幔源橄榄岩包体中单斜辉石的微量元素组成

陈道公　　S. Y. O'Reilly

（中国科学技术大学，合肥 230026）　（澳大利亚 Macquarie 大学地学院）

W. L. Griffin

（澳大利亚联邦科学工业研究组织勘探地球科学分部）

关键词　微量元素、单斜辉石、地幔

了解地幔岩石中主要矿物相的微量元素分布、丰度状况对理解部分熔融、地幔的富集和亏损以及地幔交代作用等有重要意义. 以往地幔样品的微量元素多由仪器中子活化分析所得，质量不高. 我们采用高精度微区微粒的质子微探针（PIXE）技术对中国不同地区 50 个橄榄岩包体中 173 个单斜辉石颗粒进行了微量元素定量测定，共获得 10 种微量元素和 5 种主要元素含量，本文对其总体情况作一扼要介绍，实测数据及模式处理等将另行报道.

一、实验对象和方法

橄榄岩包体取自江苏六合等新生代碱性玄武质岩石中. 包体的岩性主要为尖晶石二辉橄榄岩，若干出现含水矿物角闪石. 供测定的单斜辉石粒径为 0.2—2mm，选择最新鲜、翠绿色颗粒，洗涤去表面沾污后磨成砂薄片.

质子微探针测定在澳大利亚 CSIRO 的重离子实验室进行，有关实验参数及细节参阅文献[1—3]. 每一样品测定 3—5 个单斜辉石颗粒，以提高统计意义上的测定精度，降低单次测定的最低检出限. 分析精度对所有主要元素和 Ni,Cr,Zr,Sr,Y 优于 5%，对 Zn,Ga 为 10%，对 Cu,Nb,Ba，由于含量接近最低检出限，仅为 20—30%.

二、实 验 结 果

有关测定结果列于表 1. 其主要元素特征与单斜辉石已知的化学、电子探针分析值一致. 微量元素中 Ni 在 300—500ppm，Sr 100—300ppm，Y, Zr, Ba,Zn 为 $n \times 10$ppm,Cu,Ga,Nb 仅若干 ppm. 各地区含量范围不同，但平均值多数比较接近. 含量最高值和最低值之比，对 Y, Ga,Ni 仅为 2，对 Ba,Nb 为 2—4，对 Sr,Zr,Cu 可达 10 以上，这种状况大致可从图 1 说明.

在原始地幔标准化丰度图上(以汉诺坝为例，示于图 2)，Ni 亏损，丰度值稳定的维持在 0.2—0.3，Ti 既有富化亦有亏损，丰度变化于 0.3—3，其它元素都属富化型. 对每一个地区，微量元素之间有某种程度的相关性，Sr,Y,Zr,Ga 呈大致正相关，Sr 与 Ti,Cr 与 Al 有消长关系，女山的 Sr,Y,Ca,Zr 含量最高. 福建的 Cr,Fe,Ni,Zn 含量最高，但 Ga,Y,Sr,Nb, Cu 等相对偏低.

1992-01-24 收稿，1992-05-15 收修改稿

表 1 单斜辉石中微量元素组成(除有标记外,其余均为 ppm)

	六合方山(6)[a]	六合平山(5)	嘉山女山(11)	六合盘石山(9)	临朐(3)	汉诺坝(5)	东北(8)	福建(3)	平均(173)	最低[c]检出限
Na%[b]	0.60—1.41 1.03	0.28—1.37 0.90	1.12—1.90 1.42	1.28—1.90 1.35	0.60—1.34 1.03	0.85—1.16 1.02	0.68—1.33 1.02	0.77—1.57 1.03	1.17	
Al%	2.49—3.59 3.16	1.87—3.33 2.79	3.22—4.30 3.89	2.74—3.92 3.50	2.02—3.58 2.98	1.66—3.31 2.95	2.63—3.72 3.22	1.77—3.40 2.47	3.29	
Ca%	13.57—15.53 14.06	12.72—17.12 14.65	12.59—14.97 13.56	13.43—14.82 14.44	14.52—15.25 14.89	14.82—15.33 15.09	14.45—15.09 15.04	13.78—16.23 14.66	14.42	
Ti%	0.04—0.47 0.23	0.11—0.41 0.25	0.04—0.44 0.29	0.16—0.36 0.30	0.08—0.37 0.24	0.09—0.30 0.21	0.19—0.40 0.26	0.19—0.30 0.25	0.29	
Cr%	0.42—1.00 0.68	0.64—0.83 0.76	0.55—1.10 0.64	0.46—1.01 0.70	0.56—0.73 0.66	0.47—1.01 0.71	0.52—0.77 0.63	0.80—1.03 0.94	0.71	
Fe%	1.89—3.01 2.37	1.38—2.52 1.89	1.92—2.85 2.38	1.96—2.44 2.16	2.20—2.36 2.27	1.96—2.32 2.06	1.93—3.00 2.18	1.96—2.96 2.40	2.30	
Ni	327—431 370	287—397 333	249—391 340	310—391 339	299—578 406	357—432 384	270—415 354	348—494 413	358	10
Cu	2.51—32.3 8.56	1.76—60.1 14.04	1.40—5.25 2.89	1.30—3.57 2.62	1.21—15.9 7.40	2.26—5.92 3.17	2.75—22.4 9.10	1.56—5.06 2.78	5.92	4—6
Zn	9.35—29.9 15.2	7.21—14.3 10.6	7.37—16.6 13.6	8.73—12.6 10.2	9.74—18.3 13.2	9.62—12.6 11.1	9.17—17.6 13.0	11.4—19.2 15.0	12.5	4—5
Ga	4.46—7.00 6.56	3.31—8.88 5.49	5.50—10.6 8.94	4.80—8.46 5.92	5.10—5.24 5.19	3.58—6.92 5.10	4.02—5.60 4.97	3.67—7.81 5.25	5.80	3—4
Sr	21.0—209 105	45.0—233 117	78.2—328 154	82.7—134 97.3	28.5—165 76.0	38.3—132 81.5	24.3—74.7 43.7	36.0—134 78.2	98.3	2—3
Y	8.52—18.13 16.1	8.72—22.34 17.6	15.9—22.40 19.8	15.07—22.83 19.6	10.42—20.33 16.8	9.29—17.87 13.8	10.35—21.38 17.2	5.37—8.94 6.6	17.2	2—3
Zr	2.0—91.6 36.4	25.27—101.8 41.1	31.8—224.6 55.9	30.9—59.9 43.3	18.0—45.8 27.8	13.4—36.5 21.7	3.1—36.6 20.1	17.9—28.3 22.4	35.9	2—3
Nb	0.31—5.06 1.93	0.46—8.40 2.57	0.29—1.68 1.02	0.20—1.87 1.05	0.71—3.20 1.77	0.14—0.71 0.67	0.22—2.74 1.05	0.56—0.78 0.65	1.25	1—2
Ba	25.63—43.10 33.5	23.06—36.95 29.4	11.80—49.13 30.3	15.23—58.90 35.6	37.03—73.33 54.8	13.07—44.63 30.0	12.98—64.50 39.2	23.60—83.20 52.0	37	4—5

a) 括号内的数字表示测定的包体样品数,平均项括号内数字表示测定的单斜辉石颗粒数; b) 每一元素行内,第一行表示含量变化范围,第二行表示算术平均值; c) 指单颗粒测定的最低检出限.

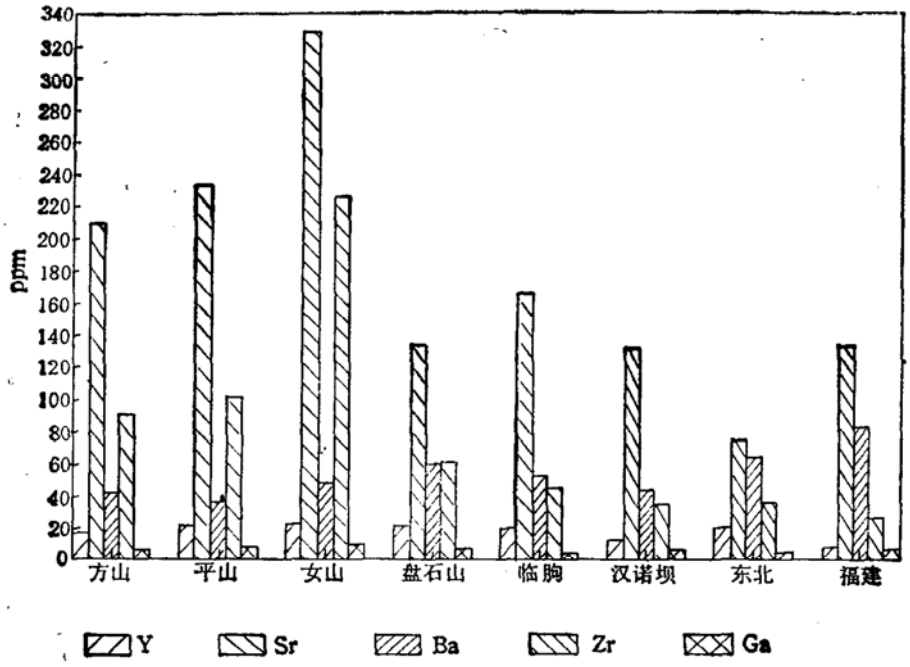


图 1　微量元素丰度直方图(含量)

是什么因素控制单斜辉石中微量元素的丰度及其变化呢？以下三点可能是重要的.

1. 尽管单斜辉石中某些微量元素丰度变化较大，但多数仍较稳定. 橄榄岩包体作为岩石圈地幔部分熔融的残余，和原始地幔相比，应亏损不相容元素，但单斜辉石中不相容元素都呈富化，说明单斜辉石是地幔橄榄岩不相容元素的主要寄主矿物. 根据对盘山地区全岩微量元素浓度、各矿物相百分含量、以及单斜辉石、橄榄石的微量元素含量和质量平衡原理计算，橄榄岩中绝大部分的 Sr，Y，Ba，Zr，部分的 Ga，Cr 赋存于单斜辉石，绝大部分 Ni，大部分 Zn 赋存于橄榄石，Ti 主要在角闪石部分在单斜辉石中. 由此可见，微量元素的晶体化学、地球化学习性决定了其在单斜辉石中赋存分配的这种特征，也是它们在各地丰度较稳定的主要原因.

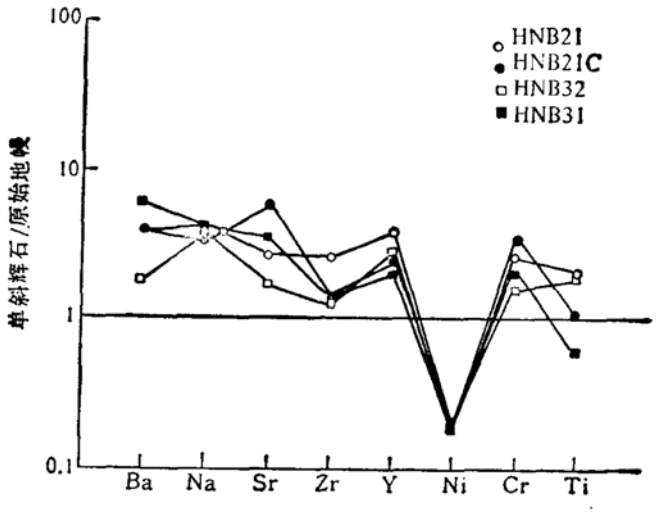


图 2　单斜辉石微量元素原始地幔标准化丰度

2. 地幔交代作用是导致微量元素丰度变化的另一重要原因. 单斜辉石中，有最高 Sr，Ba，Zr 含量的样品都出现在女山地区含角闪石的橄榄岩包体中，而且同一样品不同颗粒的微量元素含量还存在着明显的不均一. 这表明地幔交代作用，特别是显性交代能使单斜辉石中的 Sr，Ba，Zr 含量明显增高，并出现丰度的不均一. Dieu 等在用离子探针测定洋脊地区橄榄岩中单斜辉石的稀土元素时，也发现同样的不均一现象[4]. 因此，单斜辉石中不相容微量元素 Sr，Ba，Zr 等的丰度可以作为判别地幔交代作用程度的一种微量元素指示剂.

3. 岩性和主要组分控制. 同一地区，当没有交代作用导致明显的丰度异常时，单斜辉石微量元素浓度往往受全岩化学组成和单斜辉石主成分的影响. 在盘山地区，凡全岩和单斜辉石 Mg 值较高的那些样品，其 Sr，Ba，Zr，Y 丰度较低，因此方辉橄榄岩和纯橄榄岩中单斜辉石的微量元素最低. Mg 值控制实际上反映了地幔部分熔融的控制. 当熔融程度较低时，单斜辉石中不相容元素相对偏低，相容元素偏高，福建明溪的包体即是这样. 当出现显性交代时(女山)，尽管全岩和单斜辉石的 Mg 值很高，它们仍可有相当高的 Sr，Ba，Zr 等不相容元素.

综上，地幔微量元素初始浓度，部分熔融程度和元素的地球化学、晶体化学习性是决定幔源橄榄岩包体中单斜辉石微量元素丰度分配的基本因素，单斜辉石中 Sr，Ba，Zr，Y 等的丰度异常可以作为地幔交代作用的微量元素判据.

参 考 文 献

[1] Ryan, C. G. et al., *Nucl. Instr. and Meth.*, **B47**(1990), 55—71.

[2] Griffin, W. L. et al., *Nucl. Instr. and Meth.*, **B49**(1990), 318—322.

[3] Griffin, W. L. et al., *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **53**(1989), 561—567.

[4] Dieu, J. et al., *EOS*, **71**(1990), 1679.