

# 挥发分组成和 C-H-O 同位素对攀西地区超大型钒钛磁铁矿矿床矿石成因的制约

邢长明<sup>1, 2</sup>, 王焰<sup>1\*</sup>, 张铭杰<sup>3</sup>

(1. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049;

3. 兰州大学 资源环境学院, 甘肃 兰州 730000)

四川攀西(攀枝花-西昌)地区出露攀枝花、红格和白马三个赋含超大型钒钛磁铁矿床的镁铁-超镁铁质层状岩体。这些含矿岩体的独特之处在于:大量的块状和半块状矿石发育在岩体的偏下部位,不同比例的硅酸盐矿物(斜长石、辉石、橄榄石及磷灰石)和磁铁矿组成的韵律条带发育在偏上部位。这一韵律特征与南非布什维尔德层状杂岩体主带和上部带发育的磁铁矿层特征一致。布什维尔德岩体赋含世界上已知最大的岩浆型钒钛磁铁矿床,磁铁矿含量 $> 50\%$ 的磁铁矿层累积厚度 20.42 m,但整个岩体厚约 6500 m。因此,磁铁矿层只占岩体很小的比例,被认为是典型分离结晶作用的结果。与布什维尔德岩体相比,攀西地区含矿岩体中矿体的相对比例很大,例如,攀枝花岩体底部的块状矿体厚近 60 m,之上的条带状矿石厚 80 ~ 400 m,平均 100 m,而攀枝花岩体的平均总厚度只有约 2,000 m。如此巨厚的磁铁矿体的成因目前是有争议的。

攀西地区的含矿岩体均不同程度侵入到震旦纪灯影组灰岩或古元古代河口组变质沉积-火山岩系中。有人认为围岩组分尤其是  $\text{CO}_2$  的加入可能是影响攀枝花岩体中磁铁矿相对其它矿物形成早晚的重要因素之一。Zhou 等认为,形成攀枝花岩体的岩浆可能与围岩反应产生了富  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$  的流体,导致岩浆不混熔分离形成了氧化物岩浆。Pang 等则认为碳酸盐岩围岩分解形成的  $\text{CO}_2$  流体有可能提供了导致磁铁矿中出熔的 ulvöspinel 组分向钛铁矿组分转变的氧来源。Ganino 等推测从围岩中释放的大量富  $\text{CO}_2$  流体增加了岩浆的氧逸度  $f(\text{O}_2)$ ,从而导致了磁铁矿的早期结晶。然而 Zhang 等认为攀枝花岩

体的地壳混染程度较低,流体不太可能通过岩浆-围岩交换进入岩浆。但目前存在的问题是:①没有直接的证据表明含矿岩体是否在形成过程中有外来  $\text{CO}_2$  流体的加入?②如果存在外来  $\text{CO}_2$  流体,其来源如何?③岩浆中是否还有其它类型的流体?针对这些问题,本次研究测定了攀西地区上述 3 个含矿岩体中不同类型矿石和岩石中四种主要组成矿物(磁铁矿、单斜辉石、斜长石和磷灰石)的挥发分组成和含量,利用 C-H-O 同位素追踪其来源,在此基础上探讨岩浆的挥发分组成与磁铁矿形成的关系。

结果显示,磁铁矿中的挥发分主要由  $\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{CO}_2$  等组成,而其它矿物的挥发分主要由  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2$  组成。C-H-O 同位素结果表明,800-1200 °C 阶段攀枝花( $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$  值平均为 -9.0‰,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_2}$  值平均为 19.1‰)、红格( $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$  值平均为 -13.5‰,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_2}$  值平均为 19.3‰)和白马岩体( $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$  值平均为 -7.7‰,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_2}$  值平均为 19.5‰)的 C-O 同位素组成介于玄武岩和灯影组灰岩或河口组沉积岩的 C-O 同位素组成之间,表明有围岩  $\text{CO}_2$  组分加入。400~800 °C 阶段 3 个岩体中  $\text{CO}_2$  的  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$  值明显降低(平均为 -13.7‰ ~ -17.9‰),  $\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_2}$  值变化不大(平均为 16.2‰ ~ 19.2‰),明显不同于玄武岩组分,而与沉积有机物组分接近。该阶段大量  $\text{H}_2\text{O}$  的释出以及较低的  $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$  值(-90‰ ~ -115‰)表明有更多来自围岩的流体加入。在整个加热过程中,磁铁矿的释气总量远远大于其它矿物:红格、白马和攀枝花岩体的磁铁矿平均释气总量分别为 4891、2996 和 1568  $\text{mm}^3/\text{g}$ ;而相应的其它矿物平均释气总量分别为 382、600 和 379  $\text{mm}^3/\text{g}$ ,这表明磁铁矿结晶时岩浆中更富挥发分流体相。

对于攀枝花岩体,Pang 等利用 MELTS 模拟

\* 通讯作者, E-mail: wang\_yan@gig.ac.cn

早期结晶的磁铁矿相时,选择起始岩浆中的  $H_2O$  含量为 1.5%, Ganino 等利用峨眉山玄武岩  $H_2O/Ce$  比值估算的岩浆中初始  $H_2O$  的含量为 0.2% ~ 0.7%。因此,我们推测,形成攀西含矿岩体的岩浆中  $H_2O$  的含量相对来讲是比较低的。为了对比,我们利用本次实验结果对形成攀枝花岩体的岩浆  $H_2O$  含量进行了估算。攀枝花岩体厚约 2 km,底部矿石和上部矿石分别厚约 60 m 和 100 m,因此估算磁铁矿石和辉长岩体在岩体中的比例大致为 8%和 92%。假定攀枝花岩体的侵位深度约为压力 500 MPa,热力学温度 1400 K(据 Pang 等和 Ganino 等),根据磁铁矿、斜长石和单斜辉石在岩石中的比例、矿物质量、 $H_2O$  在各矿物中的体积等分别计算出各矿物结晶时岩浆中的  $H_2O$  含量。当早期岩浆中有 10%

的  $H_2O$  进入晶体,斜长石和单斜辉石结晶时岩浆  $H_2O$  为 0.3%,磁铁矿开始结晶时岩浆  $H_2O$  为 1.4%;当岩浆中有 5%的  $H_2O$  进入晶体,则斜长石和单斜辉石结晶时岩浆  $H_2O$  为 0.5%,磁铁矿开始结晶时岩浆  $H_2O$  为 2.8%。计算结果表明,攀枝花岩体早期岩浆中的  $H_2O$  含量为 0.3% ~ 0.5%,与 Ganino 等的结果一致。

有 2 种原因可能造成了岩浆  $H_2O$  含量的变化,一是单斜辉石和斜长石等无水硅酸盐矿物早期大量结晶导致残余岩浆中富集  $H_2O$  等挥发分,二是大量来自围岩的流体加入。因此,磁铁矿中大量挥发分的存在说明其结晶可能晚于单斜辉石和斜长石等矿物,而不太可能是早期结晶形成的。