

南海西部陆坡平顶海山和海丘地形特征

张伙带,朱本铎,黄文星,刘丽强,陈泓君

(国土资源部海底矿产资源重点实验室,广州 510760;中国地质调查局广州海洋地质调查局,广州 510760)

摘要:西太平洋发育有大量的平顶海山,但在南海目前尚未见到关于平顶海山的详细报道。基于多波束测深数据,在南海西部陆坡识别出 13 个平顶海山和 1 个平顶海丘。平顶海山和海丘主要分布于西沙群岛和中沙群岛附近海底,以及海隆和海岭上。其中 2 个平顶海山为链状海山,位于中沙北海隆。南海西部陆坡的平顶海山和海丘山顶平台面积均超过 3 km²,山顶水深范围 184~631 m,位于陆坡中部的平顶海山和海丘山顶水深较小,而位于陆坡边缘的平顶海山山顶水深较大。通过对比西太平洋平顶海山,初步探讨了南海西部陆坡平顶海山和海丘地形特征指示的地质意义。

关键词:南海;西部陆坡;平顶海山;地形特征

中图分类号:P736.4

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2017.08002

平顶海山主要发育于西太平洋。据更新至 2017 年 6 月的 SCUFN 地名词典,全球平顶海山共 157 个,其中太平洋 139 个,大西洋 14 个,印度洋 4 个。我国富钴结壳合同区就位于西太平洋麦哲伦海山链的采薇平顶海山群和嘉偕平顶海山群。ODP143 和 144 航次在西北太平洋 7 个平顶海山开展了大洋钻探,揭示了平顶海山的沉积层序^[1]。沉积层序表明平顶海山可能曾经位于浅水环境,海山被剥蚀夷平,海山顶面形成浅水碳酸盐岩台地或者生物礁盘,后来海山沉降,发育富钴结壳,并接受远洋沉积。在南海,目前尚未见过关于南海平顶海山的详细报道,仅在广州海洋地质调查局出版的《南海地质地球物理图系(1:200 万)》中的地形图上标注过 2 个平顶海山,为南海西部陆坡的白沙平顶海山和飞霜平顶海山。这 2 个海山为较典型的平顶海山,但山顶平坦的海山是否就只有这 2 座,本文欲以南海西部陆坡为研究区,

利用多波束测深数据,识别平顶海山,分析地形特征以及探讨其地质意义。

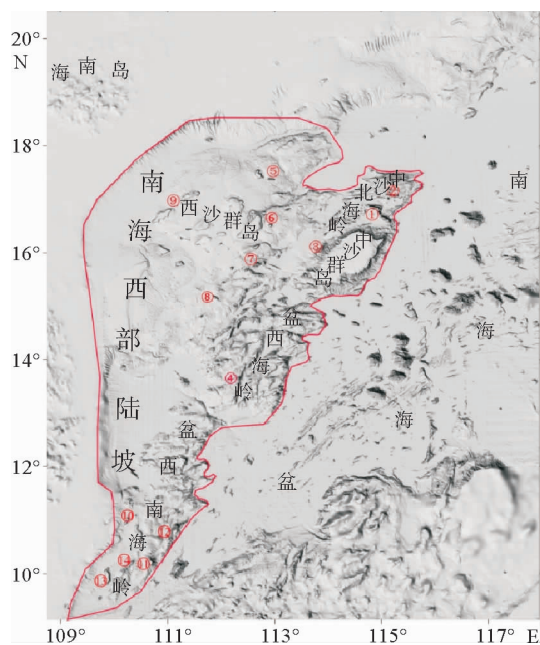
1 区域地质背景

南海是西太平洋最大的边缘海,北为华南地块,西为印支半岛,东以马尼拉海沟与菲律宾海板块相接,南隔印度尼西亚如岛与澳大利亚板块相撞。南海的形成经历了陆缘裂解、海底扩张^[2,3]。扩张洋盆的两侧,构成了共轭大陆边缘^[3-5]。通过磁条带识别南海扩张的年龄一直存在争论^[2,6,10]。南海 IODP349 钻探结果表明,南海东部次海盆扩张时间为 33~15 Ma,南海西南次海盆扩张时间为 23.6~16 Ma^[11,12]。本文研究区位于南海西部陆坡(图 1)。研究区发育多个海台,海台上发育多个岛礁,形成西沙群岛和中沙群岛。20 世纪 70 年代以来,我国相继在西沙群岛实施了西永 1 井、西琛 1 井、西永 2 井、西石 1 井、西科 1 井和琛科 1 井的生物礁基础科学钻探,其中西永 1 井获得了巨厚生物礁实物样品并钻遇花岗片麻岩。2012—2013 年,中海石油(中国)有限公司湛江分公司在石岛上实施了西科 1 井,获得了巨厚生物礁样品,

收稿日期:2017-05-15

基金项目:国土资源部海底矿产资源重点实验室开放基金课题(KLMMR-2015-A-05);国家自然科学基金(91428207)

作者简介:张伙带(1985—),女,硕士,工程师,主要从事海洋地质研究工作。E-mail:z183514387@126.com



注:红色实线范围为研究区,黑色数字圈代表发育岛礁的海台,
红色①屏南海山;②隐矶海山;③排波海山;④长风海山;
⑤赵述海山;⑥缤媚海山;⑦银砾海山;⑧中建东海山;
⑨甘泉东海丘;⑩滂波海山;⑪飞霜平顶海山;⑫江树海山;
⑬白沙平顶海山;⑭芳甸海山

图 1 研究区位置

Fig. 1 Location of the study area (within the red line)

并钻遇片麻岩和花岗岩。基岩锆石 U-Pb 年龄为 144~158 Ma,为晚侏罗世构造-岩浆作用的产物^[13]。钻探结果揭示西沙群岛发育上千米的巨厚生物礁,而礁珊瑚一般发育在水深 50 m 以浅,表明西沙海域曾经发生了上千米的缓慢沉降。

2 数据来源与统计方法

2.1 数据来源

多波束测深数据主要来自广州海洋地质调查局“海洋四号”调查船。“海洋四号”船采用美国 SeaBeam 公司的 SeaBeam2112 多波束测深系统,测量水深 10~11 000 m,波束大小 $2.0^{\circ} \times 2.0^{\circ}$,最大波束数 151 个。多波束数据原始数据经 CARIS HIPS and SIPS 8.1 软件进行新建船配文件、数据转换、潮汐改正、参数改正、建立 BASE 曲面、定位点编辑、测线滤波、曲面滤波等处理成 $200 \text{ m} \times 200 \text{ m}$ 的网格数据进行统计。

2.2 统计方法

根据国际水道测量组织和政府间海洋学委员会在 2008 年 11 月颁布的《海底地名命名标准》^[14],高差 1 000 m 以上的海底地理实体称为海山。高差 1 000 m 以下的海底地理实体称为海丘。顶部比较平坦的海山称为平顶山。但在标准里并无说明平坦顶部(下文称山顶平台)面积多大才是平顶海山。对于一些海山(如长风海山,图 2)而言,山顶平台面积小,占海山平面投影面积比例也小,称为“平顶海山”欠妥。但是尽管山顶平台面积小,也可能指示了区域沉降,具有重要的地质意义,因此纳入本文统计范围。

本文利用已有的多波束测深资料,处理成 $200 \text{ m} \times 200 \text{ m}$ 的网格数据,在 1:200 万的地形图比例尺下进行识别。共识别出 14 个平顶海山和海丘,包括 13 个平顶海山(高差 1 000 m 以上,顶部平坦)和 1 个平顶海丘(高差 1 000 m 以下,顶部平坦)。

3 平顶海山和海丘的分布以及地形特征

14 个平顶海山和海丘主要分布于西沙群岛和中沙群岛附近海底,以及中沙北海隆、盆西海岭和盆西南海岭上(图 1、表 1)。其中屏南海山、隐矶海山、长风海山、银砾海山、滂波海山、飞霜平顶海山、江树海山、白沙平顶海山和芳甸海山等 9 个海山名称引自广州海洋地质调查局出版的《南海地质地球物理图系(1:200 万)》地形图^[15],其余海山名称为本文暂命名。其中 2 个平顶海山为链状海山(屏南海山和隐矶海山),均位于中沙北海隆。

14 个平顶海山和海丘山顶水深范围 184~631 m,基座水深范围 1 070~3 951 m。西沙群岛和中沙群岛附近海底的平顶海山山顶水深较小,为 184~357 m。靠近西沙海槽的甘泉东海丘山顶水深较大,为 522 m。中沙北海隆和盆西南海岭上的平顶海山位于陆坡边缘,靠近南海海盆,山顶水深较大,为 410~631 m。盆西海岭的平顶海山山顶水深较小,为 315 m。总体而言,14 个海山和海丘中,位于陆坡中部的海山和海丘山顶水深较小,而位于陆坡边缘的海山山顶水深较大。

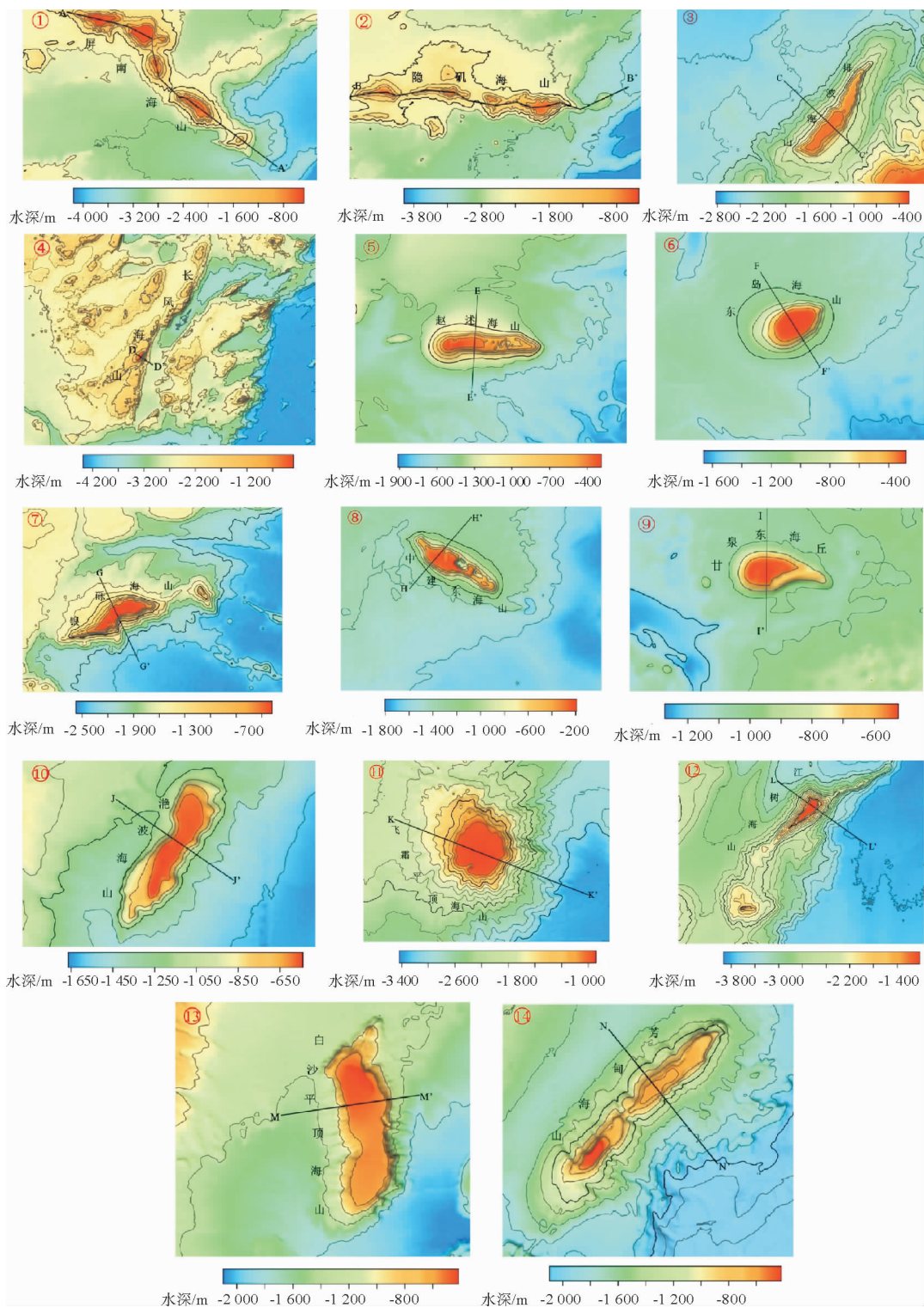


图 2 研究区 14 个平顶海山和海丘三维地形图(黑色粗线为地形剖面线位置)
Fig. 2 Three-dimension topographic map of fourteen flat-top seamounts and knolls
(the black lines refer to the terrain profile locations)

表 1 研究区 14 个平顶海山和海丘的地形参数

Table 1 The terrain parameters of fourteen flat-top seamounts and knolls in the study area

序号	名称	位置	平面投影 面积/km ²	山顶平台 面积/km ²	山顶水 深/m	基座水 深/m	最大高 差/m	走向
1	屏南海山	平顶山峰 1 16°51.2'N 114°50.9'E	197	7.5	469	2 266	2 266	NW
		平顶山峰 2 16°49.5'N 114°56.9'E	202	12.5	498	2 409	2 409	
		平顶山峰 3 16°45.0'N 114°58.5'E	103	2.0	568	2 327	2 327	
		平顶山峰 4 16°39.2'N 115°04.3'E	138	7.3	585	2 476	2 476	
2	隐矶海山	17°02.6'N,115°21.9'E	364	3.6	631	3 951	3 320	E—W
3	排波海山	16°02.9'N,113°53.8'E	284	12.3	357	2 416	2 059	NE
4	长风海山	13°38.7'N,112°21.0'E	5 148	3.6	315	3 506	3 191	NE
5	赵述海山	17°22.5'N,112°56.6'E	165	3.6	285	1 701	1 416	E—W
6	东岛海山	16°30.3'N,112°57.0'E	74	8.3	282	1 288	1 006	NE
7	银砾海山	15°47.1'N,112°41.5'E	190	10.4	276	2 328	2 052	NE
8	中建东海山	15°09.8'N,111°54.1'E	121	4.6	184	1 448	1 264	NW
9	甘泉东海丘	16°52.6'N,111°12.8'E	35	3.2	522	1 070	548	E—W
10	滬波海山	11°0.6'N,110°16.2'E	204	14	541	1 550	1 009	NE
11	飞霜平顶海山	10°12.5'N,110°42.3'E	946	40	482	3 380	2 898	NNW
12	江树海山	10°53.0'N,111°11.8'E	1 789	4	615	3 890	3 275	NE
13	白沙平顶海山	09°57.4'N,109°54.3'E	594	110	417	2 000	1 583	S—N
14	芳甸海山	10°09.8'N,110°18.3'E	950	32	410	2 310	1 900	NE

14 个平顶海山和海丘山顶平台面积均超过 3 km²,山顶平台面积最大的海山为位于盆西南海岭南部的白沙平顶海山,山顶平台面积达 110 km²,占海山平面投影面积的 19%。其次为同样位于盆西南海岭南部的飞霜平顶海山,山顶平台面积达 40 km²,占海山平面投影面积的 4%。这两个海山是研究区内唯一被正式命名为“平顶海山”的海底地理实体。但这两个平顶海山的山顶平台面积和其占海山平面投影面积的比例均远远赶不上西太平洋富钴结壳勘探合同区的采薇平顶海山(山顶平台面积约 2 000 km²,占海山平面投影面积的 35%),甚至低于采杞平顶海山(山顶平台面积约 153 km²,占海山平面投影面积的 13%)。说明研究区海山和海丘发育的山顶平台规模小。

4 讨论

4.1 基于大洋钻探的平顶海山成因模式

在西太平洋多个平顶海山顶部的海洋钻探揭示了平顶海山的地层发育特征,并由此推测平顶

海山可能经历了出露水面、山顶被剥蚀夷平、山顶发育珊瑚礁、海山沉降几个阶段(图 3),最终形成平顶海山^[1]。除了太平洋平顶海山外,其他海域几乎没有关于平顶海山的详细报道,假设其它海域的平顶海山如西太平洋平顶海山一样经历几个发育阶段,那么,平顶海山的存在就指示了区域沉降。本文基于上述假设,从平顶海山地形探讨南海西部陆坡的区域沉降。

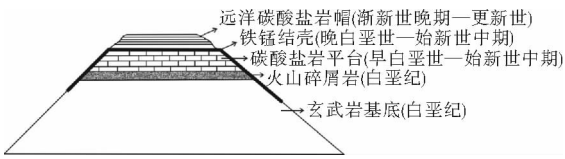


图 3 西太平洋平顶海山地层序示意图(据文献[1])

Fig. 3 Sketch map of strata of guyots in West Pacific revealed by drilling (from reference [1])

4.2 研究区平顶海山和海丘地形特征指示的地质意义

在南海西部陆坡识别出的 14 个平顶海山和海丘分布于陆坡多个位置,表明了多个位置均发

生了沉降作用。它们的地形特征显示位于南海西部陆坡中部的海山和海丘山顶水深较小,而位于南海西部陆坡边缘的海山山顶水深较大。假设南海西部陆坡 14 个海山和海丘山顶平台上沉积物的厚度是相近的,这意味着位于南海西部陆坡边缘的区域沉降幅度较大。

屏南海山和隐矶海山 2 个链状海山均发育尖

顶山峰和平顶山峰,可能是因为当链状海山各山峰水深不一时,峰顶水深浅的山峰易出露水面被削平,峰顶水深大的山峰不易出露水面,仍在水底,没有被削平就沉降了。屏南海山发育的 4 个平顶山峰(图 4 的 AA'剖面)的顶部水深从西北往东南方向逐渐加大,表明屏南海山靠近陆坡边缘的山峰沉降幅度更大。

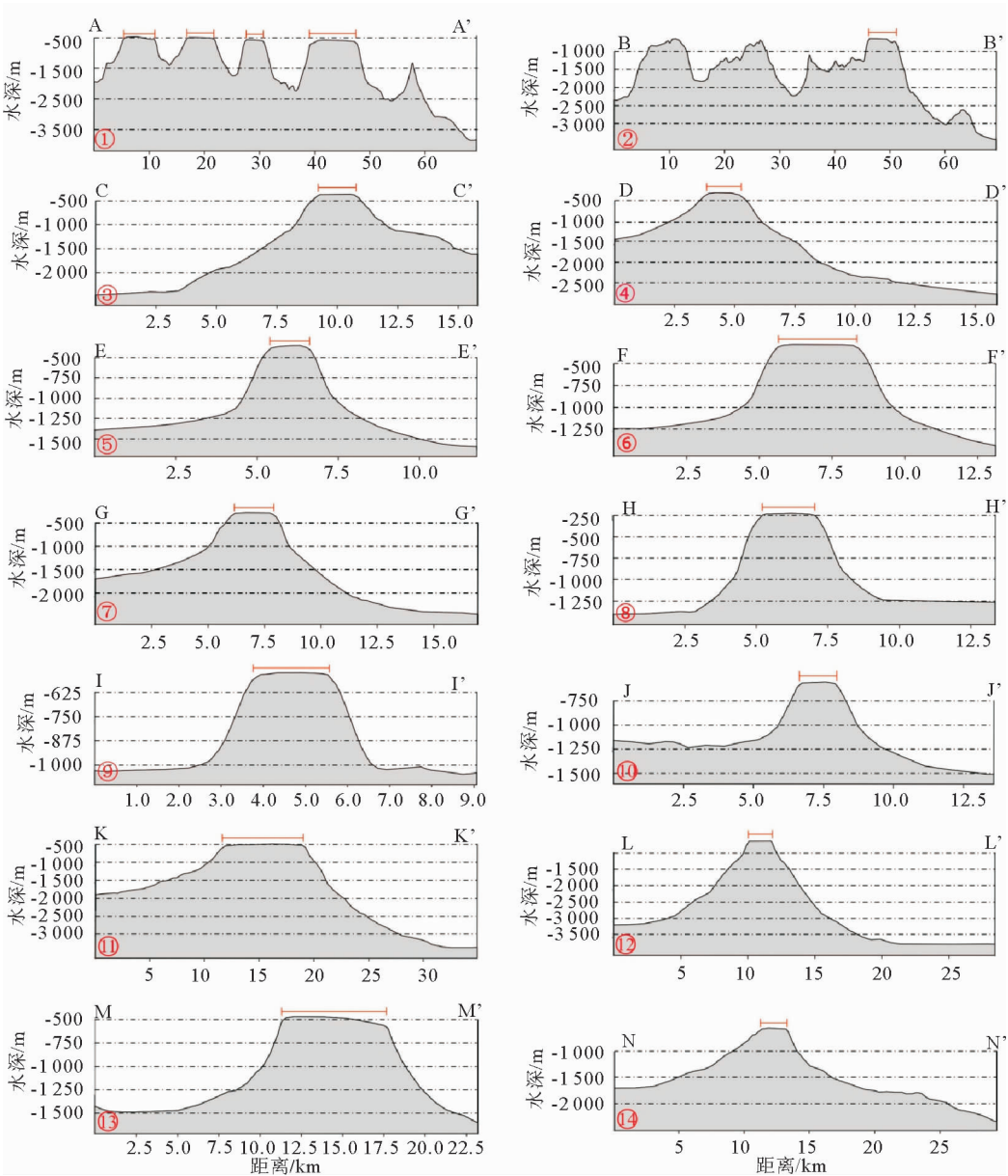


图 4 研究区 14 个平顶海山和海丘的地形剖面(剖面位置见图 2,红色线段为平顶范围)

Fig. 4 Topographic profiles of fourteen flat-top seamounts and knolls
(profile location sea in figure 2, the red line refers to the scope of table)

至于南海西部陆坡 14 个平顶海山和海丘是岩浆喷发形成还是陆壳基底断块作用形成,海山什么时候被削平,海山顶部发育礁灰岩程度如何,海山什么时候沉降,沉降速率如何,海山沉降是海平面变化成因还是构造成因等问题,根据现在的资料还难以回答,需要对海山开展进一步的调查研究。

5 结论

本文基于多波束测深数据,识别出南海西部陆坡发育 14 个平顶海山和海丘。在假设其他海域平顶海山与西太平洋平顶海山的形成过程相似,均会经历出露水面、山顶被剥蚀夷平、山顶发育珊瑚礁、海山沉降几个阶段,则认为平顶海山可指示区域沉降作用。通过多波束测深数据识别平顶海山,从地形角度探讨区域沉降作用,是一种新的尝试,可为今后在该区开展海山进一步的调查研究提供参考。

参考文献:

- [1] Flood P. Development of northwest Pacific guyots: General results from Ocean Drilling Program legs 143 and 144[J]. *Island Arc*, 1998, 8(1):92-98.
- [2] Taylor B, Hayes D E. Origin and History of the South China Sea Basin[C]// Hayes D E. *The Tectonics and Geological Evolution of Southeast Asia Seas and Islands*, Part 2. American Geophysical Union, *Geophysical Monograph*, 1983, 27:23-56.
- [3] Franke I, Savva D, Pubellier M, et al. The final rifting evolution in the South China Sea[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2014(58):704-720.
- [4] Clift P D, Lin J, Barckhausen U. Evidence of low flexural rigidity and low viscosity lower continental crust during

continental break-up in the South China Sea[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2002, 19(8):951-970.

- [5] 李家彪. 南海大陆边缘动力学: 科学实验与研究进展. *地球物理学报*[J]. 2011, 54(12):2993-3003.
- [6] Briais A, Patriat P, Tapponnier P. Updated interpretation of magnetic anomalies and seafloor spreading stages in the South China Sea: implications for the tertiary tectonics of Southeast Asia [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1993, 98(B4): 6299-6328.
- [7] 姚伯初. 中美合作调研南海地质专报[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994.
- [8] Hsu S K, Yeh Y, Doo W B, et al. New bathymetry and magnetic lineations identifications in the Northernmost South China Sea and their tectonic implications[J]. *Marine Geophysical Research*, 2004, 25(1):29-44.
- [9] Li C F and Song T R. Magnetic recording of the Cenozoic oceanic crustal accretion and evolution of the South China Sea basin[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2012, 57(24): 3165-3181.
- [10] Barckhausen U, Engels M, Franke D. et al. Evolution of the South China Sea: Revised ages for breakup and seafloor spreading[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2014, 58:599-611.
- [11] Li C F, Xu X, Lin J, et al. Ages and magnetic structures of the South China Sea constrained by deep tow magnetic surveys and IODP Expedition 349[J]. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 2014, 15(12):4958-4983.
- [12] Koppers, A A P. On the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of low-potassium ocean crust basalt from IODP Expedition 349, South China Sea[C]. AGU Fall Meeting Abstracts, 2014.
- [13] 修 淳, 张道军, 翟世奎, 等. 西沙岛礁基底花岗质岩石的锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2016, 36(3):115-126.
- [14] IHO, IOC. Standardization of Undersea Feature Names [M]. Monaco: Bathymetric Publication, 2008.
- [15] 杨胜雄, 邱 燕, 朱本铎. 南海地质地球物理图系[M]. 北京: 中国航海图书出版社, 2015.

DISTRIBUTION OF GUYOTS ON THE NORTHWESTERN SLOPE OF SOUTH CHINA SEA AND THEIR TOPOGRAPHIC FEATURES

ZHANG Huodai, ZHU Benduo, REN Jinfeng, HAN Bing, CHEN Hongjun

(Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Ministry of Land and Resources, Guangzhou 510760, China;
Guangzhou Marine Geological Survey, China Geological Survey, Guangzhou 510760, China)

Abstract: The Ocean Drilling Program has made clear the internal structure of guyots in the west Pacific. However, little literatures are available in the region of the South China Sea concerning guyots or flat-top seamounts. Recently, on the northwestern slope of the South China Sea we have found nine flat-top seamounts and knolls exceeding 3 km² in area based on multi-beam bathymetric data. In this paper, the topographic features of these guyots are analyzed. It is found that they are mainly distributed on some topographic rises near submarine platforms submerged under a water depth of 184-631m. The most obvious one is the Pingnan Seamount to the north of the Zhongsha Islands. It consists of several small flat-top seamounts in a northwest line, rather similar to the Megallan Seamounts in the West Pacific. According to the evolutionary model of the guyots in the west Pacific, the flat-top topographic features started from volcanic islands. They were eroded when they were close to the sea level, and coral reefs would develop to compensate the subsidence and made the top flat. Certainly the identification of flat-top seamounts and knolls in the South China Sea will help future geological and geophysical surveys in the region though the evolutionary details are not clear at present.

Key words: South China Sea; northwestern slope; flat-top seamounts; topographic features

关于作者著作权及稿酬的声明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。该社著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意上述声明。

《海洋地质前沿》编辑部
2013 年 1 月 10 日