

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2022.849>



世界著名的华南钨锡成矿省是如何形成的？

赵葵东^{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 430078
2. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

钨和锡属于稀有金属, 是十分重要的战略性矿产, 是洁净能源、信息产业、航天航空和国家安全等许多重要高新技术领域不可或缺的关键金属。钨锡矿床在世界上分布很不均一, 其中华南地区是世界上最重要的钨锡成矿省之一, 钨和锡的储量分别占到世界的 60% 和 20% 以上。在很小的范围内为何能产出如此巨量的钨锡矿床, 一直是备受矿床学家关注的问题。前人已对华南钨锡矿床的时空分布规律、地质特征及成矿机制等开展过大量的研究工作(蒋少涌等, 2020), 但仍有许多科学问题没有解决。华南花岗质岩浆演化过程中是如何造就世界最大的钨锡成矿省的? 钨锡成矿的关键地质过程和主要控制因素, 钨锡的迁移、富集和沉淀机制, 是矿床研究的前沿领域和难点问题之一。

1 核心思想

以地壳平均含量算, 钨和锡需要富集约 800 倍以上才能形成有工业价值的矿床。传统上, 将钨锡矿床的分布不均归结于“地球化学继承性”, 即认为原始地壳可能存在不均一性。但后续的研究工作逐渐排除了这种观点, 将钨锡的富集成矿主要归结于花岗质岩浆的结晶分异作用和之后的热液流体作用(Lehmann, 2021)。华南的成熟地壳基底是不是华南巨量钨锡成矿作用发生的一个必备的基本条件, 目前还不得而知。大部分的原生钨锡矿床均与花岗岩密切相关, 这些花岗岩不仅仅提供了大量成

矿金属物质来源, 也有可能提供了容矿空间, 因此, 这类花岗岩被统称为含钨或含锡花岗岩。对相关含矿花岗岩的研究基本上同步了整个钨锡成矿理论的研究。华南是著名的大花岗岩省, 但只有少量的花岗岩能产出钨锡矿床。到目前为止, 对于哪些因素控制含矿花岗岩的形成仍存在不同的认识。以往的研究只强调结晶分异作用对含矿花岗岩的形成具有重要的意义, 近年来越来越多的研究表明初始富集的地壳源区以及部分熔融过程对含矿花岗岩的形成也具有明显的控制作用(Wolf *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2021)。华南虽然同时富集钨锡矿床, 但钨矿床和锡矿床也存在分区分离的特点(Yuan *et al.*, 2019; Zhao *et al.*, 2022a), 钨和锡的共生和分离受什么因素控制? 也是急需进一步解决的问题。

花岗质岩浆演化到晚期, 富含金属的岩浆热液流体出溶, 最终在不同的构造或围岩环境下形成不同类型的矿床。钨锡在岩浆和热液之间的分配, 控制了初始流体中成矿金属的富集。目前一般认为在岩浆流体出溶过程中, 钨锡都是倾向于在流体中富集, 但对于不同性质岩浆体系下钨锡具体的分配系数还有待进一步研究来确定(Audétat, 2019; Zhao *et al.*, 2022b)。锡在流体中的迁移一般认为是以 Sn^{2+} 与 Cl^- 的络合物形式为主, 但最近的一些工作也表明锡也可以以 Sn^{4+} 的络合物形式存在(Schmidt, 2018)。钨和锡在不同性质热液流体中的迁移形式还需要更多的研究来进一步确定(Carocci *et al.*, 2022)。钨锡矿石矿物从热液流体中的沉淀主要是由温度降低、压力降低、pH 值升高和氧逸度升高等因

基金项目: 国家自然科学基金项目(No.921623234)。

作者简介: 赵葵东(1978—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事矿床地球化学和钨锡矿床成因机制的研究。E-mail: zhaokd@cug.edu.cn

引用格式: 赵葵东, 蒋少涌, 2022. 世界著名的华南钨锡成矿省是如何形成的? 地球科学, 47(10): 3882—3884.

Citation: Zhao Kuidong, Jiang Shaoyong, 2022. How to Form the Famous South China W-Sn Province? *Earth Science*, 47(10): 3882—3884.

素决定.因此,成矿流体的自然冷却、流体沸腾、外来流体加入以及水岩反应都有可能引发钨锡从流体中大量沉淀.如何精确确定哪种机制导致钨锡的沉淀以及精细刻画钨锡成矿过程一直是矿床学家研究的核心科学问题(Audétat *et al.*, 1998; Zhao *et al.*, 2021a, 2021b).

合理的矿床成因分类方案不但能反映矿床的富集规律和形成机制,而且对找矿勘探和资源利用具有重要指导意义.目前国内外对原生钨锡矿床的分类并无统一的标准(Mao *et al.*, 2019).华南几乎富集各种不同类型和矿物组合的钨锡矿床,有望通过对华南钨锡矿床成因机制的研究提出一套合理的成因分类标准.同时,形成不同类型钨锡矿床的主要控制因素是什么,也是有待进一步解决的一个关键问题.钨锡矿床是否产出于特定的构造环境下,目前学术界也没有定论.华南钨锡矿床的形成时代跨度大,从元古宙到新生代都有,对其形成的构造环境仍存在很大的争议.近年来,高精度的锡石和黑钨矿原位 U-Pb 同位素定年技术的成功开发,为精确确定华南钨锡矿床形成的时空分布规律提供了技术支撑(Zhang *et al.*, 2022),可为进一步限定和约束华南钨锡矿床形成的构造环境提供关键证据.

2 科学价值

钨锡富集成矿的难度和找矿难度都较大,而华南在很小的范围内聚集了世界上最重要的钨锡矿产资源.并且,华南的钨锡矿床类型多样,形成的时代跨度大.对华南巨量钨锡成矿作用的研究有助于揭示钨锡在岩浆和热液中的地球化学性质,有助于完善钨锡成矿理论,推动矿床学的发展,同时相关研究成果也有助于评价我国其他地区乃至全球钨锡矿产资源的潜力.

3 发展前景

最近建立起来的新的矿床地球化学分析方法,特别是原位微区的分析方法(如锡石和黑钨矿原位 U-Pb 同位素定年、锡石原位微量元素、锡石的 Sn-O 同位素分析、锡石和黑钨矿中流体包裹体温度盐度和成分分析等)有望在钨锡成矿作用研究方面发挥重要的作用.世界上的钨锡矿床主要分布在华南、东南亚、欧洲、南美等 4 个成矿省,对华南钨锡

矿床的研究有利于建立区域成矿与重大地质事件的耦合关系,这对于理解其他成矿省的成因也具有重要的意义.

参考文献

- Audétat, A., 2019. The Metal Content of Magmatic-Hydrothermal Fluids and Its Relationship to Mineralization Potential. *Economic Geology*, 114(6): 1033–1056. <https://doi.org/10.5382/econgeo.4673>
- Audétat, A., Günther, D., Heinrich, C.A., 1998. Formation of a Magmatic-Hydrothermal Ore Deposit: Insights with LA-ICP-MS Analysis of Fluid Inclusions. *Science*, 279(5359): 2091–2094. <https://doi.org/10.1126/science.279.5359.2091>
- Carocci, E., Truche, L., Cathelineau, M., et al., 2022. Tungsten (VI) Speciation in Hydrothermal Solutions up to 400 °C as Revealed by In-Situ Raman Spectroscopy. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 317: 306–324. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2021.11.004>
- Lehmann, B., 2021. Formation of Tin Ore Deposits: A Reassessment. *Lithos*, 402/403: 105756. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2020.105756>
- Li, Q., Zhao, K. D., Palmer, M. R., et al., 2021. Exploring Volcanic-Intrusive Connections and Chemical Differentiation of High Silica Magmas in the Early Cretaceous Yanbei Caldera Complex Hosting a Giant Tin Deposit, Southeast China. *Chemical Geology*, 584: 120501. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2021.120501>
- Mao, J. W., Ouyang, H., Song, S., et al., 2019. Geology and Metallogeny of Tungsten and Tin Deposits in China. Society of Economic Geologists Special Publications, 22: 411–482.
- Schmidt, C., 2018. Formation of Hydrothermal Tin Deposits: Raman Spectroscopic Evidence for an Important Role of Aqueous Sn(IV) Species. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 220: 499–511. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2017.10.011>
- Wolf, M., Romer, R.L., Franz, L., et al., 2018. Tin in Granitic Melts: The Role of Melting Temperature and Protolith Composition. *Lithos*, 310/311: 20–30. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2018.04.004>
- Yuan, S.D., Williams-Jones, A.E., Romer, R.L., et al., 2019. Protolith-Related Thermal Controls on the Decoupling of Sn and W in Sn-W Metallogenic Provinces: Insights from the Nanling Region, China. *Economic Geology*, 114(5): 1005–1012. <https://doi.org/10.5382/econgeo.4669>

- Zhang, Q., Zhao, K. D., Li, W. Q., et al., 2022. Timing and Tectonic Setting of Tin Mineralization in Southern Myanmar: Constraints from Cassiterite and Wolframite U-Pb Ages. *Mineralium Deposita*, 57(6): 977–999. <https://doi.org/10.1007/s00126-021-01083-y>
- Zhao, H. D., Zhao, K. D., Palmer, M. R., et al., 2021a. Magmatic-Hydrothermal Mineralization Processes at the Yidong Tin Deposit, South China: Insights from in Situ Chemical and Boron Isotope Changes of Tourmaline. *Economic Geology*, 116(7): 1625–1647. <https://doi.org/10.5382/econgeo.4868>
- Zhao, K. D., Zhang, L. H., Palmer, M. R., et al., 2021b. Chemical and Boron Isotopic Compositions of Tourmaline at the Dachang Sn-Polymetallic Ore District in South China: Constraints on the Origin and Evolution of Hydrothermal Fluids. *Mineralium Deposita*, 56(8): 1589–1608. <https://doi.org/10.1007/s00126-021-01045-4>
- Zhao, P. L., Chu, X., Williams-Jones, A. E., et al., 2022a. The Role of Phyllosilicate Partial Melting in Segregating Tungsten and Tin Deposits in W-Sn Metallogenic Provinces. *Geology*, 50(1): 121–125. <https://doi.org/10.1130/g49248.1>
- Zhao, P. L., Zajacz, Z., Tsay, A., et al., 2022b. Magmatic-Hydrothermal Tin Deposits Form in Response to Efficient Tin Extraction Upon Magma Degassing. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 316: 331–346. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2021.09.011>
- 蒋少涌, 赵葵东, 姜海, 等, 2020. 中国钨锡矿床时空分布规律、地质特征与成矿机制研究进展. *科学通报*, 65(33): 3730–3745.