

# 云南古元古代大红山矿床中磁铁矿 LA-ICP-MS 地球化学特征研究

王艳军<sup>1</sup>, 朱维光<sup>1\*</sup>, 柏中杰<sup>1</sup>, 钟宏<sup>1</sup>, 姚俊华<sup>1</sup>, 李晓春<sup>2</sup>

(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. 玉溪大红山矿业有限公司, 云南 玉溪 653405)

云南大红山铁铜矿床位于扬子地块西南缘的康滇地区(云南中部和四川南部),是中国西南部元古代康滇成矿带内的重要矿床之一。目前该矿床已探明的铁矿石资源量为 458.3 Mt (Fe 41.0%),铜金属量为 1.35 Mt (Cu 0.78%),伴生有 Au (16 t) + Ag (141 t) + Co (18156 t) 等多金属资源(N9GBYBGMR, 1983)。铜矿体和铁矿体分别赋存于大红山群中部的曼岗河组和红山组中,曼岗河组以碳酸盐-片岩为主,而红山组以变质火山岩为主。这些矿体主要以层状和似层状整合产出于地层中,其中铁矿石常见块状、条带状及稠密浸染状,而铁铜矿石以浸染状、网脉状等产出。前人研究得到铁矿体的赋矿火山岩锆石 U-Pb 年龄为 1.68 Ga (Greentree and Li, 2008),切穿矿体的基性侵入体年龄为 1.66 Ga (Zhao et al., 2017)。因此,大红山铁矿体形成时代约为 1.68~1.66 Ga。早期研究认为该矿床具有海相火山岩喷流沉积的特征(钱锦和等, 1990),而近年来研究更强调基性侵入岩的贡献(Chen et al., 2015; Zhao et al., 2017)。为更深入探究不同矿体中磁铁矿与基性岩浆之间的成因联系,本研究选择大红山矿床中不同矿体中磁铁矿为研究对象,运用 LA-ICP-MS 技术对磁铁矿主量和微量进行测定,从而限定矿体形成过程。

样品按照矿化类型可以分为三类:铁矿石、铁铜矿石和火山岩,其中前两种为矿石,后者为弱矿化围岩。矿石(大部分样品)和火山岩中磁铁矿的 Ti-V 含量与热液磁铁矿接近,但火山岩中磁铁矿 Ti/V 比值保留有岩浆特征。部分矿石样品显示出高 V 特征( $\sim 10000 \times 10^{-6}$ ),远高于普通样品(矿石 V 最高 $\sim 2000 \times 10^{-6}$ ,大多数低于  $1000 \times 10^{-6}$ ;火山岩:  $1000 \times 10^{-6} \sim 3000 \times 10^{-6}$ )。

前人研究认为影响磁铁矿中微量元素含量的因素主要包括:(1)流体成分,(2)温度,(3)氧逸度,(4)围岩性质和(5)共生矿物组合等(Nadoll et al., 2014)。已有研究成果显示,康滇成矿带内铁铜矿床的铜成矿阶段形成温度和氧逸度分别低于、高于铁成矿阶段(Jin et al., 1998; Chen et al., 2015)。对普通矿石样品来说,倾向于在低温演化流体中富集的元素(Cu、Mn等)(Ilton et al., 1989)在铁矿体与铁铜矿体磁铁矿中的含量无明显差别,表明温度对不同成矿阶段的磁铁矿微量元素影响很小。Sn-V等变价元素在铁铜矿体与铁矿体磁铁矿中的含量很相似,同时 V 与非变价元素 Ga 等有正相关性,说明氧逸度不是控制磁铁矿成分的主要因素。

按围岩岩性可将普通矿石分为火山岩容矿、片岩容矿和碳酸盐容矿三类样品。沉积岩容矿样品的磁铁矿与火山岩容矿样品的磁铁矿在 V-Ni 含量上重合,表明火山岩围岩没有明显改变磁铁矿中 V-Ni 含量。沉积岩中磁铁矿的 Ti 含量略高于火山岩中磁铁矿的 Ti 含量,但 Ti-Al 的线性关系不支持沉积岩中原生钛铁氧化物对磁铁矿成分有较大的影响。碳酸盐容矿磁铁矿没有表现出高含量的 Mg-Mn 值,暗示流体与碳酸盐的水岩反应并不强烈。因此,不同围岩的磁铁矿微量元素特征表明围岩对成矿流体影响很小。

铁矿石中主要矿物组合为磁铁矿、赤铁矿、钠长石、石英、磷灰石等,铁铜矿石中主要矿物组合为磁铁矿、黄铜矿、黄铁矿、白云石、钠长石等。倾向于富集在磁铁矿中的元素(Ti、V、Cr、Co、Ni、Mo、Cu、Zn等)在磁铁矿中的分配系数远大于钠长石、石英、磷灰石、白云石等脉石矿物中的分配系数(Chen et al., 2015)。因此,磁铁矿与这些矿物共生不会影响这些元素在磁铁矿中的含量。镜下观察表明,铁矿石中赤铁矿是磁铁矿后期氧化产物,有报道称赤铁矿相比于磁铁矿在(Ca+Al+Mn)和(Ti+V)含量上有所降低(Dupuis et al., 2011),但其对原生磁铁矿微量元素的影响可以忽略。硫或硫化物会导致共生磁铁矿中

基金项目: 国家自然科学基金项目(批准号: 41572074)

作者简介: 王艳军,男,1988年生,博士研究生,主要从事矿床地球化学领域研究。E-mail: wangyanjun@mail.gyig.ac.cn

\* 通讯作者, E-mail: zhuweiguang@vip.gyig.ac.cn

亲硫元素 (Ni、Co、Mo、Cu、Zn 等) 元素强烈亏损 (Dare et al., 2014), 但这种现象并未体现在铁矿体和铁铜矿体的磁铁矿中。可见, 矿物组合不明显影响磁铁矿中微量元素。

上述讨论说明围岩、矿物组合、成矿流体的温度和氧逸度并不是控制大红山铁铜矿床中磁铁矿成分的主要因素, 所以该矿床的磁铁矿微量元素特征可以反映流体化学成分。磁铁矿的主要元素蛛网图中, 普通矿石样品显示出相似的配分模式, 均表现出 Ti-Mn-Mg 的亏损, 说明各矿体成矿流体化学成分相似。同时, 铁铜矿体磁铁矿无亲硫元素亏损, 暗示铁铜矿石中磁铁矿和硫化物可能不是同一流体沉淀产物。在单个矿体 (如矿体 III-2) 中, 二元图 (V vs. Ga、V vs. Ni 等) 有明显正相关关系, 暗示流体在成分上有轻微的演化趋势。

该矿床中高 V 磁铁矿可能有两种形成机制: ①成矿流体与基性火山岩局部反应沉淀: 此种机制可以解释火山岩中磁铁矿的微量元素特征, 但远不能形成高品位 (75%)、高 V ( $10000 \times 10^{-6}$ ) 磁铁矿矿石; ②高盐度海相火山岩机制: 红海的高盐度环境中存在类似的高  $V_2O_3$  (1.45%) 低 Ti 磁铁矿, 是海水与火山岩作用产物 (Jadwab et al., 1989)。高 V 磁铁矿即产出于碳酸盐和片岩中, 大红山群中有大量海相碳酸盐沉积, 其片岩中含丰富的碳酸盐矿物 (钱锦和等, 1990)。此外, 铜矿体成矿流体也有高盐度特征 (Wu et al., 2008)。因此, 高 V 磁铁矿可能形成于类似于红海的海相环境中。

综上所述, 矿石磁铁矿微量元素暗示矿体可能形成于海相环境中, 矿体中铁的物质来源可能为火山岩。火山岩中磁铁矿、高 V 矿石和普通矿石可能分别代表铁质出溶、流体在低氧逸度下早期沉淀和主成矿期沉淀产物。

## 参 考 文 献:

- 钱锦和, 沈远仁. 1990. 云南大红山古火山岩铁铜矿, 北京: 地质出版社.
- 金明霞, 沈苏. 1998. 四川会理拉拉铜矿床流体特征及成矿条件研究. 地质科技情报, 17: 45-48.
- N9GBYBGM (No. 9 Geological Brigade of the Yunnan Bureau of Geology and Mineral Resources), 1983. Report of exploration and prospecting of the Dahongshan iron and copper deposits, Xiping County, Yunnan Province: Unpublished report, prepared for Chinese government, 377 (in Chinese).
- Ilton E S, Eugster H P. 1989. Base metal exchange between magnetite and chloride-rich hydrothermal fluid. *Geochim Cosmochim Acta* 53:291-301
- Jadwab J, Blanc G, Boulegue J. 1989. Vanadiferous minerals from the Nereus Deep, Red Sea, Terra Research, 188-194.
- Greentree, M.R., and Li, Z.-X., 2008. The oldest known rocks in southwestern China: SHRIMP U-Pb magmatic crystallisation age and detrital provenance analysis of the Paleoproterozoic Dahongshan Group: *Journal of Asian Earth Sciences*, 33: 289-302.
- Wu, K.W., Zhong, H., Zhu, W.G., Leng, C.B. et al., 2008. Study on ore-forming fluid of the Dahongshan stratiform copper deposit, Yunnan, China: *Acta Petrologica Sinica*, 24: 2045-2057 (in Chinese with English abstract).
- Dupuis C, Beaudoin G, 2011. Discriminant diagrams for iron oxide trace element fingerprinting of mineral deposit types. *Mineral Deposita*, 46:319-335
- Nadoll P, Angerer T, Mauk J L, et al. 2014. The chemistry of hydrothermal magnetite: a review. *Ore Geol Rev*, 61: 1-32.
- Dare S A S, Barnes S J, Beaudoin G, et al. 2014. Trace elements in magnetite as petrogenetic indicators. *Mineral Deposita*. doi: 10.1007/s00126-014-0529-0.
- Chen, W. T., Zhou M.-F., Gao J.-F., et al., 2015. Geochemistry of magnetite from Proterozoic Fe-Cu deposits in the Kangdian metallogenic province, SW China. *Mineralium Deposita* 50(7): 795-809.
- Zhao Xin-Fu, Zhou Mei-Fu, Su Zhi-Kun, et al., 2017. Geology, Geochronology, and Geochemistry of the Dahongshan Fe-Cu-(Au-Ag) Deposit, Southwest China: Implications for the Formation of Iron Oxide Copper-Gold Deposits in Intracratonic Rift Settings: *Economic Geology*, 112: 603-628.