

湖南浏阳横江冲金矿床“三位一体”成矿模式及找矿靶区预测

刘湘成^{1*}, 卜传新², 陈鑫¹, 魏元泵¹, 龚飞¹, 肖想¹, 祝举鹏³

¹湖南省核工业地质局三〇三大队, 湖南 长沙

²湖南省有色地质勘查局二四七队, 湖南 长沙

³湖南紫东矿业矿业有限公司, 湖南 长沙

Email: *422132676@qq.com

收稿日期: 2021年5月25日; 录用日期: 2021年6月22日; 发布日期: 2021年6月29日

摘要

湖南浏阳横江冲金矿床位于湖南省“金腰带”湘东北金多金属矿集区。为解决制约找矿的关键问题, 本文运用“三位一体”成矿预测理论, 对该矿床成矿地质体、成矿地质构造成矿结构面、成矿作用及特征标志等方面进行了分析, 首次建立了成矿模式并预测了找矿靶区, 为下一步找矿工作提供了技术支撑。

关键词

横江冲金矿, 三位一体, 成矿模式, 找矿靶区预测, 湖南浏阳

The “Trinity” Metallogenic Models and Prospecting Mine Target of the Hengjiangchong Gold Deposit in Liuyang of Hunan

Xiangcheng Liu^{1*}, Chuanxin Bu², Xin Chen¹, Yuanbeng Wei¹, Fei Gong¹, Xiang Xiao¹, Jupeng Zhu³

¹The 303rd Team, Hunan Nuclear Geology, Changsha Hunan

²Hunan Non-Ferrous Metals Geology Investigation Bureau Rows 247, Changsha Hunan

³Hunan Zidong Mining Co., Ltd., Changsha Hunan

Email: *422132676@qq.com

Received: May 25th, 2021; accepted: Jun. 22nd, 2021; published: Jun. 29th, 2021

*通讯作者。

文章引用: 刘湘成, 卜传新, 陈鑫, 魏元泵, 龚飞, 肖想, 祝举鹏. 湖南浏阳横江冲金矿床“三位一体”成矿模式及找矿靶区预测[J]. 地球科学前沿, 2021, 11(6): 854-868. DOI: 10.12677/ag.2021.116080

Abstract

The Hengjiangchong gold deposit in Liuyang of Hunan Province is located in the “gold belt” of gold Deposit-concentrated Area in Northeastern Hunan. In order to solve the key problems that restrict the prospecting, this paper uses the “Trinity” of minerogenetic prediction theories to analyze the metallogenic geological body, metallogenic geological structure, metallogenic structural plane, metallogenesis and characteristics of the deposit, first establishes the metallogenic model and predicts the prospecting target area, which provides technical support for the next prospecting work.

Keywords

The Gold Mine of Hengjiangchong, The Trinity, Metallogenic Models, Prospecting Mine Target, Liuyang Hunan Province

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

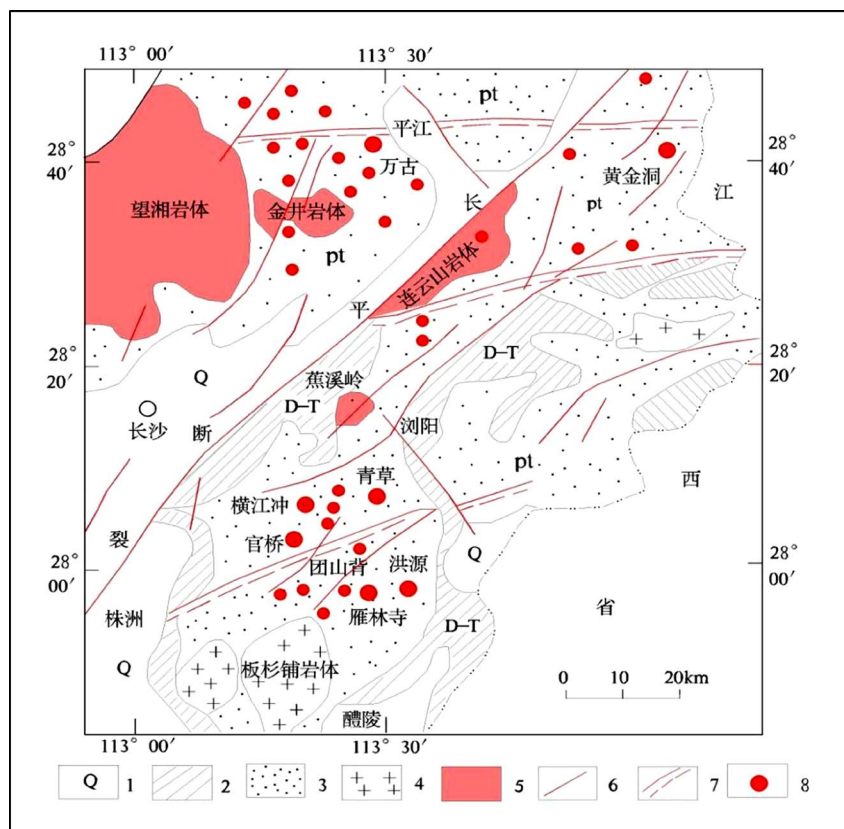
自 20 世纪 80 年代以来,国内外创建并研究总结了矿产预测的理论方法,如:赵鹏大院士提出的“地质异常”三段式矿产预测理论方法[1] [2],王世称教授提出的“综合信息预测方法技术”[3],朱裕生、肖克炎研究员提出的“GIS 矿产预测方法技术[4]”,美国辛格尔提出的“三步式矿产资源评价方法[5]”。此外,陈毓川院士在“成矿系列”理论上提出了“缺位预测”方法[6] [7],谢学锦院士在“地球化学块体”理论上提出了资源量估算方法。叶天竺、夏庆霖等[8] [9]在总结前人各种方法技术基础上,通过“863”项目于 2004 年总结提出了“固体矿产矿床模型综合地质信息预测技术”,运用在全国矿产资源潜力评价工作,取得了很好的应用效果并得到推广[10]。2014 年,叶天竺等人总结提出了“成矿地质体、成矿构造和成矿结构面、成矿作用特征标志三位一体”勘查区的成矿地质体找矿预测理论与方法[11]。该方法在湖南省“金腰带”找金矿过程中得到了很好的应用,取得了很好的找矿效果。湖南浏阳横江冲金矿床位于湖南“金腰带”湘东北“浏阳-醴陵金多金属”金成矿矿集区,有着良好的成矿地质背景,但在找矿过程中遇到了瓶颈,作者在找矿详查过程中对该矿床的资料进行了梳理,提出了以“岩浆热液成因”首次建立“三位一体”的成矿模式并预测了找矿靶区,供找矿者参考。

2. 区域地质背景

湖南浏阳横江冲金矿床大地构造位置处于扬子地块与华夏地块的结合部位,位于湖南“金腰带”湘东北金多金属矿集区,枞冲-横江冲-大官冲-雁林寺金矿集中区内(见图 1)。

区域上出露地层主要有中元古界冷家溪群、晚古生界、中生界及第四系;冷家溪群为一套灰色、灰绿色绢云母板岩、条带状板岩、粉砂质板岩及岩屑杂砂岩组成的复理石韵律特征的浅变质岩系,为区内金矿主要赋矿地层。

区域上岩浆岩发育,活动期次多,加里东期有板杉铺岩体,燕山期中酸性-酸性岩浆岩有连云山岩体、金井岩体、望湘岩体。基性-超基性岩体主要表现为浅成侵入岩脉,以辉绿岩脉为主。燕山期中酸性-酸性岩体与区内金成矿关系密切[12]。



1-第四系; 2-泥盆系 - 三叠系; 3-元古界; 4-加里东期花岗岩; 5-燕山期花岗岩; 6-断层; 7-韧性剪切带; 8-金矿点

Figure 1. Geological map and gold distribution map of northeast Hunan

图 1. 湘东北地区地质简图及金矿分布图

3. 矿区地质特征

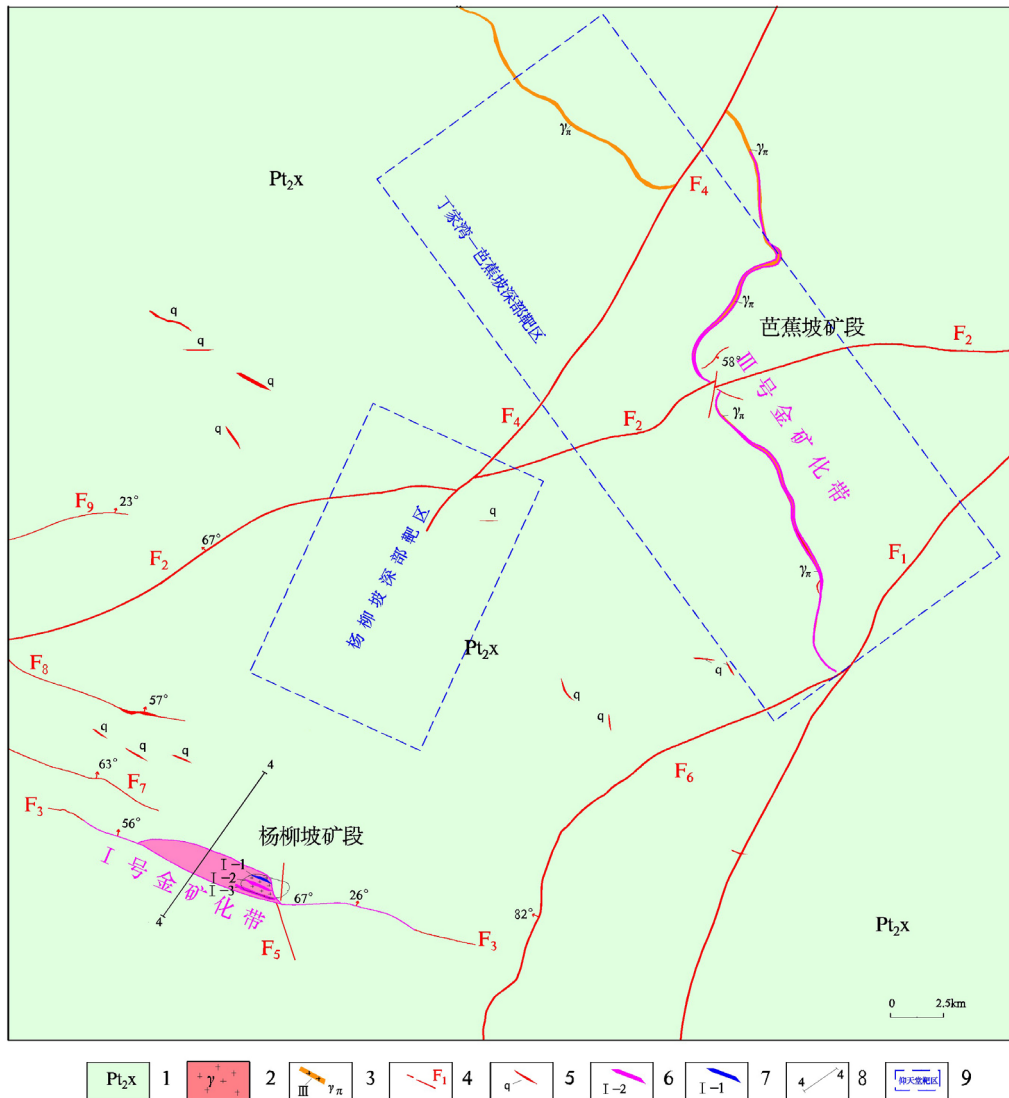
3.1. 矿区地质概况

矿区内出露地层为中元古界冷家溪群黄浒洞组(Pt_2h)、小木坪组(Pt_2x)及第四系。矿区内地层总体走向NW向, 倾向NE向, 倾角 $25^{\circ}\sim 53^{\circ}$, 岩性为绢云母板岩、砂质板岩、板岩等一套浅变质岩系。冷家溪群Au丰度值 $(2.1\sim 262) \times 10^{-9}$, 平均 77×10^{-9} , 为地壳沉积岩中Au元素丰度值15.1倍[13]。冷家溪群小木坪组(Pt_2x)为矿区主要矿源和赋矿层位。

区内断裂按展布方向规模大小, 主要划分为近EW向(F_2)、NE向(F_1 、 F_4)、NW向(F_3)三组, 以NE向为主, 具多期次活动特征。NE向断裂构造在武陵运动期就已经形成, 活动范围大, 时间长, 为区内岩浆岩的侵入和含矿热液的运移提供了有利通道, 近EW向断裂为韧性剪切带, 带中多见牵引褶曲、揉褶、板劈理等次级小构造, 随着剪切作用的进一步发展, 叠加了NW向次级断裂, 为区内含Au热液的沉淀提供了有利的空间(见图2)。

区内地表出露的岩浆岩中见中酸性-酸性岩脉, 亦见辉绿岩脉等基性岩脉浅成侵入, 其中细粒花岗岩脉、花岗斑岩脉与区内金成矿关系密切。

细粒花岗岩: 灰白色、灰色夹浅红色, 花岗结构, 具交代残留细粒(局部中粒)结构, 块状构造, 主要由斜长石、石英、绢云母、钾长石、黑云母等组成, 发育绿泥石化、黄铁矿化、碳酸盐化、方铅矿化等(见图3)。



1-中元古界冷家溪群小木坪组; 2-细粒花岗岩脉及矿化带编号; 3-花岗斑岩脉及矿化带编号; 4-实 - 推测断层及编号; 5-石英脉; 6-工业矿体及编号; 7-低品位矿体及编号; 8-勘探线及编号; 9-预测靶区

Figure 2. Geological map of Hengjiangchong gold mining area

图 2. 横江冲金矿区地质略图

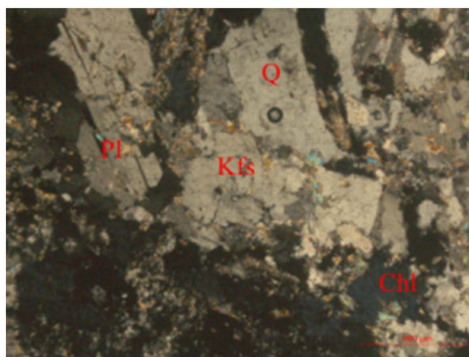


Figure 3. Chloritization sericite granite

图 3. 绿泥石化绢云母化花岗岩

花岗斑岩：浅灰色、灰白色，斑状结构，块状构造，主要由斑晶、长英质基质及铁质组成，斑晶成分为斜长石、石英、钾长石等，发育高岭土化、绢云母化、黄铁矿化等(见图 4)。

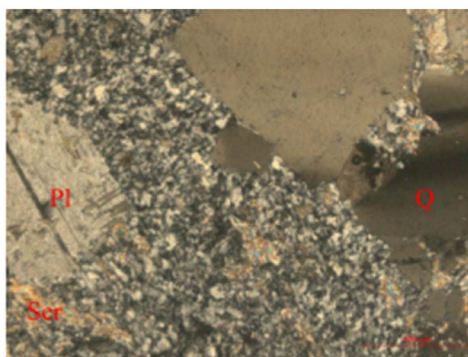


Figure 4. Granite porphyry
图 4. 花岗斑岩

矿区近矿围岩蚀变较强烈，主要有硅化、云英岩化、绿泥石化、黄铁矿化、方铅矿化、毒砂化、碳酸盐化、磁黄铁矿、黄铜矿化等。毒砂化、细脉状黄铁矿化、磁黄铁矿、黄铜矿及方铅矿等蚀变叠加部位往往金矿化较富集。

3.2. 矿体地质特征

区内发现具有经济价值的金矿化带 2 条(见图 2):I 号矿化带、III 号矿化带赋存于小木坪组地层中(Pt_{2x})。

I 号矿化带：分布在林家湾 - 杨柳坡 - 厂口湾一线，地表断续长约 750 m，在空间上大致与 F_3 叠合，矿化带宽度不一，矿化蚀变发育程度和范围、金矿化强度或岩浆岩脉规模等均受 F_3 直接影响和制约，东西两段矿化弱、宽度小，一般在 2.00~11.60 m，主要由断层破碎带及蚀变板岩构成，部份穿插有石英脉，金矿化和围岩蚀变均弱；强矿化地段一般是构造复合部位，宽度显著膨大，宽度在 11.00~29.40 m，走向长度约 160 m，倾斜延深 1237 m，矿体特征(见表 1)。围岩蚀变范围大，有多种不同期次、性质的岩浆岩脉混杂产出，其中以细粒花岗岩脉(见图 3)为主，次为花岗斑岩岩脉(见图 4)、花岗闪长岩脉及辉绿岩脉、云煌岩脉等。金矿体受构造和岩脉的双重控制，蚀变种类主要有硅化、云英岩化、绢云母化、绢英岩化、黄铁矿化、磁黄铁矿化、毒砂化、绿泥石化、黄铜矿化、退色化及碳酸盐化等。

Table 1. The basic geological characteristics of the main orebodies of granitic dikes

表 1. 花岗岩脉主要矿体基本地质特征表

| 矿体号 | 分布范围 (线号) | 控制矿体规模(m) | | | 矿体倾角 (最小~最大) | 矿体厚度(m) | | 厚度变化 系数% | 品位变化 系数% |
|-----|--------------|-----------|--------------|----------|-----------------|---------------------|----------------------|-------------|-------------|
| | | 走向长 | 分布标高 | 倾向延伸 | | 最小 - 最大 平均 | 最小 - 最大 平均 | | |
| I-1 | 0~8 | 160 | -307.2~206.5 | 90~834 | 21°~47° | 0.78 - 3.04 1.62 | 0.71 - 9.83 2.48 | 44.95 | 90.31 |
| I-2 | 0~8 | 160 | -442.8~227.5 | 210~1054 | 21°~45° | 0.75 - 6.45 2.32 | 0.70 - 21.98 3.91 | 58.09 | 128.40 |
| I-3 | 0~8 | 160 | -452.8~205.5 | 210~1237 | 16°~45° | 0.87 - 7.91 2.01 | 1.02 - 56.17 4.65 | 66.13 | 126.12 |

随距金矿体远近的不同，蚀变类型、组合和蚀变强度亦有不同，其中硅化、绢云母化、黄铁矿化、绿泥石化、退色化及碳酸盐化发育较普遍，由远及近强度随之趋大，近矿围岩蚀变则出现云英岩化、绢

英岩化、毒砂化、黄铜矿化、磁黄铁矿化，且强度大。通过对杨柳坡 I 号矿化带作矿体厚度、品位等值线图，根据品位变化规律，发现 I 号矿化带沿倾向上存在数个近似等距离的品位较富的部位。在走向上 80 m，倾向垂向上 200 m 品位较富部位。此现象在深部钻孔中得到验证。

III 号矿化带：分布在芭蕉坡矿段，走向断续延伸约 1050 m，倾向 NE，倾角 $24^{\circ}\sim 38^{\circ}$ ，带宽 4.0~15.0 m，主要由断层破碎带、花岗斑岩脉、石英脉及蚀变板岩组成；受构造和花岗斑岩脉控制。发育硅化、黄铁矿化、毒砂化、高岭土化、碳酸盐化、绿泥石化等。III 号矿化带圈出 3 个主要金矿体(见表 2)。

Table 2. List of ore-body characteristics in III mineralization belt of granite porphyry dike

表 2. 花岗斑岩脉 III 号矿化带各矿体特征一览表

| 矿体号 | 分布范围 (线号) | 控制矿体规模(m) | | | 矿体倾角 (最小~最大) | 矿体厚度(m) | | 金品位(g/t) | 控矿工程 个数 | 厚度变化 系数% | 品位变 化系数% |
|-----|--------------|-----------|-----------|------|-----------------------------|-------------|--------------|----------|------------|-------------|-------------|
| | | 走向长 | 分布标高 | 倾向延伸 | | 最小 - 最大 | 平均 | | | | |
| I-1 | 34~50 | 320 | 216~420.1 | 130 | $25^{\circ}\sim 39^{\circ}$ | 0.80 - 3.21 | 0.70 - 20.43 | | 9 | 57.30 | 163.43 |
| | | | | | | 1.28 | 3.32 | | | | |
| I-6 | 41 线 | 单点 | 167.6 | | 44.5° | 0.69 | 12.44 | | 1 | / | / |
| I-7 | 41 线 | 单点 | 158.7 | | 44.5° | 0.25 | 25.69 | | 1 | / | / |

主要矿体空间分布特征(见图 5)。

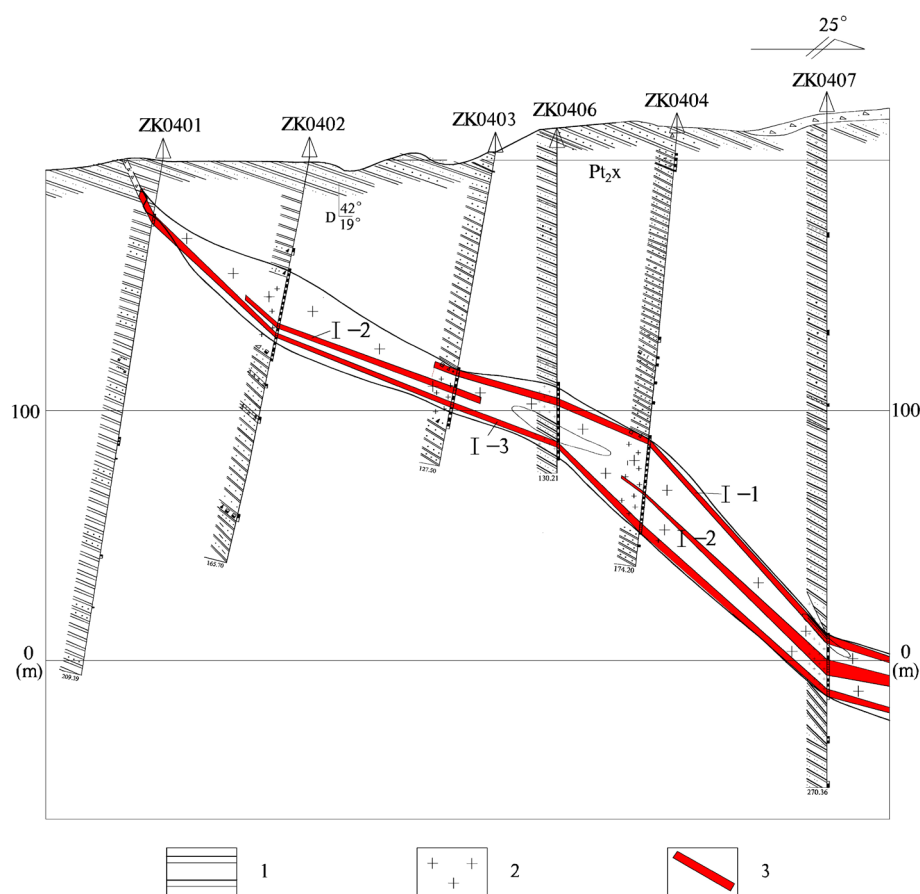


Figure 5. Profile diagram of 4-line exploration line in the I mineralization zone of Yangliupo

图 5. 杨柳坡 I 号矿化带段 4 线勘探线剖面示意图

3.3. 矿石结构、构造特征

矿石矿物主要是自然金(见图 6、图 7)、黄铁矿、毒砂, 少量钛铁矿、金红石、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、磁黄铁矿等。脉石矿物以石英、绢云母、白云母为主, 次为铁白云石、绿泥石、钠长石等。矿石结构有自一半自形晶粒状结构、变晶结构、碎裂结构等, 块状构造、浸染状构造、脉状以及网脉状构造。

3.4. 矿石类型

矿石工业类型大体可划分为两类: 碎裂蚀变岩型、含金石英脉型。以后者为主, 主要矿石类型为绢英岩型贫硫化物金矿石(见图 6-9)。

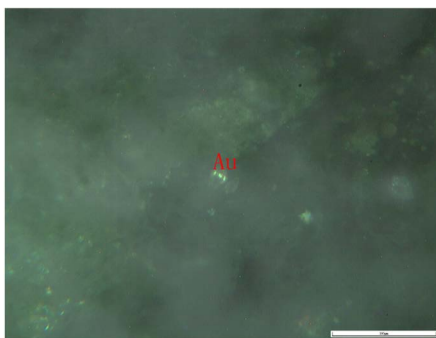


Figure 6. Au particles in cataclastic mylonite under microscope
图 6. 镜下碎裂糜棱岩中见微粒 Au

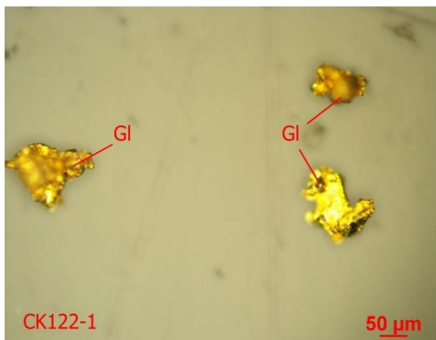


Figure 7. Irregular coarse grained natural AU under microscope
图 7. 显微镜下的不规则粗粒自然 Au



Figure 8. Fine-grained AU in the ZK0608 core
图 8. ZK0608 岩心切开后见细粒明金



Figure 9. Coarse-grained AU in Quartz vein of the ZK0410 core
图 9. ZK0410 岩心上石英脉中见粗粒明金

4. 成矿模式与找矿预测模型

4.1. 成矿地质体

根据野外地质调查和矿床勘查有关资料, 确定成矿地质体为各期次侵入的花岗岩体。

1) 加里东期花岗岩主要为板杉铺岩体, 岩性以黑云母花岗闪长岩为主, 主要造岩矿物由钾长石、斜长石、黑云母、石英、角闪石等组成。具高 SiO_2 、 Al_2O_3 、 K_2O 、 Sr 和低 Y 、 Yb 含量, 高 Mg 和 Sr/Y 、 La/Yb 比值。REE 表现为轻稀土显著富集的右倾型, 富集大离子亲石元素(Cs 、 Rb 、 Ba 、 Th 、 U 等), 亏损高场强元素(Nb 、 Ta 、 Ti 等), Eu 极弱负异常($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.75\sim 0.91$)。可能是板块俯冲引起的玄武岩浆底侵, 使下地壳发生部分熔融, 并与其进行物质交换所形成的[12]。加里东板杉铺岩体演化过程中为金预富集提供了矿源、热源、水源及动力。

2) 印支期花岗岩(257~165 Ma)在本区出露很少, 岩性主要为中细粒黑云母花岗闪长岩, 主要矿物由斜长石、钾长石、石英和黑云母组成。具高 K 低 Na 和 Mg 特征, 属于高钾钙碱性系列。 Sr 含量高, Y 和 Yb 含量低, 因而有高 Sr/Y 和 La/Yb 比值。富集大离子亲石元素(Cs 、 Rb 、 Ba 等), 亏损高场强元素(Nb 、 Ta 等), Eu 弱负异常, REE 发生了明显分馏。本文认为其可能是加厚的陆壳(>50 km)底部下地壳基性岩部分熔融的产物, 热可能主要来自地幔(热)流的上升[12]。印支期隐伏岩体在岩体演化过程中为早期金成矿提供了矿源、热源、水源及动力, 为花岗斑岩脉高位侵入提供了物质基础和动力源。

从区域构造环境分析, 印支期以陆内俯冲为主, 使湘 D-T 地层在一系列 A 型俯冲面之上推覆挤压, 形成“侏罗山式”褶皱, 并伴有一系列由东向西的叠瓦式冲断构成的“薄皮构造”, 由于沿 A 型俯冲带上升地幔物质引起地壳重溶, 形成印支期的壳幔混合型花岗长质岩石, 这与区内印支期花岗岩体多沿较大的陆内逆冲构造带分布和岩石地球化学所反映的构造环境相一致。

3) 湘东北燕山期岩浆活动最为强烈, 燕山早期(160~140 Ma)和燕山晚期(137~128 Ma) 2 个主要侵入期。以燕山早期花岗岩分布最为广泛, 该区成矿地质体主要为望湘岩体、蕉溪岭岩体。岩性以二云母二长花岗岩为主, 主要矿物成分为石英、斜长石、钾长石、黑云母和白云母等。REE 配分模式为富集 LREE 的右倾型, 基本无负 Eu 异常。富集 LILE (Cs 、 Rb 、 Ba 、 Th 、 U 等)、亏损 HFSE (Nb 、 Ta 、 Ti 等)、无明显 Sr 异常, 岩浆演化过程中受到中上地壳的混染作用[12]。望湘岩体、蕉溪岭岩体为横江冲金矿成矿成矿期矿提供了矿源、热源、水源及动力, 为细粒花岗岩脉高位侵入提供了物质基础和动力源。

4.2. 成矿构造和成矿结构面

结合前人的认识和构造系统划分为三级构造, 区域深大断裂、矿田构造、矿床构造。断裂构造是控

矿的主要因素,构造运动产生的成矿裂隙使应力消失,Au定向地从分散状态向断裂构造的有利部位聚集成矿[14]。

1) 长沙-平江断裂带是一条长期活动的复合断裂,该断裂带的东侧主要是上元古界冷家溪群变质岩系和中生代连云山花岗岩体(U~Pb年龄 166 Ma)及蕉溪岭花岗岩体(U~Pb年龄 164 Ma)构成的变质核杂岩;元古代的地层中有拉班玄武岩,英安岩等喷发岩分布并且在断裂带附近的板溪群之微量元素特征与湘中和湘西区同一层位对比明显不同,说明长沙-平江断裂带可能自太古代末期就已有活动[12]。

长沙-平江区域性深大断裂是沟通深部岩浆房与地壳浅部次级断裂的主干通道,EW向的复合断裂,控制着岩浆带的分布,控制着韧性剪切带的形成、发育、发展,控制了NE向、NW向、近SN向断裂的发育,根据断裂交切关系分析,三组断裂的先后顺是NE-NW-SN向,NE向断裂是区内主要控岩-控矿构造,断裂交叉处一般是岩体与矿体就位部位[12]。

2) 韧性剪切带为区域二级构造,卷入该剪切带的地层主要为冷家溪群黄浒洞组,岩性为塑性变形的变质砂岩和板岩。总体上表现为强烈的面理化带以及韧性变形的特征。韧性剪切带中心部位为流劈理带,两侧为劈理化带、构造透镜体带或相间产出。在变质砂岩、板岩中还发育强烈的线理构造,石英具有一定程度的拉长,显示出塑性流动变形特征。石英脉特征表明该剪切带为右行剪切。在矿区表现为导矿和容矿构造,控制着花岗斑岩型金矿体的产出。

3) 矿区内断裂构造按走向分为近EW、NE、NW三组,控制着不同类型的金矿体。

① 近EW向断裂带组

以F₂为代表的EW向断裂带,是在区域性EW向剪切构造带基础上形成的次级韧性剪切断裂带。区内走向长3.1 km,倾向N或NW,倾角40°~65°不等,断裂构造带宽2~25 m,以一组大体平行裂隙发育为特征,带内石英脉发育,褐铁矿化发育。围岩中板劈理、次级牵引小褶曲、揉皱等次级构造发育。该断裂带具多期次继承性活动特征,切割了NW向构造,为导矿构造。

② NE向断裂带组

以F₁、F₄断裂带组为代表,为韧性剪切断裂,延伸长、规模较大,属区域性NE向主干断裂带的一部分。既是导矿构造也是容矿构造。是花岗斑岩脉型金矿体的赋存空间。

F₁: NE段倾向NW,SE段倾向SE,倾角50°~90°,是区内的导矿构造。断裂带宽一般4~23 m,角砾呈次棱角一次圆状,略具定向排列,砾径2~5 mm,片理发育,并见多期石英脉穿插,且褐铁矿化发育。断裂两盘岩石中板劈理、牵引褶皱、揉皱等小构造比较发育。该断裂具多期次继承性活动特征,F₁断裂地表出露不连续,南段有分支断裂F₆。

F₄: 位于矿区北部丁家湾矿段以东、芭蕉坡矿段以北地段,呈北北东走向,长约1900 m,断层产状:107°~135°∠39°~55°,破碎带宽1.0~8.6 m,断裂带内发育有构造角砾岩、碎裂岩等脆性构造岩和劈理化发育的糜棱岩。

③ NW向断裂带组

以F₃为代表的NW向断裂带组既是导矿构造也是容矿构造。分布在矿区西南部杨柳坡矿段,为张性-剪性-压扭性断裂带。地表出露近千米,断裂带宽1 m~几十米不等,倾向NNE,倾角40°~64°不等,靠近地表近直立。断裂带内有角砾岩、糜棱岩。角砾成分主要为蚀变细粒花岗岩、砂质板岩,胶结物主要为硅质、铁质,含金石英脉充填于裂隙之中,黄铁矿化、方铅矿化、毒砂化、褐铁矿化发育。控制了I号金矿化带的展布,是细粒花岗岩脉型金矿体的赋存空间。

④ 层间破碎带:区内其它次级构造较为发育,规模不等,主要为小型断裂带或小型层间破碎带,走向多数与岩层走向相一致,主要由构造角砾岩、板岩碎块、花岗岩及花岗斑岩碎块夹多期次石英脉,以

及铁质、硅质、粘土质等组成。两侧围岩普遍发育绢云母化、硅化等，这种物化性质变化的结构面是石英脉型金矿的容矿空间。

4.3. 成矿作用特征标志

1) 杨柳坡矿段是本矿区矿化较集中的地段。矿体由南西往北东呈一近似长“厚舌”形，沿矿体走向基本上有工程控制，矿体倾向延伸较大，4线上倾向延深达1237 m。矿层从浅部到深部呈波状起伏，总体产状变化不大。根据物探成果资料和区域地质成矿条件及矿区地质特征分析推测，与成矿关系密切的花岗岩脉属矿区北部隐伏岩体向南往浅部侵入，当深部花岗岩脉产状变陡或接近隐伏岩体浅部尖灭地段，金矿化有增强趋势。往北深部继续钻孔控制显示有进一步扩大矿床规模的可能。根据6个钻孔资料分析，发现岩脉中普遍存在金矿化，有钻孔岩芯中发现大颗粒明金，从已往民采调查中该矿床矿体中也有明金矿包存在，推测地下深部局部地段可能存在等距分布的厚大富矿囊。

2) 矿石结构构造：矿石中有益矿物为自然金，矿物结构、构造单一，结合矿物共生组合及脉石矿物种类将矿石划分为石英-自然金，石英-硫化物-自然金，石英-绢云母-硫化物-自然金，石英-绢云母-自然金4种矿石类型。矿区内矿石矿物组成比较简单，矿石物质成分以脉石矿物为主，次为金属矿物。金的容矿岩石以绢英岩为主，少量蚀变花岗岩及蚀变板岩等。原矿金品位较低，金以裸露及半裸露和硫化物的形式存在于矿石中。直接浮选可得品位为96.90 g/t的金精矿，回收率达87.95%，属易选矿石[15]。

3) 矿化阶段：矿区内矿化可划分为五个阶段。

① 石英-黄铁矿阶段，主要由高温块状的乳白色石英及少量粗粒、自形晶较好的黄铁矿组成，含金量极少。

② 石英-贫硫化物-自然金阶段，主要由浅灰色、烟灰色等杂色石英，绢云母与少量黄铁矿和自然金等矿物组成。

③ 石英-硫化物-自然金阶段，主要由中低温灰色、烟灰色等杂色石英，与黄铁矿、毒砂和自然金等矿物组成。

④ 石英-碳酸盐阶段，主要由石英、方解石等矿物组成，对早期矿体有一定破坏作用。

⑤ 白色块状石英脉，矿后期脉，主要由白色石英组成，不含矿。

金成矿主要为第②和第③阶段。

4) 蚀变类型

硅化、黄铁矿化、云英岩化、毒砂化是横江冲金矿围岩蚀变的主要特征。在深部钻孔资料中发现该区深部钾长石化较发育，预示着深部金矿化有金矿体形成的充分条件。在以后勘查过程中要关注钾长石化的蚀变强度和蚀变范围。

5) 矿床形成时代

区内金矿源层为中元古界冷家溪群。早期断裂切穿含金地层，形成劈理构造和层间小破碎带，加上区域变质作用，萃取地层中部分金，形成金初始富集；然后加里东期小的花岗闪长斑岩脉和印支期花岗斑岩脉相继侵入，使矿液活化和迁移，并进一步萃取金，于局部有利空间富集成矿；再后来是一系列主要是北西向构造活动，加上燕山期细粒黑云母花岗岩脉和花岗斑岩脉多次侵入，矿液沿断裂通道上升迁移，在物理、化学条件和成矿空间合适时，含金流体进一步富集成金矿体；晚期的近东西构造切割了岩脉和含金地层，控制了岩脉及金矿体展布；蚀变的黑云母花岗岩脉、花岗斑岩脉及其内外接触带附近的劈理化密集带和层间破碎带是区内的主要控矿、容矿构造，这些特征与周边金矿床相似。区内金成矿具多期次特征，从雪峰期、加里东期到印支期、到燕山期均有活化富集。燕山期矿区内岩浆活动最广泛、最强烈，矿区内金成矿期应以燕山期成矿为主[16]。

6) 找矿特征标志

① 地层标志

冷家溪群小木坪组(Pt₂x)为矿区内主要含金地层及赋矿层位。

② 岩浆岩构造标志

区内金矿体主要赋存在细粒花岗岩、花岗斑岩脉及其内外接触带附近的片理化带、密集劈理、裂隙带中,有石英脉、石英细脉发育的部位,其次为韧性剪切断裂带的糜棱岩中。二者为区内找矿的标志部位。

③ 蚀变标志

金矿化最直接标志是热液作用和多种蚀变叠加形成的褪色化带,近矿蚀变以黄铁矿化、毒砂化为主。黄铁矿化、毒砂化、磁黄铁矿化、硅化、云英岩化、绢英岩化,空间上分带明显。

矿区围岩蚀变主要发生在花岗岩或花岗斑岩形成后。金矿(化)体主要赋存在岩脉内外接触带附近围岩中,近岩脉两侧围岩金矿化呈不对称带状分布。相对而言,花岗岩脉及其接触带与花岗斑岩脉及其接触带二者蚀变种类、强度均不尽相同;一般花岗岩脉上盘蚀变较强,而花岗斑岩脉上下盘均较发育,其蚀变带宽度亦出现相应的变化,带宽一般 2~5 m 不等。矿区含金石英脉或含金断层破碎带及其上、下盘围岩中,蚀变强烈,与围岩呈渐变过渡关系,向围岩方向逐渐减弱。蚀变种类主要有硅化、褪色化、碳酸盐化、绢云母化、绿泥石化、云英岩化、黄铁矿化、毒砂化等。围岩蚀变空间分带规律较明显,矿化中心部位主要发育毒砂化、黄铁矿化,稍外围发育云英岩化、绿泥石化、硅化,绢云母化在区内岩石中普遍发育,一般较远离含金石英脉,褪色化及碳酸盐化(尤其是方解石化)则更远离含金石英脉。黄铜矿化则只有局部地段近矿围岩中发育。

④ 矿物组合标志

已控制的矿脉中,金矿化与细粒或粉末状黄铁矿及毒砂关系密切。局部矿石中见到铜、铅、锌等矿化时,金品位较高。

⑤ 物化探异常标志

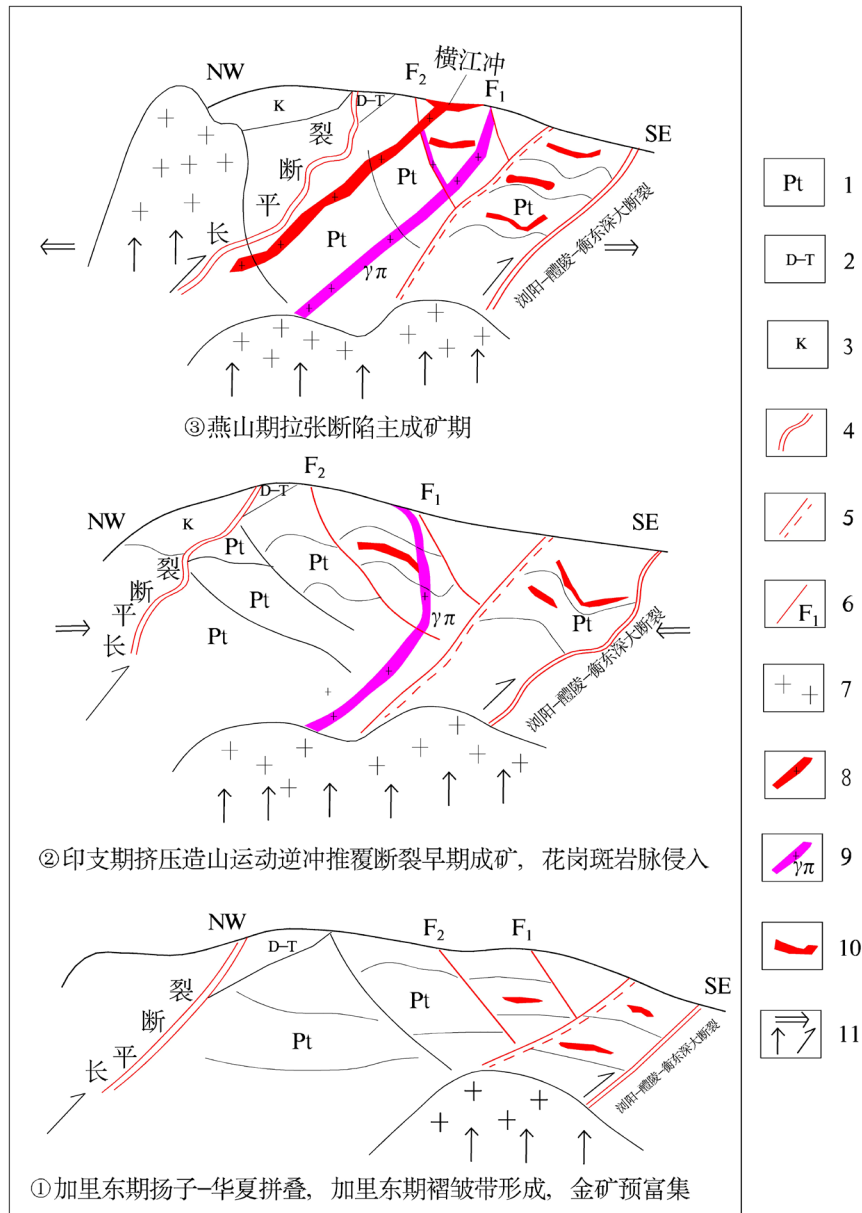
矿区内目前已发现的金矿体都位于土壤地球化学金及相关元素综合异常区内,Au、As、Sb 元素的综合异常与金矿化有密切的内在联系;磁法及激电测深能反映一定深度内地质体的物性差异及电性差异,间接判断隐伏构造、隐伏岩体、隐伏矿体。

⑥ 民采点标志

民采老硐、民采场(坑)提供近地表及浅部直接找矿信息。

4.4. “三位一体”成矿模式

中元古界冷家溪群为区内金成矿提供丰富物质来源。武陵运动后,湘东北地区在 SN 向挤压应力作用下,冷家溪群形成 NW 向紧闭线性褶皱。加里东期运动形成一系列 EW 向褶皱、韧性剪切带,同时伴随强烈岩浆活动,形成了以板杉铺岩体、张坊岩体为代表中酸性岩体,为区内金成矿重要时期[17]。印支期造山作用形成了一系列 NE 向构造带,区内形成了以 NE 向断裂为主导, NW 褶皱以及 EW 向(近 EW 向)韧性剪切带发育基本构造格局[18]。燕山期区内构造运动以伸展-拉伸为主和大规模岩浆活动,典型有连云山岩体、望湘岩体、金井岩体等中酸性岩体,为区内主要金成矿期[15]。矿区从基性辉绿岩脉、煌斑岩至中酸性花岗闪长岩、花岗岩、花岗斑岩均有发育,反映矿区岩浆活动频繁强烈,为金成矿提供大量热动力和热流体,通过活化、萃取矿源层(冷家溪群)金元素,在花岗岩脉、花岗斑岩脉接触带附近及岩体内裂隙发育部位等成矿有利部位富集成矿,亦反映矿区可能存在多期成矿。依据综合分析结果,建立横江冲金矿“三位一体”成矿模式(见图 10)。



1-冷家溪群；2-泥盆系-三叠系；3-白垩系；4-长平，浏阳深大断裂；5-韧性剪切带；6-断层；7-花岗岩；8-细粒花岗岩及矿化带；9-花岗斑岩脉及矿化带；10-层间破碎带及矿化带；11-运动方向

Figure 10. Schematic diagram of “trinity” metallogenic model of Hengjiangchong gold deposit
图 10. 横江冲横江冲金矿“三位一体”成矿模式示意图

5. 找矿靶区预测

根据横江冲金矿“三位一体”成矿模式，综合矿区勘查结果，预测了杨柳坡矿段北东深部靶区、丁家湾-芭蕉坡深部靶区 2 个靶区，为下步找矿工作提供了地质依据。

5.1. 杨柳坡矿段北东深部靶区

杨柳坡矿段北东一带，赋矿花岗岩脉埋深在标高-300 m 以下，土壤测量靶区内仅零星表现为 Au 低值异常。视极化率 JD08 异常位于区内，预示着区内金属硫化物相对富集，金矿化活动相对较活跃。施工

远景孔 ZK0411 在标高-384 m 至-455 m 见到花岗岩脉；取样分析发现两个矿体：一个矿体赋存在岩脉内（单工程品位 1.25 g/t，厚度 1.82 m），与 I 号矿化带 I-2 号矿体相对应；另一个矿体产于花岗岩脉与板岩围岩底板内接触带附近（单工程品位 1.20 g/t，厚度 3.56 m），与 I 号矿化带 I-3 号矿体一致[16]，是下步增储的首选区域（见图 2）。

5.2. 丁家湾 - 芭蕉坡深部靶区

丁家湾 - 芭蕉坡深部靶区。地表矿化分布在油铺坳 - 芭蕉坡 - 藤坡坑一线，地表有山地探矿工程控制，地表断续长约 1050 m，矿化带宽度一般在 4.00~44.00 m，主要由花岗斑岩脉、石英脉和断层破碎带及蚀变板岩构成，花岗斑岩脉厚 0.50~6.07 m，沿走向连续稳定，有分枝复合现象，膨大部位一般石英脉较发育，蚀变较强，围岩蚀变范围大，蚀变类型主要有硅化、云英岩化、绢云母化、黄铁矿化、毒砂化、绿泥石化、退色化及碳酸盐化等。未开展系统勘查工作，在该区开展深部找寻花岗斑岩脉型金矿和层间破碎带石英脉型金矿体潜力好（见图 2）。

6. 结论

通过对矿区金矿成矿“三位一体”成矿模式的建立，提出杨柳坡矿段北东深部靶区、丁家湾 - 芭蕉坡深部靶区是下一步重点的找矿区域，在下步增储工作中为重点突破靶区。

6.1. 杨柳坡矿段北东深部靶区

该区位于矿床中心位置，为已探明 I 号矿带沿倾向延深部位。从矿区资料综合（见图 5）分析，矿体由南西往北东呈一近似长“厚舌”形[16]，矿体倾向延伸较大，4 号剖面线上倾向延深达 1237 m。矿层从浅部到深部呈波状起伏，总体产状变化不大。根据物探成果资料和区域地质成矿条件及矿区地质特征分析从成矿模式图上得出判断：该区成矿地质体主要为燕山期花岗岩和印支期隐伏花岗岩体：燕山期蕉溪岭岩体，为主成矿期金成矿提供了矿源、热源、水源及动力，为细粒花岗岩脉高位侵入提供了物质基础和动力源；印支期隐伏岩体为本区的花岗斑岩成矿提供了热源、水源、物源，为花岗斑岩脉高位侵入提供了物源及动力源。成矿构造和成矿结构面： F_3 号断裂是该区重要的控矿、容矿构造，先张后剪，在加里东期就已形成，然后通过印支期的挤压，燕山期的拉伸等多次活动叠加，为该区的成矿提供了成矿空间；成矿结构面是岩脉与 Pt_2x 地层的接触面，由于小木坪组与细粒花岗岩脉、花岗斑岩脉其物理化学性质差别很大，在接触过程中，接触带物理化学条件发生变化，金矿容易在上下结构面中交代成矿。成矿作用和找矿标志：结构面上下宽 3~5 m 的范围内蚀变种类主要有硅化、云英岩化、绢云母化、绢英岩化、黄铁矿化、磁黄铁矿化、毒砂化、绿泥石化、黄铜矿化、退色化及碳酸盐化钾化等较发育是寻找该区金矿体的重要标志。在该区增储过程中要注意寻找结构面上下岩层中的矿体，在勘探过程中不要漏掉结构面上下岩层中的石英脉型硫化物金矿体。前人认为只寻找细粒花岗岩脉金矿。通过本次资料收集整理研究，深部的花岗斑岩脉含矿带也是下一步找矿的目标体。层间破碎带型含矿体也是在该区有所出露，建议下步增储的工作中要统筹兼顾寻找三种类型的金矿体。

6.2. 丁家湾 - 芭蕉坡深部靶区

通过大量浅部老窿地质编录、地表地质填图、深部钻孔验证以及取样测试等工作，发现以花岗斑岩脉为主体，岩脉上下盘 20~40 m 范围内均有不同程度的金矿化。地表矿段矿化有两种矿化类型：花岗斑岩夹石英脉型和板岩夹石英脉型。前人认为岩脉本身含矿并不好，而穿插的含金石英脉规模小，延伸不远，造成矿化不连续，矿化规模小，深部找矿前景目前尚难定论。通过本次研究认为，该区深

部找矿潜力较大,是下步增储工作的第二靶区。根据物探成果资料和区域地质成矿条件及矿区地质特征分析从成矿模式图上得出判断:该区成矿地质体主要为印支期隐伏花岗岩体,印支期隐伏岩体为本区的花岗斑岩成矿提供了热源、水源、物源,为花岗斑岩脉高位侵入提供了物源及动力源。成矿构造和成矿结构面: F_2 断裂带,是在区域性EW向剪切构造带基础上形成的次级韧性剪切断裂带。该断裂带具多期次继承性活动特征,切割了NW向构造。为导矿构造和储矿构造。 F_1 、 F_4 断裂带组,为韧性剪切断裂,是延伸长、规模较大的区域性断裂,属区域性NE向主干断裂带的一部分。 F_2 断裂带、 F_1 、 F_4 断裂带组控制了该区的岩脉规模和产状,该组构造在加里东期就已形成,然后通过印支期的挤压,燕山期的拉伸等多次活动叠加,为该区的成矿提供了成矿空间;成矿结构面是岩脉与 Pt_2x 地层的接触面,由于小木坪组与花岗斑岩脉物理化学性质差别大,在接触过程中,接触带物理化学条件发生变化,金矿容易在上下结构面中交代成矿。成矿作用及特征标志:金矿(化)体主要赋存在岩脉内及其外接触带附近围岩中,外接触带近岩脉两侧围岩金矿化呈不对称带状分布。花岗斑岩脉上下盘均较发育,其蚀变带宽度亦出现相应的变化,蚀变带宽一般2~5 m不等。矿区含金石英脉或含金破碎带及其上、下盘围岩中,蚀变强烈,与围岩呈渐变过渡关系,向围岩方向逐渐减弱。蚀变种类主要有硅化、褪色化、碳酸盐化、绢云母化、绿泥石化、云英岩化、黄铁矿化、毒砂化等。围岩蚀变空间分带规律较明显。矿化中心部位主要发育毒砂化、黄铁矿化,稍外围发育云英岩化、绿泥石化、硅化,绢云母化在区内岩石中普遍发育,一般较远离含金石英脉,褪色化及碳酸盐化(尤其是方解石化)则更远离含金石英脉。黄铜矿化则只有局部地段近矿围岩中发育有少量。在该区增储过程中要注意寻找结构面上下岩层中的矿体,在勘探过程中不要漏掉结构面上下岩层中的石英脉型硫化物金矿体。尤其要注意构造带相交汇的位置是形成富金矿体的有利部位,在增储过程中要加强生产中的成矿规律研究,指导生产。

致 谢

在本文成稿过程中得到了紫东矿业公司的大力帮助,得到了匿名审稿老师的指导,在此一并致谢。

参考文献

- [1] 赵鹏大. 矿产资源评价理论与方法技术[M]. 北京:地质出版社,2001:21-24.
- [2] 赵鹏大,陈永清,刘吉平,等. 地质异常成矿预测理论与实践[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1999:1-11.
- [3] 王世称,陈永良,夏立显. 综合信息矿产预测理论与方法[M]. 北京:科学出版社,2000:1-21.
- [4] 朱裕生,肖克炎,宋国耀,等. 成矿预测方法[M]. 北京:地质出版社,1997:15-94.
- [5] 肖克炎,丁建华,刘锐,等. 美国“三步式”固体矿产资源潜力评价方法评述[J]. 地质论评,2006,52(6):793-798.
- [6] 陈毓川,王登红,朱裕生,等. 中国成矿体系与区域成矿评价[M]. 北京:地质出版社,2007.
- [7] 陈毓川,裴荣富,王登红,等. 三论矿床的成矿系列问题[J]. 地质学报,2006,80(10):1501-1508.
- [8] 叶天竺,朱裕生,夏庆霖,等. 固体矿产预测评价技术研究[M]. 北京:大地出版社,2004:1-4,104-106,329-330.
- [9] 叶天竺,肖克炎,严光生. 矿床模型综合地质信息预测技术研究[J]. 地学前缘,2007,14(5):11-19.
- [10] 叶天竺. 矿床模型综合地质信息预测技术方法理论框架[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2013,43(4):1055-1072.
- [11] 叶天竺 吕志成等. 勘查区找矿预测理论与方法[M]. 北京:地质出版社,2014.
- [12] 李鹏春. 湘东北地区显生宙花岗岩岩浆作用及其演化规律[D]:[博士学位论文]. 北京:中国科学院研究生院,2006:1-101.
- [13] 王淑军,谢志勇. 湘东醴陵-浏阳一带金矿成矿规律及找矿[J]. 怀化学院学报,2008,27(5):119-122.
- [14] 罗献林. 论湖南黄金洞金矿床的成因及成矿模式[J]. 桂林冶金地质学院学报,1988,8(8):225-239.
- [15] 董国军,许德如,王力,等. 湘东地区金矿床矿化年龄的测定及含矿流体来源的示踪——兼论矿床成因类型[J].

大地构造与成矿学, 2008, 32(4): 482-491.

[16] 龚飞, 刘湘成, 等. 湖南省浏阳市横江冲矿区金矿详查报告[R]. 2018.

[17] 韩凤彬, 常亮, 蔡明海, 等. 湘东北地区金矿成矿时代研究[J]. 矿床地质, 2010, 29(3): 563-571.

[18] 许德如, 邹凤辉, 宁钧陶, 等. 湘东北地区地质构造演化与成矿响应探讨[J]. 岩石学报, 2017, 33(3): 695-715.