

辽宁岫岩金矿成矿系统分析

赵永鑫 秦松贤 明厚利 刘永胜

(中国地质大学资源学院, 武汉 430074)

摘要: 岫岩金矿床产于印支期花岗岩基与下元古界辽河群变质岩捕虏体的接触带中, 矿化类型以石英脉型为主, 兼有蚀变岩型. 研究表明, 燕山期花岗岩系统与成矿有密切的时空和物质联系, 是金矿化的主控因素; 成矿流体气液比变化大, 均一温度高, 富含二氧化碳和有机质, 显示岩浆源和幔源特征; 矿化类型受构造应力场和断裂力学性质控制.

关键词: 金矿; 成矿系统; 成矿模式; 辽东南.

中图分类号: P611; P618.51

文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2000)04-0356-06

作者简介: 赵永鑫, 男, 副教授, 1952年生, 1989年毕业于中国地质大学(武汉), 获博士学位, 现主要从事矿床学的教学和研究工作.

岫岩金矿位于辽宁省东南部, 是一个产于元古宙变质地体中的小型金矿床. 以往的研究对矿床的成因有不同的观点, 如变质热液矿床、岩浆热液矿床以及沉积硅质岩改造成矿等. 该矿床虽然规模不大, 但是很有特色. 对该成矿系统的综合分析对成矿理论和预测找矿都有重要意义^[1].

1 区域地质背景

辽东南地区基底表现为东西走向的营口—宽甸隆起和复州凹陷, 岫岩金矿位于营口—宽甸隆起带的南侧. 该区域于古元古代形成了近东西向的坳拉槽, 接受了一套火山岩—沉积岩建造. 新元古代开始, 辽南地体和辽北地体拼合在一起, 广泛接受了新元古代至古生代的盖层沉积^[2]. 中生代后构造活动加强, 以发育北北东向和北东向主干断裂为特征(图1).

辽东南地区最古老的地层为太古宇鞍山群下部的城子坦组, 为一套经历了角闪岩相—麻粒岩相变质的变质岩系, 并遭受了不同程度的混合岩化. 原岩多为中—基性火山岩或凝灰岩^[3]. 下元古界辽河群是一套绿片岩相至绿帘—角闪岩相变质岩系, 其下亚群包括浪子山组、里尔峪组和高家峪组, 原岩为一套中酸性火山—沉积建造; 上亚群包括大石桥组和

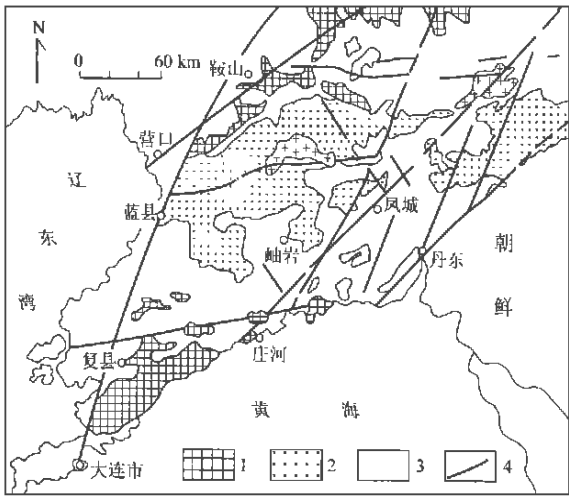


图1 辽东南地区地质略图(据倪培等^[2]修改)

Fig. 1 Geological outline of southeastern Liaoning Province

1. 太古宙; 2. 元古宙; 3. 显生宙盖层+岩浆岩; 4. 构造线

盖县组, 原岩为一套陆源碎屑—粘土质—碳酸盐沉积建造. 古元古代至显生宙古生代末, 在广大范围内接受了震旦系、寒武系、奥陶系及石炭—二叠系沉积, 它们彼此之间多为整合或平行不整合接触. 中生界包括侏罗系和白垩系, 主要为基性—中酸性火山岩和泥砂质沉积岩建造.

辽东南地区岩浆岩十分发育, 除元古宙的中基性—超基性小岩体和花岗岩外, 绝大部分为中生代花岗岩类, 其分布面积可占全区基岩面积的

70%^[4]. 中生代花岗岩大致可划分为:(1)印支期的浅熔深位黑云母花岗岩系, 出露面积大, 属S型花岗岩;(2)燕山早期的深熔浅位花岗闪长岩系, 是一套中性—中酸性—酸性侵入杂岩体, 岩体规模悬殊, 有上千 km² 的大岩基, 也有小岩株;(3)燕山晚期的浅侵位角闪条纹长石花岗岩^[4], 为偏碱性花岗岩, 属A型花岗岩.

2 矿床特征

2.1 矿区地质

区内地层出露面积小, 仅为一群被印支期粗粒斑状花岗岩包围穿插的辽河群变质岩的捕虏体(图2). 岩性主要是黑云石英片岩、黑云母变粒岩、二云母片岩及斜长片麻岩等.

区内断裂构造按其走向可分为两大组:(1)北西—北西西向断裂组. 这组断裂与变质岩片理以及斑状花岗岩与变质岩接触带的走向一致, 产状陡, 倾角一般为 60°~90°, 断面多有波状起伏, 显示压扭性质.(2)北北东—北东—北东东断裂组. 这组断裂的断面也不同程度地显示有压扭性变形特征, 倾向一般为北北向, 倾角 32°~80°. 这组断裂在矿区西部多被岩脉充填, 而在东部则多被石英脉充填. 在矿区的1, 2号脉带中, 往往切割破坏矿体, 但少数也可控制一些小型的北东向矿化体的产出.

矿区岩浆活动频繁, 岩石类型多, 成矿前岩浆岩主要是呈大岩基出露的普遍片(麻)理化的印支期粗粒斑状花岗岩、石英闪长岩等; 成矿期主要是呈岩株或岩脉产出的细粒花岗岩和花岗斑岩; 成矿后则是一系列北北东和北西向的中基性脉岩.

值得指出的是, 从侵入时间上看, 矿区外围花岗斑岩与后期的中基性脉岩之间, 有一种以石英为主的花岗质的斑晶和闪长质的基质组成的斑岩, 它对区域深部岩浆房结构和岩浆演化具有指示意义.

2.2 矿化特征

工业矿体主要赋存于1, 2和7号石英脉中. 这3条脉体均产于变质岩捕虏体北西端的北西向和近东西向的断裂带中, 其围岩岩性为黑云石英片岩、黑云母变粒岩及二云母片岩.

矿石类型有条带状细粒石英—黄铁矿型、脉状—网脉状石英—黄铁矿型、角砾状或块状多金属硫化物型和细粒浸染状或网脉状石英—磁黄铁矿、黄铁矿型矿石等. 矿石中主要金属矿物有黄铁矿、磁黄

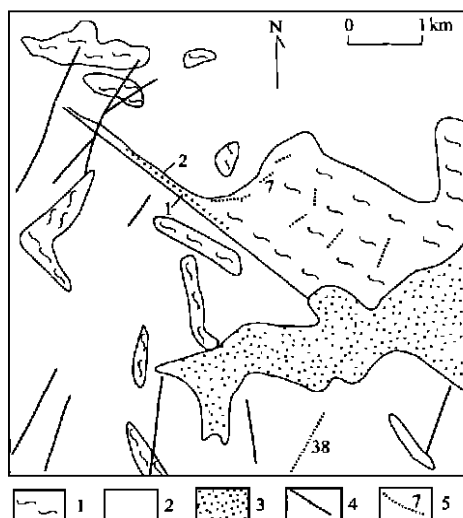


图2 岫岩金矿区地质略图

Fig. 2 Geological outline of Xiuyan gold district

1. 辽河群变质岩; 2. 印支期花岗岩; 3. 燕山期花岗岩; 4. 燕山期中、酸性岩脉; 5. 含金石英脉及编号

铁矿、方铅矿、黄铜矿、闪锌矿、黝铜矿、白钨矿、斑铜矿、毒砂、磁铁矿和自然金等, 非金属矿物有石英、绢云母、黑云母、白云母、长石、透闪石和透辉石等.

成矿过程划分为4个阶段:(1)乳白色粗粒石英—黄铁矿阶段, 金矿化微弱;(2)中、细粒石英—黄铁矿多金属硫化物阶段, 是主要的金成矿阶段;(3)细、中粒石英—磁黄铁矿多金属硫化物阶段, 金矿化较弱;(4)碳酸盐、石英—黄铁矿阶段. 该阶段矿物多呈细脉状分布, 金矿化微弱.

围岩蚀变主要有硅化、绢云母化、黄铁矿化、绿泥石化、碳酸盐化及钾、钠长石化等. 蚀变范围较窄, 一般 0.5~3.0 m. 硅化、绢云母化和黄铁矿化是成矿前及成矿期的主要蚀变, 与矿质迁移、沉淀有十分密切的关系.

3 成矿要素

3.1 成矿物质来源

主要成矿物质来源问题是岫岩金矿床成因认识的关键. 以下从金的分布特点和铅、硫同位素特征对矿质来源加以分析.

3.1.1 金丰度对比 本区的变质岩主要是黑云斜长片麻岩、黑云片岩、黑云石英变粒岩, 夹少量变质泥质碳酸盐岩. 与区域地层资料对比, 本区这套变质岩相当于辽河群上部盖县组. 王孔海等^[3]对区域地

层含金性的研究表明,辽东南地区辽河群自下而上金的丰度是降低的,整个辽河群平均含金 5.69×10^{-9} ,盖县组为 5.2×10^{-9} . 通过对该矿区外围所做的金的原子吸收光谱定量分析发现,研究区内变质岩金的最低丰度为 7×10^{-9} ,除个别特高丰度外,变质岩平均含金 24.56×10^{-9} . 即使把含金最低的样品视为变质岩原始含金丰度,那么本区与区域总体水平相比金还是增高了 3.8×10^{-9} . 变质岩作为矿体的围岩与成矿流体相互的物质交换是不可避免的,但是不论过程繁简,其结果是成矿流体向变质岩注入了大量的金. 本区断裂构造纵横交错,石英脉分布广泛,这是含金流体运移的有利条件. 金成矿时形成了广泛的原生晕,变质岩是金的接受者,而不是成矿金的提供者.

本区工业金矿体均集中在辽河群捕虏体的北西端行将尖灭的部位(图 2),而在捕虏体膨大的部位矿化反而很差. 另一方面,外围有些含金石英脉或蚀变岩带发育在斑状花岗岩岩基中,局部已有较强的矿化显示,如 38 号、5 号、35 号脉等. 这从空间上提供了金不是来自变质地层的证据.

根据有色辽宁矿产地质研究所等^①资料,本区印支期斑状花岗岩、石英闪长岩金丰度为 $0.83 \times 10^{-9} \sim 2.5 \times 10^{-9}$,燕山期的中细粒花岗岩为 3.89×10^{-9} ,而林家沟(蚀变)花岗斑岩高达 17.63×10^{-9} . 可见,燕山期花岗岩金的丰度明显增高. 虽然花岗斑岩出露规模较小,但花岗斑岩中金的高丰度暗示,存在于一定深度的岩浆房具有成矿的物质潜力.

矿区岩石金的分布特征表明,成矿的金应主要来自成矿期花岗岩浆的分异和分馏作用,地层不是成矿金的主要提供者.

3.1.2 铅同位素 对本区及辽东南其他几个金矿区矿石和相关岩石的铅同位素数据^[5~7]采用如下参数计算铅同位素特征值: $t_0 = 45.6 \times 10^2 \text{ Ma}$, $a_0 = 9.307$, $b_0 = 10.294$, $c_0 = 29.496$, $\lambda_{238} = 0.155\ 125 \times 10^{-9}/\text{a}$, $\lambda_{235} = 0.984\ 85 \times 10^{-9}/\text{a}$, $\lambda_{232} = 0.049\ 475 \times 10^{-9}/\text{a}$, 计算模式年龄的 φ 值采用 Fure^[8] 的 B 组数据.

岫岩金矿矿石方铅矿的 $w(^{206}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 在 $17.966 \sim 18.093$ 之间, $\Delta a = 0.127$; $w(^{207}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 在 $15.522 \sim 15.638$ 之间, $\Delta b = 0.116$; $w(^{208}\text{Pb})/w(^{204}\text{Pb})$ 为 $38.030 \sim 38.511$, $\Delta c =$

0.481 . 同位素比值变化范围很窄,表明铅同位素均一化作用强. 计算的 μ 值在 $8.417 \sim 8.541$ 之间,而且计算的单阶段模式年龄均为负值,显示出 J 型异常铅的特点. 这与现代大洋火山岩和长江中下游地区中生代同熔型岩浆岩的铅同位素组成相似^[9].

岫岩金矿与其东侧的丹东五龙金矿、四道沟金矿和南侧的庄河新房金矿有相似的铅同位素组成特点(图 3). 五龙和岫岩两矿区燕山期岩浆岩的钾长石和全岩的铅同位素组成分别与两矿床矿石铅同位素组成相对应,特别是 φ 值模式年龄,五龙矿区岩浆岩和矿石均为正值,岫岩金矿区矿石和岩浆岩均为负值,这说明两金矿床岩浆和矿石成矿金属可能具有同源性. 而位于岫岩金矿西北方向的猫岭金矿中,毒砂、磁黄铁矿和黄铁矿的铅同位素组成与其他矿床有着明显的差别,前者 φ 值模式年龄除一个黄铁矿的值较小(610.5 Ma)以外,其余都在 $1\ 200 \sim 1\ 700 \text{ Ma}$ 之间,这个年龄区间与本区辽河群发生区域变质的年龄比较接近,预示猫岭矿床成矿金属可能以辽河群为主要来源,而岫岩、五龙、四道沟、新房等矿床则属于燕山期岩浆来源.

3.1.3 硫同位素 岫岩金矿矿石^[5] 13 个黄铁矿 $\delta(^{34}\text{S}) = 6.12 \times 10^{-3} \sim 10.80 \times 10^{-3}$, 平均 9.58×10^{-3} , 4 个闪锌矿 $\delta(^{34}\text{S}) = 9.10 \times 10^{-3} \sim 10.04 \times 10^{-3}$, 平均 9.50×10^{-3} , 3 个方铅矿 $\delta(^{34}\text{S}) = 7.50 \times 10^{-3} \sim 8.72 \times 10^{-3}$, 平均 8.07×10^{-3} . 样品呈塔式分布,而且黄铁矿中硫同位素 $>$ 闪锌矿 $>$ 方铅矿,说明硫同位素均一化程度高,可能与本矿成矿温度偏高和变质岩围岩经历了角闪岩相变质作用有关. 本矿床硫同位素分布范围和特点显示它们与花岗岩有关.

综合金的分布和铅、硫同位素特点,我们认为岫岩金矿金的主要来源应与燕山期的花岗岩同源,因此燕山期花岗岩浆的演化是成矿的主导控制因素.

3.2 成矿流体

3.2.1 流体包裹体特征 岫岩金矿区各含金地质体的石英中均含有较为丰富的包裹体,而且类型多,含无机气液两相包裹体、有机气液两相包裹体、气相单相有机包裹体、液相单相无机包裹体、含 CO_2 三相包裹体和含盐类子矿物包裹体等. 据有色辽宁矿产地质研究所等^①资料,还有熔融包裹体. 总体上看,流体包裹体有以下特征: (1) 包裹体含量丰富,个体较大; (2) 气液比值变化范围大, $5\% \sim 90\%$ 均有出现,多以 $35\% \sim 50\%$ 为主; (3) 包裹体中有机质和 CO_2 较为常见; (4) 有少量液体包裹体在加热均一

① 有色辽宁矿产地质研究所,有色北京矿产地质研究所. 辽宁岫岩限一寇半沟金矿成矿规律,成矿预测研究报告. 1992.

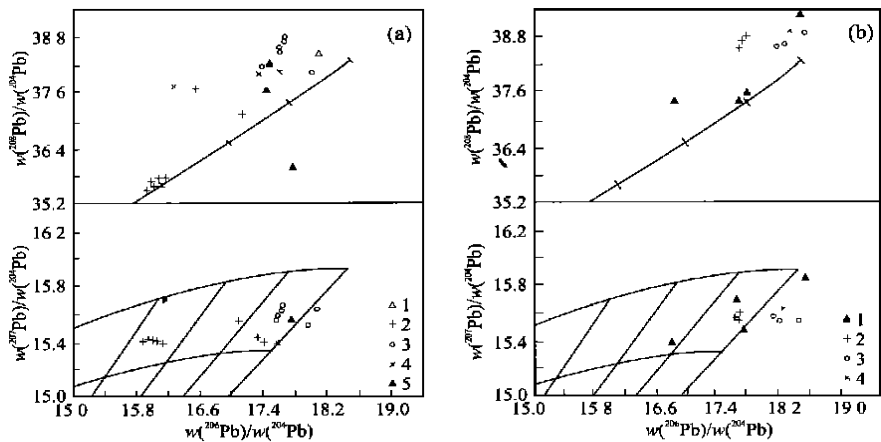


图 3 辽东南部分金矿及有关岩浆岩 Pb—Pb 图

Fig. 3 Pb-Pb diagram of the ores and relative intrusives in southeastern Liaoning Province

a. 矿石: 1. 五龙; 2. 猫岭; 3. 岫岩; 4. 四道沟; 5. 新房; b. 岩浆岩: 1. 塔岭; 2. 五龙; 3. 岫岩; 4. 猫岭

过程中,其相边界突然消失,均一温度较高(400℃以上).这种包裹体可能是在成矿流体处于临界状态形成的,其均一温度代表了成矿流体沸腾时的温度和捕获温度.

3.2.2 流体物理化学参数 石英中包裹体的均一温度呈多峰分布,明显的均一温度区间是 130~160℃,200~260℃,270~360℃和 380~450℃.以 270~360℃区间为主.利用流体包裹体中所含 CO₂ 的摩尔分数估算的成矿压力为 360×10⁵~420×10⁵ Pa,大致相当于 1.3 km 厚的静岩压力.利用流体包裹体成分计算的流体盐度为 5.451%~9.430%,属于中低盐度的流体.流体的 pH 值为 5.75~6.67, Eh 值为-0.346~-0.321,属于中性和弱氧化性的流体.

3.3 成矿能量场

流体包裹体均一温度在空间上显示由浅到深递减的趋势.一中段主体温度集中在 300~440℃;八中段明显呈两个峰值,即 180~260℃和 280~460℃,以高峰温度为主;十中段亦明显有两个峰值,即 120~200℃,220~360℃,同样以中高温为主.有色辽宁矿产地质研究所等^①对 1 号含金石英脉所做的温度分布研究显示,矿化集中地段从上到下温度变化不明显,>450℃的高温带为一个向南东凸出的弧带,向两侧温度降低.流体均一温度的这种分布型式指示成矿流体是从深部向上运移的.

3.4 成矿空间

本区存在多组压性或压扭性断裂,有北西、北北西、北东、北北东、北东东和东西向.这些断裂显然不

是同一个应力场的产物,但是它们均被含金石英脉充填,或控制着含金蚀变岩带的展布.从断裂系统的演化、结构面特征和控矿特点分析,我们认为本区成矿期的应力场与区域新华夏系应力场一致.在北北东向构造体系中,38 号硅化蚀变带断裂近似地代表了成矿应力场的压性结构面,其余的既存断裂系统在北北东体系应力场中被改造利用,成为具有不同性质的配套构造(图 4).在区域南北左行直扭应力作用下,北北东向、北东向、北东东向断裂处于不同程度的挤压状态,北西向、北东东向、东西向和南北向则处于不同程度的引张状态,从而导致了不同方向的断裂矿化类型不同.北北东向、北东向断裂发育蚀变岩型矿化,或矿化体有较强的围岩蚀变,而其他方向的断裂则以充填型矿化为特征.

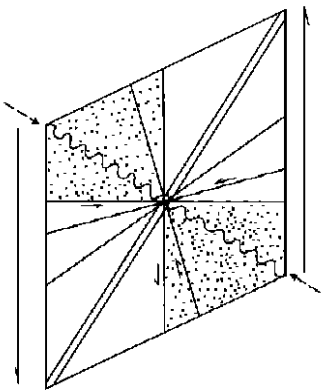


图 4 成矿期构造应力场

Fig. 5 Stress field of mineralization period

空白区为压扭—扭压区,带点区为张扭—扭张区

4 成矿系统模型

我们综合区域地质背景及其演化、矿化特征和各成矿要素特点,对岫岩金矿提出了如下的“深源—岩浆富集—构造控位控型—围岩影响”的成矿系统模型(图 5)。

太古宙—古元古代早期本区火山活动强烈,地层以火山物质为主,古元古代后期以正常的碎屑岩—泥质岩—碳酸盐岩沉积为主。早期火山岩建造中金 的丰度比较高,根据王孔海等^[3]资料,辽南地区太古宙变质岩平均含金 8.1×10^{-9} ,古元古代变质岩金为 5.69×10^{-9} 。如果考虑金在区域变质作用过程中一定程度的活化迁移,下部层位原岩建造的金丰度可能更高。

古元古代末辽河群遭受区域变质作用,变质程度随深度增大而增强,地层中的部分金被活化,并向上部及热点侧部的相对弱变质带转移。一般情况下,这部分活化的金仍然分散于浅变质带岩石中,使浅变质带金丰度提高。只有当浅变质带中存在大的压力梯度和化学障才有可能形成变质热液型金矿床,所以真正的变质热液金矿床应发育在绿片岩相甚至更低级的变质带中。

印支期下地壳岩石在造山运动之后发生重熔,生成的岩浆以酸度较低的花岗质岩浆为主,后期有中酸性岩浆的生成。由于:(1)源岩熔融程度高,使岩

浆生成阶段金的再分配富集作用削弱;(2)源岩熔融以前已经历了变质热液的萃取和贫化,使得印支期巨大规模的岩浆岩的金丰度很低。在以后的岩浆演化过程中也因金的丰度低,不易成矿,但是当印支期岩浆侵入于辽河群上部转生矿源层时,可能形成层控型金矿床。

燕山期地幔出现强烈的热—质异常,在地幔较深处 CO_2 、 CH_4 和碱质富集。上地幔上层也因深部的热—质异常发生岩石的部分熔融,产生的是基性—中基性岩浆(下层岩浆库)。基性岩浆向上运移时向顶部岩石放热,并在透岩浆流体的参与下诱发了下地壳岩石的较低程度的部分熔融,形成上层酸性岩浆库。下地壳岩石低程度的部分熔融对金向岩浆中富集有利,同时地幔源的流体可能注入了部分幔源金,使燕山期岩浆比印支期花岗质岩浆金含量明显偏高。以此作为物质基础,岩浆房中岩浆的结晶分异又一次提供了金向残余岩浆和气液中富集的机会,金矿化伴随酸性岩浆末期的花岗斑岩就位而发生。

下层岩浆库中的基性岩浆向上侵入,分异演化成中性岩浆,并注入到尚未固化的酸性岩浆房中,与残余花岗质晶粥掺合。这一过程可能削弱了酸性岩浆的成矿潜力。

以岩浆热液为主的深源成矿流体注入北西向断裂为代表的开放性容矿构造,由于减压、流体沸腾以及两种不同来源和性质(如岩浆热液与地下水)的流体混合等,引起热液系统的成矿反应,形成以充填为

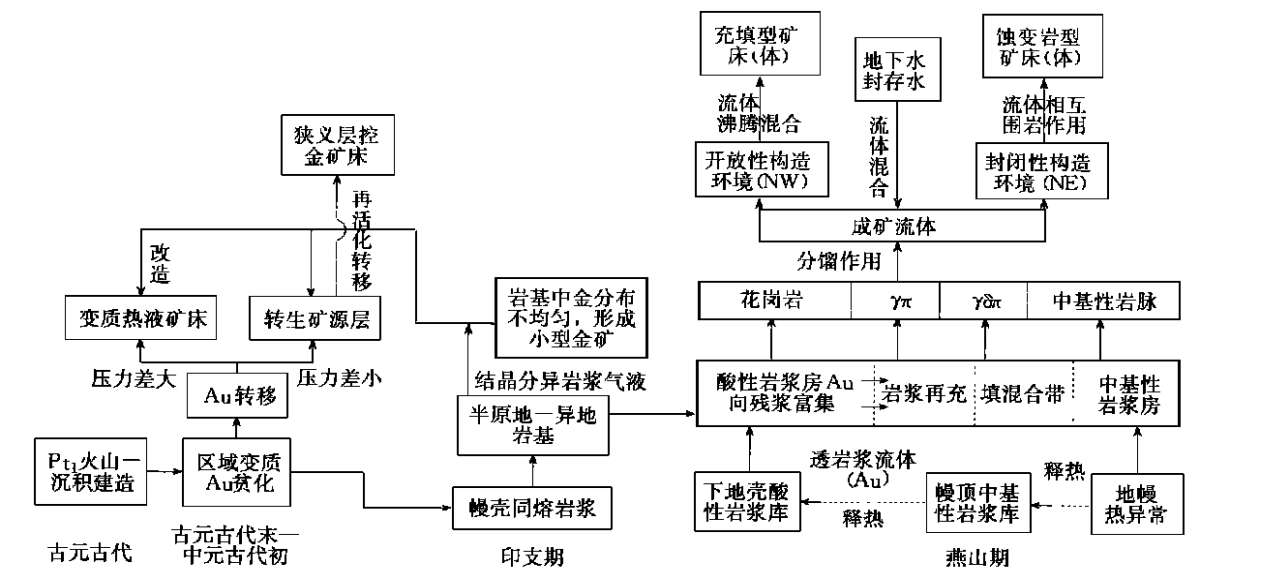


Fig.5 Model of metallogenic system for Xiuyan gold deposit
(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

主的石英脉型金矿化;含矿流体进入以 38 号脉断裂为代表的封闭性构造环境,由于微破裂构造的弥散性,成矿场的压力梯度小,成矿流体与岩石长时间的广泛接触,通过交代作用形成蚀变岩型金矿化.

根据本成矿系统模型,该区域的金矿找矿方向是:在区域变质热点(热带)外围的绿片岩相或更低级的岩相带中明显的减压构造带,寻找典型的变质热液金矿床;在燕山期中小型花岗岩类侵入体附近,寻找岩浆热液金矿床.找矿方向不应局限于辽河群变质岩,而应以构造—岩浆带为主要找矿前提.

参考文献:

[1] 翟裕生,邓军,李晓波.区域成矿学[M].北京:地质出版社,1999.

[2] 倪培,徐克勤.辽东—吉南地区地体构造及金的区域成矿作用特征[J].有色金属矿产地质与勘查,1993,(2): 65~71.

[3] 王孔海,李才春,庞庆邦,等.辽南地区变质岩和花岗岩含金性及其与金矿成矿关系[A].见:沈阳地质矿产研究所编.中国金矿主要类型区域地质条件文集(4)——辽南地区[C].北京:地质出版社,1988. 1~44.

[4] 姚凤良,邹祖荣,刘允良,等.辽南中生代花岗岩演化及其与金矿成因关系[A].见:沈阳地质矿产研究所编.中国金矿主要类型区域地质条件文集(4)——辽南地区[C].北京:地质出版社,1988. 45~90.

[5] 余昌涛,贾斌,刘斌.辽宁省盖县猫岭金矿床地质特征及成因探讨[J].贵金属地质,1992,(1): 38~47.

[6] 王义文.辽宁省金矿床铅同位素组成特征及其地质意义[J].辽宁地质,1992,(3): 241~253.

[7] 刘斌,余昌涛.辽宁营口地区中生代花岗岩类的成因及含矿性[J].贵金属地质,1993,(2): 118~126.

[8] Fure G. 同位素地质学原理[M].潘曙兰,乔广生,译.北京:科学出版社,1983.

[9] 赵永鑫.长江中下游地区接触带铁矿形成机理[M].武汉:中国地质大学出版社,1993.

ANALYSIS OF METALLOGENIC SYSTEM IN
XIUYAN GOLD DEPOSIT, LIAONING PROVINCE

Zhao Yongxin Qin Songxian Ming Houli Liu Yongsheng

(Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: In the Xiuyan gold deposit located at the contact zone between the Indo-Chinese granitic batholith and the Lower Proterozoic metamorphic xenolith in Liaohe Group, the mineralization types are composed mainly of the quartz-vein type and minorly of the altered-rock type. This study reveals that a granitic magma system closely associated with the mineralization in terms of space, time and materials, accounts for the gold mineralization. The analysis of the fluid inclusion indicates that there are several sorts of inclusions in vein quartz, that the ratios of gas to (liquid + gas) ranges very widely, that the homogenization temperature (t_h) is high with the highest temperature rising to 500 °C, that the t_h distribution reflects the multi-peak model, and that the inclusions rich in CO₂ and organism are easily discovered, typical magma source and mantle source. The mineralization types are controlled both by the tectonic stress field and by the fracture mechanic property.

Key words: gold deposit; metallogenic system; mineralization model; southeastern Liaoning Province.