

# 冲绳海槽中部玄武岩的岩石学和地球化学研究

韩宗珠, 于航, 赵广涛, 吕海燕

(中国海洋大学 海洋地球科学学院, 山东 青岛 266003)

**摘要:** 1992年冲绳海槽地质调查时, 在134站(126°56'7"E, 27°30'0"N)共采集到3件玄武岩样品, 其中1件取自134站表层样, 另外2件取自134站柱状样中的118~143 cm处和193~218 cm处(刀口位置)。通过对上述3件玄武岩样品的岩相学、岩石化学组成、稀土元素和微量元素和锶同位素比值分析研究, 认为本区玄武岩具多期次喷发特征, 早期喷发形成的玄武岩中单斜辉石质量分数较低, 晚期喷发形成的玄武岩中单斜辉石质量分数相对较高, 表明了单斜辉石为晚期结晶堆积产物。本区玄武岩稀土配分模式与岛弧拉斑玄武岩基本一致, 其 $^{87}\text{Sr}$ 与 $^{86}\text{Sr}$ 质量分数比值  $m(^{87}\text{Sr})/m(^{86}\text{Sr})$  为0.7046, 亦与岛弧拉斑玄武岩相当。最后利用Rb—Sr丰度特征确定本区的地壳厚度为19~24 km。

**关键词:** 冲绳海槽; 玄武岩; 构造背景

**中图分类号:** P581; P585.3; P595 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2005)06-0017-05

冲绳海槽位于东海东南边缘, 大陆架与琉球群岛之间, 北起日本九州, 南达中国台湾, 是西太平洋大陆边缘一个持续活动的弧后盆地。它平行琉球岛弧展布约1200 km, 东西宽约100~120 km, 海槽主体水深大于1000 m, 最大水深约2719 m, 火山活动是冲绳海槽显著的地质特征之一, 研究海底火山岩对认识海槽基底性质、盆地演化、火山物质通量以及海底热液活动和成矿作用均具有重要意义。

近年来的调查发现, 冲绳海槽火山活动以大量的中酸性—基性火山熔岩喷溢为特征, 海槽内出露的岩石涵盖了从玄武岩、安山岩到流纹岩等多种复杂的岩石类型(但以中酸性岩为主)。如此复杂多变的火山岩类型产于同一狭窄的海槽是举世无双的, 它反映并代表了弧后扩张盆地早期扩张作用的基本特性。

针对冲绳海槽火山岩, 前人已作了许多研究工作: (1) 日本学者首先对冲绳海槽火山岩进行鉴定, Kimura<sup>[1]</sup> 认为属双峰态高铝拉斑玄武岩系列; (2) 秦蕴珊等<sup>[2]</sup> 现存在两类来源不同的英安质浮岩; (3) 翟世奎等<sup>[3]</sup> 认为, 冲绳海槽的岩浆活动有从酸性向基性演化的趋势, 其中部热液活动区的玄武岩具E型玄武岩特点, 海槽深部可能存在双层岩浆房结构; (4) Honma等<sup>[4]</sup> 首次报道了4个玄武岩和1个英安岩样品的H, O, Sr, Nd同位素数据, 并据此对冲绳海槽岩浆源

区性质及可能的地壳混染作了初步探讨; (5) 李巍然等<sup>[5]</sup> 认为, 冲绳海槽内的酸性岩为钙碱性系列, 而基性岩具过度性特点, 两者均为地幔E型玄武岩岩浆不同分离程度的产物; (6) 孟宪伟等<sup>[6]</sup> 对火山岩进行了Sr, Nd同位素研究。

## 1 冲绳海槽火山岩概况

在冲绳海槽地质调查中, 使用挖泥斗、重力活塞取样管和拖网都采集到海底火山岩样品。根据沉积岩中大量出现火山岩碎屑, 浮岩独特的泡沫状气孔构造, 基底纵断裂上有横向断裂发育<sup>[7]</sup>以及火山岩岩体呈孤立丘或海丘群分布等情况判断, 岩浆是经过多条通道以中心式喷发的形式喷出并溢流海底的。

据岩石K—Ar测年资料显示, 冲绳海槽玄武岩形成于 $0.29 \text{ Ma} \pm 0.78 \text{ Ma}$  和  $0.42 \text{ Ma} \pm 0.19 \text{ Ma}$  前,

收稿日期: 2004-03-15; 修回日期: 2004-05-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49903003)

作者简介: 韩宗珠(1964-), 男, 山东安丘人, 教授, 目前主要从事岩石学、地球化学和宝玉石学教学与研究, 电话: 0532-2032832, 13905327693, E-mail: han640520@sina.com

属喜山晚期岩浆活动产物。这表明不仅“从晚更新世到现在冲绳海槽一直有连续不断的岩浆活动<sup>[8]</sup>”，而且最晚在冲绳海槽演化的第二阶段(扩展阶段)岩浆活动就已存在了<sup>[9]</sup>。

## 2 岩石学概况

### 2.1 岩相学特征

1992年冲绳海槽地质调查时，在134站(126°56'7"E, 27°30'0"N)共采集到3件玄武岩样品，其中1件取自134站表层样，另外2件取自134站柱状样中的118~143 cm处(样品编号为134-1)和193~218 cm处(刀口位置)(样品编号为134-2)，其间均为沉积物。

3件玄武岩均呈灰黑色，玄武结构，普遍气孔构造。表层样玄武岩(S134)相对致密，结晶程度相对较高，气孔含量相对较少；柱状样玄武岩(S134-1和S14-2)气孔含量相对较多，矿物成分以单斜辉石和基性斜长石(An55)为主，含部分磁铁矿和玻璃质。

镜下观察：S134呈斑状结构，气孔构造，基质为玻璃质，其中含有细小的橄榄岩、斜长石、辉石颗粒；斑晶为斜长石、橄榄石、单斜辉石颗粒；斜长石呈针状，薄片无色，解理发育，有聚片双晶，双折射率低，干涉色为一级灰白，二轴晶。橄榄石呈不规则粒状，薄片无色，高正突起，糙面显著，具不规则裂理，解理发育。单斜辉石呈短柱状，薄片无色，高正突起，糙面显著，二轴晶，正光性，斜消光，二级干涉色。

S134-1和S134-2薄片与S134相类似，只是单斜辉石含量明显减少。

从X射线衍射分析结果(图1)和偏光显微镜下岩石薄片观察都显示出，134站表层样玄武岩S134中单斜辉石含量较高，结晶程度相对较高(玄武结构)，而柱状样中的玄武岩S134-1和S134-2中单斜辉石含量明显减少，结晶程度相对较低(玄武结构向间隐结构过渡)，这可能与柱状样中的玄武岩较表层样玄武岩结晶速度较快有关。

### 2.2 岩石化学特征

冲绳海槽玄武岩的岩石化学成分列入表1中，从表中可以看出，其化学成分与大洋拉斑玄武岩成分相当，只是MgO含量偏低。

从岩石化学组成来看，134站柱状样中的2个玄武岩的化学成分基本相同。与表层样玄武岩相比，柱状样中的玄武岩其MgO, CaO, K<sub>2</sub>O和P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>含量明显

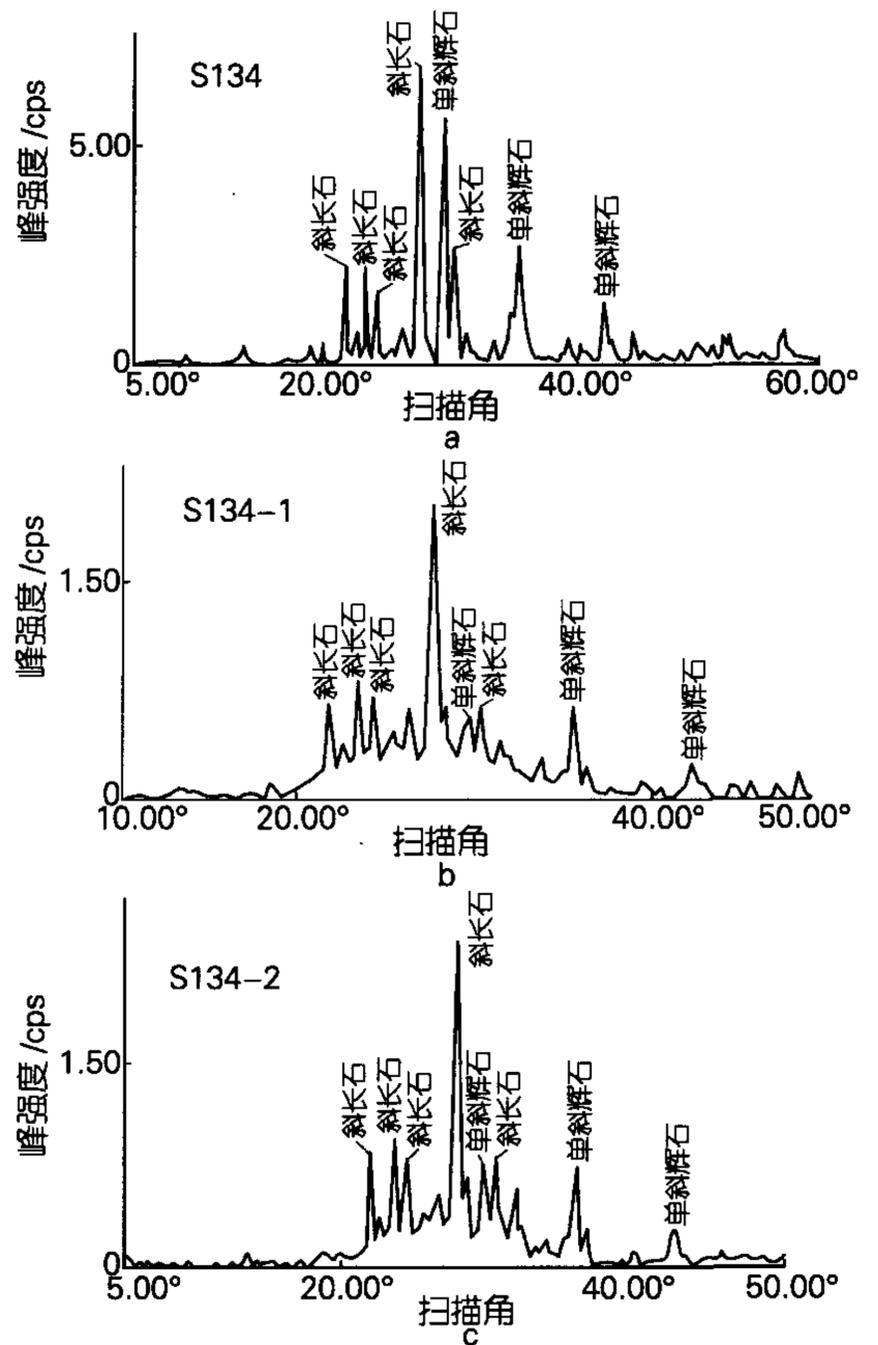


图1 冲绳海槽中部玄武岩的X射线衍射图谱

Fig. 1 The x-ray diffractogram of basalts from the middle part of Okinawa

表1 冲绳海槽中部玄武岩的化学组成

Tab. 1 Chemical compositions of basalts from the middle part of Okinawa (%)

化学成分	化学成分质量分数(%)		
	S134	S134-1	S134-2
SiO <sub>2</sub>	50.13	51.14	51.36
TiO <sub>2</sub>	0.97	0.95	1.08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.86	16.32	16.91
FeO	9.51	11.43	10.80
MnO	0.21	0.21	0.24
MgO	5.95	4.41	4.23
CaO	11.52	10.18	10.18
Na <sub>2</sub> O	2.53	2.76	2.99
K <sub>2</sub> O	0.68	0.55	0.57
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.23	0.16	0.14
H <sub>2</sub> O	1.23	1.52	1.63
总量	99.82	99.63	100.13

偏低，而  $\text{SiO}_2$  和  $\text{Na}_2\text{O}$  含量则明显偏高。 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{FeO}^*$  (全铁) 两者之间大体相同。

在 AFM 关系图(图2)上, 本区玄武岩均落在拉斑玄武岩范围。

由图 3 也可看出本区玄武岩全部落在岛弧拉斑玄武岩范围, 但很接近钙碱玄武岩。

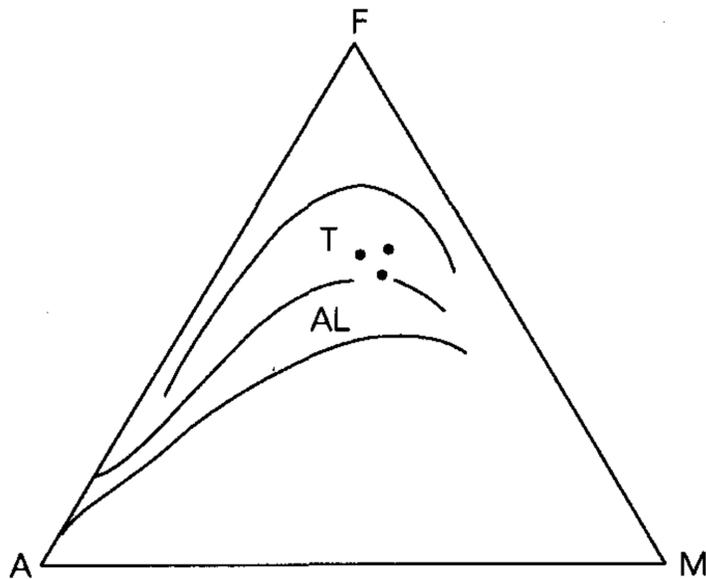


图 2 冲绳海槽中部玄武岩的 AFM 图解

Fig. 2 The  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$  diagram of the basalts from the middle part of Okinawa

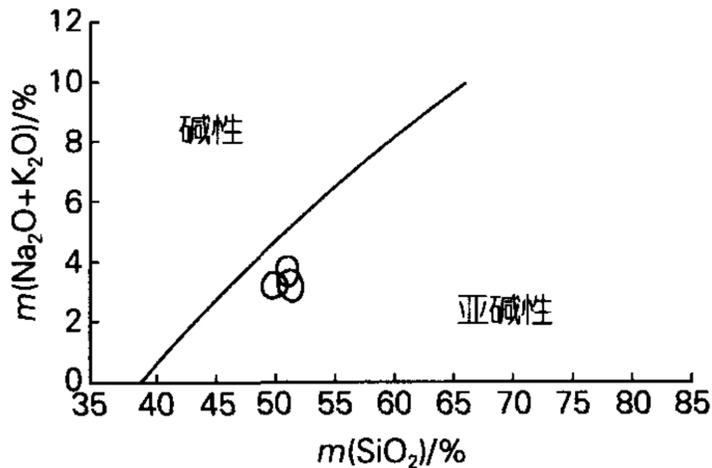


图 3 冲绳海槽中部玄武岩的  $\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  相关性图解

Fig. 3 Correlation diagram of  $\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  for the basalts from the middle part of Okinawa

### 3 微量元素和稀土元素地球化学特征

冲绳海槽中部 134 站表层样及柱状样中玄武岩的微量元素和稀土元素分析结果列入表 2 中。

利用火成岩的微量元素特征来判别岩浆形成的物质来源和构造地质背景是一种非常有效的手段, 并被许多研究者所利用。我们选择了几种常用的判别图解对冲绳海槽中部玄武岩(S134 站)作了微量元素判别, 以期解决它们的物质来源及其形成的地质

表 2 冲绳海槽中部率武岩的稀土元素和微量元素含质量分数

Tab. 2 Rare earth elements and trace elements of basalts from the middle part of Okinawa

元素	质量分数( $\mu\text{g/g}$ )		
	S134	S134-1	S134-2
La	9.13	7.45	8.65
Ce	20.5	18.5	17.2
Nd	12.7	12.07	11.40
Sm	3.23	3.31	2.92
Eu	1.18	1.12	1.05
Gd	3.77	-	-
Tb	0.65	0.71	0.66
Dy	-	4.83	4.34
Yb	2.13	3.34	2.33
Lu	0.34	0.54	0.38
Ba	83	133	145
Zr	67	72	65
Nb	3.6	5.4	1.4
Rb	15	35	29
Sr	345	389	249
Y	14.2	17.5	18.8
Sc	38.2	35.1	34.4
U	0.77	0.95	1.04
Th	1.30	1.21	1.21
Ga	4.7	26.6	23.5
Hf	1.63	2.04	1.98
Sb	0.41	0.80	0.42
Zn	83	132	95
Ni	84	116	536
Co	35	37	36
Cr	114	68	89
V	226	164	163

构造背景。地幔的划分最初是用大洋玄武岩研究的, 其类型有富集型地幔、亏损型地幔、过渡型地幔三大类。上述地幔均为原始地幔演变而成, 故其类型还应加上原始地幔。可用 Nb, Zr, Y 的丰度值进行直接划分。

图 4 为本区玄武岩的 Zr-Nb 相关性图解, 从图中可以看出, 本区玄武岩位于接近原始地幔线的亏损地幔区, 显示出其源区基本接近原始地幔组成。

图 5 为本区玄武岩表层样(S134)的稀土元素球粒陨石标准化模式图解, 从图中可见, 本区玄武岩的 La 与 Yb 质量分数的比值  $m(\text{La})/m(\text{Yb})$  高于岛弧拉斑玄武岩, 而低于洋岛拉斑玄武岩; 铕异常为 -0.04, 近乎无铕异常,  $m(\text{La})_N/m(\text{Yb})_N$  为

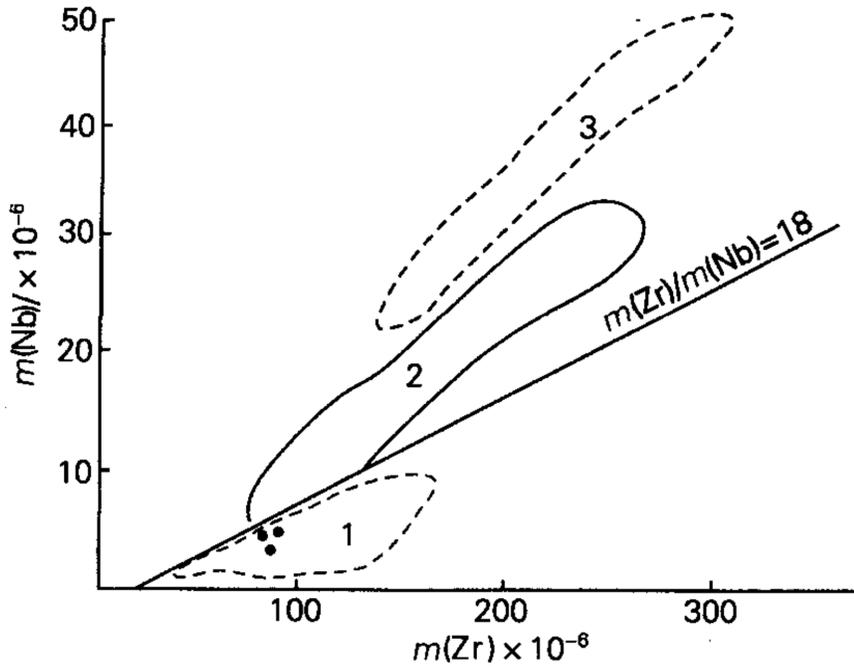


图 4 冲绳海槽中部玄武岩的 Zr-Nb 相关性图解  
Fig. 4 Correlation diagram of Zr-Nb for the basalts from the middle part of Okinawa

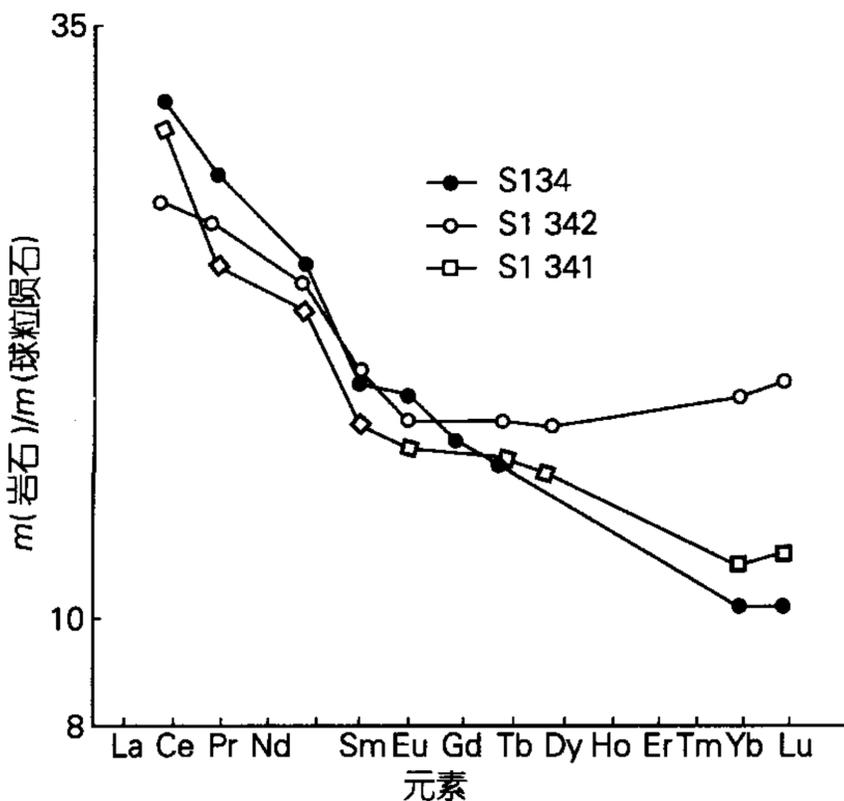


图 5 冲绳海槽中部玄武岩的稀土元素球粒陨石标准化图解

Fig. 5 Chondrite-normalized rare earth elements distribution for basalts from the middle part of Okinawa

1.46。  $m(\text{La})_N/m(\text{Yb})_N$  是稀土元素球粒陨石标准化图解中分布曲线的斜率, 它反映了曲线的倾斜程度, 其值大于 1, 曲线为向右倾斜富集 LREE(轻稀土元素)。

本区稀土元素分配模式与岛弧拉斑玄武岩相类似, 但其稀土元素总量高于岛弧拉斑玄武岩, 表明其原始岩浆的熔融程度低于岛弧拉斑玄武岩。

图 6 为利用 Rb-Sr 丰度平行线图确定的本区地壳厚度, 从所作的 3 件样品的 Rb, Sr 丰度投影点来看, 本区地壳厚度为 19~24 km, 这与李乃胜<sup>[10]</sup>计算的本区地壳厚度相一致。

本区玄武岩的  $m(^{87}\text{Sr})/m(^{86}\text{Sr})$  是在经过化学前处理之后, 然后在核工业北京地质研究院 MAT261 质谱仪上测得, 以 NBS987 为标准, Ra 带, 全程本底为  $2.5 \times 10^{-9}$ , 测得的结果为 0.704 6, 由于本区玄武岩(S134)的 Rb 质量分数很低( $15 \mu\text{g/g}$ ),  $m(\text{Rb})/m(\text{Sr})$  为 0.043 5,  $^{87}\text{Rb}$  衰变为  $^{87}\text{Sr}$  的量很小, 故这一测定结果可以被看作本区玄武岩的  $m(^{87}\text{Sr})/m(^{86}\text{Sr})$  初始比值, 这与岛弧玄武岩的锶同位素初始比值基本相一致。

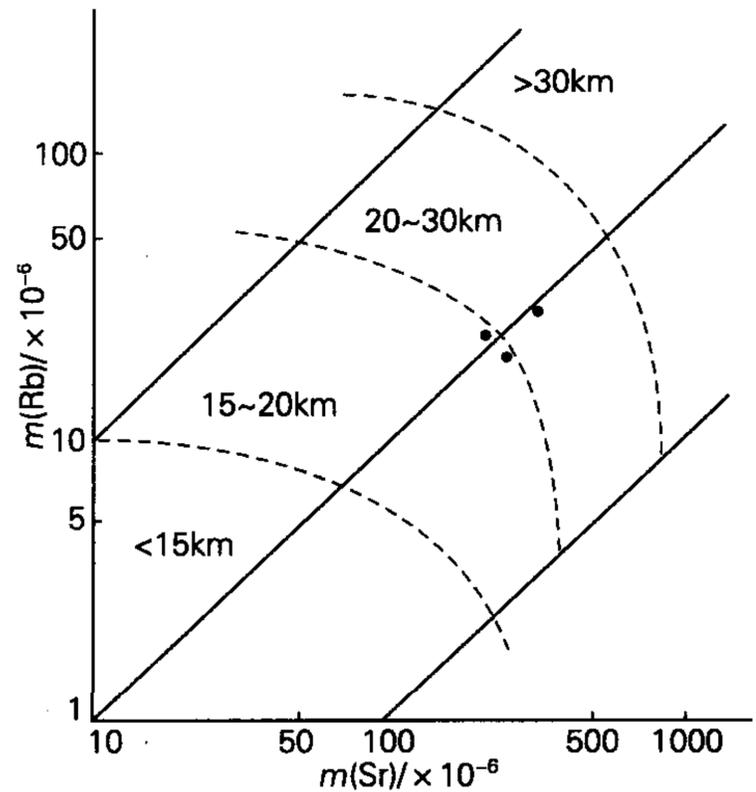


图 6 冲绳海槽中部玄武岩 Rb-Sr 丰度平行线图  
Fig. 6 The Rb-Sr diagram for basalts from the middle part of Okinawa

#### 4 结论

根据冲绳海槽中部 134 站玄武岩的岩石学和地球化学研究, 可以得出以下几点结论: (1) 冲

绳海槽中部玄武岩的喷发具多期次特征, 较早期喷出的玄武岩由于含较高的挥发性组分, 从而形成较多的气孔构造; (2) 早期喷发形成的玄武岩中单斜辉石含量较少, 晚期喷发形成的玄武岩中单斜辉石含量相对较高。表明了单斜辉石为晚期结晶堆积产物; (3) 本区玄武岩相当于拉斑玄武岩, 其稀土配分模式与岛弧拉斑玄武岩基本一致; (4) 本区玄武岩的  $m(^{87}\text{Sr})/m(^{86}\text{Sr})$  比值为 0.7046, 与岛弧拉斑玄武岩相当; (5) 利用 Rb—Sr 丰度平行线图确定的本区地壳厚度为 19~24 km。

**参考文献:**

- [1] Kimura M. Back - arc rifting in the Okinawa Trough [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 1986, 2: 222 - 240.
- [2] 秦蕴珊, 翟世奎, 毛雪瑛, 等. 冲绳海槽浮岩的微量元素丰度及其地质意义 [J]. *海洋与湖沼*, 1987, 18 (4): 313—319.
- [3] 翟世奎, 陈丽蓉, 张海启. 冲绳海槽的岩浆活动与海底热液活动[M]. 北京: 海洋出版社, 2001. 104—111.
- [4] Honma H, Kusakabe M, Kagami H, *et al.* Major and trace elementss chemistry and D/ H,  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  and  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  ratios of rocks from the spreading center of the Okinawa Trough, a marginal back - arc basin[J]. *Geochemistry Journal*, 1991, 25: 121—136.
- [5] 李巍然, 杨作升, 王永吉, 等. 冲绳海槽火山岩岩石化学特征及其地质意义[J]. *岩石学报*, 1997, 13(4): 538—550.
- [6] 孟宪伟, 杜德文, 龙江平. 冲绳海槽中段火山岩系 Sr 和 Nd 同位素地球化学特征及其地质意义[J]. *中国科学(D辑)*, 1999, 29(4): 368—371.
- [7] 李乃胜. 冲绳海槽地热[M]. 青岛: 青岛出版社, 1995. 1—138.
- [8] 陈丽蓉, 翟世奎, 申顺喜. 冲绳海槽浮岩的同位素特征及年代测定[J]. *中国科学 (B辑)*, 1993, 23(3): 324—329.
- [9] 王舒略, 梁寿生. 冲绳海槽盆地的地质构造特征与盆地演化历史[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1986, 6(2): 17—29.

## Petrology and geochemistry of the basalt from the middle part of Okinawa

HAN Zong - zhu, YU Hang, ZHAO Guang - tao, LU Hai - yang

(Department of Marine Earthscience, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Received: Mar, 15, 2004

**Key words:** Okinawa Through; tholeiite; structure background

**Abstract:** During the survey of the Okinawa Through in 1992, three basalt samples were collected from 134 site (126°56'7"E, 27°30'0"N), one sample from surface layer, two samples from the sample column (1181~43 cm, 193~218). The studies of the mineralogy, petrochemistry and REE, trace elements, Sr isotope of the basalt samples suggest that the basalts from several eruption terms. In former erupted basalt the content of monopyroxene is low, in later erupted basalt the content of monopyroxene is contrary, it indicates that the monopyroxene is the result of crystal piling. The rare earth elements pattern is like the tholeiite, the ratio of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  is 0.7046 is also like the tholeiite. Through of the content of Rb - Sr confirming that the thickness of the lithosphere is 19~24 km.

(本文编辑: 刘珊珊)