

20-23

金龙山—丘岭卡林型金矿床成矿特征

p618.510.5

张复新

马建泰

(西北大学地质系·西安·710069) (中国科学院贵阳地球化学研究所·贵阳·550002)

金龙山—丘岭卡林型金矿床产于华北与扬子两地块会聚结合带的扩张海盆复杂岩相古地理沉积环境中。通过海底火山热液作用和生物活动的沉积成矿作用,形成成矿元素初始富集的矿源层。经后期叠加改造地质作用形成工业矿体。

关键词 卡林型金矿 成矿作用 金龙山—丘岭 秦岭

目前对沉积岩中浸染状金—硫化物矿床的成因认识,主要有两种观点。第一,把金—硫化物矿化形式与岩浆侵入期后热液作用过程联系起来,并有学者提出,该类矿床是花岗岩浆热液的远端矿化产物^[1];第二,认为金等成矿元素与沉积成岩富集过程有密切联系,随后在容矿的变质和构造热液改造过程中,物质发生再分配形成工业矿体。金龙山—丘岭卡林型金矿属于后者。

1 秦岭沉积岩区产出地质背景

秦岭沉积岩区广泛分布于商丹断裂以南的地区,主要由古生代地层组成,其中晚古生代沉积尤为发育。金龙山—丘岭浸染型矿床产于古生界上泥盆统南羊山组碳酸盐岩—细碎屑岩韵律状浊积岩系中。该沉积岩系是华北地块与扬子地块元古宙裂谷型扩张构造环境下,在具有拼合型非统一的过渡性基底基础上^[2],发育起来的“钳状”秦岭海湾沉积。该海湾沉积物源主要来自南北地块及海湾之中长期隆升的基底古隆起剥蚀区。内源沉积物除大量来自海水化学沉积、生物化学沉积和生物碎屑沉积外,秦岭海湾诸海盆中海底火山和海底热水沉积作用也十分发育^[3],成为海盆局部沉积岩相中的重要组成部分,为本区同生及后生矿床的形成准备了物质基础。

2 金矿床地质特征概述

矿床位于旬阳沉积区,受局限台盆沉积岩相控制。该沉积岩相地层富含硫铁质、有机碳, Au、As、Sb、Hg 成矿元素主要赋存于成岩黄铁矿及有机碳中。后期叠加于含矿岩系之上的褶皱式剪切构造,具有多期递进变形的特点,与伴随的含矿热液活动同步发生,为成矿物质的活化、迁移和沉淀造就了构造通道与容矿空间。

按成矿元素组合将矿石划分3种类型:金矿石、锑—金矿石、汞—锑矿石。金属矿物主要为含砷黄铁矿、毒砂,次为黄铁矿、辉锑矿,少量为闪锌矿、砷黝铜矿、辰砂等。脉石矿物主要为硅化石英、白云石、方解石,局部出现重晶石和迪开石。矿石中金主要赋存于含砷硫化物矿物中,经电子探针和透射电镜查定,金以小圆球状次显微金存在于含砷硫化物矿物晶粒边缘、增生环带及显微裂隙中。

成矿流体包裹体研究表明^[3], Au、As、Sb、Hg 存在于热液流体之中,热液中金以硫锑—砷金络合物形式迁移,导致矿带及矿区范围内形成 Au、As、Sb、Hg 的成矿地球化学共生关系。矿石矿物包裹体均一温度和爆裂温度测定,早期金矿化阶段为 182℃~300℃,晚期锑矿化阶段为 184℃~227℃,具中—低温热液矿床特征。进一步的研究表明,热液成矿作用早期,在弱酸性、弱氧化条件下, Au、As 首先沉淀,沿韧—脆性劈理化带、膝折密集带及剪切叶理带,以含砷黄铁矿和毒砂载金矿物组合浸染富集。随着含矿热液向地壳浅部上升,进入脆性断裂带,步入成矿作用晚期,在介质温压降低、酸性和氧化条件增强条件下,导致 Sb—Hg 的沉淀,形成辉锑矿、辰砂、黄铁矿在蚀变脉体中的共生组合,其含金性较差。

3 成矿物质初始富集的沉积成矿作用

旬阳沉积盆地由于局部伸展拉张,形成向南突出的“舌形”断陷盆地^[4]。盆地继续的发展演化,出现南北向同生断裂的发育,造成地堑—地垒式岩相古地理环境,所形成的沉积岩相沿东西方向强烈分异(图1)。沿同生断裂伴随海底火山热液的活动,使正常沉积体系中混有地壳深部物质,集中于断陷台盆沉积环境的深水浊积岩相带中。

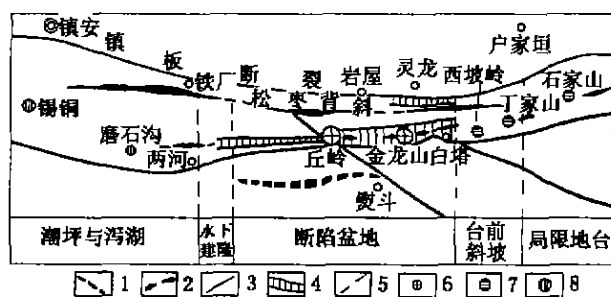


图1 旬阳盆地北部岩相分带与矿产略图

1—一向斜;2—背斜;3—断裂;4—剪切带;5—岩相界线;6—金矿床;
7—汞银矿床;8—铅锌矿床

3.1 断陷盆地浊积岩相岩石学及岩石地球化学特征

主要含燧石条带微晶灰岩、颗粒碳酸盐岩及钙质细碎屑岩组成。碳酸盐矿物为微晶、泥晶方解石,或为碳酸盐岩基质组成物,或为颗粒碎屑,另有一定含量的生物碎屑。陆源碎屑由粉砂、细砂石英、玉髓岩屑及少量白云母、酸性斜长石、微斜长石、绿泥石和黑云母组成,胶结物由泥质、泥灰质组成。在砾状灰岩的碳酸盐岩巨砾中,常见同沉积层纹弯曲的软沉积构造,暗示着高密度浊流对半固结和未固结先期沉积物的侵蚀。该岩相各岩性中普遍含有莓球状、双联细球菌状及立方体状成岩黄铁矿,尤其在含碳质纹层中具有明显聚集,含量介于0.5%~3%之间。与此同时,在成岩黄铁矿相对集中的纹层中,出现含量不高的粉砂级石英晶屑^[5]。这些表明沉积作用在构造—火山活动诱导下,发生较大规模的碎屑重力流沉积,并堆积在半封闭较还原的古地理环境中,致使与生物活动有关的成岩黄铁矿及有机碳质相对富集。将金龙山—丘岭矿床矿石与岩相带各微相岩石化学成分对比(图2),主要化学组成比值大体沿比值为1的横向轴上下摆动不大,显示出矿石化学组成对容矿岩石的依赖和继承关系。而 TFe、MgO 和 FeO/Fe₂O₃ 值具有明显的峰值,表明矿化蚀变过程中,上述成分明显加入。不同容矿岩石与矿石的对比曲线形态基本一致,反映出容矿岩石所受到的矿化与蚀变种类与强度是基本一致的。而矿石与碳酸盐岩的对比曲线跳跃变化大,与原岩化学成分活泼有直接关系。

对断陷盆地岩相3种微相岩石中微量元素统计(图3),其中 Au、As、Sb、Hg 元素组合一致表现出正向偏离。与容矿岩石微量元素 R 型聚类谱系图中 Hg、Sb、As、Au 显示较好的相关性是一致的。容矿岩石中,上述成矿元素与上地壳丰度值相比,高出1~3个数量级。将台盆岩相带各微相岩石主要氧化物

(SiO₂、Al₂O₃、CaO、FeO*)与成矿元素做协变图,其中 Au、As、FeO* 具有明显的正相关性(图4)。反映了沉积成岩黄铁矿有利于 Au、As、Sb 等成矿元素的初

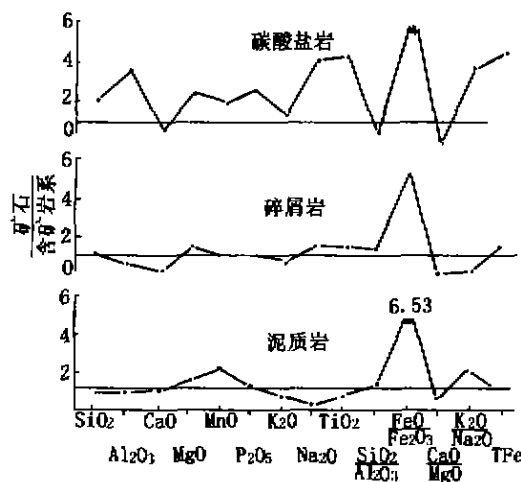


图2 金龙山—丘岭金矿床矿石与赋矿岩石化学成分对比图



图3 容矿岩石微量元素富集特征 lg(m/N)

lg(m/N)表示某元素(m)测定值相对上地壳丰度(N)富集数量级

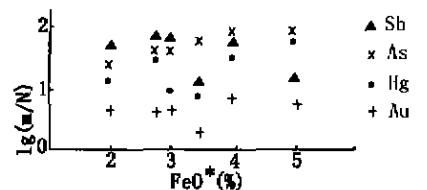


图4 容矿岩石 FeO* 与 Au、As、Sb、Hg 协变图

(FeO* = 0.899Fe₂O₃ + FeO; lg(m/N)表示某元素测定值(m)相对上地壳丰度(N)富集数量级)

始富集,并成为它们的主要载体。

3.2 断陷盆地浊积岩相带中的沉积成矿作用特征

主要微相岩石中普遍含有沉积成岩黄铁矿,并在硫化物相对聚集的含碳层纹中有火山凝灰物质出现,三者共生构成了本区重要的沉积成矿现象。

3.2.1 有机质演化及其对金的富集作用

南羊山组台盆相带各微相沉积岩石中含有机碳0.05%~0.31%(平均0.17%,14件样品),它们多

呈层纹状或粉尘状与莓球状、双联细球菌状成岩黄铁矿密切共生。断陷台盆沉积环境受海底同生断裂控制,同生断裂作为海底火山热液活动通道,既释放热量供给维持微生物生命活动的能量,又携带大量微生物所摄取的食物。台盆环境提供了微生物群落活动的有利场所,集中了莓球菌和双联细球菌等微生物群体。微生物可以直接吸附、食入成矿物质,并使某些有机质转化为活性官能团,促使金的有机络合物形成。另一方面,微生物的聚硫效应也十分明显,一般细菌含硫 0.16,腐烂物质含硫 0.5%^[6]。这些有机硫是硫化物矿化的潜在硫源。局限台盆沉积环境中火山热液作用带入的硫是细菌有机体中硫的主要来源。

当沉积物固结之前,有机微生物发生分解时,可形成一定数量的 H_2S ,即与微生物浓集的金等金属离子产生有机碳参与的复合杂环配合物,使金与有机碳及硫有机地协调起来。一旦复合杂环配合物遭到破坏分解,生成大量 FeS 。 FeS 可进而与水体或淤泥保存的火山热液来源硫反应,形成生物假象的莓球状和双联细球菌状黄铁矿。并且,由于金与硫、铁密切的地球化学关系,沉积水体溶解的金和微生物分解释放的微量金,优先进入微生物成因的黄铁矿中,组成含矿岩相中金的易释放形式,为后期地质改造提供了基础和便利条件。

3.2.2 沉积成岩黄铁矿的含金性及其成因特征

沉积成岩黄铁矿微量元素分析(表 1),单矿物

表 1 金龙山—丘岭金矿床成岩黄铁矿微量元素组成

黄 铁 矿 特 征	Fe	S	Au	As	Sb	Co	Ni	Se	Co/Ni	S/Se ($\times 10^4$)
	(wt%)		($\times 10^{-6}$)							
莓球状、双联细球菌状、立方体、微晶混合黄铁矿*	46.53	49.81	1.7	650	290	760	230	4	3.30	12.6
	46.53	50.13	0.6	980	110	720	200	5	3.60	10.0
莓 微 海 细 球 粒 状 绵 粒 状 状	46.39	53.33	0.00	900	1100	-	-	-	-	-
	46.18	53.28	1100	4300	0.00	-	-	-	-	-
	46.17	52.91	1100	6600	800	-	-	-	-	-
	46.38	53.16	800	3500	300	-	-	-	-	-

* 为单矿物化学分析,其余为电子探针波谱定量分析,“—”为未检测。西安地质矿产研究所刘文峰分析。

含金 $0.6 \times 10^{-6} \sim 1.7 \times 10^{-6}$,含砷为 0.065%~0.098%,具备了形成金矿床的沉积黄铁矿和成矿条件。并且 Co/Ni 值介于 3.3~3.6 之间,显示火山热液成因特征。S/Se 值为 $10.0 \times 10^4 \sim 12.5 \times 10^4$,具沉积作用特征。沉积成岩黄铁矿成分上的标型意义,与含矿岩系中出现的火山凝灰物质相吻合。其硫同位素 $\delta^{34}S$ 值界于 $-4.23\text{‰} \sim +0.73\text{‰}$,反映了生物轻度还原陨硫硫的特征。综上所述,该成岩黄铁矿是在海底火山热液作用下,经微生物活动及有机质的演化,在沉积成岩作用阶段形成的。使得含

该黄铁矿的台盆浊积岩相具有含金矿源层的意义。

4 后期构造叠加与热液改造的 Sb—Au 成矿作用

金矿床形成主要取决于物质来源和有利的构造两大因素。

4.1 韧—脆性构造变形序列与金的矿化特征

金龙山—丘岭金矿床控矿构造序列及其特征如图 5 和表 2。据蚀变矿物包裹体压力计算,控矿构造深度大约为 1.5 km~1.9 km;剪切构造变形分布

表 2 金龙山—丘岭金矿床控矿构造变形序列及其特征

变形期	第一期褶皱构造变形	第二期褶皱变形及透入性应变滑移理	第三期膝折构造变形	第四期脆性构造变形
宏观构造特征	纵弯作用下的区域性直立宽缓复式向斜、线型背斜褶皱	不均应力场下的剪切短轴背斜和穹隆,层间寄生褶皱,轴面面理发育	应变中心发育的膝折和共轭膝折,破劈理发育,不同尺度的破裂构造,不同构造岩共存	断层张裂带、节理带,角砾岩化带
显微构造特征	重结晶的绢云母半定向排列,集合消光,成岩黄铁矿轻度重结晶	石英砂屑、钙质细砂—粉砂岩糜棱岩化的剪切透镜体,显微压力影	前期石英显微脉体剪切破裂,亚颗粒化,次生包裹体沿破裂面分布	硅化石英的破裂扭曲及波状消光。碎裂与角砾岩化
构造线	EW	NEE, NWW	NE, NW, SN	NE, NW, SN
变形性质	韧性	韧性、脆韧性	脆性	脆性
变形机制	弯曲	压扁+剪切	剪切+引张	剪切+引张
矿化与蚀变特征	使有利矿化岩层和含矿层因变形而相对集中、增厚、矿源层中分散的成矿元素有微弱集中趋势,构成 Hg—Sb—As—Au 综合矿化集中区	微细晶黄铁矿、毒砂弥散浸染分布变形带中,出现轻度硅化、碳酸盐化显微扁豆状脉体、黄铁矿具增生环带,次显微金沿含砷矿物晶粒边缘、结晶环带、显微裂隙分布	不等粒状黄铁矿、毒砂与碳酸盐—石英网脉共生,并相对富集,黄铁矿具增生环带,次显微金沿含砷矿物晶粒边缘、结晶环带、显微裂隙分布	似碧玉岩—方解石充填脉,粗晶黄铁矿、辉钨矿、辰砂共生其中,含金微



图 5 构造样式图

面积比较局限;构造变形强度小,叠加作用不复杂,甚至构造变形幕单独出现,因此与构造作用相关的变质作用极轻微。上述叠加构造的缺陷,直接影响着热液活动的强度,虽然本区矿化带有一定规模和延伸,但工业矿体较小,连续性较差。矿体多呈脉

状、扁豆体状、局部形成膨大的囊状。

4.2 矿化蚀变作用演化及其特征

将金龙岗—丘岭卡林型金矿床成矿作用演化及矿物共生组合综合于图6,可以看出金的沉淀与成矿作用中的富砷事件有关,含砷硫化物是次显微金

的主要载体。含砷黄铁矿含金 $45.5 \times 10^{-6} \sim 118.0 \times 10^{-6}$, 毒砂含金为 $60.2 \times 10^{-6} \sim 138.0 \times 10^{-6}$ 。载金矿物在矿石中呈稀疏浸染分布,其含量较低,矿石为低品位,平均介于 $2.74 \times 10^{-6} \sim 4.20 \times 10^{-6}$ 。

成矿期与成矿阶段 矿物及其生成顺序	含火山热液沉积 成矿期	构造叠加—热液改造成矿期				表生氧化 次生富集 成矿期
		褶皱变形 成矿阶段	次级褶皱—应 变滑移理变形 成矿阶段	膝折变形 成矿阶段	脆性变形 成矿阶段	
毒球黄铁矿	——					
双联黄铁矿	——					
有机碳	——					
变晶黄铁矿	——					
硅化石英						
增生环带黄铁矿						
毒砂						
闪锌矿	——					
细—粗粒黄铁矿						
铁白云石						
方解石						
辉钨矿						
辰砂						
球状次显微金						
显微金						
褐铁矿						
锦华						

图6 金龙岗—丘岭卡林型金矿床成矿作用演化及特征

总体上,矿床形成演化至少经历了伴随火山热液活动的同生沉积,和后生韧—脆性剪切构造叠加与地下循环热液改造的两次成矿作用过程。矿床具有沉积—改造的层控成矿特点,构成秦岭中微细粒浸染状卡林型金矿床的特色。

参考文献

- 1 Sillitoe N H, Bonham H F Jr. Sediment-host gold deposits: Distal products of magmatic-hydrothermal systems. *Geology*, 1990, 18(1): 157 ~ 161

- 2 张国伟. 秦岭造山带基本构造的再认识: 亚洲的增生. 北京: 地震出版社, 1993. 95 ~ 99
- 3 张复新, 魏宽义, 等. 南秦岭微细粒浸染型金矿地质与找矿. 西安: 西北大学出版社, 1997. 114 ~ 131
- 4 张复新, 马建泰, 魏宽义. 镇安米粮地区微细浸染型层控金矿床的形成与构造演化关系. *矿床地质*, 1995, 14(1): 26 ~ 34
- 5 张复新, 刘文峰, 魏宽义. 陕西丁—马矿带金龙岗—丘岭金矿含金黄铁矿特征及其演化. *地质与勘探*, 1993, 29(10): 27 ~ 32
- 6 姜琦刚. 论构造演化、有机物演化和成矿演化三者之关系. *地质论评*, 1994, 40(2): 120 ~ 124

METALLOGENIC CHARACTERISTICS OF THE JINLONGSHAN - QIULING CARLIN TYPE GOLD DEPOSIT

Zhang Fuxin, Ma Jianqin

The Jinlongshan - Qiuling carlin type gold deposit was formed under paleosedimentary environments with complicated lithofacies and in the spreading marine basin on the convergence between north China platform and Yangtze platform. The evolution of the deposit witnessed the formation of source bed with preliminary enrichment of ore-forming elements by marine volcanism and organism, and then mineralization by reformation.

Key words carlin gold deposit, mineralization, Jinlongshan - Qiuling, Qiling



第一作者简介:

张复新 男, 1945年生。1968年毕业于北京大学地质地理系地球化学专业, 1982年获西北大学地质系硕士学位。现任西北大学地质系副教授, 主要从事矿床地质科研工作。

通讯地址 陕西省西安市太白北路1号 西北大学地质系 邮政编码: 710069