°,指示主断裂左行剪切。

综上所述,庞西垌-金山断裂带具有以下特征: F1 与 F2 呈左行右阶式排列,断层间存在大量剪裂隙; F2 在金山地区呈帚状断裂带发散消失,断裂带伴生了大量的羽状、雁列状剪裂隙、S 型张裂隙;主断裂面出现 20 cm 左右的糜棱岩和后期断层泥。这些特征表明,庞西垌-金山断裂带具有左行韧脆性剪切的特征。断层角砾中可见早期的硅化角砾、眼球状角砾或石英脉角砾,表明断层具有多期活动的特征。

2.3.3 北西向断裂带

北西向断裂稀疏分布于 F2 断裂带两侧,延长数百米,走向为 NW 290°~340°,倾向南西,倾角较陡。该断裂带斜切 NE 向 F2 断裂带(图 2),北东向断裂及其中的酸性岩脉,形成的面理(S3)穿切早期面理(图 3c)表明其形成晚于 NE 向及 NNE 向断裂。

3 矿体特征

庞西垌银金矿田沿庞西垌断裂带北东向展布,延长超过 15 km,目前探明的有庞西垌、金山、中苏、樟木塘、竹根坡、高村、禾寮等银金矿床(点)(图 2)。其中庞西垌银金矿床及金山银金矿床提交资源量占矿田资源总量的 80%以上,是银金矿体的主要集中区。

3.1 庞西垌银金矿床

庞西垌银金矿床是矿田内最大的银金矿床(图 4a),包括庞西垌、莆嶂和六环 3 个主要矿段 57 个矿体。矿体大小不等,长 100~1600 m,斜宽 40~350 m,厚度 0.29~28.4 m。矿体的形态比较单一,呈脉状、薄透镜状、扁豆状产出,沿走向具有平行、雁列或

尖灭侧现形式产出;沿倾向具有分支复合、尖灭再现、侧现或相间重叠的特征。矿体产状与断裂带基本一致,并向 SW 侧伏,侧伏角 25°~50°。矿区提交的银金属储量为 745 t,金>3 t,铅、锌均>2 万吨。

I 号矿体是最重要的银金矿体,其储量占该矿区银工业储量的 92%。矿体呈脉状、薄透镜状、宽缓 S 形左行斜列。矿体长 1600 m,厚度 0.55~28.4 m(平均 3.13 m),银品位 50~185 g/t(平均 116 g/t),工业银矿石的品位为 511~688 g/t,金品位 0.3~1.76 g/t(平均 0.59 g/t),铅、锌品位分别为 0.3%~1.78%(平均 0.65%)和 0.15%~1.86%(平均 0.52%)。矿体总体走向为 NE 55°,倾角 58°~62°,向南西方向侧伏。矿体上盘存在一层断层泥带(糜棱岩带),走向为 NE 50°,倾向 NW,倾角较为稳定。对矿体与断层产状统计发现,矿体与断层泥砾带约 8°~10°夹角(图 4a)。

3.2 金山银金矿床

金山银金矿床位于庞西垌银金矿东北,F1 与 F2 转折处,根据不同的控矿构造可分为 JS-1、JS-2 和 JS-3 矿带(图 4a)。赋矿围岩主要为绢英岩化糜棱岩或角砾岩,次为中细粒黑云母花岗岩。

JS-1 矿带受控于 F1,上盘围岩为眼球状糜棱岩,下盘为中细粒黑云母花岗岩。矿体呈脉状赋存于绢英岩化角砾岩中,走向为 NE 50°,倾向 NW,倾角 61°~65°。

JS-2 矿带受控于 F2 位于 JS-1 矿带以东约 150 m,与 JS-1 矿带近平行分布,围岩为破碎黑云母花岗岩。2 号矿体是矿床最大的矿体,占银金属储量的 65%以上,走向为 NE 32°~50°,倾向 NW,倾角 44°~65°。矿体连续延长>400 m,延深>600 m,呈扁豆状向深部延伸,并具有膨胀、狭缩现象,厚 0.5~13 m(平均 4.2 m)。矿体银品位 28~1852.5 g/t(平均 228.5 g/t),金品位 0.02~2.2 g/t(平均 0.51 g/t),铅、锌品位分别为 0.19%和 0.20%(谢抡司,1984)。

JS-3 矿带产出于金山断裂的 NNE 向次级断裂带中,矿化类型为石英脉型,围岩为中细粒黑云母花岗岩。矿脉宽 10~20 cm,最厚达 45 cm,呈透镜状、脉状断续分布,走向 NNE,与金山断裂夹角约为 15°~35°,倾向 NW,倾角为 75°~88°。石英脉呈灰色至灰白色,致密块状,可分为含金石英脉(V36 等)及含金银石英脉(如 9 号矿体等)。V36 矿脉延长约 400 m,宽 0.15 m,走向为 NE30°,倾向 NW,倾角 69°,金平均品位 14.05 g/t(谢抡司,1984)。脉体两侧围岩

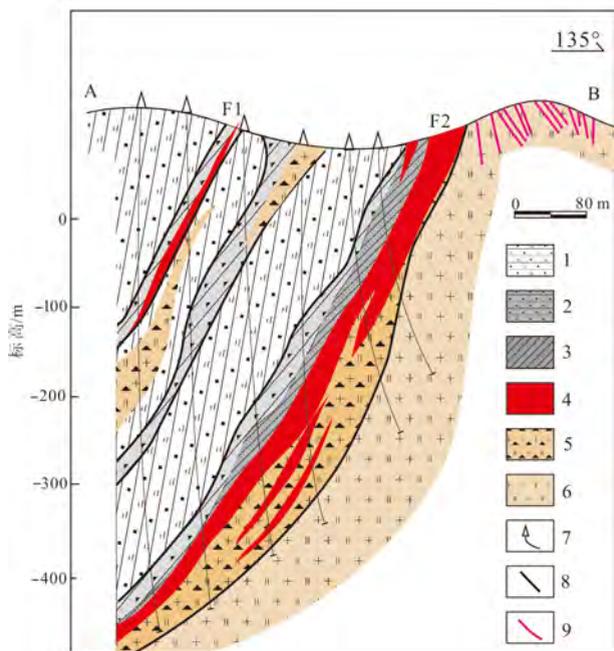


图 5 金山矿区勘探线剖面图(据谢抡司, 1984 等修编)

1—眼球状糜棱岩; 2—糜棱岩质角砾岩; 3—糜棱岩/断层泥; 4—矿(矿化)体; 5—花岗岩质角砾岩; 6—黑云母花岗岩; 7—钻孔; 8—断裂面; 9—含金石英脉

Fig. 5 Geological section along the exploration line of the Jinshan deposit (modified after Xie, 1984)

1—Augen-mylonite; 2—Breccia of mylonite; 3—Mylonite/fault gouge; 4—Orebody; 5—Breccia of granite; 6—Biotite granite; 7—Drill hole; 8—Fracture; 9—Gold-bearing quartz veins

可见黄铁矿化、硅化、绢云母化及碳酸盐化等蚀变。

3.3 中苏银金矿床

中苏银金矿床位于金山银金矿床东北约 3 km, 银金属储量为 213 t(平均品位 184 g/t), 金 > 1 t(平均品位 0.79 g/t)。目前已探明的 26 个矿体呈脉状、透镜状、厚扁豆状赋存于断层破碎带中, 其中以 21 号矿体规模最大, 占矿区资源储量 41%(图 6)。

21 号矿体赋存于绢英岩化角砾岩中, 脉状, 倾向 NW, 倾角 60°~66°, 沿走向及倾向均有膨胀收缩现象。矿体长 > 400 m, 延深超过 > 300 m, 厚 0.5~7 m(平均 2.4 m), 厚度变化系数为 73%。矿化类型为破碎蚀变岩型和石英脉型, 银品位 162 g/t, 金品位 0.68 g/t。

除了主断裂带(F2)外, 矿体亦赋存于次级断裂及雁列状裂隙中。如 V 号银金矿脉产于次级左行左阶式雁列状破碎带中, 与主断裂面夹角约 25°; IV 号和 VII 号矿段产于主断裂面上盘的次级羽状破碎带中, 与主断裂面夹角约 23°(图 6a、b)。矿石结构以脉状或细脉浸染状为主。

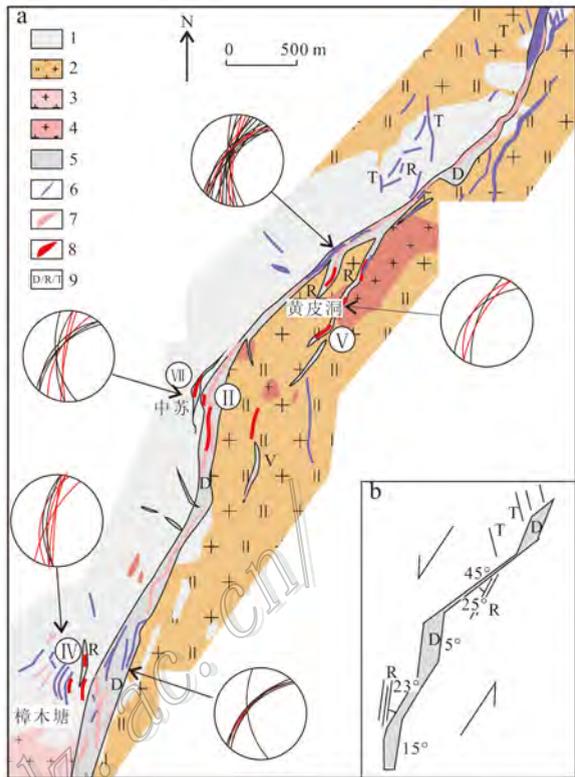


图 6 中苏银金矿地质简图(a)及构造示意图(b) (据陈均准, 1986 修编)

1—眼球状糜棱岩; 2—黑云母花岗岩; 3—花岗斑岩; 4—石英闪长岩; 5—断裂带及编号; 6—岩脉; 7—绢英岩化蚀变带; 8—矿体; 9—里德尔剪切体系

Fig. 5 Simplified geological map (a) and sketch structural map (b) of the Zhongsu silver-gold deposit (modified after Chen, 1986)

1—Augen-mylonite; 2—Biotite granite; 3—Granite porphyry; 4—Quartz diorite; 5—Fault zone and serial number; 6—Dyke; 7—Sericite-quartz alteration belt; 8—Orebody; 9—Riedel shear system

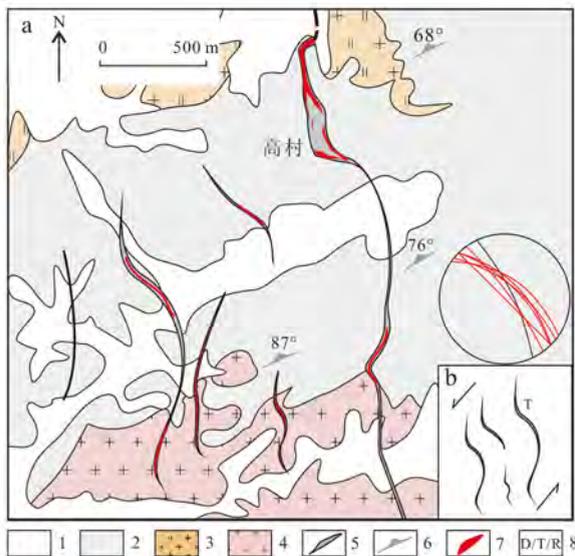


图 7 高村金矿地质图(a)及构造示意图(b) (据钟楚宇, 1979 修编)

1—第四系; 2—眼球状糜棱岩; 3—黑云母花岗岩;

4—黑云母二长花岗岩;5—断裂带;6—片理产状;7—矿体;
8—里德尔剪切体系

Fig. 6 Simple geological map (a) and sketch structural map (b) of Gaocun gold deposit (modified after Zhong, 1979)

1—Quaternary; 2—Augen-mylonite; 3—Biotite granite; 4—Biotite monzogranite; 5—Fault zone; 6—Attitude of fabric; 7—Ore bodie;
8—the Riedel shear system

3.4 高村金矿床

高村金矿床已探明的8个矿体均受控于一系列近南北走向的S型断裂中,围岩为破碎眼球状糜棱岩(图7)。矿体总体走向NW,呈宽缓S型弯曲,向南东侧伏,侧伏角 $55^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 。矿体呈脉状、透镜状,长约300 m,延深大于延长,具分支复合特征。矿体厚度与断裂带宽度成正比,断层转折端加厚。矿石类型为含金石英脉型,结构为充填结构,梳状构造,表明成矿作用发生在局部张性的环境中。

4 讨论

4.1 构造演化

云开地区广泛发育北东走向的剪切带,如合浦-河台韧性剪切带(Zhang et al., 2009)、防城-灵山断裂带(丁汝鑫等, 2015)和吴川-四会剪切带等。这些剪切带均表现出强烈的右行剪切特征。糜棱岩中的白云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为213~195 Ma(Zhang et al., 2009; 丁汝鑫等, 2015),表明剪切带形成于印支期。庞西垌-低耕韧性剪切带区域上沿北东向与合浦-河台韧性剪切带平行展布,后者是云开地区的边界断裂带(Zhang et al., 2009)。庞西垌-低耕韧性剪切带形成了大量的眼球状、条带状糜棱岩、千糜岩,其S-C组构、书斜构造等特征指示剪切带具右行剪切特征。曾长育(2014)选取庞西垌-金山剪切带糜棱岩中白云母,测得 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄(竹根坡地区)为 $(223.77 \pm 1.16) \sim (221.98 \pm 1.16)$ Ma,与合浦-河台韧性剪切带及防城-灵山断裂带一致(Zhang et al., 2009; 丁汝鑫等, 2015)。结合燕山期英桥岩体及塘蓬岩体侵入剪切带的事实,可以推断庞西垌-低耕韧性剪切带形成于印支期。

庞西垌-金山断裂为于庞西垌-低耕韧性剪切带糜棱岩与燕山期岩体接触部位。断裂带穿切了燕山期英桥岩体和塘蓬岩体,表明庞西垌-金山断裂形成晚于英桥岩体,后者的全岩K-Ar年龄为105 Ma(陈

辉琪, 1987)。F1断裂的帚状构造、次级断裂及雁列状张性断层的特征, F1与F2呈左行右阶式排列,表明庞西垌-金山断裂为左行剪切。该断裂带总体走向 $NE45^{\circ}$,断裂带内矿体具斜列的特征,并向南西侧伏(图9),侧伏角为 $25^{\circ}\sim 50^{\circ}$,表明断裂带可能伴有正滑运动。庞西垌-金山断裂带内形成了大量的断层角砾,其短轴指向近南北向,北北东向羽状次级断裂,高村地区近南北向张性正断层,进一步表明左行剪切派生应力场中主压应力方向为近南北向或北北东向。这与区域上十万大山-绍兴左行走滑-正断层一致,活动时间为燕山晚期,其主压应力方向为近南北向或北北东向(万天丰, 2003; Wang et al., 2014)。已有的一些研究也表明燕山晚期(135 Ma之后)华南地区处于伸展阶段,形成了大量白垩纪断陷盆地(如阳春盆地)和变质核杂岩,并伴随着大规模的岩浆活动(孙卫东等, 2008; Wang et al., 2013)。

北西向脆性走滑断裂横切了北东向断层、矿体及酸性岩脉,表明其形成晚于北东向韧性走滑剪切。

因此,根据野外测量及室内观察,结合前人资料,庞西垌-金山地区印支期以来至少发生了3期主要的构造活动:第一期为右行韧性剪切,第二期为左行走滑剪切,并伴有正滑运动,第三期为北西向右行脆性走滑。

4.2 构造控矿分析

通过对庞西垌-金山银金矿田的野外调查,庞西垌-金山断裂带控矿主断裂、次级断裂和剪切带属于左行走滑的简单剪切,可以应用里德尔剪切体系分析(Riedel, 1929)。里德尔剪切体系认为,韧性剪切带中除了“S”型雁列状张性裂隙外,还发育R、R'、P、T及D裂隙。其中D裂隙为主剪裂面,平行于剪切边界,产于剪切带中部,一般规模较大;R裂隙为低角度里德尔剪裂隙,与主剪裂面夹角约为 15° ;R'裂隙为高角度里德尔剪裂隙,与主剪裂面成 75° 夹角;T裂隙为张裂隙,与S面理垂直或近垂直;这3组剪裂隙往往形成较早;P裂隙为逆向剪裂隙或压剪裂隙,一般与主剪裂面呈 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 夹角;P与D裂隙形成较晚(Riedel, 1929)。矿体以脉体、透镜体等形式赋存于D、R、T裂隙中,分别形成D、R、T型矿脉。

D裂隙

该类型的裂隙在庞西垌矿田内发育最广,赋存了庞西垌银金矿床I号矿体、金山银金矿床JS-1、JS-

2 矿带及中苏银金矿 II 号矿带(图 4、6)。庞西垌地区 D 裂隙较宽(5~50 m),变化较大。裂隙连通性好,断层角砾发育,属于高渗透带,围岩发生强烈的水-岩反应,形成了大规模的强硅化岩等。裂隙内蚀变岩型矿化和石英脉型矿化发育。理论上,该类型裂隙及其中的矿脉应与主破裂面平行或近于平行,而庞西垌银金矿床 I 号矿体与主剪切面呈 $8^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 夹角,并成宽缓 S 形,串珠状排列(图 4 a、b),并具有多期叠加的特征,金山银金矿床矿脉呈 S 形展布,主矿脉下方发育一系列次级矿脉(图 5),且与主断裂面夹角逐渐变小至平行,表明矿脉是在持续的左行剪切过程(递进变形)中成矿。D 裂隙上盘具有一层 10~20 cm 的左行特征的糜棱岩带(图 5),也表明左行剪切的持续变形,由韧性剪切至脆脆性剪切。

银金矿化以构造蚀变岩型及多金属硫化物脉体为主,脉体以平直硫化物脉体、网状脉体以及细脉浸染状矿化为主,矿体与围岩没有明显的界线,细脉密集处往往是矿体所在部位。矿体中富矿体向南西侧伏,平行且有规律排列,其间由低品位矿体相连。脉体以张性充填结构为主,脉体中石英、闪锌矿与方铅矿多呈自形、半自形,表明成矿作用发生于张性空间。断层中的糜棱岩或后期断层泥岩相带厚度大,且断层走向和倾向稳定的时候,矿脉较好。由此可见, D 裂隙具有较好的成矿空间,连通性好,渗透率高,而糜棱岩和断层泥也为成矿热液的富集和矿质沉淀起到了封闭作用。

R 裂隙

在庞西垌银金矿田中, R 裂隙主要产出于主断裂面下盘,呈密集剪裂隙出现(如金山矿区下盘的羽状次级裂隙)(图 4),或呈大型的次级雁列状剪裂隙(如黄皮洞地区的 V 号断裂带)(图 6a、b),少数出现在主断裂面上盘(如中苏银金矿 IV 矿段及酸性岩脉群)(图 6a、b)。R 裂隙也是重要的赋矿构造,矿化以含金石英脉或含银金石英脉为主。理论上, R 裂隙与主破裂面(D 裂隙)呈 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 左右夹角。在庞西垌地区, R 裂隙控制了金山银金矿床 JS-3 矿带、中苏银金矿 V 号、IV 号及 VII 号矿段等(图 4a、6a)。矿脉以梳状含金石英脉为主,与主断裂面夹角为 $16^{\circ}\sim 35^{\circ}$ (图 4b),且远离主断裂面夹角较小,约 $15^{\circ}\sim 20^{\circ}$,靠近主断裂面夹角增大(图 4a)。表明 R 型矿脉形成过程中受持续的左行剪切作用发生旋转。矿石以充填结构、梳状构造为主,石英脉多发生破碎,表明矿脉形成于局部张性环境并经历了后期的变形。

R 裂隙宽度较小(如 JS-3 矿带矿脉宽约 20~40 cm),围岩蚀变较弱,蚀变宽度较小。除了含金石英脉外, R 裂隙还赋存了大量的无矿脉体和酸性岩脉。这些特征表明 R 裂隙赋矿空间较小,连通性相对 D 裂隙较差,渗透率较弱。

T 裂隙

理论上 T 裂隙通常与主压应力方向平行,呈张性或张扭性与主破裂面呈中等角度夹角(近于 50°),庞西垌银金矿田中 T 裂隙呈雁列状排列,如中苏银金矿北部(图 6a、b)和高村金矿床(图 7a、b)。单个裂隙呈 S 型,总体走向 SN,倾向 NE。矿脉赋存于裂隙下盘,且位于裂隙转折端的扩容空间(图 7a、b)。矿脉多为石英脉,充填结构,梳状构造,表现为张性特征。矿脉产状倾向 NE,向 SE 侧伏,延深呈右行雁列状排列,这与区域上的左行剪切相对应。

4.3 找矿指示

钦杭带南端的云开地区是中国重要的金、银矿床产地。区域内金、银矿床多沿区域断裂及剪切带分布。以河台金矿田为例,矿体严格受控于具右行特征的合浦-河台韧性剪切带及次级剪切带中,呈右行左阶斜列排布。河台金矿为糜棱岩化成矿作用叠加后期热液成矿作用,成矿年龄为 192~150 Ma (Zhou, 1993; 翟伟等, 2006; 朱江建, 2014; 蔡建新, 2012; Zheng et al., 2015)。

庞西垌-金山银金矿田中矿体产状以北东向和南北向为主。根据本研究分析,庞西垌银金矿田中矿脉与左行走滑剪切紧密相关,矿体的就位受控于递进的左行剪切作用。

根据 F1 和 F2 呈左行右阶式排列、糜棱岩(断层泥)岩相带、左行左阶雁列状脉体、帚状次级断裂、羽状断裂带等证据表明,庞西垌-金山断裂带为具左行性质的脆脆性走滑剪切构造,且具有长期活动的特征,矿脉主要赋存于与之相关的 D、R、T 裂隙中。因此,庞西垌-金山断裂是银金矿田最主要的控矿要素,里德尔剪切体系很好的解释了银金矿脉与构造之间的关系,而持续的变形作用对该体系进行了明显的改造作用,导致矿脉产状改变。因此,充分了解矿区的构造型式,结合已发现的矿脉,对未来找矿具有重要的指示意义。

(1) 庞西垌-银金矿田中的银金矿脉主要赋存在主破裂面(D 裂隙)中,并以断层破碎带的转折端、扩容等部位为主。D 裂隙是最重要的热液通道,且具有连通性好,渗透率高,空间大且封闭性好的特点,

是矿区内最有利的成矿构造。

(2) R 裂隙和 T 裂隙也是重要的赋矿构造,但其连通性、空间和渗透率较 D 裂隙差。R 裂隙多位于主断裂面下盘,以密集剪破裂或雁列状破碎带为特征,与主断裂面夹角 $15^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 。矿脉以梳状含金石英脉为主,并发生一定的破碎。T 裂隙在断裂上盘、下盘均可见。上盘 T 裂隙多被酸性岩脉充填,下盘 T 裂隙形成 S 形雁列状张裂隙,与主断裂面夹角约 45° ,多被石英脉充填。含金石英脉多位于裂隙转折端扩容部位。

(3) 庞西垌-金山银金矿田内岩性较为简单(以花岗质岩石为主)构造型式较为简单。矿田内各矿床矿脉的产状、结构构造表明矿体就位完全受控于左行右阶走滑剪切形成的主断裂面及次级裂隙,且沿南西走向往深部侧伏。因此,对已知矿床进行详细的构造解析,建立矿脉的就位体系,有利于进一步指导深部找矿。

5 结论

(1) 庞西垌-金山银金矿田自印支期起至少发生 3 期重要的构造运动,其中印支期以北东向右行韧性剪切为特征,燕山晚期发生大规模岩浆作用,矿田处于北东向左行走滑体系,晚期发生北西向脆性断裂。

(2) 银金矿体及矿石结构构造主要受第二期左行韧性剪切带控制。

(3) 应用里德尔剪切系统分析矿田构造显示,银金矿体主要赋存于左行剪切的主断裂面及次级裂隙中,以 D 裂隙为主,其次为 R 和 T 裂隙,这可以作为该区进一步找矿的参考。

志谢 野外工作期间,得到了广西博白县金粤银矿有限公司和庞西垌银金矿领导及矿山技术人员的大力支持与配合,三位评审专家对本文提出了宝贵的修改意见,在此一并志以诚挚的感谢!

References

Cai J X. 2012. Hetai Dextral ductile shear zone, western Guangdong, and its controlling on formation of gold deposit [J]. *Geological Review*, 58(6): 1069-1080 (in Chinese with English abstract).

Chen H Q and Wu X P. 1985. Geological characteristics and metallogenetic regularity research report of Pangxidong Ag-Au gold deposit in

Lianjiang, Guangdong [R]. Guangzhou: Guangdong No. 704 Geological Team. Unpublished report. 157p (in Chinese).

Chen H Q, Zhang Z K, Zhang Y H, Feng Y M. 1987. Geological characteristics of the Pangxidong Ag-Au ore deposit, Guangdong Province [J]. *Guangdong Geology*, 2(2): 93-108 (in Chinese with English abstract).

Chen J H. 1986. Detailed geological report of Zhongsu Au-Ag deposit in Bobai, Guangxi [R]. Nanning: Guangxi No. 6 Geological Team. Unpublished report. 98p (in Chinese).

Ding R X, Zou H P, Lao M J, Du X D, Zhou Y Y and Zeng C Y. 2015. Indosinian activity records of ductile shear zones in southern segment of Qin Hang combined belt: A case study of Fangcheng-Lingshan fault zone [J]. *Earth Science Frontier*, 22(2): 79-85 (in Chinese with English abstract).

Gilder S A, Gill J, Coe R S, Zhao X X, Liu Z W, Wang G X, Yuan K R, Liu W L, Kuang G D and Wu H R. 1996. Isotopic and paleomagnetic constraints on the Mesozoic tectonic evolution of South China [J]. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 101(B7): 16137-16154.

Liu T F. 1990. Geological characteristics and concentration regularity of Jin-Shan gold-silver deposit, Guangxi Autonomous Region [J]. *Gold*, 8: 1-7 (in Chinese with English abstract).

Lü W C. 2013. Study on metallogenetic factors and prognosis of Ag-Au polymetallic deposits in Wendi area of Qinzhou-Hangzhou metallogenetic belt (South Section), China [D]. Guangzhou: Sun Yet-Sen University. 1-180.

Mao J W, Chen M H, Yuan S D and Guo C L. 2011. Geological characteristics of the Qinhang (or Shihang) metallogenetic belt in South China and spatial-temporal distribution regularity of mineral deposit [J]. *Acta Geologica Sinica*, 85(5): 636-658 (in Chinese with English abstract).

Peng S B, Jin Z M, Fu J M, He L Q, Cai M H and Liu Y H. 2006. The geochemical evidences and tectonic significance of Neoproterozoic ophiolite in Yunkai area, western Guangdong Province, China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(6): 814-825 (in Chinese with English abstract).

Qian J P, Xie B W, Chen H Y, Bai Y P and Wu X L. 2011. Analysis of ore-controlling structure and prospecting of tectonogeochemistry in Jinshan Au-Ag mining area, Guangxi [J]. *Geoscience*, 25(3): 531-544 (in Chinese with English abstract).

Qin X F, Wang Z Q, Hu G A, Cao J and Feng Z H. 2013. Geochronology and geochemistry of Hudong gneiss composite pluton in the junction of Guangdong and Guangxi Provinces: Implications for Early Paleozoic tectonic-magmatism along the north margin of Yunkai massif [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(9): 3115-3130 (in Chinese

- with English abstract).
- Qin X F , Xia B , Zhou F S , Hu G A , Li G N , Xie L F , Zhou K H and Pan W Y. 2007. Confirm of Proterozoic unconformity event in the Yunkai area of Guangxi and it 's tectonic significance[J]. *Geoscience* , 21(1): 22-30(in Chinese with English abstract).
- Riedel W. 1929. *Zur Mechanik Geologischer , Brucher-scheinunger* [J]. *Zent. Mineral. Geol. Paleont.* , 354-368.
- Shui T. 1987. Tectonic framework of the continental basement of south-east China[J]. *Science in China (Series B)* , 4 : 414-422(in Chinese).
- Sun H S , Cao X Z and Zhang K. 2005. Characteristics of ore-controlling fracture and the ore-controlling regularities in Pangxidong Ag (Au) deposit , northwest Guangdong[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research* , 20(3): 161-165(in Chinese with English abstract).
- Sun W D , Ling M X , Wang F Y , Ding X , Hu Y H , Zhou J B and Yang Y Y. 2008. Pacific plate subduction and Mesozoic geological event in eastern China [J]. *Bulletin of Mineralogy , Petrology and Geochemistry* , 27(3): 218-225(in Chinese with English abstract).
- Wan T F. 2004. *An outline of tectonics of China* [M]. Beijing : Geological Publishing House. 152-165(in Chinese).
- Wang H N , Yang J W and Chen H Q. 1992. Geochemical studies of the Pangxidong silver deposit in Guangdong Province[J]. *Mineral Deposits* , 11(2): 179-187(in Chinese with English abstract).
- Wang Y J , Zhang A M , Fan W M , Zhao G C , Zhang G W , Zhang Y Z , Zhang F F and Li S Z. 2011. Kwangian crustal anatexis within the eastern South China Block : Geochemical , zircon U-Pb geochronological and Hf isotopic fingerprints from the gneissoid granites of Wugong and Wuyi-Yunkai Domains[J]. *Lithos* , 127 : 239-260.
- Wang Y J , Fan W M , Zhang G W and Zhang Y H. 2013. Phanerozoic tectonics of the South China Block : Key observations and controversies[J]. *Gondwana Research* , 23 : 1273-1305.
- Wang Z W , Zhou Y Z and Zhang E. 2002. The forming process of Pangxidong-Jinshan Ag-Au Mines[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni* , 41(3): 81-85(in Chinese with English abstract).
- Xie L S. 1984. Detailed geological report of Jinshan Au-Ag deposit in Bobai , Guangxi[R]. Nanning : Guangxi No. 6 Geological Team. Unpublished report. 105p(in Chinese).
- Yang M G and Mei Y W. 1997. Characteristics of geology and metallogenesis in the Qinzhou-Hangzhou Paleoplate Juncture[J]. *Geology and Mineral Resources of South China* , 3 : 52-59(in Chinese with English abstract).
- Zeng C Y. 2014. Yunkai basement and its reworking and mineralization effects in Pangxidong area of Southern Qinzhou Bay-Hangzhou Bay Juncture orogenic belt , South China[D]. Guangzhou : Sun Yet-Sen University. 1-284 (in Chinese with English abstract).
- Zhai W , Yuan G B , Li Z L , Huang D L and Wen Y J. 2005. U-Pb Iso- tope age of zircons in gold-bearing quartz veins from the Hetai gold deposit , western Guangdong , China : Constraints on the timing of gold metallogenesis[J]. *Geological Review* , 51(3): 340-346 (in Chinese with English abstract).
- Zhang A M , Wang Y J , Fan W M , Zhang Y Z and Yang J. 2012. Earliest Neoproterozoic (ca. 1.0 Ga) arc-back-arc basin nature along the northern Yunkai Domain of the Cathaysia Block : Geochronological and geochemical evidence from the metabasite[J]. *Precambrian Research* , 220 : 217-233.
- Zhang K J and Cai J X. 2009. NE-SW-trending Hepu-Hetai dextral shear zone in southern China Penetration of the Yunkai Promontory of South China into Indochina[J]. *Journal of Structural Geology* , 31 : 737-748.
- Zhang Q , Pan J Y and Zhang B G. 1994. Discussion on the origin of Pangxidong silver-gold polymetallic deposit[J]. *Guangdong Geology* , 9(1): 12-21(in Chinese with English abstract).
- Zheng Y , Zhou Y Z , Wang Y J , Shen W J , Yang Z J , Li X Y and Xiao F. 2015. A fluid inclusion study of the Hetai goldfield in the Qinzhou Bay-Hangzhou Bay metallogenic belt , South China[J]. *Ore Geology Reviews* , [http://dx. doi. org/10. 1016/ j. oregeorev. 2014. 09. 008](http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.09.008).
- Zheng Y , Yu P , Wang Y J and Lin Z W. 2017. Geological characteristics and genetic types of four series of ore-forming systems at west Guangdong and east Guangxi and their implication for the tectonic evolution of Qinzhou-Hangzhou joint belt[J]. *Acta Petrologica Sinica* , 33(3): 667-681 (in Chinese with English abstract).
- Zhong C Y. 1979. Preliminary geological exploration report of Gaocun gold deposit in Lianjiang , Guangdong[R]. Guangzhou : Guangdong No. 704 Geological Team. Unpublished report. 39p(in Chinese).
- Zhou Y Z , Zeng C Y , Li H Z , An Y F , Liang J , Lü W C , Yang Z J , He J G and Shen W J. 2012. Geological evolution and oroprospecting targets in southern segment of Qinzhou Bay-Hangzhou Bay juncture orogenic belt[J]. *Geological Bulletin of China* , 31(2/ 3): 486-491(in Chinese with English abstract).
- Zhou Y Z , Li X Y , Zheng Y , Shen W J , He J G , Yu P P , Niu J , Zeng C Y , Liang J and Li H Z. 2017. Geological settings and metallogenesis of Qinzhou Bay-Hangzhou Bay orogenic juncture belt , South China[J]. *Acta Petrologica Sinica* , 33(3): 667-681 (in Chinese with English abstract).
- Zhu J J , Lin G , Zeng Q S , Chen G H and Wang J B. 2014. A nearly equidistant ore-controlling model for shear-strain anomaly belts : An

example of the Hetai gold deposit in western Guangdong Province[J]. *Geology and Exploration*, 50(3):454-463 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 蔡新建. 2012. 广东河台右旋韧性剪切带及其对金矿的控制[J]. *地质论评*, 58(6):1069-10180.
- 陈辉琪, 吴希平. 1985. 广东省廉江县庞西垌银金矿床地质特征及成矿规律研究报告[R]. 广州: 广东地质勘查局 704 地质大队. 内部报告. 159 页.
- 陈辉琪, 张兆昆, 张永焕, 冯亚民. 1987. 广东庞西垌银金矿床地质特征[J]. *广东地质*, 2(2):93-108.
- 陈均淮. 1986. 广西博白县中苏金银矿区详查地质报告[R]. 南宁: 广西壮族自治区第六地质队. 内部资料. 98 页.
- 丁汝鑫, 邹和平, 劳妙姬, 杜晓东, 周永章, 曾长育. 2015. 钦-杭结合带南段韧性剪切带印支期活动记录: 以防城—灵山断裂带为例[J]. *地学前缘*, 22(2):79-85.
- 刘腾飞. 1990. 广西金山金银矿床地质特征及富集规律[C]. *黄金*, 11(8):1-7.
- 吕文超. 2013. 钦杭结合带南段文地地区银金多金属矿床成矿条件及成矿预测研究[D]. 中山大学博士学位论文, 1-180.
- 毛景文, 陈懋弘, 袁顺达, 郭春丽. 2011. 华南地区钦杭成矿带地质特征和矿床时空分布规律[J]. *地质学报*, 85(5):636-658.
- 彭松柏, 金振民, 付建明, 何龙清, 蔡明海, 刘云华. 2006. 云开地区新元古代蛇绿岩的地球化学证据及其构造意义[J]. *地质学报*, 80(6):814-825.
- 钱建平, 谢彪武, 陈宏毅, 白艳萍, 吴小雷. 2011. 广西金山金银矿区成矿构造分析和构造地球化学找矿[J]. *现代地质*, 25(3):531-544.
- 覃小锋, 夏斌, 周府生, 胡贵昂, 李广宁, 谢凌晨, 周开华, 潘艺文. 2007. 广西云开地区元古代不整合事件的确定及其构造意义[J]. *现代地质*, 21(1):22-30.
- 覃小锋, 王宗起, 胡贵昂, 曹洁, 冯佐海. 2013. 两广交界地区壶垌片麻状复式岩体的年代学和地球化学: 对云开地块北缘早古生代构造-岩浆作用的启示[J]. *岩石学报*, 29(9):3115-3130.
- 水涛. 1987. 中国东南大陆基底构造格局[J]. *中国科学(B 辑)*, 4:

414-422.

- 孙华山, 曹新志, 张科. 2005. 粤西北庞西垌(金)矿床控矿断裂特征与断裂控矿规律[J]. *地质找矿论丛*, 20(3):161-165.
- 孙卫东, 凌明星, 汪方跃, 丁兴, 胡艳华, 周继彬, 杨晓勇. 2008. 太平洋板块俯冲与中国东部中生代地质事件[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 27(3):218-225.
- 万天丰. 2004. 中国大地构造学纲要[M]. 北京: 地质出版社. 152-165.
- 王鹤年, 杨建文, 陈辉琪. 1992. 广东庞西垌银矿床的地球化学研究[J]. *矿床地质*, 11(2):179-187.
- 王祖伟, 周永章, 张恩. 2002. 粤桂边境庞西垌—金山银金矿床成矿条件与形成机理[J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 41(3):81-85.
- 谢抡司. 1984. 广西博白县金山金银矿区详查地质报告[R]. 南宁: 广西壮族自治区第六地质队. 内部资料. 105 页.
- 杨明桂, 梅勇文. 1997. 钦-杭古板块结合带与成矿带的主要特征[J]. *华南地质与矿产*, 3:52-59.
- 曾长育. 2014. 钦-杭结合带南段庞西垌地区变质基底、改造与成矿效应[D]. 中山大学博士学位论文. 1-284.
- 翟伟, 袁桂邦, 李兆麟, 黄栋林, 文拥军. 2006. 粤西河台金矿床富硫化物含金石英脉锆石 U-Pb 测年及成矿意义[J]. *地质论评*, 52(5):340-346.
- 张乾, 潘家永, 张宝贵. 1994. 广东庞西垌银金多金属矿床成因探讨[J]. *广东地质*, 9(1):12-21.
- 钟楚宇. 1979. 广东省廉江县高村金矿区初步勘探地质报告[R]. 广州: 广东地质勘查局 704 地质大队. 内部报告. 39 页.
- 郑义, 余盼, 王岳军, 林振文. 2017. 粤西-桂东四套成矿系统地质特征、成因类型及构造启示[J]. *岩石学报*, 33(3):682-694.
- 周永章, 曾长育, 李红中, 安燕飞, 梁锦, 吕文超, 杨志军, 何俊国, 沈文杰. 2012. 钦州湾-杭州湾构造结合带(南段)地质演化和找矿方向[J]. *地质通报*, 31(2-3):486-491.
- 周永章, 李兴远, 郑义, 沈文杰, 何俊国, 虞鹏鹏, 牛佳, 曾长育, 梁锦, 李红中. 2017. 钦杭结合带成矿地质背景及成矿规律[J]. *岩石学报*, 33(3):667-681.
- 朱江建, 林舸, 曾青松, 陈广浩, 王京彬. 2014. 剪切应变异常带近等距控矿模式——以粤西河台金矿为例[J]. *地质与勘探*, 50(3):454-463.