

阳山超大型微细浸染金矿床成矿条件与控矿因素

黄伟兴¹, 张复新²

(1 广东省有色地质勘查研究院, 广东 广州 510080; 2 西北大学地质学系, 陕西 西安 710069)

摘 要 阳山金矿于世纪之交勘查并扩大为超大微细浸染型金矿, 矿床形成于特殊地质背景, 受地层、浅成花岗斑岩、韧-脆性剪切构造及热液活动的多种因素的叠加与改造控制, 研究认为矿床具有卡林型和类卡林型 2 种矿化类型特点, 卡林型矿化于韧性剪切早、早-中期阶段和晚期阶段, 分别出现含砷黄铁矿-毒砂-次显微金-白云石-石英矿化组合及黄铁矿-辉铋矿-石英方解石矿化组合, Au-As-Sb-Hg 的成矿地球化学组合; 类卡林型矿化出现在脆性中-晚期阶段, 以黄铁矿-毒砂-自然金-碲铋矿-白云石-石英矿化 (含黄铜矿-闪锌矿-方铅矿) 组合为特征, Au-As-Cu-Pb-Zn-Te-Bi 成矿地球化学组合。

关键词 地质学; 微细浸染型金矿; 超大型; 成矿条件与控矿因素; 阳山; 秦岭造山带

Metallogenic condition and ore-control factor of Super-large Yangshan gold deposit of Carlin-Carlin-like compound type in Gansu, China

HUANG WeiXing¹ and ZHANG FuXin²

(1 Guangdong Nonferrous Metals Geological Survey Institute, Guangzhou 510080, Guangdong, China; 2 North-west University, Xi'an 710069, Shaanxi, China)

Abstract

Yang Shan gold deposit is a micro disseminated gold deposit, which had being explored since the transitional period from the 20th century to the 21st and became a super-large scale gold deposit. The deposit was controlled by special geologic setting, the stratum and gold minerals enriched by superposition and transformation of brittle-ductile shear, hydrothermal activities and supergene granite porphyry. According to investigation, the gold deposit has the characteristics of both carlin type and carlin-like type. The Carlin-type ores was formed during the early, early to middle and late stage of the ductile shearing, its alteration minerals include As-bearing pyrite, arsenopyrite, submicro-Au, dolomite, quartz (or pyrite, stibnite, quartz, calcite) with Au-As-Sb-Hg element association. The Carlin-like type ore was formed during the middle to late stage of the brittle shearing, its alteration minerals are pyrite, arsenopyrite, natural gold, tellurobismuthite, submicro-Au, dolomite, quartz (with chalcopryrite, chalcopryrite and chalcopryrite) with Au-As-Cu-Pb-Zn-Te-Bi element association.

Key words: geology, micro disseminated gold deposit, super-large scale, metallogenic condition and ore-control factor, Yangshan gold deposit, Qinling orogenic belt

自 20 世纪 60 年代初,在美国西部内华达州首次发现卡林金矿,至 80 年代,在美国西部成功勘查出包括 20 多例超大-大型卡林型金矿(科特兹、格切尔、金地、朗德山、金坑、麦克劳林、霍恩)(Radtke et al., 1980; Romberger, 1986; Wells et al., 1973) 的千余公里金矿带,金的储量突破 2 000 t 而轰动整个矿业界。70 年代末,在中国西南(贵州)和西北(陕西)先后发现板其、二台子 2 例卡林型金矿床(张复新, 1984), 80 年代末,在中国扬子板块西南缘和西北缘发现一大批卡林型金矿床,金矿储量千余吨,形成西南和西北 2 个金三角。世纪之交,武警黄金部队十二支队在甘肃文县发现并勘查成功阳山金矿(308 t),西北有色地勘局 717 总队在陕西凤县勘查成功八卦庙金矿(100 t 以上)。2 个超大型微细浸染型金矿床成为“陕-甘-川金三角区”的领头羊。研究认为(张复新, 2001),秦岭造山带存在经典卡林型金矿(二台子、金龙山-丘岭等)、类卡林型金矿(八卦庙、马鞍桥等)和 2 种金矿床类型的复合式(阳山)。阳山超大型微细浸染金矿床产于 3 大地块会聚的特殊部位,具有先天优越的成矿地质背景;赋矿岩系巨厚、含矿性好,容矿岩层岩石、岩性组合多样,含矿地层薄互韵律层结构发育;斜长花岗岩脉叠加于含矿岩系上,进而受到控矿构造的改造;控矿构造显示韧-脆性递进变形复杂特征,与构造活动耦合的热液矿化作用具有多期-多阶段特征;成矿作用与矿床地球化学具有卡林型与类卡林型金矿床的复合性质;矿床成矿作用是沉积-岩浆-构造-热液叠加改造的综合产物。勘查成果不但是金矿找矿上的重大突破,而且是对金矿理论的丰富。本文将针对阳山金矿床的超大、复合成矿特征的地质决定因素进行剖析。

1 特殊的大地构造位置

阳山金矿床位于中国特殊的大地构造位置,即扬子大陆、华北大陆、松潘-甘孜 3 大板块会聚-结合转化部位,该 3 大地块在会聚拼合的俯冲-碰撞造山过程中,构成中国大陆的地质构造中心(张国伟, 2004),该构造中心有东西向秦岭-祁连-昆仑中央造山系通过,近南北向贺兰-川滇深大断裂带切割,构成来自 3 面板块的会聚、东西向造山带通过和南北向深大断裂带切割的纵横交叉的十字构造结,阳山超大金矿床即产于中国大陆的地质构造中心构造结的板块会聚和断裂交叉部位(图 1)。

2 优越的成矿地质背景

阳山金矿床所在中国大陆十字构造结中心的秦岭造山带西部南侧陇南-文县地区,属于南秦岭的西南部地段,发育大陆边缘古生代断陷盆地海槽型类复理石巨厚沉积(C~T)。早古生代沉积区统一于扬子大陆边缘陆棚斜坡沉积,晚古生代由于勉-略缝合带的打开,使南秦岭地块相对独立出来。阳山地区南部紧邻勉(县)-略(阳)缝合构造带,受到勉-略局限裂谷盆地的直接影响,发育中泥盆统三河口群半深水沉积含炭细碎屑岩-含炭碳酸盐岩岩系,成为金矿带的重要赋矿建造。在南北大陆俯冲-碰撞拼合作用下,发育俯冲型酸性岩浆岩带,分布于勉县-略阳-康县-文县缝合构造带北侧一带,阳山矿带多出露斜长花岗岩脉((195.31±0.86) Ma)。产于早期密集型弧形逆冲构造带(杜子图等, 1998)和东西向横切弧形构造带的控矿韧性剪切带。在此构造机制作用下,宏观上,底部块状刚性地层体被逆冲剪切为不同尺度的构造透镜体-扁豆体,四周被薄互塑性变形地层围绕,微观薄互层中相对刚性与塑性层出现显微级的构造透镜体与塑性物质组成的片理化,构成该控矿构造带与扩容空间的特色,成矿带中该刚性地层体与塑性变形体接触部位往往是矿体定位的空间。该地区沉积建造以泥盆系和三叠系为最,盆地较深水环境发育含矿性好的浊积岩、热水沉积岩等特殊岩性岩相。在随后与造山构造运动耦合过程中,发生较大规模成群成带的贵金属与贱金属矿床成矿作用响应,构成中国西部金-有色金属成矿区。

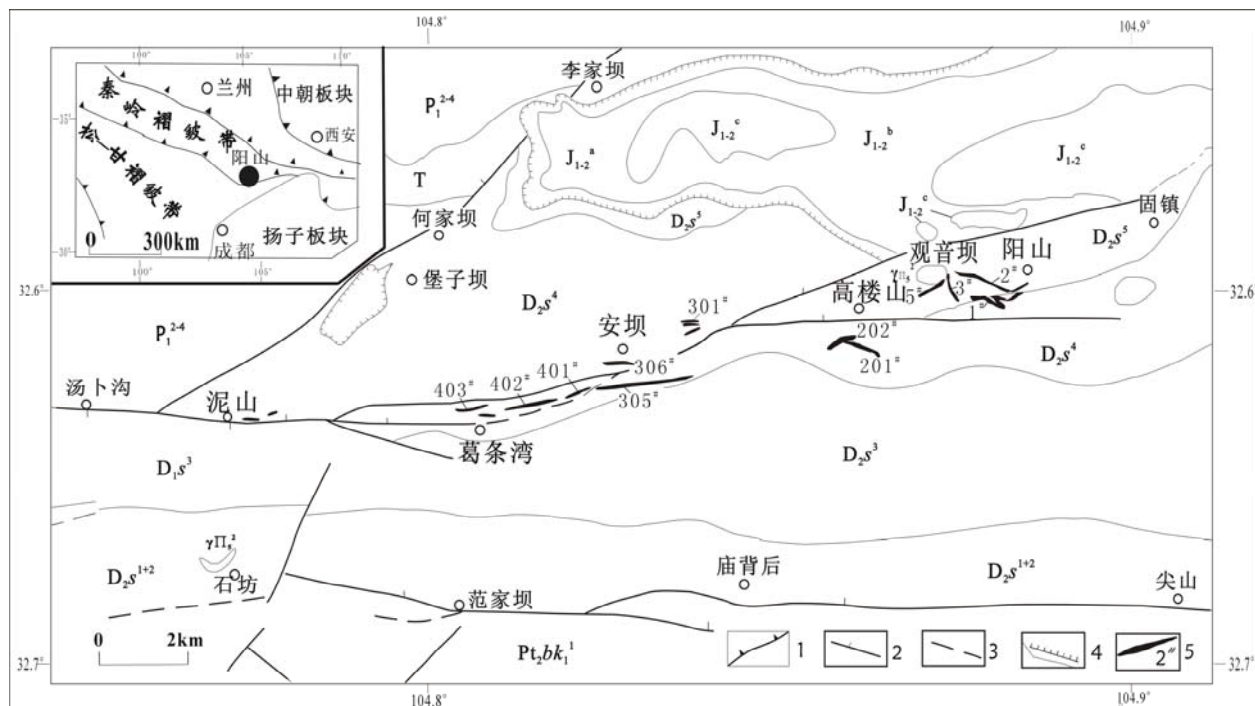


图1 甘肃文县阳山金矿带地质简图(据武警黄金地质12支队, 2006)

J_{1-2}^a —下-中侏罗统红色砾岩; J_{1-2}^b —下-中侏罗统泥灰岩、页岩; J_{1-2}^c —下-中侏罗统黄色砾岩; T—三叠系砂岩、板岩; P_{1-2-4} —下二叠统中部四段板岩、灰岩; D_{2s}^1 —中泥盆统三河口群一岩段厚层灰岩; D_{2s}^2 —中泥盆统三河口群二岩段泥板岩夹互灰岩; D_{2s}^3 —中泥盆统三河口群三、第四岩段硅质岩-泥灰岩-炭质泥板岩-粉砂泥板岩薄互层; D_{2s}^{4+5} —中泥盆统三河口群五、六岩段细砂岩、粉砂质板岩; $Pt_2bk_1^1$ —中元古界碧口群下部一段灰岩、变质砂岩; $\gamma\pi_5^2$ —燕山期花岗岩斑岩; 1—俯冲带; 2—断层; 3—推测断层; 4—地质界线与不整合界线; 5—金矿化体及编号

Fig. 1 Geological map of Yangshan gold ore field

J_{1-2}^a —Red conglomerate of lower-Middle Jurassic; J_{1-2}^b —Marl and argillite of lower-Middle Jurassic; J_{1-2}^c —Yellow conglomerate of lower-Middle Jurassic; T—Sandstone and slate of Triassic system; P_{1-2-4} —Slate and limestone of lower Permian system; D_{2s}^1 —Thick-bedded limestone of Sanhekou group of Middle Devonian system; D_{2s}^2 —Slate and partings of limestone of Sanhekou group of Middle Devonian system; D_{2s}^3 —Interbeds of silicite; marl; carbonaceous slate and silty slate of Middle Devonian system; D_{2s}^{4+5} —Sandstone and silty slate of Middle Devonian system; $Pt_2bk_1^1$ —Limestone and metasandstone of lower Proterozoic group; $\gamma\pi_5^2$ —Granite-porphry of Yanshan Epoch; 1—Zone of subduction; 2—Fault system; 3—Inferred fault; 4—Line of geological limitation and unconformity; 5—Gold orebody and number

本区重要的成矿背景和构造特殊与优越性在于: ① 处于中国大陆构造中心, 由中国大陆不同构造系统集结复合而成; ② 经历长期复杂的地质构造演化: 古大陆地块-大陆边缘增生→大陆边缘斜坡沉积→古特提斯分支裂陷叠加→地幔柱上拱、勉-略-康局限洋盆扩张→南秦岭形成相对独立地块→研究区深水、半深水沉积→南北大陆俯冲-碰撞与勉-略混杂岩带形成→大陆拼合统一及陆内挤压造山-韧性剪切构造发育→陆内拉张岩浆侵入→新生代基本定型; ③ 矿带及超大型金矿床产于勉-略缝合带近北缘附近, 勉-略上古生代的拉张裂谷活动制约和影响着赋存阳山超大金矿的巨厚的沉积容矿岩系的发育; ④ 后造山期花岗岩类活动较频繁, 参与了本区控矿构造, 并与含矿沉积岩系共同组成金矿体; ⑤ 后造山期脆-脆性剪切变形构造的叠加改造, 成为地下流体活动与聚集的动力, 致使含矿岩系中成矿物质被萃取、迁移与富集, 最终形成卡林-类卡林型复合式的阳山超大金矿床。

3 含矿性好的赋矿沉积建造

3.1 赋矿岩系组合与特征

矿区内发育中泥盆统三河口群, 矿区周围分布石炭系、二叠系、三叠系碳酸盐岩及碎屑岩, 侏罗-白垩系砂砾岩局限分布(图1)。三河口群为阳山金矿床的主要容矿与含矿围岩, 大致可分为6个岩性段: 下部厚层块状微晶灰岩、泥板岩-微晶灰岩, 中下部硅质岩-炭质泥板岩-泥灰岩, 中上部薄互层泥板岩、泥灰岩-粉砂质板岩的薄互层组成, 上部砂质板岩-粉砂岩-中细粒石英砂岩层。总的趋势来看, 整个岩系表现出从化学沉积岩相, 相变为化学沉积与细碎屑岩交互过渡, 最终为细碎屑岩相沉积的一个较为完整的沉积旋回, 反映出泥盆系中期本区海相沉积由深海→半深海-浅海→浅水陆源碎屑沉积的一种动荡的沉积环境的变化。半深海沉积地层中含有丰度较高的Au、Ag、As、Sb、Hg, 普遍含有炭质和草莓状黄铁矿, 电子探针波谱定量分析成岩黄铁矿含砷0.10%~0.15%, 由于金、砷具有相似的地球化学性质行为和炭质对成矿物质的吸附作用, 地层中高丰度的金主要赋存于草莓黄铁矿和炭质之中。

3.2 赋矿岩系变化规律

沿阳山东西大型矿带自北东至西南斜列展布有阳山、观音坝、高楼山、安坝、葛条湾、泥山等6个矿段, 各自所赋存的沉积建造有不同程度差别, 以安坝矿段为中心, 向两侧含矿建造岩性组合的复杂性与厚度近对称出现, 安坝矿段赋存于含碳粉砂质-灰质-泥质含矿建造厚度大、薄互韵律层发育、岩性最为复杂齐全, 实属最佳地层与构造部位, 单个矿体规模和金的储量最大; 两侧的观音坝-高楼山与葛条湾矿段岩性出露尚属齐全, 但岩性组合显示出逐渐简单而不均匀的变化, 薄互韵律层厚度减少, 单个矿体规模和金的储量明显下降; 阳山和泥山矿段已近矿带边缘部位, 容矿岩系以中-细粒砂岩夹-互粉砂质泥板岩组合为特征, 特别是泥山矿段出现大量成矿晚期阶段的辉锑矿化, 小型矿体为主, 矿石中金的含量明显降低。

4 超大矿床地质一般特征

4.1 阳山超大型矿床一般特征

阳山超大金矿床由东西长40 km, 南北宽1 km的控矿构造带组成, 自东向西共由阳山、观音坝、高楼山、安坝、葛条湾、泥山6个矿段组成(图1), 各矿段随容矿岩系组成的复杂程度和岩性特征, 表现出它们的共同点与各自的不同之处: 整个矿带大约由49条含金构造蚀变矿带, 金矿资源储量308 t以上, 其中规模最大的305号、314号矿脉位于阳山矿带中部的安坝矿段(图1), 305号单个矿体金的资源储量约56.133 t, 矿石含金平均品位 7.06×10^{-6} , 314号单个矿体金的资源储量27.570 t; 矿石含金平均品位 5.64×10^{-6} , 最高达 256×10^{-6} ; 原生矿石金赋存呈2种形式: 次显微金、显微金及肉眼可见明金, 有卡林型与类卡林型2种金矿类型的特征(张复新等, 2007)。次显微金多赋存于具增生环带结构的含砷黄铁矿及毒砂晶格缺陷之中(程斌等, 2006), 显微金及肉眼可见明金产出含硫化物石英细脉中的黄铁矿、石英晶粒边缘、粒间及晶粒内部包裹体中(张复新等, 2007)。

4.2 主要矿段矿床地质简介

4.2.1 阳山矿段

由13条矿脉组成, 产出的容矿岩石为灰黑色千枚岩与灰岩薄互层段(图1), 其中多有顺层侵入后被剪切呈透镜状斜长花岗斑岩体。扁豆状-透镜状矿体有3种倾向产状分别是 $15 \sim 40^\circ$ 、 $110 \sim 160^\circ$ 、 $290 \sim 310^\circ$, 倾角 $20 \sim 40^\circ$ 。矿体地表控制长200~1500 m, 厚度平均2~3 m, 最大30 m。Au品位平均 $5.53 \times 10^{-6} \sim 10.44 \times 10^{-6}$ 。矿石中发育的毒砂、黄铁矿、白云石、石英、辉锑矿、方解石等。

4.2.2 高楼山矿段

由6条矿脉组成(图1),容矿岩石为灰白-灰黑色绢云千枚岩和斜长花岗斑岩透镜体。矿体近东西走向,分别出现南北倾向,倾角 $30^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 。扁豆状矿体长数百米,厚 $0.5\sim 2.0$ m。Au品位 $0.5\times 10^{-6}\sim 12.8\times 10^{-6}$ 。矿石中发育的毒砂、黄铁矿、石英为主要载金矿物,偶见黄铜矿、磁黄铁矿、辉锑矿、闪锌矿及方铅矿。

4.2.3 安坝矿段

位于矿带中部(图1),容矿岩石为灰黑色千枚岩与灰岩薄互层段。主要由305号矿脉和314号扁豆状、透镜状矿脉群组成。305号矿体产状 $150\sim 170^{\circ}$,倾角 $45\sim 65^{\circ}$ 。地表控制长3200 m,斜深390 m,厚度平均5.6 m。Au品位平均 7.06×10^{-6} 。314号矿体地表控制长1500 m,斜深260 m,厚度平均3.6 m。Au品位平均 5.33×10^{-6} 。此外306号矿脉群产于容矿岩系构成褶皱的北翼,矿体产状 $320\sim 10^{\circ}$,倾角 $60\sim 70^{\circ}$ 。长210 m,厚1.94 m。Au品位平均 5.59×10^{-6} 。矿石中发育毒砂、黄铁矿、石英为主要载金矿物,脆性断裂中出现少量辉锑矿、偶见黄铜矿、磁黄铁矿、闪锌矿及方铅矿。

4.2.4 葛条湾矿段

位于矿带西部(图1),共发现4条扁豆状矿脉,容矿岩石为含碳千枚岩和斜长花岗斑岩构造透镜体。矿体产状2组, $172\sim 255^{\circ}\angle 41\sim 80^{\circ}$, $330\sim 10^{\circ}\angle 30\sim 60^{\circ}$,长240~600 m,宽1.1~2.2 m。Au品位平均 $1.42\times 10^{-6}\sim 5.54\times 10^{-6}$ 。主要载金矿物为黄铁矿、石英及少量毒砂。

4.2.5 泥山矿段

位于矿带最西端(图1),容矿岩石已相变为粉砂-细砂岩夹薄层泥板岩,斜长花岗斑岩构造透镜体仍见,控矿构造剪切变形带早期阶段脆韧性不发育,金的矿化相对较弱,多以后期阶段脆性变形为特点,充填辉锑矿-石英-方解石网状脉体。

5 强烈且递进性好的韧-脆性控矿剪切构造

东西向展布的安昌河-观音坝断裂带为矿带的主控断裂,总体北倾,由一系列平行韧-脆性断层组构成,断层与地层产状近于一致或低角度交角。断裂带西段走向为 $95\sim 115^{\circ}$,南倾为主,倾角中等 $40\sim 50^{\circ}$,断裂带东段走向为 75° 左右,北倾为主,倾角较陡 $50\sim 60^{\circ}$ 。安昌河-观音坝断裂带沿东西走向上的不断变化形成的这种“麻花式”的断裂构造正是由于受到区域南北向不对称挤压应力及其派生的北东东、北西西剪应力作用造成的。矿体正好就位于断裂带扭转交汇部位。

本区构造变形具有韧-脆性递进变形序列的特征,早期显示韧性,中期显示脆-韧性,晚期显示脆性破裂,各期又表现出不同的阶段性:早期韧性剪切阶段,含矿地层薄互层发生韧性变形,形成由3条向南凸出的弧形韧性断裂(松柏-黎坪、马家磨-魏家坝、白马-临江)带,和早期褶皱及透入性片理(S_1),伴随的矿化蚀变为微细粒黄铁矿-毒砂-显微石英细脉。在脆-韧性剪切变形阶段,地层中塑性差的灰岩层在挤压剪切作用下形成穿刺塑性层的穿刺褶皱;而在早期褶皱翼部形成了一系列的脆-韧性断裂(如安昌河-观音坝断裂)和层间滑脱带、顺层断层、叠瓦式逆冲断层,并形成截切 S_1 的剪切片理(S_2);在剪切应力作用下,塑性变形产生的揉皱地层被剪切成透镜体,地层中的刚性体也剪切成透镜体状,如灰岩、硅质岩、砂岩、斜长花岗斑岩透镜体,较弱的矿化蚀变花岗脉岩类均呈构造透镜体状、旋转岩块出现在泥板岩强烈片理化带中,组成本区控矿脆-韧性剪切带的典型构造形貌特征。在脆-韧性剪切变形晚期,产生了一系列的脆性断层,在断层两侧形成了复杂紧闭的小褶皱;在塑性层中产生了雁列式脉及截切 S_2 的剪切片理 S_3 ;在此变形期形成的透镜体内包含有早期透镜体;薄互层在早期形成的褶皱受脆-韧性剪切作用产生了尖棱褶皱和张节理;硅化石英进一步在剪切作用改造下,呈拉长状、石香肠、眼球状、扁豆体状半定向分布。晚期的脆性断裂在已有构造基础上使地层发生强烈变形产生破碎带,分布于控矿构造带上下盘附近。

6 岩浆叠加作用带来新的成矿活力

6.1 花岗斑岩成因与矿化特征

矿区多种类型的花岗斑岩稀土元素总量较低 $\Sigma\text{REE}=81.06\times 10^{-6}$ (3件), 轻、重稀土元素含量比值较大, 轻稀土元素明显富集, $\text{La/Yb}\approx 33>10$, $\delta\text{Eu}\approx 0.22$, 明显亏损Eu, 在球粒陨石标准化图解中呈右倾的、宽缓的“V”型分布曲线, 而且该花岗岩中的 Al_2O_3 含量为14.58%。这些特征初步认定该花岗斑岩为地壳重熔型浅成花岗岩类, 锆石SHRIMP U-Pb法成岩年龄195.4~200.9 Ma (齐金忠等, 2005), 代表碰撞型岩浆岩的构造事件年龄, 与沉积容矿围岩上叠加的韧性剪切近同步的构造岩浆活动产物 (Michael, 2006)。主要鉴别依据: ① 与剪切围岩构造变形协调一致, 在剪切构造带中花岗斑岩岩株、岩脉呈构造扁豆体-透镜体; ② 岩株、岩脉作为含矿岩系剪切构造带中的刚性体内部无构造变形, 但普遍绢云母化-硅化-黄铁矿-毒砂矿化蚀变, 是后期热液渗透的结果; ③ 中细粒花岗岩、斑状花岗岩、细晶花岗岩等酸性岩脉类型多样, 侵入深度不等, 受剪切带构造序列叠加, 其矿化作用成为矿床多期多阶段的一幕; ④ 花岗斑岩与围岩接触带矿化蚀变较强, 石英脉中残留岩脉中锆石副矿物, 反映后期热液活动的强烈交代作用; ⑤ 剪切带和花岗浅成岩脉均为大陆统一后, 陆内造山挤压-拉张作用的产物。

矿区花岗斑岩参与到控矿构造带中, 属于控矿构造带中的组成部分, 被韧性剪切构造剪切为刚性透镜体, 除了岩浆岩体本身普遍遭到矿化蚀变 (绢云母-硅化-黄铁矿-毒砂化), 含金黄铁矿增生环带消失; 岩脉含金矿化硫化物中出现碲铋矿; 特别在花岗斑岩透镜体与片理化含炭质泥板岩-粉砂泥板岩-泥灰岩薄互层的构造接触带中, 多充填交代含有明金的石英细脉。该纯石英脉中发现岩浆岩中自形晶锆石, 表明硅化对岩脉交代的强烈程度, 同时, 矿化组分中混入岩浆岩成矿多种物质, 表现出类卡林型金矿化特征。

据阳山金矿床含金石英脉中残留有热液同化黑云母花岗斑岩锆石和斑岩中独居石, 对该锆石 SHRIMP U-Pb 成岩与 U-Th-Pb 成矿年代学研究 (扬荣生等, 2006; 齐金忠等, 2005), 测得3组年龄值: 195.4~200.9 Ma、(190.6 $\pm$ 3) Ma 代表酸性岩浆岩岩脉成岩年龄, (126.9 $\pm$ 3.2) Ma 和 (51.2 $\pm$ 1.3) Ma 代表2期阶段性成矿年龄。燕山早期侵入的黑云母花岗斑岩具有碰撞型岩浆岩的时代特征, 金的成矿时代归属于燕山中期-晚期, 可跨越至新生代早期阶段。

6.2 成矿与岩浆岩成因关系浅析

(1) 矿区出露和矿化花岗岩类呈浅成特征, 岩石产出呈脉状特征, 具斑状、似斑状和细晶结构; 岩石类型大致有: 黑云母花岗斑岩、黑云母花岗岩、细粒斑状黑云母花岗岩、花岗细晶岩, 表明酸性岩浆的侵入活动具有多期多阶段特性, 为成矿作用不断提供热的动力。

(2) 在成矿区内以泥质岩为背景下的塑性流变中, 所见花岗脉岩类均呈构造透镜体状、旋转岩块, 属于韧性剪切构造带中刚性体组成部分, 而泥板岩强烈片理化围绕其周围分布, 组成本区控矿脆性剪切带的构造形貌特征。

(3) 在控矿构造带中出现的花岗脉岩, 均有较弱的矿化蚀变, 以微细粒稀疏浸染黄铁矿-毒砂-绢云母化为组合与产出特点, 反映出花岗岩脉侵入于控矿构造活动之先, 是岩浆-构造作用导致控矿成矿带形成, 并参与中期阶段成矿作用。

(4) 在控矿构造带中, 花岗斑岩类表现出丝毫未变形的强烈绢云母化, 伴随较单纯中期阶段的微细稀疏浸染状含金毒砂与增生环带黄铁矿化, 显然是由含矿热液的渗透作用所至。

(5) 而在砂岩层发育地段, 花岗斑岩体不占刚性优势, 在韧性剪切变形中与砂岩共同出现近似程度的片理化, 黑云母彻底退色化, 大量铁质被解离参与成矿。

7 热液的多期次-多阶段矿化蚀变作用

矿化金属矿物主要由黄铁矿、毒砂、辉锑矿、自然金,及少量黄铜矿、磁黄铁矿、闪锌矿及方铅矿组成,蚀变脉石矿物为石英、铁白云石、方解石、绢云母及水云母等。其中黄铁矿晶粒内部具有特征的增生环带构造,由含砷较高的砷黄铁矿外缘及含砷较低的内核黄铁矿组成,增生环带黄铁矿与毒砂密切共生,构成金矿主要载金及含金矿物。

按在矿石中的分布特点及与脉石矿物的共生组合,可粗略划分为 5 个成矿阶段:① 早期热液成矿阶段,呈细微浸染状分布于灰岩-细砂岩-硅板岩-泥板岩薄互层的脆-韧性变形的片理化带或砂岩渗透性好的胶结基底之中,由增生环带黄铁矿-毒砂-硅化组合为特征,黄铁矿 $\phi=0.01\sim0.05\text{ mm}$ 、毒砂 $\phi=0.02\sim0.02\times0.3\text{ mm}$;② 早-中期热液成矿阶段呈微细浸染细脉状叠加于早期矿化蚀变体或蚀变花岗斑岩中,黄铁矿 $\phi=0.1\sim0.4\text{ mm}$ 、毒砂 $\phi=0.02\times0.1\text{ mm}\sim0.05\times0.3\text{ mm}$;增生环带黄铁矿由含砷较高的增生环边黄铁矿和含砷较低的内核黄铁矿联合组成,电子探针波谱定量分析分别含砷 2.44 %~3.83 %和 0.96 % ,含砷高的硫化物中多有次显微不可见金分布;③ 中期热液成矿阶段蚀变花岗斑岩中的黄铁矿稀疏浸染矿化,黄铁矿增生环带消失;④ 中-晚期热液成矿阶段含黄铁矿碎裂石英脉状矿化蚀变,偶见磁黄铁矿、闪锌矿-方铅矿化,该蚀变体中可见显微明金;⑤ 晚期热液成矿阶段辉锑矿-石英方解石脉状矿化,沿最晚期阶段裂隙、碎裂间隙呈团块、不规则脉体分布。

由于多期次-多阶段的矿化作用,导致较复杂的矿石类型,按赋矿原岩可将矿石划分为 3 大类型:沉积原岩片理化微细浸染型,蚀变斜长花岗岩稀疏浸染型和碳酸盐-石英脉型,又可进一步划分为 6 个亚类;按矿物组合可划分为:毒砂-黄铁矿型,黄铁矿型,黄铁矿-辉锑矿型,辉锑矿型等四种类型。

8 卡林型与类卡林型的复合式矿床特点

上述研究表明,阳山金矿床成矿背景优越、成矿条件与控矿因素的叠加及改造较为复杂,金的成矿作用多期多阶段,矿化特点形式多样,具有卡林型与类卡林型 2 种矿床类型的矿化形式、矿化特点与成矿地球化学特征。

8.1 矿床的经典卡林型金矿床地质特征

阳山金矿床所表现的经典卡林型金矿特征,呈现典型的微细脉状、浸染状矿化蚀变,导致这一原因是,主成矿作用发生于构造变形的早-中期阶段,晚期脆性变形构造多不发育;成矿地球化学元素组合具有严格的 Au-As-Hg-Sb-Ba 等组合,各成矿元素具有独立矿物出现,且早-中期阶段成矿作用形成的含金黄铁矿具有含砷增生环带,砷置换金属硫化物中硫时,使晶格中出现结构缺陷,导致金呈次显微形式赋存于含砷硫化物中;容矿岩石属于薄互层状细碎屑岩-含碳泥灰岩-炭硅质沉积岩系组成;韧-脆性剪切变形构造叠加于细粒层状岩石之上;早-中期成矿作用属于沉积一中-轻微构造-热液改造成矿成因。

8.2 矿床的类卡林型金矿床地质特征

阳山金矿床所表现的类卡林型金矿床地质特征有:所显示的类卡林型矿化蚀变发生于成矿作用的中-晚期,该矿化蚀变相对强烈,呈稀疏浸染于花岗斑岩中,或断续石英脉状形式产于岩体与围岩接触带中。可叠加在早期微细脉浸染状矿化之上,也可单独出现;由于矿化较强烈且充分,砷的大量消耗,中-晚期成矿阶段于脆性构造中出现大量含矿石英脉体,并有显微明金出现使金进一步富集;此外,浅成花岗岩侵入含矿岩系或呈构造透镜体直接参与控矿的韧-脆性剪切构造带中,或使含矿岩系明显热变质,致使金进一步富集;控矿的韧性剪切带中内部未变形的浅成花岗斑岩构造透镜体普遍发生轻度中期阶段的黄铁矿-毒砂-绢云母化-硅化;成矿元素组合新增有岩浆带入的 Bi-Te 等亲石元素。

9 结 论

一般超大型金属矿床多表现为多因-叠加复合式成矿模式,微细浸染型金矿床的复合式成矿研究与实例报道很少,阳山金矿地质研究属于典型的一例复合式矿床,显示卡林型、类卡林型2种矿床矿化特征:①成矿条件和控矿因素由地层-韧性剪切构造的改造及岩浆作用及岩浆热液混入叠加组合构成;②成矿作用呈微细粒细脉-浸染状和石英脉状2种矿化形式;③微细粒细脉-浸染状矿石矿物由含砷金属硫化物(黄铁矿具增生环带)和石英脉状不含砷金属硫化物组成;④早-中期阶段的微细粒细脉-浸染状矿化蚀变矿物金为不可见次显微金形式赋存,中期阶段石英脉型矿化产物为可见明金形式赋存;⑤成矿地球化学元素分别由Au-As-Sb-Hg(早-中及晚期矿化阶段)和Au-As-Te-Bi-Cu-Pb-Zn(中期矿化阶段)组成。

当然,矿床总体特点未偏离沉积岩为容矿岩石的微细浸染型金矿床成矿特点及规律,属微细粒、难识别、低品位、大储量、难选矿。当前金价飙升,一些矿化岩石而金成为低品位矿石,无形给金的找矿与开发带来机遇,不同规模的卡林型金矿床储量升级,找矿出现新转机,给矿床地质工作与研究带来新的课题。

参 考 文 献

- 程 斌, 张复新, 贺国芬. 2006. 甘肃文县地区阳山超大型微细浸染型金矿床的成因与类型. 地质通报, 25(11): 1354-1360.
- 杜子图, 吴淦国. 1998. 西秦岭地区构造体系及金成矿构造动力学. 北京: 地质出版社.
- 齐金忠, 李 莉, 袁世松, 等. 2005. 甘肃阳山金矿床石英脉中锆石 SHRIMP-U-Pb 年代学研究. 矿床地质, 24(2): 141-149.
- 杨荣生, 陈衍景, 张复新, 等. 2006. 甘肃阳山金矿独居石 Th-U-Pb 化学年龄及其地质和成矿意义. 岩石学报, 22(10): 2603-2610.
- 张复新, 侯俊富, 张存旺, 等. 2007. 甘肃阳山超大型卡林-类卡林型金矿床地质特征. 中国地质, 34(6): 1058-1068.
- 张复新, 季军良, 龙灵利, 范春花. 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.
- 张复新. 1984. 陕西二台子金矿床黄铁矿的演化特征及其成因意义. 矿物岩石, 4(1): 22-28.
- 张国伟, 程顺有, 郭安林, 等. 2004. 秦岭大别中央造山带南缘勉略古缝合带的再认识——兼论中国大陆主体的拼合. 地质通报, 23(9-10): 846-853.
- Radtke A S, et al. 1980. Geology and stable isotope studies of the Carlin gold deposit, Nevada. Econ. Geol., 75: 644-672.
- Romberger S B. 1986. Ore deposits 9, disseminated gold deposits. Geoscience Canada, 13(1): 27-32.
- Wells J D and Mullens T E. 1973. Gold-bearing arsenian pyrite determined by microprobe analysis, Cortez and Carlin gold mines, Nevada. Econ. Geol., 68(2): 36-42.