

海南岛抱伦金矿床成矿后断裂活动及找矿方向探讨

张湖¹, 许德如^{2*}, 单强¹, 吴传军^{1,3}, 赵朝霞^{1,4}, 朱昱桦^{1,4}

(1.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; 2.东华理工大学核资源与环境国家重点实验室, 江西 南昌 330013; 3.中国科学院 南海海洋研究所 边缘海地质重点实验室, 广东 广州 510301; 4.中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 抱伦金矿是大型以含金石英脉为主的金矿床, 赋矿围岩是下志留统陀烈组浅变质碎屑岩, 矿脉走向为北北西向。北东走向的 F_2 断层将各条矿化带分成北段和南段。在 F_2 断层两盘很大范围内, 北西盘是陀烈组下段岩石, 南东盘是陀烈组中段岩石。在巷道中见到多条伴生的切错含金石英脉的小型北东向左行扭动断层。据此认为 F_2 断层是大断距左行扭动的成矿后断层; 南矿区开采的矿化带与其北侧的4号矿化带北段不是同一条矿化带; 各条矿化带的南段相对于它们的北段有较大断距的左行错移。由此得出本矿区的构造格架是: 被成矿后北东向断层切断并大断距左行错移的多条北北西向矿化带。在此新的构造概念下, 对抱伦金矿的进一步找矿方向提出了四个推断, 涉及寻找1号矿化带南段、北区疑4号带、其他一些矿化带南段和 F_2 断层两盘陀烈组下段和中段界线。

关键词: 找矿; 构造; 金矿; 抱伦; 海南

中图分类号: P612; P542 文献标志码: A 文章编号: 1001-1552(2018)06-1078-09

0 引言

抱伦金矿床位于海南岛西南部(图1), 是大型、富品位、以含金石英脉为主要矿石类型的中高温或中温偏高热液金矿床(Xu et al., 2017)。多年来, 海南省地质矿产部门、海南山金矿业有限公司以及国内许多学者对该矿床做了大量勘察和研究工作, 对赋矿地层时代、花岗岩体侵位时代、成矿作用时代、热液和成矿物质来源、成矿构造背景、矿区构造变形和变质特征及其与金富集的关系、矿石和围岩的矿物学与地球化学特征、成矿作用特征及成矿阶段、稳定同位素特征和矿床成因类型等作了大量研究和探索(符国祥和符策锐, 1999; 丁式江等, 2001, 2007; 陈柏林等, 2001, 2004; 刘玉琳等, 2002; 舒斌等, 2004, 2006a,

2006b; 谢才富等, 2006; 李明艳等, 2006; 杨念等, 2009; 张小文等, 2009; 钟增球等, 2010; 王朝文等, 2011; 许德如等, 2011, 2016; 陈颖民等, 2011; 吴传军等, 2011; 王婧等, 2013; 张小文, 2014; 胡国成等, 2016; 傅杨荣等, 2016; Xu et al., 2017)。

找到新的金矿资源, 促进矿山可持续发展, 是当前的重要课题。对抱伦金矿床的进一步找矿问题, 研究者们提出了种种意见(丁式江等, 2007; 钟增球等, 2010; 张小文, 2014; 傅杨荣等, 2016; 许德如等, 2016)。近些年矿山的深部找矿工作取得进展, 探到一些新的金矿体。但在矿区外围, 如狗岭、铁湾岭等地段, 尚未发现有意义的工业金矿资源。

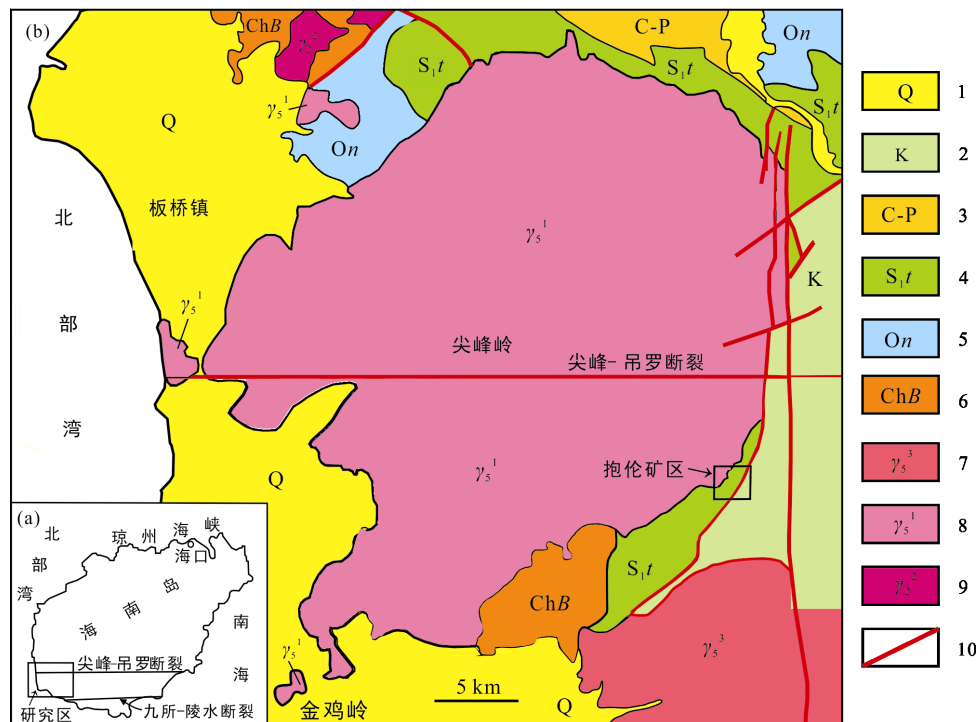
已有的勘查和研究成果表明, 一系列北北西向断裂破碎蚀变带是抱伦金矿床的主要控矿构造。

收稿日期: 2016-11-07; 改回日期: 2017-08-16

项目资助: 国家重点研发计划项目(2016YFC0600401)和国土资源部全国矿产资源潜力评价项目(1212010881625)联合资助。

第一作者简介: 张湖(1941-), 男, 研究员, 从事构造地质学和矿床学方向研究。Email: gzzhh@gig.ac.cn

通信作者: 许德如(1966-), 男, 研究员, 从事构造成矿与资源预测研究。Email: xuderu@gig.ac.cn



1. 第四系; 2. 白垩系; 3. 石炭系-二叠系; 4. 志留系陀烈组; 5. 奥陶系南碧沟组; 6. 长城系抱板群; 7. 燕山晚期花岗岩类; 8. 印支期(为主)花岗岩类; 9. 中元古代花岗岩类; 10. 断裂。

图 1 抱伦金矿区域地质及矿区位置简图(据王朝文等, 2011 修改)

Fig.1 Regional geological sketch map showing the location of the Baolun gold deposit

但大多数研究者对成矿后构造的活动特点及其对先前矿体的改造情况未予重视, 认为成矿后构造活动不强烈, 对矿区构造格架没有明显改动。基于该理念开展矿区及外围的找矿预测工作, 会束缚找矿思路。

本文认为, 矿区 F_2 断层是位移幅度较大的左行扭动的成矿后断层, 它对矿区构造格架有较大改造。据此对矿区的构造格架和找矿方向提出新认识。

1 矿床地质概况

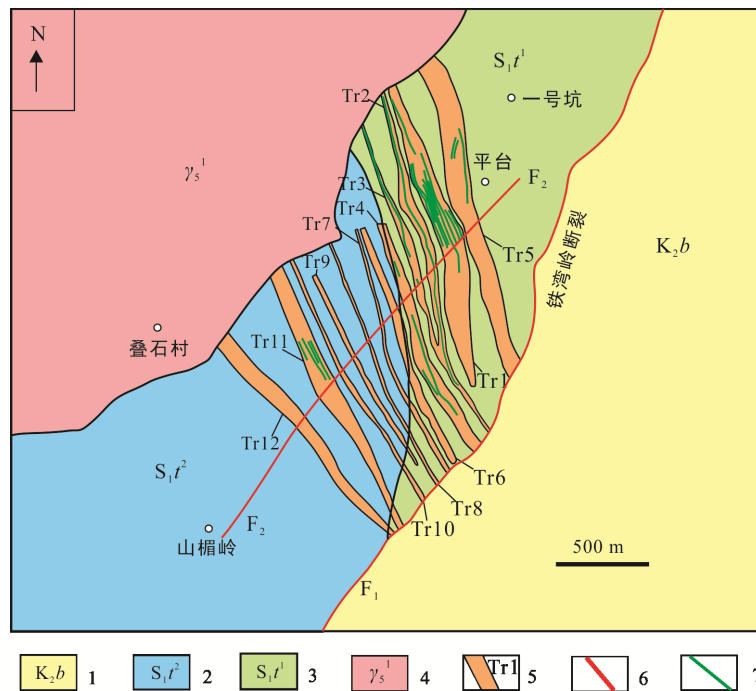
抱伦金矿床位于东西向尖峰-吊罗断裂和九所-陵水断裂之间。矿区外围主要出露长城系抱板群(ChB 片麻岩, 变粒岩, 片岩等)、下志留统陀烈组(S_{1t})、下白垩统鹿母湾组(K_{1l})和上白垩统报万组(K_{2b})(白垩系均为紫红色砂泥岩)。北部较远位置有石炭系-二叠系(碎屑岩及碳酸盐岩)和奥陶系(浅变质碎屑岩夹变质基性火山岩)。外围的侵入岩有中元古代片麻状花岗闪长岩和二长花岗岩, 海西晚期-印支期二长花岗岩、正长花岗岩以及燕山晚期二(正)长花岗岩和花岗闪长岩等, 以印支期和燕山晚期最发育。区域断裂以东西向、南北向和北东向为主(图 1)。

矿区内主要地层是下志留统陀烈组和上白垩统

报万组, 二者以铁湾岭断裂为界呈断层接触(图 2)。矿区西北部是印支期尖峰岭花岗岩类复式岩体, 矿区以南为燕山晚期千家花岗岩类复式岩体。矿山巷道内见有细晶岩脉和变质基性岩侵入体等, 但在地表因南方热带山区植被覆盖严重, 露头稀少, 未能见到。

下志留统陀烈组(S_{1t})为砂泥质绿片岩相变质岩系, 分为下段(S_{1t}^1)及中段(S_{1t}^2)。下段岩性主要为绢云母石英千枚岩、白云母石英千枚岩、变质砂岩和变质粉砂岩等, 在矿区内分布于偏北和东的位置; 中段岩性主要为炭质千枚岩, 在矿区内分布于偏南和西的位置。岩石的千枚理(即变质岩构造学中的 S_1)很发育, 其走向北北西, 倾向南西或北东, 倾角普遍较陡(图 2)。

陀烈组中发育一系列走向北北西、倾向南西或北东、倾角陡的压扭性断裂构造带, 沿此断裂构造带内发育含 Au 石英脉。矿床的主要 Au 资源赋存在这种石英脉中。一些次要 Au 资源产于千枚岩、细晶岩、基性岩中, 但品位较低, 且主要分布在含 Au 石英脉旁侧附近。本文主要讨论含 Au 石英脉型矿化。



1. 白垩系万组; 2. 志留系陀烈组中段; 3. 志留系陀烈组下段; 4. 印支期尖峰岭花岗岩类复式岩体; 5. 矿化带及编号; 6. 断层; 7. 金矿体(示意)。此图代表了目前多数人对抱伦矿区地质和构造面貌的认识。

图 2 抱伦金矿矿区原地质简图(引自抱伦金矿内部资料)

Fig.2 Simplified geological map of the Baolun gold deposit

工业矿体长度一般为 65~782 m, 沿倾向延深 42~663 m, 厚度为 0.26~9.70 m, 品位为 1.31~153.82 g/t。矿体厚度变化系数为 33~72, 品位变化系数为 51~164。矿体多为脉状、似透镜状、透镜状, 存在膨缩、尖灭再现或尖灭侧现(傅杨荣等, 2016)。

含金石英脉的主要矿石矿物是自然金, 较少的有银金矿、黑铋金矿、硫铋金矿。主要脉石矿物是石英; 其他透明矿物有白云母、绢云母、绿泥石、方解石、磷灰石、电气石等; 不透明矿物有黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、毒砂、方铅矿、闪锌矿、辉钼矿、金红石、钛铁矿、辉铋矿、自然铋、硫铋矿、硫铋铅矿、辉铅铋矿、斜方辉铅铋矿、硫铋铋铅矿等。

许德如等(2016)根据对 1 号矿化带北段的研究, 认为金成矿时代为印支期, 但钟增球等(2010)和张小文等(2009)认为成矿发生于燕山晚期。

2 F₂ 断层的特征、性质及对矿区构造格架的新认识

2.1 F₂ 断层与矿化带、矿段、130 中段等的关系

各条走向北北西的断裂带含有的石英脉数量不一, 石英脉中 Au 的品位相差也很大。断裂带和其中

的石英脉, 被称为“矿化带”。沿用矿山的表示方法, 矿化带的代号用“Tr+数字”表示, 例如 1 号矿化带的代号是 Tr1(图 2)。

矿区中部存在 F₂ 断层, 走向 30°~60°, 倾向南东或北西, 倾角在 60°~87°之间, 断层面波状变化。该断层将各条矿化带截断。一些研究者认为 F₂ 断层的断距不大, 各条矿化带的南北两段基本连接(图 2)。而本文持不同观点。

为便于研究和讨论, 本文将 F₂ 断层北西盘的各条矿化带, 称为某条矿化带的“北段”, 代号用“数字+n”表示。如“1 号矿化带北段”, 代号“1n”。将 F₂ 断层南东盘各条矿化带, 称为某条矿化带的“南段”, 代号用“数字+s”表示, 如“1 号矿化带南段”, 代号“1s”。

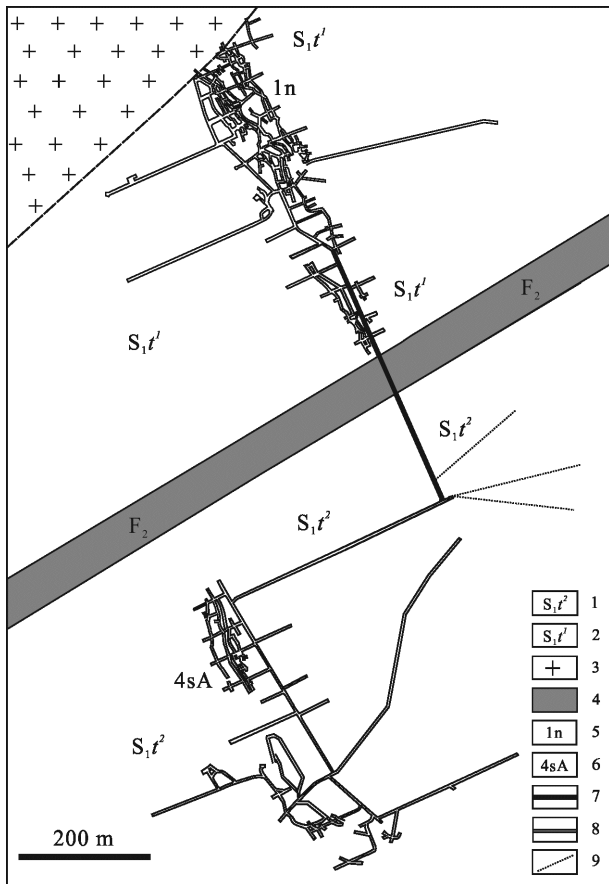
1 号矿化带北段含矿最好, 有 15 个工业矿体, 矿体规模和品位较佳, 提供了大部分 Au 资源量, 是主要开采地段, 被称为“豪岗岭矿段”。1 号矿化带南段尚未找到。1 号矿化带北段越过 F₂ 断层向南南东直接延伸的位置, 没有金矿体。

在 F₂ 断层南东盘有一个“南矿段(南区)”, 有 12 个工业矿体, 矿体规模和品位逊于 1 号矿化带北段, 是次要采区, 所开采的矿带被称为“4 号矿化带”, 但本文认为它不是真正的 4 号矿化带, 暂称其为“南区”。

疑 4 号带”。

在 2 号、3 号、6 号、11 号矿化带也发现了少量矿体。

在豪岗岭矿段的不同高度有 14 个采矿中段, 在南矿段有 7 个采矿中段。这两个矿段的巷道通常互不连通, 只有 130 中段(130 水平)的主巷巷道自北北西向南南东穿过 F_2 断层, 再拐向南西方向, 与南矿段相连(图 3)。本文将 F_2 断层北西盘的 130 中段主巷称为“130 主巷北段”, 代号为“130n”。将 F_2 断层南东盘的 130 中段主巷称为“130 主巷南段”, 代号为“130s”。矿山的大部分巷道都为采矿开凿, 位于矿体附近。因此, 在巷道的中段平面图上(图 3), F_2 断层北西盘巷道密集之处, 是 1 号矿化带北段的位置; F_2 断层南东盘巷道密集之处, 是南区疑 4 号带的位置。



1. 志留系陀烈组中段; 2. 志留系陀烈组下段; 3. 尖峰岭花岗岩; 4. F_2 断层; 5. 1 号矿化带北段, 即豪岗岭矿段; 6. 南区疑 4 号带, 即南矿段; 7. 穿过 F_2 断层的 130 中段主巷巷道; 8. 130 中段其他巷道; 9. 130 主巷南段的坑内钻。 F_2 断层两盘陀烈组的千枚理产状都是走向北北西, 倾向南西或北东, 倾角陡。

图 3 抱伦金矿 130 中段巷道平面略图(据抱伦金矿矿山内部资料)

Fig.3 Sketch plane of the No.130 level tunnel of the Baolun gold deposit

2.2 F_2 断层的地质特征及性质

2.2.1 F_2 断层的地质特征

由于地表植被覆盖严重, 未能观察到 F_2 断层的露头, 地下的 F_2 断层是一条破碎带。在 130 中段主巷巷道中, 破碎带宽度超过 60 m。 F_2 断层北西盘的 1 号矿化带北段 130 中段所有巷道的岩石是陀烈组下段岩石(S_{1t}^1 , 绢云母或白云母石英千枚岩、变质粉砂岩等, 图 3)。 F_2 断层南东盘的 130 主巷南段和南区疑 4 号带的岩石是陀烈组中段岩石(S_{1t}^2 , 碳质千枚岩, 图 3)。此处 F_2 断层两盘千枚岩的千枚理产状都是走向北北西, 倾向南西或北东, 倾角陡。隔着 F_2 断层两套岩石“相顶”(“相顶”是指两套不同岩石的产状相同, 相互并列, 沿走向二者似乎相连, 但因岩性或时代不同而不能相连的现象)。

这就出现了矛盾: 按照图 2, 1 号矿化带的北、南两段是相连的, 北段和南段的岩石相同, 都属于陀烈组下段。而 130 主巷显示的情况是, 1 号矿化带北段是陀烈组下段, 向南南东直接延伸的位置(即 130 主巷南段)是陀烈组中段, 南北两套不同岩石隔着 F_2 断层“相顶”, 表明图 2 与实际情况有不符之处。

不仅 130 中段的岩石分布状况如此。 F_2 断层北西盘的整个豪岗岭矿段的所有巷道, 从最深的 -75 m 中段, 到近地表的 +400 m 中段, 巷道围岩都是陀烈组下段, 没有陀烈组中段岩石。而 F_2 断层南东盘的南矿段的所有巷道中, 从 -75 m 中段到近地表的 +250 m 中段, 巷道围岩都是陀烈组中段, 没有陀烈组下段岩石。图 3 所表示的岩石分布不仅仅是 130 中段的面貌, 它代表了整个矿区各个中段的面貌。

F_2 断层南东盘的陀烈组中段岩石的分布宽度: 从南区疑 4 号带向东北方向(沿巷道)到 130 主巷南段巷道转折处的距离约 400 m。矿山在此转折处曾向北东、北东东和近正东三个方向打坑内钻(水平钻), 向北东东方向打得最远, 约有 230 m(图 3)。这三个钻孔见到的都是碳质千枚岩。这就是说, 从南区疑 4 号带向北东超过 600 m 的宽度都是陀烈组中段岩石。

在 1 号矿化带北段的巷道中观察到许多小型北东向断层, 产状与 F_2 断层近似, 常常切断含金石英脉, 都呈左行扭动, 断距由几十厘米至二十余米。断层面的擦痕缓倾斜。其具体实例可见表 1 和图 4。

2.2.2 F_2 断层的性质

(1) F_2 断层是存在的。断层位置存在较宽的破碎带, 两盘岩性不同, 分别是陀烈组下段和中段, 两套岩石的千枚理产状相同, 隔着 F_2 断层“相顶”, 表明断层存在无疑。

表 1 抱伦金矿 1 号矿化带北段井下小型北东向断层特征

Table 1 Features of the Northeast trending small-scale faults in the underground tunnel in the northern section of the No.1 mineralized zone in the Baolun gold deposit

序号	位置	断层产状	错动性质	断距	切断现象	其他特征
1	215中段103线, 2335采场北天井	318° 45°	左行	多条合计断距	切断含金石英脉	
2	215中段103线, 2335采场北天井	300° 80°	左行	20~25 m	切断含金石英脉	
3	190中段101线, 东穿	130° 72°	左行	7~8 m	切断含金石英脉	
4	190中段101线, 东穿	130° 82°	左行	不明	未见	擦痕向南西缓倾
5	160中段103线, V1-3矿体附近	293° 57°~300° 80°	左行	7 m	切断标志岩石绿泥 石石英千枚岩夹层	擦痕向北东缓倾
6	130中段103线, V1-3矿体附近	310° 87°	左行	不明	切断含金石英脉	
7	130中段103线, V1-3矿体附近	295° 60°	左行	不明	切断含金石英脉	
8	25中段103线	105° 65°~290° 69°	左行	3 m	切断含金石英脉	
9	25中段103线	270° 63°	左行	不明	切断含金石英脉	
10	25中段103线	330° 58°	左行	0.5 m	切断含金石英脉	
11	25中段103线	300° 45°	左行	0.5~1 m	切断含金石英脉	

注: 断层形态往往波状变化, 表中所示的断层产状是其局部位置的产状。断距是估测值。



25 中段 103 线附近, 巷道顶部的照片, 镜头向南向上, 灰白色是石英脉, 灰黑色是千枚岩。两照片分别属于两条断层, 断距约 0.5~1 m, 左行扭动, 断层面波状变化。左图断层局部产状 330° 58°, 右图断层局部产状 300° 45°。

图 4 抱伦金矿井下所见的两条小型北东向断层

Fig.4 Two Northeast trending small-scale faults in the underground tunnel of the Baolun gold deposit

(2) F_2 是左行扭动的成矿后断层。1 号矿化带北段存在大量小型北东向断层, 它们是 F_2 断层附近的次级伴生小断层, 其特征可以反映 F_2 断层的性质(图 4, 表 1): 擦痕缓倾斜, 表明 F_2 是走向滑动断层; 普遍切断含金石英脉, 表明 F_2 是成矿后断层; 普遍见到含金石英脉左行错开, 表明 F_2 是左行断层。陀烈组中段岩石原来位于本矿区的西南部分(图 2), 现在位于 1 号矿化带北段向南南东直接延伸的位置, 只有沿 F_2 断层发生左行扭动, 才能将陀烈组中段岩石移动到这个位置。因此, 岩石的这种分布也表示 F_2 断层发生了左行扭动。

(3) F_2 是大断距断层。如果 F_2 断层的断距小, 130 主巷的北段和南段的巷道围岩都应该是陀烈组下段 (S_{1t}^1)。实际上 130 主巷南段的巷道围岩是陀烈组中

段(图 3)。只有 F_2 发生左行错移, 才能将陀烈组中段岩石移动到这个位置。从图 2 和图 5 可以看出: 若要将陀烈组中段岩石错移到目前的位置, F_2 必定是大断距断层(本文的“大断距”是指大约几百米至上千米的断距, 相对于过去认为 F_2 断层的断距不大的概念而言)。

综上所述, F_2 断层是大断距左行扭动的成矿后断层。

2.3 南区疑 4 号带(4sA)与其北侧的 4 号矿化带北段(4n)是否为同一条矿化带

南矿区正在开采的矿化带, 一般称为“4 号矿化带”。此矿化带与 F_2 断层北西盘的 4 号矿化带北段的位置接近, 被认为是 4 号矿化带北段的南延(即认为它是 4 号矿化带南段), 所以称其为“4 号矿

化带”。

有的研究者根据南矿区这条被开采的矿化带与北侧的 4 号矿化带北段接近,同时被称为“4 号矿化带”(二者被视为同一条矿化带),而推断 F₂ 断层断距不大。但如果它们不是同一条矿化带,依据它们推断 F₂ 断距不大就不能成立。因此,有必要研究它们是不是同一条矿化带。

为方便讨论,本文将南矿区这条正在开采的“4 号矿化带”暂称为“南区疑 4 号带”,代号是“4sA”;将 F₂ 断层北西盘与它对应的矿化带暂称为“北区疑 4 号带”,代号为“4nB”。

(1) 4sA 和 4n 的围岩岩石不对应。当后期断层错移地质体,需要恢复错移前两盘地质体的连接情况时,应该注意两盘“一系列地质体的对应”,而不是只对应一个地质体。前文已述,从南区疑 4 号带向东北方向,超过 600 m 距离的岩石全是陀烈组中段;而该地段 F₂ 断层北西盘的岩石,却是陀烈组下段。这样宽的两套不同岩系隔着 F₂ 断层“相顶”,表明如果将南区疑 4 号带与 4 号矿化带北段视为同一条矿化带,它们的围岩不能对应。

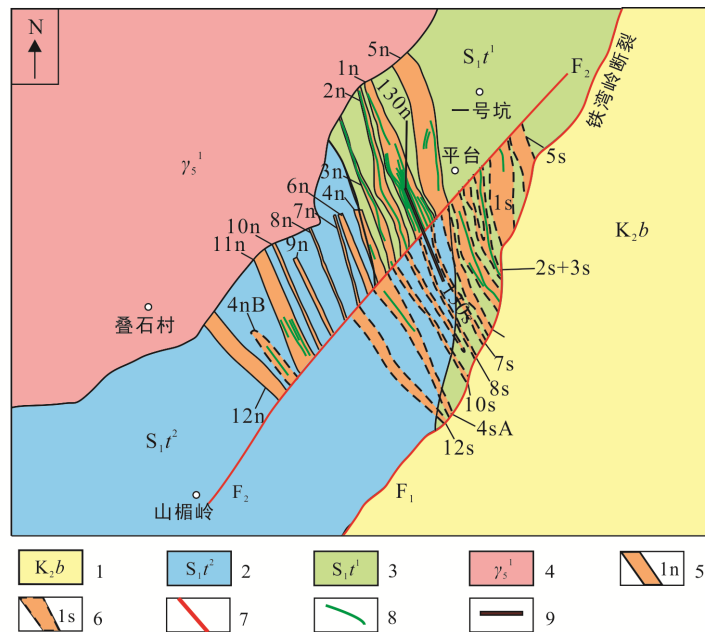
(2) 4sA 和 4n 位于不同的地质位置。南区疑 4

号带向东北方向超过 600 m 都是陀烈组中段,可以认为此矿化带的位置位于陀烈组中段分布范围的内部,远离陀烈组下段和中段的交界线。而按照图 2 所示,4 号矿化带的北段和南段位于陀烈组下段和中段的交界线上和交界线东侧,大部分位于下段的范围。可见南区疑 4 号带所处的地质位置与图 2 所示的 4 号矿化带北段和南段的地质位置不同。

综上所述,南区疑 4 号带与 4 号矿化带北段不是同一条矿化带,它不是 4 号矿化带南段。它与 4 号矿化带北段的位置接近是 F₂ 断层大断距左行错移使它错移过来恰好与 4 号矿化带北段接近而造成的。未错移前它的位置应该在目前位置的南西方向。究竟南区疑 4 号带(以及北区疑 4 号带)属于哪一条矿化带,有待今后进一步研究确定。

2.4 本矿区的构造格架

既然 F₂ 断层是成矿后断层,当它错移时,不可能仅仅移动岩层,一定也将各条矿化带一同错移,各条矿化带的南段相对于它们的北段都有大断距的左行移动。由此得出本区的构造格架(图 5):被成矿后东北向断层切断并大断距左行错移的多条北北西向矿化带。



1. 白垩系万组; 2. 志留系陀烈组中段; 3. 志留系陀烈组下段; 4. 印支期尖峰岭花岗岩类复式岩体; 5. 矿化带及编号; 6. 矿化带的推断位置及编号; 7. 断层; 8. 金矿体; 9. 靠近 F₂ 断层的 130 主巷巷道位置。本图表示 F₂ 断层错开各条矿化带之后的面貌,认为这才是矿区真实面貌。图中各条矿化带的北段和南段的代号以及 130 主巷的北段和南段的代号见正文的规定。本图是示意图, F₂ 断层的断距、各条矿化带南段的位置和走向、北区疑 4 号带的位置以及金矿体等都是示意性的。

图 5 抱伦金矿区构造格架示意图
Fig.5 Sketch map showing the structural framework of the Baolun gold deposit

3 抱伦金矿的进一步找矿方向

在新的构造格架基础上(图 5), 可以认为: 与 F_2 断层北西盘的(北段)矿化带相对应的南段矿化带, 应该位于 F_2 南东盘的北东方向; 与南东盘的(南段)矿化带相对应的北段矿化带, 应该位于 F_2 北西盘的南西方向。具体说来, 有 4 个推断: (1) 在 F_2 断层南东盘的北东方向某个位置应该有 1 号矿化带南段(1s); (2) 在 F_2 断层北西盘的南西方向某个位置应该有北区疑 4 号带(4nB); (3) 如果从 130 主巷南段位置(或其他中段与此主巷相当的位置)向北东方向打巷道, 会遇到某些矿化带的南段, 如 5s, 2s, 3s, 4s……等; (4) 在 F_2 断层北西盘, 从 1 号矿化带北段向南西方向一定距离有陀烈组下段和中段的界线; 在其南东盘, 从南区疑 4 号带向北东方向一定距离也有陀烈组下段和中段的界线。陀烈组下段和中段的界线在此断层的两盘分别位于不同位置(位置不同是断层的断错运动造成的)。两盘陀烈组下段和中段界线的距离等于 F_2 断层的断距(视断距)。

推断(1)和(2)的出发点是: 目前进行工业开采的是 1 号矿化带北段和南区疑 4 号带, 找到它们的对应矿化带最有可能找到新的工业矿体, 应该特别关注; 推断(3)的出发点是: 一些矿化带的北段金矿化不是太好, 但矿化可能不均匀, 有可能北段金矿化不好而南段金矿化较好, 为了不漏掉资源, 应该注意这些矿化带的南段; 推断(4)的出发点是: 陀烈组下段和中段的界线是很重要的地质界线, 对认识矿区构造和查明断距有重要意义。查明了 F_2 断层的断距可以根据已知矿化带的位置和断距推测该断层另一盘未知矿化带的位置(见下), 在进一步找矿工作中可能有用。

有关进一步找矿, 还有以下两个问题需要说明。

由于 1 号矿化带北段金矿化好, 而其越过 F_2 断层向南南东直接延伸的位置(即 130 主巷南段附近)无金矿化, 因而有一种说法认为本区金矿化存在“北强南弱”。本文认为这种说法是否正确需通过研究工作验证: 按照新的构造格架概念, 1 号矿化带南段(1s)被错移到北东方向(图 5), 130 主巷南段位置不是 1 号矿化带南段的位置, 这个地方无矿, 不能证明 1 号矿化带南段无矿, 也不能证明存在“北强南弱”。只有找到真正的 1 号矿化带南段, 对其施行了探矿工程, 才能查清楚是不是真的存在“北强南弱”。

本区植被覆盖严重, 寻找上述推断矿化带时, 除了人们熟知的各种找矿手段之外, 还有一种思路可供参考, 即: 灵活使用各种手段(例如浅钻, 物探

或探矿工程等), 根据推断(4), 查明 F_2 断层两盘陀烈组下段和中段界线的位置, 根据两盘此界线的距离得出断距。再利用已知矿化带的位置和断距, 推测 F_2 断层另一盘未知矿化带的位置, 在此位置找矿。例如, 1 号矿化带北段的位置是已知的, 知道了 F_2 断层的断距, 就可以在 F_2 断层南东盘向北东方向按照断距得出 1 号矿化带南段的位置。即使此位置未必十分精确, 也可以缩小找矿范围, 便于集中找矿力量予以突破。同样, 也可以用此途径寻找北区疑 4 号带等。

种种找矿途径和手段是相辅相成关系, 应根据实际情况灵活选择。

4 结 论

F_2 断层是大断距左行扭动的成矿后断层, 南区疑 4 号带与其北侧的 4 号矿化带北段不是同一条矿化带, 各条矿化带的南段相对于它们的北段有大断距的左行错移。本矿区的构造格架是: 被成矿后北东向断层切断并大断距左行错移的多条北北西向矿化带。

对抱伦金矿的进一步找矿方向提出四个推断: (1)在 F_2 断层南东盘的北东方向某个位置应该有 1 号矿化带南段(1s); (2)在 F_2 断层北西盘的南西方向某个位置应该有北区疑 4 号带(4nB); (3)如果从 130 主巷南段位置(或其他中段与此主巷相当的位置)向北东方向打巷道, 会遇到某些矿化带的南段, 如 5s, 2s, 3s, 4s……等; (4)从 1 号矿化带北段向南西方向一定距离, 应该存在陀烈组下段和中段的界线; 从南区疑 4 号带向北东方向一定距离, 也应该存在陀烈组下段和中段的界线。陀烈组下段和中段的界线被 F_2 断层错开, 分别位于不同位置, 两盘此界线的距离等于 F_2 断层的断距(视断距)。

致谢: 研究工作得到海南山金矿业有限公司、海南省地质调查院各位领导及工作人员尤其是傅杨荣、张福生、何玉生、刘永堂、张小文、高鹏、王武、林弟等的大力协助, 中国科学院广州地球化学研究所于学元、刘志荣、侯茂洲、周岳强、赵严、邹少浩、严爽等给予很多指导和帮助, 中国地质大学(武汉)姚书振教授和中国地质科学院陈柏林研究员审阅本文, 提出了许多宝贵意见, 特此表示衷心感谢。

参考文献(References):

- 陈柏林, 丁式江, 李中坚, 董法先, 廖香俊, 舒斌, 符锋, 傅杨荣, 董诚. 2001. 海南抱伦金矿床成矿时代研究. 地球化学, 30(6): 525-531.

- 陈柏林, 李中坚, 董诚, 丁式江, 舒斌, 廖香俊, 董法先, 傅杨荣. 2004. 海南抱伦金矿床控矿构造特征及其对金矿化的控制作用. *中国地质*, 31(2): 139-146.
- 陈颖民, 傅杨荣, 周迎春, 周慧文, 薛开文. 2011. 海南乐东抱伦金矿床控矿构造特征及主成矿期年代学研究. *黄金*, 32(3): 16-23.
- 丁式江, 傅杨荣, 杨立强, 邓军, 廖香俊, 吴国爱, 符峰. 2007. 海南乐东抱伦金矿地质及成矿预测. 北京: 地质出版社: 1-265.
- 丁式江, 黄香定, 李中坚, 傅杨荣, 董法先, 舒斌, 张小文. 2001. 海南抱伦金矿地质特征及其成矿作用. *中国地质*, 28(5): 28-34.
- 符国祥, 符策锐. 1999. 海南岛抱伦金矿区发现微古植物化石. *中国区域地质*, 18(1): 110-111.
- 傅杨荣, 张小文, 何玉生, 林弟, 王成, 杨朝云, 高鹏, 岑锐, 文玲, 张前, 文晓敏, 邢忠, 黄蓉, 刘章存, 胡云翔, 赵典苏. 2016. 海南省乐东县抱伦金矿接替资源勘察报告. 海口: 海南山金矿业有限公司, 海南省地质调查院: 1-230.
- 胡国成, 吴传军, 许德如, 蔡建新, 王智琳, 单强, 张小文, 侯茂洲, 于亮亮. 2016. 海南抱伦矿区构造变形、成矿时代与金矿化关系研究. *大地构造与成矿学*, 40(2): 367-376.
- 李明艳, 刘玉琳, 李相波. 2006. 海南抱伦造山型金矿的确认. *矿床地质*, 25(S1): 23-26.
- 刘玉琳, 丁式江, 张小文, 傅杨荣. 2002. 海南乐东抱伦金矿床成矿时代研究. *地质论评*, 48(S1): 84-87.
- 舒斌, 王平安, 董法先, 李中坚. 2006a. 海南乐东地区抱伦金矿矿石特征及其成因矿物学意义. *地质通报*, 25(6): 745-755.
- 舒斌, 王平安, 董法先, 李中坚. 2006b. 海南西南部抱伦金矿流体包裹体及稳定同位素特征. *地质通报*, 25(7): 880-893.
- 舒斌, 王平安, 李中坚, 陈柏林, 董法先. 2004. 海南抱伦金矿的成矿时代研究及其意义. *现代地质*, 18(3): 316-320.
- 王朝文, 洪汉烈, 钟增球, 张小文, 王婧, 李方林, 徐亚军. 2011. 海南抱伦金矿含金石英脉流体包裹体特征及其意义. *地球科学*, 36(6): 1009-1020.
- 王婧, 周汉文, 钟增球, 张小文, 向华. 2013. 海南抱伦金矿床流体演化与成矿作用. *中国矿业*, 22(1): 76-82.
- 吴传军, 许德如, 傅杨荣, 杨昌松, 周迎春, 王智琳, 付王伟. 2011. 海南岛重要类型金矿床成矿规律与成矿机制研究. *矿物学报*, 28(S1): 873-874.
- 谢才富, 朱金初, 丁式江, 张业明, 陈沐龙, 傅杨荣, 付太安, 李志宏. 2006. 海南尖峰岭花岗岩体的形成时代、成因及其与抱伦金矿的关系. *岩石学报*, 22(10): 2493-2508.
- 徐亚军, 王立国. 2010. 海南乐东抱伦金矿扩大矿产规模可能性的地质研究. 武汉: 中国地质大学(武汉)地球科学学院, 海口: 海南山金矿业有限公司, 海南省地质综合勘察院内部研究报告: 1-109.
- 许德如, 傅杨荣, 杨昌松, 王智琳, 张小文, 吴传军, 付王伟. 2011. 海南抱伦金矿床主要研究进展与关键科学问题讨论. *矿物学报*, 28(S1): 984-985.
- 许德如, 单强, 张湖, 吴传军, 何玉生, 刘志荣, 林弟, 刘永堂, 于学元, 高鹏, 张小文, 侯茂洲. 2016. “海南省乐东县抱伦金矿接替资源勘查项目”综合研究专题报告. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所, 海口: 海南省地质调查院, 海南山金矿业有限公司内部研究报告: 1-359.
- 杨念, 洪汉烈, 张小文, 向华, 钟增球. 2009. 海南乐东抱伦金矿金矿物的特征研究. *矿物岩石*, 29(2): 31-37.
- 张小文. 2014. 海南抱伦金矿床成因与深部矿体预测研究. 武汉: 中国地质大学博士学位论文: 1-91.
- 张小文, 向华, 钟增球, 周汉文, 张利, 杨念, 王婧. 2009. 海南尖峰岭岩体热液锆石U-Pb定年及微量元素研究: 对热液作用及抱伦金矿成矿时代的限定. *地球科学*, 34(6): 921-930.
- 钟增球, 张小文, 傅杨荣, 李方林, 刘永堂, 陈沐龙, 洪汉烈, 王武, 林弟, 王朝文, 高鹏, 邢增浪, 徐亚军, 王立国. 2010. 海南乐东抱伦金矿扩大矿产规模可能性的地质研究. 中国地质大学(武汉)地球科学学院, 海南山金矿业有限公司, 海南省地质综合勘察院, 内部研究报告: 1-109.
- Xu D R, Wang Z L, Wu C J, Zhou Y Q, Shan Q, Hou M Z, Fu Y R and Zhang X W. 2017. Mesozoic gold mineralization in Hainan province of South China: Genetic types, geological characteristics and geodynamic settings. *Journal of Asian Earth Sciences*, 137: 80-108.

Post-mineralization Fault Activities and Implications in Ore Prospecting of the Baolun Gold Deposit, Hainan Island

ZHANG Hu¹, XU Deru^{2*}, SHAN Qiang¹, WU Chuanjun^{1,3}, ZHAO Zhaoxia^{1,4} and ZHU Yuhua^{1,4}

(1. CAS Key Laboratory of Mineral and Metallogeny, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China; 2. State Key Laboratory of Nuclear Resources and Environment, East China University of Technology, Nanchang 330013, Jiangxi, China; 3. CAS Key Laboratory of Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, Guangdong, China; 4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The Baolun gold deposit is a large-size quartz vein type Au deposit hosted in a suite of low-grade metamorphosed clastic rocks of the lower Silurian Tuolie Formation. The deposit comprises a series of NNW-trending ore veins. The NE-trending fault F_2 traverses the deposit, and divides every major auriferous veins into northern and southern segments. The NW and SE sides of the F_2 fault are mostly the lower and middle parts of the Tuolie Formation respectively. In the mining tunnel, numerous sinistral small-scale NE-trending faults crosscut the auriferous quartz veins. Therefore, it is clear that the F_2 fault is a post-mineralization large-scale strike-slip fault which cut all of auriferous veins with a left-lateral movement. As a result, the No.4 mineralized zones in the northern parts and southern parts of the mining area could not be a continuous ore zone as was previously believed. The structural framework of the mining area is characterized by a number of NNW-trending mineralized zones that cut and significantly displaced by a NE-trending post-mineralization fault. Under such tectonic regime, four target areas are proposed for further exploration: (1) the southern part of the No.1 mineralized zone, (2) the northern part of the suspicious No.4 mineralized zone, (3) the southern segments of the other mineralized zones, and (4) the boundaries between the lower and the middle members of the Tuolie Formation in the either sides of F_2 fault.

Keywords: prospecting; structure; gold deposit; Baolun; Hainan