氧逸度对攀西地区红格层状岩体成矿环境的制约

廖名扬[1,2]，陶琰[1*]，宋谢炎[1]，李玉帮[1,2]，熊凤[1,2]

（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 550002；2. 中国科学院大学，北京 100049）

攀西地区是中国最重要的钒钛磁铁矿产出区之一（从柏林等，1988），在峨眉山大火成岩省中部分布有攀枝花、红格、白马及太和四大代表性的层状侵入体，均产出有超大型的钒钛磁铁矿矿床。巨厚的钛铁氧化物矿层主要出现在攀枝花、白马、太和岩体的下部带及红格岩体的中部带，然而攀西层状岩体内钒钛磁铁矿矿床的产出位置不同于国外一些典型大型层状岩体，如 Bushveld 岩体磁铁矿层产出在岩体的上部层位（Von Gruenewaldt et al., 1985），Skaergaard 钛铁氧化物也主要产出在中上部层位（McBirney et al., 1990）。Ganino（2008）和柏中杰等（2012）认为攀枝花和红格岩体钛铁氧化物早期结晶是因为玄武质母岩浆与石灰岩围岩相互作用形成富 CO_2 流体进入岩浆系统导致氧逸度升高。本文用红格侵入体钛铁氧化物电子探针数据及钛铁氧化物成分恢复方法对红格岩体橄榄石中钛铁氧化物包体结晶的氧逸度和温度试图进行恢复，进而对钛铁氧化物成矿的物理化学环境进行一定程度的限制，以探寻早期成矿是否为高氧逸度所导致。

1 地质背景

红格岩体侵入到震旦纪灯影组白云石灰岩及花岗片麻岩质的前寒武纪康定组杂岩当中，灯影组地层与岩体毗连部分有大理岩化出现（Zhang et al., 1999）。岩体位于近 N-S 向的昔格达断裂附近，区域内峨眉山玄武岩的分布明显的受到昔格达及龙帚山断裂的控制。侵入体由下至上分为三个带：底部橄榄辉石岩带（LOZ）,中部辉石岩带（MCZ）和上部辉长岩带（UGZ）。LOZ 主要由堆晶橄榄石、磁铁矿以及少量铬铁矿组成，在其下部分布有堆晶单斜辉石和角闪石，MCZ 情况则不太一样，其顶部为二辉橄榄岩和橄榄辉石岩，底部主要是含斜长石的单斜辉石岩，UGZ 则主要由中等粒状到似伟晶岩相的辉长岩和单斜辉石岩组成，其间含有少量二辉橄榄岩和钙长岩。MCZ 和 UGZ 中包含了 14～84 m 厚、300～1700 m 长的富钒钛的浸染状磁铁矿矿层。MGZ 带中矿层数量比 UGZ 更加丰富，钛磁铁矿和钛铁矿是红格岩体的主要矿物。

2 样品采集及分析方法

样品主要采集自红格岩体南部新九乡铜山剖面，样品类型包括橄辉岩、辉石岩、辉长岩以及浸染状矿石，样品分布在三个相带均有涉及，主要分布与 MCZ。

我们主要在中科院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室利用电子探针获得了橄榄石中包裹的磁铁矿和钛铁矿成分。

3 讨论和结果

攀西地区大型基性-超基性侵入体的矿层普遍赋存在岩体的中下部。对此，部分学者认为可能是高氧逸度环境下钛铁氧化物早期结晶成矿（卢记仁等，1988; Pang et al., 2008; Wang et al., 2008）。是否确实存在高氧逸度是一个十分关键的问题，我们决定试图恢复其成矿的氧逸度和温度。而我们此次氧逸度恢复工作的对象就选择了橄榄石中的钛铁氧化物包体来进行氧化物内部的成分恢复，这种再平衡通常以钛磁铁矿中钛铁矿出溶为重要特征，为了消除再平衡导致的成分改变所带来的影响，可以将出溶的钛铁矿组分按面积比例归并到磁铁矿主相当中得到原始钛磁铁矿的成分（Frost et al., 1988）。氧逸度恢复及成分归并参照（Buddington and Lindsley, 1964；Bohlen and Essene, 1977）的方法，具体步骤是：①通过电子探针和面积计算软件分别得到磁铁矿主相-钛铁矿出溶相以及钛铁矿主相-磁铁矿出溶相的组分和面积（A）；②根据 A 算出成分归并后的原始磁铁矿组分（B）分别与原生钛铁矿组分（B）或归并钛铁矿组分（B）配对，计算出

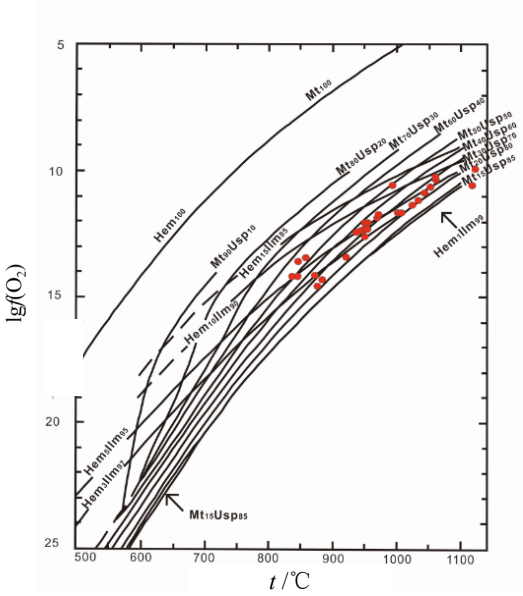
基金项目：国家重点基础研究计划（2012CB416804）矿床地球化学国家重点实验室创新课题（SKLODG-ZY125-06；201202）

作者简介：廖名扬，男，1985 年生，博士生，矿床学、岩石学、矿物学专业. E-mail：liaomingyang@mail.gyig.ac.cn

* 通讯作者，E-mail：taoyan@vip.gyig.ac.cn

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

原生磁铁矿和钛铁矿的固溶体端元比例（C）；③根据 C 可以得到两条等值线，这两条等值线在图 1 中的交点即是原生磁铁矿和钛铁矿结晶时的温度和氧逸度值（D）。得到估算的温度和氧逸度范围为（838～1121 ℃）及（FMQ-0.75－FMQ+0.28）。Jugo 等 （2009）认为拉斑玄武质岩石的平均氧逸度条件在 FMQ−1 到 FMQ+0.5 之间，而我们的估算值恰好处于这个范围，可见红格岩体橄榄石中钛铁氧化物包体的结晶氧逸度并不偏高，属于正常范围，可以得知氧逸度并不是控制红格岩体早期成矿的关键因素。由于红格岩体辉长岩带上部出现含磷灰石辉长岩，MELTs 模拟中初始成分中磷的增加可以提前钛铁氧化物的结晶时限。此外， Luan et al.（2013）认为水在早期磁铁矿结晶和下部带出现大量角闪石中起到了关键作用。所以，磷和水的加入可能是红格岩体早期成矿的控制因素之一。



红点代表红格橄榄石中钛铁氧化物结晶的 t-f(O$_2$)条件

图 1 t-f(O$_2$)投影图（据 Buddington and Lindsley, 1964）

参 考 文 献:

从柏林. 攀西古裂谷的形成和演化. 北京: 科学出版社, 1988: 1-424.

卢记仁, 张承信, 张光弟, 顾光先, 刘玉书, 黄与能. 攀西地区钒钛磁铁矿矿床的成因类型.矿床地质, 1988, 7(1): 1-13.

张宗清, 卢纪仁, 唐索寒. 攀西层状基性-超基性岩体的 Sm-Nd 年龄. 地质学报, 1999, 73(3): 263-271.

Bai Z J, Zhong H, Naldrett A J, Zhu W G, Xu G W. Whole rock and mineral composition constraints on the genesis of the giant Hongge Fe-Ti-V oxide deposit in the Emeishan Large Igneous Province, SW China. *Economic Geology*, 2012, 107: 507-524.

Bohlen S R, Essene E J. Feldspar and Oxide Thermometry of Granulites in the Adirondack Highlands. *Contrib Miner Petrol*, 1977, 62: 153-169.

Buddington A F, Lindsley D H. Iron-titanium oxide minerals and synthetic equivalents. *J Petrol*, 1964, 5: 310-357.

Frost B R, Lindsley D H, Andersen D J. Fe-Ti oxide-silicate equilibria; assemblages with fayalitic olivine. *American Mineralogist*, 1988, 73: 727-740.

Ganino C, Arndt N T, Zhou M F, Gaillard F, Chauvel C. Interaction of magma with sedimentary wall rock and magnetite ore genesis in the Panzhihua mafic intrusion, SW China. *Mineralium Deposita*, 2008, 43: 677-694.

Luan Y, Song X Y, Chen L M. Key factors controlling the accumulation of the Fe-Ti oxides in the Hongge layered intrusion in the Emeishan Large Igneous Province, SW China. *Ore Geology Review*, 2013, (in press).

McBirney A R, Naslund H R. The differentiation of the Skaergaard intrusion. A discussion of Hunter and Sparks. *Contrib Miner Petrol*, 1990, 104: 235-240.

Pang K N, Zhou M F, Lindsley D, Zhao D G, Malpas J. Origin of Fe-Ti oxide ores in mafic intrusions: Evidence from the Panzhihua intrusion, SW China. *Journal of Petrology*, 2008, 49: 295-313.

Von G G, Klemm D D, Henckel J, Dehm R M. Exsolution features in titanomagnetites from massive magnetite layers and their host rocks of the upper zone, eastern Bushveld Complex. *Econ Geol*, 1985, 80: 1049-1061.

Wang C Y, Zhou M F, Zhao D G. Fe-Ti-Cr oxides from the Permian Xinjie mafic-ultramafic layered intrusion in the Emeishan large igneous province, SW China: Crystallization from Fe- and Ti-rich basaltic magmas. Lithos, 2008, 102: 198-217.

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net