

# 云南富宁洞哈铁矿磁铁矿微量元素地球化学特征

熊风<sup>1,2</sup>, 陶琰<sup>1\*</sup>, 邓贤泽<sup>1,2</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. 中国科学院大学, 北京, 100049)

磁铁矿 ( $\text{FeFe}_2\text{O}_4$ ) 作为尖晶石族最常见的矿物, 广泛存在于各种岩浆岩、变质岩、沉积岩和不同类型矿床中 (Dupuis et al., 2011)。磁铁矿中含有多种微量元素, 如 Al、Ti、Mg、Mn、Zn、Ca、Cr、V、Ni、Co、Ga 等。研究表明, 磁铁矿的微量元素组成主要受其形成时的物理化学条件如流体/熔体的化学成分、温度、压力、pH 值、氧逸度、硫逸度等多种因素的影响。因此, 研究磁铁矿的微量元素组成可以指示成矿时的物理化学条件, 示踪成矿物质来源, 揭示矿床的成因和演化等。

洞哈铁矿位于富宁县城南部约 8 km 处, 矿区面积 0.79 km<sup>2</sup>, 矿石资源量 (332+333) 28.99 万吨。矿体主要呈层状、似层状赋存于辉绿岩和二叠系灰岩的接触带矽卡岩中。磁铁矿是主要的矿石矿物, 含量约 70wt%, 主要以稠密浸染状形式产出, 其次有钛铁矿、黄铁矿等 (尹红光等, 2008)。磁铁矿多呈半自形、它形粒状, 颗粒大小相差较大, 一般在 5~600  $\mu\text{m}$ , 相比而言内接触带中磁铁矿的晶形发育较好。本文系统采集了产于内接触带和外接触带的铁矿石, 并对磁铁矿进行了 LA-ICP-MS 微量元素分析, 分析结果显示: 该矿床磁铁矿的微量元素含量整体上变化比较大, 如 Mg ( $1000 \times 10^{-6} \sim 10000 \times 10^{-6}$ )、Al ( $2200 \times 10^{-6} \sim 23000 \times 10^{-6}$ )、Mn ( $500 \times 10^{-6} \sim 10000 \times 10^{-6}$ )、V ( $1 \times 10^{-6} \sim 260 \times 10^{-6}$ )、Ti ( $0.5 \times 10^{-6} \sim 11000 \times 10^{-6}$ )、Cr ( $1 \times 10^{-6} \sim 200 \times 10^{-6}$ )、Ca ( $10 \times 10^{-6} \sim 10000 \times 10^{-6}$ )、Zn ( $100 \times 10^{-6} \sim 5000 \times 10^{-6}$ )、Ga ( $1 \times 10^{-6} \sim 40 \times 10^{-6}$ )。

在磁铁矿-赤铁矿成因类型判别图解上 (图 1), 洞哈铁矿磁铁矿的数据都投影在矽卡岩区域内, 说明磁铁矿的成因类型为矽卡岩型, 与前期工作中对矿床成因类型的判定一致。

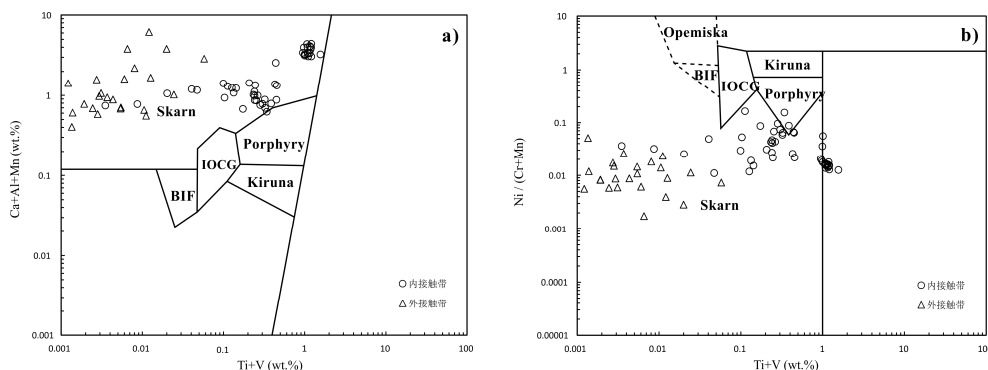


图 1 磁铁矿中 (a) (Ti+V) vs. (Ca+Al+Mn) 和 (b) (Ti+V) vs. Ni/(Cr+Mn)  
(据 Dupuis et al., 2011; Chung et al., 2015)

内、外接触带中的磁铁矿表现出不同的微量元素地球化学特征: 内接触带中磁铁矿富 Ti、V、Ni、Co、Cr、Ga 等, 这些元素通常在岩浆型磁铁矿中更易富集; 外接触带中的磁铁矿富 Ca、Mn 等在碳酸盐岩中更易富集的元素而贫 Ti、V、Ni、Cr 等。研究发现造成这种特征变化的原因可能是: (1) 内接触带中磁铁矿的形成主要受岩浆热液化学组成的控制; 而外接触带中磁铁矿的形成除受岩浆热液的影响

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目 (批准号: 2012CB416804)

作者简介: 熊风, 女, 1989 年生, 博士研究生, 主要从事矽卡岩型矿床研究. E-mail: xiognfeng@vip.gyig.ac.cn

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

响外, 还明显受围岩地层化学组成的影响, 其 Ca、Mn 等元素的富集是岩浆热液与围岩碳酸盐岩相互作用的结果, 而 Ni、Ti、V 及 Ga 等元素的亏损则可能和这类磁铁矿形成于较低的水/岩比条件有关(通常外接触带比内接触带的水/岩比要低得多)(胡浩等, 2014)。(2) 一些矿物是和磁铁矿同时结晶形成的, 由于分配系数的不同, 也会影响磁铁矿中某些微量元素的含量。例如在含硫化物岩浆和热液系统中, Co、Ni、Zn、Pb 等元素既可能会进入磁铁矿中也可能进入硫化物相中。外接触带中磁铁矿的 Co、Ni 含量下降则可能是由和磁铁矿同时结晶的黄铁矿造成的。(3) 温度变化, 不仅元素的分配系数受温度的控制, 而且一些元素的活化迁移也同样受温度的影响, 如 Ti、Al 等。在磁铁矿温度判别图解上(图 2), 发现内接触带中磁铁矿形成时的温度相对高于外接触带。Ti、Al 是相对高温下更易活化迁移的元素, 而该矿床内接触带中磁铁矿的 Ti、Al 含量明显高于外接触带(图 3), 进一步证实了该观点, 这与矽卡岩内带主要由较高温矿物组成、外带主要由高-中温矿物组成的地质事实吻合。

综上所述, 洞哈铁矿为矽卡岩型铁矿。矽卡岩内接触带中的磁铁矿富 Ti、V、Ni、Co、Cr、Ga, 外接触带中磁铁矿富 Ca、Mn。两种不同产状的磁铁矿表现出不同的微量元素地球化学特征, 这是内、外接触带不同的岩浆热液条件、物理化学条件以及围岩条件综合作用的结果。

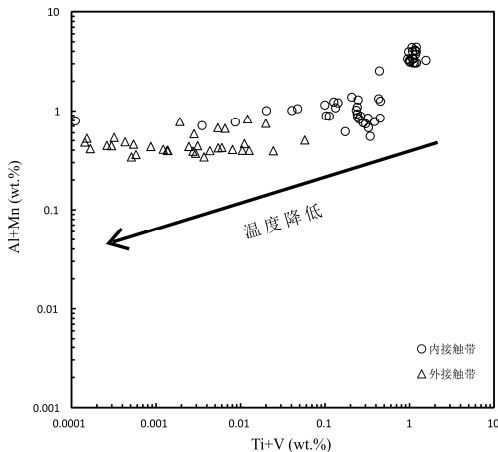


图 2 磁铁矿 Ti+V vs. Al+Mn (据 Nadoll et al., 2014)

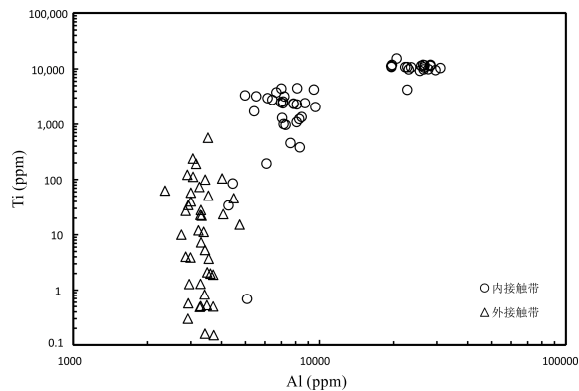


图 3 磁铁矿中 Al vs. Ti

## 参 考 文 献:

- 胡浩, 段壮, LUO Yan, 李建威. 2014. 鄂东程潮铁矿床磁铁矿的微量元素组成及其矿床成因意义. 岩石学报, 30(5): 1292-1306.
- 尹红光, 李飞, 张雪松, 刘小平. 2008. 富宁洞哈钛铁矿. 云南地质, 27(2): 223-228.
- Chung D, Zhou M F, Gao J F, Chen W T. 2015. In-situ LA-ICP-MS trace elemental analyses of magnetite: The late Palaeoproterozoic Sokoman Iron Formation in the Labrador Trough, Canada. *Ore Geology Reviews*, 65: 917-928.
- Dupuis C, Beaudoin G. 2011. Discriminant diagrams for iron oxide trace element fingerprinting of mineral deposit types. *Mineralium Deposita*, 46(4): 319-335.
- Huang X W, Gao J F, Qi L, Meng Y M, Wang Y C, Dai Z H. 2016. In-situ LA-ICP-MS trace elements analysis of magnetite: The Fenghuangshan Cu-Fe-Au deposit, Tongling, Eastern China. *Ore Geology Reviews*, 72: 746-759.
- Nadoll P, Angerer T, Mauk J L, French D, Walshe J. 2014. The chemistry of hydrothermal magnetite: A review. *Ore Geology Reviews*, 61: 1-32.