

辽西青龙沟金矿床成矿特征与成矿模型

王 勇

辽宁省有色地质局 105 队 辽宁 葫芦岛 125000

摘 要 :青龙沟金矿位于华北地台北缘燕辽沉降带山海关隆起与辽西拗陷的过渡带上,赋存于中元古代碳酸盐岩地层中,是辽西地区同类型金矿的代表之一。在野外调查和室内测试分析的基础上,对金矿的矿源层、成矿温度、蚀变特征、赋存条件等进行了深入的研究分析,认为该矿床属中-低温的热液矿床,成矿热液为岩浆水、地下水的混合物,Au 主要来源于雾迷山组的碳酸盐岩。受多期次的构造活动影响,Au 经历了多次萃取、富集,矿体的产状严格受层间角砾岩带和构造破碎带控制,具有地层与构造双重控制的特征。

关键词 :金矿;碳酸盐岩;硅化蚀变带;辽西地区

DOI:10.13686/j.cnki.dzyzy.2016.05.004

METALLOGENIC CHARACTERISTICS AND ORE-FORMING MODEL OF THE QINGLONGGOU GOLD DEPOSIT IN WESTERN LIAONING PROVINCE

WANG Yong

No. 105 Geologic Team, Liaoning Bureau of Nonferrous Geology, Huludao 125000, Liaoning Province, China

Abstract : The Qinglonggou gold deposit, located in the transitional belt between Shanhaiguan uplift and Western Liaoning depression in the Yanliao subsidence zone on the northern margin of North China platform, occurring in Mesoproterozoic carbonate rocks, is a representative of the same type in Western Liaoning Province. On the basis of field investigation and laboratory analysis for the source bed, mineralization temperature, alteration features and storage conditions of gold deposit, it is concluded that the deposit belongs to epi-mesothermal type. The ore-forming fluid is the mixture of magmatic water and groundwater. The gold is derived from mainly the carbonate rock of Wumishan Formation. Affected by multiple stages of tectonic activities, the gold experienced a number of extraction and enrichment. The occurrences of orebodies are strictly controlled by the interlayer breccia zones and tectonic fracture zones, showing the characteristics of dual controls by stratigraphy and structure.

Key words : gold deposit; carbonate rock; silicification alteration belt; Western Liaoning Province

0 引言

自上世纪 90 年代以来,在辽西-冀北地区陆续发现了赋存于中元古代碳酸盐岩地层(长城系上部、蓟县系下部)中的金矿床。虽然规模不大,但具有独特的地质特征。前人对青龙沟金矿、冷口金矿、万庄金矿的赋矿地层、控矿条件、矿床地质、地球化学特征、矿床成因等方面进行了不同程度的研究,并将该类矿床称为长城式金矿床^[1-2]、元古宇沉积岩型金矿床^[3]等。青龙

沟金矿于 20 世纪 90 年代初发现,矿体赋存于中元古代碳酸盐岩地层中,受层间断裂控制,是辽西地区同类型金矿的典型矿床之一。以往地质工作者对青龙沟金矿进行了矿床地质、矿化特征、围岩蚀变、岩浆活动等多方面的研究工作^[3-5],但总体研究程度不高,基本上还是停留在初期阶段。本文通过系统分析矿床地质、构造控矿、矿石特征、物质来源等控矿因素,对矿源层、矿床成因、矿床模型、找矿特征等方面进行分析讨论,总

收稿日期:2015-08-03 修回日期:2015-10-31 编辑:张哲

作者简介:王勇(1978—),男,工程硕士,高级工程师,从事矿产勘查工作,通信地址:辽宁省葫芦岛市龙港区海飞路 6-1 号,E-mail://wygyf@163.com

结该矿床的成矿特征,希望对辽西-冀北地区同类型矿床的研究和找矿工作提供有益的参考。

1 区域地质特征

青龙沟金矿位于辽宁省西南地区,大地构造位置处于华北地台北缘燕辽沉降带山海关隆起与辽西拗陷的过渡带上(图1)。该过渡带西南起于五指山,东北止于红螺山,长约100 km,宽约20 km,表现出强烈的燕山期构造岩浆活动。出露的地层主要有太古宇变质岩、元古宇—古生界沉积岩系、中生界陆相碎屑岩以及火山岩等。构造线总体呈现北东向,在女儿河深断裂附近伴有印支—燕山期花岗岩类侵入的杂岩体,岩体总体呈北东向展布,与构造线分布一致。沿过渡带分布着Au、Ag、Mo、Mn、Pb、Zn、Cu等数十个矿床(点),如杨家杖子钼矿、兰家沟钼矿、八家子铅锌矿、水泉金矿,形成了东北地区重要的八家子—钢屯多金属成矿带。

2 矿床地质特征

青龙沟金矿地质条件较为简单。地层出露以中元古界蓟县系雾迷山组碳酸盐岩为主,景儿峪组地层在区内零散出露。地层发育不全。中生界早白垩系义县组安山岩及安山质角砾岩在矿区的南部出露。岩浆岩主要为燕山期花岗岩,分布在矿区东南部边缘。脉岩种类较为简单,以中酸性脉岩为主。构造活动以断裂为主,褶皱次之(图2)。

2.1 地层

蓟县系雾迷山组(J_{xw}):分布在山神庙—青龙沟—下塔沟以北,倾向北西,倾角25°~40°,南部与早白垩系义县组安山质角砾岩呈断裂接触。岩性由老至新为,下部浅灰色—灰白色厚层白云质大理岩夹燧石条带白云岩,中部浅灰色—灰色厚层晶质白云岩、燧石条带白云岩,上部浅灰色—白色含燧石厚层白云岩。

青白口系景儿峪组(Q_{nj}):区内零星出露,地层发育不完整,与雾迷山组地层呈不整合接触,倾向北西,倾角25°~40°。岩性由老至新为,下部含砾石英砂岩夹泥灰岩透镜体,上部燧石角砾岩。

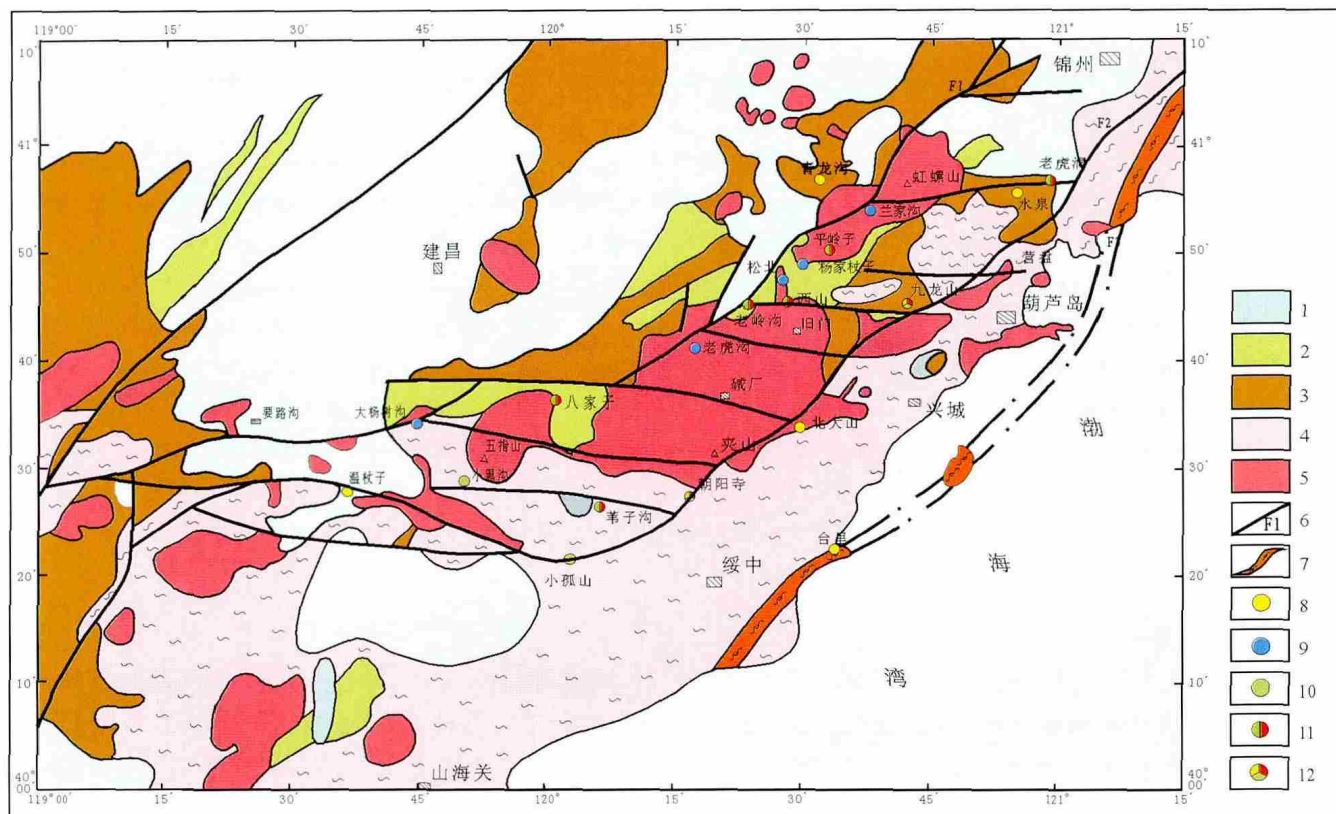


图1 辽西西南部地质简图和主要矿床分布

Fig. 1 Geological sketch map of Southwestern Liaoning with distribution of significant deposits

1—中生界陆相火山岩和碎屑岩(Mesozoic continental volcanic rock and clastic rock); 2—古生界海相碳酸盐岩和黏土岩(Paleozoic marine carbonate rock and clayrock); 3—中新元古界碎屑岩和碳酸盐岩(Meso-Neoproterozoic clastic rock and carbonate rock); 4—太古宙混合花岗岩(Archean migmatitic granite); 5—燕山期火成岩(Yanshanian igneous rocks); 6—断层及编号(fault and code); 7—韧性剪切带(ductile shear zone); 8—金矿床(Au deposit); 9—钼矿床(Mo deposit); 10—铜矿床(Cu deposit); 11—铅锌矿床(Pb-Zn deposit); 12—铜铅锌多金属矿床(Cu-Pb-Zn-polymetallic deposit)

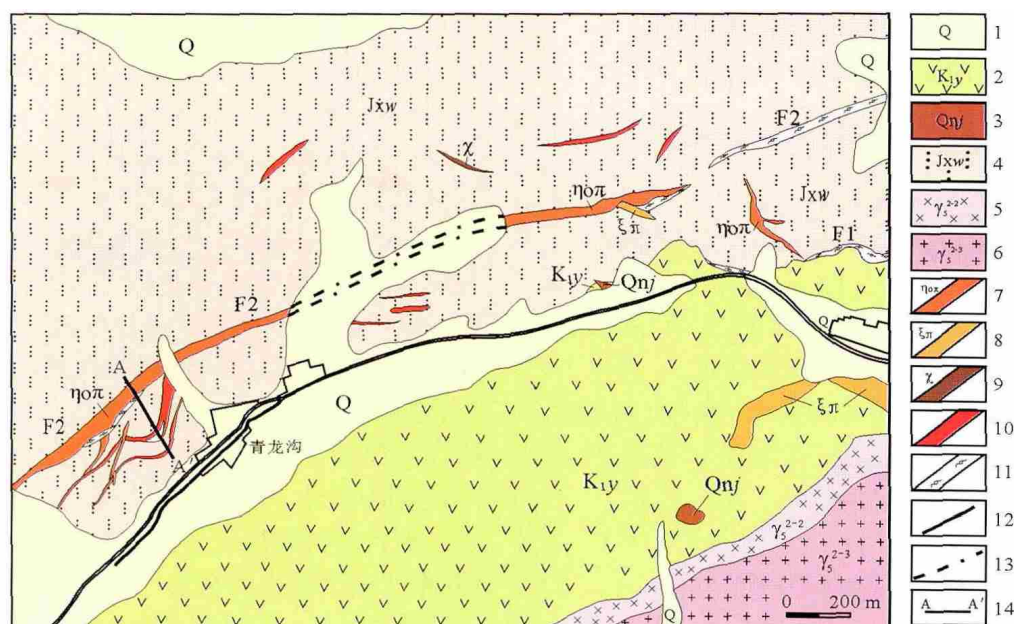


图2 青龙沟金矿地质简图

Fig. 2 Simplified geologic map of Qinglonggou gold deposit

1—第四系(Quaternary) ;2—白垩系义县组(Cretaceous Yixian fm.) ;3—青白口系景儿峪组(Qingbaikouan Jingeryu fm.) ;4—蓟县系雾迷山组(Jixianian Wumishan fm.) ;5—似斑状花岗岩(porphyraceous granite) ;6—细粒花岗岩(fine grained granite) ;7—石英二长斑岩(quartz monzonite porphyry) ;8—正长斑岩(syenite porphyry) ;9—煌斑岩(lamprophyre) ;10—硅化带(silicified belt) ;11—破碎带(fracture zone) ;12—实测断层(surveyed fault) ;13—推断断层(inferred fault) ;14—勘探线(exploration line)

白垩系义县组(K_{1y}):出露在山神庙—青龙沟—下塔子沟以南,北部与雾迷山组呈断裂接触,南部与燕山期细粒花岗岩呈侵入接触。组内安山岩、安山质砾岩接触界线不明显,两者呈渐变接触。

2.2 岩浆岩

区内岩浆岩主要为燕山期细粒—粗粒花岗岩,分布在南部边沿子—下塔沟一带,与义县组安山岩、雾迷山组燧石条带状白云岩、景儿峪组燧石角砾岩呈侵入接触。脉岩在区内不发育,岩性较为简单,主要为石英二长斑岩、正长斑岩、煌斑岩,并严格受构造控制。

2.3 构造

区内地质构造活动较为频繁,不同构造行迹、不同期次的构造运动相互交织在一起。构造形式以断裂为主,主要为东西向 F_1 、 F_3 断裂,北东向 F_2 断裂及北西向 F_4 断裂。

哑巴沟—水泉沟断裂(F_1):分布于矿区东侧,产于雾迷山组与义县组的接触带内,属于压扭性断裂。地表出露1.0 km,北倾,呈舒缓波状,断层内岩石破碎,角砾发育,呈明显的定向排列。

山神庙—下塔沟断裂(F_2):分布于矿区中部,发育于雾迷山组地层中,属于压扭性断裂。控制长度3.5 km,破碎带宽20~40 m,走向60~75°,倾向北西,倾角40~

55°。断层内蚀变破碎较强烈,以强硅化蚀变和白云质大理岩化蚀变为主,并为后期的石英二长斑岩充填。在石英二长斑岩岩脉中可见破碎现象及自身断层泥产出,显示该断裂具有多期活动性。

矿区北部的 F_3 、 F_4 断裂规模较小,控制长度均小于0.5 km,岩体破碎,局部为花岗斑岩所填充。

2.4 矿石结构、构造及围岩蚀变

矿石构造以破碎角砾状构造最为常见,其次为蜂窝状构造。矿石结构为半自形—他形结构、乳浊状结构、叶片状结构。容矿围岩为富含燧石条带的白云质灰岩。蚀变以硅化、碳酸盐化主,高岭土化、绢云母化、绿泥石化、褐铁矿化次之。

金矿的矿石类型主要为:1)赤铁矿化燧石角砾型(似碧玉岩角砾型)金矿石,为最主要的矿石类型,品位高,角砾状构造,自然金沿角砾间隙产出,常伴随有磁铁矿、赤铁矿、黄铁矿、辉钼矿及微量闪锌矿;2)灰白色燧石蜂窝状金矿石,品位低,微石英晶簇在燧石蜂窝状中生长,局部可见黑灰色条带,条带中自然金与碳质成分共生;3)灰黑色含燧石团块状金矿石,品位不稳定,主要分布在矿体上盘,脉石矿物为白云石、燧石(玉髓),矿石的碳质总量为9.92%,而不含矿燧石条带白云岩的碳质总量为0.69%,含矿层碳质明显高于不含

矿层碳质;4)蚀变破碎带型金矿石,发育在断裂带上,呈土褐色,其中常见蚀变矿物石英、绢云母、方解石、绿泥石等,品位低。

2.5 矿体的分布特征

号矿体为矿区的主要矿体,赋存于 F_2 断裂下盘的硅化角砾岩中(图3),矿体长约140 m,延深约300 m。矿体平均厚1.83 m,最厚可达4.5 m,总体走向北东,倾向北西,倾角 30° 。矿体平均 Au 品位 2.35×10^{-6} ,最高达 23×10^{-6} 。蚀变主要为强硅化、铁锰碳酸盐化。

号、号矿体为矿区的次要矿体,赋存于蓟县系雾迷山组燧石条带白云岩中,受层间断裂的控制,规模较小,矿体平均品位较低。

3 矿床成因

3.1 成矿地质背景

华北板块(又称华北克拉通)是中国古大陆地壳演化历史的窗口,经历了太古宙时期陆块结晶基底(陆核)的发育生长,古元古代时期地块的汇聚、拉伸,在中元古代时期沿冀东辽西地区形成了长数百千米、宽几十千米的断裂盆地,沉积了巨厚的长城系海陆相碎屑岩和浅海相碳酸盐岩^[6-7];中—新生代时期陆块大部分处于活动大陆边缘环境,尤其在中生代燕山期,太平洋板块向亚欧板块的俯冲使华北板块的东部主要受到

北东方向的压扭性剪切分力,形成了隆起带和拗陷盆地相间的构造格局,随着构造体制的转变,该时期爆发了大规模的岩浆活动,也成为金属矿床的大爆发期^[8-9]。华北板块北缘分布着大小数百个金矿床,是我国黄金的重要生产基地,前人对此已进行了大量的研究,积累了丰富的科研资料^[10-12]。青龙沟金矿位于华北地台北缘燕辽沉降带山海关隆起与辽西拗陷的过渡带上的辽西拗陷一侧,区内断裂构造具有多期性,受南北向应力作用形成的东西向 F_1 、北东向 F_2 断裂和近南北向的众多小型断裂相互交错,构成棋盘式的断裂格局,为岩浆、矿液的运移与存储提供了良好的空间环境。

3.2 围岩条件

围岩以碳酸盐岩为主。碳酸盐具有活泼的化学性质,易于使地层中的金活化出来,利于金的富集;其次碳酸盐岩性脆,沿断裂带形成具有一定规模的破碎带并伴随大理岩化,断裂构造不断产生的热量使局部碳酸盐岩地层出现强烈的褪色现象。同时,在地表水的长期作用下,破碎带中的碳酸盐遭受淋滤作用形成大小不等的空穴,为金矿的富集提供了充裕的空间条件。

3.3 岩浆条件

区内与矿化有密切关系的岩浆活动是石英二长斑岩沿 F_2 断裂的侵入。岩浆在上升至近地表的过程中,由于温度、压力迅速下降,岩浆中的汽水溶液大量释放并向低压力区——破碎带扩散,为金矿的富集提供了热源。同时,石英二长斑岩岩脉在后期金的富集过程中具有隔挡作用,使含金溶液沿其下盘的破碎带沉淀富集,形成不规则的透镜状金矿体。

3.4 成矿物质来源

3.4.1 赋矿地层的化学元素特征

辽西地区蓟县系地层主要成矿微量元素在各地层中的平均含量如表1所示^[13]。从中可以看出,蓟县系地层中雾迷山组和洪水组 Au 的含量相对较高,特别是雾迷山组的中上部至洪水组 Au 含量逐步升高。

杨家杖子—老官堡 1/5 万区域化探扫面成果显示,前寒武纪地层多分布以 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Mo 为主的地球化学异常区。其中青龙沟地区以 Pb、Au 组合异常为主,Pb 异常大部分在 $100 \times 10^{-6} \sim 500 \times 10^{-6}$ 之间,最高值为可达 3868×10^{-6} ,异常连续性好,有明显的浓集中心;Au 异常以点异常的形式出现,其中雾迷山组燧石条带白云岩中 Au 金的平均含量为 40×10^{-9} ,最高可达 170×10^{-9} ,而该层恰是金矿的赋矿层位。

3.4.2 金属硫化物

金属硫化物以黄铁矿为主,星散状分布,立方体结

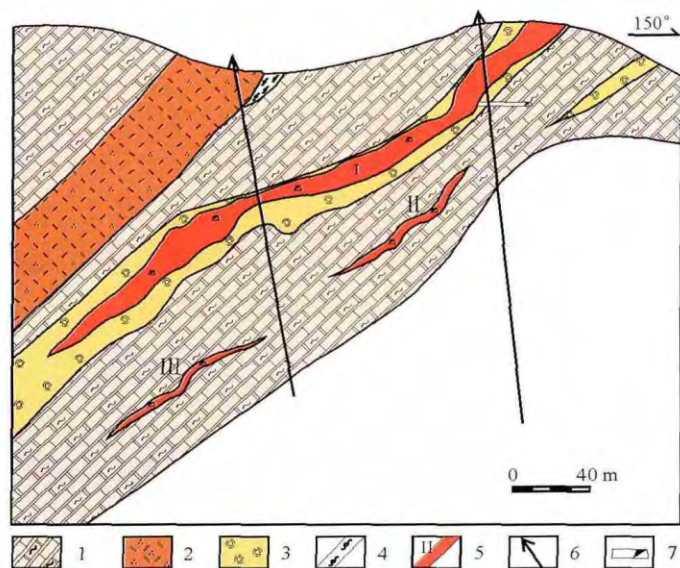


图3 青龙沟金矿 0 线剖面图

Fig. 3 Cross section along Exploration Line 0 in the Qinglonggou gold deposit

1—蓟县系雾迷山组燧石条带白云岩(chert banded dolostone of Wumishan fm.) 2—石英二长斑岩(quartz monzonite porphyry) 3—硅化蚀变带(silicification alteration belt) 4—破碎带(fracture zone) 5—矿体及编号(orebody and number) 6—钻孔(drill hole) 7—巷道(tunnel)

表 1 辽西地区蓟县系地层微量元素分析结果表
Table 1 Trace element contents in Jixian System in Western Liaoning

地层	样品号	Ag	As	Sb	Bi	Hg	Au	Sn	Pb	Zn	Cu
铁岭组	807-882	0.007	3.32	0.73	0.50	0.06	0.65	2.52	35.66	71.12	16.29
洪水庄组	783-806	0.12	16.94	2.49	0.50	0.42	0.90	2.26	33.08	46.19	81.96
雾迷山组	550-782	0.035	1.72	0.73	0.51	0.07	0.75	2.00	29.47	12.92	10.02
杨庄组	524-549	0.04	2.00	1.95	0.53	0.07	0.60	2.00	33.06	19.21	8.75

分析单位: 辽宁地质矿产研究院. 含量单位: Au 为 10^{-9} , 其余元素为 10^{-6} .

构. 含微量辉钼矿、闪锌矿. 黄铁矿中 S/Fe(原子数)的比值与理论值接近或略高于 2.00, 平均为 2.011. 根据前人的研究, 沉积成因的黄铁矿主要化学组分 Fe 和 S 的含量与理论标准值相近或 S 略多, 反映出黄铁矿来源于沉积地层中.

3.4.3 同位素分析

前期勘查中采取两个硅质岩(燧石岩)原矿石, 进行了硅、氧同位素组成测定, 分析结果见表 2^①.

表 2 青龙沟金矿矿石同位素分析结果
Table 2 Isotope analysis result of the ore in the Qinglonggou gold deposit

序号	矿石特征	$\delta^{30}\text{Si}(\text{NBS}-28)/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}(\text{SMOW})/\text{‰}$
1	灰白色蜂窝状硅质岩	2.5	18.1
2	富矿硅质岩	0.5	14.3

由硅、氧同位素的分析结果可以判断, 赋矿岩系为浅海相化学沉积岩. 其 $\delta^{18}\text{O}$ 值较一般海相沉积蛋白石、燧石 $\delta^{18}\text{O}$ 略低, 说明沉积成岩同时有火山物质加入, 而不是纯火山成分. 不含矿-含矿硅质岩 $\delta^{18}\text{O}$ 及 $\delta^{30}\text{Si}$ 值均有规律地降低, 说明是期后蚀变作用造成. $\delta^{30}\text{Si}$ 的明显降低是因为岩浆热液叠加, 岩浆成岩的硅与地层中硅质岩的硅交换所致, 热液蚀变过程中形成新的硅质沉积.

对矿石中硫同位素进行测定, 分析结果见表 3^①. 矿石中硫 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 7.7‰, 与地层中硫 $\delta^{34}\text{S}$ 值(5.6‰)具有相似的同位素组成, 显示出同源的特征. 表明硫并非来源于地幔, 而是来源于地壳.

3.4.4 成矿温度

对成矿温度进行了研究测定, 矿体中玉髓均一温

表 3 青龙沟金矿硫同位素分析结果
Table 3 Sulfur isotope analysis result of the Qinglonggou gold deposit

序号	矿石特征	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$
1	含矿硅质岩	7.7
2	燧石条带白云岩	5.6

分析单位: 有色金属桂林矿产地质测试中心(1992).

① 辽宁省有色地质局 105 队. 青龙沟金矿详查报告. 1992.

度 170° , 液体包裹体为主. 低品位蜂窝状硅质岩中玉髓均一温度在 $311\sim 395^{\circ}$ 之间, 含有机质包裹体, 并明显可见受后期热液影响的气液两相包裹体, 气液比 25%~30%. 从上述数据分析, 成矿总体上属中-低温成矿条件, 且经历了一个温度相当低的沉积阶段^[5].

3.4.5 讨论

前人对冀北-辽西地区产于元古宇碳酸盐岩中的金矿床进行了不同程度的研究, 对此类矿床的成因提出了不同看法. 最早宁烈认为属于中-低温热液矿床; 李祥才、姚富强等认为此类矿床类似于卡林型(细微浸染型)金矿; 王义文认为其成因不同于卡林型金矿, 将其归类为新型的长城式金矿. 虽然前人对青龙沟矿床进行了不同程度的研究, 但基本上还是停留在初期阶段. 鉴于目前该矿床研究程度低, 基础资料相对缺乏, 本文从矿区的地质特征、化学元素、同位素分析结果、矿物的成因矿物学研究的角度, 提出以下看法.

1) 青龙沟金矿的矿床特征与冀北地区的长城式金矿、卡林型金矿有相似之处, 但又有别于二者. 与美国卡林型金矿在地质背景、成矿时代、矿物组合、矿石类型、元素化学特征均存在明显差距, 划为卡林型金矿是不合适的. 长城式金矿所属区的元古宇地层(长城系、蓟县系)岩石 Au 的平均含量为 $1.4\times 10^{-9}\sim 3.0\times 10^{-9}$, 与地壳 Au 的克拉克值的比值为 0.4~1.06, 成为金的矿源层的可能性小^[14-15]. 而青龙沟地区蓟县系雾迷山组岩层 Au 的平均含量为 40×10^{-9} , 最高可达 170×10^{-9} , 且该层为赋矿层, 可视为金的矿源层.

2) 金矿石中黄铁矿的 S/Fe 比值、 $\delta^{34}\text{S}$ 值特点均显示其来源于沉积地层. 硅、氧同位素的测试结果反映出赋矿硅质体具有被期后岩浆热液叠加的特征, 包裹体测试表明成矿总体上属中-低温成矿条件, 且经历了一个温度相当低的沉积阶段. 故此, 认为青龙金矿属于中-低温的热液矿床, 成矿热液属于岩浆水、地下水的混合物, Au 主要来源于雾迷山组的碳酸盐岩中.

3) 青龙沟金矿主要沿 F_2 断裂分布, 赋存于雾迷山

组碳酸盐岩地层中,矿体的产状受层间角砾岩带和构造破碎带控制,具有地层与构造双重控矿的特点。

4)成矿成因模型:区内断裂活动具有多期性,在南北向应力作用下形成近东西向 F_1 、北东向 F_2 断裂和近南北向的众多小型断裂,构成棋盘式的断裂格局。断裂构造不断产生的热量使得地层中的 Au 在热卤水的作用下得到了有效的萃取。后期岩浆沿 F_2 断裂的入侵使得前期断裂构造复活的同时产生了平行的次级断裂或破碎带。岩浆在上升至近地表时温度、压力迅速降低,岩浆中的气水溶液大量释放并向低压力区——破碎带扩散,溶解了前期萃取但仍分散的岩层裂隙中的 Au。随着温度的下降,含矿气水溶液沉淀并胶结原有的带气孔的破碎带岩石,形成薄膜状的硅化角砾岩,使得 Au 元素再次富集。尔后随着这些断裂的再次复活(从石英二长斑岩的破碎可知),含矿的硅质溶液再次在破碎带中沉淀富集,使得局部地段 Au 的品位增高而达到工业要求。

4 结论

1)青龙沟金矿属于中-低温热液矿床,具有地层与构造双重控制的特点,Au 主要来源于赋矿的雾迷山组的碳酸盐岩中。

2)青龙沟金矿不具有明显的热液蚀变分带现象,但硅化、碳酸盐化蚀变比较发育且与金的矿化具有密切的空间分布关系。硅化角砾状碳酸盐岩为主要的矿石类型,可作为该地区寻找同类型矿床的标志。

3)青龙沟金矿的野外地质工作程度比较简单,研究分析认为矿体沿 F_2 断裂有向两侧及深部延伸的空

间。建议加强外围找矿工作,进一步扩大青龙沟金矿的找矿成果。

参考文献:

- [1]杨文思,裘有守. 中国冀东地区新类型金矿特征及找矿前景[J]. 钢铁, 1997, 32(增刊): 152-154.
- [2]王郁,杨文思,樊秉鸿. 冀东长城式金矿床地质地球化学特征[J]. 地质找矿论丛, 1997, 12(3): 24-32.
- [3]王义文,王立安,张力. 辽西地区金矿成矿地质条件、矿床类型及找矿方向[J]. 贵金属地质, 1995, 4(2): 97-108.
- [4]宁烈. 产于碳酸盐岩中的青龙沟金矿床[J]. 地质与勘探, 1992, 28(4): 18-20.
- [5]姚富强,宋雨春,春乃芽,等. 辽宁省葫芦岛市青龙沟金矿床成因探讨[J]. 有色矿冶, 2004, 20(5): 1-3.
- [6]聂风军,江思宏,张建华. 华北地台沉积岩型金矿床的找矿勘查意义[J]. 黄金地质, 2000, 6(1): 15-21.
- [7]马寅生,崔盛芹,赵越,等. 华北北部中生代构造体制的转换过程[J]. 地质力学学报, 2002, 8(1): 15-25.
- [8]华仁民,毛景文. 试论中国东部中生代成矿大爆发[J]. 矿床地质, 1999, 18(4): 300-308.
- [9]李俊建,罗镇宽,燕长海,等. 华北陆块的构造格局及其演化[J]. 地质找矿论丛, 2010, 25(2): 89-100.
- [10]陈衍景,郭光军,李欣. 华北克拉通花岗绿岩地体中生代金矿床的成矿地球动力学背景[J]. 中国科学 D 辑, 1998, 28(1): 35-40.
- [11]邓晋福,赵国春,苏尚国,等. 燕山造山带燕山期构造叠加及其大地构造背景[J]. 大地构造与成矿学, 2005, 29(2): 157-165.
- [12]邓晋福,冯艳芳,刘翠,等. 太行-燕辽地区燕山期造山过程、岩浆源区与成矿作用[J]. 中国地质, 2009, 36(3): 623-632.
- [13]李祥才,孙云生,任静兰,等. 辽西地区微细浸染型金矿成矿条件与地质特征[J]. 黄金, 2002, 22(3): 1-4.
- [14]熊裙尧,裴荣富,梅燕熊. 冀东长城式金矿成矿中的一些问题的讨论[J]. 矿床地质, 1999, 18(2): 189-194.
- [15]孙爱群,牛树根,李红阳. 冀东“长城式”金矿的成因讨论[J]. 地球学报, 2002, 23(5): 435-442.