

碧溪岭石榴石橄榄岩的橄榄石中针状磁铁 矿出溶体成分的不均匀性

赵文霞 胡育贤 李雪梅 廖成竹 杜金菊 江 丹

(中山大学 测试中心 电镜室, 广东 广州 510275)

摘要: 运用电子探针 Map 图分析技术在碧溪岭石榴石橄榄岩的橄榄石中发现了磁铁矿针状出溶体成分不均匀的现象, 即同一岩石样品的橄榄石中针状出溶体既有前人发现的含钛-铬磁铁矿, 也有本文发现的含铬钛磁铁矿和磁铁矿两种针状出溶体。研究认为, 针状出溶体成分出现的差异可能是由于 Ti 和 Cr 在原始的 β -橄榄石相中分布不均匀所致, 这种出溶体的出现暗示这些橄榄石可能是由地幔特有的尖晶石结构相转变而成, 为确定这些橄榄岩的来源深度和大陆俯冲过程提供了有意义的信息。

关键词: 针状磁铁矿出溶体; 橄榄石; 电子探针 Map 图; 碧溪岭; 石榴石橄榄岩

中图分类号: P578.4 P588.12⁺5

文献标示码: A

文章编号: 1000-6524(2006)01-0040-05

The compositional inhomogeneity of the needle-exsolution magnetites in olivine from Bixiling garnet peridotite

ZHAO Wen-xia, HU Yu-xian, LI Xue-mei, LIAO Cheng-zhu, DU Jin-ju and JIANG Dan
(Instrumentation Analysis & Research Center, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Compositional inhomogeneity of the needle-exsolution magnetites in olivine from Bixiling garnet peridotite was recognized by means of map analysis using electron probe microanalysis (EPMA). Some needle-exsolution magnetites have relatively high Cr concentration, whereas others have relatively high Ti concentration. It is suggested that the distribution of titanium and chromium might have been inhomogenous in the original β -olivine-phase, resulting in the compositional difference observed in the needle-exsolution magnetites. This implies that the olivine originally existed as spinel-phase which was stable in the mantle. The present study therefore provides valuable information for determining the formation depth of the garnet peridotite and for understanding the mechanism of continental subduction.

Key words: magnetite-needle exsolution; olivine; map in EPMA; Bixiling; garnet peridotites

近年来地球科学研究的重要进展是超高压岩石中各类针状、棒状(或片状)出溶体的发现(Yang *et al.*, 1993; Dobrzhinetskaya *et al.*, 1996, 1999; Hacker *et al.*, 1997; Green *et al.*, 1997a, 1997b; Ye *et al.*, 2000), 意味着含有出溶体的岩石可能曾经存在于地幔深处, 指示地幔深处的物质能够通过循环到达地表, 因此具有重要的科学意义。大别山

碧溪岭石榴石橄榄岩是世界著名的超高压岩体之一, 前人对该岩体曾进行过详细的研究。金振民等(1998)在对该岩体的研究中, 在橄榄石中发现了定向排列的针状含钛的铬磁铁矿出溶体。本文报道了笔者在该岩体的橄榄石中发现了与前人发现的针状出溶体成分不同的针状出溶体——针状磁铁矿和针状含铬钛磁铁矿出溶体, 并对其成因进行了探讨。

收稿日期: 2005-03-31; 修订日期: 2005-06-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49602035); 中山大学青年教师启动基金

作者简介: 赵文霞(1962-), 女, 博士, 副研究员, 从事矿物超微结构和构造研究, E-mail: wxzhao@163.com

1 地质背景

安徽岳西碧溪岭含柯石英榴辉岩超镁铁岩体位于大别山(樊祺诚等,1996)。该岩体呈不规则椭圆状,出露面积约 1.5 km²。榴辉岩体内出露有 20 余条石榴石橄榄岩和石榴石异剥橄榄岩透镜体,二者界线清晰。岩体围岩为大别群斜长片麻岩。本文研究的样品采自碧溪岭岩体北北东方向距岩体北缘约 300 km 的公路小河旁。似层状或透镜状超镁铁岩的厚度 5~8 m,主要由石榴石二辉橄榄岩和异剥橄

榄岩组成。样品(BX-16)主要为石榴石二辉橄榄岩,岩石为黑绿色,中-细粒变晶结构,块状构造。岩石主要由橄榄石(50%±)、单斜辉石(15%±)、石榴石(15%±)、斜方辉石(10%±)和含铬磁铁矿(3%~4%±)及其他副矿物组成。蛇纹石呈不规则状细脉穿插在矿物颗粒间。橄榄石具有两个世代:早期橄榄石呈残余斑状粗粒变晶结构,粒度 0.5~4 mm,略有压扁拉长现象;晚世代橄榄石具有细粒重结晶结构(0.1~0.3 mm),分布于早世代橄榄石的周围或矿物颗粒间。石榴石二辉橄榄岩中的主要矿物成分见表 1。

表 1 石榴石二辉橄榄岩主要矿物成分

w_B/%

Table 1 Main mineral composition of garnet lherzolite

BX-16	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	NiO	Na ₂ O	K ₂ O	合计
橄榄石	40.24	0.01	0.01	0.00	13.99	0.10	45.32	0.00	0.13	0.01	0.01	99.82
石榴石	41.12	0.03	22.07	0.41	16.04	1.27	14.82	3.88	0.03	0.03	0.00	99.70
单斜辉石	55.75	0.07	6.85	0.63	2.54	0.10	11.60	16.76	0.00	5.13	0.00	99.43
斜方辉石	57.52	0.00	0.05	0.00	8.58	0.13	33.07	0.08	0.03	0.00	0.01	99.47

中山大学测试中心电镜室电子探针分析结果,由笔者测试。

2 分析方法

光学显微镜下观察了薄片样品结构、两世代橄榄石的特征以及与针状出溶体间的关系。电子探针 Map 显微技术是根据样品中组成元素存在差异时所体现的一种在含量条带上显示明暗差异的技术。笔者运用 JXA-8800R 电子探针中的 Map 显微分析技术,对该样品早期世代的橄榄石中针状出溶体进行了分析研究。分析条件:电压 15 kV,束流 20 nA,束斑尺寸:Focus 状态(约 60 nm ±)。

3 讨论和结论

在早期世代的橄榄石晶体中发现有大量定向排列的针状或杆状出溶体,而在细粒重结晶的橄榄石中没有发现。针状出溶体在单偏光镜下为灰黑色,直径较小,一般为 2~6 μm,长(取决于薄片磨制的方位)可达 5~30 μm。经对近 10 个薄片中具有针状出溶体的橄榄石观察统计发现,针状出溶体约占体积的 0.05%~0.1%。对该岩体中主要矿物的电子探针 Map 分析和定性分析研究均表明,其中的橄榄石中不仅有含钛铬磁铁矿针状出溶体,而且还有与

其成分不同的针状磁铁矿和含铬钛磁铁矿针状出溶体(图 1 和图 2)。图 1 是两个成分不同的针状出溶体电子探针定性分析图谱。值得指出的是,由于针状出溶体的直径较小,尽管用 Focus 束斑状态测得该针状出溶体,但仍存在电子束斑扩展的问题,使所测结果中含有部分基体橄榄石的成分。图 2 是两个针状出溶体电子探针 Map 成分图,其中 CP 图为背散射电子图像,其他图像代表了指示元素含量的高低(右侧亮度 bar),即指示元素含量越高其亮度就越大。

研究结果表明,这种富含针状磁铁矿出溶体的石榴石橄榄岩与柯石英榴辉岩在空间上密切共生。而有关磁铁矿出溶体的成因,Drury 等(1988)和 Woodland 等(1998)通过实验证明 [Fe₃O₄-(Fe,Mg)₂SiO₄] 固溶体也可能是超高压条件下存在于 β 相橄榄石稳定场中的一种固溶体,他们认为在通常条件下,高含量的 Fe₂O₃ 成分在低压条件下要在镁橄榄石结构中合理分布是比较困难的。如果原始的橄榄石是具有畸变尖晶石结构的 β-橄榄石(wadsleyite),则根据二元体系 [Fe₃O₄-(Fe,Mg)₂SiO₄] 这种结构则较容易以尖晶石固溶体溶液的形式合理地分布 Fe₃O₄。同时通过实验也证明了在 [Fe₃O₄-(Fe,Mg)₂SiO₄] 系统中可能产生一种具有 β-橄榄石

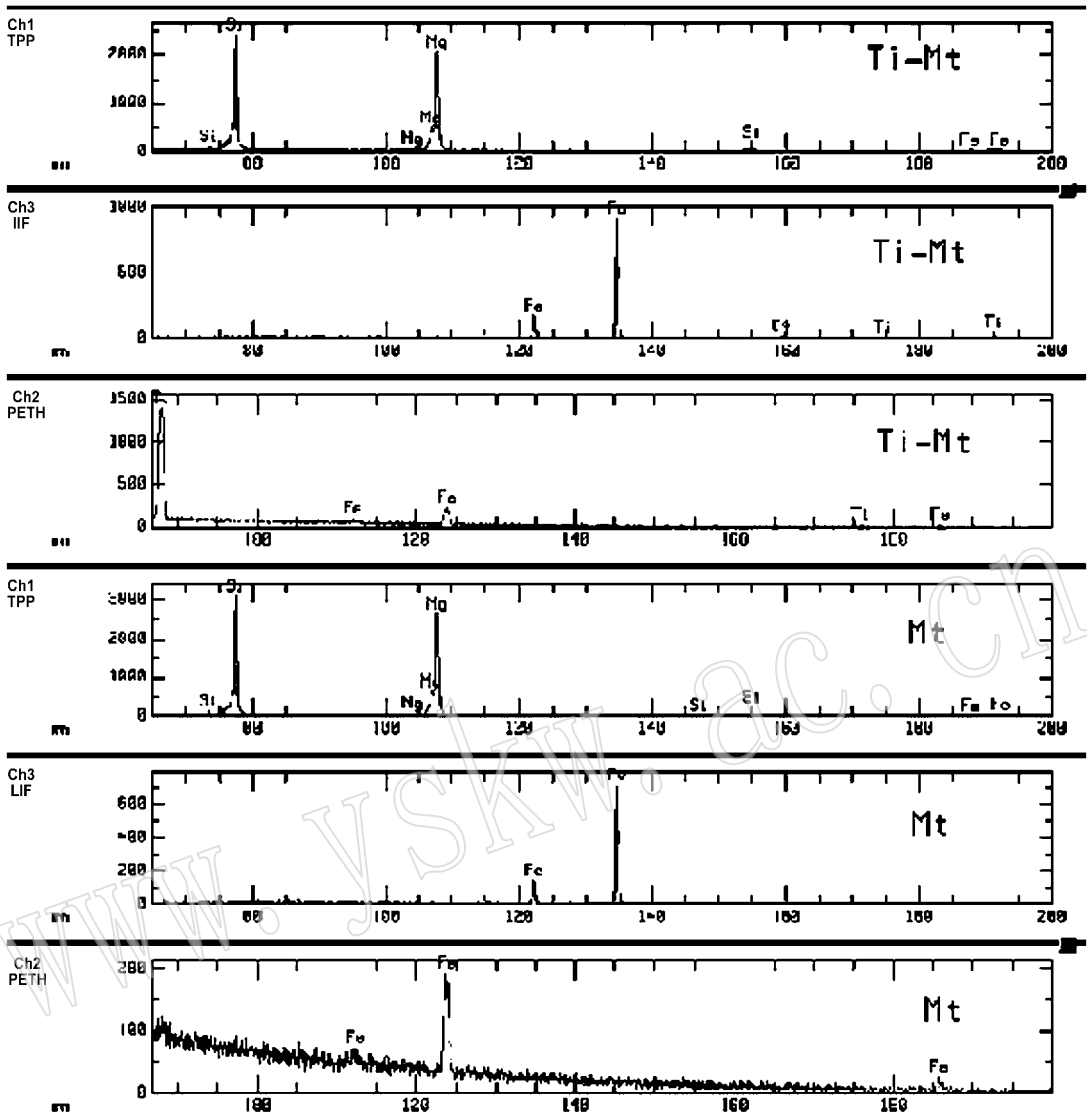


图 1 碧溪岭石榴石橄榄岩橄榄石中两种成分不同的针状磁铁矿出溶体定性分析谱图

Fig.1 Qualitative analyses of different needle-exsolution magnetites in olivine from Bixiling garnet peridotites

结构的 Spinelloid 相 ($\text{Fe}_{2.45}\text{Si}_{0.55}\text{O}_4$), 并认为一定数量的 Fe^{3+} 可以通过 $2\text{Fe}^{3+} = \text{Fe}^{2+} + \text{Si}^{4+}$ 的替代进入到 β -橄榄石的结构中, 稳定了 β -橄榄石的结构。由此可知, 碧溪岭石榴石橄榄岩橄榄石中出现的这种定向排列的磁铁矿针状出溶体是岩石超高压变质成因的证据之一。本文发现的磁铁矿和含铬钛磁铁矿针状出溶体与前人发现的含钛铬磁铁矿针状出溶体存在一定的差异, 这种在同一岩体的橄榄石中针状出溶体成分上的差异可能是由于 Ti 和 Cr 在原始的 β -橄榄石相中分布不均匀所致。其形成的压力是否与瑞士 Arami 石榴石橄榄岩橄榄石中钛铁矿针状出溶体形成的压力相似, 有待于进一步的研究。这种出溶体的出现在某种程度上暗示了这些橄榄石可能

曾被转变成尖晶石相这一地幔特有的结构相, 表明其曾位于地幔深部, 这对大陆俯冲过程的研究提供了重要的信息。

Reference

- Dobrzinetskaya L, Bozhilov K N and Green H W. 1999. The solubility of TiO_2 in olivine: implications for the mantle wedge environment [J]. *Chemical Geology*, 160: 357~370.
- Dobrzinetskaya L, Green H W and Wang S. 1996. Alpe Arami: a peridotite massif from depth of more than 300 kilometers [J]. *Science*, 271: 1841~1845.
- Drury M R and van Roermund H L. 1988. Metasomatic origin for Fe-Ti-rich multiphase inclusions in olivine from kimberlite xenoliths [J]. *Geology*, 16: 1035~1038.

- Fan Qicheng, Liu Ruoxin, Zhang Qi, *et al.* 1996. Petrology and high-pressure mineral assemblage of mafic-ultramafic rocks of ultrahigh-pressure metamorphic zone in the Dabie Mountains[J]. Science in China(D), 26(3):265~270(in Chinese).
- Green H W, Bozhilov K N and Dobrzinetskaya L. 1997a. Determining the origin of ultra-high pressure lherzolites(response)[J]. Science, 278:704~707.
- Green H W, Dobrzinetskaya L, Bozhilov K N, *et al.* 1997b. Alpe Arami: a peridotite massif from the mantle transition zone? [J]. Tectonophysics, 279:1~21.
- Hacker B R, Sharp T, Zhang R Y, *et al.* 1997. Determining the origin of ultra high-pressure lherzolites[J]. Science, 278:702~704.
- Jin Zhenmin, Jin Shuyan, Gao Shan, *et al.* 1998. Was the forming depth limit to 100~150 km for UHP peridotites of Dabie Shan? [J]. Chinese Science Bulletin, 43:767~771(in Chinese).
- Woodland A B and Angel R J. 1998. Crystal structure of a new spinelloid with the wadsleyite structure in the system $Fe_2SiO_4 - Fe_3O_4$ and implications for the Earth's mantle[J]. American Mineralogist, 83:564~569.
- Yang J J, Godard G, Kienast J R, *et al.* 1993. Ultrahigh-pressure (60 kbar) magnesite-bearing garnet peridotites northeastern Jiangsu, China[J]. J. Geology, 101:541~554.
- Ye K, Cong B and Ye D N. 2000. The possible subduction of continental material to depths greater than 200km[J]. Nature, 407:734~736.

附中文参考文献

- 樊祺诚,刘若新,张旗. 1996. 大别山镁铁-超镁铁岩的岩石学与高压矿物学组合[J]. 中国科学(D辑), 26(3):265~270.
- 金振民,金淑燕,高山,等. 1998. 大别山超高压岩石形成深度局限于100~150 km吗?[J]. 科学通报, 43(7):767~771.

关于《新疆喀拉通克铜镍硫化物矿床 Re-Os 同位素测年及成矿物质来源示踪》一文中 γ_{Os} 值计算错误的更正

笔者发表于本刊 2005 年第 4 期上《新疆喀拉通克铜镍硫化物矿床 Re-Os 同位素测年及成矿物质来源示踪》一文由于在计算 γ_{Os} 值时, 误将 $(^{187}Os/^{188}Os)_{\text{样品}}$ 以 $(^{187}Os/^{188}Os)_{\text{样品}}(t)$ 代入公式计算, 导致判断岩体形成过程中壳幔混染程度时出现错误, 作者特刊登此更正声明, 希望得到编辑部和学者们的谅解。

由公式 $(^{187}Os/^{188}Os)(t) = (^{187}Os/^{188}Os) - (^{187}Re/^{188}Os)(e^{\lambda t} - 1)$ 计算的样品的 $(^{187}Os/^{188}Os)(t)$ 结果及利用公式 $\gamma_{Os}(t) = 100 \cdot [(^{187}Os/^{188}Os)(t) / (^{187}Os/^{188}Os)_{\text{球粒陨石}}(t) - 1]$ 重新计算的 $\gamma_{Os}(t)$ 与原结果一起列于下表。重新计算的 γ_{Os} 值为 100.6~124.2, 平均值为 112.2。1 号岩体中 γ_{Os} 值为 100.6~119.9, 平均为 107.2 号岩体的 γ_{Os} 值为 114.9~124.2, 平均为 118。 $\gamma_{Os}(t)$ 值略低于芬兰 Kevinstä 矿床的 $\gamma_{Os}(t)$ 值 (+130~+170, 壳源 Os 占 >28%) 更是低于加拿大 Sudbury (+430~+814, 壳源 Os 占 >80%) 和澳大利亚 Kimberley 岩体 (+950~+1300, 壳源 Os >70%)。通过对比发现, 喀拉通克矿床中的 Os 可能主要以幔源为主, 同时有部分的壳源混染, 壳源 Os 约 <30%。这与原文中普通 Os 对 Re/Os 比值的图解中投影结果在一定程度上是吻合的。喀拉通克岩体的 $^{187}Os/^{188}Os$ 初始比值以及 γ_{Os} 值范围表明岩浆起源于亏损的软流圈地幔, 并在上侵定位和分异演化过程中遭受了一定程度的地壳物质的混染。

原文和重新计算的 γ_{Os} 值对比表

岩体	样号及矿物	$^{187}Re/^{188}Os$	$^{187}Os/^{188}Os$	$^{187}Os/^{188}Os(t)$	原文 $\gamma_{Os}(t)$	重新计算的 $\gamma_{Os}(t)$
1 号	28/Zk157-08-cp	253.19	1.4534	0.2590	1061.59	107.0
	28/Zk157-08-po	137.68	0.9246	0.2751	639.02	119.9
	28/Zk157-04-cp	130.13	0.8710	0.2571	596.51	105.5
	28/Zk157-04-po	77.90	0.6185	0.2510	394.36	100.6
	Ky104-5-po	24.43	0.3781	0.2629	202.23	110.1
	Ky104-3-cp	64.46	0.5561	0.2520	344.43	101.4
	Ky104-3-po	31.93	0.4094	0.2588	227.23	106.8
2 号	Z2-35-cp	68.68	0.6133	0.2804	390.40	124.2
	Z2-35-po	92.47	0.7169	0.2687	473.24	114.9
	Z2-37-po	21.67	0.3761	0.2711	200.74	116.7
	Z2-37-pn	20.62	0.3690	0.2691	195.07	115.1
	Z2-36-cp	32.71	0.4328	0.2743	246.03	119.3
	Z2-36-po	29.89	0.4171	0.2722	233.49	117.7