河南桐柏老湾金矿床的成矿作用研究*

Metallogenesis of Laowan Gold Deposit from Tongbai, Henan Province

谢巧勤[1] 徐晓春[1] 岳书仓[1] 潘成荣[1,2] 李永森[1]

（1 合肥工业大学，安徽 合肥 230009；2 安徽省环境保护研究所，安徽 合肥 230061）

Xie Qiaoqin[1], Xu Xiaochun[1], Yue Shucang[1], Pan Chengrong[1, 2], Li Yongsen[1]

(1 Hefei University of Technology, Hefei 230009, Anhui, China;

2 Anhui Institute of Environment Protection, Hefei 230061, Anhui, China)

摘 要 老湾金矿床赋存于中元古代龟山组地层中，主要岩性为二云石英片岩和斜长角闪片岩。矿体主要受老湾韧性剪切带的韧脆性构造制约，是桐柏造山带在中生代碰撞造山晚期挤压体制向伸展体制转换、隆起引发的成矿事件在老湾地区的表现。该矿床成矿作用复杂。本文根据赋矿围岩、矿区构造和岩浆岩特征及矿床地球化学的系统研究，表明矿床形成经历矿源层 Au 的初始富集、韧性剪切变质变形的 Au 的再次迁移富集及燕山晚期造山作用引发的岩浆活动促使 Au 最终沉淀成矿 3 个阶段的历程。

关键词 成矿作用 Au 的多阶段富集 河南桐柏 老湾金矿床

老湾金矿床位于桐柏山北麓，南阳盆地和吴城盆地之间，为该区域的一个大型金矿床。近 20 年来，虽然有许多地质科研机构及高等院校对其进行了一些研究，但对矿床的成因和成矿作用等的认识仍有分歧（徐启东等，1995；马启波等，1996；谢巧勤等，2001）。本文通过赋矿（围岩）地层、矿区构造和岩浆岩特征以及矿床地球化学分析，进一步探讨了老湾金矿床的成矿作用及成因。

1 矿区地质概况

研究区构造上处于秦岭造山带东延部分的菱形大河断块的南缘。矿区出露地层是受过多次韧脆性剪切作用的龟山组变质岩系，也是含矿岩系。矿区内主要构造有老湾韧性剪切带，也是金矿化带；矿区的南北边界老湾断裂和松扒断裂，也是矿区的主断裂。两条主断裂和韧性剪切带的走向均为 NWW 向，与区域构造线方向一致。老湾韧性剪切带产生的韧脆性-脆性构造和两条主断裂及其形成的次级构造是矿区的主要控矿构造。矿区内岩浆岩发育，较大侵入岩体有老湾花岗岩岩株，此外尚有一些花岗斑岩岩脉、石英钠长斑岩岩脉、岩株和辉长-辉绿岩岩墙侵入活动。

2 矿床地质

老湾矿区包括两个矿段：老湾矿段和上上河矿段，两个矿段的矿体具有完全相同的产出地质条件，矿体形态及其变化特征以及矿床富集部位也十分相似。上上河矿段的主要矿脉呈近平行排列产出，自北向南有 h60、h62、h87、h89、h88、h67、h63 等矿脉。矿脉出露标高最大为 284.17 m，最低为 229.3 m。平

* 基金项目：原地质矿产部“九五”重大基础项目（9501102）

第一作者简介 谢巧勤，女，1970 年生，硕士，讲师，从事矿床成岩成矿地球化学研究。

面上矿脉间水平间距最大为 70 m，最小为 20~30 m。剖面上矿脉呈侧幕式展布在垂距 150 m 范围内，倾向上最大延深达 660 m。矿脉走向 290~310 °，总体南倾，近地表及浅部有时北倾，倾角 55~80 °。由于矿脉与岩层倾向一致，走向有一定角度，因而矿脉常斜切地层❶。老湾段的Ⅰ矿体束及Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ矿带为老湾矿段主要矿体❷。矿体主要呈层状、似层状或透镜状产出，这种矿体占总储量的 90%，脉状矿体次之。矿床围岩蚀变十分发育，主要有硅化、黄铁绢英岩化、绿泥石化和碳酸盐化等，蚀变无明显的分带，常常是几种蚀变叠加在一起，蚀变发育处矿化强烈。矿石分为两大类型：Ⅰ类为硫化物石英脉型矿石；Ⅱ类为多金属硫化物浸染型矿石。矿石矿物主要为黄铁矿，含少量黄铜矿、方铅矿和闪锌矿，为中温热液矿床的典型矿物组合；脉石矿物有石英、绢云母、方解石、绿泥石和绿帘石等。根据矿物组合，成矿期分为 3 个成矿阶段：石英氧化物阶段（Ⅰ），矿物组合为石英+磁铁矿+黄铁矿+金；石英多金属硫化物阶段（Ⅱ），矿物组合为石英+黄铁矿+黄铜矿+闪锌矿+金；石英碳酸盐阶段（Ⅲ），矿物组合为石英+方解石+黄铁矿+金。

3 含矿地层对金成矿控制

矿床围岩为中元古代龟山组，是受过多次韧脆性剪切变形变质作用的浅变质岩系，最主要岩性为斜长角闪片岩或斜长角闪岩（也称为角闪质岩石）、二云石英片岩，也是直接赋矿围岩，其原岩为一套有利于成矿的基性火山碎屑-沉积岩（谢巧勤等，1999）。

由于金在地壳中含量较低，研究金矿床金的来源时，赋矿围岩的金含量常常被用来衡量围岩对成矿的贡献。老湾金矿床金矿体就产在二云石英片岩和斜长角闪片岩中或二者的接触带上，对矿区外围未矿化和蚀变的这两种岩石含金量进行分析，结果是：斜长角闪片岩 7.4×10^{-9}，二云石英片岩为 4.8×10^{-9}。可见地层是一个金的高背景值区，与其岩性对金的兼容性相一致。据研究龟山组变质岩系在南阳盆地以西平均含金量为 1.1×10^{-9}，新县—商城地区为 2.96×10^{-9}（邵军，1995）。这说明同一套含金建造在不同地区含金性存在差异，预示着金在本区有富集作用。

区域上，小秦岭地区的金矿床建立于太古界太华群的一套含金建造之上；崤山-熊耳山地区则是以太华群和中元古界熊耳群为矿源层。太华群和熊耳群的原岩（彭万夫，1994）与龟山组原岩相似，主要部分均为形成于前寒武纪的一套中性-基性火山岩。因而，岩性特征、成岩时代及地层的含矿性都反映龟山组是老湾金矿的矿源层。

4 构造对金成矿的控制

地层的浅变质基性火山-碎屑沉积岩是金成矿的物质基础，而构造则是导矿和容矿的空间条件，也是矿床形成的必要条件。

老湾矿区位于桐柏隆起带北侧，该隆起区断裂发育、变形强烈，基性和酸性岩浆多次侵入，为金成矿创造了良好区域构造环境。构成矿区南北边界的老湾断裂和松扒断裂，两大断裂切割深、多次活动，野外地质观察显示，矿化主要发生在带内，带外几乎没有矿化，断裂是矿化的分界线。严格控制矿床分布，同时，也为深部流体上升和浅部流体下渗提供了有利条件。总体上显示两大断裂为重要的导矿构造。

老湾韧性剪切带为矿床的最主要控矿构造。老湾金矿床矿体 90%是以层状、似层状和透镜状产出，仅有 10%以脉状产出，这与韧性剪切带中深层次变形区构造控矿所形成的矿体形态相一致。

孙承辕等（1994）认为韧性剪切带内变形越强越有利于成矿。老湾金矿床赋存空间也正是老湾剪切带的强变形域。潘成荣（1999）通过对地层岩石的岩石化学质量平衡计算表明，老湾矿区地层岩石变形越强金含量越高，越有利于成矿。这是因为赋矿的强变形区，从地壳深部抬升到地壳浅部后，由于构造应力差，

❶ 河南省地质矿产厅第四地质调查队. 1995. 河南桐柏上上河金矿床祥查报告.
❷ 河南省地质矿产厅第三、第四地质调查队. 1990. 河南省桐柏县老湾韧性剪切副品这金矿大比例尺成矿预测报告.

使得各种糜棱岩化的岩石的面理、劈理、裂隙等容矿构造更加发育，成为矿液的充填和金元素富集与沉淀场所。但是对一条剪切带而言，它的形成往往不是一蹴而就的，而是经历了长期多阶段的演化。每次变形活动都能将深部或地层及周边地质体中的金元素不断向强变形区迁移，使原已富集的元素更加富化或叠加弱矿化。矿区内的老湾韧性剪切带的形成过程也是经历了复杂的演化历史，目前其形成时代尚无确切的同位素年代学证据，但中生代的造山作用引起剪切带活动且不断抬升是必然的，活动期间使得金元素不断迁移富集也是肯定的。因此，老湾剪切带对老湾金矿床的控制作用，不仅表现为容矿和导矿构造，而且剪切带的活动也使金不断富集。

5　岩浆活动与成矿

老湾矿区岩浆活动比较强烈，从中元古代的基性岩浆喷发活动到中生代酸性岩浆侵入作用。其中中元古代的岩浆作用已经形成了老湾金矿床的矿源层，而促使矿床最终形成的则是燕山晚期的老湾花岗岩浆侵入，形成了老湾花岗岩岩株。

老湾花岗岩体产于矿区南界的老湾断裂中，是一个走向 NWW 的长条状岩株。岩石化学成分及同位素研究表明：岩性为黑云母二长花岗，是一个与金矿关系密切的钙碱性系列的 I 型花岗岩。岩体与成矿的密切性表现：一方面在野外地质产状上，岩体与北侧金矿化如影随形，花岗岩终止矿化尖灭，岩体膨大部位矿化强烈，有工业意义的矿体均产于岩体北缘 100~150 m 范围内；另一方面在地球化学特征上，同位素地质年代学研究显示，老湾花岗岩成岩于燕山晚期，其石英的 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄为 104.1 Ma，钾长石 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄为 108 Ma。老湾金矿床成矿期石英的 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄为 91.5 Ma，显示成岩与成矿同时性及成岩对成矿的制约性（谢巧勤等，2000）。同时，老湾花岗岩的岩浆动力学研究还表明，老湾花岗岩岩浆是矿床形成的热动力源，且岩浆提供了部分成矿物质（徐晓春等，2001）。

6　矿床地球化学

6.1　流体包裹体地球化学

老湾金矿床成矿Ⅱ、Ⅲ阶段石英脉中流体包裹体岩相学特征表现为包裹体多而小，直径一般在 2~4 μm 左右；包裹体形态多变，有圆形、椭圆形、长条形、不规则形等；包裹体类型有液相、气相和含石盐子晶包裹体等多种，以气液两相包裹体为主，气液比一般为 1/6~1/2。

成矿Ⅱ阶段和Ⅲ阶段的流体包裹体均一温度为 150~304℃，推测Ⅰ阶段成矿温度在 360℃左右（徐启东等，1995）。根据各阶段发育程度可见，成矿主要发生在中温条件下。

根据气液两相包裹体冰点-盐度关系估算流体盐度：成矿Ⅱ阶段 w（$NaCl_{eq}$）为 7.86%~9.21 %，成矿Ⅲ阶段 w（$NaCl_{eq}$）为 2.41%~6.88%。从成矿Ⅱ阶段至Ⅲ阶段，随着流体温度下降，盐度降低，密度不断增大，由 0.79 g/cm^3 增至 0.83 g/cm^3。流体成分以 Na^+、K^+、Cl^-、H_2O 为主，含有一定量的 CO 和 N_2。流体成分及 $K^+/Na^+>1$ 显示与老湾岩浆热液有关。

6.2　稳定同位素地球化学

(1) 流体包裹体的氢氧同位素组成：δD 为-72‰~ -67‰，$\delta^{18}O$ 为-4.9‰~1.4‰，成矿流体主要为岩浆水和大气降水的混合体，同时混有深源地幔流体。随着流体从高温向低温演化，其中的大气降水比例增大，岩浆水比例减小(谢巧勤等，2001)。

(2) 铅同位素组成与来源：矿石铅同位素组成为 $^{206}Pb/^{204}Pb$=17.442~17.765，$^{207}Pb/^{204}Pb$=15.38~15.6，$^{208}Pb/^{204}Pb$=37.206~38.178，为多阶段演化的异常铅。矿石铅组成介于老湾花岗岩岩石铅、地幔铅和地层铅所组成的三角区内，反映矿石铅主要来源于地层、花岗岩（潘成荣等，2002）。

7 成矿作用分析

金矿成矿作用通常是一个非常复杂的地质过程，往往要经历金的多次富集作用才能形成大型矿床。老湾金矿床的形成也不例外。综合上述研究成果可见，老湾金矿床所处的特殊构造位置为其成矿提供了容矿空间、物质基础及成矿动力学等有利条件，地层-构造-岩浆-成矿为有机统一体。

中元古代，沉积成赋矿围岩的基性岩浆喷发作用形成老湾金矿床的矿源层。岩浆从深部地幔上升到地壳浅部，将深部地幔金元素运送到地表，同时在岩浆演化过程中，岩浆分异流体汇聚多源成矿物质，对老湾金矿床金矿质起到初始富集作用，从而成为金成矿的高背景值区。

中生代，印支期华北陆块和扬子陆块两大陆块碰撞挤压造山，造山作用的多期性引起老湾韧性剪切带的变形变质作用的多阶段性。剪切带的变形变质作用使得金元素不断迁移富集于剪切带的强应变域，使多源（尤其是地层中）成矿元素得到进一步富集作用，称之为金的再富集作用。

燕山晚期，老湾地区区域应力由挤压体制向伸展体制转化，地壳上部静岩压力的释放，中下地壳物质减压分熔形成老湾花岗岩岩浆。该岩浆的产生成为老湾金矿床形成的直接动力学条件。谢巧勤（1999）研究认为老湾花岗岩岩浆起源于中下地壳，来源较深，岩浆从形成、演化到定位成岩经历较长的时间。在其演化过程中，一方面提供大量热动力，驱动下渗大气降水不断对流循环萃取围岩及下渗所经地质体中的金元素；另一方面岩浆分异含矿岩浆热液。两种热液混合形成成矿流体。成矿流体从地壳深部迁移到地壳浅部，充填于韧性剪切带的韧脆性构造中。由于深部和浅部环境的差异，使得流体温度、压力等物理化学性质必然发生改变，进而使得溶解于其中的金络合物溶解度降低，促使金沉淀堆积成矿。曾键年等（2002）实验研究也认为，随温度降低，流体中金浓度也随之降低；300℃左右的温度区间是金大量沉淀的有意义区间，且温度由 400℃降到 300℃，金沉淀速度最快。老湾金矿床流体包裹体测温，显示成矿温度区间为150~360℃，300℃左右为主成矿阶段，为金大量沉淀温度区间。这些都显示，老湾金矿床成矿流体物理化学条件的改变是矿石堆积的重要原因。

通过以上系统的地质地球化学研究和分析，构造、地层和岩浆岩是控制老湾金矿床形成的三大要素。矿床形成主要经历 3 个演化阶段，前两个阶段是为最终成矿作准备的，由此，本文建立成矿模型如下：中元古代，火山喷发（喷流）-沉积阶段，即地层同生沉积形成阶段，为矿质的初始富集阶段；中生代印支期，华北和扬子陆陆碰撞引发老湾韧性剪切带活动，使金再次富集；燕山晚期，即桐柏—大别造山带造山作用晚阶段，老湾花岗岩岩浆作用驱动岩浆热液和大气降水混合演化为成矿流体，成矿流体上升并在韧性剪切带的韧脆性裂隙等有利的构造部位沉淀成矿。

参 考 文 献

马启波, 杨廷栋, 宠庆邦, 等. 1996. 桐柏—大别地区成矿条件及成矿预测[M]. 武汉: 中国地质大学出版社. 48.

潘成荣, 岳书仓. 2002. 河南老湾金矿床 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 定年及铅同位素研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 25(1): 9~13.

潘成荣. 1999. 河南桐柏老湾金矿床成矿地球化学及岩浆热液成矿动力学[D]. [博士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学. 指导教师: 岳书仓. 100~105.

彭万夫. 1994. 小秦岭-桐柏山地区构造岩浆岩对金矿控制特征及成矿模式[J]. 河南地质, 12(3): 161~170.

邵军. 1995. 老湾金矿带成矿地质背景[J]. 贵金属地质, 4(2): 138~146.

孙承辕, 张全春. 1994. 江西金山金矿韧性剪切过程中的物质迁移[J]. 矿床地质, 13(4): 371~379.

谢巧勤, 徐晓春, 岳书仓. 1999. 河南桐柏龟山组地质地球化学特征及成岩环境[J]. 合肥工业大学学报（自然科学版）, 22(5): 26~30.

谢巧勤, 徐晓春, 岳书仓. 2000. 河南桐柏老湾金矿床和花岗岩的年龄及其意义[J]. 高校地质学报, 6(4): 546~553.

谢巧勤, 徐晓春, 岳书仓. 2001. 河南桐柏老湾金矿床氢氧氦同位素地球化学及成矿流体来源[J]. 地质科学, 36(1): 36~42.

谢巧勤. 1999. 河南桐柏老湾金矿床成岩成矿地球化学研究[硕士论文]. 合肥: 合肥工业大学. 指导教师: 徐晓春. 58

徐启东, 钟增球, 索书田, 等. 1995. 桐柏-大别地区中温热液金矿床成矿流体性质与沉淀机理[J]. 矿床地质, 14(1): 59~72.

徐晓春, 岳书仓, 潘成荣, 等. 2001. 河南桐柏老湾花岗岩岩浆动力学与成矿[J]. 岩石学报, 17(2): 245~253.

曾键年, 范永香. 2002. 流体混合作用导致金沉淀机理的实验研究[J]. 地球科学, 27(1): 41~45.