

蛇绿岩生成构造环境的 Ba-Th-Nb-La 判别图^{*}

李曙光

(中国科学技术大学地球与空间科学系 合肥 230026)

提 要 Pearce 的 Ti-Zr-Y 图不能很好区分洋脊和岛弧玄武岩, Ti 对岩浆分离结晶作用很敏感, 因此用这个图判别蛇绿岩生成构造环境效果不好, 本文利用分配系数相近的 Ba, Th, Nb, La 四个非常不相容元素的 (Ba/Nb)-Ba, (Nb/Th)-Nb, (La/Nb)-La 和 (Ba/Nb)-(Th/Nb) 图解很好区分了洋脊、岛弧、洋岛玄武岩。弧后玄武岩同时具有洋脊和岛弧玄武岩的特征。这些元素在海水蚀变中较稳定, 它们的比值在分离结晶过程中保持不变, 因此这些图解有利于判别蛇绿岩(包括熔岩和均质辉长岩)生成的构造环境。

关键词 蛇绿岩 痕量元素地球化学

1 前 言

如何判别蛇绿岩生成的构造环境是蛇绿岩研究中一个重要而又比较困难的问题。因为蛇绿岩在其受到变质和构造侵位后, 其剖面厚度、岩石学性质都有很大变化, 很难与大洋壳剖面进行严格的对比。Pearce 和 Cann(1971)及 Pearce(1975)提出了 Ti-Y-Zr 图解来判断蛇绿岩的生成环境。然而实践表明 Ti-Y-Zr 图的判别效果不好, 在图上岛弧与洋中脊玄武岩有较大重叠(Coleman 1977)。这是因为该图是以玄武质熔岩资料为基础建立的, 而 Ti 在分离结晶过程中非常敏感, 磁铁矿和钛铁矿在岩浆演化晚期的分离结晶可使任何一种玄武岩浆中的 Ti 含量明显下降, 堆晶岩中的 Ti 大大升高。也正因为如此, 该图不能应用于堆晶岩。此后, Wood et al. (1979)和 Meschede(1986)分别发展了不用 Ti 的 Hf-Th-Ta 和 Nb-Zr-Y 图解。前者中的 Hf, Ta 都较难准确测定, 后者中洋中脊玄武岩(MORB)和岛弧玄武岩(IAB)区域又有重叠, 应用效果也不理想。为此, 本文根据痕量元素地球化学的最新研究成果, 提出一组新的、较有效的、同时适用熔岩及均质辉长岩的判别蛇绿岩生成构造环境的地球化学图解。

2 地球化学判别图

如上所述, 以前的地球化学判别图主要问题在于它们不能有效地将 MORB 和 IAB 区分

* 本文1992年1月收到, 1992年8月25日改回。

国家自然科学基金资助项目(编号49070165)

作者简介: 李曙光 男 51岁 副教授 地球化学专业

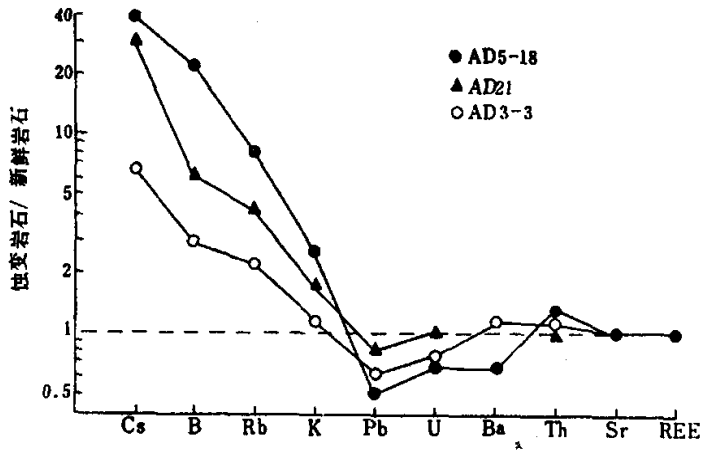


图1 玄武岩遭受海水蚀变时元素的稳定性图(据 Hart,1971 和 Tatsumoto,1978 的资料综合)
AD5-18、AD21、AD3-3 三个样品都是大洋玄武岩标本,曲线表示这些标本边缘蚀变部分和核心新鲜部分的
微量元素比值的变化

Fig. 1 Immobilities of elements during sea water alteration

开来,而 MORB 型和 IAB 型蛇绿岩恰是蛇绿岩生成构造环境两个最主要类型(详见后面应用实例)。因此在制作新图时,首先就要选好能有效区分这两种玄武岩的指示元素。近十几年来有关岛弧火山岩的研究从不同角度证明了岛弧玄武岩的特征元素,除 Ti 以外,均与其源区有关(Ryerson and Watson 1987; Sun and McDonough 1989; White and Patchett 1984; Briquet et al. 1984; Morris and Hart 1983)。岛弧玄武岩源区与 MORB 和板内玄武岩源区的最大差别在于它与俯冲洋壳有关。我们只要选择能直接示踪源区特征的痕量元素指标,就可以较好地 将 MORB 与 IAB 分开。本文选择 Ba、Th、Nb、La 及其比值做指标,以建立一套新的能同时适用于熔岩和均质辉长岩的构造环境判别图。其理由为:

(1)在任何岛弧玄武岩中,低 Nb 和高 Ba 异常是最突出和最稳定的地球化学特征(Perfit et al. 1980; Ryerson and Watson 1987; Sun and McDonough 1989; White and Patchett 1984)。高 Nb 异常是 OIB 的典型特征(Sun and McDonough 1989)。

(2)它们都是非常不相容元素,其分配系数相近。因此它们的比值,尤其 Ba、Th、La 与 Nb 的比值(Nb 分配系数居中)在部分熔融和分离结晶过程中保持不变,从而可最有效地指示源区特征(Sun and McDonough 1989)。

(3)Nb、La、Ba、Th 在海水蚀变及变质过程中是稳定或比较稳定的元素。Nb、La 的稳定性

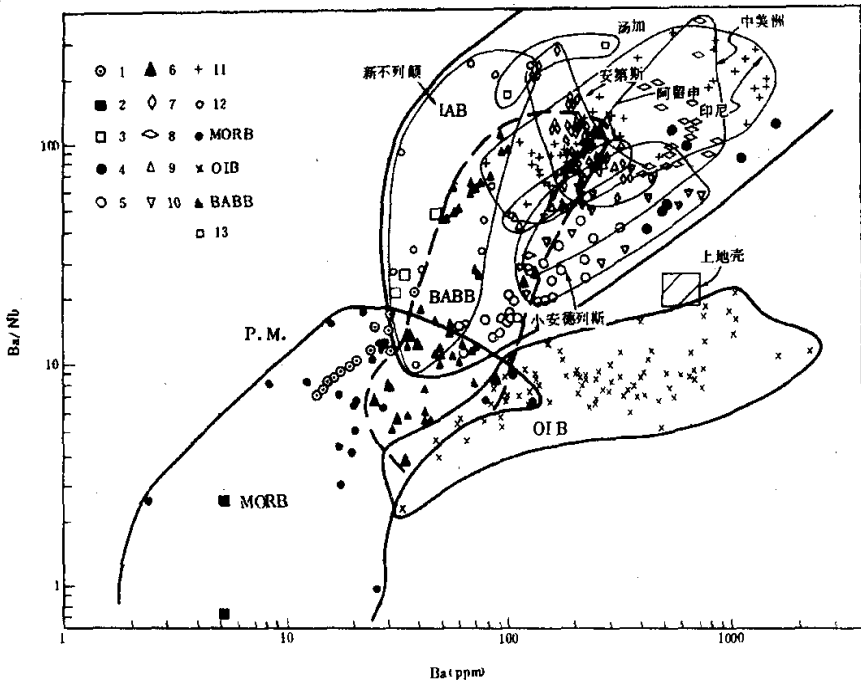


图2 Ba/Nb-Ba图

图例说明: 1. 意大利蒙特福诺蛇绿岩; 2. 新几内亚巴布亚蛇绿岩(玄武岩); 3. 新几内亚巴布亚英云闪长岩; 4. 北秦岭丹凤蛇绿岩的苏长辉长岩; 5. 土耳其米西斯蛇绿岩; 6. 南斯拉夫弟聂瑞克蛇绿岩; 7. 安第斯 IAB; 8. 中美洲 IAB; 9. 阿留申 IAB; 10. 小安德列斯 IAB; 11. 印尼 IAB; 12. 新不列颠 IAB; 13. 汤加 IAB; MP 为原始地幔; 其它代号见正文

Fig.2 Ba/Nb-Ba diagram

已众所周知。Hart(1971)和 Tatsumoto(1978)分别研究过 Ba 和 Th 在海水蚀变过程中的稳定性。综合他们的研究成果可以给出这些元素在海水蚀变过程中的稳定性顺序(图 1)。虽然 Ba 和 Th 在海水蚀变时的稳定性不如 Sr 和 REE,但仍比碱性元素 U、Pb 等稳定得多。蛇绿岩形成于海底环境,不可避免会受到海水蚀变。因此,Nb、La、Ba、Th 的这种稳定性对建立判别蛇绿岩生成构造环境的地球化学图解是十分重要的。

根据这一思想,本文综合了文献中 MORE, OIB, IAB 和弧后盆玄武岩(BABB)(含部分安山岩)的 Ba、Th、Nb、La 数据,并制作了(Ba/Nb)-Ba, (Nb/Th)-Nb, (La/Nb)-La 和(Ba/Nb)-(Th/Nb)图(图 2~5)。数据的来源是: MORB 取自 Ryerson and Watson(1987), Langmuir et al. (1977), Sun et al. (1979), Price et al. (1986), Hofmann(1988); OIB 取自 Rhodes(1989), Clague and Frey(1982), Chen and Frey(1985), Frey and Clague(1983); IAB 取自 Ryerson and Watson(1987), White and Patchett(1984), Briquet et al. (1984), Basaltic Volcanism Study Project(1981), Nye and Reid(1986), Ewart et al. (1973), Hickey et al. (1986), Brown et al. (1977), Stolz et al. (1990), Tatsumi et al. (1991), Carr et al. (1990),

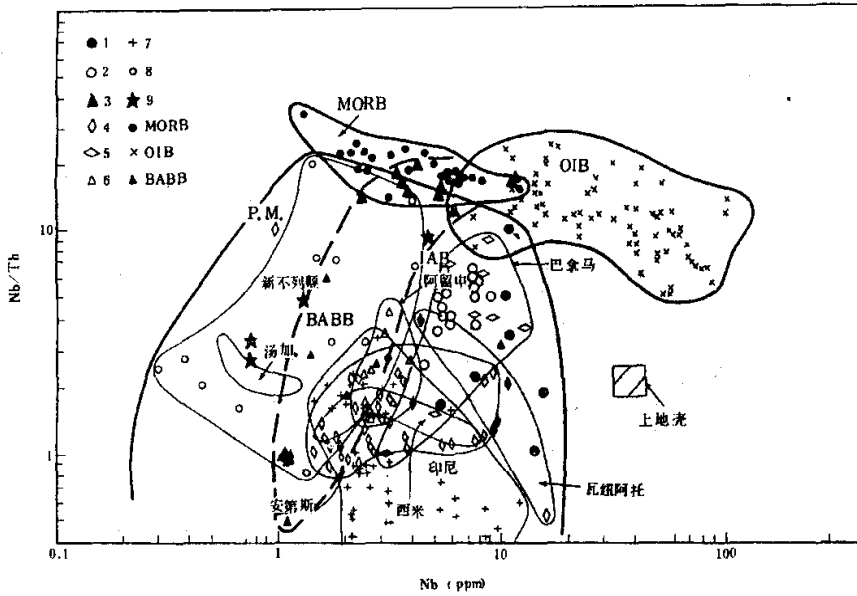


图3 Nb/Th-Nb图

图例说明与图2的相同,五角星号代表希腊沃瑞诺斯蛇绿岩

Fig. 3 Nb/Th-Nb diagram

Defan et al. (1977); BABB 取自 Saunders and Tarney(1979), Volpe et al. (1987), Vallier et al. (1991); 原始地幔 (P. M.) 取自 Sun and McDonough (1989); 上地壳取自 Taylor and McLennan(1985)。

这些图解表明 MORB 和 OIB 的 Ba/Nb, Nb/Th 和 La/Nb 是类似的,然而 IAB 的这些比值与 MORE 和 OIB 有很大不同。因此,在纵坐标方向上可将 IAB 与 MORB 和 OIB 分开。在横坐标方向上,MORB 与 OIB 的 Ba、Nb、LA 含量有明显差异,分开程度较大。因此,这些图件可较好地 MORB, OIB 和 IAB 三种不同构造环境形成的玄武岩分开。然而几个典型弧后盆玄武岩(BABB)的数据表明它们的分布区在所有图中均与 MORB 和 IAB 重合。这是因为弧后盆靠近岛弧一侧位于俯冲带之上,其地幔也要接受俯冲洋壳析出流体的交代作用,因而由它产生的 BABB 具有与 IAB 相似的特征;另一方面弧后盆的扩张中心又可生成与 MORB 类似的玄武岩。尽管我们不可能在任何一个痕量元素图上将 BABB 与 IAB 和 MORB 分开,但是 BABB 在上述图件中同时分布在 IAB 和 MORB 两区并形成狭长混合趋势的特征(图 2,3)可以帮助我们识别 BABB 型蛇绿岩。

将图 2,3,4 进行比较可发现 (Ba/Nb)-Ba 图对区分 IAB, MOB 和 OIB 效果最好,在该图中 IAB 和 MORB 只有很小部分重叠。这主要是因为 Ba, Na 两个元素都是 IAB 最特征的元

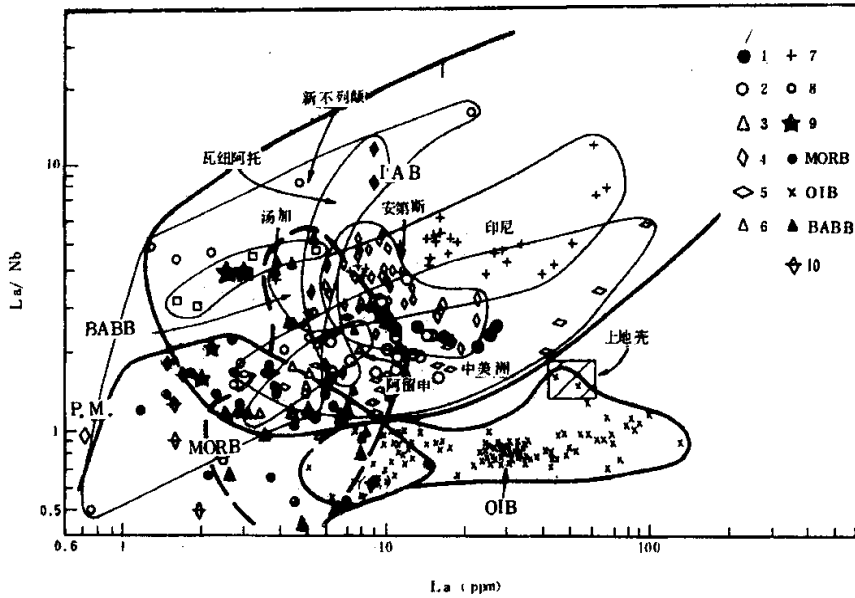


图4 La/Nb-La图

其它图例与图2、3的相同；10.代表台湾蛇绿岩

Fig. 4 La/Nb-La diagram

素。其次(Nb/Th)-Th图的效果也较好,因为大多数IAB都具有低Th特征。在(La/Nb)-La图中,IAB和MORB的重叠区较大。这说明Ba,Nb,Th对上述三种玄武岩的判别功能比La强。因此,我们做了(Ba/Nb)-(Th/Nb)图(图5)。由于这两个比值分母相同,因此任何两端元混合在该图中都应呈线性趋势(Langmuir et al. 1978)。虽然图5在区分三种玄武岩方面没有多大进步,甚至使MORB和OIB的重叠区增大了,但它完全排除了分离结晶作用的影响,可适用于堆晶岩,并有助于讨论源区特征。如OIB在图5中的延长趋势是介于MORB和上地壳之间,它说明OIB的源区可能含有再循环进入地幔的陆源沉积物组分。这与Sun and McDonough(1989)用(Ba/Nb)-(La/Nb)所获结论一致。大多数IAB在图5中的正相关趋势位于OIB趋势以上。这可能意味着IAB源区还加入了一种比上地壳具有更高Ba/Nb和La/Nb值的组分。它可能是俯冲洋壳在榴辉岩相条件下出熔的富硅和水的熔体和流体。因为俯冲洋壳形成的榴辉岩含有较多的金红石。在熔融程度不高时,多数金红石作为残留相保存下来(Ryerson and Watson 1987)。它的Nb分配系数很高($D_{Nb}^{Melt} = 30$)(Green and Pearson 1987),因此大量Nb将进入残留的金红石相内并产生低Nb熔体。此外,在一些近大陆岛弧区,其俯冲洋壳发生部分熔融时,陆源沉积物组分也可进入熔体,从而使某些岛弧火山岩(如安第斯)在图5中的线性趋势不明显而必须用三端元(亏损地幔、俯冲洋壳析出流体、陆源沉积物)混合来解释。

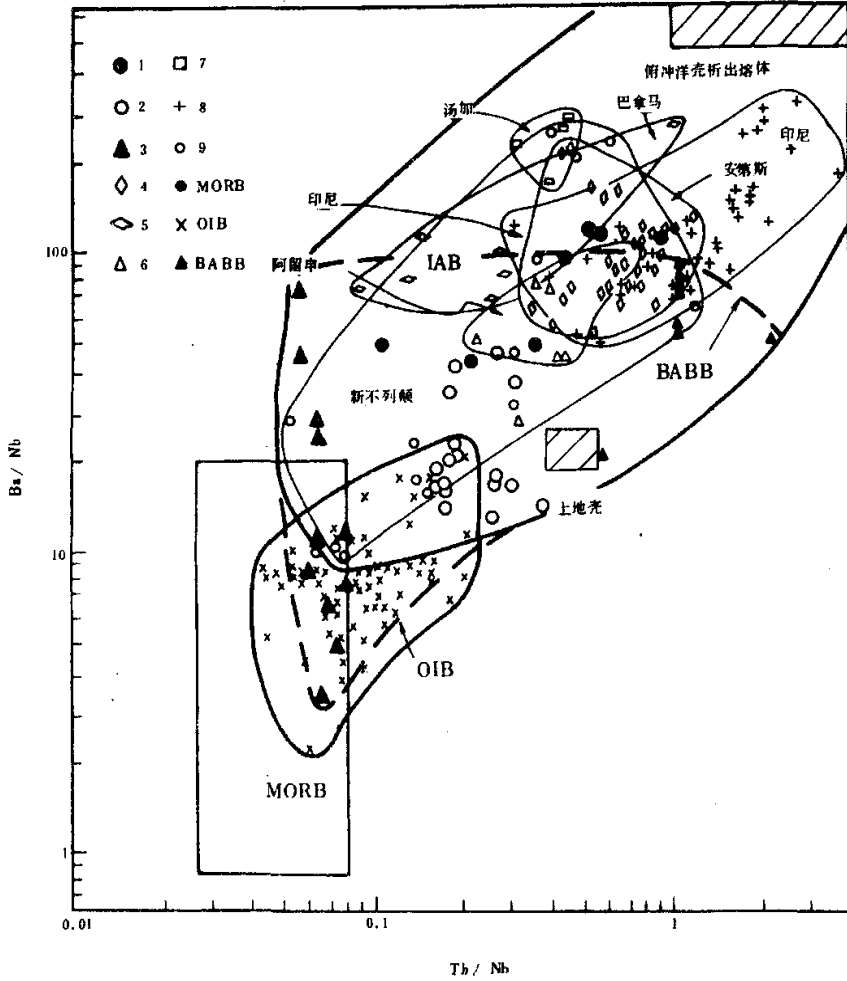


图5 Ba/Nb-Th/Nb 图

图例与图2相同

Fig.5 Ba/Nb-Th/Nb diagram

3 应用实例

上述图解是以玄武岩数据为基础建立起来的。使用若干已知生成构造环境有蛇绿岩资料检验这些图解判别蛇绿岩的生成构造环境的效果是必要的,因为人们可能会担心蛇绿岩所经历的海水蚀变和变质作用是否会严重影响岩石的 Ba, Th 含量。

(1)意大利北部与瑞士接壤的蒙特福诺(Monte del Forno)蛇绿混杂岩。该蛇绿岩被认为形成于洋中脊环境,并经历区域变质和接触变质作用。在变玄武岩中的层状 Fe-Cu-Zn 矿化也

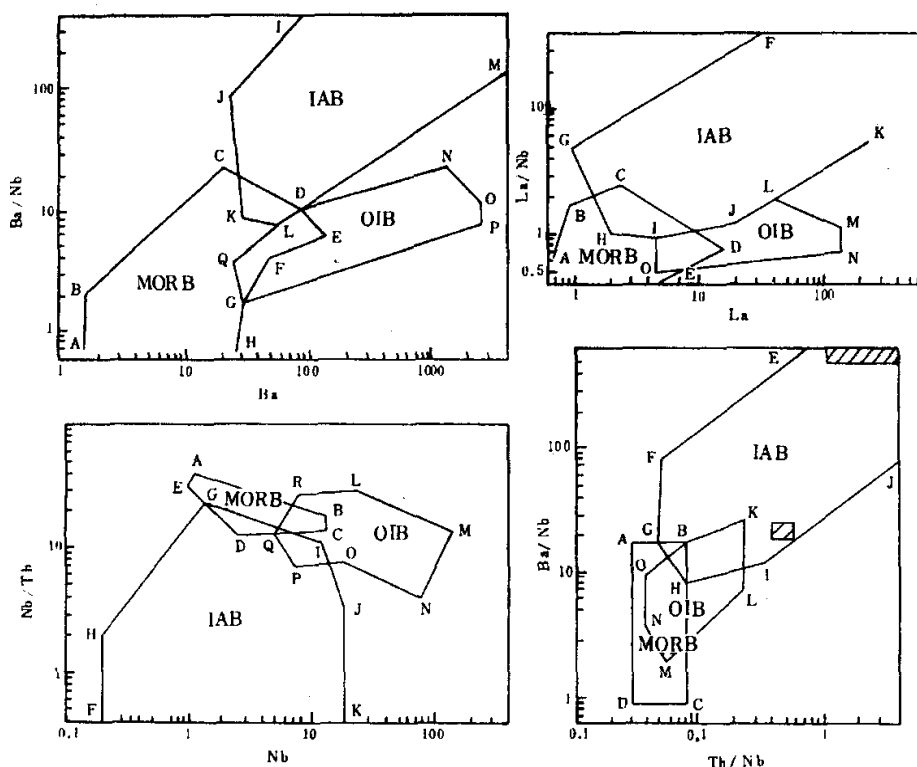


图6 具有直线边界的 Ba/Nb-Ba, Nb/Th-Nb, La/Nb-La 和 Ba/Nb-Th/Nb 图解

图中边界端点字母与表1对应

Fig. 6 Ba/Nb-Ba, Nb/Th-Nb, La/Nb-La and Ba/Nb-Th/Nb diagrams

与洋中脊水热蚀变玄武岩中的矿化类似(Peretti and Koppel 1986)。根据其中辉绿岩墙和角闪岩化的枕状熔岩的 Ba 和 Nb 资料,投影到(Ba/Nb)-Ba 图上(图2),除一个样品外,均落入 MORB 区内。这进一步证明海水蚀变和变质作用对 Ba, Nb 丰度未产生严重影响。

(2)新几内亚的巴布亚(Papuan)蛇绿岩由超镁铁岩、辉长岩及玄武岩组成,沿该岛的所罗门海岸分布。它被认为是侏罗纪-白垩纪的洋壳,在早第三纪时,由于弧陆碰撞而仰冲侵位(Jagues and Chappell 1980)。侵入该蛇绿岩中的云英闪长岩(始新世)与蛇绿岩无关,是岛弧安山质岩浆活动的一部分。根据 Jagues and Chappell(1980)给出的有准确 Ba, Nb 含量的 2 个玄武岩样品和 3 个云英闪长岩样品投影到(Ba/Nb)-Ba 图上,它们分别落入 MORB 和 IAB 区(见图2),与地质判断结论一致。

(3)台湾东海岸蛇绿岩具有洋中脊成因(Jahn 1986)。根据 Jahn(1986)给出的该蛇绿岩 La 和 Nb 的数据,投影在(La/Nb)-La 图上,除 2 个样品因 $La/Nb < 0.4$ 未标到图上外,全部落入 MORB 区(图4)。显然那 2 个样品的低 La/Nb 不是 IAB 特征,而是 MORB 的特征。

表1 蛇绿岩生成构造环境 Ba-Th-Nb-La 判别图边界点坐标
Table 1 Coordinates of points on the border of Ba-Th-Nb-La diagram

图名	Ba/Nb-Ba		Nb/Th-Nb		La/Nb-La		Ba/Nb-Th/Nb	
	Ba/Nb	Ba(ppm)	Nb/Th	Nb(ppm)	La/Lb	La(ppm)	Ba/Nb	Th/Nb
A	0.7	1.5	39	1.05	0.7	0.7	16	0.03
B	2.0	1.5	16	12	1.8	0.9	16	0.077
C	22.0	19.5	11.4	12	2.3	2.3	0.9	0.077
D	10.0	84	10.9	2.8	0.76	10.5	0.9	0.03
E	5.4	124	30.5	0.95	0.41	5.0	610	0.7
F	3.0	50	0.4	0.2	30	31	80	0.045
G	1.6	30.7	21	1.3	5.0	0.9	16	0.045
H	0.7	28	2	0.2	1.03	2.0	8	0.077
I	300	88	10.5	10.6	0.92	4.4	11	0.31
J	82	21.1	3.1	17.3	1.1	11	67	4.0
K	8.1	30.1	0.4	17.3	5.0	211	25	0.205
L	7.2	54	27	21	1.8	40	7	0.205
M	100	2800	11.3	130	1.06	120	2	0.053
N	22	1200	3.6	80	0.66	120	4	0.036
O	10.7	2500	7.0	17.3	0.50	4.4	9	0.036
P	7.0	2600	6.4	7.0				
Q	3.5	26	11.1	5				
R			24	8				

(4) 垃圾庙苏长辉长岩是北秦岭丹凤蛇绿岩的一部分,相当于堆晶岩上部的均质辉长岩。它形成于岛弧环境(李曙光等 1992),并经历了海西期角闪岩相变质作用。根据李曙光等(1992)给出的辉长岩、苏长辉长岩和脉岩的 Ba、Th、Nb、La 数据,投点在(Ba/Nb)-Ba、(Nb/Th)-Nb、(La/Nb)-La 和(Ba/Nb)-(Th/Nb)图上均落入岛弧区(图 2~5)。这说明这些图件对蛇绿岩的均质辉长岩也有很好的判别效果。

(5) 希腊沃瑞诺斯(Vourinos)蛇绿岩是岛弧成因的(Noiret et al. 1981)。将它们 3 个玄武岩和 1 个英安岩脉样品的 La、Nb、Th 数据投影在(Nb/Th)-Nb 和(La/Nb)-La 图上,它们均落在岛弧区(图 3、4)。图 3、4 表明它们的地球化学特征与汤加、新不列颠等发育在洋壳之上的岛弧相近。这一点与北秦岭古岛弧不同,后者地球化学特征与大陆边缘岛弧,如小安德列斯、印尼、中美洲相似。

(6) 土耳其南部的米西斯(Misis)蛇绿岩。它是在第三纪中新特提斯闭合时发育的蛇绿混杂岩,岛弧成因(Floyd et al. 1991)。根据 Floyd et al. (1991)的数据,它们的玄武岩样品在上述一系列 Ba-Th-Nb-La 图解中均落入岛弧玄武岩区,与前人研究结论一致。

(7) 南斯拉夫第那瑞克(Dinaric)蛇绿岩。这是一套侏罗纪蛇绿混杂岩,它们侵位于一套二叠系-侏罗系的滑塌沉积物中,由杂砂岩、红色放射虫硅质岩、块状辉绿岩、枕状熔岩、辉长岩和橄榄岩碎块组成。在辉长岩及橄榄岩中有粒玄武岩脉。它被鉴定为发育在弧后盆环境(Lugovic et al. 1991)。根据 Lugovic et al. (1991)的数据,它的玄武岩和粒玄武岩样品点在 Ba-Th-Nb-La 判别图中均落在 IAB 和 MORB 两个区域内。这表明它们的源区同时受俯冲洋壳及扩张脊的影响,应发育在弧后盆环境中。

上述有关洋中脊、岛弧和弧后盆成因蛇绿岩的应用实例表明,这一套 Ba-Th-Nb-La 图解对判别蛇绿岩的生成构造环境是有效的。蛇绿岩经历的海水蚀变和变质作用不能显著影响它们的 Ba、Th、Nb、La 丰度。因此,尽管洋岛(海山)成因蛇绿岩因缺乏有关痕量元素数据而未能检验,但只要它象 OIB 一样具有高 Nb 特征,这些图件就能很好鉴别它们。

应当指出,在制作上述 Ba-Th-Nb-La 判别图时,我们没有考虑发育在大陆环境的火山岩(如大陆玄武岩、溢流玄武岩、陆内粗面安山岩等)。它们在上述图解中可能会与 IAB、OIB 有较大重叠。因此,这一套地球化学图解只适用于蛇绿岩的生成构造环境判别。对于古火山岩,如果有充分证据可以排除它的大陆成因可能性,也可应用这一套图解帮助判断其生成构造环境。

4 Ba-Th-Nb-La 判别图的制图参数

为便于对上述 Ba-Th-Nb-La 判别图的绘制和应用,我们将上述图解中 MORB、OIB 和 IAB 分布区分别用具直线的多边形包络起来(见图 6)。这些多边形的端点位置及坐标值示于图 6 和表 1。根据这些坐标值,可以很容易地在对数坐标纸上或利用微机作图程序绘制出相应的图解。

弧后盆玄武岩的分布区及边界点坐标在图 6 及表 1 中没有给出。这是因为 BABB 没有自己独立的分布。如前所述,只要一组玄武岩样品点能同时落入 IAB 和 MORB 两区,我们就可以认为它们具有 BABB 的特征。因此,单独圈出 BABB 区没有必要。

参 考 文 献

- 李曙光,陈移之,张宗清,张国伟,郭安林. 1992. 北秦岭拉拔庙苏长辉长岩的痕量元素和 Sr、Nd 同位素地球化学. 地质学报(待刊).
- Basaltic Volcanism Study Project, 1981. Island arc basalts, in: Basaltic volcanism on the terrestrial planets. Pergamon Press, New York, 193~213
- Briqueu L, Bougault H, Joron J L. 1984. Quantification of Nb, Ta, Ti and V anomalies in magmas associated with subduction zones; petrogenetic implications. Earth Planet. Sci. Lett., 68: 297~308
- Brown G M, Holland J G, Sigurdsson H, Tomblin J F, Arculus R J. 1977. Geochemistry of the Lesser Antilles volcanic island arc. Geochim. Cosmochim. Acta, 41: 785~801
- Carr M J, Feifenson M D, Bennett E A. 1990. Incompatible element and isotopic evidence for tectonic control of source mixing and melt extraction along the Central American arc. Contrib Mineral Petrol., 105: 369~380
- Chen C-Y and Frey F A. 1985. Trace element and isotopic geochemistry of lavas from Haleakala volcano, east Maui, Hawaii; implications for the origin of Hawaiian basalts. Jour. Geophys. Res., 90: 8743~8768
- Clague D A, Frey F A. 1982. Petrology and trace element geochemistry of the Honolulu volcanics, Oahu, implications for the oceanic mantle below Hawaii. Jour. Petrol., 23: 447~504
- Coleman R G. 1977. Ophiolites. Springer-Verlag, New York.
- Davidson J P. 1983. Lesser Antilles isotopic evidence of the role of subducted sediment in island arc magma genesis. Nature, 306: 253~256
- Defan M J, Clark L F, Stewart R H, Drummond M S, de Boer J Z, Maury R C, Bellon H, Jackson T E, Restrepo J F. 1991. Andesite and dacite genesis via contrasting processes: the geology and geochemistry of El Valle volcano, Pana-

- ma. *Contrib Mineral Petrol*, 106 : 309~324
- Ewart A, Bryan B, Gill J B. 1973. Mineralogy and Geochemistry of the younger volcanic islands of Tonga. *S. W. Pacific, Jour. Petrol.*, 14 : 429~465
- Floyd P A, Kelling G, Gokcen S L, Gokcen N. 1991. Geochemistry and tectonic environment of basaltic rocks from the Mi-sis ophiolitic melange, south Turkey. *Chemical Geology*, 89 : 263~280
- Frey F A, Clague D A. 1983. Geochemistry of diverse basalt types from Loihi Seamount, Hawaii; petrogenetic implications. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 66 : 337~355
- Green T H, Pearson N J. 1987. An experimental study of Nb and Ta partitioning between Ti-rich Minerals and silicate liquids at high pressure and temperature. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 51 : 55~64
- Hart S R. 1971. K, Rb, Cs, Sr and Ba contents and Sr isotope ratios of ocean floor basalts. *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.*, A, 268 : 573~587
- Henderson P. 1982. *Inorganic Geochemistry*. Pergamon Press, Oxford.
- Hickey R L, Frey F A, Gerlach D C. 1986. Multiple sources for basaltic arc rocks from the southern volcanic zone of the Andes (34°~41°S); trace element and isotopic evidence for continental crust. *Jour. Geophys. Res.*, 91 : 5963~5983
- Hofmann A W. 1988. Chemical differentiation of the relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 90 : 297~314
- Jacques A L, Chappell B W. 1980. Petrology and trace element geochemistry of the Papuan Ultramafic Belt. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 75 : 55~70
- Jahn B M. 1986. Mid-ocean ridge or marginal basin origin of the East Taiwan ophiolite; chemical and isotopic evidence. *Contrib. Mineral Petrol.*, 92 : 194~206
- Langmuir C H, Bender J F, Bence A E, Hanson G H, Taylor S R. 1977. Petrogenesis of basalts from the Famous area, mid-Atlantic ridge. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 36 : 133~156
- Langmuir C H, Vocke R D, Hanson G N. 1978. A general mixing equation with applications to Icelandic basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 37 : 380~392
- Lugovic B, Altherr R, Raczek I, Hofmann A W, Majer V. 1992. Geochemistry of peridotites and mafic igneous rocks from the Central Dinaric Belt, Yugoslavia. *Contrib Mineral Petrol*, 106 : 201~216
- Meschede M. 1986. A method of discriminate between different types of MORB and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. *Chem. Geol.*, 56 : 207~218
- Moores E M. 1982. Origin and emplacement of ophiolites. *Rev. Geophys. Space Phys.*, 20 : 735~759
- Morris J D, Hart S R. 1983. Isotopic and incompatible element constraints on the genesis of island arc volcanics from Cold Bay and Adak island, Aleutians, and implications for mantle structure. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47 : 2015~2030
- Noiret G, Montigny R, Allegre C J. 1981. Is the Vourinos complex an island arc ophiolite? *Earth Planet. Sci. Lett.*, 56 : 375~386
- Nye C J, Reid M R. 1985. Geochemistry of primary and least fractionated lavas from Okmok volcano, central Aleutians; implications for arc magmatogenesis. *Jour. Geophys. Res.*, 91 : 10271~10287
- Palacz Z A, Saunders A D. 1986. Coupled trace element and isotope enrichment in the Cook-Austral-Samoa islands, south-west Pacific. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 79 : 270~280
- Pearce J A, Cann J R. 1971. Ophiolite origin investigated by discriminant analysis using Ti, Zr and Y. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 12 : 339~349
- Pearce J A. 1975. Basalt geochemistry used to investigate past tectonic environments on Cyprus. *Tectonophysics*, 25 : 41~67
- Peretti A, Koppel V. 1986. Geochemical and lead isotope evidence for a mid-ocean ridge type mineralization within a poly-metamorphic ophiolite complex (Monte del Forno, North Italy/Switzerland). *Earth Planet. Sci. Lett.*, 80 : 252~264
- Perfit M R, Cusà D A, Bence A E, Arculus A R, Taylor S R. 1980. Chemical characteristics of island-arc basalts; implications for mantle sources. *Chem. Geol.*, 30 : 227~256

- Price R C, Kennedy A K, Riggs-Sneeringer M R, Frey F A. 1986. Geochemistry of basalts from the Indian ocean triple junction; implications for the generation and evolution of Indian ocean ridge basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 78 : 379~396
- Rhodes J M, Wenz K P, Neal C A, Sparks J W, Lockwood J P. 1989. Geochemical evidence for invasion of Kilauea's plumbing system by Mauna Loa magma. *Nature*, 337 : 257~260
- Roden M F, Frey F A, Clague D A. 1984. Geochemistry of tholeiitic and alkalic lavas from the Koolau range, Oahu, Hawaii; implications for Hawaiian volcanism. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 69 : 141~158
- Ryerson F J, Watson E B. 1987. Rutile saturation in magmas; implications for Ti-Nb-Ta depletion in island-arc basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 86 : 225-239
- Saunders A D, Tarney J. 1979. The geochemistry of basalts from a back-arc spreading centre in the East Scotia Sea. *Geochim. Cosochim. Acta*, 43 : 555~572
- Stolz A J, Varne R, Daries G R, Wheller G E, Foden J D. 1990. Magma source components in arc-continent collision zone; the Flores-Lembata sector, Sunda arc, Indonesia. *Contrib Mineral Petrol*, 105 : 585~601
- Sun S-S, Nesbitt R W, Sharaskin A Y. 1979. Geochemical characteristics of mid-ocean ridge basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 44 : 119~138
- Sun S-S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes, in "Magmatism in the Ocean Basin" eded by Saunders A D, Norry M J. *Geol. Soc. Special Publ.*, (42) : 313~345
- Tatsumi Y, Murasaki M, Arsadi E M, Nohda S. 1991. Geochemistry of Quaternary lavas from NE Sulawesi; transfer of subduction components into the mantle wedge. *Contrib Mineral Petrol*, 107 : 137~149
- Tatsumoto M. 1978. Isotopic composition of lead in oceanic basalt and its implication to mantle evolution. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 38 : 63~87
- Taylor S R, McLennan S M. 1985. *The continental crust; its composition and evolution*, Blackwell, Oxford
- Vallier T L, Jenner G A, Frey F A, Gill J B, Davis A S, Volpe A M, Hawkins J W, Morris J D, Cawood P A, Morton J L, Scholl D W, Rautenschlein M, White W M, Williams R W, Stevenson A J, White L D. 1991. Subalkaline andesite from Valu Fa Ridge, a back-arc spreading center in southern Lau Basin; petrogenesis, comparative chemistry, and tectonic implications. *Chemical Geology*, 91 : 227~256
- Völpe A M, Macdougall J D, Hawkin J W. 1987. Mariana Trough basalts (MTB); trace element and Sr-Nd isotopic evidence for mixing between MORB-like and arc-like melts. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 82 : 241~254
- White W M, Patchett J. 1984. Hf-Nd-Sr isotopes and incompatible element abundances in island arcs; implications for magma origins and crust-mantle evolution. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 67 : 167~185
- Wood D A. 1978. Major and trace element variations in the Tertiary lavas of eastern Iceland and their significance with respect to the Iceland geochemical anomaly. *Jour. Petrol.*, 19 : 393~436
- Wood D A, Joron J-L, Treuil M. 1979. A re-appraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 45 : 326~336

Ba-Nb-Th-La DIAGRAMS USED TO IDENTIFY TECTONIC ENVIRONMENTS OF OPHIOLITE

Li Shuguang

(*Department of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei, 230026*)

Key words: Ophiolite; Trace element; Geochemistry

Abstract

Ti-Zr-Y diagrams proposed by J. A. Pearce have widely been used to identify tectonic settings of ophiolite. However, because of considerable overlap in fields for island arc versus mid-oceanic environments and sensibility of Ti to fractional crystallization in basaltic magma, misidentification of tectonic setting is common using these geochemical diagrams. In this paper, the author proposes a group of new geochemical tectonic discriminant using 4 very incompatible elements (Ba, Nb, Th, La) with similar partition coefficients. Island arc basalts, Mid-ocean ridge basalts and oceanic island basalts can be separated well by Ba/Nb-Ba, Nb/Th-Nb, La/Nb-La and Ba/Nb-Th/Nb diagrams. Back arc basin basalts distribute in both MORB and IAB fields of these diagrams. These diagrams are also successful to identify tectonic settings of ophiolite which include lava and isotropic babbro, because of immobility of Nb, La, Th, Ba in sea water alteration and insensibility of their ratios to magma process.