

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2018.01.004

# 湖南龙王江锑砷金矿床地质地球化学特征、 成矿分析与找矿

陈明辉<sup>1,2</sup>, 尹灏<sup>3</sup>, 杨长明<sup>4</sup>, 周旭林<sup>5</sup>, 郭素雄<sup>2</sup>

(1. 中南大学地球科学与信息物理学院, 长沙 410083;

2. 湖南省有色地质勘查局二四五队, 湖南 吉首 416007;

3. 湖南省黄金集团有限责任公司, 长沙 410007;

4. 湖南省有色地质勘查局一总队, 湖南 郴州 423000;

5. 湖南省地质科学研究所, 长沙 410007)

**摘要:** 龙王江锑砷金矿床由石英脉、破碎蚀变岩和蚀变糜棱岩矿体构成。矿体一部分呈平行分布, 另一部分呈斜列分布, 受劈理化带或剪切带控制。主矿体沿倾向延伸大, 可构成垂深达千米的“超深矿柱”。锑砷金矿成矿是在 Sb-As-Au 特定的地球化学背景基础上发生的, 构造应力是完成元素活化、运移和富集的地质地球化学过程的热(动)力。矿床成因属动力变质热液型。石英脉型和破碎蚀变岩型金(锑)矿具有较大的找矿潜力。通过综合分析提出了该矿床找矿标志与找矿方向。

**关键词:** 龙王江锑砷金矿; 典型矿床; 成矿条件; 富集规律; 找矿标志; 湖南

**中图分类号:** P618.51; P613 **文献标识码:** A

## 0 引言

龙王江锑砷金矿位于湖南省溆浦县城东南 14 km 处, 面积 102 km<sup>2</sup>, 是雪峰弧形构造带中段重要的成矿区之一。区内锑矿发现较早, 从清朝起断断续续进行过开采。20 世纪 70 年代多家地质队做过工作, 均认为该区系锑矿点。80 年代初, 湖南省有色地质勘查局二四五队通过区域调查, 首次在泥潭冲发现了新类型的锑砷金矿床<sup>[1]</sup>, 从而拉开了该区找金序幕。此后, 通过“锑(砷)中找金”, 发现了江溪垅金锑矿、江东湾金锑矿及白竹坪砷金矿等。2005 年, 湖南省有色地质勘查局研究院通过矿区及外围 280 km<sup>2</sup> 的 1:5 万水系沉积物测量, 圈定了 Sb、As、Au 组合异常 7 处(I 级)<sup>[2]</sup>, 经南江坪异常查证, 发现了新的金矿床<sup>[3]</sup>。目前, 泥潭冲、南江坪、黑

湾、江东湾等金(锑)矿继续进行详查工作, 不断有新发现和新突破。研究表明, 该区金矿类型可与黔东南产于同层位的造山型金矿类<sup>[4]</sup>, 可能属于造山型金矿, 具有大中型金矿的成矿潜力。

## 1 区域及矿区地质地球化学概况

龙王江金矿位于江南造山带西南段雪峰弧形构造带中段、溆浦—靖州深大断裂东侧。区域出露地层主要为新元古界青白口系板溪群, 次为南华系、震旦系、寒武-奥陶系等。主要容矿地层为板溪群五强溪组浅变质碎屑岩。区域构造主要由一系列 NE 向复式背斜、复式向斜及断层组成(图 1)。矿区构造为陶金坪复背斜, 该复背斜由右行斜列分布的次级下里湾背斜、黄麻田倒转背斜、邱家湾倒转背斜及松树脑背斜组成。由于循序渐进的 NW-SE 方向挤

收稿日期: 2016-10-08; 责任编辑: 赵庆

作者简介: 陈明辉(1973—), 男, 高级工程师, 硕士, 长期从事矿产勘查与综合研究工作。通信地址: 湖南省吉首市人民南路 69 号, 湖南省有色地质勘查局二四五队; 邮政编码: 416007; E-mail: xxjcmh@163.com



轴部地段、区域洞坪断层( $F_1$ )上盘,邱家湾倒转背斜北西倒转翼上,陡倾劈理化带与缓倾斜劈理化带交接部位。控矿的断裂构造主要为区域 NE 向主剪切带( $F_1$ )派生的共轭剪切断裂裂隙,走向 EW,倾向 S,倾角自地表向深部变陡。区内已发现 11 条剪切带(图 3),长 90~910 m,厚 0.1~3.17 m。剪切带内 C-S 组构明显,并不同程度发育 R、P、T、D 及 R' 构造面。剪切带为石英脉、角砾岩、糜棱岩充填,主剪切面上往往有 1 至数厘米厚的泥质物,沿剪切面可见滑动镜面、擦痕,并伴有揉皱、拖曳等现象。无论走向上或倾向上,主剪切面均呈舒缓波状。在持续渐进的剪切作用下,早期充填在剪切带中的石英脉有被拉长、压扁之现象,而呈大小不等的透镜体。表明该剪切带属于韧性剪切带,并有多期活动的特点。

矿体主要产于剪切带内及上、下盘蚀变围岩中。共探获 6 个矿体,  $V_{3-1}$  为主矿体,长 468 m,厚 0.20~5.24 m,平均 1.31 m。品位:  $w(\text{Au}) = 1.50 \times 10^{-6} \sim 162.73 \times 10^{-6}$ ,一般  $3.00 \times 10^{-6} \sim 14.99 \times 10^{-6}$ ,平均  $6.85 \times 10^{-6}$ ;  $w(\text{Sb}) = 0.03\% \sim 48.60\%$ ,平均 0.25%;  $w(\text{As}) = 0.02\% \sim 4.47\%$ ,平均 1.15%。在 Au 等厚线图和 Au 等值线图上,明显可见矿体向东侧伏。

据近年矿山探采资料,  $V_{3-1}$  矿体已控制至 -150 m 标高以下,垂深 > 450 m,其倾向延深是其走向长度的 3 倍,且其厚度稳定在 1.2~1.3 m, Au 品位稳

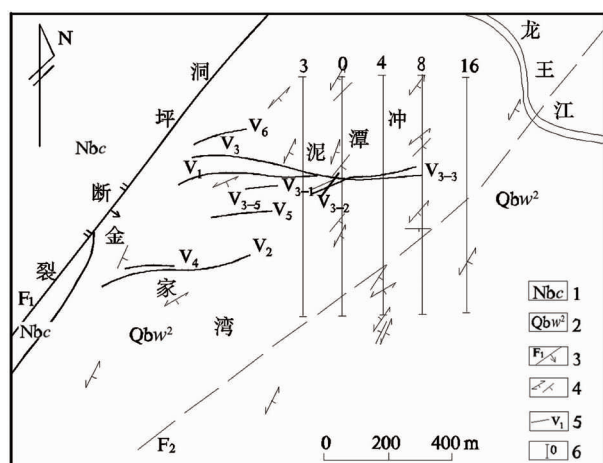


图 3 泥塘冲金矿矿脉分布图

Fig. 3 Map showing ore vein distribution in Nitanchong Au deposit

1. 长安组; 2. 五强溪组第二段;
3. 断层及编号; 4. 劈理及岩层产状;
5. 矿脉及编号; 6. 勘探线及编号

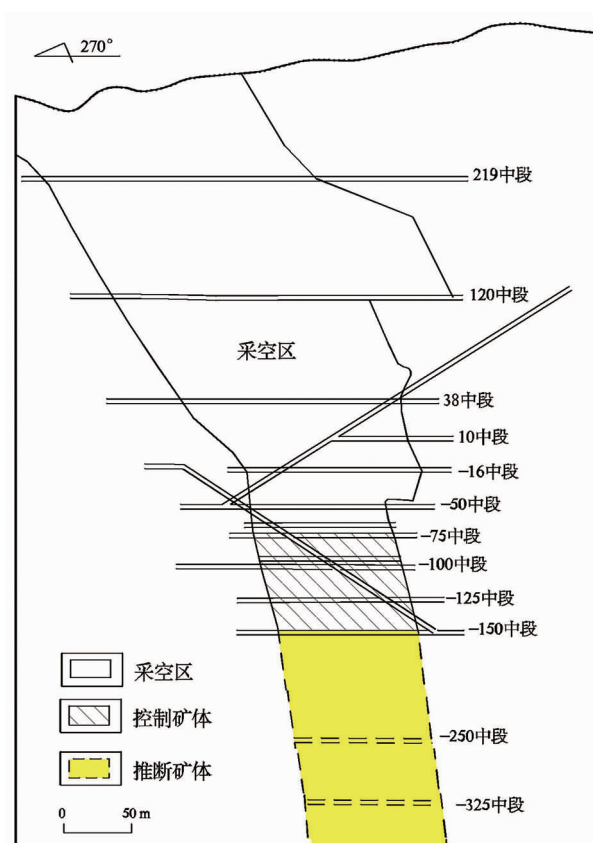


图 4 泥潭冲金矿  $V_3$  脉矿体纵剖面投影图

Fig. 4 Longitudinal wangjiang projection of Vein  $V_3$  in Nitanchong Au deposit

定在  $3.78 \times 10^{-6} \sim 4.19 \times 10^{-6}$ , 厚度与品位变化均较稳定。依据矿体深部成矿地质条件及延伸趋向, 预测该矿体可延至 -535 m 标高以下, 形成垂深达 800 m, 甚至超千米的巨大矿柱(图 4)。

矿石矿物成分比较简单, 金属矿物有毒砂、辉锑矿、黄铁矿、黝铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿、自然金、银金矿等。非金属矿物有石英、绢云母、方解石、白云石、绿泥石、黏土矿物、绿帘石、石榴石、电气石等。毒砂为主要载金矿物<sup>[9-10]</sup>, 其次为黄铁矿和辉锑矿。

金主要呈独立矿物存在, 金的粒度主要为 0.5~30  $\mu\text{m}$ , 以次显微金和显微金为主, 呈不规则粒状、细条状、细脉状, 产于毒砂、黄铁矿、石英裂隙中, 或产于毒砂间隙、黝铜矿与黄铁矿的边缘间隙、黄铁矿与毒砂边界处, 或包裹于辉锑矿、黄铁矿、毒砂中。

矿石具自形粒状、碎裂、交代溶蚀等结构, 块状、浸染状、角砾状及脉状穿插等构造。矿石自然类型主要为石英脉型, 其次为蚀变板岩型和破碎带型。围岩蚀变主要为硅化、毒砂化, 其次为黄铁矿化、绢

云母化、泥化等。

## 2.2 破碎蚀变岩型金矿

区内破碎蚀变岩型金矿是近年来新发现的金矿类型<sup>[3-11]</sup>,主要是通过地质填图和化探异常查证找到的,以南江坪金矿为典型<sup>[12]</sup>。

南江坪金矿位于陶金坪复背斜北西翼北段近轴部,次级黄麻田倒转背斜 NW 倒转翼,总体呈向 SE 倾斜的单斜构造,岩层走向  $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$ ,倾向 SE,倾角  $20^{\circ}\sim 50^{\circ}$ ,局部达  $65^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 。

经详查<sup>[12]</sup>圈出构造蚀变带 3 条(图 5)。蚀变带走向  $22^{\circ}\sim 45^{\circ}$ ,倾向 SE,倾角  $51^{\circ}\sim 71^{\circ}$ ,出露长 1 760~2 200 m,宽 8~120 m。矿体主要产于强劈理化带内之剪切断裂破碎带中,呈陡倾斜的脉状、透镜状、囊状等(图 6),在走向上、倾向上均不稳定,呈断续地串珠状分布,但在矿区南部 7 线附近和中部 40 线附近存在 2 个明显的矿体密集区。矿体规模一般都不大,走向长 40~120 m,最长 200 m( $V_{1-7-2}$ ),延深 30~40 m,最深 200 m( $V_{1-7-2}$ )。矿体厚度 0.67~16.48 m,平均 2.79~3.72 m,金品位  $w(\text{Au})=0.50\times 10^{-6}\sim 30.21\times 10^{-6}$ ,平均  $1.14\times 10^{-6}\sim 1.66\times 10^{-6}$ 。

矿床的矿物组合较简单。金属矿物以黄铁矿、毒砂为主,少量辉锑矿,微量黝铜矿、闪锌矿、方铅矿、白铁矿等;非金属矿物主要为石英、绢云母、黏土矿物,少量碳酸盐矿物。黄铁矿、毒砂为金的主要载体矿物。

围岩蚀变较弱。主要有硅化、黄铁矿化、毒砂化、绢云母化。硅化是最普遍的蚀变,其蚀变强度反映矿化强度。矿脉中黄铁矿、毒砂的发育程度直接反映金矿化强弱。绢云母化是金矿化的地质标志。

## 2.3 蚀变糜棱岩型砷金矿

典型矿例为白竹坪砷金矿(点)<sup>[13]</sup>。矿点位于陶金坪复背斜南东翼近轴部倾伏部位之陡倾斜劈理化带中,为剪切带控制的金矿化。剪切带处于岩层劈理产状由缓变陡部位,与陡倾斜劈理产状一致,剪切面十分清楚,剪切带中被糜棱岩充填(局部为断层泥),有少量石英脉。糜棱岩定向排列,多与剪切面方向一致,具明显的挤压构造特征。该类金矿矿化特点是金分布很不均匀,致使金矿化体不连续,矿体规模小。

区内共发现 11 条剪切带,其中  $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$  为主要含金剪切带,呈右行斜列,沿岩层劈理产出,单条含金剪切带长 450~1 150 m,厚 0.118~1.64 m,  $w(\text{Au})=0.04\times 10^{-6}\sim 13.4\times 10^{-6}$ ,  $w(\text{Sb})=0.07\times$

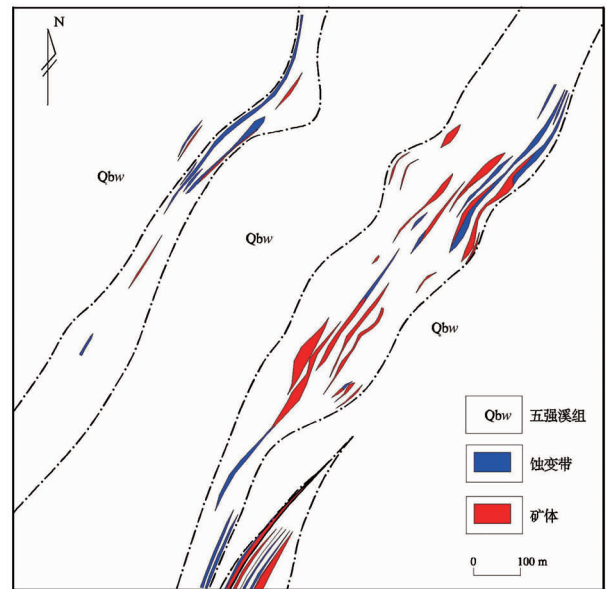


图 5 南江坪金矿 175 中段综合地质平面图

Fig. 5 Integrated plan of level 175 Nanjiangping Au deposit

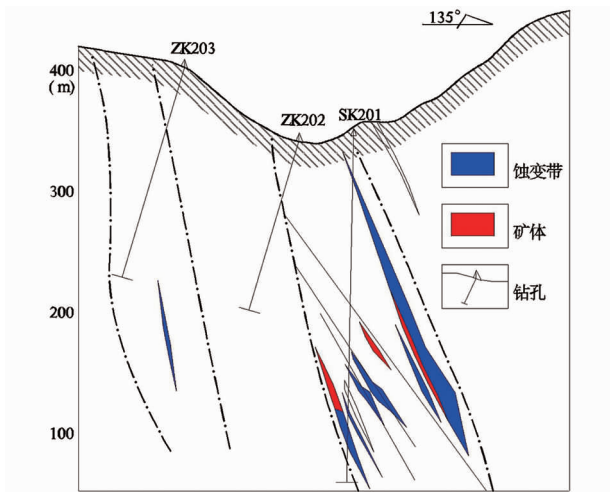


图 6 南江坪金矿区 2'地质剖面图

Fig. 6 No. 2 prospecting line profile of Nanjiangping Au deposit

$10^{-6}\sim 1.75\times 10^{-6}$ ,  $w(\text{As})=0.20\times 10^{-6}\sim 1.45\times 10^{-6}$ 。目前仅在总门口和柴棚坳两处见有小型金矿体,局部伴生辉锑矿扁豆体。矿体长 12~42 m,厚 0.50~0.72 m,  $w(\text{Au})=4.56\times 10^{-6}\sim 6.20\times 10^{-6}$ 。矿石矿物成分简单。金属矿物有毒砂、辉锑矿、黄铁矿、磁黄铁矿、自然金等;非金属矿物有石英、绢云母、方解石、白云石、绿泥石等。金以次显微金为主,毒砂为最主要载金矿物,金的配分率高达 94.05%<sup>[10]</sup>。围岩蚀变弱,主要为毒砂化,次为硅

化、黄铁矿化、绢云母化等,总体呈现平行剪切带的线型蚀变带。

### 3 成矿地质条件与矿床成因分析

#### 3.1 成矿地质条件

##### 3.1.1 地质条件

区内铋砷金矿床(点)均赋存于板溪群一套厚大的含火山物质的沉积岩建造中,板溪群既是重要的矿源层,又是金的储矿层,具有显著的层控效应。研究表明,区域板溪群含较高的铋( $w(\text{Sb})=18.69 \times 10^{-6}$ )、砷( $w(\text{As})=22.28 \times 10^{-6}$ )、金( $w(\text{Au})=5.18 \times 10^{-6}$ )成矿元素<sup>[14]</sup>,是形成本区金矿化集中区的基础。按成矿系列观点解释,富含 Au 的古老基底提供了物质来源,在空间上为集群性质,在时间上表现有序特征,无论是提供矿质的迁移通道和沉积场所的导矿和储矿构造,还是为金的沉淀和迁移提供热源的岩浆侵入,都是在继承了金的高丰度性质的基础上对金起成矿作用<sup>[15]</sup>。因此,在大范围上,古老的结晶基底是区域控矿的主要因素。

容矿地层岩性对成矿控制作用主要表现在岩石化学成分和物理性质两个方面。据岩石化学分析<sup>[14,16]</sup>,容矿层中具有  $\text{FeO}$ 、 $\text{MnO}$  含量较高及  $w(\text{Co})/w(\text{Ni})$  值、 $w(\text{Na}_2\text{O})/w(\text{K}_2\text{O})$  值较高的特点,表明地层中来自深部物质较丰富。围岩为粉砂质板岩、板岩由于结构和强度不同,微层理发育,不同岩性呈纹层状相互重复出现,有利于石英脉型矿床的形成,矿体形态简单、规整;而围岩中含砂量高或有砂岩夹层时,岩石较硬脆,节理裂隙发育,蚀变强,对形成破碎蚀变岩型金矿有利;单一的柔韧岩石(板岩)仅能形成剪切带型金矿化。

##### 3.1.2 构造条件

区内金矿主要赋存于陶金坪复背斜近轴部被 2 条区域性逆冲断层( $F_1$ 、 $F_2$ )所挟持的构造断块内。背斜轴部岩层挤压剧烈,褶皱频繁,地层多处发生倒转,并形成宽数十米至数百米的陡倾斜劈理化带,成矿总体受剪切构造带控制,除泥潭冲矿床受 EW 向斜切劈理化带的剪切带控制外,其余矿床(点)均产于 NE 向剪切带,矿脉(体)顺围岩劈理产出或与围岩劈理有微小的交角。其中矿区北部的南江坪、桃坳等矿床产于背斜近轴部的陡倾斜劈理(片理)化带内之脆韧性剪切带;中部龙王江、江东湾等矿床,产于洞坪断层( $F_1$ )上盘之岩层陡倾斜劈理化带与缓倾

斜劈理化带交接部的韧性剪切带,具多期次活动特点;南部白竹坪、雁鹅界矿点,产于背斜近轴部的强烈挤压构造带之陡倾斜劈理化带中的剪切带内。这 3 种不同类型的金矿乃是同一构造应力场作用下的不同构造部位的应变产物。

研究表明,区内矿床(点)主要产于洞坪断层( $F_1$ )和黑土坡断层( $F_2$ )的上盘,主要是因为断层下盘在向下俯冲时导致上盘岩层大量破碎的缘故。其中,又以  $F_1$  断层上盘出现的矿床(点)最多,这是由于该断层为区域成矿的主干断层大神山—中华山深断裂的一部分,通过该断层可与矿区西南的小横垄隐伏岩体沟通,能为区域成矿提供深部成矿物质和动(热)源。

##### 3.1.3 岩浆岩条件

矿区虽未发现岩浆岩,但通过洞坪断层( $F_1$ )可与其西南部隐伏花岗岩株沟通,为成矿提供热(动)能和深部矿化剂也不是不可能。

##### 3.1.4 变质作用条件

本区主要经历了区域变质作用和动力变质作用两个阶段。区域变质作用的变质热流极大地促使地层中成矿元素活化、运移,并初步富集。动力变质作用使剪切带及其影响范围内的成矿物质发生重新组合,并有利于变质热液中 Au 元素等易于从晶格或晶隙、裂隙或包裹体中析出,而定向迁移至扩容空间或破碎空间,形成沿退变质带分布的金矿化带。由此可见,本区金矿的形成过程实质上就是成矿溶液在一定的构造、围岩条件下物理化学条件不断改变的演化过程,复杂多期的区域及动力变质作用,可提供元古宙岩石中金等物质活化转移的能量和空间条件,这就是本区元古宙岩石既作为金的初始矿源层,又产出成组成带分布的铋砷金矿床的重要原因。

#### 3.2 矿床成因分析

##### 3.2.1 成矿物质来源

矿区的容矿围岩地层主要为板溪群五强溪组含粉砂质板岩、千枚状板岩、板岩及少量砂质板岩、粉(细)砂岩。据泥潭冲矿床岩石微量元素测定(86 件),平均  $w(\text{Au})=1.63 \times 10^{-9}$ 、 $w(\text{Sb})=3.61 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{As})=6.85 \times 10^{-6}$ ,分别低于该地区板溪群地层平均含量的 3.79 倍、5.15 倍、3.25 倍,成为“负异常”。进一步统计计算结果表明,矿区地层具有地域性的 Au 元素低背景、高离差、高异常下限的分布特点,表明容矿地层经浅变质作用和动力变质作用极大地促进其成矿物质的活化和分异。研究表明,湘西地区板溪群泥质沉积地层中 80% 的 Au 是吸附

于黏土矿物中的易活化元素<sup>[17]</sup>,它可经变质溶液的活化在区域变质和动力变质过程中为成矿提供物源,古老的结晶(变质)基底是区域金矿成矿物质的主要源区。

此外,据泥潭冲、江东湾等矿床岩(矿)石化学分析结果,用“巴尔特法”计算的单位体积的阳离子数,可见矿床中  $K^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Fe^{2+}$ 、 $Al^{3+}$  表现为明显地带入,在蚀变岩石中表现为带出, Si 则有明显的加入<sup>[14]</sup>。这种阳离子在矿床岩石中带出与带入的互补规律,说明热流流体与地层(围岩)的亲缘关系极为密切。

稀土元素测定结果显示<sup>[14]</sup>,地层、蚀变岩到脉石英其轻重稀土分馏程度不一致,轻稀土元素富集程度较高,稀土配分曲线为右倾式, Eu 为负异常。稀土配分模式图显示,其配分曲线极为相似,总体上为向右的较大倾斜型,在 Eu 处曲线为谷,表明矿区地层(围岩)与矿化蚀变岩为同一沉积物源区。

### 3.2.2 成矿的物理化学条件

以区域蛤蟆塘金矿为例,流体包裹体成分测定结果,平均  $Na^+/K^+$  为 0.54,  $F^-/Cl^-$  为 2.02,说明本区的成矿流体来源于深源,混合了部分大气降水<sup>[14,18]</sup>。成矿溶液的  $pH=6\sim 6.36$ ,  $Eh=-0.47\sim -0.49$ ,表明成矿环境为弱碱性弱还原条件。石英流体包裹体爆裂湿度平均为  $135\sim 207^\circ C$ ,均一湿度为  $240\sim 410^\circ C$ ,蚀变全岩为  $220\sim 230^\circ C$  相近,属中偏低温。计算的氧同位素表明,石英和蚀变全岩及地层氧同位素组成,均位于变质流体氧同位素组成范围。

矿区硫同位素测定结果,  $\delta(^{34}S)=-8.8\times 10^{-3}\sim +3.3\times 10^{-3}$ ,平均值为  $-2.42\times 10^{-3}$  (15 件),以富集轻硫同位素为特征,表明矿石中硫主要来源于均一化程度较高的深源火山硫与动力变质热流中硫的混合硫。蛤蟆塘金矿 2 件铅同位素投影点落在上地壳及上地壳与造山带线附近,表明与成矿有关的物质主要来自上地壳。

### 3.2.3 成矿动力学及演化过程

本区位于元古代扬子板块江南古岛弧,此时华南板块俯冲于扬子板块之下,地史上的“江南古陆”正位于俯冲带岩浆弧上。弧火山带出的金随火山灰携带到岛弧两侧的沉积盆地中,形成弧复理石建造。伴随俯冲作用及随后的碰撞作用,使区内形成褶皱隆起,岩石变形和断裂,并普遍发生区域变质使弧复理石建造中的 Au、Sb 活化、迁移到剪切带中,形成与剪切带有关的锑金矿床。这类矿床中多数矿脉(体)的产状与区域主剪切带一致,与岩层劈理一致

或有微小的交角。

### 3.2.4 矿床成因探讨与成矿模式

区域容矿地层主要为板溪群一套厚大的含火山凝灰质的碎屑类复理石建造,区域上具有特定的 Sb、As、Au 地球化学异常场,从而形成具有地域性分布特点的锑砷金成矿系列,显示出富 As 的地球化学特征。

本区历经自武陵运动及其后的多次构造运动,使区内褶皱隆起,岩石变形,并普遍发生区域变质作用,促使地层中成矿物质活化、运移至构造带。随着 NW-SE 向的渐进挤压作用,发育强烈变形褶皱、劈理和高角度的逆冲断层(推覆构造),从而控制了该区金矿的成生与分布。

根据前述硫、铅、氧同位素、稀土元素特征,结合  $w(Co)/w(Ni)$  值和 Au 的地球化学习性,本区金矿成矿物质的初始来自深部变质(结晶)基底。成矿流体早期以变质水为主,后期混入了地壳流体,最终形成成矿混合硫体。含金成矿热流在沿断裂从深部向上运移过程中,由于成矿流体中的构造环境、温度、压力等因素的剧变,并不断与围岩相互交代作用,从中萃取部分成矿元素,致使含金热液的成分不断改变,导致流体内的成矿物质在适宜的物理化学条件下沉淀析出,进而在有利部位成矿。

研究表明,构造动力是完成地球化学过程的一种驱动力,它通过影响成矿元素的地球化学行为和影响岩石热力学体系,促使元素活化,并驱动其从高应力场迁移<sup>[19]</sup>。本区在区域性构造变形过程中,深层次韧性剪切变形促使矿源岩系中的 Au 等成矿元素活化迁移,连同  $SiO_2$ 、K 等活性组分和岩石中  $H_2O$  一起形成含 Au 动力变质热液<sup>[20]</sup>,在适宜的构造部位富集成矿(图 7)。由此可见,在龙王江金矿韧性剪切带的整个发育过程中实际上是一退变过程,在这个漫长的动力变质过程中能不断释放大量的  $SiO_2$ ,在适当的部位形成含金石英脉或硅化岩,故矿床成因应属动力变质热液矿床,矿床的形成过程是沉积阶段(矿源层的形成)→区域变质阶段(元素活化、初步富集)→构造动力变质热液成矿阶段(造山带型)3 个阶段,类似“变质细碎屑岩”型金矿床的 3 个阶段成矿模式<sup>[21]</sup>。

## 4 矿化富集规律

### 4.1 矿脉(体)空间分布规律

(1)断裂构造控矿规律:由于不同方向的断裂破

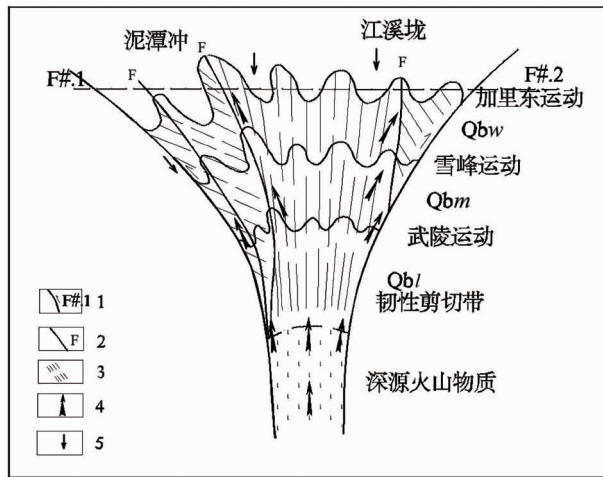


图 7 龙王江金矿成因模式图

Fig. 7 Genesis model

of Longwangjiang Au deposit

1. 区域逆冲断层; 2. 矿区控矿断层; 3. 劈理化带;  
4. 深源火山流体转移方向; 5. 大气水转移方向

破碎带产状与劈理产状的配置关系不同,加上各组断裂力学性质及其演化特征的差异,各组矿脉(体)的规模、富集特点呈现较大的差异。区内近 EW 向断裂是该区长期的 NW-SE 向挤压应力场中形成的多期次压扭性复合断裂,与区域轴面劈理呈大角度相交,破碎带边缘羽状分支断裂发育,为金的成矿提供了良好空间,矿体主要就位于该组断裂破碎带厚大地段及其上盘羽状分支断裂或其交会部位,即构造“结点”,以及产状由缓变陡的应力“拉张”部位。矿体倾向延伸大于走向长 1.3~2 倍,甚至 7 倍,这是由于 EW 向压扭性断裂与 NE 向劈理化带联合控矿结果。NE 组断裂主要为压-压扭性断裂,规模大,一般伴随破碎带以单条或多条石英脉沿破碎带或同向的劈(片)理化带充填为主,分支复合、尖灭再现,形成的矿体总体形态较规则,沿走向略具舒缓波状,倾向上产状由缓变陡,矿体沿倾向侧伏延伸不明显,矿体走向延长与倾向延伸相差不大,为本区铋或金铋矿主要控矿构式。而赋存于 NE 向脆-韧性剪切带中的破碎蚀变岩型金矿,是在较高温下,含矿热液沿构造裂隙贯入,充填于有限的构造空间,交代构造岩成矿。

(2)侧伏成矿和雁行分布规律:近 EW 向矿体普遍向 E 侧伏,侧伏角  $60^{\circ}\sim 88^{\circ}$ 。这是由于 EW 向韧性剪切带是容矿空间,与其相交的 NE 向劈理化带一方面增加了相交部位岩石的破碎程度,扩展了容矿空间;另一方位又在一定程度上引导了含矿热

液向容矿构造空间的迁移,从而形成了断裂破碎带与劈理化带交汇处沿倾向发育较深、侧伏成矿和柱状富集的矿体。NE 向矿脉(体)走向与岩层走向、劈理走向一致或有  $5^{\circ}\sim 25^{\circ}$  的交角,矿脉沿断裂破碎带或劈理化带倾向延深,侧伏成矿不明显。矿脉在平面上多呈平行分布间或出现左行斜列或雁行分布,在剖面上多呈舒缓波状,上行交替式产出。

#### 4.2 成矿元素的共(伴)生规律

本区金、铋金、铋金矿床(脉)在不同地段、不同矿石类型、不同的赋存状态下,其成矿元素的共(伴)生关系各不相同。研究表明<sup>[10,13,22-23]</sup>,本区铋金矿床中的金绝大部分赋存于载金矿物粗粒毒砂中,金以次显微金形式存在,较少的显微金以隙隙金及粒间金存在于黄铁矿和细粒毒砂中。经区内 1 000 余件各类矿石的 Sb、As、Au 的相关分析表明,在蚀变板岩中,Au-As 回归方程基本上都是通过零点的直线,其斜率( $w(\text{Au})/w(\text{As})$ )为 3~5,相当于毒砂金含量  $w(\text{Au})=150\times 10^{-6}\sim 250\times 10^{-6}$ ,这与本区毒砂金含量的实际分析值是一致的<sup>[9]</sup>,说明蚀变板岩型矿石中金主要以次显微金均匀分布在粗粒毒砂中。在石英-硫化物矿石中,Au-As 回归方程不再是过零点的直线,而出现较大的截距,显然是因为该类矿石中析出显微金所致,并与该类矿石出量大量的裂隙金和粒间金的事实相符。Au、As、Sb 相关分析表明,Au-Sb 相关性很差,但据 Au、Sb 品位统计,铋富集地段必出现金的富集,这可能与金的多期矿化及赋存状态有关。早期金的矿化导致蚀变板岩中金的富集,金以次显微金赋存在毒砂中;晚期金矿化与铋矿化作用相伴发生,形成含金石英脉,但金并不与铋共生,而是呈显微金的形成与伴生矿物黄铁矿、黝铜矿等共生。由此形成矿床中有铋必有金,有金不一定有铋,有金处铋含量一定高的若即若离的“共生分离”成矿效应<sup>[23]</sup>。

#### 4.3 围岩蚀变的成矿规律

矿床围岩蚀变主要沿控矿断裂和破碎带展布,蚀变的强度受断裂破碎带制约。赋存于 EW 向断裂中的石英脉型矿体,蚀变带宽度仅 5~50 cm,最宽 1.5 m,总体上呈现平行矿脉展布的线型蚀变带。大致可分为内、外两带,内带主要为硅化、毒砂(黄铁矿)化,与金矿化关系密切,本身就是矿体;外带主要为绢云母化、绿泥石化,金含量低或无矿化现象。赋存于 NE 向断裂带的石英脉型、破碎蚀变岩型的金、金铋矿床,绢云母化带是其成矿的重要地质标志,蚀变带宽 10~25 m,最宽 100 余 m,具分支复合、多条

平行产出的特点,蚀变分带呈现自矿脉中心部位向两侧大致为硅化、毒砂(黄铁矿)化、绢云母化环带状分布,矿化程度与蚀变强度一致。

纵观本区围岩蚀变,不论那一类金矿都与硅化、毒砂(黄铁矿)化关系密切,可以说只要有毒砂、黄铁矿和辉锑矿富集的地段,就有金矿(化)存在的可能性;硅化同样如此,可谓“无金不硅”、“无锑不硅”。绢云母化是本区金矿化的标志性蚀变,而绿泥石化则不利于金矿化。通常把矿脉外带的绢云母化、绿泥石化混为一谈,通称“褪色化”,这是不恰当的。最近发现位于矿区中部、紧邻江溪垄金锑矿床的椒坪等地段,地表出露长达数千米、宽可达百余米的“褪色蚀变带”,经探槽揭露和深部钻探工程控制,几乎无金矿化的反映。究其原因,乃是此类褪色岩石为绿泥石千板岩,岩石中绿泥石含量达55%~75%,单偏光下多色性明显,浅绿色鳞片状产出,片径细小,正交下常见黄褐色、黄绿色干涉色,属富镁绿泥石,是由浅变质作用形成的。而绢云母化是绢云母交代了变质作用形成的绿泥石,是一种去铁作用的结果,在化学成分上,从围岩蚀变的内带到外带, $K_2O$ 含量逐渐减少;反映在矿物成分上的变化是绿泥石从无到有,蚀变绢云母由强到弱,表明在热演化中 $K^+$ 、 $H^+$ 作用下,绿泥石被绢云母交代形成的绢云母化。所以,确切地说,作为金的蚀变标志应称“绢云母化”,而与金成矿无关的褪色带应称绿泥石化,它不是金的找矿标志,也不是金的近矿围岩或蚀变。

## 5 找矿标志和方向

### 5.1 找矿标志

(1)构造标志:区内金矿主要赋存于洞坪( $F_1$ )和黑土坡( $F_2$ )2条背冲断层所挟持的构造断块内,产在陶金坪复背斜近轴部陡倾斜劈理化带或陡倾斜劈理化带与缓倾斜劈理化带交接部位的剪切带中。作为区域金矿主要控矿构造的 $F_1$ 、 $F_2$ 及NE向劈理化带,与EW向剪切带具有挤压、引张相辅构造配套产出的构造特征,是矿区导矿和容矿构造的必要条件。区域NE向压扭性断裂、次级断裂和EW向配套断裂是找矿的构造标志。

(2)矿源层标志:矿床主要产于板溪群五强溪组一套含凝灰质的泥砂质黏土质沉积地层中,地层具有区域性的成矿元素高丰度的特点,是主要的矿源层。金主要以吸附形式及纳米金形式存在于矿源层

中,易于岩石遭受后期变质作用和构造热液活动时转移出来并富集成矿。区内较大面积出露的板溪群黏土质沉积地层,是良好的矿源层标志。

(3)热液蚀变标志:矿区的导矿和容矿构造均发生了不同程度的围岩蚀变。绢云母化和硅化引起的岩石褪色现象及石英脉、蚀变岩、构造岩的产出,是找矿直接的标志。富含毒砂(黄铁矿)等硫(锑)化物的蚀变岩及石英脉,通常是富金矿体的寻找标志。

(4)Au负异常的地球化学标志:矿床内容矿地层成矿元素丰度低于区域地层,出现的“亏损”现象即负异常,是本区金成矿作用的地球化学标志,具有和正异常一样的找矿意义标志。

(5)硫同位素组成和包裹体成分标志:区内载金的硫(锑)化物均以相对富集轻硫同位素( $^{32}S$ )为特征,既可作为其含金性评价的硫同位素地球化学标志,又可提供矿床评价和成矿预测的有用信息。包裹体成分以 $H_2O$ 、 $CO_2$ 、 $SO_4^{2-}$ 组分含量较高是其标志。

(6)水系沉积物异常标志:区域及矿区水系沉积物测量圈定的Au、As、Sb元素组合异常浓集中心明显,强度大,各元素多级浓度分带明显,成带状、不规则的条带状分布是找矿的有效化探标志。

(7)老硐和民采遗迹可作为本区的直接找矿标志。

### 5.2 找矿方向

(1)深边部找矿:这是本区新一轮找矿的重点,主要是攻深扫盲,探查矿体深部的自然边界,寻找矿床边部的未知矿体(隐伏矿体)。对于成矿深度大的柱板状矿体,应按矿体侧伏延深规律进行追索,对于透镜体矿体,应每探明1个浅部透镜体矿体之后,应继续沿剪切带(面)或构造蚀变带及其产状变化部位向深部追索,可能有另一个透镜体矿体的出现。对于依据地质-化探信息推测的边深部地质构造有利地段,应选择成矿最有利部位进行重点验证。

(2)找矿类型:矿区中部以石英脉型金矿类型为主,加强破碎蚀变岩型金矿的找矿研究;矿区北部测以破碎蚀变岩型金矿为主。

## 6 结语

(1)龙王江金矿为赋存于新元古界青白口系板溪群浅变质岩系中类似的“造山型金矿”,矿床定位于地壳连续模式中的浅成带、低绿片岩相区域<sup>[4]</sup>,主

要为 Au、As、Sb 多元素富集成矿。成矿的动力学环境为陆陆碰撞造山带。

(2)区内3类金矿均处于相同的地质背景条件下,形成具有同一矿源层成矿作用、迁移富集过程一致、成矿阶段主要特征相似、成因上一致的锑矿金矿床系列。其中,产于EW向韧性剪切带型矿体多呈柱板状,延深大,富矿体产于断裂带宽大部位及矿体产状由缓变陡的引张部位,沿主剪切面延深,深部具有很大的找矿潜力;赋存于脆-韧性剪切带型矿床,岩石破碎范围较宽,矿化相对较贫,矿与非矿界线不清,往往形成透镜体、伸长透镜体矿体。韧性剪切带型(石英脉型)和脆-韧性剪切带型(破碎蚀变带)矿床是本区金矿的主要类型。

(3)矿床成因属于动力变质热液型金矿,构造应力是完成元素活化、运移和富集的地球化学过程的热(动)力。成矿温度为中低温,成矿物质主要来自变质基底和容矿围岩(地层),硫源主要来自深源,成矿溶液主要来自变质水,晚期有大气降水渗入。金的成矿期晚于区域变质期,而与印支期构造变形作用同步或略为滞后。

(4)通过矿区及近外围1:5万水系沉积物测量,共圈出7处I级组合异常,异常规模大、强度高,Au、As、Sb元素组合齐全,异常浓集中心一般就是金、锑,预示矿区及近外围具有良好的找矿前景。

**致谢:**本研究项目得到湖南辰州矿业股份有限公司资助。在成文过程中,参考并引用了湖南省有色地质勘查局二四五队、中国有色金属协会桂林矿产地质研究院、溆浦辰州矿产有限责任公司及湖南省地质矿产勘查开发局四〇七队等单位有关资料,谨此向上述单位和作者深致谢忱。

## 参考文献:

- [1] 包正相. 元古界金-锑-砷矿床(化)类型[J]. 地质地球化学, 1984(11): 63-64.
- [2] 桂祁零, 余小艳, 伍先中. 湖南省溆浦县陶金坪矿区金、锑矿预查报告[R]. 长沙: 湖南省有色地质勘查研究院, 2005.
- [3] 艾国栋, 戴塔根, 陈明辉, 等. 湘西龙王江锑金矿地质特征及水系沉积物异常找矿[J]. 地质找矿论丛, 2012, 27(2): 233-237.
- [4] 陶平, 王亮, 刘锐. 黔东南浅变质碎屑岩中金矿属于造山型金矿的证据[J]. 地质科技情报, 2013, 32(4): 157-161.
- [5] 张建国. 湖南溆浦南江坪—龙王江—雁鹅界矿化带金锑资源的初步分析[J]. 黄金, 2004, 25(5): 11-13.
- [6] 鲍振襄. 溆浦龙王江锑金矿带地质特征[J]. 湖南地质, 1990, 9(1): 35-42.
- [7] 湖南省有色地质勘查局二四五队. 湖南省溆浦县泥潭冲金矿详查地质报告[R]. 湖南吉首: 湖南省有色地质勘查局二四五队, 1991.
- [8] 鲍肖, 陈放. 龙王江锑矿带矿床成矿地质特征及找矿标志[J]. 湖南冶金, 1996(2): 34-38.
- [9] 谷湘平, 刘叙耀. 湖南省溆浦县龙王江矿田中金的赋存状态分布规律及远景研究[R]. 广西桂林: 中国有色金属工业总公司矿产地质研究院, 1990.
- [10] 包正相. 湘西龙王江锑-砷-金矿床自然金和载金矿物毒砂的研究[J]. 黄金, 1986(3): 4-7.
- [11] 鲍振襄, 覃志平, 田荣煜. 淘金坪矿发现的启示[J]. 物探与化探, 1993, 17(4): 315-317.
- [12] 湖南省地质矿产勘查开发局四〇七队. 湖南省溆浦县南江坪矿区金矿详查报告[R]. 湖南怀化: 湖南省地质矿产勘查开发局四〇七队, 2014.
- [13] 湖南省有色地质勘查局二四五队. 溆浦县白竹坪金矿详查报告[R]. 湖南吉首: 湖南省有色地质勘查局二四五队, 1991.
- [14] 梅水泉. 溆浦地区脉金矿地质地球化学特征[J]. 湖南地质, 1990, 9(3): 25-35.
- [15] 杨永华, 赵善付. 区域金矿成矿系列综合信息预测原理和方法[J]. 有色金属矿产与勘查, 1995, 4(6): 361-364.
- [16] 鲍振襄. 湖南龙王江锑矿带地质特征及控矿因素[J]. 黄金地质, 1996(4): 21-27.
- [17] 刘英俊, 马东升, 牛贺才. 湖南益阳—沅陵一带金矿床的成矿作用地球化学[J]. 地球化学, 1994, 23(1): 1-12.
- [18] 李同柱, 冯孝良, 张惠华, 等. 四川里伍铜矿含矿岩系地球化学特征及成因分析[J]. 地质与勘探, 2010, 46(5): 921-930.
- [19] 董树文. 构造动力地球化学若干问题[C]//地学探索, 北京: 中国地质大学出版社, 1998: 71-75.
- [20] 陈柏林. 甘新北山金窝子韧性剪切带里金矿床成因[J]. 矿床地质, 2010, 29(6): 972-980.
- [21] 王秀璋, 程景平, 梁华英, 等. 变质细碎屑岩型金矿床的三个阶段成矿模式[J]. 矿床地质, 2013, 14(4): 322-327.
- [22] 陈明辉, 高利军, 杨洪超, 等. 金矿床中毒砂标型特征及金的赋存状态:以湖南金矿床为例[J]. 地质与资源, 2007, 16(2): 102-106.
- [23] 鲍振襄. 龙王江锑矿带地质地球化学[J]. 地质地球化学, 1997(1): 1-5.

## Analysis of geological and geochemical characteristics and metallogeny of Longwangjiang Sb-As-Au deposit in west Hunan and prospecting of such ore deposit

CHEN Minghui<sup>1,2</sup>, YIN Hao<sup>3</sup>, YANG Changming<sup>4</sup>, ZHOU Xulin<sup>5</sup>, GUO Suxiong<sup>2</sup>

(1. School of Geosciences and Infor-physics, Central South University,

Changsha 410083, Hunan, China;

2. No.245 Team of Hunan Nonferrous Metals Geology and Exploration Bureau,

Jishou 416007, China;

3. Hunan gold group co.,LTD, Changsha 410007, China;

4. Team 1 of Hunan Provincial Nonferrous Metals Geology and Exploration

Bureau,Chenzhou 423000, Hunan, China;

5. Hunan Academy of Geological Sciences,Changsha 410007, China)

**Abstract:** Longwangjiang Sb-As-Au deposit is composed of quartz vein, fractured alteration rock and mylonite ore bodies. Some ore bodies are parallel and others are en echelon. They are controlled by cleavage or shear zone. The main ore body extends long about 1000m deep to form a super-deep pillar of ore. The deposit is formed under specific geochemical background. Structural stress resulted in geological and geochemical thermal dynamics which leads to element activation, transportation and enrichment. Genetically the deposit is a dynamically metamorphic hydrothermal deposit. In this area it is potential to prospect quartz vein and fractured alteration type ore. The the ore prospecting direction and marks are put forth through comprehensive.

**Key Words:** Longwangjian Sb-As-Au deposit; typical deposit; metallogenic condition; enrichment law; prospecting mark; Hunan province