

西秦岭金矿控矿规律和资源潜力分析*

An analysis of gold ore-controlling regularity and resource potential of western Qinling region

肖力¹, 赵玉锁¹, 潘爱军¹, 韩先菊¹, 崔龙², 邹依林¹

(1 中国人民武装警察部队黄金地质研究所, 河北 廊坊 065000; 2 中国人民武装警察部队黄金第五支队, 陕西 西安 710062)

XIAO Li¹, ZHAO YuSuo¹, PAN AiJun¹, HAN XianJu¹, CUI Long² and ZOU YiLin¹

(1 Gold Geological Institute, Chinese People's Armed Police Force, Langfang 065000, Hebei, China; 2 No. 5 Gold Detachment of General Gold Party, Chinese People's Armed Police Force, Xi'an 710062, Shanxi, China)

摘 要 西秦岭是中国著名的金矿成矿区, 不完全统计金矿床(点)达 200 多个, 其黄金储量达 1 100 余吨。近几年来, 随着阳山金矿、寨上金矿找矿的重大发现及八卦庙金矿、煎茶岭金矿深部及外围找矿的突破, 西秦岭再次成为金矿找矿热点地区。因该区第三系、第四系及森林等植被的覆盖, 找矿难度越来越大。本文论述了金矿分布的特点, 总结了金矿控矿规律, 圈定了 40 个金成矿远景区; 对金资源总量进行了估算, 评价了金成矿资源潜力, 认为西秦岭地区有很大的成矿潜力, 找矿前景广阔。

关键词 地质学; 控矿规律; 资源潜力; 金矿; 西秦岭

1 西秦岭地区成矿地质背景

西秦岭处于华北地台与扬子地台的交界部位, 经历了复杂的地质构造运动, 是中国西部重要的构造成矿带, 有极其重要的地质研究意义和潜在的矿产资源开发价值(杜子图等, 1998), 具有良好的金成矿地质条件; 众多学者在秦岭的构造演化、成矿条件、成矿预测、成矿系列、成矿环境及找矿方向方面进行了大量的工作, 取得了丰富的成果(张国伟, 1998; 2002; 陈毓川, 1997; 刘家军, 1997; 马建伟, 1997; 卢纪英, 2001)。

据资料统计, 目前西秦岭地区中东段(E103°~107°; N33°00'~35°20')共有金矿床 202 个, 探明资源总量达到 1 100 042.78 kg, 其中有超大型金矿 1 个(阳山金矿)(见表 1), 探明资源量为 308 000 kg, 占矿床(点)个数的 0.5%, 占资源总量的 27.3%; 特大型矿床 3 个, 探明资源量为 243 668 kg, 占矿床(点)个数的 1.49%, 占资源总量的 22.15%; 大型金矿床 10 个, 探明资源量为 290 015 kg, 占矿床(点)个数的 4.95%, 占总资源量的 26.37%; 中型金矿床(点)22 个, 探明资源量为 209 187 kg, 占矿床(点)个数的 10.9%, 占总资源量的 19%; 小型金矿床 28 个, 探明资源量为 57 137 kg, 占矿床(点)个数的 13.9%, 占总资源量的 5.2%。

特别是近几年来, 阳山特大型金矿, 寨上超大型金矿及小沟里中型金矿的发现, 为本区金矿找矿提供了新的找矿思路和新的找矿方向。但西秦岭地区地形高差大, 第三系、第四系覆盖严重, 找矿难度大, 有必要对区内控矿规律进行总结, 进一步缩小找矿范围。

*本文得到中国地质调查局地质调查工作项目“西秦岭成矿带铅锌金多金属矿产资源潜力评价”(1212010632504)资金的资助
第一作者简介 肖力, 男, 1971 年生, 硕士, 高级工程师, 主要从事金矿地质研究工作。

表 1 西秦岭地区大于 10 t 金矿表

序号	金矿名称	类型	矿床类型	探明储量/kg	位置
1	阳山	特大型	蚀变岩	308 000	松潘-摩天岭亚带
2	煎茶岭	特大型	蚀变岩	97 770	松潘-摩天岭亚带
3	八卦庙	特大型	蚀变岩	85 898	南秦岭北亚带
4	寨上	特大型	蚀变岩	60 000	南秦岭北亚带
5	马脑壳	大型	蚀变岩	40 686	南秦岭南亚带
6	庞家河	大型	蚀变岩	37 695	南秦岭南亚带
7	铧厂沟	大型	蚀变岩	35 495	松潘-摩天岭亚带
8	金山	大型	蚀变岩	31 000	南秦岭北亚带
9	田家河	大型	蚀变岩	32 189	南秦岭北亚带
10	罗坝	大型	蚀变岩	33 000	南秦岭北亚带
11	东沟坝	大型	蚀变岩	25 252	南秦岭南亚带
12	坪定	大型	蚀变岩	20 807	南秦岭南亚带
13	礼坝	大型	蚀变岩	20 987	南秦岭北亚带
14	柴家庄	中型	蚀变岩+石英脉	16 000	北秦岭亚带
15	马泉	中型	蚀变岩	15 465	南秦岭北亚带
16	巴西	中型	蚀变岩	15 300	南秦岭南亚带
17	小沟里	中型	石英脉	15 000	南秦岭北亚带
18	三洋坝	中型	石英脉	12 300	南秦岭北亚带
19	甲勿寺	中型	蚀变岩	12 000	松潘-摩天岭亚带
20	邛莫	中型	蚀变岩	12 000	松潘-摩天岭亚带
21	石鸡坝	中型	石英脉+蚀变岩	10 969	松潘-摩天岭亚带
22	团结	中型	蚀变岩	10 672	松潘-摩天岭亚带

1.1 区域地质背景

西秦岭造山带以商一丹、勉一略 2 条板块缝合带分为北秦岭加里东造山带,南秦岭华力西-印支造山带;后者又以临潭-凤县断裂和玛曲断裂为界进一步划分为南秦岭北带和南带(杨书恒等, 1996)(图 1)。

1.1.1 地 层

区内元古宇主要发育于东南部碧口地体和南秦岭北亚带的水东东南部一带,主要岩性为细碧角斑岩和火山碎屑岩,为一套角闪岩相-高绿片岩相的海相火山-沉积变质建造;古生界地层是本区分布较广的地层,为一套低绿片岩相浅变质的海相碎屑岩、碳酸盐岩和硅质沉积建造,不同地层间常以断层接触;中生界三叠系分布广泛,主要分布于中带卓尼-宕昌一带和南带松潘-甘孜地区,岩性为碎屑岩、泥灰岩和碳酸盐岩,是一套陆源碎屑复理石建造,侏罗系、白垩系零星分布于岷县-临潭北部和白龙江一带,主要为陆相碎屑岩和火山岩-火山碎屑岩;第三系为红色磨拉石沉积建造,分布于断陷盆地中。

1.1.2 岩浆岩

区内岩浆活动频繁,先后经历了加里东-华力西期、印支期和燕山期 3 次构造岩浆活动事件(杜子图等, 1998)。其中印支、燕山期侵入岩浆活动对金矿成矿起重要作用。侵入岩体分布特征:①主要的岩浆作用发生于南秦岭北带,南秦岭中带和南带岩浆活动较弱;②大岩体主要出露于北带中部、东部及南带东部;③岩脉、小岩体在整个区内均发育;④加里东-华力西期侵入岩分布于武都-天水断裂东部,主要沿断裂构造活动,岩性有中酸性、中基性和基性;印支期岩浆侵入活动强烈,较著名的岩体有产于北带的天子山、八桂山、中川、础碌坝、教厂坝、柏家庄、闰井、温泉岩体,主要活动时间为印支期,具多期多次侵位特征(方春家, 2005; 陶炳昆, 1982; 李永军等, 2003; 卢哲等, 2003)。同时,印支期岩浆岩在中带、南带有零星产出,呈岩株、岩脉;燕山期岩浆活动不强烈,主要在南秦岭北带西部出露,其他地区表现为岩株、岩脉。

(1) 北秦岭成矿亚带：该带以产于前奥陶系变质岩中的蚀变岩型金矿床为主要特征，产出主要金矿床有李子园金矿、柴家庄金矿等；产出 1 个大型金矿，3 个中型以上金矿床，资源总量约 76 797 kg，占全区的 7 %。

(2) 南秦岭北成矿亚带：该亚带以其特有的泥盆系层控金矿床而著称。该成矿亚带产出李坝、二台子、罗坝、双王、马泉、八卦庙、金山、安家岔、马鞍桥、田家河、安家岔、庞家河、小沟里、寨上等十余个金矿床及众多金矿点，其中特大型金矿 1 个，大型金矿 4 个，中型金矿 9 个，小型金矿 12 个，资源总量 355 735 kg，占全区的 32.34 %。

(3) 南秦岭南成矿亚带（包括洮河复向斜成矿亚带和白龙江复背斜成矿亚带）：白龙江成矿亚带该带以寒武-志留系、泥盆系黑色岩系(碳质硅岩、碳质板岩、碳质灰岩及硅灰泥岩等)中的层控金-多金属矿床引人注目，有拉尔玛、九源、坪定和黑多寺等矿床；洮河复向斜成矿亚带以产于三叠系碎屑岩中的微细浸染型金矿为主，有鹿儿坝金矿。其中特大型金矿 1 个，中型金矿 7 个，小型金矿 4 个，资源总量 182 059 kg，占全区的 16.55 %。

(4) 松潘—摩天岭成矿亚带（包括松潘—甘孜成矿带部分、摩天岭成矿带部分）：紧邻白龙江金矿亚带南侧。该亚带以泥盆系、三叠系细碎屑岩、碳酸盐岩中的众多微细浸染型金矿床为代表。主要有联合村金矿、甲勿寺金矿、马脑壳、巴西、团结、阳山、石鸡坝金矿、铍厂沟金和众多的金矿床点，其中特大型金矿 1 个，大型金矿 3 个，中型金矿 6 个，小型金矿 11 个，资源总量 485 451.78 kg，占全区的 44.13 %。

2.2 时间上的产出特征

西秦岭金矿主成矿期为印支期—燕山期，根据同位素定年，西秦岭金矿化发生在 125~130 Ma 之间和 170~210 Ma 的两个成矿时期（图 3），同时还有阳金矿成矿时代 50 Ma、51.7 Ma，邛莫金矿成矿时代 46 Ma、50.5 Ma，马脑壳金矿成矿时代 46 Ma，寨上金矿成矿时代 30.62 Ma 等成矿年龄数据，这些成矿年龄数据与喜马拉雅山期构造作用时代一致，可能也表示喜马拉雅山期构造作用对西秦岭成矿有一定的影响。

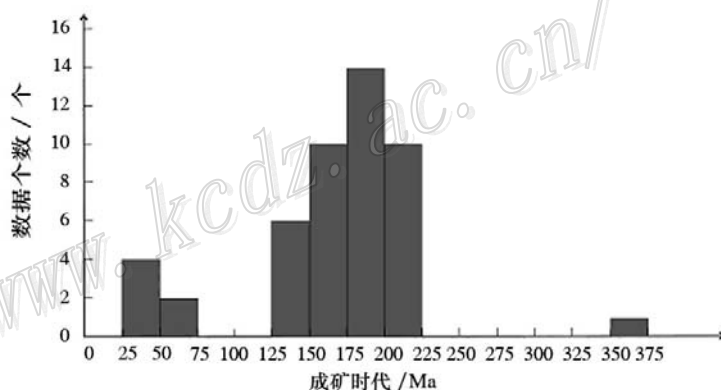


图 3 西秦岭金矿成矿时代统计直方图

3 西秦岭金矿控矿规律

3.1 金矿类型

以成因分类，西秦岭金矿主要类型为，卡林-类卡林型、矽卡岩型；以金的粒度为依据，可归类于“微细浸染型”；以矿石类型分类可分为构造蚀变岩型、石英脉型、矽卡岩型，其中构造蚀变岩型在各成矿亚带中均有分布，是西秦岭地区主要金矿类型；石英脉型主要分布于北秦岭成矿亚带，南秦岭成矿亚带的西成盆地和南秦岭成矿亚带的东部；矽卡岩型金矿目前仅在弧顶南北向构造中发现小金厂金矿。

3.2 矿床控矿规律

3.2.1 区域性构造

次级级序的隆起和坳陷的接合部，靠近隆起构造单元的一侧控矿，在两个同级序的接触部，存在着深大断裂，成矿部位通常是位于深大断裂带的边缘或者上盘地体的边缘。这一认识符合于“界面”成矿理论，符合成矿时进入地壳的浅层次即抬升部位成矿定位的实际，也是“隆起之中找坳陷，坳陷当中找隆起，隆起和坳陷的接合部靠近隆起的一侧控矿”的规律性认识（周乃武，2004）。

3.2.2 赋矿地层及岩性

西秦岭地区赋矿地层有 T、C、D、S、Z-O、Pt, 但以泥盆系中产出金矿床个数及资源量最多, 产出矿床(点)个数占西秦岭地区矿床(点)个数的 35%, 资源量占总资源量的 85% (图 4); 其次三叠系中产出金矿床(点)个数占西秦岭地区矿床(点)个数的 17%, 资源量占总资源量的 9%。赋矿地层主要类型: 斑点状千枚岩、砂岩与板岩、浅-中变质岩、矽卡岩。赋矿围岩为斑点状千枚岩、浅-中变质岩、矽卡岩的金矿, 离岩体较近, 产

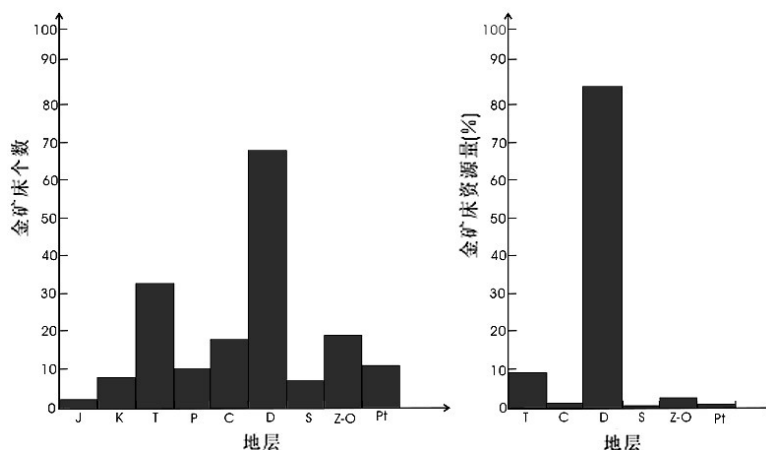


图 4 金矿与地层关系统计直方图

于岩体周围 1~7 km 范围内, 包括李坝金矿、罗坝金矿、金山金矿、马坞金矿、岷化金矿等; 矿脉体受构造破碎带控制; 赋矿围岩为砂岩与板岩界线的金矿有寨上金矿、元更地金矿和阳山金矿, 此类型金矿离岩体较远, 矿脉主要产于板岩与中厚层砂岩接触界面, 受构造控制。

3.2.3 岩浆活动

印支-燕山期岩体及岩脉主要赋存于北秦岭成矿亚带和南秦岭北成矿亚带上, 在岩体外 1~7 km 范围内成矿; 根据地球物理数据在阳山金矿深部解译出存在隐伏岩体。岩脉控矿, 主要表现在许多金矿区发现不同方向岩脉; 岩浆活动至少在成矿期提供了热源。

3.2.4 构造控制

(1) 区域性深大断裂是大地构造分区、区域性矿床分布的主要控制因素, 同时也是导矿构造, 更为重要的是, 因其长期多次活动, 还可以是容矿构造, 如光盖山—白水江断裂是区域性分界断裂, 在构造顶部发育铅锌、锑、银、金矿化, 其上盘与断裂平行, 控制着金矿、锑矿的产出。

(2) 次级断裂控矿, 次级断裂成矿时必须是在张开的活动状态, 为此, 线性构造常常是进入地壳的浅层次才能够控矿。

在脆性断裂控矿方面, 绝大多数脆性断裂的力学性质以压扭性断裂带为主, 少数矿床受控于张扭性断裂或“共扼”断裂(即追踪张扭性断裂控矿), 在通常情况下, 矿床体呈脉状, 成群、成带产出, 这是由于金矿床通常严格受到压扭性构造控制所致。

(3) 等间距分布规律, 可以是同一成矿带上的金矿等距产出, 也可以是同一矿床中的不同矿体等距产出。同一成矿带中金矿成矿与近 SN 向断裂有关, 其控制隆起与沉降区。同一矿床中成矿与压扭应力有关。

(4) 褶皱控矿, 一般情况下矿床体常常位于背形构造的核部。如果有侵入岩体存在的条件下, 侵入体同样侵位于背形构造的核部, 金矿床则让位于岩体, 赋存在岩体的内外接触带, 特别是外接触带, 金矿床形成的时间总是晚于岩体侵位的时间。

叠加褶皱部位是应力集中部位, 因此也是构造的扩容区带。金矿受复背斜构造的次级背斜褶皱控制。

(5) 弧形断裂控矿, 西秦岭地区弧形构造由近 SN 向挤压作用形成, 对矿床的控制作用表现为弧形断裂对矿床的控制、弧顶近 SN 向张性断裂对矿床的控制、弧形断裂上盘次级弧形断裂和近 NE、NW 向断裂对矿床的控制 (图 5)。控矿有如下特征: ①弧形断裂内矿脉呈雁行排列, 弧顶东侧右行左列, 弧顶西侧左行左列, 矿脉间有间断; ②弧顶近 SN 向张性断裂对矿床的控制, 实例是武都小金厂矽卡岩型金铜矿, 岩体受 SN 向断裂控制, 呈 SN 向展布; ③弧形断裂上盘次级平行断裂控矿, 实例为白马山 7 号、11 号、3 号矿脉, 受 F_1 断裂上盘次级弧形构造控制; ④弧形断裂与其他方向断裂交汇部位, 如马脑壳金矿床。

4 金矿成矿远景区圈定

DPIS 是由白万成等于 2002 年在 ArcView GIS 平台上开发的“矿床定位预测系统 (DPIS)”，利用地质、物探、化探、遥感、矿产分布等矢量化数据库资料，按照“信息量计算方法”的方法步骤，完成一定区域范围内的找矿预测、优选找矿靶区任务。

根据金矿控矿规律和化探、遥感异常特征、矿化点信息，结合基于 DPIS 和 MORRAS 的金、铅锌成矿预测，确定区内金成矿远景区圈定原则如下：

I 级成矿远景区：①区内有中型以上矿床产出，矿(化)点较多；②控矿、容矿构造系统发育；③有矿源层存在，成矿元素含量高、浓集系数高于背景 3~10 倍；④区内有成矿元素的指示元素、伴生元素地球化学异常存在；⑤DPIS、MORRAS 综合信息预测线等值线数值高。

II 级成矿远景区：①区内产出矿化点；②控矿、容矿构造系统发育；③有矿源层存在，成矿元素含量高，浓集系数高于背景 3~10 倍；④区内有成矿元素的指示元素、伴生元素地球化学异常存在；⑤DPIS、MORRAS 综合信息预测线等值线数值次高。

III 级成矿远景区：①控矿、容矿构造系统发育；②有矿源层存在，成矿元素含量高、浓集系数高；③区内有成矿元素的指示元素、伴生元素地球化学异常存在；④DPIS、MORRAS 综合信息预测线等值线数值相对高；⑤工作程度差，未发现或有少量共生、伴生金矿化。

根据预测原则在本区圈定金成矿远景区共 40 个 (图 1)，其中 I 级成矿远景区 14 个，主要成矿特征见表 2；II 级成矿远景区 11 个，III 级成矿远景区 15 个。

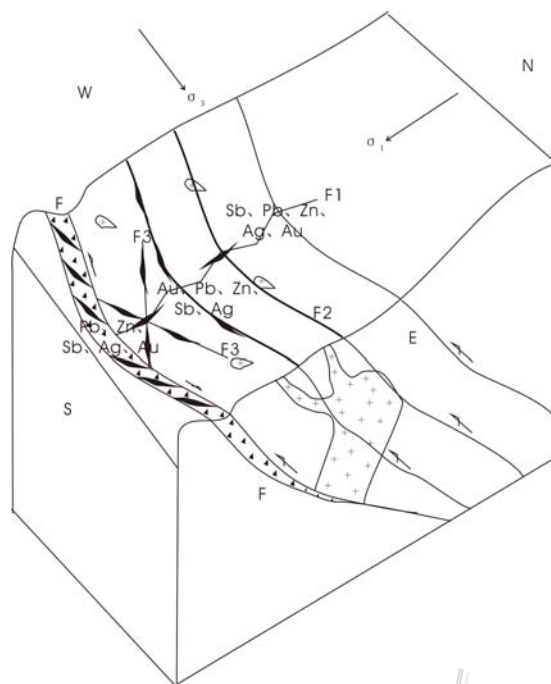


图 5 弧形断裂控矿模式

5 西秦岭金矿资源潜力

5.1 成矿环境分析

①西秦岭在大地构造位置上位于华北板块与扬子板块结合部位，是一造山活动区，构造运动、岩浆活动和成矿作用频繁继承强烈活动的区域，其特定的成矿地质背景为金矿成矿提供了有利条件。②西秦岭主要断裂构造带规模大，多期次活动，切割上地幔。③元古代地层，古生代志留、泥盆系中金的丰度值较高，可以为金的成矿提供物质来源。④目前新发现超大型、特大型金矿的勘查深度不大于 800 m，如寨上、阳山等，深部找矿空间巨大。⑤西秦岭地区金异常多、规模大、分带性好，并且因本区高差大、切割深、覆盖严重，因此在新区可能发现新矿床。

5.2 分形法资源总量预测

西秦岭成矿带大于 1 t 的金矿床为 62 个，大于 2 t 的金矿床有 51 个，大于 5 t 的金矿床 36 个，大于 20 t 的金矿床 14 个，大于 50 t 的金矿床有 4 个，大于 100 t 的金矿床数目为 1 个 (表 3)。投在双对数坐标图上 (图 6)，可以看出资源量大于 1 t 的金矿床资源量-数量分布线中，资源量从 50 t 开始明显变化，数据点下偏，小于 2 t 的金矿床数据点也下偏。这是矿床勘查过程中的“记不全”和“没查全”所造成 (李长江等，1999)。

表 2 西秦岭地区金矿 I 级成矿远景区主要成矿地质、地化特征及找矿方向

序号	成矿远景区	地理位置	面积/km ²	主要成矿地质、地化特征	找矿方向
1	阳坡—板桥 (I Au1)	岷县西北阳坡—板桥一带	450	出露地层主要有: 泥盆系、石炭系、二叠统等地层; 断裂构造发育, 总体构造线以 NW 向为主, 其次为 NE 向、近 EW 向或 NS 向; 岷县复式背斜, 褶皱内部发育复杂的次级褶皱或小揉皱构造, 少量的酸性花岗岩脉。寨上特大型金矿	产于岩性界面的受褶皱控制的金矿体
2	独庄—白桦滩区 (I Au2)	岷县南秦许乡	360	出露的地层主要为三叠系浊积岩建造的浅变质岩; 区域断裂构造以 NW 向压性断裂为主, 次级构造为近 EW 向的压扭性断裂。次级构造是主要含矿构造; 区内岩浆活动微弱, 仅见少量中酸性岩脉侵入。鹿儿坝金矿、多纳、二沟门金矿点	产于碳质板岩中的微细浸染型金矿
3	卡马—城马 (I Au3)	迭部—舟曲交界处	600	区内出露地层主要为志留系、泥盆系、石炭系。断裂构造十分发育, 主要为 NWW 向的压扭性断裂, 在复背斜的轴部和翼部密集呈束; 印支期伴随强烈的构造活动, 除中型和碱性岩体侵位之外, 还有较多的脉岩和岩株侵位; 燕山期和喜马拉雅期岩浆活动较为强烈, 既有脉岩侵位, 也有火山喷发活动; 中坪定金矿为中型金矿, 卡马金矿、九源金矿为小型金矿, 区内雄黄、雌黄蚀变发育	与含碳质浅变质岩有关的金矿床
4	阿卓乡—巴西 (I Au4)	若尔盖东阿西乡	650	阿西—哲波山弧形断裂与 NW 向荷叶断裂交汇部位, 出露的地层主要为中上三叠统光盖山组、咀朗组和纳鲁组浊积岩沉积, 燕山期中酸性侵入体发育, 沿 NW 向断裂侵入地层中, 引起砂卡岩化和角岩化。地层中层间断裂发育, 是主要的容矿构造。已发现团结、阿西、咯嘎、朝别等金矿。	产于碎屑板岩中的金矿床
5	巴热古马—达舍寨 (I Au5)	南坪县北	300	区内出露的地层主要为中上三叠统咀朗组灰岩夹砂、板岩, 上三叠统纳鲁组砂岩、碳质板岩夹千枚状板岩和上三叠统卡卡组砂板岩夹灰岩, 主要赋矿层位为卡卡组浊积岩和钙质砂板岩。区内发育的主要断裂为层间 NWW 向层间剪切破碎带及次级 NE 向断裂破碎带; 断裂构造、褶皱转折端是金矿容矿的有利空间。区内岩浆作用不明显, 规模较小的石英闪长岩脉出露	产于钙质碎屑岩中受层间构造控制的微细浸染型金矿
6	李家沟门—李坝 (I Au6)	礼县西北罗坝—岷县马坞一带	550	出露地层主要为泥盆系中统舒家坝河组和西汉水组浅变质沉积岩; 区内岩浆岩发育, 中川岩体、阎井岩体、教厂坝岩体、碌础坝岩体是成矿带上与成矿有关的岩体, 同时岩体外围发育煌斑岩脉、闪长岩脉等与金矿化有关的岩脉。礼县—罗坝—锁龙口断裂控制金矿的产出。主要成矿部位为岩体外围地层中接触变质带中, 即岩体外围 1~7 km 范围内成矿。已发现金矿床有李坝大型金矿、三人沟、张家山、崖湾金矿	产于岩体外围 1~7 km 范围内热变质带中的金矿床
7	大庄里—马泉 (I Au7)	礼县西部	110	位于中川岩体南侧, 出露主要地层为泥盆系中统舒家坝河组、西汉水组和石炭系中川组等浅变质沉积碎屑岩。岩体外围热变质带发育, 是金矿产出的主要部位。礼县—洮平断裂控制了区内金矿的产出。发育有环形构造, 可能为隐伏岩浆热液引起。区内已发现马泉金矿、金山金矿、大草沟金矿	矿区深部和外围岩体热变质带是重要找矿有利区
8	芦河—草关村 (I Au8)	西和—成县两县交界部位	600	远景区内出露的地层有泥盆系赋矿的中泥盆统西汉水组和安家岔组, 区内主体构造线方向呈东西向。区内岩浆岩分布比较广泛, 仅在三洋坝和小沟金矿床内出露有层状岩脉, 包括花岗斑岩、花岗细晶岩及少量的斜长斑岩和流纹斑岩, 区内金矿主要产出特征是: ①与铅锌矿呈上下层产出, 上层千枚岩中产出金矿、下层灰岩中产出铅锌矿; ②与脉岩相伴产出; ③主要赋矿围岩为千枚岩。区内已发现小沟里、三洋坝、三华咀等金矿; 同时野外工作中在小沟里金矿南侧发现严家河金矿化点	主要寻找与铅锌矿空间相伴产出的金矿床
9	甲勿寺—阳山 (I Au9)	文县西部	600	区内出露的地层为泥盆系和三叠系; 中下泥盆统是主要的赋矿岩系。主要岩浆岩为石英斑岩、石英闪长岩等。区内主要构造为阳山弧形构造, 弧形构造是远景区内最主要的控矿构造, 区内产出的金矿床均受其控制。远景区内环形构造发育, 并处于断裂构造交汇部位, 可能是岩浆侵入作用的热隆起引起的。区内产有阳山超大型金矿、石鸡坝大型金矿及甲勿寺、联合村金矿	受阳山弧形构造控制的微细浸染型金矿床
10	李子园—吊坝沟 (I Au10)	天水南部娘娘坝—吊坝沟一带	860	区内出露地层为元古代秦岭群、古生界李子园群和泥盆纪舒家坝组; 李子园群是主要的赋矿地层。区内北西唐藏—李子园—关子镇区域性反 S 形韧性剪切带是主要的控矿构造。李子园—党川背形控制了金矿的产出。出露有党川岩体、柴家庄岩体、八卦山岩体、吊坝沟岩体。区内产出有柴家庄金矿、李子园金矿、花石山金矿、甘沟金矿、桦林沟金矿和花庙子金矿	主要寻找受韧性剪切带控制产于印支—燕山期岩体两侧的金矿床
11	上地沟—太阳寺 (I Au11)	上地沟—两当县太阳寺一带	600	出露地层为中泥盆统舒家坝河组, 岩浆岩主要为印支期二长花岗岩和石英闪长岩岩体。礼县—凤县断裂通过远景区, 远景区南部夏河—临潭—岷县—宕昌—西和—凤镇深大断裂通过。已发现土地沟、铜湾里、八条沟、潘家沟、黑水沟、花灌沟、太阳寺等金矿床(点); 近几年在两当太阳乡发现寺合金矿, 矿脉往东、西延长方向均未封闭, 金与铅、锌银矿化相伴产出	寻找金、铅锌、银多金属矿成矿有利区, 主要金矿类型为石英脉型、其次为蚀变岩型

续表 2

序号	成矿远景区	地理位置	面积/km ²	主要成矿地质、地化特征	找矿方向
12	康县—坪沟 (Au12)	康县—略阳交界处	400	出露地层有上元古碧口群细碧角斑岩系；震旦系结晶灰岩、千枚岩、变质火山岩；寒武系千枚岩、硅质岩和粉砂岩；泥盆系三河口组石英角斑岩夹灰岩、砂岩及千枚岩，在顶部有少量紫色细碧熔岩；石炭系灰岩。勉略超深断裂带在远景区内通过；岩浆岩不发育，仅有少量华力西期岩脉和燕山期小岩体。区内产出的原生金矿床有铔厂沟金矿，同时产出三官河、碾坝、徐家河、王坝等众多砂金矿。表明区内有砂金矿的矿源层存在	寻找的主要金矿床是与近东西向韧性剪切带有关的金矿床和北西向构造控制的蚀变岩型金矿床
13	河口镇—孔棺 (I Au13)	凤县东部	400	出露地层为泥盆系细碎屑岩-碳酸盐岩-细碎屑岩夹碳酸盐岩-细碎屑岩，是该区的主要含矿层位。区内构造线方向主体为 EW-NWW 向，褶皱强烈，断裂发育，同时发育 NE 向隆起带和凹陷带，形成菱形格子状构造格局，控制金等多金属矿产的分布。岩浆岩主要分布于东部，以中、酸性岩为主，具多期次、多阶段特征。已发现八卦庙特大型金矿	已知金矿区深部及外围灰岩-千枚岩接触带是寻找与脆-韧性剪切带有关金矿床的有利部位
14	略阳县—麻柳铺 (I Au14)	略阳县东	690	位于“勉略阳金三角”内，区内地层主要有晚太古代鱼洞子群（组）中深变质火山沉积岩和中晚元古代碧口群巨厚的绿片岩相变质火山沉积岩系；盖层为晚元古代震旦系（海相碎屑岩-碳酸盐岩沉积）。山间盆地有零星泥盆系、石炭系、二叠系、侏罗系，区域基底构造线在北部呈 NW-NWW，南部呈 NE-NEE 向，中部东端为近 EW 向并且向西转为 NE 向或 NS 向，构成北部、中部和南部 3 个构造岩浆岩成矿区带。分布 7 个金异常。产出特大型煎茶岭金矿	寻找产于超基性岩与白云岩的接触断裂带与超基性岩有关的构造破碎带蚀变白云岩型金矿床

表 3 金矿床规模大于 M 的矿床数目

矿床规模（资源量）/t	大于 1 t	大于 2 t	大于 5 t	大于 20 t	大于 50 t	大于 100 t
矿床个数	62	51	36	14	4	1

取 2~50 t 的矿床利用最小二乘法进行拟合，则与分形数（分维值） $D=1.22$ 的直线吻合较好，无标度区间在 2 个数量级，表明西秦岭成矿带金矿床资源量-数量是分形分布。图 6 暗示在西秦岭还有相当数量的潜在的大型、超大型金矿。

目前西秦岭成矿带已知 20~50 t 的金矿床有 10 个，取平均资源量为 35 t 得相关线是：

$$N = 10 \left(\frac{M}{35} \right)^{-0.59} \quad (1)$$

式中 M 为资源量， N 为资源量 M 大于某一确定资源量的矿床数目。

由（1）式预测西秦岭成矿带还可以找一批 50~500 t 的大型、超大型和特大型金矿。

利用（1）式进行西秦岭成矿带金资源规模大于 50 t 的资源总量估算，设可能出现的单个矿床的最大资源量 $M_{\max}=1\,000\text{ t}$ ，由图 6 及（1）式得单个矿床最小资源量 $M_{\min}=50\text{ t}$ ，资源量-数量分形关系式中的比例常数 $k=52.9$ ， $D=1.22$ ，求得矿床的总资源量 $\Sigma M_{\text{cacl}}=1\,756.8\text{ t}$ ，减去已发现的大于 50 t 的金资源量 543.668 t，则西秦岭地区潜在的大于 50 t 的金矿床的资源量为 1 213.132 t。

5.3 丰度法资源总量预测

西秦岭地区产出金矿床（点）202 个，金资源总量 1 100 042.78 kg，以平均每个矿区面积 20 km²来近似估算区内总体资源量下限值，已知区的深度（ D ）按 1 000 m 计算；各类岩石的平均比重（ S_G ）以 2.7 t/m³

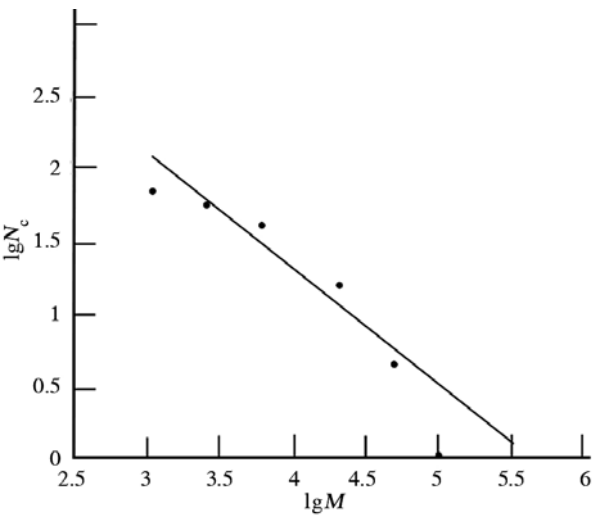


图 6 西秦岭成矿带金矿资源量大于 M 的矿床数 N_c 与 M 的关系

计; 成矿元素的区域地壳丰度 (C_A) 以区内 1:20 万水系沉积物金平均值 1.84×10^{-9} 。则富集系数:

$$\begin{aligned} r_R &= T_R / (C_R \times D \times C_A \times S_G \times 10^3 + T_R) \\ &= (1\ 100 \times 10^3) / (4\ 040 \times 1 \times 1.84 \times 2.7 \times 10^3 + 1\ 100 \times 10^3) \\ &= 5.2 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

式中 r_R 为成矿元素或成矿元素组合 (R) 的富集系数, T_R 为已探明的成矿元素或成矿元素组合 (或 R) 的各级别的资源总量 (t), C_R 为控制区面积 (km^2), D 为已知区资源估算的深度 (km), 数值由当前经济技术条件确定, C_A 为成矿元素的地壳丰度值, S_G 为已知区内岩石的平均比重。

在金矿资源潜力的计算中, 预测区的面积是对计算结果影响较大的参数。对于本区, 如果采用全区的面积计算, 那么估算结果要偏大, 所以本次估算以 1:20 万化探异常的面积来代替预测区的面积, 这样估算的资源量应该比较接近区域成矿潜力的下限值, 结果应该准确一些, 根据本区的 1:20 万化探结果, 异常面积大约为 $15\ 000\ \text{km}^2$ 。按模型公式, 本区的金矿成矿潜力估算结果为:

$$\begin{aligned} ET_R &= r_R \times R_A \times A \times S_G \times D \times 10^3 / (1 - r_R) \\ &= 5.2 \times 10^{-2} \times 1.5 \times 10^4 \times 1.84 \times 2.7 \times 10^3 / (1 - 5.2 \times 10^{-2}) \\ &= 8073\ (\text{t}) \end{aligned}$$

式中: ET_R 为待估计地区成矿元素的资源量, R_A 为待估计地区的面积, A 为区域元素丰度值, S_G 为预测区岩石的平均比重。

从丰度估计法的原理及数学模型可以看出, 西秦岭地区富集系数比较大, 反映西秦岭地区成矿作用强烈, 以丰度法估算的资源量为地表以下 1 km, 而以分形法估算大天 50 t 的金资源量为目前勘探深度, 一般而言, 西秦岭地区勘探深度不超过 500 m, 部分达 600~700 m; 现目前区内资源量大于 50 t 和小于 50 t 的金矿资源总量为 1:1; 因此以目前勘探深度, 小于 50 t 的金矿资源量与大于 50 t 的金矿资源量相当, 因此以丰度法估算区内金资源总量 8 073 t, 是比较可信, 即西秦岭地区还存在约 7 000 t 的金资源总量, 找矿前景巨大。

参考文献

- 杜子图, 吴淦国. 1998. 西秦岭地区构造体系及金矿成矿构造动力学[M]. 北京: 地质出版社.
- 杨书恒, 张凤岭, 等. 1996. 西秦岭造山带演化与成矿[J]. 四川地质学报, 16(1): 73-79.
- 方春家. 2005. 甘肃金山金矿床地质特征及成因探讨[J]. 甘肃冶金, 27(3): 61-63.
- 陶炳昆. 1982. 关于西秦岭中生代花岗岩类的时代期次问题的讨论[J]. 地球化学, (4): 340-347.
- 李永军, 丁仁平, 等. 2003. 西秦岭温泉花岗岩体的新认识[J]. 华南地质与矿产, (3): 8-11.
- 卢哲, 权君娟, 等. 2003. 西秦岭中川花岗岩岩浆活动特征及地质效应[J]. 甘肃地质学报, 12(2): 25-30.
- 赵希刚. 1997. 多元地学数据信息处理及解译在西秦岭地区金矿找矿中的应用[J]. 铀矿地质, 13(4): 209-217.
- 李长江, 麻士华. 1999. 矿产勘查中的分形、混沌与 ANN[M]. 北京: 地质出版社. 58-59.