

多宝山—黑河地区典型金矿床成矿模式

闫宝龙^{1,2}, 林楠^{1,2}, 籍哲羽^{1,2}, 陈宇^{1,2}, 李国栋^{1,2*}

1. 中国地质调查局哈尔滨自然资源综合调查中心, 黑龙江 哈尔滨 150086

2. 自然资源部哈尔滨黑土地地球关键带野外科学观测研究站, 黑龙江 哈尔滨 150086

DOI:10.61369/ERA.2025100032

摘 要 : 多宝山—黑河地区作为兴蒙造山带东段重要的金矿集区, 发育有争光、三道湾子等典型金矿床。本文通过系统分析区域地质背景、矿床地质特征及成矿作用参数, 构建了两类典型成矿模式: 争光金矿床的“岩浆热液充填—交代型”模式与三道湾子金矿床的“浅成低温热液—构造蚀变岩型”模式。研究表明, 岩浆活动强度、构造系统演化及地层地球化学背景是控制成矿模式差异的核心因素, 相关数据与模式可为区域金矿勘查提供精准指导。

关 键 词 : 多宝山—黑河地区; 金矿床; 成矿模式; 岩浆热液; 构造控矿

Typical Gold Deposit Formation Model in the Duobaoshan-Heihe Region

Yan Baolong^{1,2}, Lin Nan^{1,2}, Ji Zheyu^{1,2}, Chen Yu^{1,2}, Li Guodong^{1,2*}

1. Harbin Natural Resources Comprehensive Survey Centre, China Geological Survey, Harbin, Heilongjiang 150086

2. Harbin Black Soil Geocryosphere Field Scientific Observation and Research Station, Ministry of Natural Resources, Harbin, Heilongjiang 150086

Abstract : The Duobaoshan–Heihe region, as an important gold mineralisation zone in the eastern segment of the Xingmeng Orogenic Belt, hosts typical gold deposits such as Zhengguang and Sanduowanzi. This study systematically analysed the regional geological background, ore deposit geological characteristics, and mineralisation process parameters to establish two typical mineralisation models: the "magmatic hydrothermal filling–metamorphic type" model for the Zhengguang gold deposit and the "shallow–temperature hydrothermal–structural alteration rock type" model for the Sandaowanzi gold deposit. The study indicates that the intensity of magmatic activity, the evolution of the tectonic system, and the stratigraphic geochemical background are the core factors controlling the differences in mineralisation patterns. The relevant data and patterns can provide precise guidance for regional gold mineral exploration.

Keywords : Duobaoshan–Heihe region; gold deposits; mineralisation patterns; magmatic hydrothermal; tectonic control of mineralisation

引言

多宝山—黑河地区位于兴蒙造山带东段, 是我国东北地区金矿资源的重要富集区域。其大地构造位置独特, 经历了古亚洲洋构造域和太平洋构造域的多期次地质演化过程, 地质构造复杂, 岩浆活动频繁, 为金矿的形成提供了极为有利的地质条件^[1]。近年来, 随着矿产资源勘查工作的不断深入, 在该地区发现了多个具有重要经济价值的金矿床, 如争光、三道湾子等典型金矿床, 因其独特的成矿特征和显著的资源潜力, 成为地质学界研究的热点。这些矿床在成矿环境、矿化特征、成矿物质来源等方面存在一定差异, 反映出不同的成矿模式。成矿模式是对矿床形成过程中各种地质作用及其相互关系的高度概括, 它能够揭示矿床的形成机制、分布规律和找矿方向。目前, 针对多宝山—黑河地区金矿床的研究多集中在单个矿床的地质特征和成因分析上, 对区域内不同类型金矿床成矿模式的系统研究相对较少。因此, 开展该地区典型金矿床成矿模式的研究, 对于深入理解区域成矿规律、提高找矿效率具有重要的理论和实际意义。

一、区域成矿地质条件

区域处于多宝山岛弧与黑河断陷带过渡带, 基底为新元古界

变质岩系, 盖层主要为奥陶系多宝山组火山—沉积岩(安山岩、凝灰岩)及侏罗—白垩系塔木兰沟组粗安岩、光华组流纹岩。奥陶系地层 Au 背景值达 1.2–1.8ppb, 侏罗系粗安岩 Te 含量异常

通讯作者: 李国栋, 邮箱: 1098747236@qq.com

(0.5–1.0ppm)，为成矿提供物质基础。

构造以 NW 向罕达气—多宝山断裂（长度 > 150km，切割深度 > 10km）为主干，与 NE 向次级断裂（长度 20 ~ 50km）构成“网格状”导矿—容矿系统。断裂活动具多期性，早白垩世伸展阶段（130–120Ma）与晚白垩世挤压阶段（100–80Ma）分别对应不同成矿期。

岩浆岩以燕山期侵入体为主，包括花岗闪长岩（160–150Ma）、闪长玢岩（140–130Ma）及花岗斑岩（120–110Ma），其中闪长玢岩与金矿化时空关联显著，锆石 Hf 同位素显示其具壳幔混源特征（ $\epsilon_{\text{Hf}}(t) = -2.5 \sim +3.8$ ）。

二、典型矿床成矿特征解析

（一）争光金矿床成矿特征

1. 矿化空间分布

矿床由 28 条脉状矿体组成，呈 NW 向展布，集中分布于闪长玢岩与多宝山组火山岩接触带 300m 范围内。主矿体（V-1 号）长 350m，平均厚度 3.8m，平均品位 8.2g/t，沿 NE 向断裂膨大部位形成富矿段（品位 > 15g/t）^[2]。

2. 成矿流体系统

流体包裹体分析显示，成矿流体具阶段性演化特征：早期高温阶段（300–350℃）以富 CO₂ 流体为主（CO₂ 含量 15% ~ 20%），盐度 12% ~ 15%；中期中温阶段（200–300℃）为 H₂O–NaCl 体系，盐度 8% ~ 12%；晚期低温阶段（150–200℃）盐度降至 5% ~ 8%。氢氧同位素（ $\delta D = -90\text{‰} \sim -70\text{‰}$ ， $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 6\text{‰} \sim 10\text{‰}$ ）表明流体主要源于岩浆水（占比 70% ~ 80%）。

3. 成矿物质迁移与沉淀

硫同位素（ $\delta^{34}\text{S} = -2\text{‰} \sim +2\text{‰}$ ）与铅同位素（ $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.3 \sim 18.6$ ）显示，Au、S 等成矿物质主要来自燕山期闪长玢岩（岩体 Au 含量 0.05–0.1ppm）。成矿过程中，Au 以 [AuCl₂]⁻ 络合物形式迁移，在断裂交汇部位因压力骤降（从 250MPa 降至 100MPa）导致络合物分解，形成黄铁矿—石英脉型矿化^[3]。

（二）三道湾子金矿床成矿特征

1. 矿化空间分布

矿床由 12 条平行脉状矿体组成，沿 NW 向断裂带呈带状分布，单矿体长 100 ~ 800m，平均厚度 2.5m，平均品位 6.8g/t。矿体赋存于塔木兰沟组粗安岩构造破碎带中，矿化强度与破碎带宽度正相关（相关系数 $R^2 = 0.82$ ）。

2. 成矿流体系统

流体包裹体以低盐度气液两相包裹体为主，均一温度集中于 180–220℃，盐度 3% ~ 6%，密度 0.85 ~ 0.95g/cm³。氢氧同位素（ $\delta D = -120\text{‰} \sim -80\text{‰}$ ， $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 4\text{‰} \sim 8\text{‰}$ ）表明流体为岩浆水与大气降水混合（比例 6:4），大气降水参与使流体 pH 值降至 5.0–6.5^[4]。

3. 成矿物质迁移与沉淀硫同位素（ $\delta^{34}\text{S} = -4\text{‰} \sim +6\text{‰}$ ）呈双峰分布

反映岩浆硫（占比 50%）与地层硫（占比 50%）混合特征。Au 主要以碲化物（AuTe₂）形式迁移，在构造减压（80–

120MPa）与低温条件下，于玉髓—高岭石蚀变带中沉淀，电子探针分析显示碲金矿中 Au 含量达 35% ~ 40%。

三、典型成矿模式构建

（一）争光金矿床“岩浆热液充填—交代型”模式

该模式的成矿过程可分为三个主要阶段：

1. 岩浆分异阶段（140–130Ma）

燕山期闪长玢岩侵位（锆石 U–Pb 年龄为 $135 \pm 2\text{Ma}$ ），在岩浆演化的晚期阶段，由于岩浆的分异作用，分离出富含 Au、S 等成矿物质的流体。该阶段流体中 H₂O 的含量达 6% ~ 8%，Cl⁻ 浓度为 2000–3000ppm，为成矿物质的溶解和迁移提供了有利条件。

2. 流体运移阶段

富含成矿物质的流体在压力差的驱动下，沿 NW 向主干断裂向上运移。当流体运移至 NE 向次级断裂处时，受到次级断裂的阻挡，在闪长玢岩与多宝山组火山岩的接触带形成流体汇聚区^[5]，此时流体压力维持在 200–250MPa。

3. 矿化沉淀阶段

汇聚的流体与多宝山组火山岩发生强烈的交代反应，形成绢云母化蚀变。通过对蚀变强度与 Au 品位的统计分析发现，二者呈显著正相关关系（ $R^2 = 0.76$ ），表明蚀变作用与矿化富集密切相关。同时，由于断裂活动导致流体压力骤降，使得流体中 Au 的络合物稳定性被破坏，Au 在裂隙中充填沉淀，形成脉状矿体。

该模式的关键标志包括闪长玢岩与多宝山组火山岩的接触带、NW 向与 NE 向断裂的交汇部位、硅化—黄铁矿化蚀变组合以及中高温流体包裹体（250–300℃）。（二）三道湾子金矿床“浅成低温热液—构造蚀变岩型”模式

该模式的成矿过程主要包括以下三个阶段：

1. 流体混合阶段（120–110Ma）

花岗斑岩岩浆在演化过程中分离出富含 Te、Au 的流体，该流体与大气降水发生混合（岩浆水占比 60%，大气降水占比 40%），形成成矿流体。此时流体中 Te 的浓度可达 5–8ppm，为 Au 以碲化物形式迁移奠定了基础。

2. 构造驱动运移阶段

在 NW 向断裂的伸展作用下，含矿流体沿断裂带向上运移。在运移过程中，流体不断与周围的塔木兰沟组粗安岩发生相互作用，萃取其中的 Te 元素，使流体中的成矿物质不断得到补充和富集^[6]。

3. 蚀变与矿化阶段

含矿流体与围岩发生反应，形成高岭土化—硅化蚀变带，蚀变带宽度一般为 5 ~ 20m。在 180–220℃ 的温度条件下，由于构造减压作用，流体中的 Au 与 Te 结合形成碲化物沉淀下来，在矿体的角砾状构造中形成富矿段。该模式的关键标志为 NW 向断裂破碎带、侏罗系塔木兰沟组粗安岩地层、玉髓—高岭土化蚀变组合以及低温流体包裹体（180–220℃）。

四、成矿模式控制因素对比

（一）岩浆活动控制

岩浆活动是金矿成矿的重要控制因素之一，其强度和性质对成矿模式的形成具有重要影响^[7]。

争光金矿床所在区域岩浆活动强烈，燕山期闪长玢岩的侵入次数达5期，岩体出露面积超过50km²。强烈的岩浆活动不仅为成矿提供了充足的热源（岩浆温度为750–850℃），还提供了丰富的成矿物质，该岩体 Au 的丰度是地壳克拉克值的5–8倍。岩浆热液的持续补给，使得矿床的成矿期长达5–8Ma，有利于成矿物质的充分富集。

相比之下，三道湾子金矿床所在区域的岩浆活动相对较弱，仅发生2期岩浆侵入活动，岩体出露面积小于10km²。岩浆活动提供的热源和物质相对有限，导致成矿期缩短至2–3Ma，需要大气降水的参与来弥补流体量的不足，从而形成了与争光金矿床不同的成矿模式^[9]。

（二）构造系统控制

构造系统在金矿的成矿过程中起着导矿、容矿和控矿的重要作用，不同的构造组合样式控制着不同成矿模式的形成。争光金矿床受NW向主干断裂和NE向次级断裂构成的“立交桥”式构造系统控制。NW向断裂作为导矿构造，将深部的成矿流体引导至浅部，而NE向断裂则作为容矿构造，与NW向断裂的交汇部位形成了良好的扩容空间（孔隙度达15%~20%），有利于流体的汇聚和矿化的富集，从而形成了复杂的矿体形态^[9]。

三道湾子金矿床则主要受单一的NW向断裂带控制，该断裂带的持续活动形成了“张裂–充填”的多期循环过程。每期断裂活动都会形成1~2m厚的矿脉，经过多期叠加，使得矿体厚度可达5m以上。这种单一的断裂构造控制使得矿体形态相对简单，呈脉状沿断裂带分布。

（三）地层条件控制

多宝山组安山岩具有较高的渗透性（渗透率为10⁻¹⁵–10⁻¹⁴m²），这种物理性质有利于争光金矿床成矿流体与围岩发生交代作用，促进成矿物质的沉淀和富集，为“岩浆热液充填–交代型”成矿模式的形成提供了有利的地层条件^[10]。而塔木兰沟组粗安岩的富Te特征（其Te含量是地壳平均值的3倍–5倍），则为三道湾子金矿床碲化物矿化提供了重要的物质基础，使得Au能够以碲化物的形式进行迁移和沉淀，从而形成了“浅成低温热液–构造蚀变岩型”成矿模式。

五、成矿模式的找矿应用

（一）争光式矿床找矿标志

地质标志：燕山期闪长玢岩与奥陶系火山岩接触带、NW–NE断裂交汇部位、硅化–黄铁矿化蚀变组合（蚀变强度>50%）。

地球化学标志：土壤测量Au异常>50ppb，伴生As、Sb异常（As>20ppm，Sb>5ppm）；流体包裹体均一温度250–300℃。

物探标志：激电中阻异常（500~1000Ω·m）与磁异常梯度带叠加区。

（二）三道湾子式矿床找矿标志

地质标志：NW向断裂破碎带（宽度>10m）、侏罗系粗安岩分布区、玉髓–高岭土化蚀变（高岭石含量>20%）^[11]。

地球化学标志：岩石测量Au>100ppb，Te异常>2ppm，伴生Hg异常（Hg>0.1ppm）；流体包裹体均一温度180–220℃。

物探标志：低阻异常带（100~500Ω·m）与土壤气Rn异常（>30Bq/L）。

六、结束语

多宝山—黑河地区典型金矿床呈现“岩浆热液充填–交代型”与“浅成低温热液–构造蚀变岩型”两类成矿模式，其差异源于岩浆活动强度、构造系统样式及地层地球化学背景的协同作用。争光矿床依赖强岩浆活动提供物质与热源，多组断裂交汇促进矿化富集；三道湾子矿床则因弱岩浆活动与大气降水参与，形成以碲化物为特征的低温矿化。

本研究构建的成矿模式及提炼的找矿标志，为该地区金矿资源的勘查工作提供了有效的理论指导 and 实践依据。但仍有诸多问题有待深入探索，如深部成矿流体的演化轨迹、成矿作用与区域构造演化的精准耦合关系等。未来可借助三维地质建模、高精度年代学测定等技术手段，进一步完善成矿理论体系，提升区域金矿资源潜力评价的准确性，为我国东北地区的矿产资源保障贡献力量。

参考文献

- [1] 侯贺晟, 韩江涛, 符伟, 等. 黑龙江多宝山矿集区岩石圈结构: 孙吴–劲松廊带深地震反射与大地电磁联合探测结果 [J]. 地质通报, 2024, 43(11): 1985–2000.
- [2] 刘宝山, 张春鹏, 寇林林, 等. 黑龙江争光金矿床方铅矿黄铁矿 Rb–Sr 年龄及地质意义 [J]. 大地构造与成矿学, 2022, 46(01): 102–111.
- [3] 李运, 符家骏, 赵元艺, 等. 黑龙江争光金矿床年代学特征及成矿意义 [J]. 地质学报, 2016, 90(01): 151–162.
- [4] 车合伟, 周振华, 马星华, 等. 大兴安岭北段争光金矿床成因探讨: 来自流体包裹体及稳定同位素的制约 [J]. 矿床地质, 2016, 35(03): 539–558.
- [5] 孙刚, 杨云宝, 赵世猛, 等. 黑龙江完达山成矿带金矿地质特征与成矿模式 [J]. 黑龙江国土资源, 2025, 23(04): 57–64.
- [6] 赵天宇, 赵海滨, 孙丰月, 等. 黑龙江三道湾子金矿床同位素年龄对成矿时代的约束 [J]. 中国地质, 2013, 40(04): 1202–1208.
- [7] 孙刚, 杨云宝, 赵世猛, 等. 黑龙江完达山成矿带金矿地质特征与成矿模式 [J]. 黑龙江国土资源, 2025, 23(04): 57–64.
- [8] Liu Baoshan, Lü Ju. 2006. Geological, geochemical and genetic study of the Sandaowanzi quartz vein–type gold deposit in heihei city, Helongjiang Province [J]. Geotectonica et Metallogenia, 30(4): 481–485.
- [9] 杨永胜, 吕新彪, 高荣臻, 等. 黑龙江争光金矿床英云闪长斑岩年代学、地球化学及地质意义 [J]. 大地构造与成矿学, 2016, 40(04): 674–700.
- [10] 王京彬, 王玉往, 李庆哲, 等. 造山型金矿容矿建造分类、成矿模式及找矿勘查 [J]. 地质学报, 2024, 98(03): 898–919.
- [11] 赵忠海, 曲晖, 郭艳, 等. 黑龙江多宝山成矿区金矿成矿规律及找矿方向 [J]. 地质与资源, 2011, 20(02): 89–95.