海沟金矿床地质特征及成矿机理研究

冯守忠

(吉林有色矿产地质研究所)

海沟金矿床具有多源、多期、多阶段成矿特点,成矿主要与燕山早期花岗闪长岩及闪长玢岩有关。成矿物质主要来自中元古界色洛河群,也有部分来自岩浆岩。成矿水为岩浆水和大气降水的混合。成矿热源为燕山期花岗闪长岩。成因类型应属混合岩化热液型铀金大型矿床。

关键词 铀金矿床 成矿机理 吉林省

1 成矿地质背景

海沟金矿区位于吉林省安图县南西 90 km, 该区大地构造位置是华北地台与内蒙华力西褶皱带的分界处, 靠近褶皱区一侧。

海沟矿区为一倾伏背斜构造, 背斜轴部为花岗二长岩侵入体, 背斜两翼由中元古界色洛河群变质岩系构成。

岩浆岩为华力西晚期侵入岩, 主要有角闪辉长岩和黑云斜长花岗岩。前者分布受东西向构造控制, 呈岩株状产出; 后者呈岩基状。燕山期花岗闪长岩呈北东向排列的小岩株状产出。区内脉岩主要有闪长玢岩、细粒闪长岩、次安山岩、煌斑岩、正长闪长斑岩等。闪长玢岩为成矿前的脉岩, 在空间上多与含金石英脉紧密伴生, 呈北东向展布, 受后期构造影响, 有的具明显片理化。岩石普遍含金, 平均含金 0.36×10^{-6} 。混合花岗岩是矿区含金脉带的主要围岩, 与花岗闪长岩呈渐变过渡关系。岩石原生晕样品平均含金为 0.45×10^{-6} 。

矿区处于倾伏背斜轴部近倾没端。断裂构造发育, 并具有多期性、继承性活动。主要断裂有北西向挥发河-古洞河深断裂和北东向的两江-砂河掌大断裂。矿区位于这两组大断裂交叉处。矿区断裂分为成矿前及成矿后两类。成矿前断裂为控制矿脉充填的北东向断裂, 走向 40° , 倾向北西, 倾角 $40^\circ \sim 65^\circ$, 为主要容矿构造; 成矿后断裂分为北东向、北西向、近南北向和东西向 4 组, 它们均使矿脉遭受不同程度的破坏。

2 矿床地质特征

2.1 矿体形态、规模及产状

海沟金矿属挥发河-古洞河成矿带。该带长 150 km, 金矿化点多, 有金城洞、海沟、夹皮沟、二道甸子、王家店等金矿床。

矿床包括海沟及大海沟两个矿段, 已发现 28-38-40 号 3 条含金脉带。28 号含金脉带为主体, 产于混合花岗岩中, 受走向北东、倾向北西的压扭性逆断层控制。最大延深 400 m。含金石英脉形态呈不规则单脉状, 总体走向 40° , 倾向北西, 倾角 $40^\circ \sim 75^\circ$, 矿体最大宽度 17.79 m, 金品位最高达 59.8×10^{-6} 。

38 号含金脉带主要围岩为混合花岗岩及其中残留的中元古界色洛河群下段大理岩, 还有斜长角闪岩、花岗闪长岩、闪长玢岩、煌斑岩、次安山岩等脉岩。该脉带由 33-34-36-37-38 号 5 个脉群 1 条含金石英脉组成, 脉带最大延深 320 m, 沿北东 40° 方向展布。38 号脉群由 38-1-38-2-38-3-38-4 含金石英脉组成, 宽 180 m, 最大延深 300 m, 总体产状倾向北西, 倾角中等。38-4 为规模最大的主矿体, 水平宽度 0.3~8.65 m, 品位 $0.17 \times 10^{-6} \sim 6.05 \times 10^{-6}$ 。

2.2 矿石物质成分

根据光片鉴定及人工重砂资料, 该金矿矿石矿物以黄铁矿、自然金、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿为主, 其次有晶质铀矿、沥青铀矿、磁黄铁矿、斑铜矿、碲金矿、碲铅矿、白铁矿等。脉石矿物有石英、方解石、绢云母、重晶石。自然金为他形、半自形, 呈不规则粒状、片状、条状、树枝状, 粒径在 0.001~0.1 mm, 大部分为 0.01~0.03 mm, 金的成色大于 850。

矿石化学成分, 除金外, 伴生成矿元素有铀、银、铅、锌。

2.3 矿石结构构造

矿石结构以自形、半自形、他形粒状结构和填隙结构为主。构造以星点浸染状、细脉浸染状为主, 其次为块状。

2.4 矿化期及矿化阶段

根据野外与室内研究, 矿床的成矿作用可划分为矿前期、成矿期、矿后期和表生期等 4 期和 3 个阶段。第 1 阶段为贫硫化物黄铁矿-金-石英脉阶段; 第 2 阶段为富硫化物方铅矿-金成矿阶段, 是成矿主要阶段; 第 3 阶段为贫硫化物-方解石阶段, 是热液活动的尾声。

2.5 围岩蚀变特征

围岩蚀变受断裂构造控制, 蚀变宽度为 0.1~1.5 m, 分布于含金石英脉两侧。蚀变类型有硅化、绢云母化、黄铁矿化、绿泥石化、电气石化、绿帘石化等。

3 矿床成因及成矿机理探讨

3.1 成矿物质来源

海沟金矿成矿元素 Au 来自色洛河群火山-沉积岩系; 而 Bi、Hg、Sb、Te、Se、W、Cl、Si、K、Na 等来自花岗闪长岩体。其主要证据是:

从地球化学原生晕分布特征来看, 主要成矿元素的分布, 除了在矿化带内形成了正晕场和矿化场外, 还在矿化带以外的围岩中形成了广泛的亏损场。尤其是成矿前碱交代阶段, 形成于面状蚀变带中的金含量都很低, 一般为 $2.33 \times 10^{-9} \sim 4.00 \times 10^{-9}$, 其中包括色洛河群变质岩系中变流纹质凝灰岩 (Au 为 2.29×10^{-9} , 浓集系数为 0.54)、板岩 (Au 2.77×10^{-9})、绢云石英片岩 (Au 2.33×10^{-9})、斜长角闪岩 (Au 2.43×10^{-9})、斜长角闪片麻岩 (Au 2.523×10^{-9} , 浓集系数 0.57)、大理岩 (Au 4.1×10^{-9} , 浓集系数 0.54) 等。与区域同层岩性相比, 除矿床正晕场外, 主要围岩 Au 含量都低于克拉克值 (维氏克拉克值 Au 为 4.3)。因此我们认为该亏损场 (或低背景场) 中的金在长期多次地质构造成矿作用中迁移到矿化带内, 所以说

海沟金矿床中的金主要来源于色洛河群岩系和花岗闪长岩中。

矿体与围岩的硫同位素组成相似,皆以富集轻硫 ($\delta^{34}\text{S}$)为特征,它们有相似的变化范围。围岩变化范围 -0.14% -11.4% , 平均 -6.80% ; 矿体变化范围 -0.3% -11.1% , 平均 -6.01% 。

从海沟地区色洛河群变质岩系和花岗闪长岩体的人工重砂分析结果来看,大部分样品可见自然金,一般几粒—几十粒,但大多数是微粒金,化学分析结果为 $\bar{x} \times 10^{-6}$ ($n < 10$)。

3.2 矿源层中金的活化与迁移方式

在海沟金矿床主要围岩的区域变质作用过程中,分散于固态岩石中的金在温度 $300\sim 350^\circ\text{C}$ 、压力 $100\sim 200\text{ MPa}$ 条件下,可以各种络合物的形式存在于溶液中。通过海沟岩体岩石中包裹体和矿体中包裹体成分对比,发现成岩溶液中的 Cl^- 的浓度比成矿期 Cl^- 的浓度高 2 倍。

海沟岩体在成矿期具备充分高温 ($573\sim 850^\circ\text{C}$) 富含 Cl^- 、 F^- 、 SO_4^{2-} 、 H^+ 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 离子的溶液。而岩浆期的初生水热液性质为弱碱性 ($\text{pH} = 7.5$), 氧化环境 ($\text{Eh} = 0.75$), 氧逸度较高,这就具备了足够的从围岩中浸出金的能力。

3.3 成矿热液水的来源

通过对海沟燕山期花岗闪长岩体内大理岩捕虏体中水与岩石发生氧同位素交换反应的计算,认为海沟金矿床成矿水来源于岩浆水和大气降水的混合。

成矿水(成矿流体)的成分 成矿水富含 CO_2 , 并含一定数量的 CO 、 N_2 、 CH_4 和 H_2 , 其金属阳离子以 Na^+ 为主, K^+ 、 Ca^{2+} 含量较高,流体中 Au 含量可达 $4.4 \times 10^{-6} \sim 8.8 \times 10^{-6}$, Cl^- 含量最高, F^- 含量低,属于 $\text{CO}_2\text{-CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ 体系。

成矿水的性质 本区成矿阶段流体的盐度为 $4.8\% \sim 9.5\%$, 温度为 $420\sim 220^\circ\text{C}$, i_{CO_2} 为 $0.05 \sim 0.40$ 。在此种条件下, CO_2 和 $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ 溶液发生不混溶现象,成为独立的 CO_2 流体,由于 CO_2 逸出促进络合物的分解而产生金的大量沉淀。

3.4 成矿热液的热量来源

海沟金矿成矿热源主要来自燕山期花岗闪长岩体。通过副矿物锆石的研究,确定岩体的成岩温度为 $700\sim 850^\circ\text{C}$ 。在成矿前热液蚀变碱交代的钾长石自结晶分异过程中,围岩中古大气降水(包括层间水、裂隙水、晶格水)被加热并富集,到岩浆期后与再平衡岩浆水混合形成富含矿质的复合水热液,在连续不断的构造作用过程中迁移至低压扩容带(即北东向断裂带),沉淀成矿。

3.5 成矿的主要物理化学条件

成矿温度范围 $420\sim 124^\circ\text{C}$, 金矿化最佳温度范围 $300\sim 220^\circ\text{C}$, 成矿高峰平均压力 86 MPa 。一般为 72 MPa 。

根据成矿压力,按向地下 29.61 MPa/km 的增压力计算,本矿区形成深度为 $1.1\sim 4.5\text{ km}$, 平均 2.91 km , 上覆岩层厚度 1.1 km , 与包裹体估测的最小深度一致。

成矿流体 pH 值 一般为 $4.1\sim 6.51$, 平均为 5.30 , 为弱酸性。花岗闪长岩成矿期的岩浆流体 pH 值为 $6.77\sim 8.21$, 平均 7.51 , 为弱碱性—碱性。该区成矿溶液有一个弱碱性的再平衡岩浆水与变热的酸性古大气降水混合的演化过程,即:从成矿早期—晚期,由弱碱性—酸性—弱酸性—中性的变化特点。但是成矿期是弱酸性和中性。

氧逸度 (f_{O_2}): $10^{-25} \sim 10^{-42.5}\text{ MPa}$, 平均 $10^{-33.8}\text{ MPa}$ 。成矿期的 f_{O_2} 较大, 380°C 时可达 10^{-25}

MPa, 随温度下降, f_{O_2} 迅速减小, 200°C 时 f_{O_2} 降至 $10^{-42.5}$ MPa.

还原电位 (Eh) 和还原参数 花岗闪长岩 Eh 值为 -0.66~ -0.83, 为氧化环境. 而矿体的 Eh 则由 -0.35~ -0.61, 平均为 -0.56, 还原参数为 0.41~ 0.73, 说明成矿阶段为还原环境. 在矿石中自然金往往与硫化物共生, 也反映了这一特点.

综上所述, 该区成矿物理化学条件为, Au 在高温 (> 350°C) 下氧化还原, 在偏酸性或偏碱性溶液中被溶解迁移, 在中温 (350~ 200°C) 还原环境和中性条件下沉淀, 成矿压力较大, 具脉动式成矿作用的特点.

3.6 成矿作用机理

成矿作用机理就是成矿三源 (矿源、水源、热源) 在时间上的发展演化、在空间上共生的相互之间的内在联系.

3.6.1 金矿的成矿时代

矿区主要矿源层色洛河群大理岩铅模式年龄值为 1153~ 1162 Ma, 花岗闪长岩体的 Pb-Sr 等时线年龄为 181 Ma. 岩体中成矿构造糜棱岩为 164.55 Ma. 矿石 K-Ar 稀释法年龄值为 143.95 Ma. 以上年龄值反映了从岩体就位到矿床封闭, 表现了正常的演化系列: 花岗闪长岩 (181 Ma) → 成矿前构造 (164.55 Ma) → 矿石 (143.95 Ma). 成矿属于燕山早期的产物.

3.6.2 成矿作用演化史

海沟金矿从矿源层形成到成矿, 经历了漫长而复杂的地质成矿演化过程. 矿区铅同位素和金矿化又具有多期、多阶段演化特征, 按地质发展史大约可划分 3 个阶段:

第 1 阶段: 为铅的正常演化阶段, 属于地幔 U-Th-Pb 分布均一体系, μ_a 、 k_0 为地幔平均值, $\mu = 9.58$.

第 2 阶段: 为铅在壳岩系统中的演化阶段, 该阶段始于太古宙, 经过古元古代, 遭受阜平运动、五台运动, 铅脱离了地幔 U-Th-Pb 的体系, 进入了壳岩系统的演化. 约到 1600~ 1100 Ma 中条运动初期, 随着裂隙槽的褶皱隆起, 强烈的火山爆发和变质作用, 大量的 U、Th、Pb、Au、Bi、Ag、As、Sb、C 进入色洛河群中, 其间 Pb、Au、Ag、S 等成矿元素形成了本区的一次大规模的外生金矿化, 构成海沟金矿的矿源层.

第 3 阶段: 滨太平洋活化阶段: 中元古代以来台槽连为一体, 共同进入了滨太平洋板块活化阶段, 在大陆内部形成一些具有继承性的断裂带. 由于地幔再次上涌, 形成一些同熔型花岗岩浆并沿拉张深大断裂上侵, 尤其是在富尔河、两江两组深大断的交叉部位更为活跃, 由于岩体富含卤族元素和碱金属元素, 形成了较强的矿化剂, 在上侵过程中的热力、动力和矿化剂的作用下, 对围岩中的 Au、Ag、Pb、Bi、As、Sb、S、C 等矿质和矿化剂不断地浸出, 使成矿物质在岩体中及周围又一次富集. 由于岩浆分异过程中强烈的钾、钠质交代作用和矿化作用, 大量矿质进入含矿热水溶液中并富集, 到岩浆期后, 形成了高盐度的成矿溶液, 最后迁移到花岗闪长岩中的北东向断裂裂隙中沉淀成矿.

根据上述, 可设想出海沟金矿床的成矿模式: 燕山早期花岗闪长岩浆沿海沟复式背斜上侵, 在结晶分异过程中分泌出初生岩浆水与部分大气降水的混合, 形成再平衡岩浆水, 并携带了大量的矿质和矿化剂. 同时也加热了岩体周围的地下水 (层间水和裂隙水), 而环流的地下水浸滤出围岩中大量的金、银等矿物质便形成富含矿质的热流体, 随着花岗闪长岩的结晶固化和频繁的构造作用, 在岩体顶部形成一组北东向构造糜棱岩带和片理化带, 继而追踪该

岩带又形成了张扭性的构造裂隙带, 此时变热而环流的地下水与再平衡岩浆水混合, 形成含矿热流体, 并富集于张扭性构造裂隙带中, 形成含金石英脉群, 构成大型海沟金矿床。

4 参考文献

- 1 沈渭洲. 稳定同位素地质. 北京: 原子能出版社. 1987.
- 2 朱裕生. 论矿床成矿模式. 地质论评, 1993.

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND METALLOGENIC MECHANISM OF HAIGOU GOLD DEPOSIT, JILIN PROVINCE

Feng Shouzhong

(*Jilin Institute of Geology and Mineral Resources, CNNC*)

Abstract

Haigou gold field, 90 km southwest of Antu County, Jilin Province, is tectonically located on the boundary of North China platform and Variscan folding belt in Inner Mongolia. The gold deposit is characterized by multi-source and multi-stage mineralization, which is related mainly to early Yanshanian granodiorite and diorite porphyrite. The ore-forming matter is derived from double sources, i. e., strata and magmatic rocks. The metallogenic liquid is the mixture of magmatic water and meteoric water. Yanshanian granodiorite is presented as heat source for mineralization. This large scale deposit belongs to migmatized hydrothermal type uranium-gold deposit in genesis.

Key words uranium-gold deposit metallogenic mechanism Jilin Province

作者简介 冯守忠 男 1934年生, 1954年毕业于东北地质学院矿产地质专业, 现为中国有色金属工业总公司吉林矿产地质研究所高级工程师. 通讯地址: 长春市南湖大路32号; 邮政编码 130012.