

胶东巨量金富集过程的热力学模拟

胡换龙¹, 范宏瑞^{2,3}, 蓝廷广^{1,3,*}, 杨奎锋^{2,3}

(1. 中国科学院地球化学研究所, 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550081; 2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 矿产资源研究重点实验室, 北京 100029; 3. 中国科学院大学, 地球与行星科学学院, 北京 100049)

揭示成矿流体物理化学条件、成矿金属沉淀和矿物组合演化之间的内在联系对于理解矿床成因和指导勘查至关重要, 热力学模拟可为此提供研究手段。大量研究已经认识到交代大陆岩石圈地幔岩浆/脱挥发分过程对浅部地壳巨量金的堆积具有关键控制作用。华北克拉通东部世界级的胶东金成矿省拥有大于 5000 吨的金资源量, 被认为是交代岩石圈地幔与巨量金矿化存在密切成因联系的极好案例。在该金矿省, 围岩蚀变过程含金流体运移和金富集是控制巨量金堆积的两个关键环节。然而, 其中的水岩相互作用和流体物理化学条件变化具体如何影响含金流体运移、矿物组合演化和金沉淀富集仍不明确。胶东金矿省中超大型焦家金矿田完整记录了从钾长石化向富金黄铁绢英岩化转变的蚀变过程, 并且黄铁绢英岩带局部的金品位可提升至 >1 ppm, 形成金矿体。本研究基于该金矿田围岩蚀变-矿化和成矿流体特征, 开展了冷却和等温等压过程热力学水岩相互作用模拟, 并计算了总硫浓度、pH 和氧逸度变化对金溶解度和矿物组合变化的影响, 以揭示含金流体搬运过程和蚀变矿物组合演化-矿化之间的耦合关系。降温水岩相互作用模拟结果表明, 在较高温度时 (如 >450 °C), 流体与围岩花岗岩相互作用发生蚀变可形成斜长石+磁铁矿+磁黄铁矿标志性矿物组合; 当温度进一步降低, 则形成钠长石+黄铁矿+铁白云石+菱铁矿标志性矿物组合。同时, 当成矿流体冷却到 460 °C 以下时, Au-Cl 络合物转变和黄铁矿沉淀导致的总硫浓度降低能使金在高温下分散沉淀, 阻碍金随成矿流体长程迁移至更低温度的矿化空间。含金流体在 >400 °C 的相对高氧化性条件能够使 Au-Cl 络合物更加稳定, 更低的 pH 则可以抑制黄铁矿沉淀而维持高的总硫浓度, 这两种条件能促进金随成矿流体长程迁移到更低温度的矿化空间。当成矿流体就位到矿化空间后, 赋矿围岩中长石和绢云母的缓冲导致流体 pH 升高, 促使黄铁矿和金快速饱和与高效沉淀。而总硫浓度降低除了是控制金高效沉淀的主要机制之外, 也是使矿石矿物组合由早期沉淀黄铁矿为主演化到晚期沉淀少量磁黄铁矿、磁铁矿和重晶石组合的重要控制因素。在 300 °C 和 2000 bar 条件下开展的穿透淋滤水岩反应模拟结果表明, 焦家金矿田钾长石化蚀变岩向黄铁绢英岩的转变, 且在黄铁绢英岩中存在铁白云石-菱铁矿而无叶蜡石矿物组合的情况下, 需要累积的水岩质量比值 (f/r) 范围为 3.8~4.8。当初始含金流体中金浓度低于 200 ppb 和累积的 f/r 为 3.8~4.8 时, 单独的水岩相互作用仅能使蚀变岩的金品位提升到 <0.69~0.87 ppm。因此, 结合先前研究, 构造破裂诱发的流体运移耦合水岩相互作用是黄铁绢英岩化蚀变伴随金品位提升到 >1 ppm 不可或缺的前提。模拟结果也表明, 在张性环境形成脉状矿化时, 流体不混溶和黄铁矿沉淀导致的总硫浓度降低是金高效富集成矿的主要机制。综合以上认识, 本研究给出了一个基于热力学过程的构造-流体耦合成矿模型, 模拟预测的矿物组合演化为胶东金矿深部勘查提供了重要启示。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (批准号: 41873048), 中国科学院西部交叉团队 (项目编号: xbzg-zdsys)

第一作者简介: 胡换龙, 男, 1992 年生, 博士, 主要从事成矿作用热力学模拟。