

文章编号:1004-4116(2021)01-0057-11

甘肃礼县河西沟金矿成矿地质条件对比分析

刘彦良,高雅,张春丽,田继孝,李道喜,王 静

(甘肃省有色地质调查院,甘肃 兰州 730000)

摘 要:甘肃礼县河西沟金矿地处西秦岭造山带礼县金成矿带东南段中川岩体周缘,目前发现的矿体主要产于中泥盆统舒家坝群碎屑岩组和上石炭统东扎口组中,属于NW(W)向—NE向叠加构造带内的构造蚀变岩(微细粒浸染)型金矿。研究发现,矿体受地层与岩浆岩的热接触变质带和构造破碎蚀变带的共同控制,构造破碎蚀变带为成矿热液的运移提供了通道和沉淀的场所;成矿作用以中川岩体的岩浆活动为重要的成矿热动力源,以黄铁矿化为重要的找矿标志,且具有多期次成矿的特点,容易在褶皱核部形成矿体富集。地球物理和地球化学异常与矿化蚀变带及含矿层位有较好的套合指示。本文结合本矿区的地质特征,分析对比成矿条件,提出找矿方向,为西秦岭地区的构造蚀变岩(微细粒浸染)型金矿床勘查工作提供参考。

关键词:构造蚀变岩(微细粒浸染)型;地质特征;成矿条件对比;找矿方向;礼县;河西沟金矿

中图分类号:P618.51

文献标志码:A

河西沟金矿位于甘肃省陇南市礼县北,地处中(西)秦岭加里东、燕山期铅锌、金、铜、银、锑、钼成矿带(Ⅲ10)的红崖—礼县印支—燕山期金、铀、铜、钼、铅锌、铁成矿带(Ⅳ13,简称礼县金成矿带)东南段^[1-3],矿区及周缘地区基础地质工作相对扎实且成果显著,区域上已发现有李坝金矿^[4]、赵沟金矿^[5]、杜沟金矿^[6]、王河金矿^[7]、火吉坪金矿^[8]、马泉金矿^[9]、金山金矿^[10]、庙山金矿^[11]、崖湾金矿^[12]、三人沟金矿^[13]等矿床(点),围绕中川岩体周缘外接触带形成了所谓的“金镶边”,成矿环境优越(图1)。河西沟金矿是“甘肃省武山县温泉地区1:5万矿产远景调查”项目工作中新发现的矿点^[2],目前正在开展普查工作。该矿产于中泥盆统舒家坝群碎屑岩组和上石炭统东扎口组中,属于NW(W)向—NE向叠加断裂构造带内的构造蚀变岩(微细粒浸染)型金矿。本文将在综合研究区域上同类矿床的资料基础上,结合本矿区的地质特征,分析对比成矿地质条件,为西秦岭地区的构造蚀变岩(微细粒浸染)型金矿床勘查工作提供参考^[14]。

1 区域地质概况

研究区大地构造位置处于华北板块南缘秦岭造山带的西秦岭夏河—礼县陆缘沉积区,北侧以武山—太白—丹凤深大断裂为界,与北秦岭加里东褶皱带接壤,南侧以礼县—白云—山阳深大断裂带为界,与中秦岭南亚带相邻(图1a)^[1-2]。区域构造样式复杂,各个构造单元经受了多期次强烈的构造变形和复杂的构造叠加、复合、改造,为成矿创造了良好的沉积、岩浆、变质、构造变形等方面的条件^[15]。区内地层出露主要为中泥盆统(D₂)、中上泥盆统(D₂₋₃)和上石炭统下加岭组(C_{2x})及东扎口组(C_{2d}),其次有中下白垩统(K_{1m})和新近系甘肃岩群(NG₁)零星分布于东部和南部,第四系较为广布。与金成矿密切相关的为中泥盆统和上石炭统的浅变质细碎屑岩。区内岩浆活动强烈,中川岩体与金矿化关系最密切,是河西沟金矿的成矿热动力源。中川花岗岩体是具3期5次侵入的复式岩体,从印支期到燕山期,岩浆活动从中性向酸性演化,活动强烈程度也逐渐减弱,强

收稿日期:2020-04-29

基金项目:甘肃省地质调查基金“甘肃省礼县河西沟金矿普查”项目的资助

作者简介:刘彦良(1983~),男,甘肃靖远人,地矿高级工程师,主要从事地质矿产勘查和找矿研究工作。Email:317510246@qq.com

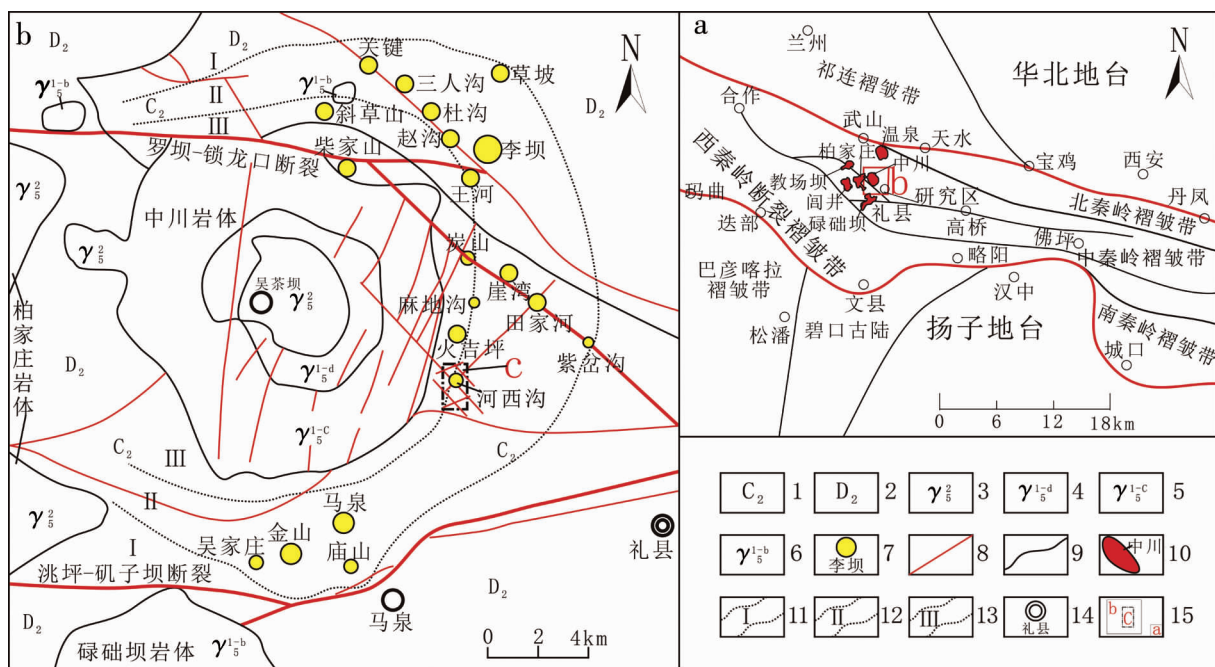


图1 中川岩体周缘地区地质及“金镶边”金矿分布简图(据参考文献[1-3], 有改动)

Fig. 1 Simplified geological map of Zhongchuan area and the distribution of Liba-type gold deposits

- 1—上石炭统;2—中泥盆统;3—燕山期花岗岩;4—印支期第四次花岗岩;5—印支期第三次花岗岩;6—印支期第二次花岗岩;
7—金矿床(点);8—断裂构造;9—地质界线;10—西秦岭“五朵金花岩体”和温泉岩体;11—绿泥石—绢云母带;
12—黑云母带;13—红柱石—堇青石带;14—地名;15—大地构造位置示意图

烈的岩浆多期次活动,为成矿热液的形成提供了主要的热源和部分物源,形成礼岷金矿田特有的“金镶边”的现象(图1b)。区域断裂和褶皱都极为发育,可分为近EW向、NW(W)向、NE向等3组,其中以NW(NWW)向与成矿关系最为密切。研究区内包括1:5万水系沉积物综合异常3个,1:5万地面高精度磁测综合异常两个,是寻找构造蚀变岩(微细粒浸染)型金矿床的有利靶区^[2,16]。

2 矿区地质特征

2.1 地层

矿区内出露地层主要有中泥盆统舒家坝群碎屑岩组($D_2 SH^a$)、上石炭统下加岭组($C_2 x$)和东扎口组($C_2 d$)、第四系等。其中中泥盆统舒家坝群碎屑岩组和上石炭统东扎口组在区内有规模的出露,且为河西沟区金矿体的赋矿层位(图2)。

2.1.1 中泥盆统舒家坝群碎屑岩组

该地层是矿区出露最老的地层,分布在北部,呈NNW—SSE向延伸,北宽南窄展布于百叶沟一带,基岩露头较好,向东延伸为第四系黄土层所覆盖。与上石炭统呈断层接触关系。地层倾向SW,倾角36°

~45°。该组地层岩石类型简单,主要岩性为钠长石黑云母角岩和炭质黑云母板岩。百叶沟一带金矿体就赋存在该地层中。

2.1.2 上石炭统下加岭组

该地层分布在中部河西沟一带,近东西向延伸,基岩露头较好。与下伏地层均呈断层接触;与上覆东扎口组局部见为断层接触或不整合接触。根据区域资料,该套地层按照岩性组合可以划分出4个岩性段,勘查区内仅见第2、3岩性段。地层倾向SW,倾角47°~67°。主要岩性为二云母角岩、含炭及粉砂质绢云母千枚状板岩、石英岩等。

2.1.3 上石炭统东扎口组

该地层分布在中部河西沟一带,呈NNW—SSE向展布,北宽南窄,与上覆、下伏的地层均为断层或不整合接触。地层倾向SW,倾角38°~65°。该组地层岩石类型简单,为一套浅变质的碎屑岩,主要岩性为黑云母角岩、炭质黑云母角岩。河西沟一带金矿体就赋存在该地层中。

2.2 构造

2.2.1 褶皱构造

矿区岩浆岩出露面积大,第四系覆盖多,地层出

露不够充分,未发现明显较大规模的褶皱构造;局部发现小规模揉皱和小褶曲,均是区域上酒店—李坝—田河村复背斜、马家沟向斜、刘家台—马家沟复背斜的西向延伸,这些褶皱构造与河西沟金矿的成矿关系密切

[17]

2.2.2 断裂构造

矿区内主要断裂有近 EW 向、NW (W) 向、NE 向等 3 组, 均属区域上大断裂的分支断裂或者伴生小断裂。断裂构造主要以构造破碎蚀变带形式产出, 由一系列断裂裂隙与夹持的破碎岩石组成^[18]。目前发现的 12 条构造破碎蚀变带主要为区域大断裂礼县—罗坝—锁龙口断裂的派生构造, 为区内已经发现的金矿的控矿构造和赋矿构造。其中在河西沟一带发现了 3 条构造破碎蚀变带(图 2), 近平行排列, 走向 110°, 倾向南西, 岩石较破碎, 岩性为钠长石黑云母角岩、炭质黑云母板岩, 碎裂面及层面见薄膜状黄钾铁钒、褐铁矿化、高岭土化。破碎蚀变带内见石英细脉及石英团块, 石英细脉见黄铁矿, 岩石局部见褪色现象。I 号构造破碎蚀变带中赋存①、⑤号金矿(化)体; II 号构造破碎蚀变带中赋存②号金矿体。在百叶沟一带发现了 9 条构造破碎蚀变带, 走向 120°~150°, 倾向南西, 岩石较破碎, 岩性为黑云母角岩和炭质黑云母角岩。VI 号构造破碎蚀变带内的石英细脉两侧及团块中见细脉状、浸染状细粒黄铁矿, 赋存③、④号金矿体。

2.3 岩浆岩

矿区出露中川复式花岗岩体,具有明显的环带结构,岩石种类较为多样,岩体由边部向岩体中心同心环状分布有肉红色多斑似斑状黑云二长花岗岩→灰白色含斑二长花岗岩→肉红色中细粒黑云二长花岗岩,呈侵入接触关系,矿区主要出露肉红色多斑似斑状黑云二长花岗岩^[19]。结构由似斑到含斑状、中粒到中细粒再到细粒变化;斜长石、石英含量增多,黑云母含量由多变少,由中酸性向酸

2.4 地球物理、地球化学异常特征

矿区分布有 1:5 万地面高精度磁测综合异常 C₂₁, 位于中川岩体东侧边缘的角岩化蚀变带上, 与综合地球化学异常 Hs-7 局部重叠, 推测由岩体和蚀变带内磁性物质富集引起, 对深部隐伏的大型构造具有良好的指示意义, 河西沟金矿以及多个金矿点位于该异常内; 分布激电中梯异常 FS-1、FS-2 两个, 和矿化蚀变带范围吻合较好, 对深部找矿具有较好的指示意义(图 2)。矿区分布有 1:5 万水系沉积

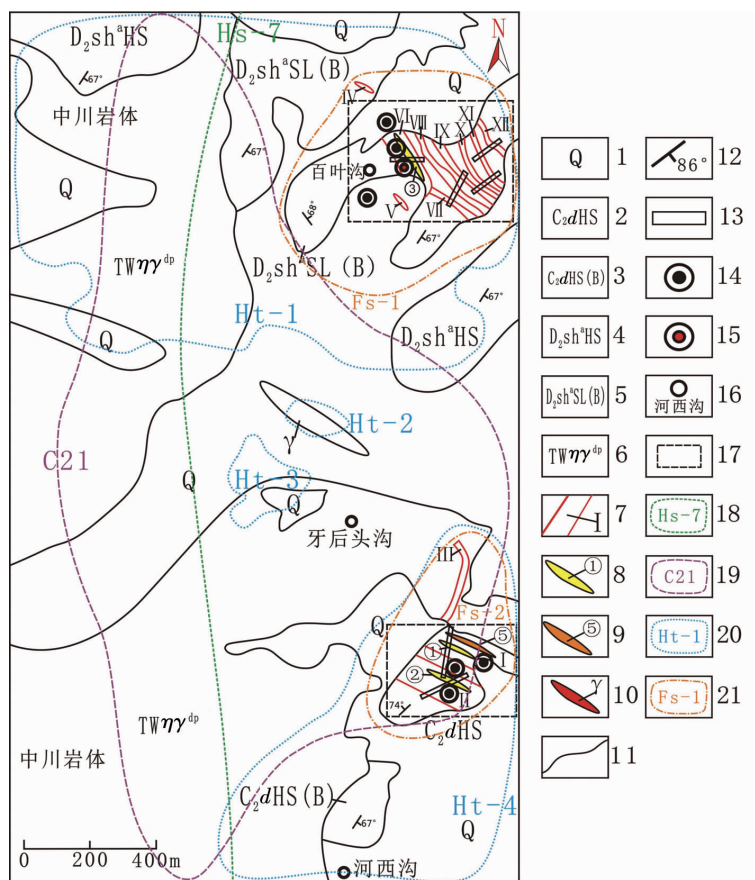


图 2 河西沟金矿地质—地球物理—地球化学综合图

Fig. 2 Comprehensive sketch showing geological, geochemical and geophysical anomalies of Hexigou gold deposits

- 1—第四系洪冲物;2—上碳统东扎口组董青石黑云母角岩;
3—上碳统东扎口组红柱石(空晶石)炭质董青石黑云母板岩;
4—中泥盆统舒家坝群碎屑岩组董青石钠长石黑云母角岩;5—中泥盆统舒家坝群
碎屑岩组红柱石(空晶石)炭质董青石板岩;6—肉红色多斑似斑状黑云二长花岗岩;
7—断裂构造破碎蚀变带及其编号;8—矿体及其编号;9—矿化体及其编号;
10—花岗岩脉;11—实测地质界线;12—产状;13—探槽;14—未见矿钻孔;15—见矿钻孔;
16—地名;17—重点工作区;18—1:50 000地球化学综合异常及其编号;
19—1:50 000高精度磁测异常及其编号;20—1:10 000地球化学综合异常及其编号;
21—激电中梯异常及其编号

性变化^[20]。

物测量综合异常 Hs-7, 主要元素组合为 Au、Ag、Sb、Hg、Cu, 异常之间的吻合性较好, Au、Ag、Sb 元素异常具有较明显浓集中心, 是 Au、Ag 矿找矿的良好标志。该异常与已经存在小型火吉坪、田家河、崖湾金矿(床)点吻合, 是矿致异常。矿区分布 1:1 万土壤地球化学综合异常 4 个, Ht-1、Ht-4 两个异常与已经发现的河西沟金矿矿体位置吻合, 对进一步找矿具有较强的指导意义^[21-24]。

3 矿床地质特征

3.1 矿体特征

河西沟金矿床受构造破碎蚀变带的控制。目前已经发现了 4 条金矿体, 1 条金矿化体。4 条金矿体中 3 条有地表出露, 1 条为隐伏矿体, 矿体总体走向为 NW, 倾向 SSW, 呈脉状、似层状、透镜状等形态(见图 2, 3, 表 1)。其中①、②号矿体和⑤号矿化体分布于河西沟一带, ①号矿体产于 I 号构造破碎蚀变带内, ②号矿体也产于 II 号构造破碎蚀变带内, 赋矿岩石为褐铁矿化、黄铁矿化的黑云母角岩、炭质黑云母角岩, 上下盘围岩岩性与赋矿岩石相同。①号矿体地表延伸长约 80 m, 厚 1.00 m, 最大控制斜深 45 m, Au 品位 1.32×10^{-6} , 产状 $200^{\circ} \angle 85^{\circ}$, 呈脉状产出。②号金矿体地表延伸长约 80 m, 厚度 1.93 m, 最大控制斜深 45 m, Au 平均品位 1.17×10^{-6} , 产状 $223^{\circ} \angle 75^{\circ}$, 也呈脉状产出。⑤号矿化体分布在 I 号构造破碎蚀变带内。地表延伸长约 140 m, 厚度 1.14 ~ 1.74 m; 最大控制斜深 60 m, Au 平均品位 $0.68 \sim 0.73 \times 10^{-6}$; 产状

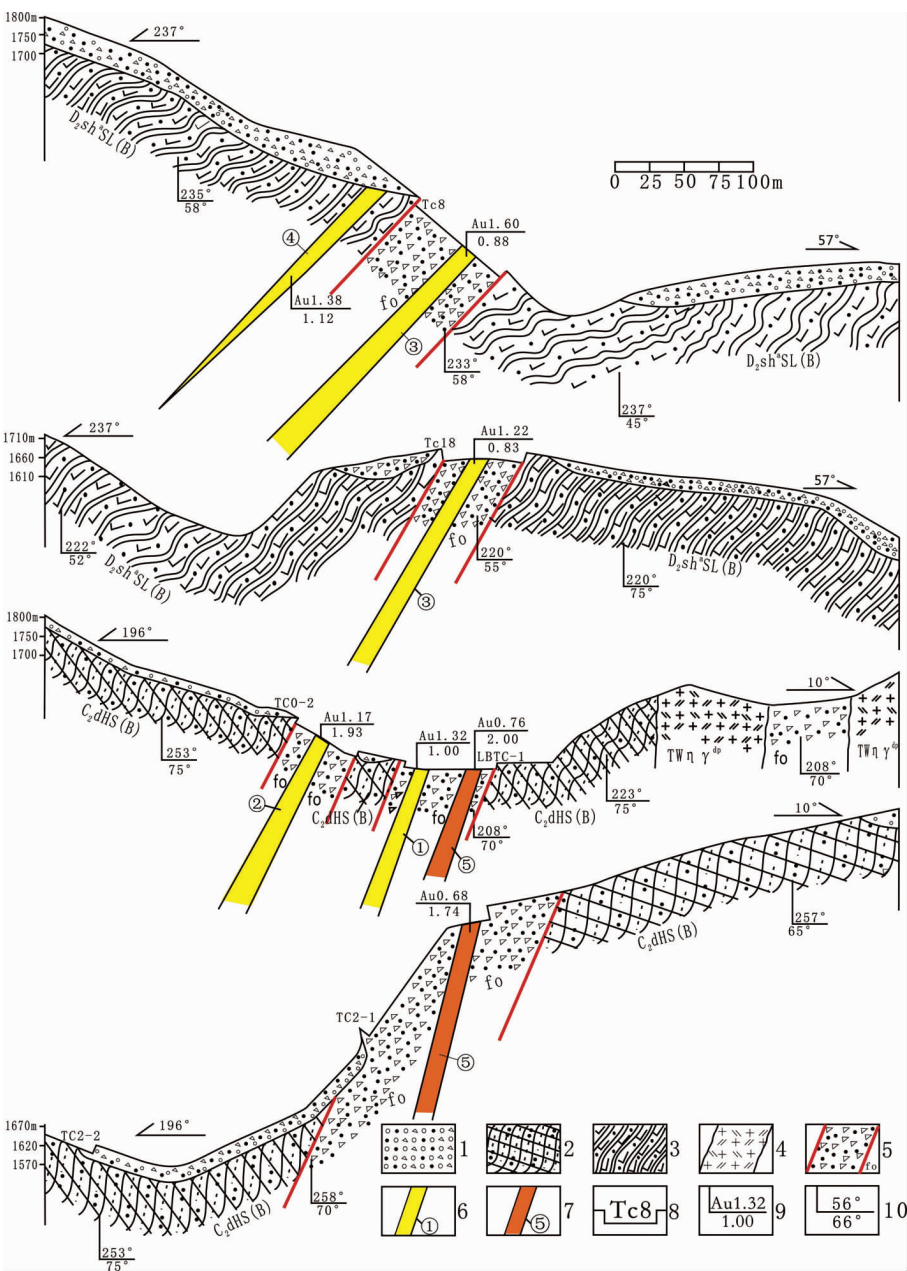


图 3 矿区含矿地层实测联合剖面图

Fig. 3 Sketch illustrating measured sections of ore-bearing strata in Hexigou gold deposits
1—第四系; 2—角岩; 3—板岩; 4—二长花岗岩; 5—构造破碎蚀变带; 6—矿体; 7—矿(化)体;
8—探槽及其编号; 9—矿体平均品位(10^{-6})/真厚度(m); 10—产状

$212^{\circ} \angle 82^{\circ}$, 似层状产出。
③、④号金矿体分布于百叶沟一带, 产于 VI 号破碎蚀变带内, 赋矿岩石为褐铁矿化、黄铁矿化的钠长石黑云母角岩和炭质黑云母板岩, 上下盘围岩岩性与赋矿岩石相同。③号金矿体地表延伸长约 136 m, 地表厚 0.83 ~ 0.88 m, 深部厚 4.47 m, 平均厚度 3.75 m, 最大控制斜深 140 m, Au 最高品位 2.24×10^{-6} , 平均品位 1.54×10^{-6} , 产状 $237^{\circ} \angle 61^{\circ}$, 呈似层状产出。④号矿体为隐伏矿体, 延伸 80 m, 深部厚

表 1 河西沟金矿区矿体地质特征一览表

Table 1 Geological characteristics of ore bodies in Hexigou gold mining area

矿体编号	规模(m)			平均品位	形态	产状(°)	
	长度	控制倾向最大延深	厚度	Au(10 ⁻⁶)		倾向	倾角
①	80	45	1.00	1.32	脉状	200	85
②	80	45	1.93	1.17	脉状	223	75
③	136	140	3.75	1.54	似层状	237	61
④	80	60	1.12	1.38	脉状	237	61

1. 12 m; 最大控制斜深 60 m,Au 平均品位 1. 38 × 10⁻⁶;产状 237° ∠ 61°,呈脉状产出(见图 2,4,表 1)。

3. 2 矿石特征

3. 2. 1 矿石组成

矿区内主要金属矿物为黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂、褐铁矿、闪锌矿、硫砷铁矿、黄铜矿等,黄铁矿自然氧化为褐铁矿,褐铁矿多成细粒泥状分布于层理及碎裂面,形成红色铁染现象。脉石矿物主要为绢云母、石英、绿泥石、长石、楣石等。矿石有益组分主要为金,有害组分主要为 As、S。全矿区 As 含量为 0. 23%,S 平均含量为 3. 33%^[24-25]。

3. 2. 2 矿石结构构造

矿区内金矿石结构以他形一半自形中粗粒晶粒状结构为主,其次有稠密浸染状结构(见图 4 a)、包含嵌晶结构、少数斑点状结构、溶蚀结构、压碎结构等^[24-25]。他形一半自形粒状结构主要为黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿以及碳酸盐、石英等矿物的结构(见图 4 c);包含嵌晶结构指硫砷铁矿自形晶被黄铁矿所包含,形成包含嵌晶结构等(见图 4 g);溶蚀结构指部分黄铁矿被闪锌矿溶蚀,形成溶蚀结构等(见图 4 d);压碎结构指部分黄铁矿、方铅矿、闪锌矿等脆性金属硫化物受力被压碎,形成碎裂结构等(见图 4 e)。

矿区内金矿石构造主要以稀疏浸染状构造为主,其次为团块状构造、脉状构造,还有角砾状构造、斑点状构造等^[24-25]。稀疏浸染状构造一般指黄铁矿、磁黄铁矿等呈稀疏或稠密浸染状分布(见图 4 a);斑点状构造一般是指细粒黄铁矿聚集,并交代云母、石英形成斑点,且平行片理定向分布,斑点大小约 0. 3 ~ 2. 5 mm(见图 4 c,f,i);脉状、网脉状构造一般是指黄铁矿、磁黄铁矿与石英沿岩石裂隙、节理、劈理呈脉状—网脉状分布(见图 4 b,e,h),褐铁矿脉、黄钾铁矾脉沿风化裂隙分布;角砾状构造一般是指黄铁矿化粉砂质板岩及脉状石英、金属硫化物等受力

破碎,后被碳酸盐、石英等胶结而形成角砾状构造(见图 4 a)。

3. 2. 3 金的赋存状态

金的结晶物相。矿石中的金元素主要以独立金矿物的形式存在,可见自然金和硫化物包裹金为主^[26-28],约占总金的 88. 28%,硅酸盐包裹金占 11. 72%。硫化物主要为黄铁矿,占比为 90. 66%,岩矿鉴定结果表明,载金黄铁矿粒度一般在 0. 01 ~ 0. 1mm 之间。自然金通常分布于黄铁矿边部,有些被黄铁矿包裹,有些位于黄铁矿晶体内部空穴和微裂隙中^[26-28],总体上看,包体金占有率比裂隙金及粒间金占有率要高的多。

3. 2. 4 围岩蚀变特征

矿体与围岩大部分界线清楚,局部为渐变关系,矿体顶底板围岩岩性与赋矿岩石相同。近矿围岩均有不同程度的蚀变,且蚀变程度与矿床规模大致成正比关系。围岩蚀变可分为原生热液蚀变和次生蚀变两大类^[29]。原生蚀变的主要种类有黄铁矿化、绢云母化、硅化、碳酸盐化等。次生蚀变有绿泥石化、白云母化、褐铁化、高岭石化、水云母化、白铁矿化、黄钾铁矾化、石膏矿化、毒砂化及砷的氧化物化等。其中原生热液蚀变与金矿化关系密切。次生蚀变常发育于地表附近的矿体氧化带中,与金的次生富集有一定关系,也是良好的找矿标志。

其中黄铁矿化极发育,最普遍,是矿带的主要蚀变类型,与金矿化关系较为密切。按其分布特征可分为:浸染状黄铁矿化和细脉状黄铁矿化。a. 浸染状黄铁矿化系指在矿石或围岩中呈星点状或浸染状分布的黄铁矿,按其粒度大小可分为粗粒黄铁矿化和微细粒黄铁矿化。①粗粒黄铁矿化:黄铁矿呈自形一半自形粒状结构,粒度大小在 0. 5 ~ 3 mm。②微细粒黄铁矿化:黄铁矿呈微细粒状,肉眼不易观察到,借助放大镜可见其半自形—它形粒状结构,呈稠密浸染状分布,粒度大小在 0. 03 ~ 0. 1 mm 之间,含

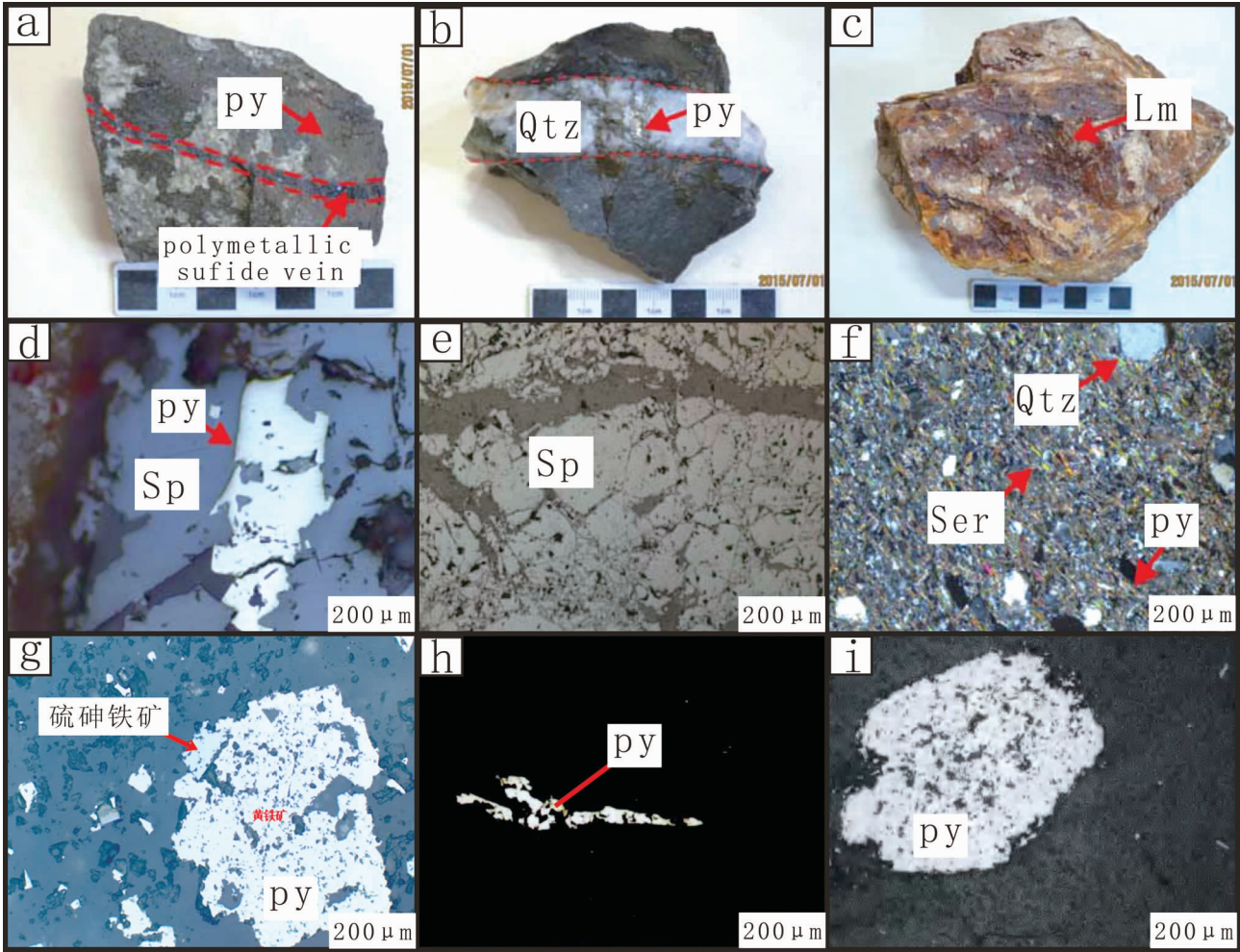


图 4 河西沟金矿区主要矿石结构构造照片

Fig. 4 Photographs of ore samples from Hexigou gold deposits

a—细脉浸染状、角砾状多金属硫化物矿石;b—石英脉中的浸染状黄铁矿矿石;c—团块状、斑点状褐铁铁矿石;
d—闪锌矿交代溶蚀黄铁矿(-); e—闪锌矿压碎结构(-);f—绢云母板岩内黄铁矿呈星散状分布(+);
g—硫砷铁矿被黄铁矿所半包裹反射光(-); h—脉状黄铁矿镜下照片(-); i—矿石中的含金黄铁矿斑点(-)
Py—黄铁矿; Lm—褐铁矿; Sp—闪锌矿; Qtz—石英; Ser—绢云母

有此种黄铁矿的矿石品位较高，与金矿化关系最为密切。b. 细脉状黄铁矿化在矿带发育较普遍，与金矿化关系较密切，在矿石和围岩中均有分布，常见碳酸盐、石英、黄铁矿化呈细脉状、网脉状沿微细裂隙分布于矿石和围岩之中。

硅化也较发育，与金矿化关系较为密切，常与黄铁矿共生，可分为：①早期脉状硅化。主要形成于成矿前期，含少量黄铁矿，脉体有被挤压、切断现象，脉中石英有定向压扁拉伸，无金矿化，在围岩中较为发育。②浸染状硅化。在板岩中主要为交代斑点，分布较广，顺片理呈眼球状，常与浸染状黄铁矿绢云母共生，是主成矿期蚀变，与金矿化关系较为密切。

4 成矿地质条件分析对比

河西沟金矿产出于著名的礼岷金成矿带，该带东南段围绕中川岩体形成了以李坝金矿为代表的一系列构造蚀变岩(微细粒浸染)型金矿，被称为中川岩体的“金镶边”现象。河西沟金矿和区域上著名的李坝金矿等其他金矿有着相同或者极其相似的成矿背景、控矿条件和矿床地质特征^[21,23-24]，现简单对比如下(表 2)。

4.1 地层条件对比

河西沟金矿的赋矿地层为中泥盆统舒家坝群碎

表 2 中川岩体周缘“金镶边”金矿床(点)主要特征简表

Table 2 Characteristics of the Liba-type gold deposits and occurrences in Zhongchuan granites and its peripheral areas

名称	规模	与岩浆活动关系		含矿地层		控矿构造	矿体形态	矿石特征			围岩蚀变	成矿年龄 Ma
		距岩体 km	伴生岩脉	时代	主要岩性			矿物成分	结构	构造		
李坝	大型	1.5~3.0	$\chi, \delta\mu, \gamma\delta$	D ₂	Phb. Ph. Mss	断裂+层间破碎+节理裂隙	似层状、脉状	黄铁矿、黄铜矿、石英、绢云母等	他形—半自形中粗粒晶粒状结构为主	稀疏浸染状构造为主	黄铁矿化、硅化、褪色化、绢云母化等	210 ~ 171.6
金山	大型	2.5~4.5	$\chi, \delta\mu, \gamma\delta$	D ₂	Phb. Ph. Pha	断裂+层间破碎+节理	似层状、脉状	同上	同上	同上	同上	159 ~ 194
马泉	中型	4.5	$\chi, \gamma, \gamma\pi$	C ₂	sb. slb	断裂破碎带	似层状、脉状	同上	同上	同上	同上	
赵沟	中型	1.5 ~ 2.5	$\gamma\pi$	D ₂	Mss. Sl	断裂破碎带+裂隙	似层状、脉状、透镜状	同上	同上	同上	同上	
杜沟	小型	1.5 ~ 2.5	$\chi, \gamma\delta$	D ₂	Mss. Sl	断裂破碎带	似层状	同上	同上	同上	同上	
王河	小型	1.5 ~ 2.0	χ	D ₂	Mss. Sl	断裂破碎带	似层状	同上	同上	同上	同上	
草坡	小型	3.5 ~ 5.0	$\chi, \delta\mu, \gamma\delta$	D ₂	Phb. Ph. Mss	断裂破碎带	脉状	同上	同上	同上	同上	
三人沟	小型	2.5 ~ 3.0	$\chi, \gamma, \gamma\pi$	D ₂ +C ₂	Pb. Mss. Pha	断裂破碎带+裂隙	似层状	同上	同上	同上	同上	
崖湾	小型	3.0 ~ 3.5	$\gamma\pi$	C ₂	Pha. sch. slb. mss	断裂+层间破碎带	似层状	同上	同上	同上	同上	
田家河	小型	2.5 ~ 4.0	$\chi, \gamma, \gamma\pi$	C ₂	Pha. sch. slb. mss	断裂破碎带	似层状	同上	同上	同上	同上	
河西沟	小型	1.0 ~ 2.0	$\chi, \gamma, \gamma\pi$	D ₂ +C ₂	Phb. pha. slb.	断裂破碎带	似层状、脉状	同上	同上	同上	同上	
庙山	小型	4.0 ~ 4.5	$\chi, \gamma\pi$	C ₂	Sch. sb. slb. mss	断裂破碎带	似层状、脉状	同上	同上	同上	同上	
关键	矿点	3.5 ~ 5.0	$\gamma, \gamma\pi$	D ₂	Phb. pb. mss	断裂破碎带	脉状	同上	同上	同上	同上	
吴家庄	矿点	4.5 ~ 5.0	χ, γ	C ₂	Ph. Mss	断裂破碎带	脉状	同上	同上	同上	黄铁矿化、硅化、褪色化、绢云母化等	
炭山	矿点	1.0 ~ 2.5	$\chi, \gamma, \gamma\pi$	C ₂	Pha. sch. slb. mss	断裂+层间破碎带	似层状	同上	同上	同上	黄铁矿化、硅化、堇青石化	
火吉坪	小型	0.5 ~ 1.5	$\chi, \gamma, \gamma\pi$	C ₂	Pha. sch. slb. mss	断裂破碎带	似层状、脉状	同上	同上	同上	同上	
柴家山	矿点	0.1 ~ 0.5	$\gamma, \gamma\pi$	D ₂	不清楚	断裂破碎带	脉状	同上	同上	同上	同上	
斜草山	矿点	0.5 ~ 1.0	$\gamma, \gamma\pi$	D ₂	Sch. Mss	断裂破碎带	脉状	黄铁矿、黄铜矿、石英、绢云母等	他形—半自形中粗粒晶粒状结构为主	稀疏浸染状构造为主	黄铁矿化、硅化、堇青石化、红柱石化	

注: χ —煌斑岩脉, γ —花岗岩脉, $\gamma\pi$ —花岗斑岩脉, $\delta\mu$ —闪长玢岩脉, $\gamma\delta$ —花岗闪长岩脉, ph—千枚岩、粉砂质千枚岩, phb—斑点状千枚岩、斑点状粉砂质千枚岩, pha—含钙粉砂质千枚岩, sch—斑点状粉砂质板岩, sb—板岩、粉砂质板岩, slb—斑点状板岩、斑点状粉砂质板岩, mss—变砂岩

屑岩组和上石炭统东扎口组, 中泥盆统舒家坝群碎屑岩组区域上已经发现有李坝金矿、关键金矿、三人沟金矿、草坡金矿、赵沟金矿、杜沟金矿、王河金矿、金山金矿、庙山金矿、吴家庄金矿等, 上石炭统东扎口组区域上已经发现有崖湾金矿、田家河金矿、炭山金矿等, 作为河西沟金矿围岩的上石炭统下加岭组区域上也已经发现有礼县火吉坪金矿、麻地沟金矿、紫岔沟和马泉金矿等, 前人研究表明, 这些金矿属于构造蚀变岩(微细粒浸染)型金矿, 河西沟金矿与其有相同的赋矿地层条件, 其主要成矿物质来源为深部的古生界变质碎屑岩^[30-31]。

4.2 构造条件对比

中川花岗岩体周缘地带金矿主要受西秦岭海西期断裂褶皱带控制。断裂主要为礼县—白云—山阳深大断裂带, 在中川岩体东侧分为两支, 主断裂经洮坪, 向西与岷县—宕昌深断裂带相接, 分支断裂经罗坝、锁龙向西转为北西向, 李坝金矿、河西沟金矿、崖湾金矿、柴家山金矿、王河金矿、杜沟金矿、三人沟金矿、关键金矿等受控于该分支断裂旁侧次级断裂系统^[18]; 洮坪一带的主断裂及其次级断裂系统控制了马泉金矿、金山金矿、庙山金矿、吴家庄金矿等的产出。褶皱构造主要为酒店—李坝—田家河Ⅲ级背

斜,其北翼的次级Ⅳ级褶皱为众多金矿的赋矿构造,如马沟背斜就是李坝金矿的主赋矿褶皱。总体来看,河西沟金矿和这些矿床受控于同一深大断裂褶皱带,具备广义上的同源性,同属于李坝式构造蚀变岩(微细粒浸染)型金矿床,在NW(W)向和NE向构造叠加部位,背斜褶皱的核部容易富集厚大矿体^[20-21]。

4.3 岩浆岩条件对比

以李坝金矿为代表的包括河西沟金矿在内的“金镶边”,都是围绕中川岩体发育的,其形成与中川岩体关系密切,多位于热接触变质的黑云母带中^[33]。矿区内发育的斜闪煌斑岩脉、闪长玢岩脉和花岗闪长岩脉常受控矿断裂带控制,与矿体密切伴生,个别已形成金矿体^[34]。李坝金矿床的诸多研究表明,构造蚀变岩(微细粒浸染)型金矿成矿作用从开始前直到成矿阶段之后,均有岩浆活动^[35]。岩浆不仅提供了热源汲取成矿物质,而且是驱动活化运移含矿热液的动力。河西沟金矿和其他“金镶边”金矿具有相同的成矿构造岩浆热驱动源和部分成矿物质^[35]。

4.4 物化遥条件对比

根据区域资料,李坝金矿、三人沟金矿、杜沟金矿、赵沟金矿、王河金矿、柴家山金矿、关键金矿处于同一1:5万地面高精度磁测综合异常和1:5万水系沉积物地球化学综合异常中,具备相同的地球物理和地球化学成矿背景;炭山金矿、崖湾金矿、火吉坪金矿、河西沟金矿等处于与上述综合异常相邻的另一组1:5万高精度磁法测量和1:5万水系沉积物地球化学综合异常中,具备相似的地球物理和地球化学成矿背景;“金镶边”金矿处于同一遥感综合异常中,具备相同的遥感异常特征^[2,21,30]。

4.5 矿体及矿化蚀变特征对比

“金镶边”金矿的矿体大多呈层状或者脉状,矿体的延伸和规模随着容矿构造的变化而变化;矿石的金属矿物大都以黄铁矿、黄铜矿为主;矿石的结构以他形—半自形中粗粒晶粒状结构为主,矿石的构造以稀疏浸染状构造为主,矿石中的金元素主要以独立金矿物的形式存在,可见自然金和硫化物包裹金。

“金镶边”金矿热接触变质作用广泛发育,热接触变质作用叠加于早期区域变质作用之上,使岩体周围早期形成的区域变质岩变质程度加深,从而形成角岩化带。中川岩体周围岩石接触变质圈由外向内划分为3带(表3),“金镶边”金矿大多分布在黑云母带(Ⅱ),该带是区域找矿的有利部位,只有极少数分布在堇青石—红柱石带(Ⅲ),在绿泥石—绢云母带(I)未发现矿化体,由表可见河西沟金矿和其他矿床一样,围岩蚀变都具备典型的构造热液蚀变岩型矿物组合^[16,23,29]。

5 找矿方向分析

综上所述,区域上围绕中川岩体已发现有李坝金矿床等大中小型“金镶边”金矿床(点)十几处,这些金矿床的成矿条件相似,成矿类型相同,某种程度上具有同源性,所以河西沟金矿具有深部隐伏大矿床的可能性^[14-17,23,35,43-45]。其主要找矿标志及找矿方向总结如下:

(1)矿体受地层与中川岩体热接触变质带的控制,金矿床(点)主要集中产出于黑云母带中,少数分布在堇青石—红柱石带(Ⅲ)中,故寻找黑云母化变质带和堇青石—红柱石化变质带是此类矿床的重要找矿标志。中川岩体外接触带内的古生界地层中的黑云母角岩、炭质黑云母角岩、钠长石黑云母角岩和

表 3 中川岩体与围岩接触变质带特征
Table 3 Contact metamorphic features of the rock mass and country rock in Zhongchuan area

变质带	离岩体距离 km	主要蚀变类型	斑点构造矿物组成	蚀变岩石颜色	蚀变带宽度 km	Au 平均含量 (g/t)	带内矿床(点)名称
绿泥石—绢云母带(I)	> 4.5	绢云母化、绿泥石化	绢云母、绿泥石、石英	灰绿色	0.001 ~ 7	0.003 5	
黑云母带(Ⅱ)	2.0 ~ 4.5	黑云母化	黑云母、白云母、石英	暗褐色	0.001 ~ 5	0.570 0	李坝、金山、马泉、庙山、河西沟、赵沟、杜沟、庙山、吴家庄等
堇青石—红柱石带(Ⅲ)	0 ~ 2.0	堇青石化、红柱石化、空晶石化	堇青石、黑云母、石英、红柱石	灰黑色	0.001 ~ 2	0.210 0	火吉坪、柴家山、炭山、斜草山等

炭质黑云母板岩等是赋矿岩性。

(2)通过对该区构造体系的研究,矿体受NW向与NE向断裂构造叠加作用的影响。NW向的断裂构造破碎蚀变带是主要的控矿构造,在岩体隆起部位或背斜核部由塑性变形而造成的虚脱部位容易形成厚大矿体。

(3)中川岩体作为形成此类金矿床的主要热动力源,其主成矿期为第3次侵入的中粗粒含斑黑云母二长花岗岩和中细粒黑云母二长花岗岩。斜闪煌斑岩脉附近含矿脉岩的蚀变明显较强,并以角闪石蚀变为阳起石为特征。煌斑岩脉、网状石英细脉是明显的找矿标志之一。

(4)黄铁矿化和硅化也是找矿的重要标志。且黄铁矿化与金矿化关系最密切,其蚀变强度与矿化强度呈正比。

(5)矿区围岩视幅频率变化范围为1.6%~1.9%。金矿(化)岩石视幅频率在2.0%~6.3%之间,两者相差2~3倍,即矿与围岩之间极化效应应有明显的差异。低阻、高极化异常区即为金的找矿的优先有利地段。

(6)矿区总体的地球化学特征是富集Au、Ag、As、Sb、Mn、Cr、Ba,贫Sr。矿区的Ag、Sb异常主要出现在矿床及其附近,可作为近程指示元素。Hg异常往往出现在断裂破碎带中,尤其是在含矿断裂中分布比较明显,并与次生晕Au异常、双频激电Fs异常基本吻合,指示了矿体的赋存范围。

6 结论

(1)河西沟金矿产出于著名的礼县金成矿带东南段,是围绕中川岩体形成的李坝式构造蚀变岩(微细粒浸染)型“金镶边”金矿之一。

(2)其成矿的地物化遥等区域地质背景,矿区内的赋矿地层、控矿构造、岩浆岩等成矿条件,矿体特征、矿石矿物、矿石结构、矿石构造以及围岩蚀变特征等矿床地质特征,都与李坝金矿等“金镶边”金矿相同或者极其相似;矿床受断裂构造破碎蚀变带和中川岩体热接触变质带的影响和严格控制,成矿物质主体来源于深部地层,同时混入了部分浅表地层和岩浆岩的贡献。

(3)下一步勘查的重点方向和找矿突破部位是矿区南部的地层与岩浆岩热接触变质带和构造叠加部位以及已经发现矿体的深部,要特别注意黑云母化蚀变带和堇青石—红柱石化蚀变带、煌斑岩脉以

及黄铁矿化和硅化蚀变等找矿标志。

(4)综合本矿床的特征,对比区域上相邻的其它李坝式构造蚀变岩(微细粒浸染)型“金镶边”金矿分析,我们初步推测河西沟金矿作为形成于印支晚期至燕山早期的李坝式构造蚀变岩(微细粒浸染)型“金镶边”金矿,具备形成大型金矿床的潜力。

参 考 文 献

- [1] 张新虎,任丰寿,余超,等. 甘肃成矿系列研究及矿产勘查新突破[J]. 矿床地质,2015,34(6):1130-1142
- [2] 刘彦良,高雅,季文中,等. 西秦岭温泉—中川一带金属矿床的成矿规律及找矿预测[J]. 中国地质调查,2018,5(4):40-49
- [3] 周科慧,方春家. 甘肃省礼县金矿带成矿构造与控矿规律浅析[J]. 甘肃冶金,2008,30(6):52-61
- [4] 冯建忠,汪东波,王学明,等. 甘肃礼县李坝大型金矿床成矿地质特征及成因[J]. 矿床地质,2003,22(3):257-263
- [5] 徐东. 甘肃赵沟金矿床地质特征及控矿因素分析[J]. 黄金地质,2004,10(2):17-20
- [6] 杨根生,陈彦文,胡晓隆,等. 甘肃礼县杜沟金矿床地质地球化学特征及成因分析[J]. 西北地质,2007,40(3):75-84
- [7] 韩海涛,刘继顺,欧阳玉飞,等. 甘肃王河金矿床地质特征及找矿方向[J]. 矿产与地质,2008,22(5):387-390
- [8] 洪白雄,杨根生. 甘肃礼县火吉坪金矿地质特征及其成因[J]. 甘肃科技,2009,25(17):44-46
- [9] 计政科,姜启明. 甘肃马泉金矿金品位分布特征[J]. 甘肃地质,2009,18(2):30-34
- [10] 方春家. 甘肃金山金矿床地质特征及成因探讨[J]. 甘肃冶金,2005,27(3):61-53
- [11] 颜家林,毛祖永. 甘肃庙山金矿地质特征及控矿因素分析[J]. 甘肃地质,2013,22(3):41-45
- [12] 段晓华,陈健. 甘肃省礼县崖湾金矿床地球化学异常特征[J]. 甘肃地质,2008,17(4):17-25
- [13] 任新红. 三人沟金矿床地质特征及找矿方向[J]. 甘肃冶金,2010,32(1):66-69
- [14] 罗建民,侯云生,张新虎,等. 甘肃省金矿资源预测模型及潜力评价[J]. 矿床地质,2006,25(1):53-59
- [15] 殷先明. 甘肃岩金矿床地质[M]. 兰州:甘肃科学技术出版社,1999
- [16] 温志亮,郭周平,杨鹏飞,等. 西秦岭李坝式金矿床地球化学特征及找矿方向研究[J]. 地质与勘探,2008,44(6):1-7
- [17] 徐东,刘建宏,赵彦庆. 甘肃西秦岭地区金矿控矿因素及找矿方向[J]. 西北地质,2014,47(3):83-90
- [18] 朱多录,张旺定,邓海军,等. 秦岭地区礼县—山阳断裂对金矿控制的初步探讨[J]. 黄金,2004,25(11):9-12
- [19] 彭璇. 西秦岭二长花岗岩岩体群同源性研究[J]. 西北地质,2013,46(1):64-80
- [20] 李宏卫,姜峰,许冠军,等. 多次重熔的成矿作用:对甘肃中川岩体成岩成矿过程的再认识[J]. 地学前缘(中国地质大学(北京);北京大学),2011,18(1):126-132

- [21] 赵波波. 西秦岭五朵金花岩体的重力场特征及其新认识[J]. 甘肃地质, 2017, 26(3): 58-62
- [22] 郭军, 杨立功, 刘继顺. 甘肃省李坝金矿田上的地球物理特征[J]. 矿产与地质, 2005, 19(107): 88-92
- [23] 刘国文, 吴志强, 赵俊哲, 等. 西秦岭中川地区李坝式金矿地质地球化学特征及找矿思路[J]. 地质学刊, 2018, 42(1): 7-16
- [24] 王爱军, 程彧. 甘肃省礼县中川地区李坝式金矿床载金矿物地球化学特征及矿床成因意义[J]. 矿产与地质, 2002, 16(92): 297-301
- [25] 谢友良, 邵拥军, 冯雨周, 等. 甘肃李坝金矿床流体包裹体特征与矿床成因[J]. 中国有色金属学报, 2018, 28(5): 994-1007
- [26] 严育通, 李胜荣, 贾宝剑, 等. 中国不同成因类型金矿床的黄铁矿成分标型特征及统计分析[J]. 地学前缘, 2012, 19(4): 214-226
- [27] 彭丽娜, 魏俊浩, 孙晓雁, 等. 浙东南怀溪铜金矿床黄铁矿标型特征及其地质意义[J]. 地质与勘探, 2009, 45(5): 577-587
- [28] 魏佳林, 曹新志, 王庆峰, 等. 新疆阿希金矿床黄铁矿标型特征及其地质意义[J]. 地质科技情报, 2011, 30(5): 89-96
- [29] 张汉成, 肖荣阁, 王京彬, 等. 甘肃李坝金矿围岩蚀变与金成矿关系[J]. 现代地质, 2009, 23(3): 472-480
- [30] 王勇, 张荣华, 胡书敏. 中川岩体周围金矿特征及物质来源分析[J]. 矿床地质, 2002, 21(增刊): 707-710
- [31] 陈衍景, 张静, 张复新, 等. 西秦岭地区卡林—类卡林型金矿床及其成矿时间、构造背景和模式[J]. 地质论评, 2004, 28(6): 134-152
- [32] 满守波. 李坝式金矿地质特征及成因探讨[J]. 甘肃冶金, 2003, 25(2): 8-10
- [33] 殷勇, 赵彦庆. 甘肃西秦岭金矿富集区花岗岩与金成矿作用的关系[J]. 甘肃地质, 2006, 15(1): 36-41
- [34] 殷勇. 西秦岭地区脉岩与金矿化的关系[J]. 甘肃地质, 2011, 20(1): 28-51
- [35] 殷先明, 杜玉良, 殷勇. 甘肃花岗岩类成矿作用研究与找矿方向[J]. 西北地质, 2005, 38(4): 26-31
- [36] 赵娟. 甘肃省礼县金山金矿床成矿地质特征、控矿因素及成矿模式[J]. 甘肃冶金, 2009, 31(5): 73-80
- [37] 张印飞. 甘肃省礼县李坝金矿床地质特征及成因探讨[J]. 地质与资源, 2005, 14(4): 265-268
- [38] 王祥文. 甘肃李坝金矿床地质特征及成因初探[J]. 甘肃冶金, 1999, 8(6): 48-52
- [39] 杨秉进, 陈平. 甘肃礼县金山金矿床成矿地质特征及成因探讨[J]. 甘肃冶金, 2004, 26(2): 19-23
- [40] 李婷, 徐学义, 陈隽璐, 等. 西秦岭造山带礼县地区中川岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其构造环境[J]. 地质通报, 2012, 31(6): 875-883
- [41] 王元元, 裴先治, 刘成军, 等. 西秦岭舒家坝地区泥盆纪舒家坝群碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄: 源区特征与形成时代[J]. 地质通报, 2014, 33(7): 1015-1027
- [42] 柯昌辉, 王晓霞, 杨阳, 等. 西秦岭地区脉岩成因与金成矿关系——来自李坝金矿年代学、地球化学及 Nd-Hf-S 同位素的约束[J]. 矿床地质, 2020, 39(1): 42-62
- [43] 杜玉良, 汤中立, 蔡克勤, 等. 秦岭—祁连造山带印支、燕山期构造与大型、超大型矿床的形成关系[J]. 矿床地质, 2003, 22(1): 65-71
- [44] 卢欣祥, 李明立, 王卫, 等. 秦岭造山带的印支运动及印支期成矿作用[J]. 矿床地质, 2008, 27(6): 762-773
- [45] 李康宁, 李鸿睿, 贾儒雅, 等. 甘肃早子沟金矿“三位一体”找矿预测地质模型的构建[J]. 矿产勘查, 2019, 10(6): 1397-1408

GEOLOGICAL CONDITIONS AND PROSPECTING DIRECTION OF HEXIGOU GOLD DEPOSITS IN LI COUNTY, GANSU PROVINCE

LIU Yan-liang, GAO Ya, ZHANG Chun-li, TIAN ji-xiao, LI Dao-xi, WANG Jing

(*Gansu institute of Geological survey for Nonferrous Metals, Lanzhou 730000, China*)

Abstract: Hexigou gold deposits is located in the southeastern Lixian–Minxian gold metallogenic belt of West Qinling orogenic belt in Gansu province. Presently discovered ore bodies are Liba micro–fine granular disseminated–type ore in hydrothermal alteration mineralized zone controlled by fault zone which controlled by northwest (NW) and northeast (NE) fault zone, mainly occurs in the hornfels and slate of Middle Devonian Shujiaba formation and Upper Carboniferous Dongzhakou formation. The research reveals that the main ore bodies are controlled by contacting zone between stratum and irruptive Zhongchuan rocks and the fracture structural alteration zone, meanwhile, ore can be strongly enriched in the core of folds (especially anticline), Pyrite mineralization could be the important clue on prospecting. The structural fracture alteration zone provides a channel and a place for the migration and precipitation of the ore–forming hydrothermal fluid. The magmatic activity of Zhongchuan rock body is an important source of ore–forming thermal power, and the pyritization is an important prospecting indicator. Comprehensively compare with the same type deposits in the district, it can be found that the studied deposit is related to multiple magmatic pulses including the early period of a certain magmatic affair as the main metallogenic period. Besides, geophysical and geochemical anomalies are well correlated with mineralized alteration zones and ore bearing horizons. This assay will combine the same type of deposits in the district and tectonic, geological settings, discuss the ore–prospecting orientation, predict ore potential and offer elicitation for exploration of other structural altered rock (micro particle disseminated) type gold deposits in West Qinling area.

Key words: hydrothermal alteration mineralized zone controlled by fault zone; geological conditions; Genesis; prospecting direction; Hexigou gold deposits; Lixian County