

## 甘肃阳山金矿带地球动力学体制与多因耦合成矿作用

雷时斌<sup>1,2</sup>, 齐金忠<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 中国人民武装警察部队黄金指挥部, 北京 100102)

**[摘要]**通过阳山金矿带区域演化史的总结分析, 结合西秦岭南部地区金矿成矿时代及其与造山运动的关系研究成果, 对阳山矿带的区域成矿地球动力学体制进行了厘定; 阳山超大型金矿和西秦岭地区大多数金矿床, 特别是卡林-类卡林型金矿床, 主要是在碰撞造山后期隆升伸展动力学体制下形成。通过对阳山矿带各种控矿因素的成矿作用分析与研究, 认为各种控矿有利因素在相对局部的空间域内充分耦合是大型、超大型金矿成矿的重要条件。

**[关键词]**超大型金矿 地球动力学体制 多因耦合 控矿因素 甘肃

**[中图分类号]**P618.51 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2007)02-0033-07

阳山金矿带位于川陕甘“金三角”地区南中部的甘肃省文县境内, 地理坐标为东经 104°37'00" ~ 104°49'00", 北纬 33°01'00" ~ 33°08'30"。矿带 EW 长 20 km, SN 宽 2 ~ 3 km。目前, 已基本查明成矿有利地段 7 处, 其中初步普查的安坝、阳山、葛条湾矿段已累计探获金资源量 (332 + 333 + 334<sub>1</sub>) 超过 200t, 显示巨大的找矿潜力。对于该矿带, 前期曾开展过矿床地质、地球化学特征、流体包裹体、矿床成因、成矿时代等多方面的研究<sup>[1-3]</sup>。笔者主要对该区成矿地球动力学体制(背景)、多因耦合成矿作用规律进行厘定和研究。

## 1 区域成矿地质背景

阳山金矿带产于秦岭造山带西段的南亚带, 即位于碧口微板块以北、松潘—甘孜褶皱系以东、秦岭微板块西段的中南部边缘(图 1), 其所处的西秦岭地区经历了较复杂的地质演化史: ①新太古代为古陆核演化时期<sup>[3-5]</sup>; ②元古宙, 碧口地块快速增生时期<sup>[5-6]</sup>; ③新元古代—早古生代, 扬子陆块北缘出现局部洋壳, 普遍发育陆缘碎屑岩、碳酸盐岩、硅质岩建造<sup>[6-7]</sup>; ④加里东运动(400Ma 左右)中, 扬子北缘不均匀褶皱隆升; ⑤早泥盆世中晚期, 西秦岭南亚带的三河口一带发生拉张形成裂陷槽<sup>[7-8]</sup>, 并逐步转化为勉略洋盆<sup>[9-10]</sup>, 南秦岭从扬子板块北缘分离

出来, 成为夹持于勉略洋与商丹洋之间的相对独立的“秦岭微板块”<sup>[11]</sup>, 广泛接受了泥盆纪—二叠纪大洋台地相碳硅泥岩系沉积; ⑥早二叠世, 伴随巴颜喀拉地区巨大的弧后盆地形成, 西秦岭又一次发生拉张裂陷, 并在早中三叠世逐渐演化为裂陷海盆, 以陆缘海的构造背景接受了巨厚的复理石沉积<sup>[7]</sup>; ⑦晚三叠世, 随着扬子板块沿勉略带向南秦岭板块之下的俯冲和勉略洋盆闭合, 西秦岭进入陆内造山演化阶段(240Ma ~ 220Ma)<sup>[7, 10, 12]</sup>; ⑧晚三叠世末到中侏罗世, 伴随勉略缝合带南侧的巨大碰撞逆冲推覆和前陆冲断褶皱作用, 缝合带以北的西秦岭地区发生隆升和伸展作用<sup>[11-12]</sup>, 主要表现为规模较小的侏罗纪断陷盆地和分布广泛、规模相对较大的酸性侵入体和岩脉(190Ma ~ 220Ma)<sup>[13]</sup>, 晚侏罗世, 西秦岭地区构造—岩浆活动总体较弱, 仅在勉略古缝合带发生较强烈叠加改造<sup>[11]</sup>; ⑨早白垩世, 伴随秦岭中央造山系整体的急剧隆升, 西秦岭地区发生新的伸展裂陷作用, 形成一系列具有红色磨拉石建造特征的箕形断陷盆地和分布广泛、规模较小的燕山期酸性岩脉和小岩株(120Ma ~ 150Ma)<sup>[13]</sup>; ⑩从第三纪初期(65Ma)印度板块与欧亚板块开始碰撞拼合, 松潘—甘孜造山带的双向收缩、深层滑脱、侧向及垂向挤出, 致使该区又开始进入陆内伸展构造盆地演化, 并接受了西秦岭中北部的第三纪厚数千米的红色磨

**[收稿日期]**2006-07-17; **[修订日期]**2006-11-03; **[责任编辑]**曲丽莉。

**[基金项目]**武警黄金指挥部项目(编号: HJ0503)资助。

**[第一作者简介]**雷时斌(1963年—), 男, 1985年毕业于中国地质大学, 获硕士学位, 在读博士生, 高级工程师, 现主要从事黄金地质科研和勘查工作。

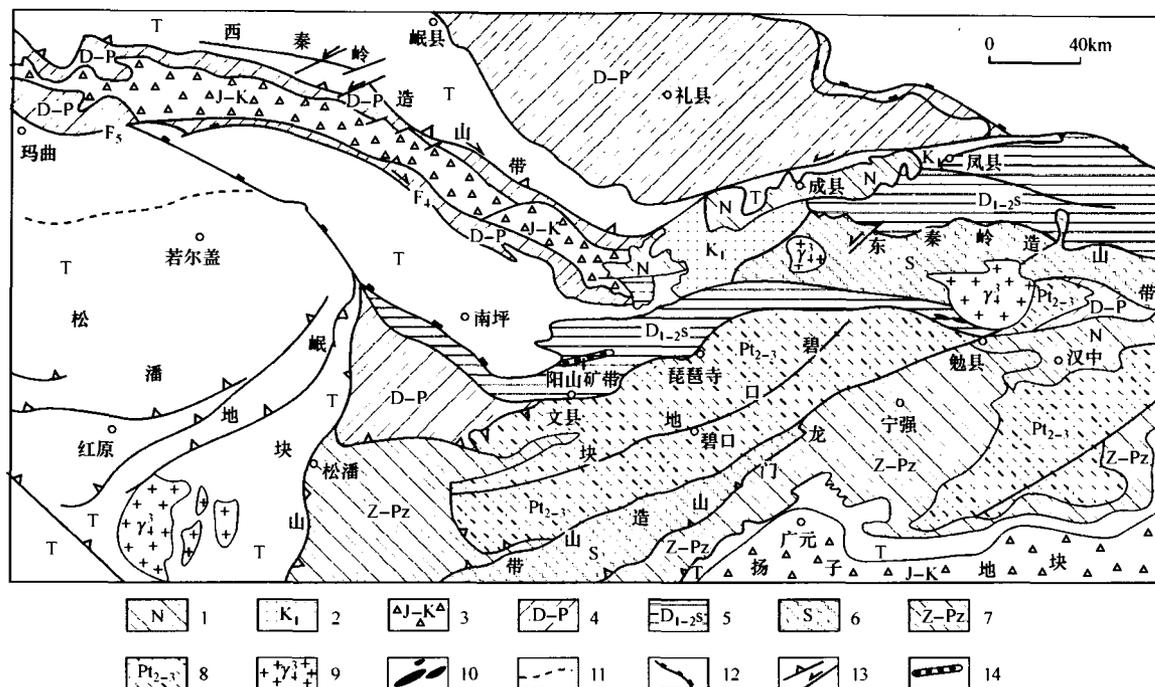


图1 西秦岭一带大地构造略图

(据张国伟,2003)

T—三叠系砂岩、板岩;1—新近系红色摩拉石堆积;2—下白垩统泥灰岩、页岩;3—侏罗系—白垩系泥灰岩、页岩、砾岩;4—泥盆系—二叠系灰岩、砂质板岩、板岩;5—泥盆系三河口群千枚岩、灰岩、板岩、砂岩等;6—志留系浊积岩夹碳硅质岩;7—震旦系—古生界陆缘碎屑岩、碳酸盐、硅质岩建造;8—中中新元古界灰岩、变质砂岩;9—印支期花岗岩;10—蛇绿岩及相关火山岩;11—推测断层;12—缝合带;13—逆冲断层和走滑断层;14—阳山矿带

拉石堆积。

## 2 成矿时代与地球动力学体制

对于西秦岭地区的金矿成矿,大多数学者虽然对金矿成矿作用机理有不同的认识或表述,但是普遍认为该地区金矿成矿时代介于220Ma~100Ma之间<sup>[6,10,12]</sup>。据相关文献、资料的同位素精确年龄和矿床规模统计,西秦岭地区的金矿成矿明显存在3个峰值期:210Ma~160Ma的晚三叠世—早侏罗世,130Ma~100Ma的早白垩世和60Ma以来的早第三纪,其中以210Ma~160Ma成矿为主,而且大型以上规模的金矿床往往经历了多期次成矿作用耦合或叠加(表1)。

齐金忠等<sup>[3]</sup>对阳山金矿带内斜长花岗斑岩脉和含金石英黄铁矿细脉中的石英进行了K-Ar,<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar同位素年龄测定,其中的锆石进行了SHRIMP U-Pb年龄精确测定。基本确认矿区斜长花岗斑岩脉形成时代为171Ma~209Ma(岩脉K-Ar年龄),与斜长花岗斑岩脉同期的岩浆热液的活动年龄为(195.31±0.86)Ma(矿化石英脉<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar年龄);石英中的岩浆锆石组<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U年龄为

(197.6±1.7)Ma、(126.9±3.2)Ma、(51.2±1.3)Ma。上述资料和研究成果说明:阳山矿带内的金矿床主要形成于侏罗纪早期,并在白垩纪早期以及第三纪发生了一定程度的岩浆叠加或耦合成矿作用;成矿特征与西秦岭地区中生代以来的区域构造-岩浆-成矿热事件相吻合。

虽然国内学者对西秦岭的早白垩世、早第三纪2个金矿成矿事件研究较少,但是从其区域地质演化来看,可将此2时期地球动力学体制归属为陆内隆升伸展裂陷地球动力学体制。而对西秦岭地区发生在三叠纪—早侏罗世金矿成矿事件,由于缺乏对印支期碰撞造山运动的精确同位素测年数据,致使对该时期金矿成矿的地球动力学体制认识不尽一致。陈衍景等<sup>[6]</sup>认为此时期成矿的地球动力学体制属碰撞造山过程挤压—伸展转变期的减压增温体制,成矿构造模式为碰撞造山成岩成矿和流体作用模式,并认为金矿成矿与岩浆作用关系不甚密切;毛景文等<sup>[12]</sup>认为西秦岭成矿动力学体制属后碰撞伸展体制,金矿床是后碰撞过程与岩浆作用有关的热流体和热释放导致对流循环产生的热液流体共同作用的结果。按照Jamieson<sup>[45]</sup>对完整的造山过程描



U-Pb 年龄为  $(2\ 675 \pm 9)$  Ma, Sm-Nd 同位素年龄为  $(2\ 688 \pm 100)$  Ma<sup>[4]</sup>, 说明碧口群在太古宙已开始发育。碧口群总体上为一套巨厚的浅变质火山沉积岩建造, 是区内地层岩石中含 Au 最高的地质体, 平均为  $9 \times 10^{-9}$ 。据阳山矿带内斜长花岗斑岩脉和含金石英脉锆石 SHRIMP U-Pb 年龄精确测定<sup>[3]</sup>: 6 件  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄为  $2\ 496\text{Ma} \sim 2\ 797\text{Ma}$ , 锆石均呈浑圆状, 且无增生环带, 推断该区出露的碧口群中存在新太古代的地层单元, 并为泥盆系提供了物源; 34 粒锆石的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为  $536\text{Ma} \sim 2\ 048\text{Ma}$ , 其中 13 粒 [ $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  平均年龄  $(813 \pm 12)$  Ma] 具有岩浆岩结晶锆石特征, 显示该时期该区基底曾发生重要的岩浆活动, 其余均为捕获地层中的锆石, 这在一定意义上显示碧口群可能是阳山矿带金矿成矿的间接矿源层。

### 3.1.2 泥盆系

区内泥盆系主要为三河口群中段, 可分为 6 个岩性段, 第一、二岩性段组成一不完整海侵旋回, 第三、四、五岩性段组成一海侵到海退完整沉积旋回。矿床(体)主要赋存于第三岩性段的砂泥质千枚岩中, 第三岩性段表现出从碳硅质—碳泥质—泥质—砂质沉积的一个较为完整的沉积旋回, 与杜乐天<sup>[48]</sup>所指碳、硅、泥质热水沉积较为相似。三河口群的含金性较高<sup>[49]</sup>(砂质类岩石的金含量最高为  $7.78 \times 10^{-9}$ ), 而且粉砂质千枚岩含有较丰富的碳质(矿石中有机碳含量平均为 0.80%), 金矿床中的碳质和有机质不仅在沉积岩中对金属有富集作用, 在较高温环境下也是形成众多矿床不可或缺的组分<sup>[50]</sup>。

阳山矿带内的粉砂质千枚岩裂隙、页理发育, 这有利于热液运移和弥散性裂隙系统发育, 形成微细浸染型金矿床; 其次, 由于矿带内粉砂质千枚岩多与能干性大的灰岩、硅质岩互层, 易在岩性界面产生滑动、破碎、虚脱等, 造成构造应力低势区, 导致热液的强烈活动和金的沉淀富集。

阳山矿带内存在 2 种黄铁矿, 即沉积和热液成因 2 类。前者呈层或纹层状, 随地层褶皱变形, 常构成草莓状集合体, 其虽然不构成矿主体, 但金有明显富集(纹层状黄铁矿化千枚岩中金含量为  $0.1 \times 10^{-6} \sim 0.3 \times 10^{-6}$ ), 说明在三河口群岩石成岩过程中, 在盆流体(地层水、变质水)作用下, 发生过初始的金富集。据硫同位素分析结果<sup>[2-3]</sup>: 部分脉石英、黄铁矿化千枚岩  $\delta^{34}\text{S}_{(-\text{CDT})}$  为较高的正值 ( $+9.56\% \sim +13.23\%$ ), 与三河口群中沉积黄铁矿的  $\delta^{34}\text{S}_{(-\text{CDT})}$  ( $+10.9\%$ ) 一致, 即以富集重硫为特征;

部分脉石英  $\delta^{13}\text{C}_{(-\text{PDB})}$  值为  $-2.19\%$ , 与海相沉积碳较为一致。由此可见, 泥盆系三河口群为金矿成矿提供了物质来源。

综上所述, 碧口群和泥盆系具有良好的成矿物质来源基础, 特别是泥盆系三河口群岩石, 不仅是成矿物质的直接来源, 而且具有众多有利于金矿成矿的内在因素, 如热水沉积、高金背景值、含丰富的有机碳、较高的渗透性、原始初级富集(初始矿源层)等, 这些有利的内在因素在沉积盆地边缘的阳山矿带内充分耦合, 为矿带内金矿成矿奠定良好的物质基础。

### 3.2 构造

阳山金矿带位于碧口微板块(古陆)北侧边缘、南秦岭南缘的勉略缝合带内, 其南部紧邻勉略缝合线(北倾的深大断裂, 图 1)。自早泥盆世以来, 由于深大断裂的活动和多期次裂谷、板块俯冲、碰撞造山等构造作用, 致使阳山矿带区域发生了不同构造动力学体制下的多期次的壳—幔沟通, 为物质和能量的大规模输运和交换、幔源物质的集中上涌以及岩石矿物分异等作用创造了十分有利的构造条件。

阳山矿带内区域性断裂构造带(安昌河—观音坝断裂构造带, 长 30km, 宽数十米—数千米, 断裂带总体 N 倾, 倾角  $50^\circ \sim 70^\circ$ ) 是矿质及成矿流体在地质体中输运并趋向富集的主干通道, 其与相伴、派生次断裂和孔隙裂隙发育的泥盆纪砂质千枚岩等共同构成联系矿源场(深部岩浆熔体, 泥盆系、碧口群矿源层, 成矿流体等)—储矿场的构造—岩石网络, 也被称为运移场。由于阳山矿带的运移场规模大(至少是区域尺度), 并处于减压增温伸展的构造动力学体制, 易形成较高的热梯度、开放连通构造体系、构造低势区等, 因此, 极其有利于热流体在较大空间范围对流循环, 致使流体体系的大气降水或地下水和地层水、岩浆水以及活化剂(阴离子)和金等得到充分补给, 从而实现成矿物质源源不断地向储矿场所富集, 形成规模大、富集度高的金矿成矿集中区。

矿带内与区域性断裂近于平行的次级反倾断层(S 倾)和次级复式褶皱的转折端, 则主要构成了金矿成矿的储矿场, 如安坝矿段 305、311、314 等具有数十吨规模的大型或超大型矿体均赋存在这类“背斜加一刀”的储矿构造之中。

上述特征表明, 在阳山矿带这个特殊成矿环境内, 构造既为壳—幔沟通实现大规模物质输运、交换、集中提供了有利条件, 又为矿质、矿液运移提供了有利通道, 还为矿质沉淀提供了空间。

### 3.3 岩浆岩

阳山矿带内岩浆活动相对较弱,仅有少量酸性岩脉、岩墙和小岩株出露,岩石类型以斜长花岗斑岩为主,次为花岗细晶岩。岩脉往往发育于断裂构造破碎带内或附近,多顺层产出,并常见多条岩脉组合一起形成复脉带。斜长花岗斑岩脉、花岗细晶岩脉多发生蚀变矿化,部分岩脉直接形成矿体,矿体也多发育于岩脉的内外接触带或附近,说明岩脉与金矿成矿关系较为密切。如前述,矿带内的斜长花岗斑岩脉形成于侏罗纪早期,而且在白垩纪早期以及第三纪早期又发生2次重要的隐伏岩浆活动。据稳定同位素分析结果,阳山矿带内斜长花岗斑岩脉 $\delta^{13}\text{C}_{(-\text{PDB})}$ 值为 $-9.09\% \sim -9.14\%$ ,安坝矿段石英 $\delta^{13}\text{C}_{(-\text{PDB})}$ 值为 $-8.36\%$ <sup>[2-3]</sup>,与岩浆成因碳较为接近;矿脉中主要载金矿物黄铁矿及辉锑矿的硫同位素组成值 $\delta^{34}\text{S}_{(-\text{CDT})}$ 均以较小的负值为特征,其变化范围为 $-3.47\% \sim -0.7\%$ (平均 $-2.2\%$ )<sup>[2-3]</sup>,接近于岩浆硫。另据航磁资料反演,已初步确认在阳山矿带的葛条湾—阳山矿段深部有较大规模岩浆隐伏体存在。

综上所述,阳山矿带内岩浆活动与金矿成矿关系密切,而且不同期次岩浆耦合成矿作用为矿带内的金矿床形成提供了较丰富的成矿物质来源和热动力条件。

### 3.4 成矿流体来源和物理化学条件分析

阳山矿带各矿脉的石英氢氧同位素组成(10件样品)<sup>[3,6]</sup>: $\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}(-\text{SMOW})}$ 值为 $14.2\% \sim 22.7\%$ , $\delta\text{D}_{(-\text{SMOW})}$ 值为 $-75\% \sim -56\%$ ,换算的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}(-\text{SMOW})}$ 值为 $3.7\% \sim 12.2\%$ 。在 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 图解中,氢氧同位素组成主要分布于标准岩浆水附近,反映该区金矿床与岩浆活动关系较为密切;其投影点明显向雨水线偏移,可能说明成矿历史过程中有大气降水加入。

研究表明<sup>[1,3]</sup>,阳山矿带石英中流体包裹体均一温度较低,为 $105^\circ\text{C} \sim 310^\circ\text{C}$ ;盐度较低,主要集中在 $1.6\% \sim 6.5\%$ 之间;流体成分以 $\text{H}_2\text{O}$ 为主(摩尔分数为 $70\% \sim 91.3\%$ ),其次为 $\text{CO}_2$ (平均 $11.3\%$ ),还含有 $2\% \sim 4\%$ 的 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{C}_2\text{H}_2$ 、 $\text{C}_4\text{H}_6$ 、 $\text{C}_6\text{H}_6$ 等;流体中阳离子组分以 $\text{Na}^+$ 为主,其次为 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ ,阴离子组分以 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 为主, $\text{Cl}^-$ 次之。阳山金矿流体包裹体液相成分中含 $\text{H}_2\text{O}$ 明显偏高,而含 $\text{CO}_2$ 明显偏低,可能与该矿区矿体形成深度较浅,地下水混入较多有关。另据王真

光<sup>[51]</sup>的程序计算出成矿流体包裹体pH值为 $6.9 \sim 7.1$ ,显示成矿环境为弱碱性; $\Sigma(\text{CO} + \text{H}_2\text{S})/\text{CO}_2$ 为 $0.5$ ,显示为还原环境。

在热液矿床平均梯度曲线图中<sup>[52]</sup>,阳山金矿流体包裹体均一温度及盐度投影点均位于硫化物配合物区域,显示金属离子主要以硫化物配合物形式迁移,即 $\text{Me}(\text{HS})_2 \rightarrow \text{MeS} + \text{HS}^- + \text{H}_2\text{S}(\text{aq})$ 。

可见, $\text{HS}^-$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 浓度减小,pH值减小及氧化作用均可引起以硫化物配合物形式迁移的矿质沉淀,而降温、降压及流体混合引起的稀释作用同样也会造成配合物的沉淀。在阳山金矿,温度、压力的降低可能是引起矿质沉淀的主要因素,另外,地层中碳质的还原吸附对矿质沉淀也起着较为重要的作用。

## 4 多因耦合成矿作用

阳山金矿带内巨大量Au聚集和超大规模金矿床的形成,涉及到地质、物理、化学等诸多因素,而各种控矿因素在一定时空域中的充分耦合是阳山矿带内超大型矿床形成的重要条件。在泥盆纪,由于受古特提斯洋扩张作用的影响,处于扬子大陆边缘的该区发生伸展拉张作用形成裂陷盆地,并沉积了一套巨厚Au含量较高的碳、硅、泥质地层(热水沉积)。在沉积成岩及其后的区域浅变质过程中(印支期碰撞造山过程),在能量场(热流场、应力场)和流体(此时主要是地层水和变质水)作用下,Au被萃取、运移,并在某些有利区段或层位(盆地边缘、粉砂质千枚岩)被初步富集。而后又经历多次构造动力学体制转换和成矿作用的耦合(侏罗纪早期、白垩纪早期、第三纪早期),特别是发生于三叠纪末—侏罗纪早期的构造动力学体制联动转换(碰撞挤压—伸展拉张),使正常的岩石圈/软流圈的结构(热结构、物质结构和密度结构)受到扰动和破坏,诱发了区内规模最大的一次构造—岩浆—流体活动;从而使壳—幔内的成矿元素Au(主要来自深部岩浆、泥盆系)被激活、萃取,形成含Au流体(主要是岩浆水、大气水,Au以硫化物配合物存在,弱还原),并通过区内壳—幔沟通的深大断裂(勉略缝合线等)、区域断裂和岩石裂隙等构成的成矿流体通道大量地运移和上涌,并在阳山矿带内的局部有利构造部位(背斜加一刀),通过构造减压、温度下降、氧化作用、大气降水加入、碳质的还原吸附等地球物理化学障的作用,产生沉淀聚集,形成了阳山带内的超大型金矿床。

位于扬子古陆西北边缘阳山矿带内的超大型金

矿床形成并非偶然,而是众多成矿要素在相对局部的空间域内充分耦合的结果,主要有以下几方面重要成矿要素:①多次大的地球动力体制转换,特别是主成矿期内的联动转换;②多个成矿系统的耦合、叠加;③壳—幔沟通(深大断裂);④多元流体大量汇聚和丰富的多元矿源;⑤后碰撞造山伸展拉张动力学体制;⑥长期稳定的热流场;⑦临界转换(盆地边缘、构造界面等因素易形成临界转换带,构成地球物理化学障);⑧构造多型,不同尺度、类型构造以及规模较大的透水层形成大中小型构造—岩石网络—运移场、储矿场;⑨热水沉积,形成 Au 含量较高的碳、硅、泥质地层;⑩长期多次的构造—岩浆—流体活动,以及陆缘沉降、造山形成良好的保存条件等。这些特征与翟裕生<sup>[53]</sup>先生提出的古陆边缘产出大型—超大型矿床的“十要素”基本类似。

## [参考文献]

- [1] 齐金忠,李莉,袁士松,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.
- [2] 罗锡明,齐金忠. 甘肃省阳山金矿床微量元素及稳定同位素地球化学研究[J]. 现代地质,2004,18(2):203-209.
- [3] 齐金忠,李莉,袁士松,等. 甘肃省阳山金矿床石英脉中锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究[J]. 矿床地质,2005,24(2):141-150.
- [4] 张宗清,张国伟,唐素寒,等. 鱼洞子群变质岩年龄及秦岭造山带太古宙基底[J]. 地质学报,2001,75(2):198-204.
- [5] 匡耀求,张本仁,欧阳建平,等. 扬子克拉通北西缘碧口群的解体与地层划分[J]. 地球科学,1999,24(3):251-256.
- [6] 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,2004,50(2):134-152.
- [7] 刘家军,郑明华,刘建明,等. 西秦岭大地构造演化与金成矿带的分布[J]. 大地构造与成矿学,1997,21(4):307-314.
- [8] 杜远生. 西秦岭造山带泥盆纪沉积地质学和动力沉积学研究:西秦岭南带泥盆纪裂陷槽盆地、摩天岭地体沉积特征和盆地格局[J]. 岩相古地理,1995,15(5):48-61.
- [9] 张国伟,董云鹏. 秦岭造山带基本组成与结构及其构造演化[J]. 陕西地质,1997,15(2):1-14.
- [10] 姚书振,丁振举,周宗贵,等. 秦岭造山带金属成矿系统[J]. 地球科学,2002,27(5):599-604.
- [11] 张国伟,董云鹏,赖绍聪,等. 秦岭一大别造山带南缘勉略构造带与勉略缝合带[J]. 中国科学(D辑),2003,33(12):1121-1135.
- [12] 毛景文,李晓峰,李厚民,等. 中国造山带内生金属矿床类型、特点和成矿过程探讨[J]. 地质学报,2005,79(3):342-372.
- [13] 杜子图,吴淦国. 西秦岭地区构造体系及金成矿构造动力学[M]. 北京:地质出版社,1998:156.
- [14] 齐金忠,李莉,袁士松,等. 甘肃省阳山金矿床石英脉中锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究[J]. 矿床地质,2005,24(2):141-150.
- [15] 张复新,陈衍景,李超,等. 秦岭造山带金龙山—丘岭金矿床地质地球化学特征及成因:秦岭式卡林型金矿成矿动力学机制[J]. 中国科学(D辑),2000,30(增刊):73-81.
- [16] 张静,陈衍景,舒桂明,等. 陕西秦岭梁岩体矿物成分研究和有关问题讨论[J]. 中国科学(D辑),2002,32(2):113-120.
- [17] 路彦明,李汉光,陈勇敢,等. 西秦岭寨上金矿床中石英和绢云母<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 定年[J]. 矿床地质,2006,25(5):590-597.
- [18] 樊硕诚,金勤海. 陕西双王型金矿床[A]. 刘东升. 中国卡林型(微细浸染型)金矿[C]. 南京:南京大学出版社,1994:254-285.
- [19] 韦龙明,曹远贵,王民良. 陕西八卦庙金矿床地质特征及其成因分析[A]. 刘东升. 中国卡林型(微细浸染型)金矿[C]. 南京:南京大学出版社,1994:286-305.
- [20] 邵世才,汪东波. 南秦岭三个典型金矿床的<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 年代及其地质意义[J]. 地质学报,2001,75(1):106-110.
- [21] 黄婉康,甘先平,单祖翔,等. 陕西煎茶岭金矿区的岩石及成矿时代研究[J]. 地球化学,1996,25(2):150-156.
- [22] 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,2003,22:257-263.
- [23] 冯建忠,汪东波,王学明,等. 西秦岭三个典型金矿床稳定同位素地球化学特征[J]. 中国地质,2004,31(1):78-84.
- [24] 黄杰,王建业,韦龙明. 甘肃李坝金矿床地质特征及成因研究[J]. 矿床地质,2000,19(2):105-115.
- [25] 王平安,陈毓川,裴荣富. 秦岭造山带区域矿床成矿系列、构造—成矿旋回与演化[M]. 北京:地质出版社,1998:1-161.
- [26] 柳森. 李坝金矿床地质特征[A]. 刘东升. 中国卡林型(微细浸染型)金矿[C]. 南京:南京大学出版社,1994:160-202.
- [27] 杨俊龙,余必胜. 西秦岭拉尔玛卡林型金矿床的 U-Th-Pb 年代学与 Pb 同位素地球化学研究[J]. 华南地质与矿产,1997(4):39-49.
- [28] 王驹. 碳硅泥岩型(铀)矿床成矿富集地球化学[M]. 北京:原子能出版社,1994:1-136.
- [29] 李亚东,李应涛. 甘肃拉尔玛微细浸染型金矿床地质特征及成矿模式[A]. 刘东升. 中国卡林型(微细浸染型)金矿[C]. 南京:南京大学出版社,1994:226-253.
- [30] 阎好升,王安建,高兰,等. 大水式金矿床地质特征及成因探讨[J]. 矿床地质,2000,19(2):126-137.
- [31] 付绍洪,顾雪祥,王苹. 川西北马脑壳金矿床流体包裹体 Rb-Sr 同位素组成:对矿床成因的制约[J]. 地球化学,2004,33(1):94-98.
- [32] 王可勇. 我国微细浸染型金矿床的形成条件及成矿作用特征[J]. 贵金属地质,2000,9:160-165.
- [33] 季宏兵,王世杰,文锦明. 川西北地区马脑壳金矿床的成矿年代学[J]. 矿物岩石地球化学通报,1999,18(2):95-98.
- [34] 郑明华. 喷流型与浊流型层控金矿床[M]. 成都:四川科学技术出版社,1994:1-273.
- [35] 毛裕年,李小壮. 川—陕—甘“金三角”成矿区东北寨金矿床主要地质特征[A]. 刘东升. 中国卡林型(微细浸染型)金矿[C]. 南京:南京大学出版社,1994:317-342.
- [36] 马建伟,奥和会,陈淑德. 秦岭金矿遥感地质[M]. 北京:地质出版社,1997:1-188.

- [37] 张国伟,梅志超,周鼎武. 秦岭造山带的形成及其演化[M]. 西安:西北大学出版社,1988:1-16.
- [38] 李福东,邹湘华,高纪璞,等. 马鞍桥微细浸染型(沉积岩容矿)金矿床快速定位预测研究[J]. 西北地质,2001,34:27-63.
- [39] 刘从强. 湖北银洞沟铅锌银矿床的地球化学特征及其成因分析[J]. 矿床地质,1987,6:53-61.
- [40] 刘从强. 湖北银洞沟铅锌银矿床的流体包裹体研究[J]. 地球化学,1989(2):139-148.
- [41] 秦正永,雷世和. 武当群成岩年龄新资料兼讨论[J]. 中国区域地质,1996(2):176-185.
- [42] 季宏兵,李朝阳,文锦明. 川西哲波山金矿床的成矿物质来源及成矿时代[J]. 科学通报,1998,43:870-875.
- [43] 张晓军,张均,贾永胜,等. 川西北金木达矿床地质地球化学特征研究[J]. 地质与勘探,2002,38(3):28-32.
- [44] 蔡锦辉,张业明,付建明,等. 鄂西北许家坡金银矿床石英流体包裹体研究[J]. 华南地质与矿床,1999,(4):44-49,56.
- [45] Jamieson R A. *P-T-t* paths of collisional orogenesis[J]. *Geologie Rundschau*,1991,180:321-332.
- [46] Kerrich Robert,Goldfarb Richard,Groves David,et al. The characteristics,origins and geodynamic settings of supergiant gold met-allogenic Provinces[J]. *Science in China (Series D)*,2000,43 (Supplement):1-68.
- [47] 秦克令,邹湘华,何世平,等. 西秦岭鱼洞子群的建立和时代归属[A]. 秦岭—大巴山地质论文集(一)[C]. 北京:科学技术出版社,1990:167-178.
- [48] 杜乐天. 地壳流体与地幔流体间的关系[J]. 地学前缘,1996,3(4):172-180.
- [49] 王学明,邵世才,汪东波. 甘肃文康地区金矿地质特征与找矿标志[J]. 有色金属矿产与勘查,1999,8(4):220-226.
- [50] Arehat G B. Characteristics and origin of sediment-hosted disseminated gold deposits: A review[J]. *Ore geology reviews*,1996,11(6):383-403.
- [51] 王真光,张姿旭. 矿物包体成分物理化学参数的计算程序[J]. 地质与勘探,1991,27(7):22-27.
- [52] 於崇文,岑况,鲍征宇,等. 成矿作用动力学[M]. 北京:地质出版社,1998. 230.
- [53] 翟裕生,张湘,宋鸿林,等. 大型构造与超大型矿床[M]. 北京,地质出版社,1997.

## GEODYNAMICS SYSTEM AND MULTI-FACOR COUPLING MINERALIZATION IN THE YANGSHAN GOLD BELT, GANSU

LEI Shi-bin<sup>1,2</sup>, QI Jin-zhong<sup>2</sup>

(1. Institute of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083;

2. Gold Headquarters, Chinese Armed Police Force, Beijing 100102)

**Abstract:** According to analyses of regional evolution history in the Yangshan gold belt, combined with research results of gold mineralizing time and its relationship with orogeny in the south area of western Qinling, regional ore-forming geodynamics system in the Yangshan ore belt has been defined. Yangshan super-large gold deposit and the most other gold deposits in the western Qinling, especially the Carlin-type gold deposits, were mainly formed in uplift and outspread dynamic system in the late collision orogeny period. Through the analysis and study of mineralization for all kinds of ore-controlling factors in the Yangshan ore belt, it is considered that coupling of all sorts of ore-controlling factors in relative local space has been significant condition to the mineralization of large and super-large gold deposit.

**Key words:** super-large gold deposit, geodynamics system, multi-factor coupling, ore-controlling factor, Gansu