

# 白云鄂博铁-稀土矿床地球化学特征及成因探讨\*

杨晓勇<sup>1</sup>, 赖小东<sup>1</sup>, 柳建勇<sup>2</sup>, 温贵<sup>2</sup>

(1 中国科学技术大学矿床资源研究室, 安徽 合肥 230026; 2 包钢(集团)公司白云鄂博铁矿, 内蒙古 包头 014080)

白云鄂博矿床位于华北板块北缘, 多矿种富集, 稀土和铌为超超大型, 铁为大型, 还共生或伴生萤石、磷、钾等。

在白云鄂博矿床成因的研究上, 目前已积累了大量的岩石化学、稳定和放射成因同位素数据, 但对其成因的认识仍有多

种, 刘淑春等(1999)、章雨旭等(2009)曾有综述, 主要有火成岩浆、水成岩被交代、海底火山沉积、海底热水沉积。

本文在前人研究的基础上, 通过野外地质观察和室内镜下研究, 利用对白云岩及其周围的板岩的主、微量元素进行分析, 同时对其硫同位素进行测试和总结, 从而对其地球化学特征进行概括, 对赋矿白云岩及铁-稀土矿床成因进行了探索剖析。

## 1 矿床地质概况

白云鄂博矿床位于内蒙古包头市以北 150 km 处, 矿床东西长达 18 km, 分为主矿、东矿和西矿等矿段, 北侧的宽沟背斜和矿区内的白云向斜构成了矿区主要的构造格架。

白云鄂博矿区主要出露地层为白云鄂博群, 宽沟背斜轴部出露元古宇变质岩。白云鄂博群是一套厚度大、岩相变化大的一套岩系, 主要由石英岩、板岩、碳酸盐岩组成, 不整合于元古宇变质岩之上, 其时代主要有两种认识, 即中元古代或早古生代。章雨旭等(2008; 2009; 2010)论证认为其为早古生代。

## 2 元素地球化学

### 2.1 主量元素特征

比较白云鄂博矿床白云岩、板岩样品主量元素与 MgO 的关系图可以看出: 白云鄂博白云岩中 CaO-MgO 呈现较弱的正相关关系, 板岩的 CaO 和 MgO 都较稳定。在 FeOtot 的图上我们也能看出区别: 白云岩中铁含量除了明显高外, 其 MgO 与 FeOtot 存在一个弱的负相关关系, 这很好的符合了白云鄂博矿区有白云岩的地方不一定有铁矿、但铁矿体产于白云岩中这一地质事实。说明, 白云鄂博铁矿并不是和白云岩同时形成的, 而是在白云岩成岩后才成矿的, 说明其不是同生沉积铁矿床。

白云鄂博白云岩中 Na<sub>2</sub>O 大部分较低, 个别出现高值的, 可能与其中蚀变矿物的多寡有关; K<sub>2</sub>O 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 在板岩中含量都较高, 在白云岩中含量较少, 个别高的, 可能是由于和板岩的接触作用造成的。另外, 白云岩中 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量较高, 这和白云岩中含有大量的磷灰石有关。白云岩中的另一个特点是其中 MnO 和 MgO 具有弱的负相关。从上面的讨论可以看出, 白云鄂博白云岩在主要元素方面的特点不寻常, 有部分沉积作用的特点, 但又不完全等同, 这说明白云岩既不是典型的沉积岩, 且又不是像蚀变岩一样的成因(有人认为是火成成因)。并且可以看出, 白云岩可能经历过后期的蚀变作用。

白云鄂博矿床白云岩 CaO-MgO-(FeOtot+MnO) 分类图解可以得出, 一部分白云鄂博白云岩落在图中 I 区和 II 区, 而 I 区和 II 区与世界火成碳酸岩的分布范围重叠(Le Bas, 1977; Le Bas et al, 1996), 但也有很多样品远离 I 区和 II 区, 落入 FeOtot+MnO 端。由此可见, 白云鄂博白云岩与火成碳酸岩有不同, 把白云鄂博赋矿白云岩解释为热液交代成因较为合理, 交代流体来自地球深部, 那些落入火成碳酸岩范围的, 正是由于交代作用而产生; 那些铁含量较高的、有向 FeOtot+MnO 端演化趋势的, 是铁矿成矿作用的结果。同时, 在白云岩的 SrO-MnO 图解上可以得出, 白云鄂博赋矿白云岩既有沉积碳酸岩的特点, 又有火成碳酸岩的特征, 因此, 唯一合理的解释就是: 白云岩属深部热液交代成因, 所以才会有这样的特征。

### 2.2 微量元素特征

数十件微量元素分析结果及其标准化图解可以得出如下结论: 对于赋矿白云岩来说, 具有相同的微量元素分配模式, 只是在量上有所区别, 各样品近于平行的分布说明其来源的一致性, 都明显富 Ba、Th、Nb、REE、U、K、P, Zr 和 Ti 则出现负异常, 随着 REE 含量的增加, 微量元素的含量相应的有所增加。

赋矿白云岩的球粒陨石标准化和北美页岩标准化具有相同的微量元素分配模式, 与原始地幔和大陆地壳相比, 矿区白云岩的微量元素丰度大部分都比它们高, 也比矿区外围的微晶丘的高, 说明白云岩在形成过程中经历了较为强烈的分馏富集作

\*国土资源部公益性行业科研专项:“内蒙古白云鄂博铁稀土建造矿床(200911007-19)”和白云鄂博铁矿找矿专项经费共同资助成果  
第一作者简介 杨晓勇, 男, 教授, 博士生导师, 矿床地球化学专业。Email: xyyang555@163.com; 电话: 13365603331, 0551-3606871

用,但个别元素的含量甚至低于地幔的含量,表明可能同时有地壳和地幔物质参与了其形成过程。在球粒陨石标准化中,矿区白云岩出现P的负异常;而矿区白云岩的P的强烈负异常和白云岩中含有大量的磷灰石有关。在矿区白云岩中,LIL元素Ba和Sr的含量较高,K的含量较低,指示可能有流体活动,一种合理的解释是:矿白云岩则是在流体的交代作用下形成,不同流体对不同元素的选择性不一样,因此造成其特有的分布模式。矿区白云岩中Zr和Hf明显亏损,众所周知,岩浆碳酸盐中具典型的富Zr特征,Zr元素在地质及流体作用中较其它元素稳定,不容易得失。因此,我们可以推测,矿区白云岩不是直接的岩浆碳酸岩成因,二是热液交代成因。

白云鄂博白云岩中Nb的含量范围在 $45 \times 10^{-6} \sim 800 \times 10^{-6}$ 之间,平均 $227 \times 10^{-6}$ ,远远大于上地壳的Nb的含量( $26 \times 10^{-6}$ ; Weaver et al., 1984)。海水中的Nb的浓度极低,为 $0.005 \times 10^{-9} \sim 0.015 \times 10^{-9}$ ,Nb是相容元素也几乎不进入水系的水溶液中,因此海水中Nb的沉淀富集是几乎不可能的,所以矿区赋矿白云岩中Nb只有极少量是来自沉积作用,因此,矿区的Nb矿化无疑与热液作用有关。但是Ta的富集作用却十分微弱,显示了成矿热液强烈富Nb贫Ta的特征。

稀土元素测试结果显示:白云鄂博赋矿白云岩轻稀土高度富集,重稀土相对亏损,说明轻重稀土之间发生了强烈的分馏作用,因此显示出很高的LREE/HREE值(36.5~117.3)。并且,随着 $\Sigma$ REE的增加,分馏程度加强了。

白云鄂博赋矿白云岩样品(La/Sm)<sub>N</sub>的值落在0.79~33.83之间(平均为10.86),说明轻稀土元素间也出现了不同程度的分馏。 $\delta$ Eu除3个弱正异常外,大部分呈现出负异常,其值在0.43~0.93之间波动,说明样品来源和形成、演化条件相似; $\delta$ Ce值落0.07~1.52之间,平均为0.97,大部分呈现负异常,但也有几个表现为正异常,反映可能经历过不同程度的后期作用。

样品的REE标准化图解显示:在两种相关图上,赋矿白云岩的REE型式均属于轻稀土富集型,有弱的Eu的负异常,见有Ce的负异常、正异常和无异常,反应矿区成矿后期可能有地幔流体参与;硅质岩的 $\delta$ Ce值可以作为硅质岩沉积环境的判别标准。Muray等对美国西岸加利福尼亚侏罗纪—白垩纪燧石的REE研究表明,9个洋中脊环境燧石样品的 $\delta$ Ce值(北美页岩标准化)平均值为0.30,为明显的Ce负异常,3个大洋环境的燧石为中等Ce负异常, $\delta$ Ce平均为0.55,样品中硅质岩的 $\delta$ Ce特征说明该区为浅海正常沉积,而非来源于热水的产物。

碳酸岩墙的稀土元素和微量元素分配形式也与白云鄂博矿床细粒白云石大理岩十分相识(Yang et al., 2009),赋矿白云石大理岩能够与碳酸岩进行对比。说明碳酸岩流体侵入白云岩的过程中,提供了稀土元素来源。

与原始地幔和大陆地壳的稀土元素球粒陨石标准化图解相比,白云岩出现和地壳相似的REE型式,显示其地壳演化成熟度高,只是白云岩的稀土元素丰度高,亦说明白云岩在形成过程中经历了较为强烈的分馏富集作用;而板岩的标准化曲线和地壳的相比,轻稀土的含量大致相等,但重稀土的含量明显低了,甚至比地幔的HREE都低,并且板岩中出现强的Eu的正异常,可能和板岩的形成过程有关。

### 2.3 硫同位素特征

全岩的硫同位素组成不呈塔式模型分布,出现两个比较明显的峰值,一个在0‰左右,平均值为+0.02‰,具有深源特征;另一个在+8‰左右,平均值为+6.88‰,明显高于幔源硫。重晶石明显的比全岩富 $\delta^{34}\text{S}$ ,平均值为+12.50‰,低于前寒武纪海水硫酸盐硫同位素组成范围,落入前人统计的白云鄂博矿区重晶石的 $\delta^{34}\text{S}$ 分布范围(张宗清等, 2003)。由此我们认为,全岩及硫化物的硫有两个来源:地幔和海水,因混合得不均匀,形成双峰。重晶石硫主要是海水硫,但有幔源硫的加入。

## 3 流体交代作用证据

最近我们在野外考察中发现了白云鄂博矿区东矿H9板岩中存在大量的富含稀土矿物的交代现象,萤石条带和含方解石脉及团块,这些现象,都显示强烈流体交代及活动证据,深入的研究正在进行中。

## 4 结论

综合上述成果,我们认为,白云鄂博赋矿白云岩是沉积碳酸盐,后经受地幔碳酸岩浆及派生的富稀土的流体交代产物,流体交代作用发生在地壳层位,形成世界上独一无二白云鄂博铁-稀土建造以及区域上较大规模的Nb、K和萤石矿化。

志 谢 感谢章雨旭、彭阳、吕洪波、王俊、江少卿等一起进行野外工作,并就有关问题进行过热烈的讨论。

### 参 考 文 献

- 刘淑春,章雨旭,郝梓国,彭阳.1999.白云鄂博赋矿白云岩成因研究历史、问题及新进展[J].地质论评,45(9):477-486.  
杨晓勇,章雨旭,郑永飞,等.2000.白云鄂博赋矿白云岩与典型微晶丘碳酸盐同位素对比研究[J].地质学报,74(2):170-180.  
章雨旭,江少卿,张绮玲,赖晓东,彭阳,杨晓勇.2008.论内蒙古白云鄂博群和白云鄂博超大型稀土-铌-铁矿床成矿的年代[J].中国地质,35(6):1129-1137.  
章雨旭,柳建勇.2010.内蒙古达茂旗黑脑包恩林忽洞群中发现宏体化石[J].地质论评,56(1):123-124.  
章雨旭,杨占峰,张绮玲,柳建勇,吕洪波,姬志勇,彭阳,刘敬国,杨晓勇,等.2009.白云鄂博矿床及北京西山微晶丘地质地球化学研究[M].北京:地质出版社.1-112.