

文章编号:1009-2722(2017)12-0001-06

# 西太平洋采薇海山群基岩特征

韦振权, 邓希光, 朱克超, 姚会强, 杨 永, 任江波

(国土资源部海底矿产资源重点实验室, 中国地质调查局广州海洋地质调查局, 广州 510075)

**摘要:**对西太平洋采薇海山群基岩的类型、分布及岩石学特征进行了研究, 同时对该海山群玄武岩主量元素和微量元素地球化学特征进行了初步分析。研究表明, 采薇海山群的基岩类型主要为火山碎屑岩、灰岩、玄武岩和磷块岩; 海山群的基岩以火山碎屑岩为主, 其次为灰岩和玄武岩, 磷块岩相对不发育。镜下鉴定结果显示, 火山碎屑岩以玄武质火山角砾岩为主, 灰岩主要为泥晶生屑灰岩或亮晶生屑灰岩, 磷块岩多由生物碎屑灰岩或火山碎屑岩发生磷酸盐化而形成。采薇海山群玄武岩主量元素特征与夏威夷岛碱性玄武岩类似, 属碱性玄武岩; 微量元素分析结果显示其具有洋岛和碱性玄武岩特征, 反映其形成于碱性洋岛构造环境。

**关键词:**地球化学特征; 玄武岩; 基岩特征; 采薇海山群; 西太平洋

中图分类号: P736.1

文献标识码: A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2017.12001

采薇海山群位于西太平洋的麦哲伦海山区。该海山群所处的西太平洋因其基底洋壳的年龄较老, 构造历史复杂, 成为了太平洋中海山集中发育的地区, 从而造就了著名的西太平洋富钴结壳成矿带<sup>[1]</sup>。中国大洋协会与国际海底管理局签订的富钴铁锰结壳勘探合同区有一半面积(1 500 km<sup>2</sup>)即位于采薇平顶海山群。我国对采薇海山群的调查始于 20 世纪 90 年代, 至今共有 7 个大洋航次曾在该海山群开展过调查工作。据统计, 截至目前我国已在该海山群实施逾百个浅钻测站, 获取大量宝贵的基岩和富钴结壳样品。本文通过对采薇海山群基岩及玄武岩地球化学的研究, 有助于进一步了解研究区基岩的类型、分布及岩石学特征, 初步认识研究区玄武岩主量元素和微量元素地球化学特征, 为该区海底矿产资源调

查提供基础地质依据。

## 1 地质概况

采薇海山群主要包含 2 个相对独立的平顶山, 规模较大的主体海山为采薇平顶山(Pallada Guyot), 规模较小的附属海山为采杞平顶山, 两者相距 10.2 km。该海山群位于西太平洋马里亚纳东侧的东马里亚纳海盆东北缘, 与 Vlinder、Loah、Ita Mai Tai(维嘉海山)等海山构成整体呈 NW 向链状分布麦哲伦海山区, 而海山区单座海山的走向为 NE 向(图 1)。整个海山区属大型断块状隆起, 延长近 1 200 km, 海山区的海山年龄为 80 ~120 Ma<sup>[2-5]</sup>, 海山区的火山活动表现为 3 个主要阶段: 盾形海山形成之前形成火山基底; 盾形海山形成; 海山被侵蚀、淹没后再次的火山活动形成火山锥<sup>[6]</sup>。根据该海山区历年的航次调查结果, 海山地层明显分为基底和沉积盖层两层构造, 两者之间呈明显角度不整合接触关系。海山基底岩石主要由早白垩世的拉斑玄武质枕状熔岩组成, 其次有早白垩世—古近纪的亚碱性玄武岩及

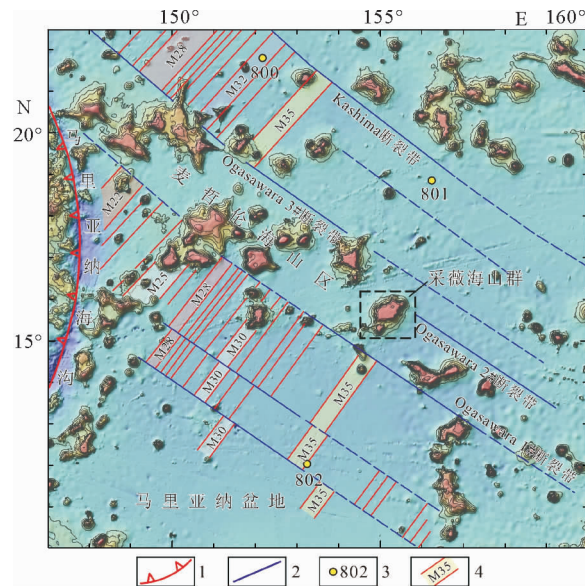
收稿日期:2017-03-27

基金项目:国家自然科学基金(41606071); 国际海域资源调查与开发“十二五”课题(DY125-13-R-05, DY125-13-R-01)

作者简介:韦振权(1978—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事大洋矿产资源与南海油气资源的调查与研究。

E-mail: wei\_zhenquan@163.com

新近纪的碱性玄武岩和火山碎屑岩;海山沉积盖层主要有早白垩世—古新世的生物礁灰岩、泥岩,始新世—早中新世的有孔虫灰岩及第三纪—全新世的有孔虫砂、软泥等钙、泥质沉积物等,沉积厚度不等<sup>[1]</sup>。经浅层剖面调查,上覆沉积层的厚度约为25~100 m<sup>[7]</sup>。目前,多数研究者认为麦哲伦海山主体火山建造属热点成因,其起源与法属波利尼西亚群岛的南太平洋同位素和热异常区(SOPITA)热点在白垩纪期间的活动有关<sup>[8-10]</sup>。



1 俯冲带;2 转换断层;3 ODP 钻孔;4 磁条带及编号

图1 麦哲伦海山区构造简图(据文献[5]修改)

Fig.1 Sketch tectonic map of the Magellan Seamounts (modified from reference [5])

## 2 岩石学特征

本次研究的样品由我国执行大洋科考时在研究区通过深海浅钻取样获取。目前研究区浅钻测站共108个,测站主要分布于海山平顶边缘、水深在1 387~2 803 m的范围内。其中有81个测站钻获基岩样品。据野外现场特征描述,获得的基岩可大致分为火山碎屑岩、灰岩、玄武岩和磷块岩4类,各类基岩在采薇海山群的分布情况如图2所示。总体上,采薇海山群平顶边缘的基岩主要以火山碎屑岩为主(约占45%);其次是灰岩(约占23%)和玄武岩(约占23%);磷块岩(约占

9%)相对较少钻遇。对各类基岩部分样品进行了镜下鉴定,结果如下:

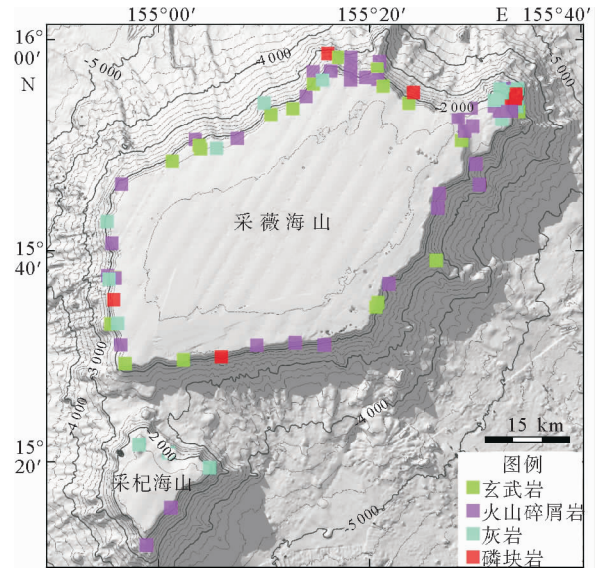
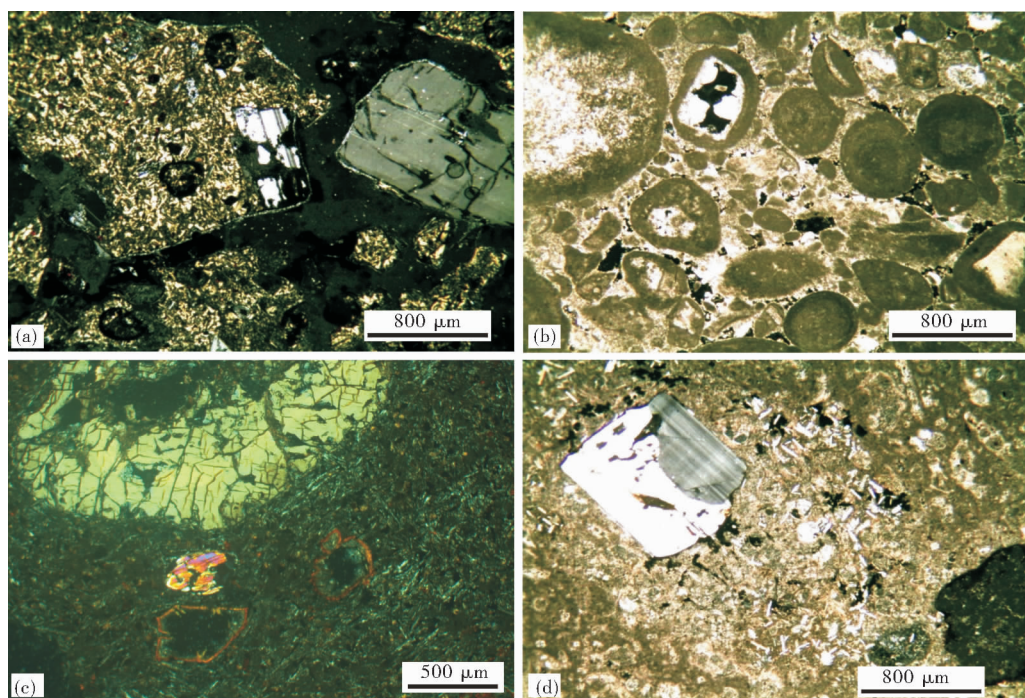


图2 采薇海山群浅钻取样获取的各类基岩分布

Fig.2 Distribution of substrate rocks disclosed by shallow drilling in Caiwei Seamounts

火山碎屑岩 据野外现场描述结果,该类基岩除一个测站为凝灰岩外,其余全为火山角砾岩。在室内对其中3个火山角砾岩样品进行了镜下鉴定,分别定名为含铁玄武质火山角砾岩、含钙质泥质结核玄武质角砾岩和含钙质玄武质火山角砾岩。总的来看,这些岩石的角砾主要为玄武质岩,其次为富钴结壳。玄武岩角砾呈棱角状,大小不等,一般为2~25 mm;角砾内部具斑状结构或玻晶交织结构,气孔杏仁状构造。角砾内部的斑晶以斜长石为主,暗色矿物次之(图3a)。斜长石呈自形板状,大小为0.05~4 mm;暗色矿物斑晶全部被伊丁石、蛇纹石或褐铁矿等交代,有的具橄榄石假象,有的似辉石。基质主要是板条状斜长石和粒状暗色矿物微晶,分布于黄褐色玻璃中,玻璃多数脱玻化重结晶。富钴结壳角砾多数镜下不透明,边部极薄处可见同心环状、皮壳状构造,主要由泥质和铁、锰质矿物组成。岩石胶结物有的为铁质和隐晶质,在隐晶质胶结物中分散少量板状、菊花状石膏晶体;有的为钙质生物碎屑或亮晶方解石,粒径多<0.1 mm。



(a)玄武质火山角砾岩(正交偏光);(b)泥晶生屑灰岩(正交偏光);(c)玄武岩(正交偏光);(d)磷块岩(原岩为泥晶生屑灰岩)(正交偏光)

图 3 采薇海山群基岩显微照片

Fig. 3 Photomicrograph of substrate rocks from Caiwei Seamounts

**灰岩** 对 10 个测站的灰岩样品进行了镜下鉴定,岩石定名主要为泥晶生屑灰岩或亮晶生屑灰岩,主要由生物碎屑、火山岩碎屑、鲕粒、亮晶胶结物和泥晶基质组成。生物碎屑普遍可见,火山碎屑和鲕粒仅在部分样品中可见。生物碎屑呈圆形—椭圆形、三角形、心形、葫芦形、花瓣形及不规则状,为海绵骨针、藻类、珊瑚、海百合茎、瓣腮类(双壳)、腕足类、有孔虫、介形虫壳体等(图 3b),碎屑大小一般为 0.03~5 mm,个别为 5~12 mm,杂乱分布。火山岩碎屑以玄武质砾屑为主,呈不规则棱角状—一次棱角状、圆状—一次圆状,大小为 0.22~20 mm,呈散状分布;砾屑内部有的具玻晶交织结构,有的为隐晶结构,少数具凝灰结构。鲕粒以圆形、椭圆形为主,大小一般为 0.5~1.5 mm,以薄皮鲕为主,正常鲕较少,具同心环状构造,鲕核多为生物碎屑。亮晶胶结物为方解石,他形粒状,大小一般为 0.05~0.1 mm,部分为 0.1~0.2 mm,镶嵌状分布。泥晶基质为方解石,他形粒状,大小一般为 0.001~0.01 mm,部分为 0.01~0.1 mm,呈填隙状分布。碎屑间除泥晶方解石外,局部可见铁质等不透明矿物。

**玄武岩** 通常已发生一定蚀变,呈灰黑色—褐色,致密块状,部分样品有气孔或由方解石、玉髓等矿物充填形成的杏仁构造;具斑状结构,斑晶主要包括橄榄石、辉石以及斜长石,斑晶矿物多见伊丁石化以及绿泥石化而呈假象;基质多为间隐结构或间粒间隐结构,板条状的微晶斜长石形成的格架中充填有玄武玻璃以及少量不透明副矿物(图 3c)。

**磷块岩** 相对较少钻遇,多由生物碎屑灰岩或火山碎屑岩发生磷酸盐化而形成,其镜下特征与原岩基本相同。通常认为这类岩石是由海水中磷酸盐对已形成的岩石强烈交代形成,其结构构造仍保留原岩的特征,但矿物和化学成分复杂, $P_2O_5$  含量  $>18\%$ <sup>[11]</sup>。图 3d 为一磷块岩样品的显微照片,其原岩为含凝灰质泥晶生屑灰岩,主要由生物碎屑、火山岩碎屑、长石晶屑、泥晶基质、泥铁质结核组成。

### 3 玄武岩地球化学特征

采薇海山群玄武岩主量元素和微量元素分析

由南京大学地球科学系中心实验室分析,分析结果列于表1。主量元素分析结果表明,样品的烧失量均较大,介于2.10~6.78之间,表明样品遭受了较强的蚀变作用,与薄片观察结果一致。 $\text{SiO}_2$ 含量介于34.09%~53.75%之间,平均为44.34%;有4个样品的 $\text{SiO}_2$ 含量低于玄武岩正常值,可能与样品遭受海底风化作用导致 $\text{SiO}_2$ 流失有关,而其中1个样品的 $\text{SiO}_2$ 含量高于玄武岩正常值则可能由该样品遭受热液蚀变引起。 $\text{TiO}_2$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量平均值分别为2.99%和15.13%。 $\text{P}_2\text{O}_5$ 含量介于0.41%~11.95%,总

体含量较高,反映岩石遭受后期不同程度的磷酸盐化作用。总体上,除去受后期影响 $\text{SiO}_2$ 和 $\text{P}_2\text{O}_5$ 外,采薇海山群玄武岩的化学成分与夏威夷岛碱性玄武岩的化学成分<sup>[12]</sup>较为近似。样品Mg平均含量低(为2.25%,夏威夷岛碱性玄武岩为5.18%),镁指数值 $\text{Mg}^\#$ 介于56.23~83.66之间,多数样品 $\text{Mg}^\#$ 低于原生岩浆范围的 $\text{Mg}^\#$ ( $\text{Mg}^\#$ 为68~75)<sup>[13]</sup>,样品固结指数 $\text{SI}<40$ ,反映样品为原始岩浆经过结晶分异的产物。

由于样品遭受后期蚀变作用的影响,在岩石分类时选用了对流体交代更惰性的高场强元素的

表1 采薇海山群玄武岩主量元素含量(%)和微量元素含量( $\mu\text{g/g}$ )

Table 1 Major elements(%) and trace elements( $\mu\text{g/g}$ ) contents of basalts from Caiwei Seamounts

样品	MASD07 <sup>[14]</sup>	MASD12 <sup>[15]</sup>	MASD21 <sup>[15]</sup>	MASD23 <sup>[15]</sup>	MAD23 <sup>[16]</sup>	MAD24 <sup>[15]</sup>	MASD27 <sup>[16]</sup>	MASD31 <sup>[16]</sup>	MASD33 <sup>[16]</sup>	MASD39 <sup>[16]</sup>
$\text{SiO}_2$	38.18	45.50	39.83	34.09	39.97	53.75	51.31	48.76	49.58	42.45
$\text{Al}_2\text{O}_3$	18.39	15.76	13.28	13.16	14.14	7.84	18.03	17.81	16.85	16.03
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	14.85	14.89	15.36	9.53	17.28	17.23	9.94	12.82	13.20	13.86
MgO	0.06	3.13	1.38	2.46	3.96	1.33	2.31	1.56	2.22	4.13
CaO	9.68	6.22	9.02	16.44	8.32	3.35	5.79	5.26	6.42	8.73
$\text{Na}_2\text{O}$	2.64	3.55	2.60	1.91	2.60	4.46	3.44	3.25	3.54	1.99
$\text{K}_2\text{O}$	1.43	1.80	3.61	1.39	1.42	1.94	2.50	2.09	1.73	1.54
MnO	2.27	0.54	1.90	1.25	0.29	0.27	0.16	0.06	0.17	0.16
$\text{TiO}_2$	3.40	1.85	2.44	2.58	3.17	2.09	2.51	3.61	2.87	5.41
$\text{P}_2\text{O}_5$	3.35	1.42	5.58	11.95	2.34	0.75	0.78	0.85	1.12	0.41
LOI	5.65	5.09	4.79	5.03	6.19	6.78	2.99	3.65	2.10	5.02
Total	99.90	99.75	99.79	99.79	99.68	99.79	99.76	99.72	99.80	99.73
SI	0.32	13.39	6.01	16.09	15.68	5.33	12.70	7.91	10.73	19.19
$\text{Mg}^\#$	65.30	68.77	72.94	74.01	62.79	66.83	83.66	56.23	62.65	64.61
Sr	2214	608	1192	12.3	1024	1589	350	252	251	461
Zr	584	112	187	263	218	348	439	344	260	231
Ba	1565	574	2554	1287	71.5	954	982	395	469	590
Rb	33.3	40.5	37.0	25.3	30.2	44.8	78.8	40.5	48.1	33.6
Th	5.58	2.15	4.39	5.63	4.40	6.25	13.5	7.14	5.52	2.74
Ta	9.12	2.28	2.89	11.0	5.05	9.04	24.2	16.7	13.5	16.3
Nb	67.4	30.8	41.1	33.7	231	15.4	80.1	55.1	41.7	49.5
Hf	10.9	1.65	2.75	5.11	2.87	4.94	8.35	6.90	5.25	4.29
Y	36.0	38.9	68.7	149	62.2	49.8	25.9	24.2	21.2	19.5
Ce	93.0	50.8	82.8	67.9	92.4	152	96.7	70.1	55.7	44.6
Sm	7.01	5.37	8.07	10.4	9.82	13.2	8.11	7.30	5.61	6.39
Yb	2.10	2.53	3.32	8.64	3.57	3.59	2.27	2.18	1.75	1.47

Nb/Y—Zr/TiO<sub>2</sub> 岩石分类图<sup>[17]</sup>(图 4)。从分类图中可见,绝大部分玄武岩样品落在碱性玄武岩区。

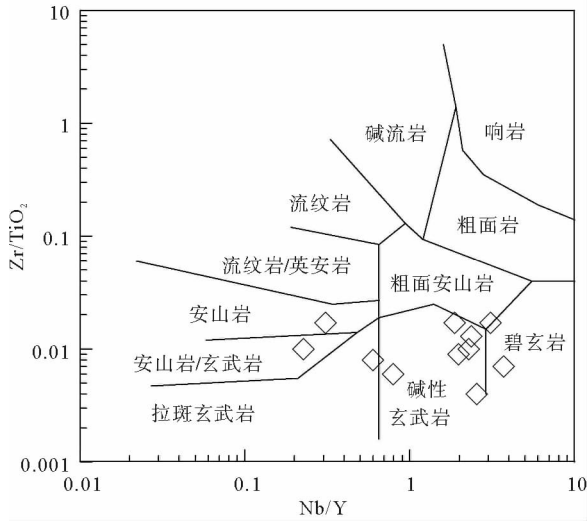
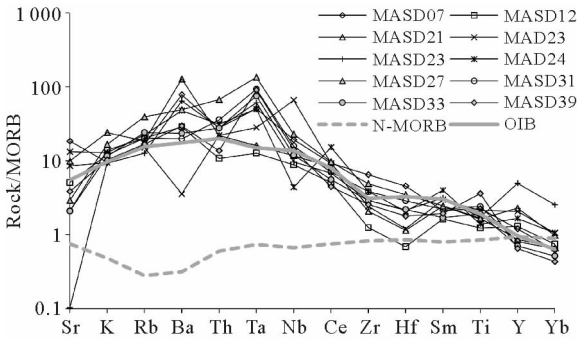


图 4 采薇海山群玄武岩 Zr/TiO<sub>2</sub>-Nb/Y 分类 (据文献[17])

Fig. 4 Zr/TiO<sub>2</sub>-Nb/Y classification diagram for basalts from Caiwei Seamounts (from reference [17])

在对 MORB 的相应丰度进行标准化的蛛网图(图 5)上,10 个样品的配分曲线基本一致,反映其同源性。岩石富集 Sr、Rb、Ba 等大离子亲石元素和 Nb、Ta、Zr、Hf、Sm、Ti 等高场强元素,总体上类似于 OIB 的分布模式。左边大离子亲石元素 Sr 和 Ba 变化较大,可能与后期以水为主的蚀变有关。Ta 相对于 OIB 富集,推测与源区成分有关。



MORB 标准化数据据(据文献[18]); N-MORB 和 OIB 曲线据(据文献[19])

图 5 采薇海山群玄武岩微量元素蛛网图

Fig. 5 Spider diagrams for basalts from Caiwei seamounts

在不活泼元素 Th—Hf—Nb 构造判别图解上,采薇海山群玄武岩大部分投在了碱性板内玄武岩(图 6),表明样品具有洋岛和碱性玄武岩特征,反映其形成于碱性洋岛构造环境。有 4 个样品落于碱性板内玄武岩区之外,说明蚀变作用对这些判别元素的含量变化还是产生了一定的影响。

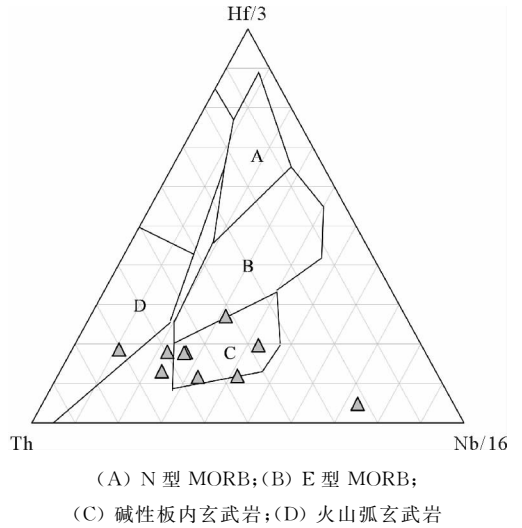


图 6 采薇海山群玄武岩 Th—Hf—Nb 判别图 (据文献[20])

Fig. 6 Th-Hf-Nb discrimination diagram for basalts from Caiwei Seamounts (from reference [20])

### 4 结论

(1)采薇海山群的基岩类型主要为火山碎屑岩、灰岩、玄武岩和磷块岩,其中以火山碎屑岩为主,其次为玄武岩和灰岩,磷块岩相对不发育。火山碎屑岩以玄武质火山角砾岩为主,灰岩主要为亮晶生屑灰岩或泥晶生屑灰岩,磷块岩多由生物碎屑灰岩或火山碎屑岩发生磷酸盐化而形成。

(2)采薇海山群玄武岩主量元素特征与夏威夷岛碱性玄武岩类似,属碱性玄武岩;采薇海山玄武岩微量元素分析结果表明其具有洋岛和碱性玄武岩特征,反映其形成于碱性洋岛构造环境。

#### 参考文献:

[1] 任向文. 西太平洋富钴结壳成矿系统[D]. 青岛:中国科学院海洋研究所,2005:64-67.

[2] Epp D. Possible perturbations to hotspot traces and implications for the origin and structure of the Line Islands[J]. Journal of Geophysical Research, 1984, 89: 11273-11286.

[3] Lonsdale P. Geography and history of the Louisville hotspots

- pot chain in the Southwest Pacific[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1988, 93(B4): 3078-3104. doi: 10.1029/JB093iB04p03078
- [4] Wessel P, Kroenke L. A geometric technique for relocating hotspots and refining absolute plate motions[J]. *Nature*, 1997, 387(6631): 365-369.
- [5] Koppers A A P, Staudigel H, Pringle M S, et al. Short-lived and discontinuous intraplate volcanism in the South Pacific: Hot spots or extensional volcanism? [J]. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 2003, 4(10): 1-49.
- [6] Koppers A A P, Staudigel H, Wijbrans J R, et al. The Magellan seamount trail: implications for Cretaceous hot-spot volcanism and absolute Pacific plate motion[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1998, 163(1-4): 53-68.
- [7] 何高文, 赵祖斌, 朱克超, 等. 西太平洋富钴结壳资源[M]. 北京: 地质出版社, 2001.
- [8] Staudigel H, Park K H, Pringle M, et al. The longevity of the South Pacific Isotope and Thermal Anomaly[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1991, 102(1): 24-44. doi: 10.1016/0012-821X(91)90015-A
- [9] Koppers A A P, Staudigel H, Christie D M, et al. Sr-Nd-Pb Isotope Geochemistry of Leg 144 West Pacific guyots: implications for the geochemical evolution of the 'SOPITA' mantle anomaly[C]// Haggerty J A, Premoli Silva I, Rack F, et al. *Proc. ODP Leg 144*, 1995: 535-545.
- [10] Koppers A A P.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology and isotope geochemistry of the West Pacific seamount province: implications for Pacific plate motion and chemical geodynamics[D]. Amsterdam: Vrije Universiteit Amsterdam, 1998: 263.
- [11] 陈建林, 马维林, 武光海, 等. 中太平洋海山富钴结壳与基岩关系的研究[J]. *海洋学报*, 2004, 26(4): 71-79.
- [12] Basaltic Volcanism Study Project. Basaltic volcanism on the terrestrial planets[M]. New York: Progamon Press, 1981: 1286.
- [13] Wilson M. *Igneous Petrogenesis*[M]. London: Unwin Hyman, 1989: 21-22.
- [14] 王春生, 马维林, 李振韶, 等. DY115-17B 航次报告[R]. 2008.
- [15] 初凤友, 李振韶, 武光海, 等. DY115-18 航次报告[R]. 2008.
- [16] 马维林, 李振韶, 倪建宇, 等. DY115-19 航次报告[R]. 2009.
- [17] Winchester J A, Floyd P A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements[J]. *Chemical Geology*, 1977, 20(C): 325-343.
- [18] Pearce J A. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins [M] // Hawkesworth C J, Norry M J. *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*. Nantwish: Shiva, 1983: 230-249.
- [19] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes[C]// Saunders A D, Norry M J. *Magma-tism in Ocean Basins*. Londn: Geol. Soc. Spec. Publ., 1989: 313-345.
- [20] Wood D A. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1980, 50: 11-30.

## CHARACTERISTIC OF SUBSTRATE ROCKS OF CAIWEI SEAMOUNTS IN THE WEST PACIFIC OCEAN

WEI Zhenquan, DENG Xiguang, ZHU Kechao, YAO Huiqiang, YANG Yong, REN Jiangbo

(Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Ministry of Land and Resources,

Guangzhou Marine Geological Survey, CGS, Guangzhou 510075, China)

**Abstract:** Lithology and distribution of substrate rocks of the Caiwei Seamount are scrutinized. Results show that the substrate of the Caiwei Seamounts is mainly composed of pyroclastic rock, limestone, basalt and phosphorite. Pyroclastic rock is the most common one, and basalt and limestone are the second. Phosphorite is seldom. Microscopic examination suggests that pyroclastic rocks are dominated by basaltic volcanic breccias, and limestone is dominated by sparry bioclastic limestone or micritic bioclastic limestone. Phosphorite is mainly formed by phosphatization of bioclastic limestone or volcanic breccia. Preliminary study on geochemistry of basalts from the Caiwei Seamounts shows that the major elements contents of basalts from the Caiwei Seamounts are similar to that of Hawaii alkali basalts. It suggests that the basalt might be formed in a tectonic environment of alkali island.

**Key words:** geochemistry; basalt; substrate rock; Caiwei Seamounts; West Pacific Ocean