

西秦岭寨上特大型金矿床成矿作用及成矿模式研究

刘新会¹, 刘家军², 张争京¹, 郑卫军¹

1. 武警黄金第五支队, 陕西 西安 710100;

2. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083

摘要:寨上金矿是微细浸染型金矿床。金的赋存状态有3种类型:一是呈微细粒包体或类质同像替代形式存在于载金矿物中;二是呈微细粒分布在碎屑粒间;三是呈微细粒分布在石英、方解石脉的晶粒间。载金矿物黄铁矿具有特征的增生环带;原生矿石类型主要有浸染状和细—网脉状,极少量的块状矿石。矿床类型有细—中等浸染状破碎带型、细—网脉型。流体包裹体研究表明,成矿流体具有中低温、低盐度、低密度和多期次活动的特点,成矿压力较低,成矿深度较浅。由矿区金的赋存状态、载金矿物的增生环带、矿石类型、矿床类型、流体组成及性质,得知寨上金矿成矿受构造—流体双重作用,由此建立了成矿模式,即浅源和深源成矿物质混合形成成矿流体→成矿流体分异(分层)→先后依次贯入(渗透)→形成脉状(浸染状)矿石(体)。

关键词:成矿流体;预富集;流体分异;成矿模式;寨上金矿;西秦岭

中图分类号:P618.51 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-2518(2010)03-0020-08

西秦岭寨上金矿储量已突破百吨,研究其成矿作用及建立成矿模式已成为当务之急。微细浸染型金矿成矿作用和成矿流体密切相关。关于此类矿床成矿作用及模式已有专家学者进行了多年研究,总体上有6种观点:根据矿床地质特征及成矿物理化学条件,尤其是成矿深度,将秦岭地区卡林型金矿床划分为深部带型、中部带型和浅部带型三亚类^[1];翟裕生先生提出的“构造—流体—成矿系统”^[2];流体成矿系统与成矿作用研究作为探索矿床形成过程的一个新的前沿课题以及矿床评价与勘查的重要基础^[3];陈衍景^[4-5]、谢才富^[6]在研究秦岭地区构造成矿模式时,建立了陆内碰撞体制流体作用的模式;周乃武^[7]建立了金矿床“拉张、碰撞、抬升”的成矿模式;齐金忠^[8]研究阳山超大型金矿时提出的多期岩浆热液活动与泥盆系热水沉积在空间上的藕合叠加,促成了阳山特大型金矿床的形成。笔者在研究寨上金矿金的赋存状态、矿石类型、矿体特征、流体地球化学特征、礼岷盆地演化过程等基础上,受岩浆 Cu-Ni 硫化物矿床成矿模式^[9]的启迪,提出了寨上金矿“浅源和深源成矿物质混合形成成矿流体→成矿流体分异(分层)→先后依次贯入(渗透)→形成脉状(浸染状)矿石(体)”的成矿模式。

1 地质概况

寨上金矿位于岷县城北东 20 km 处。大地构造位置处于西秦岭中带,西成—凤太—镇旬拉张裂陷

盆地沉积环境^[8],临潭—天水褶皱带(Ⅲ),新寺—大草滩复背斜(Ⅳ)西部,岷县—礼县多金属成矿带西部。

区内主要出露泥盆纪、二叠纪浅变质岩系,原岩为滨—浅海相碎屑岩、碳酸盐岩、泥质岩建造。区域构造格架为近 EW 和 NW 向构造联合形成的行列格状构造:近 EW 向构造带由 3 个褶皱隆起带和 4 个褶皱凹陷带构成;NW 向构造由 4 个褶皱隆起带和 4 个褶皱凹陷带构成。二者相互叠加,形成一系列东西成行、北西成列的网状隆起(背斜)和凹陷(向斜)。寨上矿区东部分布印支—燕山期中川复式花岗岩体,矿区北矿带内已发现石英闪长玢岩脉。区内李坝、马泉、金山和鹿尔坝等金矿床与岩体空间关系较为密切^[10]。以上可看出寨上金矿具有有利的区域地质背景和成矿地质条件。

2 矿体地质

2.1 矿体特征

矿区按金矿(化)体的空间分布特征,分为南、北 2 个矿带,共发现金矿脉 22 条,区内矿脉严格受卓落—国营牛场背斜及 NWW 向断裂控制,北矿带位于卓落—国营牛场背斜的北翼,矿脉赋存于下二叠统 b 组(P₂b)的砂质板岩、含碳板岩、泥质板岩和砂岩中,矿脉间距 30~300 m,倾向 N、倾角 20~60°。矿石类型以稀疏—稠密浸染状为主。南矿带位于卓落—国营牛场背斜核部及南翼,矿脉赋存于中泥盆统 e 组(D₂e)灰岩、钙质板岩夹泥质板岩中,矿脉间

收稿日期:2010-04-08;修订日期:2010-05-06。

基金项目:中央地质勘查项目“甘肃省岷县寨上金矿床金矿物赋存状态查定”(编号:2009)资助。

作者简介:刘新会(1964-)男,陕西澄城人,高级工程师,从事金矿地质勘查与研究。lxh556688@163.com

距 80~400 m,近平行分布^[11]。矿石类型以细—网脉状矿石为主,其次有稠密浸染状矿石(少量块状矿石,21号脉中发现有块状辉锑矿石,厚达 70 cm)。

2.2 矿石特征

(1)矿石类型按氧化程度可分为氧化矿石和原生矿石。氧化矿石呈黄褐色、棕褐色、红褐色,主要为褐铁矿,呈蜂窝状、土状、皮壳状分布,其次为铜兰,充填矿石裂隙中。氧化深度总体趋势为北矿带深于南矿带,南矿带 20~15 m,北矿带 30~60 m。原生矿石按金属硫化物分布状态划分为浸染状低品位金矿石、角砾状较高品位金矿石、细—网脉状高品位金矿石。各类浸染状矿石之间呈渐变过渡关系,浸染状矿石与脉状矿石之间界线清楚。浸染状矿石占 63%,脉状矿石占总量的 19%,角砾状矿石占 18%。

(2)矿石结构构造。矿石构造按成因分为 4 种类型:结晶分异作用形成的稀疏浸染状—稠密浸染状、斑点状、斑杂状构造;热液充填交代作用形成的细—网脉状、脉状、细脉—浸染状、细脉—斑杂状构造;动力变质作用形成的片状、皱纹状构造;次生作用形成的土状、粉尘、泥状构造^[12]。矿石结构有结晶作用形

成的自形—半自形晶、他形晶,构造应力作用形成的揉皱、压碎结构。

(3)矿石矿物成分。在金矿石中,金属矿物较多,主要有黄铁矿、黄铜矿、毒砂、辉锑矿、方铅矿、闪锌矿、辉钼矿、车轮矿、硫锑铜矿、黝铜矿、砷黝铜矿、锌黝铜矿、辉锑铅矿、铜蓝、自然铜、自然金、自然镍、以铜为主的多金属互化物、以镍为主的多金属互化物、硫的多元合金矿物。其中黄铁矿、毒砂、白钨矿、菱铁矿、黄铜矿、黝铜矿、辉锑矿等在矿区分布较广(表 1)。脉石矿物主要有石英、方解石、重晶石、高岭土、白云石、绿泥石、绢云母和斜长石等。

(4)金的赋存状态。研究区金矿物主要有 3 种赋存状态:自然金赋存在石英、高岭石等碎屑粒间形成粒间金;金呈微包裹体形式或呈类质同像替代的原子形式存在于载金矿物中呈晶格金;自然金赋存在石英方解石重晶石脉中呈裂隙金^[13](表 2)。

2.3 成矿阶段划分

寨上金矿成矿期划分为沉积预富集期、构造热液成矿期、表生氧化富集期 3 期,其中构造热液期又

表 1 寨上矿区南、北矿带矿物、矿石、矿体地质特征对比

		北矿带	南矿带
矿物	种类	黄铁矿、毒砂、微细粒方铅矿、黄铜矿、辉锑矿等	具有增生环带的黄铁矿、毒砂、粗粒方铅矿、条带状黄铜矿、黝铜矿、粗粒辉锑矿、辉砷镍矿等
	自形程度	他形、半自形	半自形—自形
	粒度	细粒为主	中粗粒
	金矿物类型	晶格金	微细粒自然金
矿石	构造	浸染状为主,少量细脉—网脉状	细脉、网脉状为主,少量浸染状
	结构	稀疏—中等浸染状	稠密浸染状、细脉、网脉、条带状、块状
	类型	草莓状、他形粒状、半自形柱粒状	他形粒状、半自形—自形粒状、压碎
	类型	微细浸染型	细—网脉型
矿体	金平均品位	3.53×10 ⁻⁶	4.92×10 ⁻⁶
	金属量/kg	63 626	14 824

表 2 寨上矿区南矿带脉状矿体中金矿物电子探针分析结果

样品号	脉体号	测试点号	矿物名称	Au	Ag	Cu	Hg	Te	总量
07ZS48*	31 号	14	金(银)	91.34	8.15	0.08		0	99.57
07ZS48*		15	金(银)+汞	88.23	9.08	0.14	1.66	0.18	99.28
ZSK60-3	2 号	1	金(银)	94.67	5.33				100
ZSK60-3		2	金(银)	93.72	4.68				100
ZSK60-2		1	金(银)	92.88	7.12				100
ZSK60-2		1	金(银)	92.85	5.74				100

注:带*数据由中国地质大学(北京)实验中心电子探针室测试,2008;其余数据由长安大学地球科学与资源学院大陆动力实验室测试,2009

可划分为 3 个阶段。我们着重研究构造热液期的 3 个成矿阶段的地质特征。

稠密浸染状黄铁矿聚集阶段。他形粒状、半自形五角十二面体黄铁矿聚集形成透镜体、短细脉、反“S”形。从形态上分析,是受左行剪切作用所致。此

期黄铁矿颗粒明显比原岩中的黄铁矿粗,黄铁矿呈半自形晶,多数为五角十二面体,少量呈他形粒状,且黄铁矿具有增生环带,显然是经过了热液作用。

方解石+重晶石+黄铁矿+毒砂阶段。形成以方解石、重晶石为主的细脉,金属硫化物以黄铁矿、毒砂

为主,且金属硫化物分布在细脉的两侧靠近围岩一侧,形成沿脉壁分布的金属硫化物条带。脉壁平直,有分岔。脉石矿物以粗晶方解石为主,含少量长柱状重晶石。金属硫化物以黄铁矿及毒砂为主。黄铁矿呈他形粒状,相对较粗,粒径为 $0.13\text{ mm}\times 0.242\text{ mm}$ 。毒砂呈半自形柱状、横截面呈菱形,颗粒相对黄铁矿要细小,粒径为 $(0.09\sim 0.13)\text{ mm}\times (0.0165\sim 0.022)\text{ mm}$,可见三连晶。毒砂和黄铁矿稀疏分布在细脉边部,中部极少。

方解石+重晶石+黄铁矿+方铅矿+黝铜矿+自然金阶段。形成方解石、重晶石、黄铁矿、方铅矿、黝铜矿、黄铜矿、自然金等矿物组合。细脉分带明显:蚀变围岩—多金属矿化带—方解石和重晶石细脉—多金属矿化带—蚀变围岩。蚀变围岩中黄铁矿相对围岩含量增多,最高达40%。靠近细脉两侧为多金属矿化带,金属矿物主要有他形粗粒黄铁矿、细粒毒砂、粗粒方铅矿、黝铜矿、自然金等。金矿物分布在重晶石和方解石粒间,呈近似圆球状,粒径为 $0.06\text{ mm}\times 0.06\text{ mm}$ 。细脉中部为粗粒半自形—自形方解石、长柱状自形重晶石。

3 矿床地球化学

3.1 成矿元素及微量元素

矿石中主要有益组分为Au,其次为Ag、W、Cu等。通过对矿体初步组合分析,除21-2、31-1号等矿体中的Ag达到可综合利用价值外,其他组分含量均达不到综合利用价值。

通过分析寨上矿区50件金矿石、蚀变岩石、正常围岩的16种微量元素数据的聚类分析、因子分析、样品元素的组合特征,认为成矿物质受到深源物质和围岩共同影响^[14]。

3.2 同位素地球化学

寨上金矿氢、氧同位素组成反映成矿流体水的来源具有多源特征,深部岩浆水和浅部大气降水发生了混合,并且与围岩进行了充分的交换。通过硫同位素分析,寨上金矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 一方面可能反映了硫源为岩浆硫和地层硫的混合,另一方面也可能与这些矿物的形成温度密切关联。方解石的碳、氧同位素组成特征显示,寨上金矿的 CO_2 来源主要是由海相沉积碳酸盐岩经溶解作用产生,并有花岗岩岩浆热液的混入。稀土元素地球化学分析,寨上金矿表现出轻稀土富集型,Eu负异常,稀土配分曲线为右倾斜,可能有深源物质的参与^[15]。从同位素地球化学来看,成

矿物质来源主要有来自地层和深源可能与岩浆岩有关的成矿物质。

3.3 成矿流体

根据群体包裹体成分和激光拉曼探针分析,寨上金矿床流体包裹体气相成分以 H_2O 为主,其次为 CO_2 、 N_2 、 CH_4 ,并含有少量的 C_2H_2 、 C_2H_4 、 C_2H_6 、 CO 。矿区内流体包裹体阳离子以 Na^+ 和 Ca^{2+} 为主, $\text{Na}^+>\text{K}^+$,基本不含其他阳离子;阴离子以 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 和 F^- 为主, $\text{F}^-<<\text{Cl}^-$ 。该流体体系为 $\text{Ca}^{2+}\text{-Na}^+\text{-Cl}^-\text{-SO}_4^{2-}$ ^[15]。说明在石英和方解石形成时没有 Fe^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Pb^{2+} 等其他阳离子,也就是说石英、方解石与方铅矿、闪锌矿、黄铁矿等多金属硫化物不属于同一期,或者同期但已分异。

通过对流体包裹体温度的测定,其均一温度(Th)变化范围在 $100\sim 380\text{ }^\circ\text{C}$ 之间,具有3个集中分布范围: $140\sim 190\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $220\sim 260\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $280\sim 320\text{ }^\circ\text{C}$,分别代表了3期热液活动。由冰点温度计算获得该矿床包裹体的盐度介于 $1.29\%\sim 18.13\%$ 之间,集中在 $2\%\sim 8\%$ 之间,另有一个较集中的范围为 $11\%\sim 13\%$ 。该矿床成矿流体的密度变化于 $0.71\sim 1.06\text{ g/cm}^3$,以 $0.8\sim 1.0\text{ g/cm}^3$ 最为普遍,总体上属于低密度流体。寨上金矿床气液两相包裹体的流体压力为 $27.48\sim 83.03\text{ MPa}$,平均 54.63 MPa ,成矿压力集中在 $40\sim 70\text{ MPa}$ 之间,计算寨上金矿床的成矿深度为 $4.16\sim 7.49\text{ km}$,平均成矿深度为 5.88 km ^[15]。

从流体包裹体成分和性质来看,寨上金矿形成的成矿流体是由大气降水与岩浆热液混合而成,这2种不同来源的流体发生混合,使成矿流体的物理化学条件急剧改变,促使矿质沉淀、堆积、分异、分层。在这种方向性或规律性突然被中断或破坏之处,很可能是成矿有利地段^[3]。

4 成矿环境

自中奥陶世扬子板块向北秦岭—祁连地块俯冲、在武山—唐藏断裂以南、礼县—洮坪断裂以北形成岷礼盆地以来,其演化经历了3期构造阶段^[16]。

第一期(加里东晚期—海西早期)变形发生于盆地形成初期,以塑性流变为特征。变形机制以面理置换、挤压、剪切作用为主,为韧性变形。能干性较弱的泥质岩层发生了面理置换,能干性强的石英砂岩或粉砂岩形成一系列的无根褶皱或石香肠。该期变形南强北弱,舒家坝组变形较为强烈,西汉水组相对较弱。

第二期(海西期)形成区域性宽缓开阔褶皱和近EW向走滑断裂。形成了石家河坝复向斜。礼县—罗坝—锁龙口断裂以及礼县—洮坪—限子坝断裂发生EW向左行走滑运动。舒家坝组褶皱较西汉水组和中石炭统褶皱更为紧闭,变形机制为弯滑褶皱作用和剪切作用,变形为韧性—脆韧性。

第三期(印支—燕山期),在二叠纪以后,区域上经历3次较明显的(挤压)伸展过程^[8]。秦岭地区全面造山,区域上自南向北逆冲推覆,形成以EW向为主体的构造脊线。在印支晚期,由于应力暂时松弛,该地区又发生伸展,早期形成的EW、NWW向断裂重新扩容,表现为早挤压、晚伸展的特征,此期主要为脆性变形。同时中川岩体侵入,形成岩浆热蚀变作用。此期是岷礼地区金属矿床形成的重要时期^[16]。

5 成矿作用

诸多专家学者研究^[17-20]滇、黔、桂微细浸染型金矿流体方面达成以下共识:金矿成矿流体中的矿质、矿化剂和水具有深源和浅源的混合特征;控制金矿分布的深大断裂具壳幔贯通性,是构成深源矿质和流体直接进入地壳,与浅源物质和流体混杂并交代岩石成矿的有利通道;金主要以 Cl^- -HS-络合物或细微粒自然金的形式迁移;礼岷盆地东部中川地区金矿床流体包裹体主要有 CO_2 - H_2O 、富 CO_2 和水溶液包裹体3种类型,成矿流体以 CO_2 - NaCl - H_2O 型为主,富 CO_2 、低盐度、高温和不混溶为其主要特点。

5.1 含成矿物质大气降水的分异作用

寨上矿区位于国营牛场背斜的一个隆起部位,这是一个封闭体系,易于成矿流体的圈闭储存。秦岭造山带构造运动具有脉动性,既有间歇期又有活动期。在构造运动的间歇期,成矿流体逐渐积蓄在背斜的封闭体系中,流体主要成分有 H_2O 、F、Cl、 CO_2 、As、S、Te、Sb、Hg、Ag、Au、Pb、Zn、Cu、Mo、K、Si、Na等,水主要来自岩石的孔隙水和矿物的层间水或吸附水, CO_2 、 H_2S 、 CH_4 等气体来自岩石的孔隙或由有机体分解;流体氧逸度较高,偏酸性; H_2O - CO_2 较高,盐度低^[5]。由于流体深度不同而导致重力分异形成不同溶解度的混悬液,在此期间因没有较大的构造空间,主要储存在碎屑粒间及显微裂隙内,当其达到过饱和时,可结晶沉淀形成黄铁矿,如草莓状、半自形立方体黄铁矿等。由于分异作用,金、铅、锌、铜等原子量较高的原子分布在下层位中,所以黄铁矿中Au、Ag等元素含量极低。构造运动活动期,在开放体系

中释放出来形成矿化体。寨上金矿加里东期成矿以此作用为主。

5.2 混悬状流体的分异作用

成矿流体是由大气降水携带地层中大量的成矿物质(溶解质、悬浮物等)与岩浆热液携带大量的深源成矿物质(流体中 CO_2 、CO、F、Cl等组分较多, $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$ 较低,氧逸度低,盐度较高,富含Si、K、Na以及大量以悬浮形式存在的细颗粒物等组分)相遇发生结晶、凝聚、堆积、重力分异作用,形成流体的分层结构。

大气降水由浅部向深部,由低温、低压向高温、高压环境下渗。岩浆热液由高温、高压环境向中低温、中低压环境上侵。需要说明的是,大气降水通过岩层向下渗透,溶解、萃取了岩层中的多种元素形成混悬液。而岩浆热液本身就是一种包容了大量成矿物质的混悬液。当大气降水与岩浆热液相遇在封闭的背斜构造体系中时,首先是相互渗透,物质发生交换,高浓度溶液中的溶质向低浓度溶液中运移,而低浓度中的水向高浓度中运移。两种性质截然不同的混悬液相遇将发生物理凝聚作用,使分散于两种流体中呈分散状的分子及离子快速结晶,形成较大颗粒的微粒,形成新的混悬液。在漫长的地质时期内,由于成矿流体所处的深度不同,温度压力也不同,不同深度区间内的流体溶解度不同,混悬液的密度也不同,于是成矿流体发生分层,形成不含矿流体、含矿流体(富矿流体、矿浆)等二层(四层)结构。

5.3 成矿流体的迁移方式

构造活动期,成矿流体有2种上侵方式:一是沿NW向深大走滑断裂贯入形成脉状、块状矿体;二是沿大气降水下渗的通道(粒间孔隙、显微裂隙等)向上渗透,形成黄铁矿、黄铜矿等的增生环带。在成矿流体向上渗透或贯入过程中,首先是不含矿流体的上渗或贯入,形成不含矿的黄铁矿增生环带(内核、2、4、6环)或石英、方解石重晶石脉,其次才是含矿流体的上渗或贯入,形成黄铁矿的含矿增生环带(1、3、5环)或在脉体旁侧贯入含矿金属硫化物组合。成矿流体的多期次上渗或贯入形成了黄铁矿的多个增生环带或多期次的脉体。具体到寨上金矿所在岷礼地区由于发生了3期构造活动和对应的3期五次岩浆侵入,构造热液成矿期也发生了3个成矿阶段。

5.4 成矿机制

我们认为微细浸染型金矿在就位现存空间之前的深部或在就位过程中,发生了预富集成矿作用,其

成矿机制为深部分层—贯入(渗透),即成矿流体侵入到现存空间之前,在深部通道中发生了结晶分异、凝聚、重力分异作用,使成矿流体由上而下分异为不含矿流体、含矿流体(2层分法)或者分异为不含矿流体、含矿流体、富矿流体、矿浆(4层分法),然后对现存空间一次或多次上侵贯入成矿。一般来说,经过深部分异的不含矿流体的体积,比含矿流体、富矿流体、矿浆的体积要大许多,并由下而上依次间歇式向上渗透或贯入,不含矿流体大部分上升到不同的空间形成蚀变带或岩脉(石英方解石脉),剩余的含矿流体(及富矿流体、矿浆)可以多次渗透或贯入同一空间成矿,也可以分别渗透或贯入不同的空间成矿,此种机制形成的矿床含矿率和矿石品位也高很多。

5.5 寨上金矿成矿作用过程

(1)沉积成岩期大气降水萃取岩层物质下渗分异作用。盆地形成期(加里东中期,中奥陶世沉积—成岩期)形成草莓状、立方体微细粒黄铁矿,以及分布在碎屑粒间的自然金。大气降水下渗—溶解、萃取地层中的成矿物质形成成矿流体(以大气降水为主,包容地层中的各种易溶物质及微细粒)。加里东期,变形机制以构造置换、挤压、剪切作用为主,为韧性变形。区域上的挤压、剪切作用,成矿流体以渗透形式迁移,在地层中形成稀疏浸染状黄铁矿。从成岩—流体形成—向上渗透形成稀疏浸染状黄铁矿,完成了一次“流体—渗透运移—成矿”的过程。

(2)构造热液期大气降水下参与岩浆热液上升混溶作用第一阶段。海西期构造挤压伸展多期发生。构造间歇期,西秦岭地区处于陆内裂谷演化与成矿。早泥盆世期间裂谷拉张的深度有限,是成矿的准备阶段,而没有直接成矿。中泥盆世地壳充分拉伸,使壳幔韧性层全面隆升,从而引发大规模成矿活动。此期除大气降水能带来成矿物质向下渗透外,基性岩浆热液向上侵入带来了深源成矿物质,在深部形成了混合的成矿流体。两种流体相遇发生相互溶解、凝聚、结晶等作用,形成的成矿流体是一种混合流体,在构造活动期向上渗透,在沉积期黄铁矿周边增生形成环带,致使金属硫化物聚集形成斑点状、斑杂状、透镜状、短细脉状构造。此期混合流体分异作用不甚明显。

(3)构造热液期大气降水下参与岩浆热液上升混溶分异作用第二阶段。印支期,岷礼地区发生陆陆碰撞造山,发生了最少3期构造岩浆作用,同样也发生了3期流体混合聚集—向上贯入(渗透)作用,形

成3次成矿旋回。构造间歇期,在构造运动晚期挤压停止后,应力松弛的发展使岷礼盆地进入造山后伸展运动期,这是岩浆活动的有利时期,在岷礼地区也形成了一定规模的岩浆活动,以酸性岩浆为主。这一时期地层中的金活化、循环,产生富集,形成含有大量成矿物质的大气降水,大气降水携带地层中的成矿物质向下渗透。由于造山后的伸展作用,岩浆沿构造薄弱带——华力西期同生断裂上侵,形成S型花岗岩。由于岩体的侵入,产生了大量的热量,使地下水、部分大气降水与岩浆水混合形成热液,产生对流,不断萃取下部奥陶系孟家沟群(Om)或志留系吴家山组(Sw)中的金及含矿围岩中的金,形成含矿热液。由于印支期岩浆活动持续发生,即始终有热源提供,含矿热液不断循环、萃取,使得大量的成矿物质进入热液,并使含矿热液循环范围扩大,达5 km^[21-22]。由于温度、压力、成分、相态、深度的不同导致混合流体发生分异,形成2层(或4层)结构。构造活动期,三叠纪后区内发生了全面的造山运动。此期的第一阶段,分异的上层成矿流体向上渗透或向上贯入。成矿流体分异形成的上层以Ca²⁺、Na⁺、K⁺、Si²⁺、SO₄²⁻、CO₃²⁻、S等原子量相对较轻的流体先期向上渗透和贯入,形成较宽大的蚀变带、浸染状黄铁矿中不含矿的增生环带、脉状矿石中石英方解石细脉。第二阶段,分异的下层成矿流体向上渗透或向上贯入,形成浸染状黄铁矿中含矿的增生环带、脉状矿石中形成分布在脉两侧的以黄铁矿、毒砂为主的金属硫化物细脉,以及石英、方解石、绢云母、绿泥石等脉石矿物。

(4)构造热液期大气降水下参与岩浆热液上升混溶分异作用第三阶段。燕山期构造岩浆活动相对较少,但规模较大,成矿作用比较强。从成矿年龄(125.28±1.26 Ma)^[21]看是主要的成矿期之一。在此期成矿流体同样也发生流体混合聚集—向上贯入(渗透)作用的多期次成矿旋回。构造间歇期,大气降水下参与岩浆热液上升混溶,并且再次发生分异形成2层(或4层)结构的混悬状流体。构造活动期,燕山期位于秦岭造山带东南方向的太平洋板块发生由南东向北西的俯冲、推挤及逆时针剪切,使古生代以来全面抬升并克拉通化的大陆发生了活化,形成了以断裂和花岗岩活动为特征的构造热事件,成矿上表现为动力改造成矿。第一阶段:分异的上层成矿流体向上沿地层层间空隙渗透或沿断裂向上贯入,形成地层及破碎带内、浸染状黄铁矿中不含矿的增生环带,断裂带中形成脉状方解石重晶石脉。第二阶段:

分异的下层成矿流体携带大量的成矿物质,向上渗透或向上贯入,于破碎带内、浸染状黄铁矿中形成含矿增生环带、细粒状方铅矿、黄铜矿、辉锑矿等,断裂带中脉体两侧形成黄铁矿、方铅矿、自然金、黄铜矿、辉锑矿等多金属细脉。

6 寨上金矿成矿模式

通过以上分析寨上金矿成矿物质来源、成矿流体的物理化学性质、构造演化与成矿作用关系,得出寨上金矿的成矿模式为“浅源和深源成矿物质混合形成成矿流体→成矿流体分异(分层)→先后依次贯入(渗透)→形成脉状(浸染状)矿石(体)”。加里东期是礼岷盆地形成初期,构造以固态塑性流变为特征,没有岩浆作用。在中低温条件下岩层流体中的 Fe^{2+} 、 S^{2-} 结晶形成自形立方体、草莓状黄铁矿。华力西期是第一期成矿流体形成并且发生上侵成矿作用。此期间礼岷地区以形成宽缓褶皱为特征,国营牛场背斜形成于此期,同时礼县—罗坝—锁龙口断裂、礼县—洮坪—隈子坪断裂发生EW向走滑,次级断裂发育,基性辉长岩沿深大断裂上侵,规模相对较大。褶皱形成,挤压使岩层中的含成矿物质的大气降水下渗,基性岩体上侵分异形成的含成矿物质的岩浆热液上侵,当二者相遇,流体中的离子相遇必然发生结晶作用,流体中的悬浮物细粒相遇必然发生物理凝聚作用形成更大的悬浮物,进而发生下沉产生重力分异,形成二层或四层结构的流体。进一步的构造挤压作用使分层的热卤水一部分向上渗透,一部分向深大断裂的次一级构造裂隙迁移。向岩层上渗的热卤水中 Fe^{2+} 、 S^{2-} 、 As^{2-} 等离子在早期形成的黄铁矿边缘形成增生环带;由于流体的分层,先期的流体中仅有 Fe^{2+} 、 S^{2-} 而形成黄铁矿,晚期的下层次中的流体含有 Fe^{2+} 、 S^{2-} 、 As^{2-} 、 Au^+ 、 Ag^+ 等离子而形成含金碲的环带;向次级断裂贯入的流体在近地表由于温压的变化而结晶沉淀形成细脉—网脉状矿石,由于流体的分层,先期贯入的是原子量相对较低的 Ca^{2+} 、 Ba^{2+} 、 Si^{2+} 、 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 等阳离子和阴离子,形成方解石、石英、重晶石脉。后期贯入的是原子量相对较高的 Fe^{2+} 、 As^{2-} 、 Au^+ 、 Pb^{2+} 等阳离子和阴离子,形成铁铅硫化物和金矿物。

印支期—燕山期是第二、第三期成矿流体形成上侵成矿作用过程。构造作用形成EW、NW、NWW向破碎带,构造运动表现为早挤压晚伸展的多期特征,岩体在此期表现为3次侵入的特征,导致此期成

矿流体多期次(3次)的脉动式上渗或贯入,形成具有多个增生环带的黄铁矿、多期次的细脉—网脉状矿石。此期为主成矿期,由于构造运动强烈,致使成矿流体在不同期次中上渗或贯入,形成富矿石(图1)。

7 结语

(1)寨上金矿是中低温热液作用形成的微细浸染型金矿床。金的赋存状态有分布在碎屑粒间的粒间自然金、赋存在黄铁矿和毒砂等载金矿物中呈类质同象存在的微细粒金、分布在脉体中方解石和石英等矿物粒间与方铅矿同期的微细粒自然金等3种类型。主要的载金矿物为黄铁矿、毒砂、石英、白钨矿等;矿石类型有浸染状矿石、细脉—网脉状矿石和块状矿石,第1种主要分布在北矿带,后2种主要分布在南矿带。

(2)成矿作用。印支晚期岷礼地区在挤压后伸展过程中岩浆上侵分异形成中酸性脉岩和岩浆热液,大气降水萃取地层中成矿物质,下渗的大气降水与上侵的岩浆热液相遇发生了混溶作用、结晶作用、凝聚作用、重力分异作用,形成的成矿流体具有分层,在后期的挤压作用下沿NW向断裂向上依次贯入、渗透、扩散。成矿流体运移方式主要有流体分层—渗透和流体分层—贯入作用。在物化环境变化的容矿部位沉淀、结晶、堆积成矿。

(3)建立了寨上矿区成矿模式“浅源和深源成矿物质混合形成成矿流体—成矿流体分异(分层)—先后依次贯入(渗透)—形成脉状(浸染状)矿石(体)”。

(4)总结出一套微细浸染型金矿研究方法:从矿物、矿石、矿体特征这个“结果”研究入手,分析构造、岩浆、流体演化“过程”,把“过程”和“结果”有机的结合起来,总结出成矿模式。

参考文献

- [1] 王建业,刘莺玲.中国秦岭地区卡林型金矿成矿模式[J].广西科学,1995,2(4):24-27.
- [2] 翟裕生.关于构造—流体—成矿作用研究的几个问题[J].地质前缘,1996,3(3-4):230-236.
- [3] 贾跃明.流体成矿系统与成矿作用研究[J].地质前缘,1996,3(3-4):253-258.
- [4] 陈衍景.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):143-152.
- [5] 陈衍景.陆内碰撞体制的流体作用模式及与成矿的关系—理论推导和东秦岭金矿床的研究结果[J].地质前缘,1996,3(3-4):282-289.
- [6] 谢才富,熊成云,胡宁.东秦岭造山带“两阶段双带”区域成

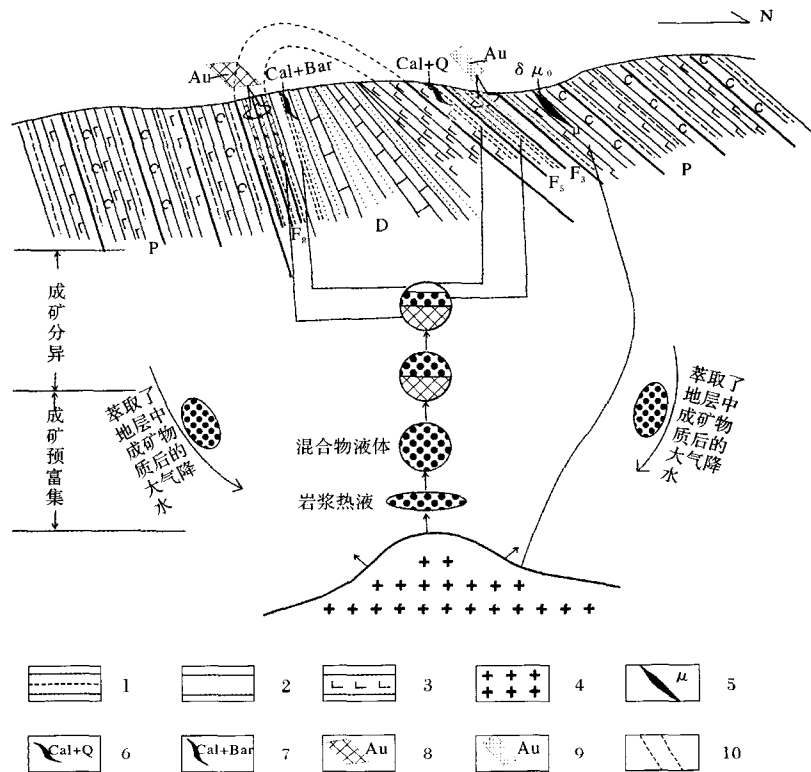


图1 寨上金矿成矿模式综合图

D-泥盆系;P-二叠系;1.粉砂质板岩;2.碳质板岩;3.钙质板岩;4.酸性岩体;5.石英闪长玢岩脉;
6.石英方解石脉;7.方解石重晶石脉;8.细一网脉状矿体;9.浸染状矿脉;10.破碎带

矿模式[J].地质科技情报,2004,23(2):77-81.

[7] 周乃武.液态矿源说二次迁移论—内生金矿成矿模式与找矿模型[J].黄金学报,1999,1(2):85-89.

[8] 齐金忠,李莉,杨贵才.甘肃省阳山金矿床成因及成矿模式[J].矿床地质,2008,27(1):81-87.

[9] 汤中立,钱壮志,姜常义.中国镍铜铂岩浆硫化物矿床与成矿预测[M].北京:地质出版社,2006:179-185.

[10] 张作衡.西秦岭中川地区金矿床流体包裹体特征及地质意义[J].岩石矿物学杂志,2004,23(2):147-158.

[11] 武警黄金第五支队.甘肃省岷县寨上金矿岩金普查阶段性报告[R].西安:武警黄金第五支队,2008.

[12] 武警黄金第五支队.甘肃省岷县寨上金矿金的赋存状态查定报告[R].西安:武警黄金第五支队,2008.

[13] 刘新会,刘光智,王淑娟,等.甘肃岷县寨上特大型金矿次显微金的赋存状态研究[J].西北地质,2009,42(3):47-55.

[14] 陈勇敢,赵玉锁,张国立,等.甘肃寨上金矿床构造地球化学特征[J].黄金地质,2004,10(4):61-65.

[15] 武警黄金第五支队.甘肃省岷县寨上金矿床成因机制研究[R].西安:武警黄金第五支队,2008.

[16] 张东旭.西秦岭礼岷前陆盆地构造演化[J].甘肃地质学报,2003,12(2):31-36.

[17] 朱赖民,刘显凡,金景福,等.滇—黔—桂微细浸染型金矿时空分布与成矿流体来源研究[J].地质科学,1998,33(4):463-474.

[18] 刘显凡.滇黔桂微细浸染型金矿成矿物质来源的地球化学示踪——硅同位素结合硅质阴极发光的应用研究[J].地质学报,1999,73(1):95-100.

[19] 路彦明,范俊杰,赵新峰.甘肃黑刺沟金矿床地质特征及类型归属[J].黄金地质,2004,10(3):1-6.

[20] 刘家军,柳振江,杨艳,等.南秦岭大型钼成矿带有机地球化学特征与生物标示物研究[J].矿物岩石,2007,(3):39-48.

[21] 路彦明,李汉光,陈勇敢.西秦岭寨上金矿床中石英和绢云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年[J].矿床地质,2006,25(5):590-597.

[22] 韩要权.西秦岭东部金矿成矿模式和找矿方向[A].硕士学位论文,2003:78-79.

[23] 路彦明,李汉光.甘肃岷县寨上金矿地质地球化学特征及成因[J].地质与勘探,2006,42(4):25-31.

Study on the Metallogenesis and Mineralization Model of Super-giant Zhaishang Gold Deposit in West Qinling

LIU Xinhui¹, LIU Jiajun², ZHANG Zhengjing¹, ZHENG Weijun¹

1.No.5 Gold Geological Party of CAPG, Xi'an 710100, Shaanxi, China;

2.State Key Laboratory of Geological Process and Mineral Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China

Abstract: Zhaishang gold deposit is a micro-fine disseminated gold deposit. Au occurred in three types: micro-fine grained inclusions or isomorphism existed in gold bearing minerals; micro-fine grains distributed among debris particles; as micro-fine grains found in quartz and calcite crystals. Gold-bearing pyrite has characteristics of proliferative zones; primary ore types mainly include disseminated ore and fine-stockwork ore, and very little massive ore. Deposit types are fine-medium disseminated fracture zone type and fine-stockwork type. Microthermometry study shows that ore-forming fluid has characteristics of low temperature, low salinity, low densities, multi-period, low pressure and shallower depth. It can be concluded from gold occurrence state, proliferative zones of gold-bearing mineral, ore type, deposit type and ore-forming fluid composition and characteristics, that gold mineralization of Zhaishang deposit is controlled by dual role of structure and fluid. Thereby establishing a mineralization model for Zhaishang Au deposit: substances of shallow depth and deep depth origins mix to form ore-forming fluid → ore-forming fluid differentiation → penetration → form vein type (disseminated) ore.

Key words: Ore forming fluid; Preconcentration; Fluid differentiation; Mineralization model; West Qinling; Zhaishang gold mine

江西德兴花桥金矿东区最深竖井正式出矿

江西省黄金行业最深竖井——德兴市花桥金矿东区竖井经过半个多月的试运行后,于近期正式出矿。该竖井是目前江西省内黄金行业中最深的竖井,始建于2005年,总投资7 000万元,井深576.8 m,直径5 m,分14个中段、单罐两层自动化控制提升。此井达产达标后,每年可为国家多产黄金600 kg。

招金矿业预计投10亿开发阿勒泰黄金资源

招金矿业宣布,与新疆阿勒泰市签订“黄金资源整合框架协议”的董事会决议,公司预计未来5年内总投资10亿元,全面整合开发阿勒泰市区域内现有的黄金资源,并于未来5年内使采选规模达2 000 t/d,阿市政府承诺不再引进第三方对该市区域内的黄金资源进行整合或开发。

阿勒泰地区位于新疆重点有色金属开发带上,西北部与哈萨克斯坦、俄罗斯相连,东北部与蒙古国接壤,是新疆自治区及全国著名的黄金、有色金属产区。矿产资源品种繁多、储量丰富,现已探明有利成矿带4个,初步探明储量黄金储量20 000 kg以上,可开发矿种24种,潜在价值数百亿元,矿业开发前景广阔。

宁夏牛头沟区金矿勘查有望实现突破

牛头沟金矿区位于贺兰山北段,面积3.32 km²。2008~2009年,宁夏自治区地矿局投资400多万元,经宁夏有色金属地质勘察院地质工作者一年多辛勤努力,目前共圈定具有一定规模的金矿体4个。其中,1号金矿体控制矿体走向长约675 m,倾向延深320 m,平均厚度2.41 m。深部已施工6个钻孔,其中5个钻孔见矿。2号金矿体地表控制矿体长度150 m左右,厚度0.6~1.3 m,平均厚度0.99 m。3号金矿体地表控制矿体长度95 m,平均厚度1.5 m。

南澳大利亚东北部出现一座金矿

2010年4月,Exco资源公司宣布,位于南澳大利亚东北部的White Dam金矿已开始投产。该金矿距离内陆城市Broken Hill约80 km,是一座低品位金矿。拥有该矿75%股份的Exco资源公司和矿产加工及冶金集团控股有限公司表示,该项目预计年产黄金50 000盎司。据Intierra公司的资源情报资料显示,White Dam金矿概略储量为594万t,品位为1.073 g/t;推断储量为464.7万t,金品位为1.038 g/t。南澳大利亚有2个主要的黄金生产商:必和必拓的奥林匹克坝矿和Dominion矿业公司位于Mobella地区的中型高品位金矿。