

南秦岭寒武系黑色岩系中夏家店金矿床 地质地球化学特征

高菊生¹ 王瑞廷¹ 张复新² 齐亚林² 梁小勇¹

(1.西北有色地勘局 713 总队,陕西 西安 710054;2.西北大学地质系,陕西 西安 710069)

摘要:研究取得如下成果和认识:确定了微细浸染型金矿床赋存于含矿性好的重晶石-硅质岩热水沉积岩系之中;矿床形成经历同生沉积成矿预富集,韧-脆性剪切构造叠加和后生热液改造金的工业富集过程,与本区古大陆俯冲-碰撞造山大地构造演化密切耦合。成矿作用共划分为 3 期 8 阶段,矿石由 3 类 11 亚类型组成,体现出复杂改造的成矿过程。矿化矿物流体包裹体均一温度集中在 199~300℃,成矿压力为 $370 \times 10^5 \sim 820 \times 10^5$ Pa, 其中-低温热液成矿特征;成矿早期流体包裹体盐度 3.27 (NaCl)%, 中晚期 5.25 (NaCl)% ;6 件矿化矿物氢氧同位素组成 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 -7.86‰~0.37‰, $\delta \text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 -80.70‰~66.30‰, 具有由大气降水向右横向漂移的以天水为主的成矿流体受到较强烈的改造;金矿床属于热水沉积-韧脆性构造叠加-大气降水为主含矿热液改造的微细粒浸染型(类卡林型)金矿床。

关键词:热水沉积岩系;矿床地质地球化学;微细浸染型(类卡林型)金矿床;夏家店;南秦岭

中图分类号:P618.51 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2006)06-1371-08

南秦岭成矿带(陕西—甘肃—四川金三角)是中国乃至世界上微细浸染型(卡林-类卡林型)金矿床的重要成矿域^[1],地理位置涉及陕南、甘南、川西 3 省接壤地区,地质构造上,由扬子大陆、甘孜—松潘褶皱带及华北大陆,会聚的褶皱—断裂构造关键部位,碧口地块夹持其中。秦岭—松潘地区处于中国大陆主要地块与造山带聚集交接转化部位,是东西向中央造山系与南北向贺兰—川滇构造带垂向交汇区,形成西秦岭—松潘构造结^[2]。其重要突出地位在于:位于中国大陆中心部位,由构成中国大陆不同构造系统集结结合而成,经历长期演化,新生代定型^[3]。有规模并开发的卡林-类卡林型金矿有 30 余例^[4],其中超大型阳山^[5]、八卦庙金矿、大型金龙山、马鞍桥、庞家河、大水、东北寨等 12 例之多,中、小型星罗密布,构成“西北金三角”黄金生产基地夏家店金矿。是世纪之交发现的,是新思路下的找矿突破。夏家店金矿所在建造和大地构造位置较为特殊,矿床地质有独特之处,是南秦岭成矿带在下古生代寒武系黑色岩系中勘查成功的第二例,该黑色硅质岩系为典型的热热水沉积,沉积作用中金发生有预富集,后生构造-热液的叠加-改造形成工业矿体。夏家店金矿的研究表明,一方面确认了黑色赋矿岩系属热水沉积岩系,热水沉积岩系作为微

细浸染型(卡林-类卡林型)金矿床的容矿岩系在南秦岭尚十分少见;另一方面,明确了该类金矿含矿围岩的形成具有同生沉积成矿的作用,对于微细浸染型(卡林-类卡林型)金矿床的沉积-改造成因提供了又一矿床实例的证据。

1 成矿地质背景及其演化

区域上,夏家店金矿床处于较为特殊构造位置,产于南秦岭北部岛链状陡岭古隆起南侧,南秦岭泥盆系南、北带分割界线附近,区域性山阳—凤镇、镇安—板岩镇深大断裂沿该隆起交汇复合处(图 1),构造复杂而强烈是金的成矿有利地区。夏家店金矿即产于该复杂构造地段的烟家沟—耀岭河倒转复背斜南翼,沿下寒武统水沟口组含矿层位叠加的韧—脆性剪切变形构造带内。随秦岭造山带的形成演化,本区从建造形成、隆升变形与成矿大致演化如下:

1.1 早古生代裂谷活动造就了含矿建造形成的沉积古地理环境幕

发育的下寒武统深水—半深水滞留环境下的黑色岩系^[6],由有机碳层、泥质硅板岩—硅质泥板岩、重晶石—硅板岩热水沉积建造组成。是早古生代扬子与华北大陆初始相对俯冲汇

收稿日期:2006-06-30;改回日期:2006-08-30。

基金项目:国家自然科学基金项目(40572065)与西北有色地勘局项目联合资助。

作者简介:高菊生,男,1965 年生,高级工程师,从事矿床地质找矿勘探与研究;E-mail:zhangfux@nwu.edu.cn。

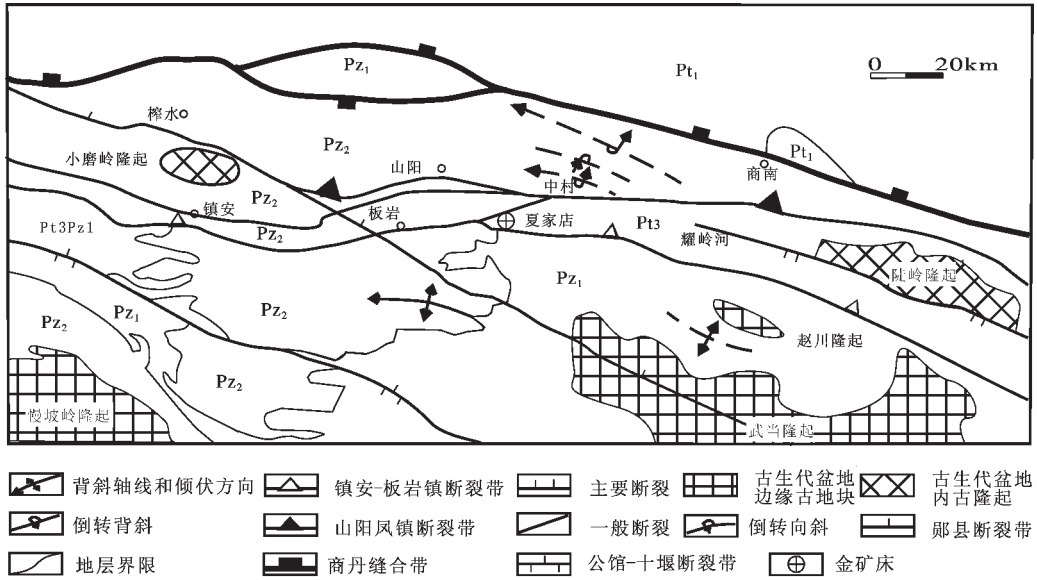


图1 夏家店金矿床区域地质及构造系统图

Pz₂—上古生界; Pz₁—下古生界; Pt₃—新元古界; Pt₁—古元古界

Fig.1 Map showing the regional geology and tectonic system of the Xiajiadian gold deposit in the South Qinling
Pz₂—Upper Paleozoic; Pz₁—Lower Paleozoic; Pt₃—Neoproterozoic; Pt₁—Paleoproterozoic

聚,在扬子大陆向北不均衡的俯冲运动,导致对接区域形成线形挤压隆升和拉张拗陷带。包括早震旦世耀岭河群变质火山岩和早古生代下寒武统次深海炭-泥-重晶石-硅质岩建造,即表现出该地区强烈拉张断陷活动。来自地下深部火山、热液物质含矿性好,在古断陷盆地中得以保存,为后造山构造期成矿奠定了物质基础。

1.2 晚古生代陆-陆俯冲-碰撞造山含矿建造隆升变形汇聚幕

晚古生代华北与扬子两大陆俯冲对接展开,造成扬子大陆北缘沉积盆地的进一步分化,随秦岭地区两板块由东向西的斜向点-线碰撞演化全面开始。扬子被动板块前缘出现新的构造活动,不均衡运动速度的南北大陆对接,形成平行对接带的前寒武系岛链状古隆起(吴家山—佛坪—小磨岭—陡岭古岛链)和上古生代沉积裂陷带。下寒武统次深海炭-泥-重晶石-硅质岩建造隆升的同时,控制了隆起带南北两侧泥盆纪盆地的类型与沉积。发育到三叠纪末的陆-陆碰撞使南北大陆统一,进而引起区域地层褶皱成山。

1.3 中-新生代陆内造山活动控矿构造发育工业矿体形成幕

中-新生代的陆内造山活动,导致强烈的挤压、走滑、推覆-逆冲构造作用,使得构造薄弱能干性差的炭-泥-重晶石-硅质薄互层岩石地段发生韧-脆性递进剪切变形,并在流体参与下,成为金等改造型矿床的成矿动力学来源,不但是成矿与控矿的关键因素,亦为成矿物质富集就位准备了空间,导致了秦岭造山带缺少岩浆作用的被动大陆褶皱带域一类卡林型金矿床形成^[3]。

2 含矿岩系岩石学及成因

2.1 含矿岩系岩石学

该含矿岩系为下寒武统水沟口组,下部厚层块状紫红色重晶石-硅板岩;中部含炭泥质硅板岩-硅质泥板岩-炭质泥板岩互层夹粘土岩,含金性好为主要容矿岩层(表1);上部碳酸盐岩。含矿岩石学特征分别如下:

(1)紫红色含重晶石硅板岩:主要由显微细粒石英、微细粒重晶石及少量泥质组成,显微细粒石英呈不规则状、微压扁拉长他形微粒状、规则多边形或花边状微粒镶嵌一起,石英粒径为0.001 mm左右,含量约为93%;重晶石微细粒状有两种分布状态,一种呈纹层-条带状平行层理分布(图2),另一种呈散布状与石英均匀混生,粒径为0.001~0.002 mm,其含量为3%~5%;炭-泥质物微纹层状,微结晶的泥质物出现显微鳞片状绢云母片状集合体中,含量大约为3%;另见其中有成岩莓球状黄铁矿零星散布,0.3%左右。组成岩石矿物致密、微细粒状、发育纹层构造、莓球状成岩黄铁矿与沉积重晶石共生等。

(2)黑色含炭-泥质硅板岩:主要的含矿岩性层,硅质石英显微细晶微压扁拉长,多呈它形微粒、规则多边形或花边状微粒镶嵌,含量90%~95%;炭-泥质及显微绢云母多呈断续纹层状分布,其中含炭-泥质1%~3%,泥质重结晶的绢云母3%~6%;少量成岩黄铁矿莓球集中分布炭-泥质纹层中,含量为0.5%~1%。岩石层理发育,炭-泥板岩、粘土岩均为夹层,

偶含磷结核,泥板岩、粘土岩层向地层顶部相对增多、厚度增大(0.05~0.2 m),磷结核随之增加,钒亦随之由贫变富,局部形成钒的工业矿体。

(3)黑色含炭-钙质硅板岩:含矿岩性层,显微细晶硅质石英约含 90%;泥-炭质纹层清晰显示出硅质岩石层理,含量为 3%左右;泥状钙质岩薄层与硅质板岩,微细粒状方解石晶粒中因含泥质而浑浊呈泥晶状,含 5%~7%;微细莓球状成岩黄铁矿多在泥-炭质纹层中出现。

(4)灰白色粘土岩:灰白-灰色隐晶状,由显微鳞片状水云母和高岭石组成,两者含量 90%以上;混入少量炭质纹层和硅质石英,含 3%~5%。该岩层中时有泥质板岩夹层。

(5)炭质泥板岩:多由显微鳞片状绢云母组成,半定向-聚合定向排列,含量 90%以上;泥状-粉尘状炭质沿纹层状分布,泥质含量 3%~5%,强烈变形处出现石墨化;局部炭质纹层与硅质层相间,微晶石英含量为 3%~6%;少量微细莓球状成岩黄铁矿分布多与炭质纹层吻合。

2.2 含矿岩系成因

以下现象显示该赋矿岩系的热液沉积成因特征:①硅质板岩的沉积特征及成因毋庸置疑,层状岩石、发育的层理构造、多有泥质纹层夹互层。与下伏震旦系呈平行不整合接

触关系,重要的沉积构造环境导致该岩石的形成;②岩石硅质石英和泥质绢云母结晶细微、颗粒大小均匀,沿层位走向稳定,不含任何热液蚀变迹象;③含有沉积成因重晶石,微细粒重晶石集中分布呈现沉积纹层(图 2),或均匀散布硅岩中与硅质石英混生均显示沉积特征;④沉积重晶石的存在表明沉积环境盐度与矿化度高,钡与硫的出现是热水-热泉活动的直接产物;⑤该硅质、重晶石与沉积成岩莓球状黄铁矿共生(图 2),进而佐证该重晶石硅质岩的热液沉积成因;⑥岩石稀土含量低,稀土标准化模式与南秦岭热水沉积硅质岩相似,进而表明是高盐度海底热水喷流沉积产物^[7]。

3 成矿特征与控矿特点

夏家店金矿研究区成矿特点较鲜明,控矿构造为脆-韧性性质,构造活动强烈具多次叠加特点,构造性质与构造形式多样,构造与矿化具多期多阶段特征,在矿化强烈地段矿化具有明显的分带,脆-韧性剪切带即天然的金矿“加工厂”,各类金矿石为最终“产品”。成矿区内岩浆岩极不发育。

3.1 脆-韧性剪切带性质

夏家店金矿控矿构造是在秦岭造山过程的南北挤压应力作用下,在褶皱构造基础上,经紧闭和倒转的发育,引发行成层间薄弱带(炭-泥-硅质板岩)上叠加的脆-韧性剪切变形带。研究表明,该揉皱变形强烈,沿层间片理化(S₁)极其发育,进而的剪切出现 S—C 组构, S₁—S₂ 的交汇发育显示出不同尺度的剪切构造透镜体,偶见压力影构造,剪切熔融作用极不发育,大量的微细浸染-脉状硅化作用应是岩层内局部成分分异的结果。

3.2 矿区构造性质复杂及类型多样

夏家店金矿控矿构造性质复杂表现在刚性硅质层的韧

表 1 含矿岩系微量元素分析(10⁻⁶)

Table 1 Trace elements analysis of the ore-bearing rock series in the Xiajiadian gold deposit

含矿岩石	Au(10 ⁻⁶)	Ag	As	Cu	Zn	Ni
含炭硅质岩	130	1035	1500	1900	1600	1800
上陆壳 (Taylor,1985)	1.8	0.06	1.5	25	71	20



图 2 重晶石硅质岩含矿岩系

突起低者微晶石英为硅质岩主要组成,突起高者为沉积重晶石条带,不透明者为黄铁矿草莓(单偏光)

Fig.2 Ore-bearing barite siliceous rocks

Microcrystalline quartz with a lower relief is the main component of siliceous rocks, the mineral with a higher relief is the sedimentary barite band, and the opaque mineral is framboidal pyrite (plane polarized light)



图 3 韧性剪切片理化矿化硅质岩

拉丝透镜体-条带状变形硅质石英集合体(灰白色)为韧性剪切的片理化产物;不透明细晶矿化黄铁矿(正交偏光)

Fig.3 Schistose, mineralized siliceous rocks in a ductile shear zone

Ribboned lens-banded deformed siliceous quartz aggregate (grayish white) is the product of ductile shear foliation and the opaque finely crystalline mineral is mineralized pyrite (crossed polarized light)

性褶曲、韧-脆性的剪切变形与片理化,脆性裂开及破裂;构造类型包括:倒转褶皱、褶皱倾末端部位、挤压应力作用下的韧-脆性剪切变型构造、张性角砾岩化及裂隙构造。控矿构造显示不同尺度、长期活动特征,次级的近EW、NE、NW向配套断裂分布格局呈现规律,3种构造方向均可控矿,发现有工业矿体赋存其中。区域性断裂成为本区导矿构造,切割诸多不同时代层位的断裂是配矿构造,叠加于含矿构造层位上成为容矿构造。

3.3 控矿构造多样多种、形式多变

控矿构造随时空演化构造性质同步变化,早期韧性揉皱和韧-脆性片理化、显微剪切构造透镜体(图3)、S-C组构、压力影构造,共生含金矿化黄铁矿-石英呈微细脉-浸染状分布;中期碎裂脆性断裂主要表现为一次角砾岩化和二次角砾岩化,角砾岩化仍叠加于片理化硅质板岩及含炭泥质板岩之上,胶结物由铁碳酸盐矿物组成;晚期拉张脆性断裂裂隙中充填石英-方解石及重晶石脉体。

3.4 控矿构造期次与阶段多次叠加的特点

上述控矿构造沿派生的EW、NE、NW向次级断裂带多次脉动叠加。按生成顺序为:早期成矿阶段,①韧-脆性片理化阶段矿化作用,矿化蚀变物呈微细浸染-细脉状;中期成矿阶段;②一次角砾岩化阶段;③早期石英脉阶段;④二次角砾岩化阶段,矿化蚀变物质呈角砾胶结物、网脉状集合体;晚期

成矿阶段;⑤石英脉阶段;⑥重晶-方解石脉阶段,矿化蚀变物呈脉状分布(表2)。

4 矿床地质

4.1 矿体特征

夏家店金矿床工业矿体主要由I号和II号组成,呈大小不一的扁豆状体,矿体两端尖灭处多有分叉,完全受含矿层位有利岩性及构造的控制^[9]。

I号矿体:由I-1号和I-2号矿体组成,受夏家店次级复式向斜和F4断裂联合控制,组成I号矿带。I-1号位于矿带东北部,I-2号位于矿带西南部。矿体赋存于下寒武统水沟口组,上盘为斜下方向逆冲上来的上震旦统灯影组(图4),下盘为断裂接触的下寒武统水沟口组上段微晶灰岩、白云质灰岩。

I-1号金矿体矿化较好,矿体产状与F₄断层大体一致(图4),I-1号矿体倾向290°~315°,倾角50°~63°,长200m,厚1.0~16.6m,平均厚9.2m。矿体形态呈透镜状、扁豆状,总体向南西倾伏,并且矿化明显有加强趋势,倾伏角70°,将I号矿体三维空间展布如图4。矿体Au的品位1.00×10⁻⁶~10.31×10⁻⁶,平均3.88×10⁻⁶,最高为30.90×10⁻⁶。引起金矿化蚀变矿物组分主要为黄铁矿化、白铁矿化、硅化、铁白云石化、铁方解石化及重晶石化。

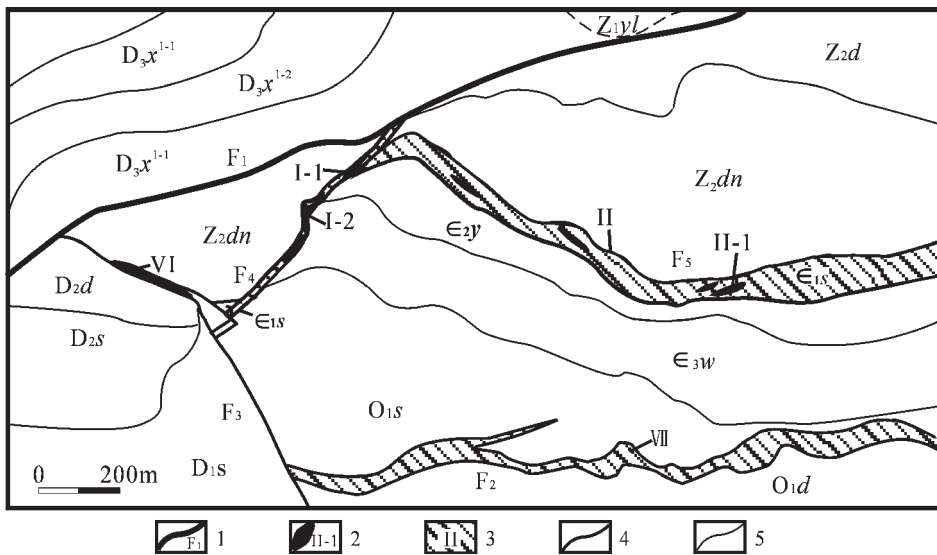


图4 夏家店金矿床地质图

D_{3x}¹⁻²—上泥盆统星红铺组上段;D_{3x}¹⁻¹—上泥盆统星红铺组下段;D_{2s}—中泥盆统石家沟组;D_{2d}—中泥盆统大枫组;O_{1d}—下奥陶统吊床沟组;O_{1s}—下奥陶统水田组;E_{3w}—上寒武统蜈蚣组;E_{2y}—中寒武统岳家坪组;E_{1s}—下寒武统水沟口组;Z_{2dn}—上震旦统灯影组;Z_{2d}—上震旦统陡山陀组;Z_{1y}¹—下震旦统耀岭河组;1—区域断裂;2—金矿体;3—金矿带;4—断层;5—地质界线

Fig.4 Geological map of the Xiajiadian gold deposit

D_{3x}¹⁻²—Upper Member of the Upper Devonian Xinghongpu Formation;D_{3x}¹⁻¹—Lower Member of the Upper Devonian Xinghongpu Formation;D_{2s}—Middle Devonian Shijiagou Formation;D_{2d}—Middle Devonian Dafenggou Formation;O_{1d}—Lower Ordovician Diaochuanggou Formation;O_{1s}—Lower Ordovician Shueitianhe Formation;E_{3w}—Upper Cambrian Wusongya Formation;E_{2y}—Middle Cambrian Yuejiaping Formation;E_{1s}—Lower Cambrian Shuigoukou Formation;Z_{2dn}—Upper Sinian Dengying Formation;Z_{1y}¹—Upper Sinian Doushantuo Formation;Z_{1y}¹—Lower Sinian Yaolinghe Formation;1—Regional fault;2—Gold orebody;3—Gold ore belt;4—Fault;5—Geological boundary

表 2 夏家店金矿矿石类型特征

Table 2 Types and characteristics of ore of the Xiajiadian gold deposit

原生贫矿石类型	原生富矿石类型		半氧化富矿石类型
	一次角砾岩型	二次角砾岩型	
片理化炭泥硅板岩型	炭-泥-硅板岩质角砾岩型	炭-泥-硅板岩质角砾岩+石英脉二次角砾岩型	炭-泥-硅板岩质角砾岩+石英脉质角砾型
重晶石-石英脉型	炭-泥-硅板岩质角砾岩+石英脉质、角砾岩型	—	炭-泥-硅板岩质角砾岩+石英脉二次角砾岩型
重晶石-方解石脉型	白云岩质角砾型	—	重晶石-含铁碳酸盐脉型

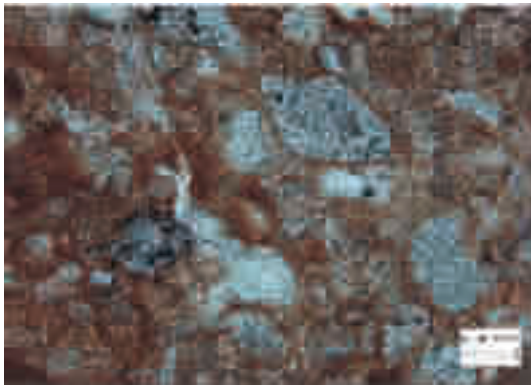


图 5 1 号矿体一次角砾岩化金矿石片理化含金硅质角砾及铁方解石胶结物(单偏光)

Fig.5 Schistose gold-bearing siliceous clasts and ferrocalcite cement in primary-brecciated gold ore in No. 1 orebody (plane polarized light)

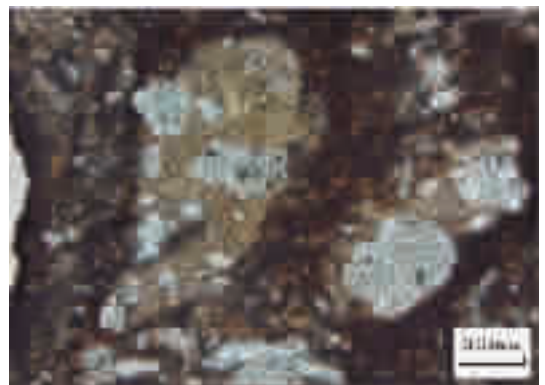


图 6 1 号矿体二次角砾岩化金矿石一次角砾岩化金矿石被含金性更好的铁方解石胶结(单偏光)

Fig.6 Quadratic-brecciated gold ore in No. 1 orebody The primary-brecciated gold ore is cemented by ferrocalcite with a higher gold content (plane polarized light)

I—2 号矿体扁豆状、透镜状,地表长 450 m,最大垂深 240 m,平均厚 1.69~5.57 m。倾向 310°~330°,倾向 50°~55°,矿体 Au 的品位 1.82×10^{-6} ~ 8.64×10^{-6} 。

II 号矿体: II-1 号矿体,控制长 300 m 以上,深部(50 m)由 PD3、PD5 坑控制亦见矿良好。矿体产状 $325^\circ \angle 53^\circ \sim 356^\circ \angle 43^\circ$,北东至近东西走向。矿体呈扁豆状,受揉皱-剪切破碎带控制。其中,194 勘探线金矿化体厚 7.59 m、Au 平均品位 3.14×10^{-6} ;200 勘探线金矿化体厚 2.96 m、Au 平均品位 2.54×10^{-6} ,202 勘探线金矿化体厚 4.38 m、Au 平均品位 2.54×10^{-6} ,206 勘探线金矿化体厚 0.87 m、Au 平均品位 1.13×10^{-6} ;深部 PD3 坑 CM-192 穿脉金矿体厚 7.35 m、Au 平均品位 6.73×10^{-6} ,CM-194 金矿体厚 9.82 m、Au 平均品位 1.34×10^{-6} 。矿石类型为片理化-碎裂泥质硅板岩型、含金石英脉型。

4.2 矿石特征

金矿石变形特征见表 2。矿石中金属矿物以黄铁矿、增生环带黄铁矿为主,白铁矿次之,偶见黄铜矿、黝铜矿、闪锌矿、方铅矿,石英脉中发育次生富集的辉铜矿、斑铜矿、铜蓝、赤铜矿等;脉石矿物:石英、铁白云石、铁方解石、重晶石、水

云母等。主要矿石类型如下:①片理化炭-泥-硅板岩型,为早期脆-韧性递进变形构造作用产物,构成矿床主要的微细浸染型金矿石。②一次角砾岩型矿石,多叠加在片理化炭-泥-硅板岩型矿体上,构造角砾由片理化炭-泥-硅板岩型矿石和含金石英脉角砾组成(图 5),偶夹白云质灰岩角砾。胶结物由岩-矿石磨细物及大量含铁碳酸盐(氧化后淡褐色)组成。③二次角砾岩型矿石,是在一次角砾岩型矿石基础上进一步角砾岩化所致,构造角砾多增加了一次角砾岩型矿石,胶结物由含铁更加丰富的铁碳酸盐(氧化后深褐色)组成(图 6)。④含铁白云石-重晶石-石英脉状矿化体,为晚期脆性断裂充填脉体,有次生富集带上的铜金矿化的富集。⑤重晶石-方解石脉型矿化体,亦为晚期脆性断裂充填脉状矿化体,矿化近尾声,含金性较差。

4.3 成矿期与成矿阶段

根据控矿构造变形特征和矿化蚀变矿物组合,将矿床成矿作用划分为 3 个成矿期、6 个成矿阶段、8 个后生矿化幕(表 3),其中,沉积成岩期为成矿的基础,早期脆-韧性递进变形构造作用构成矿床主要的微细浸染型金矿石,中期角砾岩化脆性叠加构造形成较富矿石,晚期脆性构造充填矿化体

表3 夏家店金矿床成矿期成矿阶段划分

Table 3 Mineralization epochs and stages of the Xiajiadian gold deposit

成矿期	成矿阶段	矿化蚀变特征	主要矿化矿物
沉积成岩成矿预富集期	成岩阶段	热水沉积重晶-石英-碳酸盐黄铁矿莓球、有机碳-磷吸附金等成矿物质	黄铁矿莓球、有机碳-磷吸附、金-钒等预富集
	早期热液阶段	①韧-脆性片理化矿化作用 ②一次角砾岩化矿化作用	黄铁矿、增生环带黄铁矿、白铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、次显微金、石英、铁白云石
构造+热液改造期	中期热液阶段	③早期石英脉矿化作用 ④二次角砾岩化矿化作用	
	晚期热液阶段	⑤重晶石-石英脉矿化作用 ⑥重晶石-方解石脉矿化作用	重晶石、石英、铁方解石、黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、显微金?
表生氧化+次生富集成矿期	表生氧化阶段	⑦褐铁矿-氧化铁-次生加大金	
	次生富集阶段	⑧铜蓝-斑铜矿-辉铜矿-显微金	铜蓝、斑铜矿、赤铜矿

表4 夏家店金矿成矿压力和矿化深度

Table 4 Mineralization pressure and depth of the Xiajiadian gold deposit

样号	测试矿物(阶段)	压力(10 ⁵ Pa)	成矿深度(km)
KT ₃ -64	石英	820	3.03
KT ₃ -60	石英	800	2.96
KT ₃ -27	石英(I、II)	750	2.78
KT ₃ -30	石英(II)	370	1.37
KT ₃ -48	石英(II)	<100	<0.3

表5 夏家店金矿矿化蚀变矿物包裹体水氢氧同位素

Table 5 Hydrogen and oxygen isotope data of fluid inclusions in alteration minerals in the Xiajiadian gold deposit

编号	样号	岩性	测试矿物	δ ¹⁸ O _{H₂O} (‰)	δ ² H _{H₂O} (‰)
1	KT ₂ -27	角砾岩型金矿石	石英	-5.97	-75
2	KT ₃ -51	重晶石-石英脉	石英	0.37	-69.2
3	KT ₃ -48	硅化白云岩	石英	-1.98	-74.2
4	KT ₂ -30	重晶石-石英脉	石英	-7.86	-67.6
5	KT ₃ -64	炭泥硅岩型金矿	石英	-4.11	-80.7
6	XJ-Q-2	石英脉	石英	-6.59	-66.3

注:由宜昌市地质矿产研究所同位素开放实验室分析。

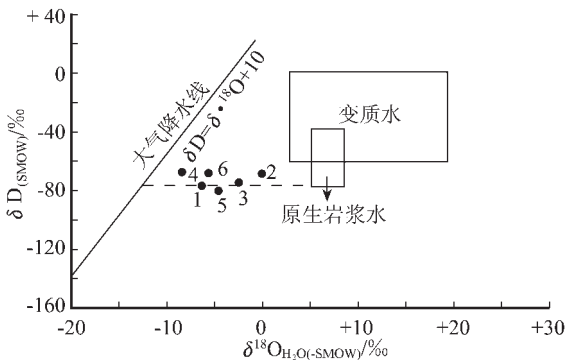


图7 夏家店金矿矿化蚀变矿物流体包裹体氢氧同位素组成

Fig.7 Hydrogen and oxygen isotopic compositions of fluid inclusions in altered minerals in the Xiajiadian gold deposit

为重要找矿标志。金的赋存状态和产出形式出现多种变化(表3)。

5 矿床地球化学

5.1 金矿床成矿温度、成矿压力、盐度及密度

对不同热液成矿阶段的矿化蚀变矿物进行均一测温:早期阶段不规则破碎石英脉,均一测温 220~336℃(3件),流体包裹体盐度(NaCl)为 3.27%,密度平均 0.819 g/cm³。中期角砾

岩型矿石中石英角砾,均一测温 152~300℃(3件),中—晚期石英流体包裹体盐度(NaCl)5.25%,密度平均 0.912 g/cm³。晚期方解石团块与角砾状矿石胶结铁方解石,均一测温 140~234℃。盐度(NaCl)平均 3.80%,密度平均 0.865 g/cm³。

成矿压力与深度(即包体捕获深度),借助压力估计值获得。压力包括流体压力和静岩压力,若不计流体压力,以静岩压力 270×10⁵ Pa/km 增长率计算,矿化最深约 3.03 km。成矿压力为 370×10⁵~820×10⁵ Pa(表4),随着成矿作用的进行,成矿压力有所减小。这与控矿构造性质由早期阶段韧—脆性构造变形,经中—晚期阶段角砾岩化,直至晚期阶段方解石—重晶石充填脉的出现是一致的,金矿床成矿发生在中浅深度。

5.2 氢氧同位素地球化学

为探讨成矿流体的性质,对矿石中石英包裹体流体中的 δ²H_{H₂O}‰、δ¹⁸O_{H₂O}‰进行了分析(表5),δ¹⁸O_{H₂O}根据石英与水之间氧同位素交换反应平衡方程 1000 ln α_{石英-水} = 3.306 × 10⁶ × T⁻² - 2.71 (Clyton R N, 1972) 计算得出,将其值投入 δ²H_{H₂O}‰ - δ¹⁸O_{H₂O}‰图解中(图7),投影点均落在大气降水与变质水之间更靠近大气降水的区域内,氢氧同位素不同程度发生正向漂移,这可能由在成矿作用过程中强烈的构造叠加改造作用下大气降水及建造水与围岩发生不同程度的水—

岩同位素交换反应引起的,表明成矿流体并非单一的大气降水,而是以大气降水被改造并混合了不同比例轻微变质的水。

综上所述,夏家店金矿床受下寒武统水沟口组炭-泥-重晶石-硅质板岩岩系,倒转背、向斜,韧-脆性递进变形断裂构造的联合控制,其中,含矿与赋矿层位对矿带、矿体的控制,对于找矿预测来说是第一位的,决定了矿带-矿体的空间展布,无论矿区,还是矿田范围,对矿带的控制十分明显;倒转背、向斜褶皱构造,对于矿带、矿体的深部预测至关重要,对矿区深部预测的内容与地表完全不同;韧-脆性递进变形断裂是形成工业矿体的控矿关键因素,是在预测靶区内进行调查的重要内容,它的存在与否直接关系到矿带的含金性和工业矿体能否形成。三者互相依赖,相互制约,同一地段三者共存,“三位一体”是最佳预测状态。依照这一原则重点开展了矿区范围的成矿预测。在矿区范围圈出 3 个成矿预测靶区,并对区域找矿提出意见。

6 小 结

(1)世界上微细浸染型(卡林-类卡林型)金矿床产于被动大陆边缘(中国)或主动大陆弧后盆地(美国),无论哪种大地构造背景,拉张性质的沉积环境是一致的^[9]。

(2)对南秦岭微细浸染型(卡林-类卡林型)金矿床的研究表明,容矿与含矿围岩的岩石类型及其多样,除细碎屑岩系、不纯碳酸盐岩系、黑色岩系(炭-泥-钙-硅质)、火山熔岩-火山碎屑岩系、蛇纹-石英-菱镁碳酸盐化超基性岩系等外,热水沉积岩系是该类金矿直接的重要赋矿岩系之一。

(3)夏家店金矿床地质研究表明,矿床形成经历 3 个成矿时期或演化阶段:①大陆俯冲-碰撞早期(古生代)拉张盆地发育及其伴随的热水沉积金成矿的预富集时期;②陆内造山作用时期(中-新生代)韧-脆性剪切构造叠加-改造后生热液型金的工业富集时期;③后陆内造山作用时期(新生代-至今),地壳及矿床隆升、剥蚀和氧化,矿床得以保留。

(4)夏家店金矿床赋矿岩系为由含炭热水沉积岩层组成的黑色岩系。矿化石英、方解石流体包裹体均一温度集中在 140~366℃范围,具中-低温热液成矿特征;成矿压力为 $370 \times 10^5 \sim 820 \times 10^5$ Pa;早期硅化石英流体包裹体盐度(NaCl) 3.27%,中晚期石英流体包裹体盐度(NaCl) 5.25%。

(5)矿石矿物氢氧同位素组成具有向右横向漂移,显示大气降水受到较强烈的改造,重晶石-硅岩稀土总量低,轻稀土相对富集右倾型,Ce 负异常,显示热水沉积岩稀土组成特征。

(6)夏家店金矿床成因研究又一次证明,南秦岭微细浸染型金矿带、金矿床具有热水沉积预富集-韧脆性构造叠加-大气降水为主含矿热液改造的类卡林型金矿床的成矿特点。

参考文献(References):

- [1] 张复新,肖丽,齐亚林,等.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):406~412.
Zhang Fuxin, Xiao Li, Qi Yalin. Exploration and study of Carlin and Carlin-like type gold deposits: review and prospect[J]. Geology in China, 2004,31(4):406~412(in Chinese with English abstract).
- [2] 张复新,杜孝华,王伟涛,等.秦岭造山带及邻区中生代地质演化与成矿作用响应[J].地质科学,2004,39(4):486~495.
Zhang Fuxin, Du Xiaohua, Wang Weitao, et al. Mineralization response to Mesozoic geological evolution of Qinling orogen and its environs[J]. Scientia Geologica sinica, 2004,39(4):486~495(in Chinese with English abstract).
- [3] 张复新,季军良,龙灵利,等.南秦岭卡林型-似卡林型金矿床综合地质地球化学特征[J].地质论评,2001,47(5):492~499.
Zhang Fuxin, Ji Junliang, Long Linli, et al. Comparative features of Carlin-para-Carlin type gold deposits in the south Qinling and gold deposits in other areas[J]. Geological Review, 2001,47(5):492~499(in Chinese with English abstract).
- [4] 张复新,宗静婷,马建秦.秦岭卡林型金矿床及相关问题[J].矿床地质,1998,17(2):172~184.
Zhang Fuxin, Zong Jingting, Ma Jianqin, et al. A tentative discussion on the Carlin-type gold deposits in Qinling and related problems[J]. Mineral Deposits, 1998,17(2):172~184(in Chinese with English abstract).
- [5] 齐金忠,袁士松,李莉,等.甘肃省文县阳山特大型金矿床地质地球化学特征[J].矿床地质,2003,22(1):24~31.
Qi Jingting, Yan Sisong, Li Li, et al. Geological and geochemical studies of Yangshan gold deposit, Gansu Province [J]. Mineral Deposit, 2003,22(1):24~31(in Chinese with English abstract).
- [6] 范德廉,张焘,叶杰,等.中国的黑色岩系及其有关矿床[M].北京:科学出版社,2004.393~411.
Fan Delian, Zhang Tao, Ye Jie, et al. Chinese Black Rock Series and the Relevant Minerals[M]. Beijing: Science Press, 2004.393~411 (in Chinese with English abstract).
- [7] 张复新.秦岭泥盆系中与铅锌矿化有关喷流岩的识别与找矿[J].地质与勘探,1989,25(5):11~18.
Zhang Fuxin. The recognition and exploration significance of exhalites related to Pb-Zn mineralization in Devonian formations in Qinling mountains[J]. Geology and Prospecting, 1989,25(5):11~18 (in Chinese with English abstract).
- [8] Zhang F X, Zhang J. Comparative features of Carlin-like and Carlin-type gold deposits in South Qinling and other areas [J]. Chinese J Geochem, 2003,22:11~22.
- [9] Zhang F X, Ji J L, Long L L, et al. Geological and geochemical character and genesis of the Jinlongshan -Qinling gold deposits in Qinling orogen[J]. Science in China (D), 2000,43(Supp.):95~107.

Geology and geochemistry of the Xiajiadian gold deposit in the Cambrian black rock series in the South Qinling

GAO Ju-sheng¹, WANG Rui-ting¹, ZHANG Fu-xin², QI Ya-lin², LIANG Xiao-yong¹

(1. 713 Party, Northwest Bureau of Geology and Mineral Exploration, China National Nonferrous Metals Industry Corporation (CNNC), Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China)

Abstract: Study of the Xiajiadian gold deposit, South Qinling, has led to the following understanding: microdisseminated gold deposits are hosted in gold-rich barite-chert hydrothermal sedimentary rock series, and the formation of the ore deposits has gone through synsedimentary preconcentration and a process of industrial concentration from brittle-ductile shear structural overprinting to post-hydrothermal reworking. The gold mineralization has close coupling relations to the tectonic evolution of continental subduction-collisional orogeny in the area. The ore-forming processes of this gold deposit may fall into three epochs and eight stages. The ores are composed of three types and eleven subtypes, showing complex ore-forming processes. The homogenization temperatures of fluid inclusions in ore minerals cluster at the range of 199–300°C and the mineralization pressures range from 370×10^5 to 820×10^5 Pa, showing the features of meso- and epithermal mineralization. The salinities of the fluid inclusions were 3.27 wt.% NaCl equiv. in the early mineralizing stage and 5.25 wt.% NaCl equiv. in the middle and late stages. The hydrogen and oxygen isotopic compositions of the ore minerals from six samples are $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = -7.86\text{‰}$ to $+0.37\text{‰}$ and $\delta \text{D}_{\text{H}_2\text{O}} = -80.70\text{‰}$ to -66.30‰ . The data points in the plot shift laterally from meteoric water to the right, suggesting that the ore fluids consisting predominantly of meteoric water have been subjected to intense reworking. The Xiajiadian gold deposit is a microdisseminated (Carlin-like type) gold deposit. The mineralization has the features of hydrothermal deposition-brittle-ductile structural overprinting-reworking of hydrothermal ore fluids dominated by meteoric water.

Key words: exhalation-sedimentary; geology-geochemistry of gold deposit; microdisseminated (Carlin-like type) gold deposit; Xiajiadian gold deposit; South Qinling

About the first author: Gao Ju-sheng, male, born in 1965, senior engineer, engages in geological exploration and research; E-mail: zhangfux@nwu.edu.cn.