

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2022.854>



造山型金矿是如何形成的?

马 盈^{1,2}, 蒋少涌^{1,2*}

1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北武汉 430074
2. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

黄金是国际储备和投资的硬通货,同时也是现代电子通讯、航空航天等高科技产业的重要原材料。金矿床可在不同地质历史时期经由各种地质作用在不同类型的岩石中产出,形成丰富多样的金矿类型。综合构造背景和成因,金矿床可划分为造山型、斑岩型、浅成低温热液型、卡林型、铁氧化物型以及富金的块状硫化物型等(Kerrick *et al.*, 2000)。造山型金矿床主要指在变质地体中受构造控制的脉状后生金矿床,在时间和空间上与板块俯冲增生或碰撞造山作用有关(Groves *et al.*, 1998; Goldfarb *et al.*, 2005)。该类型金矿床在全球广泛分布,具有规模大、品位高和矿石易采选的特点,资源量占到全球金资源量的三成以上,是全球金勘查的重要类型(Weatherley and Henley, 2013)。造山型金矿床的形成可以与造山带的演化及超大陆聚合紧密联系在一起,是现代矿床学研究的热点之一。自2009年起,我国已成为全球最大的金生产国(Goldfarb *et al.*, 2019),大力加强对我国造山型金矿床的成矿理论研究,指导进一步找矿勘查,显得尤为重要。由于赋矿围岩类型和控矿构造样式复杂多样、地球化学数据特别是同位素数据的多解性、金与热液流体来源的不确定性、流体运移路径的复杂性以及矿体就位位置与成矿物质源区的巨大空间差异,造山型金矿床形成过程中“源、运、储”三大关键问题均未被很好解决:造山型金矿形成经历了怎样的地质过

程?怎样的构造背景和地质环境有利于形成造山型金矿床?金又是如何迁移、富集并沉淀成矿的?均是目前矿床学研究的前沿领域和难点问题。

1 核心思想

成矿流体与成矿物质的“源、运、储”是矿床成因研究中最基本但非常关键的3个问题,代表了矿床生命过程的“前半生”(翟裕生和王建平,2011)。查明造山型金矿床的成矿物质来源、成矿流体迁移过程与金的富集沉淀机制,有助于深刻理解该类型金矿床的成因与成矿过程,为金矿床的找矿勘查提供科学依据和理论指导。

“源”:造山型金矿床流体来源争议巨大,主要包括大陆地壳变质脱水产生的流体、洋壳俯冲相关深部流体或地幔流体、与花岗岩有关的岩浆热液流体,以及地表大气降水深部对流循环流体等4种观点(Goldfarb and Groves, 2015)。全球范围内,产出于不同时代、不同构造带的造山型金矿床是否具有统一的成矿流体与成矿物质来源?如果存在,这一来源究竟是什么?源区富金是否为成矿的必要条件?这些问题至今仍悬而未决。随着研究工作的深入与大量新资料的积累,前两种观点逐渐被越来越多的研究者所接受。第1种变质流体成因模式认为造山型金矿床形成于造山事件中的进变质过程,随

基金项目:国家自然科学基金项目(No.41973044)。

作者简介:马盈(1996—),男,博士研究生,主要从事金矿床的科学研究工作。E-mail: maying@cug.edu.cn

* 通讯作者:蒋少涌(1964—),E-mail: shyjiang@cug.edu.cn

引用格式:马盈,蒋少涌,2022.造山型金矿是如何形成的?地球科学,47(10):3894—3896。

Citation:Ma Ying, Jiang Shaoyong, 2022. How did the Orogenic Gold Deposits Form? *Earth Science*, 47(10): 3894—3896.

着岩石圈演化,不同矿床的物质来源不尽相同,但含金流体均由地壳岩石自绿片岩相向角闪岩相的进变质脱水产生,该过程中黄铁矿向磁黄铁矿转变释放了大量的 Au(Phillips and Powell, 2009). 这一模式很好地解释了广泛分布在绿片岩相地层中的造山型金矿床,但无法解释众多高温深成的太古代和显生宙金矿床. 地幔流体成因模式则强调俯冲洋壳及上覆沉积物或者交代富集岩石圈地幔的脱挥发分可能是造山型金矿床统一的成矿流体来源(Groves *et al.*, 2020). 在我国胶东白垩纪造山型金成矿省,含矿围岩在成矿前约 2 Ga 就已经历了高级变质作用,在成矿时,这些岩石早已脱水和挥发分,无法提供成矿物质与成矿流体,而地幔流体成因模式很好地解释了这些金矿床的成因(毛景文等, 2002; 蒋少涌等, 2009).

“运”:在造山型金矿床中,成矿热液为 H-C-S 体系, pH 值为近中性或弱碱性,氧逸度一般较低,金最可能以 $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ 络合物的形式迁移. McLeish *et al.* (2021) 发现金可以作为胶体颗粒在流体中运移并以絮凝的方式沉淀在纳米级方解石细脉中,从而形成超高品位金矿脉. 那么在造山型金矿床中、特别是一些高品位的矿床中,金是否可能以胶体形式在成矿流体中运移呢?

“储”:经历了复杂的运移过程后,金又是怎样在容矿空间内高效沉淀,形成具有工业价值的金矿体呢? 目前普遍认为流体冷却、压力降低导致的流体沸腾或不混溶、水-岩相互作用以及流体混合过程可能导致金的沉淀. 而热力学模拟表明,温度、压力的变化对 Au 溶解度的影响相对有限,而不论上述何种过程,只要可以造成流体中 H_2S 含量降低、氧逸度升高或 pH 值发生改变,破坏 $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ 络合离子的稳定性,即可触发 Au 的高效沉淀.

2 科学价值

造山型金矿床是全球最重要的金矿类型,它们一般产于汇聚板块边缘的增生或碰撞造山带,其形成可以与造山带的演化及超大陆聚合紧密联系在一起,是研究造山带演化以及造山过程中资源效应的天然实验室. 造山型金矿床成矿过程中涉及的变质作用或地幔脱气等深部过程还可以释放大

CO_2 , 可能引发地球气候环境的改变. 通过深入研究造山型金矿床形成的地质过程,金的迁移、富集与沉淀机制,有望解决造山型金矿床形成过程中“源、运、储”3 个基本问题,最终回答“造山型金矿是如何形成的?”这一关键科学问题. 该科学问题的正确解答将极大地丰富金成矿理论,为矿床学研究与金矿勘查提供新思路.

3 发展前景

近年来,随着原位微区分析技术的发展,为精细、翔实刻画造山型金矿床流体成矿机理和金的迁移-富集过程提供了可能. 在今后的工作中,在野外地质调查的基础上,应加强利用最新的原位微区分析技术开展宏观到微观尺度的调查,精确厘定造山型金矿床的成矿时代,理清成矿与围岩变质作用、岩浆活动和构造变形之间的关系,揭示区域构造演化对造山型金矿床成矿作用的控制,与实验模拟和理论计算相结合,揭示造山型金矿床“源-运-储”的复杂过程、反演和追踪金等成矿元素“源-运”的关键机制,精细刻画成矿过程,揭示矿床成因. 深刻理解造山型金矿床的成因机制,对于正确建立找矿模型,指导找矿勘查也具有重要意义.

参考文献

- Goldfarb, R. J., Baker, T., Dubé, B., et al., 2005. Distribution, Character, and Genesis of Gold Deposits in Metamorphic Terran. One Hundredth Anniversary Volume, 407-450.
- Goldfarb, R. J., Qiu, K. F., Deng, J., et al., 2019. Orogenic Gold Deposits of China. SEG Special Publication, 22: 263-324.
- Goldfarb, R. J., Groves, D. I., 2015. Orogenic Gold: Common or Evolving Fluid and Metal Sources through Time. *Lithos*, 233: 2-26.
- Groves, D. I., Goldfarb, R. J., Gebre-Mariam, M., et al., 1998. Orogenic Gold Deposits: a Proposed Classification in the Context of Their Crustal Distribution and Relationship to other Gold Deposit Types. *Ore Geology Reviews*, 13 (1): 7-27.
- Groves, D. I., Santosh, M., Deng, J., et al., 2020. A Holistic Model for the Origin of Orogenic Gold Deposits and Its

- Implications for Exploration. *Mineralium Deposita*, 55 (2): 275–292. <https://doi.org/10.1007/s00126-019-00877-5>
- Kerrich, R., Goldfarb, R., Groves, D., et al., 2000. The Characteristics, Origins, and Geodynamic Settings of Super-giant Gold Metallogenic Provinces. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 43(1): 1–68. <https://doi.org/10.1007/BF02911933>
- McLeish, D. F., Williams-Jones, A. E., Vasyukova, O. V., et al., 2021. Colloidal Transport and Flocculation are the Cause of the Hyperenrichment of Gold in Nature. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(20): e2100689118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2100689118>
- Phillips, G. N., Powell, R., 2009. Formation of Gold Deposits: Review and Evaluation of the Continuum Model. *Earth-Science Reviews*, 94(1–4): 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.02.002>
- Weatherley, D. K., Henley, R. W., 2013. Flash Vaporization during Earthquakes Evidenced by Gold Deposits. *Nature Geoscience*, 6(4): 294–298. <https://doi.org/10.1038/ngeo1759>
- 翟裕生, 王建平, 2011. 矿床学研究的历史观. *地质学报*, 85 (5): 603–611.
- 蒋少涌, 戴宝章, 姜耀辉, 等, 2009. 胶东和小秦岭: 两类不同构造环境中的造山型金矿省. *岩石学报*, 25(11): 2727–2738.
- 毛景文, 赫英, 丁梯平, 2002. 胶东金矿形成期间地幔流体参与成矿过程的碳氧氢同位素证据. *矿床地质*, 21(2): 121–128.