

# 南秦岭略阳干河坝金矿床地质地球化学特征

任小华<sup>1,2</sup> 金文洪<sup>2</sup> 王瑞廷<sup>2</sup> 侯俊富<sup>2,3</sup> 钱壮志<sup>1</sup> 刘莉霞<sup>2</sup>

(1. 长安大学, 陕西 西安 710064; 2. 西北有色地质勘查局, 陕西 西安 710054;  
3. 西北大学地质系, 陕西 西安 710068)

**摘要:**干河坝金矿床是秦岭勉县—略阳构造混杂岩带内发现的首例金矿床。矿床形成经历了前勉略洋沉积建造及基底形成阶段、勉略洋盆沉积预富集阶段、秦岭与扬子板块间陆—陆碰撞拼合和造山后派生出构造叠置改造富集阶段。有利的含矿岩系(含Au  $3.66 \times 10^{-9}$ )是金矿形成的物质基础, 韧—脆性递进构造变形作用是金成矿的关键控制因素; 干河坝金矿为两者叠加的重要产物。矿床主成矿期均一温度137~280°C, 具有中—低温热液成矿特征; 早—中成矿阶段成矿流体盐度(NaCl)变化于4.5%~23.1%。硫同位素以富集重硫为特征,  $\delta^{34}\text{S}$ 值为9.91‰~15.45‰, 除火山成因硫强烈分馏外, 还有大量沉积岩系地壳硫的加入, 显示后期地质改造强烈的成矿作用特点。金呈显微细粒的独立矿物, 成矿元素组合为Au—Ag—As—Sb—Cu—Pb—Zn, 显示蚀变构造岩外貌的类卡林型金矿床地质特征。

**关键词:**勉—略缝合带; 韧—脆性递进构造; 矿床地质与地球化学; 类卡林型金矿床; 干河坝; 秦岭造山带

**中图分类号:** P618.51      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-3657(2007)05-0878-09

干河坝金矿床是近几年在南秦岭南段勉县—略阳(简称勉—略)缝合构造带中发现的一例微细浸染型金矿床。金矿所赋存的勉—略缝合构造带贯穿陕甘川接壤地区, 又是扬子板块、秦岭地块及松潘地块的构造分界线, 该金矿的勘查成功, 不但丰富了勉—略缝合构造带的地质内容, 而且拓展了陕甘川“西北金三角”找矿的思路并扩展了找矿的方向。

20世纪末期, 随着对秦岭造山带基础地质研究的深入, 厘定出勉略缝合构造带, 它是阿尔卑斯—喜马拉雅古特提斯巨型构造带北部分支, 在扬子板块北缘叠加的扩张裂解体制下演化出来的有限古洋盆, 东起高川—石泉, 经勉县—略阳—康县—文县, 向西北与东昆仑阿尼玛卿缝合带相连, 经历了复杂的裂解与拼合碰撞过程, 由非史密斯地层类型, 现今表现为一巨型复合逆冲推覆构造带<sup>[1-4]</sup>, 干河坝金矿床即位于勉略缝合构造带中部略阳—康县地段(图1)。笔者就该金矿床产出地质背景、矿床地质与地球化学特征及成矿作用展开讨论。

## 1 研究区大地构造位置与地质构造演化

前已述及, 矿床处于勉略带中部(略阳—康县)缝合带内, 勉略缝合带经历了复杂的裂解和拼合碰撞过程, 现今地层发生了强烈的非史密斯化, 由前勉略洋阶段(晚古生代

前)、勉略洋阶段(晚古生代—中生代早期)和碰撞阶段及陆内造山或造山后阶段(中—晚三叠世及其以后)组成<sup>[5]</sup>。

(1)前勉略洋阶段沉积建造及基底包括: 新太古代鱼洞子岩群、碧口岩群及震旦纪和下古生代沉积建造组成, 后期造山活动使它们成为勉略缝合带中外来岩片。干河坝金矿区发育下古生界金家河及震旦纪外来岩片, 主要岩性有: 白云岩、含砾白云岩、含炭硅质岩、硅质板岩、千枚岩等。含炭硅质岩、硅质板岩受剪切构造千枚岩包裹, 干河坝金矿体即赋存于金家河外来岩片后期叠加剪切构造带中。

(2)勉略洋阶段包括: ①D<sub>1</sub>—C<sub>1</sub>裂解扩张出现小洋盆阶段, 研究区出现由踏波群(D<sub>1-2</sub>)、荷叶坝组(D<sub>3</sub>)及略阳群(C)组合的踏波岩片, 不整合于下伏碧口群上, 具有近基底附近特点的原地重力流沉积岩片; 朱家山岩片包括郭镇组和钠长片岩组, 主要由绢云石英千枚岩、粉砂质板岩夹薄层细晶灰岩组成, 为陆源碎屑岩及碳酸盐岩。②C<sub>1</sub>—P<sub>1</sub>扩张与俯冲共存阶段, 研究区内代表的三岔子岩片组成复杂, 既有深水硅质岩、碳酸盐岩, 又有洋幔及岛弧火山岩产物, 由超镁铁质岩—堆晶岩—辉绿岩—火山熔岩—放射虫硅质岩组成的蛇绿混杂岩, 属于勉略缝合带中的一部分。根据硅质岩中发现早石炭世放射虫, 该混杂岩片地质时代可初步确定为早石炭世。乔子沟岩片由绿泥钠长片岩、绿帘钠长片岩和绢云石英钠长片

收稿日期: 2007-06-22; 改回日期: 2007-07-23

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目(199910200211)资助。

作者简介: 任小华, 男, 1957年生, 博士生, 教授级高级工程师, 从事地质勘查研究与管理; E-mail: Ren\_xh99@163.com。

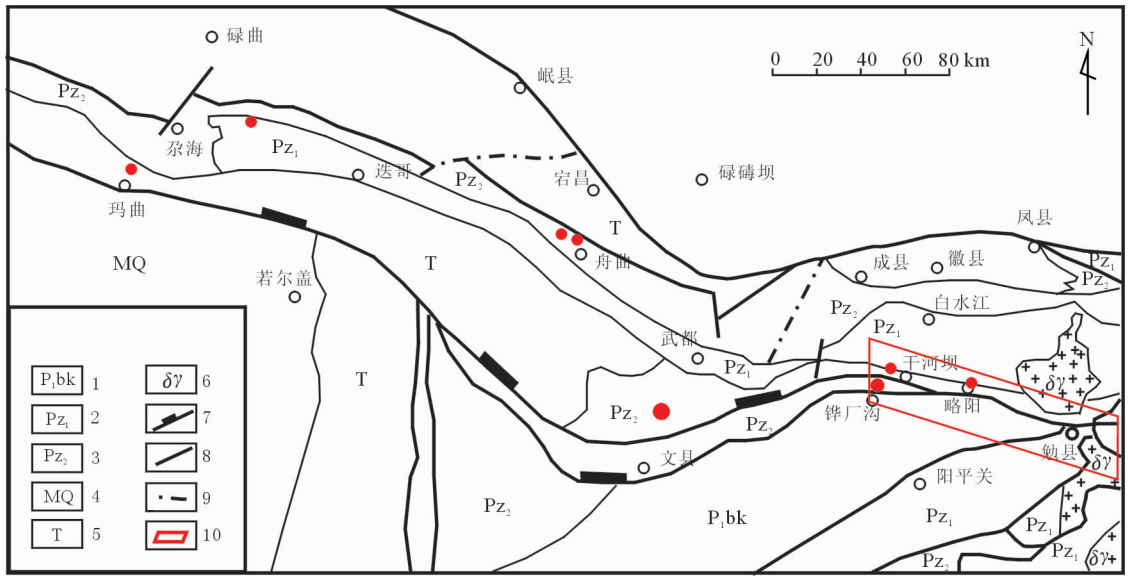


图1 勉略康构造带西段地质构造略图

1—前寒武纪基底;2—亚基底构造层(下古生界);3—晚古生代构造层;4—中生代构造层;5—三叠纪构造层;  
6—中酸性侵入岩类;7—板块主缝合带;8—断裂;9—推测断裂和隐伏断裂;10—研究范围

Fig.1 Tectonic sketch map of the western segment of the Mianluekang tectonic belt

1—Precambrian basement;2—Early Paleozoic sub-basement structural layer;3—Late Paleozoic structural layer;  
4—Meso-Cenozoic structural layer;5—Triassic structural layer;6—Intermediate-acid intrusive rocks;7—Main suture zone of plates;  
8—Fault;9—Inferred fault and concealed fault;10—Study area

岩组成。岩石学及岩石地球化学特征表明原岩(安山岩和英安岩)为不成熟岛弧火山岩。③T<sub>1-2</sub>俯冲阶段,研究区发生多幕陆内裂谷作用,西秦岭裂陷槽南侧及勉略带中前期大陆边缘盆地浅海碳酸盐岩沉积环境遭到了改变,强烈的沉降充填了一套巨厚的复理石建造,在区域上局部出现典型的沟-弧-盆体系。

(3)碰撞阶段及陆内造山或造山后阶段:在勉略洋的形成与发展并产生以上沉积建造外,在垂直造山带方向的区域应力场作用下,发生区域性褶皱逆冲-隆起,沿勉略带北侧发育中酸性侵入岩:迷坝、新院、姜家坪、光头山、火烧店、五龙等岩体,有闪长岩和斜切闪长岩带的花岗岩两部分。迷坝岩体黑云母K-Ar测年统计表明年龄为244~206 Ma、锆石U-Pb年龄为220~206 Ma,为印支期俯冲型花岗岩<sup>[9]</sup>。五龙、姜家坪、光头山岩体年龄为202 Ma<sup>[6]</sup>,属同碰撞型花岗岩。T<sub>3</sub>主造山碰撞阶段形成褶皱逆冲推覆构造,同时T<sub>3</sub>-K<sub>1</sub>期间出现岩石圈地幔拆沉和扬子北缘前陆盆地逆冲-推覆构造;晚造山期包括J<sub>1</sub>-K<sub>1</sub>斜向陆内碰撞阶段出现楔入-挤出-走滑构造,既是勉略混杂岩带形成主要机制,又是控矿构造活动引发的成矿作用时期,最终导致干河坝金矿形成。

## 2 矿区地层

### 2.1 相公山岩块(Zx)

该岩块主要呈由厚层白云岩、大理岩组成的“飞来峰”构造岩块,零星分布于矿区中部,与下覆岩层以低角度逆掩断层相接触,多发生碎裂或重结晶,具碳酸盐台地沉积特点。

### 2.2 金家河岩片(ε-S jj)

为一套强烈变形的基质带内夹有发育的白云岩、大理岩透镜体(Zx)和强剪切基质带组成,分布于矿区中部F<sub>1</sub>-F<sub>3</sub>断裂之间,走向近东西、倾向北北东展布,局部南倾。主要岩性有:白云岩、含砾白云岩呈大小不一的构造残留体漂浮山顶,或呈褶皱式透镜体的弱应变域被炭硅质强剪切基质包绕,基质为含炭硅质岩、硅质板岩及含炭千糜岩等。岩石组合表明,沉积早期以陆源碎屑沉积为主,晚期则以深水碳酸盐岩及硅质岩为主,硅质岩层反映该区曾一度出现局部范围的深海裂陷或裂谷环境。

### 2.3 乔子沟岩片(D<sub>1</sub>q)

夹持于F<sub>3</sub>、F<sub>5</sub>逆冲断层之间,剪切地层倾向5~25°,倾角60~70°,绿泥绢云(石英)千枚岩,绢云千枚岩、绢云石英片

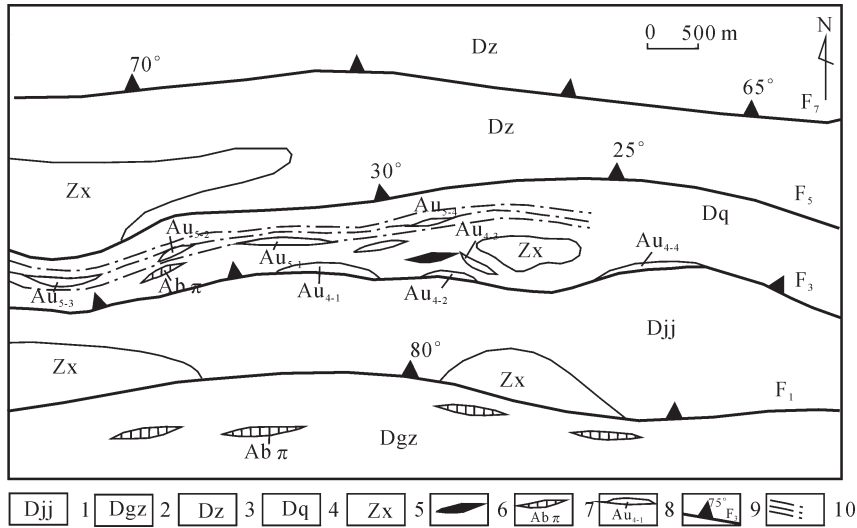


图2 干河坝金矿床地质简图

1—金家河岩片;2—郭镇岩片;3—朱家山岩片;4—乔子沟岩片;5—相公山岩块;6—超基性岩块;7—钠长斑岩脉;  
8—金矿体及其编号;9—逆冲推覆构造及产状;10—韧性剪切带

Fig. 2. Geological sketch map of the geology of the Ganheba gold deposit

1—Sifangba sheet;2—Guozhen sheet;3—Zhujiashan sheet;4—Jinjiage sheet;5—Xianggongshan block;6—Ultramafic mass;  
7—Albitophyre dike;8—Gold orebody and its number;9—Thrust nappe structure and its attitude;10—Ductile shear zone

岩、绢云钠长片岩局部绿帘绿泥钠长片岩。岩石学及岩石地球化学特征表明原岩为不成熟岛弧火山岩(安山岩—英安岩)产物<sup>①</sup>;对326件地层样品分析含Au为 $3.66 \times 10^{-9}$ (西北有色地勘局711总队),该岩性构造带为Au-4、Au-5矿体的赋存部位。

### 2.4 郭镇岩片(Dgz)

呈近东西向分布于矿区南部,主要由灰黑绢云石英千枚岩、粉砂质板岩夹薄层细晶灰岩组成,区域上岩性稳定,原岩显示陆缘碎屑岩沉积环境。

上述地层勉略带中分别组成4个构造地层岩片,各地层单元间以韧—脆性断裂构造接触,含矿岩层主要集中在 $F_3$ 、 $F_5$ 限定的强变形带中,由乔子沟岩片变质中酸性火山岩系组成强剪切基质带,其中混杂有相公山白云岩块“飞来峰”和三岔子组蛇纹岩块,显示带内构造活动强烈,岩块构造位移距离大,乔子沟中酸性火山岩系强剪切基质带最有利的控矿构造和岩性,Au-5和Au-4矿体的即赋存其中(图2)。

## 3 矿区构造

### 3.1 总体特征

矿区主体构造线方向呈NW向与区域构造特征一致,由不同时期、不同岩石组合的构造岩片以韧—脆性构造相互叠置拼接一起。由于勉略带晚古生代早期裂解开始,发育近距沉积(踏波岩组)、深海(三岔子岩组)、洋幔及岛弧(乔子沟岩组)产物。具有活动期次多、性质及构造样式复杂等特点。被构造所卷入的地层有原地和异地之分,震旦系相公山岩块、早古生代金家河岩片、下泥盆统郭镇岩片和乔子沟岩片等,各岩片接触均为强变形—多阶段活动的韧—脆性剪切构造。

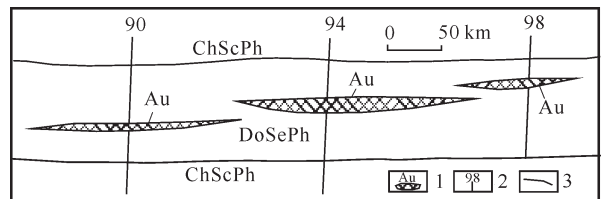


图3 干河坝金矿床矿体雁行排列示意图

ChScPh—绿泥绢云母千枚岩;DoSePh—碳酸盐化绢云母千枚岩;  
1—金矿体;2—勘探线及其编号;3—断层带

Fig.3 Echelon arrangement of orebodies in the Ganheba gold deposit

ChSePh—chlorite-sericite phyllite;DoSePh—carbonate-sericite phyllite;1—Gold ore deposit;2—Exploratory line and its number; 3—Fault zone

### 3.2 断裂构造

矿区断裂具有代表性的为 $F_1$ 、 $F_3$ 、 $F_5$ 和 $F_7$ 等。它们具有韧—脆性质、多阶段活动特点。早期经历伸展构造机制下的层间滑脱,晚期又受到区域挤压构造机制下的逆冲、走滑构造作用。 $F_3$ 断裂在伸展机制下,切割较深伴随超基性岩浆冷侵入。该构造带对成矿十分有利。

F<sub>3</sub>主控矿初脆性剪切带长约8 km,宽300~400 m,倾向NE、NNE,倾角70~80°,具左行逆冲断裂特点(图3),上盘含绿泥绢云千枚岩、绢云石英片岩和挤压褶皱、片理化发育的绢云钠长片岩,下盘刚性岩层边部发生片理化,Au-5、Au-4矿体即产于该构造接触带部位。

### 3.3 断裂与成矿关系

F<sub>3</sub>主控矿初-脆性构造作用阶段特点是,使含矿岩层在主构造带及其平行次级断裂带中,以S<sub>1</sub>面理为基础,发生S<sub>2</sub>非透入性面理置换,不同尺度被拉断的岩性-岩层构造透视镜体、扁豆体发育,普遍出现S-C结构、S<sub>3</sub>透入性面理等变形形迹(图4)。该早期构造使岩石中造岩组分近距离分异,形成绢云母化-铁碳酸盐化-硅化及含重结晶黄铁矿等退变变形条带,矿化元素有机会活化迁移,原生晕统计表明,Au等成矿元素含量升高约10倍;随着构造的持续活动、加强与叠加,含少量初始变质热液的构造改造热液逐渐富集,并反复在构造带内萃取成矿物质,随着早中、中-晚期阶段含矿热液沿构造带上升,物理化学条件的变化,致使矿质分解卸载,在初脆性扩容空间沉淀成矿,形成微细浸染型、微细脉浸染型及细脉型矿化矿石。

## 4 矿床地质

依据矿化、蚀变和异常特征,在矿区确定出了南、北、中3个矿化蚀变(异常)带,分别受F<sub>1</sub>、F<sub>3</sub>、F<sub>5</sub>和F<sub>7</sub>断裂控制,主要工业矿体集中在中带,空间上分布于矿区中部金家河千枚岩上岩段与乔子沟火山岩岩组岩段F<sub>3</sub>构造接触带及F<sub>3</sub>断裂北侧的次级平行断裂构造中。该矿化蚀变带由IV号矿化蚀变带和V号矿化蚀变带2个亚带组成。

### 4.1 IV号矿化蚀变带

即为F<sub>3</sub>断裂的剪切构造带,发育于F<sub>3</sub>断裂以北,宽30~600 m,长度大于7 km,走向260~310°,倾向350~40°,倾角40~80°。带

内以绢云母千枚岩为主要剪切基质,其间夹杂有大大小小的外来逆冲推覆岩块,并有超基性岩侵入。其间小褶皱发育,面理置换现象普遍,发育铁碳酸盐化、黄铁矿化、绢云母化和硅化蚀变。已发现Au4-1、Au4-2、Au4-3、Au4-4、Au4-5共5条金矿体,其中Au4-1号矿体规模最大。

### 4.2 V号矿化蚀变带

位于Au4号矿化蚀变带北侧100~150 m处,受与F<sub>3</sub>断裂平行分布的次级断裂控制,长度大于2 km,分布于108线以西,

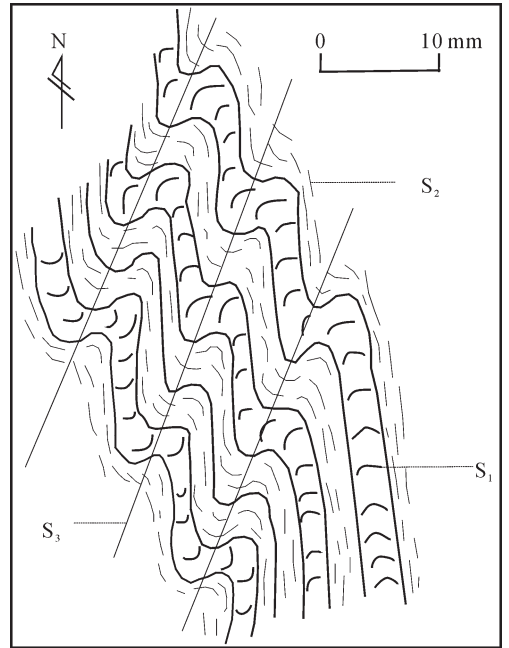


图 4 干河坝金矿床 3 期面理置换素描图  
Fig.4 Sketch map of the third stage foliation replacement outcrop

表1 干河坝金矿矿体主要特征

Table 1 Summary of the main features of orebodies in the Ganheba gold deposit

| 矿体编号  | 规模 (m) |           |      | 产状                   | 品位变化 (10 <sup>-6</sup> ) | 容矿围岩               | 矿化蚀变               |
|-------|--------|-----------|------|----------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|
|       | 长度     | 水平厚       | 平均厚度 |                      |                          |                    |                    |
| Au5   | 700    | 1~6.5     | 1.98 | 350°~10°<br>∠60°~80° | 1~40.2, 平均 5.5           | 乔子沟变质变形火山岩绿泥绢云母千枚岩 | 绢云母化、铁碳酸盐化、硅化、黄铁矿化 |
| Au5-1 | 124    | 11.3      | 11.3 | 10°~40°<br>∠50°~80°  | 平均 3.99 最高 24.25         |                    |                    |
| Au5-2 | 50     | 0.5~1.9   |      | 185°~21°<br>∠80°~87° | 1.80~6.08, 平均 5.41       |                    |                    |
| Au4-1 | 100    | 0.88~4.88 |      | 350°~10°<br>∠50°~70° | 1~13.8, 平均 3.87          | 金家河千枚岩上岩段<br>硅化白云岩 | 绢云母化、硅化、黄铁矿化       |
| Au4-2 | 200    | 0.88~1.59 |      | 10°∠70°              | 2.55~4.09 平均 3.18        |                    |                    |
| Au4-3 |        | 0.9~1.02  |      | 30°∠75°              | 1.94~5.60, 平均 2.91       |                    |                    |
| Au4-4 | >600   |           | 2.81 | 5°~10°<br>∠60°~80°   | 1~3.68, 平均 2.29          |                    |                    |



宽度30~50 m,走向260~280°,倾向350~10°,倾角60~80°。该带产于含绿泥绢云母千枚岩中,带内以绢云母千枚岩为主要剪切基质,揉皱、面理置换现象普遍。常发育黄铁矿-毒砂化、硅化和绢云母化蚀变,其中已发现的Au5-1号矿体是详查工作的主要对象。

### 4.3 矿化蚀变岩石学特征

(1)铁碳酸盐化绢云母千枚岩:分布于IV号矿化蚀变带内,灰白色—浅褐色,鳞片变晶结构,千枚状构造,矿物成分主要有:①绢云母(55%~65%),鳞片状半平行排列,为原岩泥质变质变形重结晶所致。②石英(3%~5%),他形不等粒状,粒径为0.1~1.3 mm,长轴与片理方向一致,为原岩粉砂-细砂聚合、重结晶形成,微粒条带集合体-细脉状,为韧脆性变形硅化产物,含量15%~30%,与黄铁矿化密切;③钠长石(2%),呈他形细粒状、半自形板状,有少量副矿物磷灰石出现。④铁方解石(10%),呈自形-半自形粒状、不规则细脉状,氧化后呈褐色或流失成空洞;⑤黄铁矿(2%~4%),多褐铁矿化中心仅存残留,呈微细脉-星点浸染状分布。⑥毒砂(0.5%),微细柱状,与黄铁矿呈微细脉-浸染状分布,两者密切共生组成主要载金矿物组合。⑦褐铁矿多为铁碳酸盐矿物及黄铁矿假象,含量随蚀变及氧化程度变化。

(2)黄铁矿化绢云母千枚岩:是V号矿化蚀变带组成岩石,在IV号矿化蚀变带内产于铁碳酸盐化绢云母千枚岩中,以硅化、强黄铁矿化为特征,是主要的赋矿岩石。①绢云母(40%~60%)鳞片状半定向排列;②石英(20%~40%),微晶及细

粒状,粒径为0.01~0.1 mm,呈条带状聚晶及细网脉状分布,显然由变质变形重结晶和热液石英组成。③黄铁矿(1%~3.5%),多为半自形五角十二面体,稀疏浸染状分布。④毒砂(1%),细针柱状,与黄铁矿密切共生,两者为主要载金矿物。⑤褐铁矿呈细粒状、粉尘状、细脉状分布于其他矿物粒间及节理、裂隙中,含量10%~25%。

(3)含炭钙质绢云母千枚岩:分布于IV号矿化蚀变带内,产于白云岩边部,呈灰黑色,鳞片变晶结构,千枚状构造,成分主要为绢云母、白云石及少量炭质组成,局部见有金矿化。

(4)硅化白云岩:分布于IV号矿化蚀变带内,呈透镜状分布,灰黑色,他形粒状结构,块状碎裂-角砾状构造;硅化石英、黄铁矿、辉锑矿及少量绢云母、闪锌矿、方铅矿、方解石组成充填细脉,脉体边部与白云岩围岩均轻度片理化,有绢云母化、蛇纹石化蚀变出现,Au-4号矿(化)体赋存其中。

### 4.4 矿体特征

干河坝金矿床于中矿带勘查出IV号和V号两个矿化蚀变带,分别由7个矿体组成,其中Au5、Au5-1、Au4-1、Au4-2矿体相对规模较大,各矿体地质特征如表1。

## 5 矿床地球化学特征

### 5.1 矿化带化探剖面成矿元素组合特征

对矿区V号矿化蚀变带金及相关微量元素进行统计,发现Au与Ag、As、Sb呈明显正相关关系,由两侧围岩向矿体相关微量元素含量逐渐增高(图5),显示干河坝金矿床地球化学

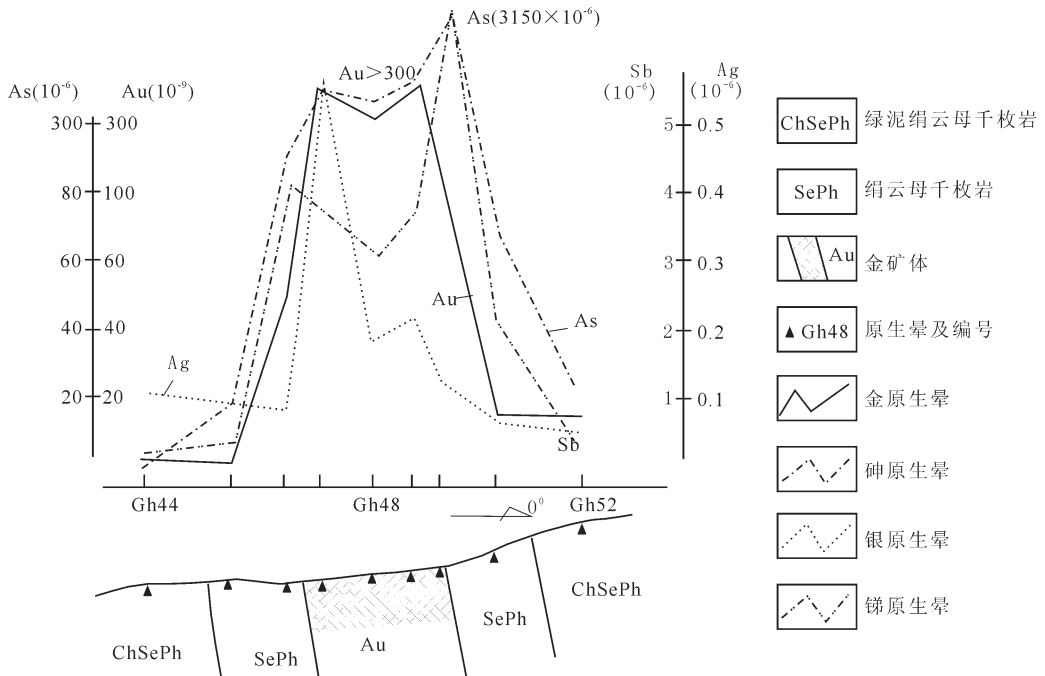


图5 略阳县干河坝金矿地化剖面图

Fig.5 Geological-geochemical section of the Ganheba gold deposit, Lueyang County

异常组合同卡林型金矿成矿元素组合具有相似特点。

5.2 矿石中金属硫化物矿物微量元素特征

矿石学研究得出,与成矿有关的载金矿物有黄铁矿、毒砂和石英等,其特征与成矿关系密切。

五角十二面体他形、半自形微细粒晶黄铁矿,粒径为 0.02~0.3 mm,个别达 0.5 mm,稀疏浸染状分布于石英细脉中,含量 5%左右;显微镜下未见含砷黄铁矿增生环带构造,单矿物分析含金  $11.6 \times 10^{-6} \sim 506 \times 10^{-6}$  (4 件),平均含金  $171.9 \times 10^{-6}$  (表 2),是重要的载金矿物。

毒砂呈自形一半自形柱状,粒径 0.005 mm×0.01 mm~0.03 mm×0.15 mm,与硅化石英、黄铁矿组成不均匀浸染体,呈微细脉状、浸染状分布,含量 5%~7%,不同类型矿石中,均含有毒砂,电子探针分析其含金 0.05%,亦是金的主要载体矿物。

从表 2 电子探针分析结果可见,不同类型黄铁矿、毒砂中普遍含有微量 Ni、Co、Cr、Cu 元素(表 3),显然与含火山物质的容矿岩系存在某种联系。电子探针分析证实半自形、自形粒状黄铁矿含有 Au,且含少量 As;微细柱粒状毒砂 Au 含量也较高(表 2),表明含金-硫氢络合物热液对 Au 富集的重要作

用,另一方面也表明 Au 主要赋存于黄铁矿及毒砂中。

5.3 金的赋存状态

5.3.1 自然金的嵌布状态

根据矿石学研究,矿石中以独立自然金形式存在,原生矿石中金以黄铁矿、毒砂、石英粒间金、包裹金、裂隙金形式存在。根据 116 粒自然金矿物赋存状态统计,粒间金占 64.52%,包裹金占 34.56%,裂隙金较少为 0.92%,且与黄铁矿关系最为密切。

自然金在矿石中嵌布形式与形态多样,以浑圆状和菱角状为主,其次是枝叉状等。自然金粒度较细,显微金为主占 67.49%,其次细粒金占 32.51%。在显微金中,0.01~0.02 mm 粒级占 43.89%,0.005~0.01 mm 粒级占 22.35%。矿床中金以显微独立矿物存在,又非典型卡林型金矿所有,而与类卡林型金矿相似。

5.4 流体包裹体特征

对矿石硅化石英中流体包裹体进行研究,以纯液态包裹体为主,其次液相包裹体,气液比 0.1%~10%;少量气相包裹体气液比一般 50%~75%;多相包裹体含子晶包体、含液态 CO<sub>2</sub> 包

表 2 干河坝金矿床矿石中黄铁矿微量元素含量

Table 2 Trace element contents in pyrite in ore of the Ganheba gold deposit

| 样号     | 分析结果 |       |       |     |       |       |     |     |     |     |      |      |
|--------|------|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-----|-----|-----|------|------|
|        | Au   | Ag    | As    | Sb  | S     | Fe    | Cu  | Pb  | Ni  | Co  | Se   | Te   |
| G6065  | 506  | 19.61 | 13.67 | 563 | 42.96 | 41.96 | 690 | 384 | 416 | 90  | 0.48 | 0.16 |
| B94-3  | 146  | 7.45  | 6.51  | 373 | 46.46 | 43.89 | 706 | 410 | 522 | 82  | 0.98 | 0.19 |
| 98CM-3 | 24.3 | 2.28  | 3.65  | 587 | 45.78 | 43.86 | 800 | 201 | 606 | 116 | 0.78 | 0.32 |
| B103-2 | 11.6 | 1.42  | 13.4  | 34  | 47.80 | 42.58 | 255 | 28  | 264 | 86  | 108  | 0.27 |

注:由宜昌地质研究所测定,S、Fe、As 的单位为%,其他的为 10<sup>-6</sup>。

表 3 干河坝金矿床黄铁矿、毒砂电子探针分析结果

Table 3 Microprobe analysis of pyrite and arsenopyrite in the Ganheba gold deposit

| 样号     | 矿物 | 形态   | 分析结果(%) |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|--------|----|------|---------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
|        |    |      | Zn      | Cr   | Ni   | Co   | Cu   | As   | Au   | Ag   | Fe    | S     |
| B94-3  | 黄  | 次圆状  | 0.09    | 0.03 | 0.18 | 0.03 | 0.25 | 0.63 | 0.10 | 0.00 | 45.01 | 53.98 |
| B94-3  | 铁  | 立方体  | 0.03    | 0.00 | 0.03 | 0.06 | 0.00 | 0.76 | 0.00 | 0.00 | 45.68 | 52.74 |
| B94-3  | 毒砂 | 针状   | 0.00    | 0.00 | 0.02 | 0.08 | 0.02 | 36.0 | 0.05 | 0.00 | 35.85 | 27.24 |
| B94-4  |    | 长方形  | 0.05    | 0.03 | 0.02 | 0.06 | 0.01 | 0.65 | 0.29 | 0.00 | 47.04 | 52.00 |
| B103-4 | 黄  | 立方体  | 0.13    | 0.02 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.12 | 0.00 | 0.01 | 45.92 | 53.98 |
| B103-4 | 铁  | 他形粒状 | 0.05    | 0.01 | 0.01 | 0.07 | 0.06 | 0.13 | 0.18 | 0.00 | 45.42 | 53.34 |
| B103-5 | 矿  | 次圆状  | 0.02    | 0.01 | 0.13 | 0.05 | 0.00 | 0.40 | 0.00 | 0.00 | 45.81 | 53.48 |
| B103-5 |    | 他形粒状 | 0.06    | 0.08 | 0.15 | 0.03 | 0.05 | 0.23 | 0.06 | 0.00 | 45.52 | 53.89 |

注:由西安地质矿产研究所测定。

表4 干河坝金矿床Au5矿体矿石中自然金电子探针分析成果  
Table 4 Microprobe analysis of native gold in ore of the Au5# orebody in the Ganheba gold deposit

| 样品<br>编号 | 矿物<br>形态 | 分析结果(%) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        |
|----------|----------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
|          |          | Au      | Ag   | Fe   | S    | Cu   | Cr   | Co   | Ni   | Sb   | Hg   | Σ      |
| b98-3    | 麦粒状      | 95.37   | 2.29 | 2.33 | 0.00 | 0.00 | 0.09 | 0.00 | 0.02 | 0.18 | 0.00 | 100.59 |
| B99      | 树叉状      | 95.46   | 3.71 | 0.65 | 0.22 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.08 | 0.22 | 0.00 | 100.55 |

注:由西安地质矿产研究所测定。

体。包裹体均一温度测定表明,矿化早期阶段石英包裹体均一温度较高,为245~510℃,中期阶段均一温度147~277℃,晚期阶段均一温度为113~237℃。矿石中金品位与均一温度存在明显相关性,金矿化的最佳区间为137~280℃。早—中成矿阶段盐度较高,可见含石盐子晶包裹体,盐度(NaCl)变化范围一般为4.5%~23.1%,密度1.05~1.175g/cm<sup>3</sup>,早期及晚期阶段盐度(NaCl)为0.8%~11.1%,密度较低,为0.55~1.09 g/cm<sup>3</sup>。

流体包裹体成分以富Ca、Al、Mg、Fe、Ti、Si、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>为特征,含少量Mn、Na、K、Au、Ag、S、Cl等成分。流体pH值范围7.6~11.28,具中、偏碱性性质,且Au品位随pH值增加而具增加趋势,由早期→中期→晚期阶段,酸度由高→低→高的变化趋势,表明金的沉淀是在弱中等碱性环境中发生。金矿化由早期→中期→晚期,矿化流体的Eh表现由弱氧化→弱至中等还原→弱还原变化的趋势,表明金富集沉淀是在弱中等还原环境中进行。

黄铁矿的δ<sup>34</sup>S值变化于9.91‰~15.45‰,极差5.54‰,平均13.42‰,以富集重硫为特点,显示后期构造地质改造强烈的成矿作用特点,除火山成因硫强烈分馏外,还有大量沉积岩系地壳硫的加入,使矿石热液金属硫化物δ<sup>34</sup>S富集重硫。

## 6 结 论

综上所述,干河坝金矿床的形成与前勉略洋阶段沉积建造、勉略洋阶段、碰撞阶段及陆内造山或造山后阶段形成发展密不可分。前勉略洋阶段沉积建造混入勉略带,更加复杂了现今勉略带构造带的式样,勉略洋阶段含矿岩系的形成为矿床奠定了物质基础,碰撞阶段及造山后阶段成为矿床形成的关键时期并构建了成矿作用演化过程。

(1)干河坝金矿床是秦岭南缘缝合带——勉略构造混杂岩带发现的首例金矿床。金矿床位于两板块对接带上,成矿过程与其区域构造演化密切相关,经历了前勉略洋阶段沉积建造、勉略洋阶段、碰撞阶段及陆内造山或造山后阶段早期伸展拉张、俯冲期深构造层次的剪切变形及变质以及碰撞期逆冲推覆的动力学转换与耦合过程,多期多阶段矿化与叠加改造成矿是矿床的基本特点。

(2)含矿岩系为一套与裂隙—洋盆环境和陆—陆碰撞造山混杂岩带,含矿性好的下古生界(乔子沟岩片)轻度变质火

山—沉积岩系,含金为3.66×10<sup>-9</sup>,叠加于有利含矿岩系上的韧—脆性剪切构造是陆—陆板块碰撞造山作用派生的产物,发育S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub>面理置换,S<sub>3</sub>透入性片理,不同尺度被拉断的岩性—岩层构造透镜体、扁豆体发育,普遍出现S—C组构,韧—脆性递进构造变形作用过程是金成矿的关键控制因素,属于与含矿岩系形成的共同矿化产物。

(3)对矿化蚀变石英矿物包裹体研究,矿化流体包裹体反映的主成矿期均一温度137~280℃,具有中—低温热液成矿特征;早—中成矿阶段成矿流体盐度(NaCl)为4.5%~23.1%,密度1.05~1.175 g/cm<sup>3</sup>,早期及晚期阶段盐度(NaCl)为0.8%~11.1%,密度0.55~1.09 g/cm<sup>3</sup>。

(4)矿石中黄铁矿硫同位素以富集重硫,显示后期构造地质改造强烈的成矿作用特点,除火山成因硫强烈分馏外,还有大量沉积岩系地壳硫的加入,使矿石热液金属硫化物δ<sup>34</sup>S富集重硫。

(5)矿床赋存于晚古生代火山—沉积岩系中,受韧脆性剪切构造控制和热液活动的改造,矿化呈现微细浸染型外貌特征;主要由黄铁矿、毒砂、辉锑矿、石英、白云石及方解石组成矿化蚀变矿物组合;金呈显微细粒的独立矿物,成矿元素组合Au—Ag—As—Sb—Cu—Pb—Zn;与阳山卡林—类卡林浸染复合型金矿同一矿带,显示蚀变构造岩外貌的类卡林型金矿床地质的基本特征。

## 参考文献(References):

- [1] 张国伟,孟庆任,赖绍聪.秦岭造山带的结构构造[J].中国科学(B辑),1995,25(9):994—1003.  
Zhang Guowei, Meng Qingren, Lai Shaocong. The Structural Tectonics of Qinling Orogenic belt [J]. Science in China Series(B), 1995, 25(9):994—1003(in Chinese).
- [2] 张国伟,张本仁,袁学诚,等.秦岭造山带与大陆动力学[M].北京:科学出版社,2001:1—855.  
Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, et al. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics[M]. Beijing: Science Press. 2001:1—855(in Chinese with English abstract).
- [3] 赖绍聪,张国伟,董云鹏,等.秦岭—大别勉略构造带蛇绿岩与相关火山岩性质及其时空分布[J].中国科学(D辑),2003,33(12):1174—1183.

- Lai Shaocong, Zhang Guowei, Dong Yunpeng, et al. Ophiolite and correlate volcanic rock characters and time and space distribution of structural belt in Qinling-Dabiemianlue Area [J]. *Science in China (D)*, 33(12):1174-1183(in Chinese).
- [4] 张国伟, 程顺有, 郭安林, 等. 秦岭-大别中央造山系南缘勉略古缝合带的再认识-兼论中国大陆主体的拼合[J]. *地质通报*, 2004, 23(9/10):846-853.
- Zhang Guowen, Cheng Shunyou, Guo Anlin, et al. Mianlue paleo-suture on the southern margin of the central orogenic system in Qinling-Dabie-with a discussion of the assembly of the main part of the continent of China [J]. *Regional Geology of China*, 2004, 23(9/10): 846-853(in Chinese with English abstract).
- [5] 孙卫东, 李曙光, Chen Yadong, 等. 南秦岭花岗岩锆石U-Pb定年及其地质意义[J]. *地球化学*, 2000, 29(3):209-216.
- Sun weidong, Li Shuguang, Chen Yadong, et al. Zircon U-Pb dating of granitoids from South Qinling, central China and their geological significance [J]. *Geochimica*, 2000, 29 (3):209-216 (in Chinese with English abstract).
- [6] 严阵. 陕西花岗岩[M]. 西安:西安交通大学出版社, 1985:1-115.
- Yan Zhen. Granite of Shaanxi Province, China [M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1985:1-115(in Chinese).
- [7] 赖绍聪, 张国伟, 杨永成, 等. 南秦岭勉县-略阳结合带蛇绿岩与岛弧火山岩地球化学及其大地构造意义 [J]. *地球化学*, 1998, 27(3):283-293.
- Lai Shaocong, Zhang Guowei, Yang Yongcheng, et al. Geochemistry of the ophiolite and island arc volcanic rock in the Mianxian-Lueyang suture zone, southern Qinling and their tectonic significances[J]. *Geochimica*, 1998, 27(3):283-293(in Chinese with English abstract).
- [8] 张复新, 肖丽, 齐亚林. 卡林型-类卡林型金矿床勘查与研究回顾及展望[J]. *中国地质*, 2004, 31(4):406-411
- Zhang Fuxin, Xiaoli, Qi Yalin. Exploration and study of Carlin and Carlin-like type gold deposits: review and prospect[J]. *Geology in China*, 2004, 31(4):406-411(in Chinese with English abstract).
- [9] 苏瑞侠, 孙东怀. 陕西略阳高山金矿床成矿流体特征 [J]. *地质地球化学*, 2000, 28(3):18-24.
- Su Ruixia, Sun Donghuai. Ore fluid origin of Gaoshan gold deposit, Lueyang, Shaanxi Province [J]. *Geology and Geochemistry*. 2000, 28(3):18-24(in Chinese with English abstract).



## Geological and geochemical features of the Ganheba gold deposit, Lueyang, South Qinling

REN Xiao-hua<sup>1,2</sup>, JIN Wen-hong<sup>2</sup>, WANG Rui-ting<sup>2</sup>,  
HOU Jun-fu<sup>2,3</sup>, QIAN Zhuang-zhi<sup>1</sup>, LIU Li-xia<sup>2</sup>

(1. *Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;*

2. *Northwest Mining and Geological Exploration Bureau for Nonferrous Metals, Xi'an 710054, Shaanxi, China;*

3. *Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710068, Shaanxi, China)*

**Abstract:** The Ganheba gold deposit is the first gold deposit found in the Mianxian-Lueyang tectonic mélange belt of the Qinling orogenic belt. The formation of the gold deposit went through the phase of deposition of sedimentary rocks and formation of the basement in the pre-Mianxian-Lueyang restricted ocean, the phase of gold preconcentration in the sediments of the Mianxian-Lueyang restricted ocean and the phase of continental collision and amalgamation between the Yangtze plate and Qinling plate and structural stacking and reworking and gold concentration derived after orogeny. Favorable host rocks (containing  $3.66 \times 10^{-9}$  Au) is the material basis for gold mineralization and ductile-brittle progressive structural deformation is the key ore-controlling factor. The Ganheba gold deposit is the product of the combined action of the rocks and the structure. Fluid inclusion study shows that the homogenization temperatures of the ore fluids ranged from 137 to 280°C in the main mineralization stage of the deposit, which shows the features of mesothermal-epithermal mineralization. The salinities ranged from 4.5 to 23.1wt% NaCl equiv. at the early to middle stages of mineralization. The  $\delta^{34}\text{S}$  values of pyrite ranged from +9.91 to +15.45‰, showing the feature of enrichment in heavy sulfur. The sulfur of volcanic origin shows strong fractionation, and in addition, crustal sulfur from sedimentary rocks was also introduced, showing the feature of the mineralization that underwent strong geological reworking in the late phase. Gold occurs mainly as independent microgranular minerals and the paragenesis of ore elements are Au-Ag-As-Sb-Cu-Pb-Zn, showing the geological features of a Carlin-like gold deposit.

**Key words:** Mianxian-Lueyang suture zone; ductile-brittle progressive structure; geology and geochemistry of the deposit; Carlin-like gold deposit; Ganheba; Qinling orogenic belt

---

**About the first author:** REN Xiao-hua, male, born in 1957, doctor candidate and senior engineer, engages in geological exploration and management; E-mail: Ren\_xh99@163.com.