

微纳米金颗粒对卡林型金矿成矿的指示

冯宏业^{1,2)}, 琚宜文²⁾, 方维萱³⁾, 朱洪建⁴⁾, 余坤⁵⁾, 陈博⁶⁾,
乔鹏²⁾, 肖蕾¹⁾, 陶丽茹¹⁾

1) 中国地质科学院矿产资源研究所/全球矿产资源战略研究中心, 北京, 100037;

2) 中国科学院大学地球与行星科学学院, 北京, 100049;

3) 有色金属矿产地质调查中心, 北京, 100012; 4) 燕山大学车辆与能源学院, 河北秦皇岛, 066000;

5) 中国矿业大学矿业工程学院, 江苏徐州, 221116; 6) 中国地质调查局发展研究中心, 北京, 100037

关键词: 卡林型金矿; 微纳米金颗粒; 热液流体; 成矿作用; 生长机制

卡林型金矿中金的赋存状态一直是矿物学和矿床学的研究重点之一。我国右江盆地卡林型金矿中金的赋存状态长期存在纳米金颗粒(包裹体金)和晶格金之争(Feng Hongye et al., 2021)。

黄铁矿在金矿床中通常作为主要载金矿物出现,其晶体内部结构及微量元素组份特征可以用来限定成矿流体的性质、来源与演化规律、反映成矿过程、约束矿床成因等,离散不可见金的形成途径,受黄铁矿晶体的形状和纳米结构控制(Li Ruihong et al., 2020)。热液金矿床中 Au 在寄主矿物中能以固溶体或纳米颗粒形式存在,研究表明 150~250℃ 时,金的赋存规律服从 $C_{Au}=0.02\times C_{As}+4\times 10^{-5}$ 的溶解度直线,即:当 $Au/As>0.02$ 时,金优先呈单质纳米金(Au^0)颗粒产出, $Au/As<0.02$ 时, Au 优先以阳离子形式(Au^+)进入黄铁矿晶格中(Reich, 2005)。右江盆地烂泥沟等金矿床中发现纳米金颗粒,滇西上芒岗卡林型金矿氧化矿石中也发现较多的纳微米金颗粒,美国内华达州 Jumpo 卡林型矿床中发现大量纳米级 Ag-Au 矿物颗粒(Saunders et al., 2020)。

1 区域地质简介

右江盆地是我国重要的低温矿床分布区,大地构造位置上处于扬子板块南缘,受盆地边缘多条深大断裂控制,而呈“菱形”。盆地中穹状构造的周缘

或核部分布着水银洞、烂泥沟、丫他、戈塘、紫木凶、太平洞、泥堡、高龙、金牙、安那、八渡等大量卡林型金矿(李松涛等, 2022),这些金矿受各种不同级别和类型的褶皱、断裂构造和裂隙的控制,成矿作用与盆地及其构造的产生、发展与演化密切相关(陈懋弘等, 2007; 刘建中等, 2023)。

2 研究方法 with 实验结果

前人针对右江盆地众多卡林型金矿床开展了大量研究,也取得了许多重要的认识。笔者等在前人研究的基础之上,借助电子探针、扫描电镜、LA-ICP-MS、NanoSIMS 和 TIMA 等分析手段,对右江盆地主要卡林型金矿床载金矿物黄铁矿元素组成与分布规律及金的赋存状态进行了详细的分析和研究。结果显示黄铁矿微纳米裂隙发育,且裂隙多被石英或其他硫化物充填,微纳米金颗粒主要赋存于黄铁矿微纳米孔裂隙和矿物晶体间隙及有机质与矿物间的孔裂隙中。

3 金成矿作用探讨

金纳米颗粒沉淀、富集、成矿的主要方式是絮凝,而引起金属纳米颗粒絮凝、沉淀的主要途径包括:沸腾、冷却和/或流体混合(McLeish et al., 2021)。成矿流体中带电金纳米颗粒可以通过运移—聚集—沉淀而形成高品位金矿石(Liu Weihua et al., 2019),含金热液流体形成演化过程中周期性的沸腾及成矿流体与海水的混合,是金纳米颗粒富

注:本文为国家自然科学基金项目(编号:71991482、41872160、41530315)和中国地质调查局项目(编号:DD20221795)的成果。

收稿日期:2023-12-10; 改回日期:2024-01-09; 责任编辑:方向。DOI: 10.16509/j.georeview.2024.sl.031

作者简介:冯宏业,男,1987年生,博士,助理研究员,主要从事矿床学、纳米地质学和矿产资源战略研究;Email: fhy0205@163.com。通讯作者:琚宜文,男,1963年生,博士,教授/博士生导师,主要从事能源盆地构造、能源地质与开发和纳米地质与成藏成矿系统研究;Email: juyw03@163.com。

集成矿的主要原因 (McLeish et al., 2021)。不列颠哥伦比亚省 Brucejack 金矿中常见 1~5 nm 的银金矿球状颗粒及其聚集而成的较大颗粒聚集体, 后者的不规则形状与粗粒银金矿的习性相似, 表明金矿床中纳米金颗粒的形成和聚集可能是形成较大金晶体或聚集体的中间步骤。

4 主要认识

右江盆地卡林型金矿成矿流体并非均匀流体, 与之接触的围岩成分变化也较大, 因此在成矿流体结晶沉淀过程中, 流体中的金含量也在不断变化, 当流体中 $Au/As > 0.02$ 时, 金优先呈纳米金颗粒析出, 随着 Au 的消耗, 当 $Au/As < 0.02$ 时, Au 则以阳离子形式进入黄铁矿晶格中。因此 Au 能以单质纳米金包裹体和晶格金两种形式存在, 二者可能为一个连续的反应过程。成矿过程中不同性质的热液流体混合, 引起热液系统的物理化学条件 (如温度和 pH 值) 发生急剧变化, 导致金纳米颗粒的快速沉淀。岩矿石纳米尺度孔隙特征与纳米 Au 的特殊性质, 可能控制着卡林型金矿中金的富集状态。当成矿流体中局部 Au 含量较高时, 随着 Au 的不断析出聚集, 可能生长成纳米级—微米级金颗粒。

致谢: 感谢西南能矿集团冉瑞德教授级高级工程师为野外地质考察提供的协调与帮助, 感谢贵州紫金矿业股份有限公司工会主席刘家贵先生、杨康工程师、刘世川工程师和贵州华金矿业有限公司总经理史继佳先生、彭师华工程师、焦国林工程师、王宇工程师等为野外考察与采样提供的帮助和支持。

参 考 文 献 / References

- 陈懋弘, 毛景文, 屈文俊, 吴六灵, Uttley P J, Norman T, 郑建民, 秦运忠. 2007. 贵州贞丰烂泥沟卡林型金矿床含砷黄铁矿 Re-Os 同位素测年及地质意义. 地质论评, 53(3): 371~382.
- 李松涛, 刘建中, 夏勇, 王泽鹏, 谢卓君, 谭亲平, 周光红, 张兵强, 谭礼金, 蒙明华, 郑禄林. 2022. 黔西南泥堡—包谷地卡林型金矿田热液矿物地球化学特征及其地质意义. 地质论评, 68(2): 551~570.

- 刘建中, 王泽鹏, 宋威方, 王大福, 杨成富, 李俊海, 郑禄林, 李松涛, 谭亲平, 谢卓君, 陈发恩, 覃永军, 杨毓红, 谭礼金, 徐良易, 刘婧珂, 汪小勇. 2023. 滇黔桂地区卡林型金矿多层次构造滑脱成矿系统构建和找矿实践. 地质论评, 69(2): 513~525.

- Feng Hongye, Ju Yiwen, Chen Bo, Fang Weixuan, Zhu Hongjian, Li Wuyang, Ju Liting, Qiao Peng. 2021. Micro-nanoscale characteristics of pyrite and its implications for gold mineralization: Two cases of gold deposits in the Youjiang Basin and Southwestern Tianshan Mountains. Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 21(1): 246~261.

- Li Ruihong, Wang Xueqiu, Yang Liqiang, Zhang Bimin, Liu Qingqing, Liu Dongsheng. 2020. The characteristic of microstructural deformation of gold bearing pyrite in Jiaodong: The links between nanoscale gold enrichment and crystal distortion. Ore Geology Reviews, 122: 103495.

- Liu Weihua, Chen Miao, Yang Yi, Mei Yuan, Etschmann Barbara, Brugger Joel, Johannessen Bernt. 2019. Colloidal gold in sulphur and citrate-bearing hydrothermal fluids: An experimental study. Ore Geology Reviews, 114: 103142.

- McLeish D F, Williams-Jones A E, Vasyukova O V, Clark J R, Board W S. 2021. Colloidal transport and flocculation are the cause of the hyperenrichment of gold in nature. Proceedings of the National Academy of The United States of America, 118(20): e2100689118.

- Reich M, Kesler S E, Utsunomiya S, Palenik C, Chrysosoulis S, Ewing R C. 2005. Solubility of gold in arsenian pyrite. Geochimica et Cosmochimica Acta, 69(11): 2781~2796.

- Saunders J A, Burke M, Brueske M E. 2020. Scanning-electron-microscope imaging of gold (electrum) nanoparticles in middle Miocene bonanza epithermal ores from northern Nevada, USA. Mineralium Deposita, 55(3): 389~398.

FENG Hongye, JU Yiwen, FANG Weixuan, ZHU Hongjian, YU Kun, CHEN Bo, QIAO Peng, XIAO Lei, TAO Liru: Characteristics of micro-nano gold particles and its implications for mineralization of Carlin-type gold deposits
Keywords: carlin-type gold deposit; micro-nano gold particles; hydrothermal fluid; metallogenic processes; growth mechanism