甘肃小沟里类卡林型金矿床地质地球化学特征*

Geological and Geochemical Characteristics of Xiaogouli Carlin-Like Gold Deposits, Gansu Province

何 军 张复新 张旺定

（西北大学地质学系，陕西 西安 710069）

He Jun, Zhang Fuxin, Zhang Wangding

(Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China)

摘 要 该文从大地构造背景、成矿盆地环境、矿床地质与地球化学等方面探讨了类卡林型金矿床特征及其与铅锌矿床的共生关系，揭示成矿作用与大陆造山带活动的耦合关系。

关键词 类卡林型金矿床 地质地球化学 小沟里 甘肃

类卡林型金矿床是与卡林型金矿床产于同一构造地质背景下，其地质、地球化学既有相同相似之处，又存在明显差别的一类金矿床。小沟里金矿床产于“西北金三角”区，与经典卡林型金矿床共存，构成我国西北地区卡林型-类卡林型金矿带。本文主要从大地构造背景、成矿地质环境、矿床地质与地球化学等方面，探讨小沟里金矿床的类卡林型矿床的综合特征。

1 大地构造背景及其演化

小沟里金矿床位于南秦岭印支褶皱构造带西部西成盆地中。南秦岭在早古生代时属扬子大陆北缘部分，晚古生代泥盆世沿勉-略-康近东西一线，在地幔柱作用下，发生线形裂谷作用，石炭纪蛇绿岩套断续分布其中，表明有局限洋壳的出露，至此南秦岭脱离扬子大陆，在拉张环境中演变成相对独立地块，向华北大陆俯冲对接。早－中三叠世南秦岭断陷盆地封闭，海水退出成陆，进入中－新生代陆内碰撞造山阶段。

2 盆地特征与容矿岩系

2.1 盆地特征

小沟里金矿床所在西成盆地，以海盆中吴家山古隆起为界，划分出东侧厂坝－李家沟深水－半深水断陷洼槽，和西侧邓家山－小沟里台地断陷洼地。根据盆地沉积产物，大致可将其古地理恢复如下：

（1）开放陆棚相。分布于页水河以南及歇台寺以北地区，由暗色泥灰岩*局部夹泥质条带或薄层组成。

（2）局限台地相。分布于鱼池坝－页水河，红岭山，歇台寺地区，呈东西带状展布。主要由浅色厚层生物灰岩，生物屑泥粒灰岩组成。

（3）生物建隆相。主要发育在红岭山和青羊峡东西两带上，前者以生物礁灰岩为主，后者多为生物丘，生物层灰岩组合。生物建隆的发育，使海盆海底起伏不平，形成断续分布的南礁带和北礁带，出现海底水体流动不畅的滞留环境。

（4）台地断陷洼地相。发育在红岭山和青羊峡带状生物礁南北礁前小型断陷洼地中。洼地中心以泥

* 本文由陕西省自然科学基金项目（2001）资助

板岩，泥灰岩组成的递变韵律层，特别在钙质岩石向泥质岩石转变带上出现含碳硅质热水沉积岩。

（5）泻湖相。分布于红岭山—安家岔与青羊峡—鱼池坝生物建隆之间，水体及沉积作用处于半封闭状态。主要由生物屑泥灰岩，泥灰岩-泥岩组成。

2.2　容矿与含矿地层岩石

本文含矿与容矿地层属中—上泥盆统西汉水组（D_2x），安家岔组（D_2a）和洞山组（D_3d），含矿地层也即容矿岩系，多发育在局限台地泻湖相环境的局限洼地中，产出本区特有的热水沉积改造型铅锌矿床和类卡林型金矿床组合。其中中泥盆统中－下部，生物屑灰岩，含碳硅质岩和泥板岩组合为铅锌矿床的主要含矿层位，中－上泥盆统泥板岩段为金矿床的主要含矿层位，两者“分层，成带”密切共生，组成本区特有的矿床成矿系列。金的含矿岩系主要分布于邓家山－三华咀，尖崖沟－小沟里，安家岔－见千山地段，含金岩系自下而上由为黄铁矿细砂岩－粉砂岩，泥质板岩－铁白云质板岩－钙质板岩，含炭质板岩夹互薄层灰岩。含矿地层中成矿元素背景值（15 件）分别为：Au 4.9×10^{-9}～101.0×10^{-9}，As 11.3×10^{-6}～65.0×10^{-6}，Sb 5.0×10^{-6}～83.6×10^{-6}，Hg 0.8×10^{-6}～7.9×10^{-6}，高于上地壳平均值（Taylor，1985）数倍至 1～2 个数量级。岩石的含金性与岩系中普遍含有少量黄铁矿，有机碳，钙-铁质白云石密切相关。

3　小沟里类卡林型金矿床地质

3.1　产出盆地环境与含矿岩系特征

矿床产于西成盆地吴家山古隆起西南一侧，红岭山－歇台寺生物建隆南部尖崖沟－小沟里局部断陷洼地环境，由中泥盆统西汉水组上岩段细碎屑岩夹含不纯碳酸盐岩薄层组成。含矿岩上自下而上出现砂质—钙质—泥质变化，横向上岩性相变明显。经变形后的原岩为石英绢云母千枚岩、绢云千枚岩、绢云绿泥千枚岩及砂岩透镜体。后期构造变形叠加，进一步加剧了成分的分异，出现较发育的硅质，钙质，泥质相对集中的变形条带，成矿物质随之迁移活化。

3.2　矿区构造与岩浆作用

矿区范围内由西汉水组细碎屑岩—泥灰岩组成南倾的单斜褶皱层，倾角 30°～60°。顺层产出的近 EW 向－SWW 向脆-韧性剪切构造发育（图 1），由北而南共 3 条控矿剪切带平行展布，均在细碎屑岩和碳酸岩盐接触界面出现，并显示层间滑动剪切特征。

剪切带内宏观表现出强片理化的退色蚀变带，带内能干性岩层被剪切为左行斜列之透镜体，或在非能干性岩层中发育不对称禁闭褶曲。微观上，变形岩石中眼球状构造，压力影，S—C 组构，片理化进而表现出岩石中钙、硅质的成分分异形成的变形条带状构造。

矿化作用均发生在剪切带中。片理化的韧-脆性构造带多出现浸染状硅化与黄铁矿-毒砂的矿化；而在脆性斜列构造空间中，多充填有含少量硫化物的石英脉。含金石英脉及其两侧的浸染交代矿化，共同组成工业矿体。

矿区内岩浆活动为顺层侵入的黑云斜长花岗斑岩和正长花岗斑岩组成的超浅成岩脉，后期剪切构造，将其剪切拉断，呈构造扁豆体斜列分布于变形带中（图 1）。显然岩浆活动产生于矿化之前。斑岩构造扁豆体上下盘围岩热液矿化较强，岩浆作用与成矿无直接成因联系。

3.3　矿体与矿石特征

小沟里金矿床较大的工业矿体有 1，4，20，21，22 号（图 1），矿体形态多具透镜状、脉状，似层状。以矿化石英脉为核心及一定限度内的两侧交代蚀变岩共同组成矿体部分，一般延长数米至百米左右，厚度 1～3 m。

矿石以石英脉型为主，浸染状或细脉-浸染型次之，属低品位，易选矿石类型。主要金属矿物为黄铁矿，毒砂，其次为方铅矿，闪锌矿，少许黄铜矿，磁黄铁矿。金以自然金，银金矿等显微金形式存在。脉石矿物有石英，铁白云石，方解石，绿泥石，钠长石等。

矿石结构主要为半自形－自形显微粒状、共生边结构、固溶体分解结构。矿石构造主要为脉状，细脉

-浸染状，稀疏浸染状。

3.4 矿化期矿化阶段及金的赋存特征

（1）矿化作用及其演化。小沟里金矿床成矿作用可划分为 4 期，其中热液矿化期具有多阶段矿化特征：① 沉积成岩——金的初始富集期。表现为容矿岩系中普遍含有莓球状黄铁矿，少量碳质和较丰富的钙质、泥质，粉砂碎屑中偶见石英凝灰质晶屑。无变形、未蚀变岩石金的含量为 13.38×10^{-6} ～ 28.71×10^{-6}（13 件，奚小双，2000），高于区域地层背景金的丰度 4～9 倍，具有初始矿源层的意义；② 变质分异——金矿化预富集期。区域内中-轻变质与强烈变形作用，使含矿岩系内物质重组，浅色矿物组分发生重结晶、成分分异、暗色矿物和金属矿物多形成斑点状构造、变晶，从而导致金随之活化，并随金属矿物和硅质分异组分迁移预富集；③ 构造叠加——热液改造金矿化期。矿化作用与剪切构造带的多期多阶段递进变形密切有关。早期脆-韧性片理化阶段，主要形成微细粒自形－半自形黄铁矿化，呈浸染状分布，与之伴随有绢云母化与铁碳酸盐化。中期韧-脆性变形矿化阶段，出现 S—C 组构与膝折带，沿 S_1、S_2 面

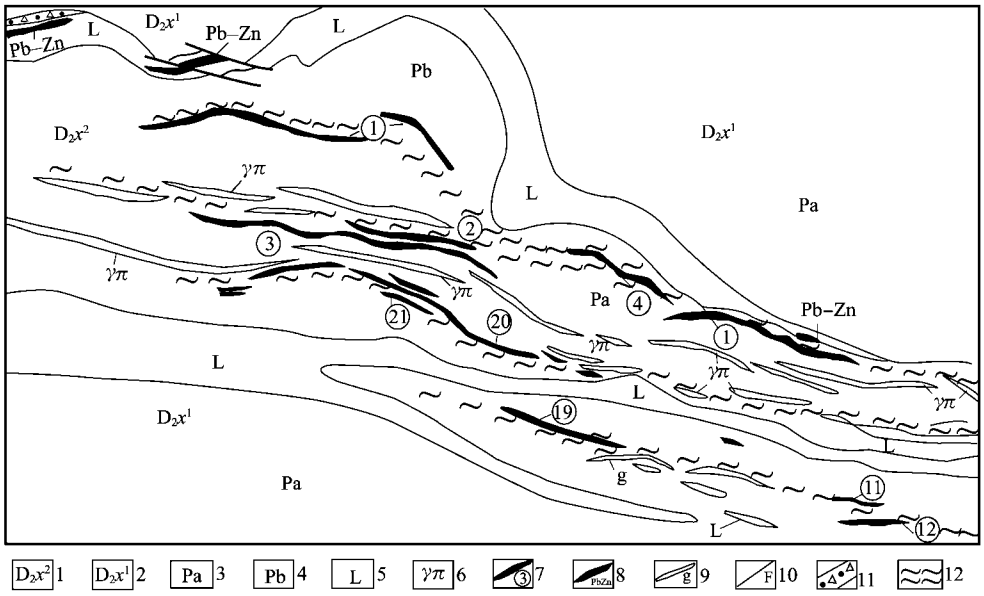


图 1 甘肃小沟里金矿床地质略图

1－中泥盆统西汉水组上段；2－中泥盆统西汉水组下段；3－石英绢云母千枚岩； 4－钙质绢云母千枚岩；5－薄层灰岩-泥灰岩；6－花岗斑岩脉；7－金矿体；8－铅锌矿体； 9－石英脉；10－断层；11－构造角砾岩带；12－韧-脆性剪切带

理分布有细脉-浸染状黄铁矿、毒砂，与之共生的蚀变作用有硅化，绿泥石化，绢云母化和滑石化，成为矿床形成的重要矿化阶段。晚期脆性变形矿化阶段，以充填石英-方解石脉为特征，含零星较粗粒黄铁矿-毒砂及方铅矿-闪锌矿等，偶尔可在脉体晶洞中发现自然金颗粒，是主成矿作用阶段，成为工业矿体的核心部分；④ 表生矿化作用期。主要表现为金属硫化物的褐铁矿化，原生矿石中金的次生富集。

（2）金的赋存形式。小沟里金矿床金主要以自然金形式存在，金的独立矿物有两种：自然金，银金矿；它们主要呈两种嵌布形式：一种分布于金属硫化物与石英，铁白云石，方解石等矿物粒间；另一种形式于黄铁矿、毒砂内。自然金多为不规则微粒状，粒状 0.07～1 mm，平均金的成色为 815。

4 矿床地球化学特征

（1）矿石微量元素与稀土元素地球化学。对矿床含矿岩系中成岩黄铁矿、变晶黄铁矿微量元素分析，Co/Ni 值为 1～3，反映出地层中硫化物来自较深源。对含矿围岩、金矿石、含金石英脉稀土元素分析，LREE/HREE 值为 1.37～4.60（7 件）；在稀土元素分布型式图中（图略），各稀土元素曲线平行，中等右倾，

反映出矿石与矿石矿物稀土元素对含矿岩系的明显继承。

（2）硫同位素地球化学。容矿岩石、矿石中黄铁矿、闪锌矿、方铅矿 $\delta^{34}S$ 值变化较大：－6.15‰～＋13.36‰，离散值达 19.78，以富集重硫为特征，与下部铅锌矿层具同源性。总体硫源以海水硫酸盐经还原为主，有生物改造和岩浆岩硫的混入特点。

（3）氢氧同位素地球化学。综合小沟里、安家岔、邓家山金、铅锌矿床矿石氧化物与含氧盐矿物流体包裹体氢氧同位素分析，11 件样品在 δD- $\delta^{18}O_{H2O}$ 投影图中（图略），大多数投影点落入变质水与岩浆水范围下方，并呈水平带状向大气水线漂移。显示成矿流体以大气水为主，后期受到变质与岩浆作用改造，或变质水与岩浆水的混入。

（4）矿物流体包裹体地球化学。矿石矿物流体包裹体以富含 CO_2，出现液相 CO_2 包裹体为特征；两相包裹体均一温度为 115～205ºC，三相包裹体均一温度为 225～335ºC，显示深部较高温度下流体包裹体较富含 CO_2，浅部中－低温下去气作用明显，有利金在石英-方解石脉体中富集。

流体包裹体气液相分析，采用爆破超波提取法和激光拉曼法，成矿流体液相成分具 $Na^+(K^+)$- Ca^{2+}（Mg^{2+}）-Cl^-型特征；气相成分以 CO_2，H_2O 为主，其次为 CO，H_2，H_2S，CH_4。成矿流体呈中－低盐度，w（$NaCl_{eq}$）为 7.6%～11.3%；流体密度为 0.776～0.936 g/cm^3；成矿期流体 pH 值相对稳定在 6.6～6.7，显弱碱性。

上述流体包裹体分析结果与氢氧同位素分析显示成矿特征基本吻合。

5　小沟里类卡林型金矿床特征

（1）小沟里类卡林型金矿床与经典卡林型金矿相似特征：① 产于秦岭的卡林型与类卡林型金矿床，均同步发育在秦岭大陆俯冲碰撞造山带被动大陆一侧的局部断陷盆地中；② 成矿盆地构造较复杂，岩相多变，含矿地层具有复理石或浊积岩建造的特征；③ 均受韧性剪切构造带控制，递进剪切变形带既是重要的控矿因素，又为成矿动力学的机制；成矿时代与陆内造山活动吻合一致；④ 小沟里金矿石及矿化岩石仍以微细粒浸染状和细脉-浸染状为主，矿化蚀变弱，与围岩呈过渡关系是卡林型金矿石外表特征。

（2）小沟里类卡林型金矿与经典卡林型金矿的差别。① 小沟里金矿床与热水沉积铅锌矿床密切共生，矿田范围内金矿带与铅锌矿带南北相间分布，矿区范围内两者垂向分带；② 矿石中金以显微金和肉眼可见金为特征，与经典卡林型金矿形成鲜明反差；③ 矿床成矿元素以 Au-Pb-Zn-Cu-Te-Bi 组合为特征；④ 小沟里金矿床为工业易选矿与经典卡林型金矿为难选矿明显不同。

6　小沟里类卡林型金矿床成因探讨

通过上述研究小沟里金矿床成矿作用经历了沉积成矿的初始富集，中－轻变质和强烈变形作用的矿化预富集以及构造热液改造作用的工业矿体富集过程，具有沉积-变质作用叠加-构造变形与热液改造的成因特征。该金矿床与经典卡林型金矿床对比，大多宏观地质特征吻合一致，而矿床地球化学与金的赋存形式则有明显差异。该类金矿床与热水沉积铅锌矿床组成“你中有我，我中有你”的矿床共生系列。

参　考　文　献

杜远生. 1995. 西秦岭造山带泥盆纪沉积地质学和动力学沉积学. 岩相古地理，15（4）：7～12.

奚小双，张曾荣. 1995. 甘肃礼岷矿田中继构造及其控矿作用. 矿产与地质，9（1）：33～37.

张复新，季军良，龙灵利，等. 2001. 南秦岭卡林型-类卡林型金矿床综合地质地球化学特征. 地质论评，47（5）：492～499.