

# 铔厂沟金矿床北部控矿剪切带 地质特征及金的富集规律

魏刚锋<sup>1</sup>, 聂江涛<sup>1</sup>, 辛红刚<sup>2</sup>, 姜修道<sup>1</sup>, 张振国<sup>3</sup>, 袁速成<sup>4</sup>

(1. 长安大学 地球科学与国土资源学院, 西安 710054; 2. 长庆油田 指挥部, 西安 710021;

3. 陕西省地质矿产局, 西安 710054; 4. 西北有色地质勘查局 712 总队, 陕西 咸阳 712000)

[摘要] 野外调研和室内分析结果表明, 区域韧性剪切带在铔厂沟金矿床非常发育, 并经历了右行—左行—右行多期(次)活动。北部控矿韧性剪切带是区域韧性剪切带演化的产物, 以左行剪切为主, 位于铁夹树一庙湾北部厚层灰岩的下部。北部金矿带受北部控矿剪切带控制, 长度大于 1 km, 厚度约 70 cm, 从地表延伸至 1 120 m 标高, 未见尖灭趋势。黄铁矿是该类矿石中最重要的金属矿物。自然金是主要金矿物, 有明金和显微金两种。矿石结构构造较为复杂, 集中反映了热液矿床的构造特征。矿带的形成可划分为热液期和表生期。原生矿石中绝大部分明金、显微金中的包体金和裂隙金都与黄铁矿密切相关。黄铁矿(I)经历了韧性变形, 因而是金的最佳载体矿物。北部韧性剪切带的多期(次)活动, 使金富集成为工业矿体。结合地质特征, 预测该矿带可延伸至 1 120 m 以下一定深度。

[关键词] 金矿带; 韧性控矿剪切带; 地质特征; 富集规律; 铔厂沟金矿床; 陕西

[中图分类号] P613 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2005)04-0038-07

[作者简介] 魏刚锋(1949-), 男, 陕西蓝田人, 教授, 从事构造控矿教学和研究。

## 1 地质概况

### 1.1 区域地质背景

铔厂沟金矿床地处陕西省略阳县郭镇铔厂沟, 西与甘肃省康县毗邻。该矿床位于勉(县)—略(阳)—宁(强)三角地带的西北角, 北距康(县)—略(阳)—勉(县)深大断裂约 4 km。传统观点将其归属秦岭褶皱系南部<sup>[1]</sup>, 张伯声等将其划归秦岭构造结(T<sub>4</sub>C<sub>4</sub>)之南部<sup>[2-3]</sup>。张国伟等将其作为秦岭造山带中与商丹板块缝合带同期并存的第二条缝合带<sup>[4]</sup>。

### 1.2 矿区地质

#### 1.2.1 地层

矿区南部出露的中新元古界碧口群(P<sub>t2-3</sub>bk)和北部出露的下中泥盆统三河口群(D<sub>1-2</sub>sh)以断层(F<sub>3</sub>)为界。碧口群以酸性凝灰岩为主夹基性火

山岩或基性凝灰岩透镜体。三河口群出露两个岩段: 第一岩段分为 3 个岩层, 简称 1a, 1b, 1c; 第二岩段分为 2 个岩层, 简称 2a, 2b。1a 为长石石英杂砂岩和含碳泥质粉砂岩; 1b 为中厚层状结晶灰岩及生物碎屑灰岩; 1c 以凝灰质火山岩为主夹细碧岩和酸性熔岩透镜体; 2a 为石英砂岩、泥质粉砂岩; 2b 为中厚层结晶灰岩和微晶灰岩。

#### 1.2.2 区域韧性剪切带

区域韧性剪切带南到碧口群, 北到 2b 厚层灰岩南部, 宽度大于 2 km, 从北西向南东纵贯矿区, 向西北直达康县金家河一带, 向南东可达略阳郭镇以东, 长度大于 15 km。无论沿走向或顺倾向, 均呈舒缓波状, 倾角 30°~80°, 以 50°~60°多见。韧性剪切带中强变形带和弱变形域呈镶嵌形式, 其长度和宽度各不相同。在局部地区弱变形域的宽度远大于强变形带的宽度<sup>[5]</sup>。在区域韧性剪切带中, 1a 的原岩变质后形成长石石英粗糜棱岩及含碳粉砂质绢云千糜岩; 1b 形成钙质糜棱岩及含生物碎屑钙质糜棱岩; 1c 生成绢云钠长片糜岩等夹细碧岩和酸性熔岩透镜体; 2a 以石英砂岩透镜体和粉砂质

[收稿日期] 2004 09 20

[基金项目] 陕西省黄金管理局科研项目(98-01)

绢云千糜岩为主; 2b 主要为钙质糜棱岩。

区域韧性剪切带经历了右行—左行—右行多期(次)活动。由于矿区地壳不断抬升, 温度逐渐降低, 区域韧性剪切带逐渐演化成韧脆性控矿剪切带和脆性断层。

1.2.3 脆性断层

依据走向, 脆性断层可分为北西西向和北东向。早期北西西向断层面具波状特征, 走向  $270^{\circ} \sim 300^{\circ}$ , 总体向北倾, 局部向南陡倾, 倾角  $50^{\circ} \sim 85^{\circ}$ , 地表出露主要有三河口群与碧口群的分界断层( $F_3$ )和 1b 与 1c 的分界断层( $F_6$ )。此类断层以右行压扭性特征为主。晚期北西西向断层向南倾斜, 倾向  $170^{\circ} \sim 190^{\circ}$ , 倾角  $45^{\circ} \sim 70^{\circ}$ , 以压性特征为主。 $F_7$  是研究区内地表出露最为明显的北东向断层, 它使地层产生平移错位, 断层面西盘向南西平移, 东盘向北东左行平移约 60 m。除此之外, 与其平行、近平行产出的北东向小断层无论在地表还是在各探矿、采矿硐内均可见到。这些断层显示张扭性特征, 断层规模大, 水平、垂直位移量大; 断层规模小, 位移量小。

2 北部韧脆性控矿剪切带

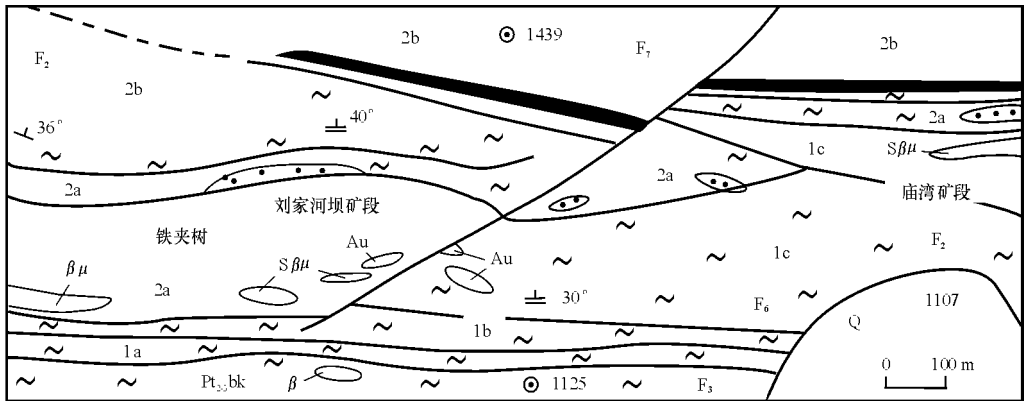
北部韧脆性控矿剪切带西起铁夹树梁, 东达庙湾, 长度大于 1 km(图 1)。剪切带总体呈舒缓波状,

北西—北西西走向, 在地表(1 150 m 标高以上)向北—北东倾斜, 倾角在地表较缓( $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ ), 向深部变陡( $57^{\circ} \sim 86^{\circ}$ ), 沿走向及倾向稳定延伸, 宽度最窄 1 m, 最宽 2 m, 一般约 1.5 m。此控矿剪切带出露于 2b 厚层灰岩下部钙质糜棱岩中, 其中夹有云母石英片糜岩。在地表, 矿体上下盘分别出露宽度不等的弱蚀变钙质糜棱岩和强蚀变钙质糜棱岩(图 2)。

钙质糜棱岩的特征与区域韧性剪切带中此类动力变质岩颇为相似, 不过后期又经历了韧脆性变形。真正的韧脆性控矿剪切带由弱蚀变钙质糜棱岩算起, 蚀变主要有硅化、碳酸盐化和黄铁矿化, 其中金的体积分数一般小于  $1 \times 10^{-6}$ 。强蚀变钙质糜棱岩中方解石体积分数大于 80%, 石英约 5%, 黄铁矿体积分数 3%~5%。大部分方解石为原岩所有, 强烈糜棱岩化, 碎斑体积分数 5%~10%, 碎基约 90%, 可见二次糜棱碎斑。另外, 还有多期呈雁行状排列的方解石脉, 早期为左行, 晚期显右行。黄铁矿主要沿 C 面理集中分布, 多期生成, 早期已糜棱岩化, 晚期也强烈破碎, 大多为立方体, 可见五角十二面体黄铁矿。强蚀变带金质量分数可达  $(1.45 \sim 2.37) \times 10^{-6}$ 。

控矿剪切带内石英光轴岩组图有如下特征:

(1) 石英光轴具小圆环带加极密部形式, 即  $c+g$  型<sup>[6-7]</sup>。



1 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

Q—第四系; 2b—中—下泥盆统三河口群第二岩段第二岩层; 2a—中—下泥盆统三河口群第二岩段第一岩层; 1c—中—下泥盆统三河口群第一岩段第三岩层; 1b—中—下泥盆统三河口群第一岩段第二岩层; 1a—中—下泥盆统三河口群第一岩段第一岩层;  $Pt_{2-3}bk$ —中上元古界碧口群; 1—石英砂岩构造透镜体; 2—细碧岩构造透镜体; 3—蚀变细碧岩构造透镜体; 4—基性岩构造透镜体; 5—韧性剪切带; 6—脆性断层; 7—推测断层; 8—金矿体; 9—北部韧脆性控矿剪切带; 10—地层产状; 11—片理产状; 12—海拔高度

图 1 铔厂沟金矿床北部矿带地质略图

Fig. 1 Geological Sketch Map of North Gold Ore Zone in the Huachanggou Gold Deposit

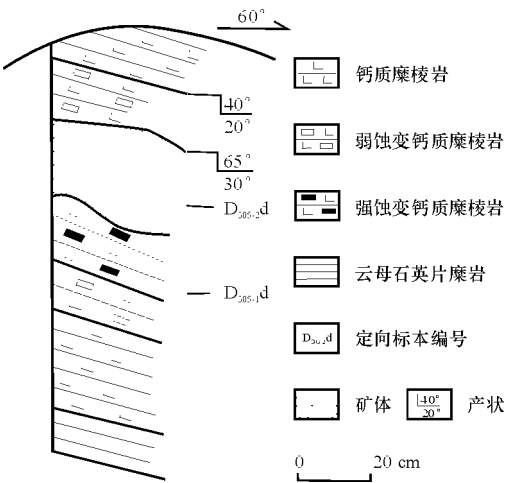
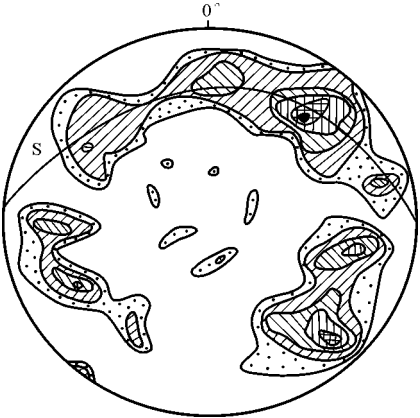


图 2 后沟西梁北部韧性控矿剪切带铅直剖面  
Fig. 2 The Cross Section Showing the North Ore Controlling Ductile Brittle Shear Zone, Hougouxiliang

- (2)小圆环带开角约  $60^{\circ}$ 。
- (3)极密较为分散,但最强极密部位于 S 面压扭部位。
- (4)次级极密部位于 S 面张扭部位。
- (5)  $\sigma_1 \approx 45^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 。

上述特征说明,石英既有底面滑移,又有菱面滑移和柱面滑移,控矿剪切带是在区域韧性剪切带基础上形成,并经历了多期(次)活动,剪切方位也多次变化,但首先在压扭性应力作用下产生,后期还遭受了张扭—压扭—张扭多次转化(图 3)。石英发育镶嵌消光或亚颗粒,常见波状消光、扇状消光、变形条带、变形纹等粒内变形特征。石英亚颗粒大



S—控矿剪切带,石英光轴 200 个, 5.50%~4.50%~3.50%~2.50%~1.50%~1.0%

3 后沟西梁北部控矿剪切带石英光轴岩组图(下半球)  
Fig. 3 Quartz C Fabric Diagram of the North Ore Controlling Ductile Brittle Shear Zone, Hougouxiliang (Lower Semispheres Projection)

小约 0.25 mm(200 个颗粒测量平均),细粒重结晶石英仅在高应变区集中分布,古应力值约 0.072 GPa。方解石应力双晶非常发育,岩组图为 c + g 形式。结合石英、方解石粒内变形特征及岩组图形式等综合分析,控矿剪切带,即区域韧性剪切带演化成韧性控矿剪切带时的形成温度为  $200^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$ 。根据 S-C 面理夹角,北部韧性控矿剪切带以左行剪切为主。

在 1 150 m 标高以下,控矿剪切带与地表 1 200 ~ 1 350 m 出露情况有很多相似之处:

- (1)矿体内发育石英脉和碳酸盐脉。
- (2)矿体呈似层状、透镜状或舒缓波状产出。
- (3)矿体两侧有强蚀变带和弱蚀变带。
- (4)控矿剪切带与钙质糜棱岩已有明显的边界。

但是,认真观测研究后发现,地表与 1 150 m 标高之下的控矿剪切带也有一些明显区别:

- (1)无论是矿体、强蚀变带、弱蚀变带,还是钙质糜棱岩片理,倾角普遍变大,一般大于  $75^{\circ}$ 。
- (2)控矿剪切带产状与钙质糜棱岩或弱蚀变钙质糜棱岩明显不同,不像地表那样二者呈逐渐过渡的关系。
- (3)矿体局部向南陡倾,倾角大于  $80^{\circ}$ 。
- (4)矿体中的石英脉呈似透镜状、雁行状排列。

### 3 北部金矿带地质特征

北部金矿带是笔者同铈厂沟金矿地质技术人员共同发现的一个新矿带,受 2b 下部韧性控矿剪切带控制,其中的矿石以蚀变钙质糜棱岩型和蚀变灰岩型为主。它与蚀变细碧岩型金矿石明显不同<sup>[8,9]</sup>。

#### 3.1 空间展布

北部金矿带产于北部下部韧性控矿剪切带中,其围岩主要为钙质糜棱岩。矿带总体呈舒缓波状,北西西走向,向北北东倾斜,在地表倾角  $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ ,向深部变陡( $57^{\circ} \sim 86^{\circ}$ )。厚度变化较大,最薄 30 cm,最厚 130 cm,一般 60 ~ 70 cm,沿走向和倾向延伸稳定。在地表,该带从铁夹树向东延伸到庙湾,长度大于 1 km。在垂向上,从地表延伸到 1 120 m 标高,未见尖灭的趋势。

#### 3.2 矿石矿物

矿石矿物以自然金、黄铁矿为主,有少量黄铜

矿。表生矿物以褐铁矿为主,亦可见到孔雀石等含铜硫化物的风化产物。脉石矿物体积分数通常占80%以上,主要为石英和碳酸盐类矿物。

黄铁矿是该类岩石中最主要的金属矿物,同时也是最重要的找矿标志之一。其体积分数通常占矿石矿物的95%以上。根据结构特征,可将其分为3种类型:与金矿化关系十分密切且破碎强烈的粗粒黄铁矿;呈团块状和条带状分布的中粒黄铁矿及细粒黄铁矿。粗粒黄铁矿呈亮黄色,自形-半自形粒状结构,立方体和五角十二面体,最大5 mm,一般1~3 mm,呈星点状、团块状分布,强烈破碎,与金矿关系十分密切。中粒黄铁矿呈浅黄色,以半自形粒状结构为主,多为立方体,也可见四角三八面体和五角十二面体,粒径0.2~0.8 mm,呈团块状和条带状分布。细粒黄铁矿为浅黄色,自形-半自形粒状结构,以立方体为主,粒径多小于0.1 mm,呈团块状和条纹状分布。

黄铜矿体积分数较少,一般肉眼很难见到,但在局部富集地段,其体积分数可达5%左右,与黄铁矿一起呈条纹状分布。镜下黄铜矿为铜黄色,细粒他形结构,呈浑圆状、似叶片状、不规则状散布于粗粒黄铁矿晶体之中或充填于其显微裂隙之内,粒径多为0.01~0.1 mm,并常与自然金共生产出。

自然金是该金矿带的主要金属矿物,可见金(明金)和显微金(暗金)两种,显微金是自然金的主要存在形式。根据赋存特点,显微金又分为包体金、晶隙金、裂隙金3种类型。据76粒显微金统计,这3种赋存状态的金以裂隙金为主(47粒,占61.8%),其次为包体金(25粒,占32.9%),而晶隙金最少(4粒,仅占5.3%)。包体金均赋存于粗粒黄铁矿晶体中,它形粒状,多呈浑圆状、纺锤状、不规则状,轮廓比较圆滑,粒径多为0.001~0.04 mm,其形成时间应不晚于载体矿物——粗粒黄铁矿。晶隙金较为少见,主要分布于粗粒黄铁矿粒间及其与石英晶体之间,胶结状态、形态不规则,呈半圆滑、半棱角状特点,形成时代明显晚于主体矿物。裂隙金均产于粗粒黄铁矿中,形态复杂,依裂隙形态而变,有细脉状、网脉状、树枝状、肠状、似叶片状、纺锤状、牛轭状及不规则状等,粒径为0.003~0.05 mm,其形成时代明显晚于粗粒黄铁矿。

### 3.3 矿石结构构造

由于成矿作用的多期多阶段性,北部矿带中矿石的结构、构造比较复杂,主要表现为组构类型的

多样性和不协调性。

从矿物粒度和自形程度分析,不同世代的同一种矿物及同一成矿阶段形成的不同矿物之间均有显著差异,造成矿石中矿物粒度大小混杂和自形程度参差不齐。但总体上,成矿期形成的矿物粒度大,晚期形成的矿物粒度小;黄铁矿的自形程度明显高于石英、黄铜矿、碳酸盐类矿物。

北部矿带中矿石的结构可分为两大类:即溶液的结晶结构和交代结构。结晶结构主要有自形、半自形和他形粒状结构及包含状结构等。前者如乳白色粗粒石英及其中的粗粒黄铁矿,它们是热液成矿期早期直接从成矿热液中结晶出来的。后者主要指黄铁矿包裹自然金(包体金)所构成的结构图案。交代结构是成矿溶液在长期成矿过程中由交代作用形成的各种结构。矿石中交代结构十分发育,有自形粒状结构、半自形-它形粒状结构、浸蚀结构、交代乳滴状结构、交代残余结构、骸晶结构、似文象结构、假象结构、反应边结构等。

北部矿带中矿石的构造类型主要有以下几种:

(1)浸染状构造是成矿热液充填构造裂隙,从热液中直接结晶出来的黄铁矿呈浸染状,分布于同时形成的脉石矿物石英或石英与碳酸盐集合体中,或者是成矿热液沿裂隙交代两侧围岩角砾,在裂隙两侧围岩角砾中形成浸染状分布的黄铁矿,可细分为稠密浸染状和稀疏浸染状构造。

(2)由于成矿作用的多阶段性,使以黄铁矿为主的矿石矿物形成大小不等的团块状、不规则状集合体杂乱无章地分布于围岩角砾及乳白色粗粒石英集合体中而呈斑杂状构造。

(3)角砾状构造是最常见、最醒目的宏观构造之一,主要由热液产物胶结大小不等的围岩角砾和早期粗粒黄铁矿、石英集合体经破碎后被后期热液产物——碳酸盐、石英、黄铁矿集合体胶结所构成。

(4)含矿气水热液沿糜棱面理交代围岩角砾导致黄铁矿与围岩相间排列构成条带状构造。

(5)透镜状构造是新生矿物集合体呈透镜状的一类构造,有粗粒石英、黄铁矿透镜体和中细粒碳酸盐、石英、黄铁矿集合体构成的透镜体,大透镜体的长度大于1 m,小透镜体的长度仅几厘米。

(6)矿石中各类脉状构造十分发育,可将其分为网脉、细脉、微细脉,热液成矿期早期形成的脉体规模大,而晚期形成的脉体规模小。按照形成方式,还可将其分为交代脉体和充填脉体,前者主要

形成于热液成矿期的早期,形状复杂,边界较模糊,而后者主要形成于热液成矿期的晚期,边界平直而分明。若按脉体的成分和矿物结构,又有粗粒石英、黄铁矿脉,中粒碳酸盐、石英、黄铁矿脉,细粒碳酸盐、石英、黄铁矿脉和自然金脉。

(7)以黄铁矿为主的硫化物在地表条件下,经过剧烈的氧化、溶解、淋滤作用,易溶组分被带走后,形成由硅质骨架和褐铁矿构成的多孔状、蜂窝状构造。

### 3.4 成矿期与成矿阶段

根据成矿地质环境、矿带中各种脉体的穿插关系、矿物共生组合及矿石结构构造等特征,北部矿带的形成可划分为热液成矿期和表生成矿期,其中热液期又可分为 3 个成矿阶段。

#### 3.4.1 热液成矿期

黄铁矿-石英阶段主要形成乳白色粗粒致密块状石英(I)和少量粗粒、自形程度较高并呈浸染状分布的黄铁矿(I)。同时,由于强烈的交代作用,黄铁矿(I)也广泛分布于块状石英附近的围岩角砾中。这一阶段是该矿床的重要富金时期之一,镜下见到的所有包体金(I)均产于黄铁矿(I)中。另外,有一部分明金也可能是这一阶段的产物。

石英-多金属硫化物-碳酸盐阶段主要形成呈团块状、脉状分布的粗粒碳酸盐类矿物(Ⅰ)、中粒黄铁矿(Ⅱ)和灰色石英(Ⅱ)以及少量细粒黄铜矿。它们强烈交代第一阶段形成的粗粒黄铁矿(Ⅰ)和石英(Ⅰ)。岩矿鉴定发现,该阶段形成的自然金(Ⅱ)与黄铜矿空间关系极为密切,二者常呈乳滴状产于黄铁矿(Ⅰ)中,这是它们沿微裂隙共同交代黄铁矿(Ⅰ)的结果,因而是该矿带的又一成金时期。

黄铁矿-石英-碳酸盐阶段主要形成细粒黄铁矿(Ⅲ)、细粒碳酸盐类矿物(Ⅱ)以及深灰色石英(Ⅲ)。该阶段产物主要充填在矿带中的细小裂隙中,多呈微细脉状、网脉状及不规则集合体产出,交代作用不发育,说明成矿热液的温度已显著下降,成矿作用已接近尾声。黄铁矿-石英-碳酸盐阶段是该矿带最重要的富金时期,矿石中绝大部分裂隙金和晶隙金都在这一阶段形成。

#### 3.4.2 表生成矿期

表生成矿期的成矿作用发生在氧化带中。当金矿体处于潜水面之上时,在  $H_2O$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$  的作用下,矿带中的大量金属硫化物被氧化、溶解、淋滤,并被地表水及潜水所迁移,最终形成新的矿物组合

及结构构造。原生矿石中的粗粒金可保留在蜂窝状矿石的孔隙中,与褐铁矿等密切共生。

## 4 金的富集规律

### 4.1 金与硫化物的关系

金与硫化物的关系早就引起了地质工作者的极大兴趣<sup>[10]</sup>,人们惊奇地发现,尽管世界上热液金矿床的特征千差万别,但金与硫化物具有十分密切的关系<sup>[11-14]</sup>,铍厂沟金矿床北部金矿带也不例外。

野外调研和室内鉴定发现,原生矿石中绝大部分明金都与黄铁矿有关。它们有的被包裹在黄铁矿(Ⅰ)中,有的产于其附近的乳白色石英(Ⅰ)中。在显微金中,包体金和裂隙金无一例外地产于黄铁矿(Ⅰ)中,晶隙金主要分布于黄铁矿粒间或与其与石英晶体之间。另外,金与黄铜矿在空间和时间上的密切关系反映出二者内在的成因联系。

为什么热液矿床中金与硫化物具有如此密切的关系呢?人们从不同方面,采用不同方法,针对不同矿床进行了大量的理论与实验研究,取得了丰富的研究成果<sup>[15]</sup>。就本矿带而言,裂隙金及晶隙金主要是由于黄铁矿对热液中金离子具有很强的还原作用造成的。而包体金则除了与黄铁矿的还原作用有关外,还与它们沉淀时热液的物理化学条件、各自元素的浓度、二者的结晶能力及结晶速度等因素有关。另一方面,笔者也注意到不同类型黄铁矿的含金性差异极大,这反映出金沉淀对黄铁矿的选择性。就一般规律而言,细粒黄铁矿比粗粒黄铁矿含金性好;晶形复杂(如四角三八面体、五角十二面体及各种聚形)且完好程度差的黄铁矿的含金性好于晶形简单(如立方体)且完好的黄铁矿。而该矿床中几乎所有显微金以及大部分明金都与黄铁矿(Ⅰ)有关,少量明金赋存在石英(Ⅰ)中。到目前为止,尚未在黄铁矿(Ⅱ)和黄铁矿(Ⅲ)中见到任何形式的明金和显微金。仅从明金和显微金来看,该矿带中金与不同特征黄铁矿之间的关系似乎与上述规律相矛盾。这一方面说明金与黄铁矿关系的复杂性和多样性,同时也说明该矿床在形成过程中,还有其他因素控制着金的成矿作用和富集。

### 4.2 金与韧脆性变形的关系

矿石中韧脆性变形十分发育,在野外露头 and 手标本上,韧脆性变形主要表现为石英的压扁、拉长并定向排列。在显微镜下,石英(Ⅰ)中普遍发育波

状消光、亚颗粒、变形纹和变形条带等韧脆性变形特征,而这些特征在石英(Ⅱ)和石英(Ⅲ)中却极少见到。与石英相比,黄铁矿是很难发生韧性变形的矿物。因此,无论是在手标本上还是在显微镜下,黄铁矿中很难见到类似石英的韧脆性变形特征。但在黄铁矿(Ⅰ)中,显微裂隙十分发育。它们要么切穿整个矿物颗粒,但不切割其相邻矿物;要么从矿物颗粒边缘延伸到其内部;有的甚至就发育在矿物颗粒内部;有的呈雁行状排列。沿着这些显微裂隙极少发生位移现象。镜下鉴定表明,它们只发育在黄铁矿(Ⅰ)中,在黄铁矿(Ⅱ)和黄铁矿(Ⅲ)中没有见到类似构造。上述特征说明,这些显微裂隙是典型的韧脆性变形产物,不切穿矿物集合体是它与脆性裂隙的最大区别。可以断定它们一定形成于第一和第二成矿阶段之间,并为后期金的富集创造了条件。需要特别说明的是,由于成矿过程中构造的多次活动,矿石中除了上述典型韧脆性显微裂隙外,脆性裂隙也很发育。它们通常切割矿物集合体,并使之发生位移。黄铁矿(Ⅰ)可被破碎成大小不等的棱角状、不规则粒状,被后期热液产物胶结后形成角砾状构造。这些脆性裂隙与金的关系远不及前者密切。

根据矿石结构构造和裂隙金的赋存特点可以判断,矿石中的裂隙金形成于引起黄铁矿(Ⅰ)和石英(Ⅰ)发生韧脆性变形的构造事件之后,即第二至第三成矿阶段。此时,呈硫氢络阴离子形式迁移的一价金离子随着物理化学条件的变化(通常是温度、压力下降, pH 降低和 Eh 升高)而逐渐变得不稳定,并最终在合适部位沉淀下来。那么金为什么要沉淀在黄铁矿(Ⅰ)中的显微裂隙中,而不像与之共同迁移的黄铁矿、碳酸盐和石英那样充填在更为开放、规模更大的裂隙中呢?就成矿作用的规律性而言,在热液矿床的形成过程中,不同规模的构造裂隙往往起着不同的作用。区域性深大断裂是含矿热液运移的重要通道,但其良好的贯通性并不适宜于成矿物质的大规模沉淀与集中,只有一些小规模矿体或矿化痕迹,如矿化蚀变和浸染矿化。而规模较小的次级裂隙往往是成矿热液中浓度较大的物质(通常以脉石矿物为主)沉淀的场所。众所周知,金是贵金属,无论是其在地壳中的丰度还是在天然热液中的浓度都是很低的,这种构造带仍然无法使金富集。而矿石中由韧脆性变形形成的显微裂隙规模极小,且具有半封闭性(相对于其他裂隙

的贯通性而言),是金富集的理想场所。至于金主要赋存在黄铁矿(Ⅰ)中则是因为在上述 3 个成矿阶段中,只有第一成矿阶段的产物经受了这种韧脆性变形作用,而在黄铁矿(Ⅰ)和石英(Ⅰ)中,只有前者的显微裂隙十分发育,再加上黄铁矿对金强烈的吸附、还原作用,就决定了黄铁矿(Ⅰ)是金的最佳载体矿物。

#### 4.3 金与韧性剪切带的关系

铍厂沟金矿床是一个严格受剪切带控制的矿床。矿床的展布明显受区域性韧性剪切带控制,而具体的富矿部位则受矿区韧脆性控矿剪切带控制。北部控矿剪切带就是其中之一。区域性韧性剪切带只是一个大的导矿构造,以右行剪切为主,并使部分金从矿源层分溢出来,产生第一阶段金的富集。在这个阶段中所形成的金矿只能是与韧性剪切带同生的金矿,金的品位一般不会太高。北部韧脆性控矿剪切带集控矿、导矿、容矿于一身,在经历了左行剪切之后,使金进行第二三阶段的富集。经过这两个阶段后,所形成的金矿才会有较高的品位和较大规模,具有工业开采的价值。后期的右行脆性剪切构造对矿体进行了改造和破坏并对金的富集有一定影响。

### 5 深部预测

勉-略-宁三角地带是中国有名的成矿有利部位之一,各类矿产极为丰富<sup>[19]</sup>。矿区位于加里东褶皱带和华力西褶皱带的结合部位,构造活动强烈,3 条大断裂发育,尤其是中、新元古代和华力西期地壳拉伸,火山喷发,可以将地壳下部的金带入上部。韧性剪切带对金矿的控制作用已引起国内外学者的广泛重视。北部金矿带从地表(1 350 m 标高)至 PD<sub>2</sub> 平硐(1 120 m 标高),西从铁夹树,东至庙湾长度大于 1 km 范围内已被探采工程所证实,金的平均品位大于  $5 \times 10^{-6}$ 。综合分析地质特征和金的富集规律,预测该矿带可稳定延伸至 1 120 m 标高以下一定深度。

### 6 结论

(1) 北部金矿带是笔者同铍厂沟金矿地质人员共同发现的一条新矿带。该带西起铁夹树,东至庙湾,长度大于 1 km,从地表至 1 120 m 标高已被探采工程所证实。

(2) 北部金矿带受北部韧性控矿剪切带控制, 它是铔厂沟金矿床区域韧性剪切带演化的产物, 以左行剪切为主, 后期经历了多期(次)活动。

(3) 金矿的形成富集与控矿剪切带韧性变形密切相关, 经历了韧性变形的早期黄铁矿是金的最佳载体。

### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 陕西省地质矿产局. 陕西省区域地质志[ M ]. 北京: 地质出版社, 1989.
- [ 2 ] 张伯声, 王战, 谢广成, 等. 中国波浪状镶嵌构造图(1 : 500 万)[ M ]. 北京: 地质出版社, 1995.
- [ 3 ] 王战, 吴文奎, 谢广成, 等. 中国地壳的镶嵌构造与波浪运动[ M ]. 北京: 地质出版社, 1996.
- [ 4 ] 张国伟, 柳小明. 关于“中央造山带”几个问题的思考[ J ]. 地球科学: 中国地质大学学报, 1998, 23( 5 ) : 443 - 448.
- [ 5 ] 魏刚锋, 陈新跃, 辛红刚. 铔厂沟金矿床区域韧性剪切带特征[ J ]. 大地构造与成矿学, 2004, 28( 2 ) : 176 - 184.
- [ 6 ] 何永年, 林传勇, 史兰斌. 构造岩石学基础[ M ]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [ 7 ] Tullis J, Yund R A. Experimental deformation of westerly granite[ J ]. Geophysical Res, 1977; 82.
- [ 8 ] 魏刚锋, 姜修道, 刘永华, 等. 铔厂沟金矿床地质特征及控矿因素分析[ J ]. 矿床地质, 2000, 19( 2 ) : 138 - 146.
- [ 9 ] 党明福. 陕西省略阳县铔厂沟金矿床地质特征[ J ]. 陕西地质, 1991, 9( 1 ) : 18 - 30.
- [ 10 ] Barnes H L. 热液矿床地球化学[ M ]. 陈浩琬译. 北京: 地质出版社, 1987.
- [ 11 ] Robert F, Brown A C. A rchaean gold bearing quartz veins at the Sigma Mine, Abitibi greenstone belt[ J ]. Econ Geol, 1986, 81: 578 - 592.
- [ 12 ] Philips G N. Geology and alteration in the golded mile kaol goorlie[ J ]. Econ Geol, 1986, 81: 4.
- [ 13 ] 魏刚锋, 李侠, 张振飞, 等. 小秦岭西南部含铀花岗岩构造及金矿[ M ]. 西安: 西北大学出版社, 1993.
- [ 14 ] 魏刚锋, 张维吉, 王力群, 等. 商州市石英脉型金矿地质特征及找矿方向研究[ J ]. 长安大学学报: 地球科学版, 2003, 25( 3 ) : 24 - 28.
- [ 15 ] 刘志明. 剪切带流体与蚀变和金矿成矿作用[ J ]. 地学前缘, 2001, 8( 4 ) : 271 - 275.
- [ 16 ] 田孟礼. 略阳县志[ M ]. 西安: 陕西人民出版社, 1992.

## Geological Characteristics and Regularity of Gold Enrichment of North Ore Controlling Ductile Shear Zone in Huachanggou Gold Deposit

WEI Gang feng<sup>1</sup>, NIE Jiang tao<sup>1</sup>, XIN Hong gang<sup>2</sup>,

JIANG Xi- dao<sup>1</sup>, ZHANG Zhen guo<sup>3</sup>, YUAN Su cheng<sup>4</sup>

( 1. School of Earth Sciences and Resources Management, Chang' an University, Xi' an 710054, China;

2. Headquarters Changqing Oilfield, Xi' an 710021, China; 3. Shaanxi Bureau of Geology and Mineral

Resources Xi' an 710054, China; 4. The 712 Brigade of Ferrous Metal Survey, Xianyang 712000, Shaanxi, China)

**Abstract:** The regional ductile shear zone is well developed in the Huachanggou gold deposit, and it has gone through multiple activities from right handed earlier to left handed later and then right handed latest. The North ore controlling ductile brittle shear zone, which is the production of the evolution of the regional ductile zone, is located at the bottom of Tiejiashu Miaowan thick bedded limestone. The North gold ore zone, with a length of more than 1 km and a thickness about 70 cm, is controlled by North ore controlling ductile shear zone, and nip out tendency is not found from the surface to 1 120 m level. Pyrite is the most important metallic mineral in it. Natural gold, which includes phaneritic gold and micro gold, is the major gold mineral. And the micro gold can be further divided into indusion gold, interystal porositional gold and fissure gold. The complex ore structure and the sample structural style indicate the tectonic features of hydrothermal deposit. The formation of ore zone can be divided into hydrothermal stage and supergene stage. Most of the phaneritic gold in protogenous ore, and the inclusion gold and fracture gold in micro gold ore are closely related to pyrite. It is clear that pyrite has experienced ductile brittle deformation, and therefore it is the best carrier mineral of gold. Because of multiple activities of North ductile brittle shear zone, the gold ore bodies are enriched. It is predicted that the ore zone may be discovered below the 1 120 m level.

**Key words:** gold ore zone; ductile brittle shear zones of ore controlling; geological characteristics; regularity of gold enrichment; Huachanggou gold deposit; Shaanxi

[ 英文审定: 苏生瑞 ]