

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2018.06.009

# 采薇平顶海山群的多级山顶平台及成因

张伙带<sup>1,2</sup>, 姚会强<sup>1,2</sup>, 杨永<sup>1,2</sup>, 张衡<sup>1,2</sup>

1. 自然资源部海底矿产资源重点实验室, 广州 510760

2. 中国地质调查局广州海洋地质调查局, 广州 510760

**摘要:**基于“海洋六号”实测的全覆盖多波束数据,分析了西太平洋麦哲伦海山链采薇平顶海山群的多级山顶平台地形特征,并结合2015年最新采集的浅剖数据探讨了多级山顶平台成因。多波束数据显示海山群的山顶平台水深为1350~1735m,发育多级山顶平台,平台高差为300~450m。浅剖资料表明海山群山顶平台的沉积物厚度为35~100m。除掉沉积物的厚度差,多级山顶平台的基底依然存在200m以上的高差,说明沉积物厚度的不均一并非是形成多级山顶平台的主要原因。通过对比海山群多级山顶平台地形特征与南海甘泉海台及永暑礁多级水下阶地特征,否定了海平面相对变化是形成海山群多级山顶平台的主要原因。山顶平台周缘发育的碳酸盐岩表明海山曾经位于浅水环境,不同山顶平台的基底应该曾经均位于同一海平面位置,多级山顶平台很可能由垂直相对运动产生。结合区域地质背景和地形特征,认为海山群发育两条西北向正断裂,其中一条断裂倾向东北,另一条断裂倾向西南。

**关键词:**山顶平台;多波束;浅剖;采薇平顶海山群

中图分类号:P737.22

文献标识码:A

## Origin of multiple flat tables on Caiwei Guyots in West Pacific

ZHANG Huodai<sup>1,2</sup>, YAO Huiqiang<sup>1,2</sup>, YANG Yong<sup>1,2</sup>, ZHANG Heng<sup>1,2</sup>

1. Key Laboratory of Marine Mineral Resource, Ministry of Natural Resources, Guangzhou 510760, China

2. Guangzhou Marine Geological Survey, China Geological Survey, Guangzhou 510760, China

**Abstract:** Multi-beam bathymetric data suggests a special topographic feature on the Caiwei Guyots in the West Pacific. The sub-bottom profile data obtained in 2015 by R/V “HAI YANG LIU HAO” suggests that there are several flat tables developed on the top of guyots at the water depths ranging 1350-1735m. The difference in water depth between the flat tables is around 300-450m. Sub-bottom profile suggests that the sediment on the top of guyots is 35-100m thick. Taking the sediment thickness out of consideration, the water depth difference between flat table basements still exceeds 200m, which means that the difference of sediment thickness is not the main reason causing the multi-tables. Through comparison of topographic features among the Caiwei Guyots, Ganquan terrace and Yongshu Reef in the South China Sea, it is discovered that the relative sea-level change is not the main reason to cause the multi-tables either. Carbonate deposits are found in the fringes of the tables, which indicates that the guyots were close to the sea level when the flat top was formed. It is then deduced that the multi-tables are probably generated by vertical tectonic movement within the region of Caiwei Guyots. According to topographic features and local geological background, there are probably two northwest normal faults in the Caiwei Guyots, which caused vertical tectonic movement and the formation of multi-tables. One of the faults dips to northeast and the other to southwest.

**Key words:** flat tables; multi-beam bathymetric data; sub-bottom profile; Caiwei Guyots

采薇平顶海山群位于西太平洋麦哲伦海山链,范围为14.9°~16.1°N、154.4°~156°E。作为富钴结壳勘探合同区,中国已开展了采薇平顶海山群的

地形地貌调查工作,实现了多波束数据的全覆盖。前人开展过采薇平顶海山群的地形研究工作,提取了海山的地形分形特征<sup>[1]</sup>,概括性地统计了包括采

**资助项目:**“十三五”大洋课题“富钴结壳合同区区块优选与放弃方案研究”(DY135-C1-0-03);“合同区海山地形单元识别与底质类型研究”(DY135-C1-0-02)

**作者简介:**张伙带(1985—),女,硕士,高级工程师,从事海洋地质研究,E-mail:z183514387@126.com

**收稿日期:**2017-06-25; **改回日期:**2017-12-21. 周立君编辑

薇平顶海山在内的西太平洋多座海山的高度、坡度等地形参数<sup>[2-4]</sup>,探讨了海山地形地貌作为控矿因素之一与结壳发育的关系<sup>[5-7]</sup>。

此外,前人也开展过海山斜坡的滑坡形态与成因、海山的星形平面形态特征与成因的研究<sup>[8-10]</sup>,以及平顶海山平顶成因的研究<sup>[11]</sup>。ODP144航次在西北太平洋 Limalok 平顶海山(871 站位)、Lo-En 平顶海山(872 站位)、Wodejebato 平顶海山(873-877 站位)开展的大洋钻探揭示了西北太平洋平顶海山的沉积层序。沉积层序表明平顶海山曾经位于浅水环境,海山山顶形成平坦的浅水碳酸盐岩台地或者生物礁盘,海山被剥蚀夷平,后来海山下沉,接受远洋沉积<sup>[11]</sup>。

本文基于多波束数据,报道采薇平顶海山群山顶发育的多级山顶平台的地形特征,并结合最新采集的浅剖数据,探讨采薇平顶海山群多级山顶平台的成因。

### 1 区域地质背景

采薇平顶海山群位于西太平洋的麦哲伦海山链。麦哲伦海山链由一系列平顶海山组成,西侧为马里亚纳海沟,东北侧为皮嘉费他海盆,南侧为东马

里亚纳海盆,北侧与马尔库斯-威克海山区相邻。

大洋钻探 ODP129 航次钻探揭示了麦哲伦海山链周围洋盆的年龄。在皮嘉费他海盆实施了两个站位钻探,其中在 ODP800 站位钻获的碱性辉绿岩<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 测年结果为  $126.1 \pm 0.6\text{Ma}$ , 在 ODP801 站位钻获的玄武岩熔岩<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 测年结果为  $166.8 \pm 4.5\text{Ma}$ 。在东马里亚纳海盆实施的 ODP802 站位钻探获得的玄武岩<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 测年结果为  $114.6 \pm 3.2\text{Ma}$ <sup>[12]</sup>。

前人统计了麦哲伦海山链不同海山基岩样品的<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 测年数据,结果表明海山链年龄范围为 80~100Ma<sup>[13]</sup>(图 1)。一般认为麦哲伦海山链属板内热点成因,于白垩纪期间产生于今南太平洋的法属玻利尼西亚附近位置,随着板块运动慢慢迁移到现今位置,在迁移的过程中发生了多期次的岩浆活动<sup>[14-18]</sup>。

从区域磁条带发育情况看,麦哲伦海山链被一系列西北走向的转换断层错断<sup>[12]</sup>(图 2)。其中麦哲伦海山链的转换断层有 Ogasawara 1 号、Ogaswara 2 号、Ogasawara 3 号和 Kashima 转换断层等。根据磁条带可推断出 Ogasawara 转换断层水平错动了约 600km<sup>[13]</sup>。

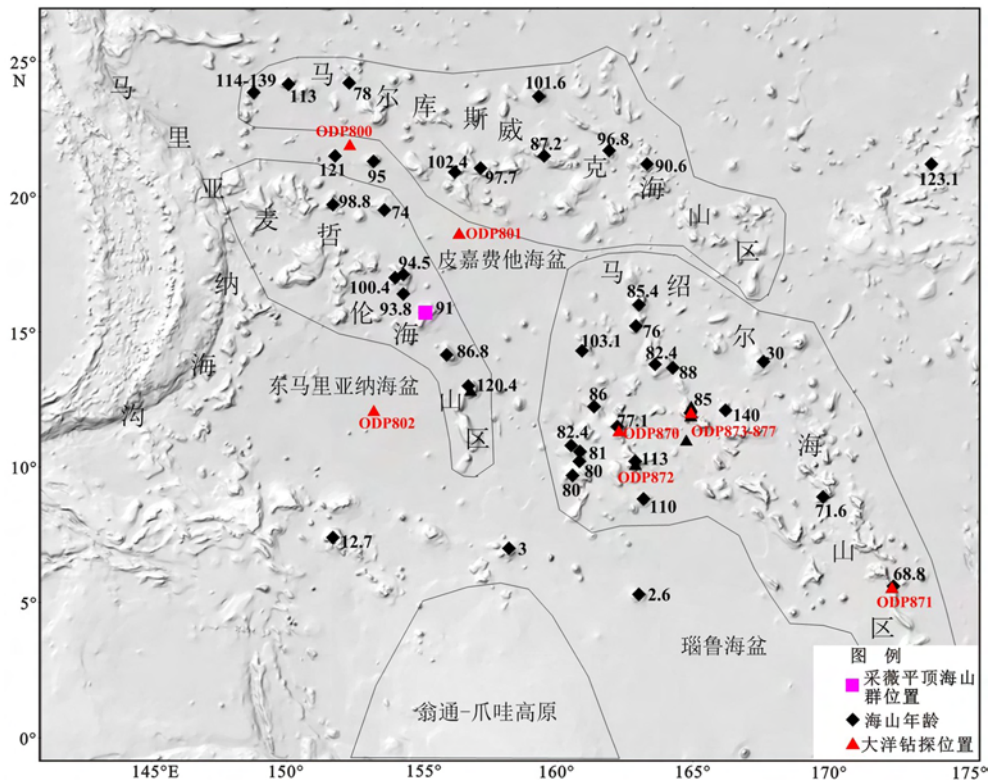


图 1 西太平洋基底和海山年龄<sup>[12-15,19]</sup>

Fig.1 Ages of western Pacific seamounts and oceanic basement

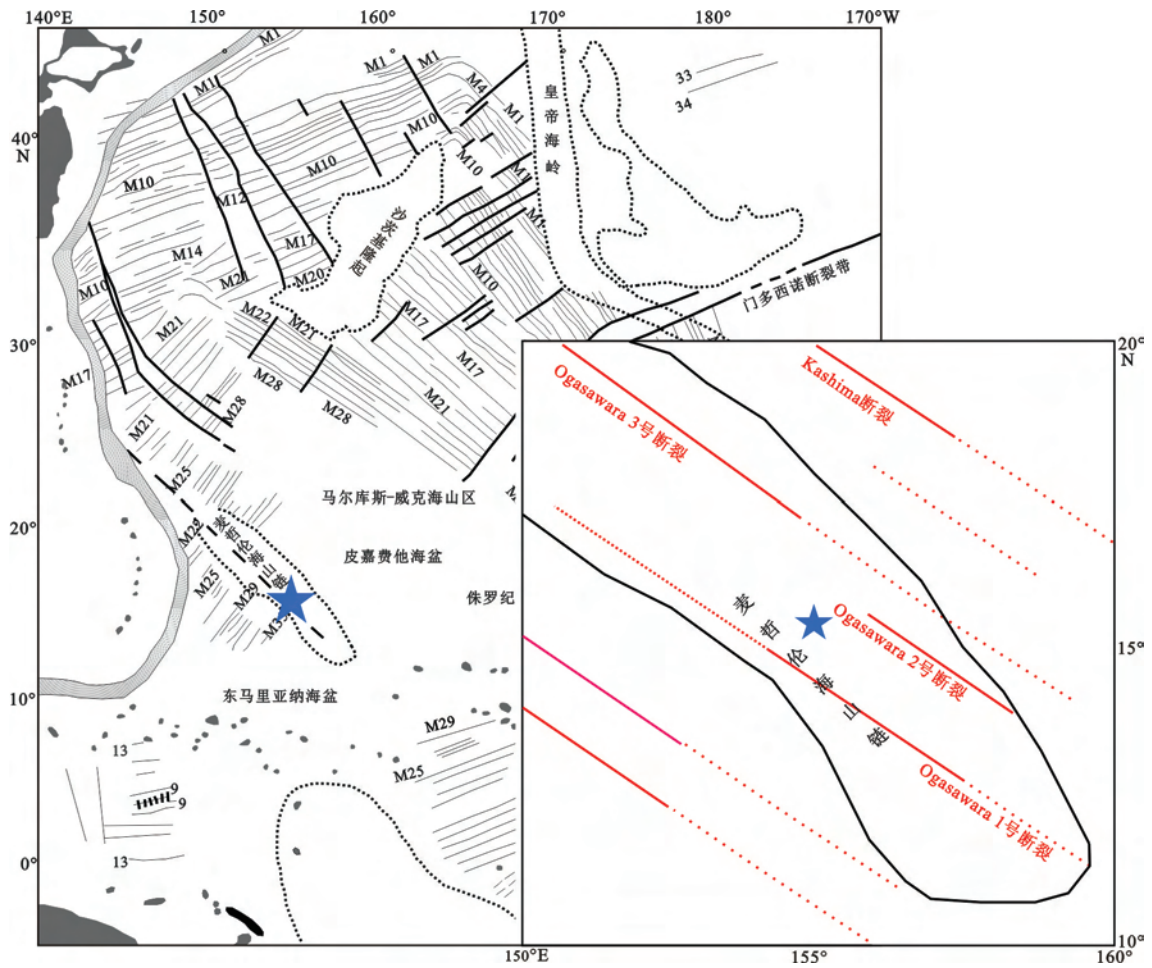


图 2 西太平洋海底磁条带分布<sup>[8]</sup>和麦哲伦海山链断裂分布<sup>[13]</sup>(蓝色五角星为研究区位置)  
 Fig.2 Striped magnetic anomalies of west Pacific and faults around Magellan seamounts

## 2 数据来源

采薇平顶海山群的全覆盖多波束数据、浅剖资料和碳酸盐岩浅钻样品均来源于大洋航次。多波束数据主要来源于“海洋四号”在 1997 年执行的 DY95-7 航次,测量设备为 Seabeam2110 多波束测深系统。浅剖资料来源于“海洋六号”船在 2015 年的大洋第 36 航次,测量设备为 ATLAS PARASOUND P70 参量阵浅地层剖面仪。碳酸盐岩浅钻样品来源于“海洋六号”船在 2011—2015 年执行的大洋航次,使用设备为深海浅地层岩芯取样机。

## 3 海山群特征

### 3.1 地形地貌特征

采薇平顶海山群发育三座海山,包括两座平顶

海山和一座尖顶海山,分别命名为采薇平顶海山、采杞平顶海山和采菽海山(图 3)。

采薇平顶海山是海山群中规模最大的平顶海山。海山为北东走向,长和宽分别为 110km 和 95km。山顶地形平坦,斜坡地形上陡下缓并发育多个海脊,与麦哲伦海山区其他平顶海山的斜坡地形特征相似。海山山顶发育两级山顶平台。主山顶平台水深约为 1350m,坡度小于 0.3°,面积约 1940km<sup>2</sup>,占山顶地貌的 97%。次山顶平台位于山顶的东北角,水深约为 1735m,面积约 60km<sup>2</sup>,占山顶地貌的 3%。两级平台高差约 385m。相比较而言,次山顶平台的地形没有主山顶平台平坦,往北东向发育微斜坡,坡度可达 1.5°。两级平台之间的斜坡较陡,坡度达 22°,斜坡走向为北西向,倾向为北东向。

采杞平顶海山规模较小,位于海山群的南部,俯视平面形态呈不规则形;东西向长约 80km,南北向宽约 54km。山顶平台东西向最长约 16.2km,南北

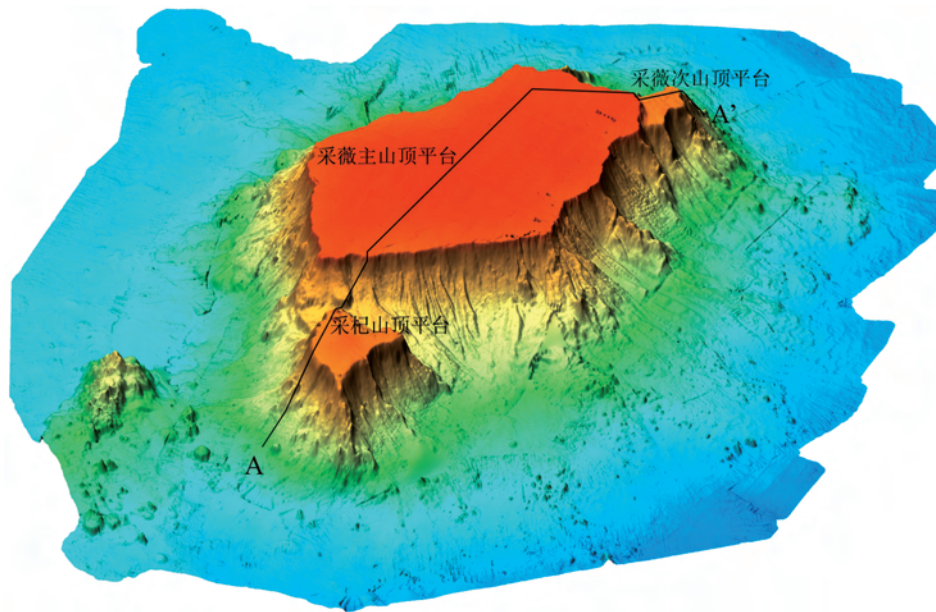


图3 采薇平顶海山群三维地形斜视图(多级山顶平台名称为本文命名,黑色实线为浅剖测线位置)

Fig.3 3D topography of the Caiwei Guyots

向最长约 17.8km,面积约为 153km<sup>2</sup>。海山山顶平台水深约为 1800m,最浅处水深为 1629m,山麓水深为 5800m,最大高差为 4171m。采杞山顶海山与采薇次山顶平台高差 300~450m,与采薇平顶海山次山顶平台水深相当。

### 3.2 浅剖特征

图4为穿越采薇平顶海山主山顶平台、次山顶平台和采杞山顶平台的浅地层剖面。根据地形和浅剖资料统计出来的3个山顶平台的特征见表1。采薇主山顶平台沉积物最大厚度约为100m,采薇次山顶平台沉积物厚度约为37m,厚度相差63m。采杞山顶平台沉积物厚度约为40m,与采薇主山顶平台沉积物厚度相差约60m,与采薇次山顶平台沉积物厚度相当。沉积物基底较为平坦,采杞山顶平台有一明显的突起,根据浅剖显示的特征,推断该生物礁可能为环礁,中间发育泻湖相沉积。这与

ODP144航次揭示的西太平洋平顶海山特征相似。

## 4 讨论

### 4.1 沉积物厚度不均匀性对山顶平台地形高差的影响

如果海山山顶平台的基底水深一样,沉积物覆盖的厚度不一样,有可能导致多波束数据显示的山顶平台水深不一致。通过浅剖数据我们可以计算海山基底之上的沉积物厚度,分析此种原因的可能性。采薇主山顶平台和次山顶平台沉积物厚度差为63m,而地形高差达385m,因此沉积物不会是造成采薇平顶海山两级山顶平台高差的原因。采杞山顶平台与采薇主山顶平台沉积物厚度相差约60m,而山顶平台地形高差达300m以上,因此沉积物不是造成采薇主山顶平台和采杞山顶平台高差的主要原因。

表1 采薇平顶海山群的地形和浅剖特征统计

Table 1 Topographic features and sediment thickness of Caiwei Guyots

名称	水深/m	地形高差/m	面积/km <sup>2</sup>	坡度/(°)	最大沉积物厚度/m	沉积物厚度差/m
采薇主山顶平台	1350	0	1940	<0.3	100	0
采薇次山顶平台	1735	385	60	1.5	37	63
采杞山顶平台	1800	450	153	—	40	60

备注:地形高差和沉积物厚度差指与采薇主山顶平台相比较的结果。

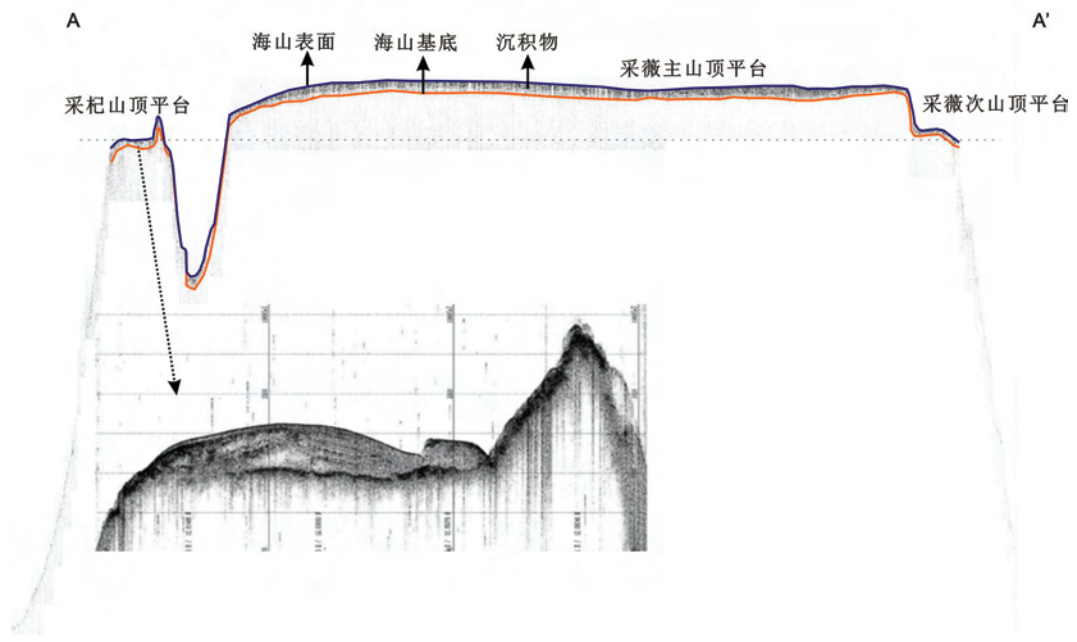


图 4 AA'测线浅地层剖面(测线位置见图 3)  
Fig.4 Sub-bottom profile along AA' line

#### 4.2 相对海平面变化对山顶平台地形高差的影响

全球海平面变化和海山群的整体构造升降引起海平面的相对变化。当海台水深位于海平面附近时,海平面的相对变化会影响海台上珊瑚礁的发育程度。当海平面上升速率比珊瑚礁堆积速率大,但造礁珊瑚仍适合生长时,可能在海台周缘发育水下阶地<sup>[20,21]</sup>。大型平顶海山水深在海平面附近时,也可能出现相似的情况。但是,海平面相对变化对海

台/平顶海山每一个方位都会产生影响,所形成的水下阶地应该沿着海台/平顶海山的周围均匀性地发育(图 5)。采薇平顶海山群地形特征显示周围未发育相似的多级水下阶地,而本文所讨论的多级山顶平台地形特征独特,并非沿着海山周围均匀发育(图 6),与南海甘泉海台和永暑礁周围发育的多级水下阶地完全不同。因此海平面的相对变化不是采薇平顶海山群发育多级山顶平台的主要原因。

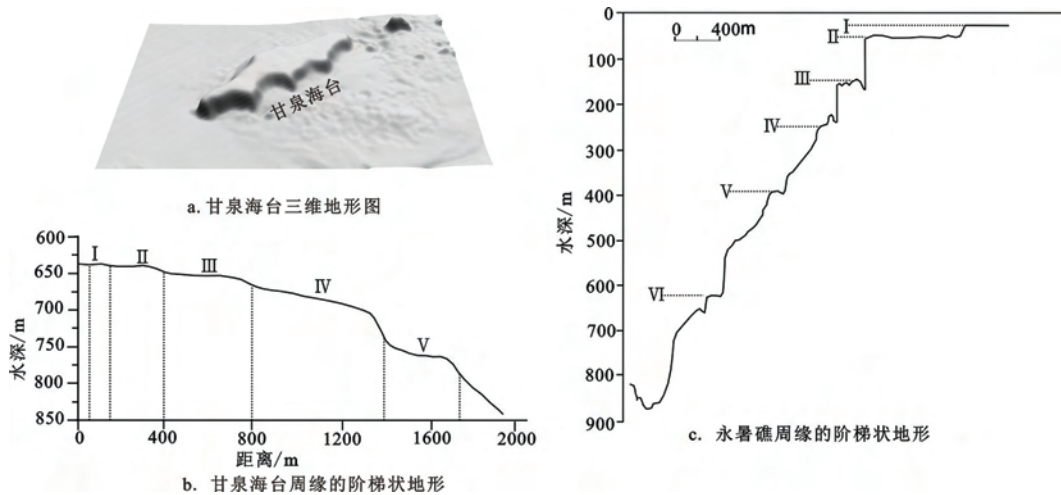


图 5 南海甘泉海台和永暑礁周围发育的多级水下阶地<sup>[20,21]</sup>  
Fig.5 Comparison of multi-table landform of Caiwei Guyots and step terrace of Ganquan Plateau

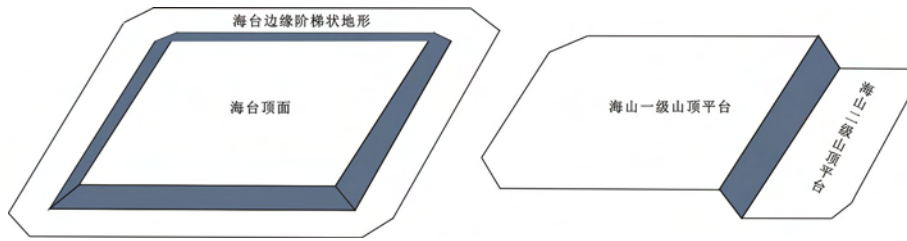


图 6 甘泉海台多级水下阶地(左)和采薇平顶海山群多级山顶平台(右)的区别  
(多级水下阶地在海台周围均有发育,而多级山顶平台将海山分成不对称的几部分)

Fig.6 Schematic map of step terrace of Ganquan Plateau and multi-table landform of Caiwei Guyots

### 4.3 浅钻获取的碳酸盐岩样品对多级山顶平台成因的指示意义

浅剖表明采薇平顶海山群可能发育生物礁,在山顶平台的周缘获取了碳酸盐岩样品(图 7),表明采薇平顶海山群曾经位于海平面附近,海山顶部被剥蚀夷平,接受碳酸盐沉积,局部发育珊瑚礁。由于浅剖数据确定了不同山顶平台沉积物覆盖下的基底

面存在 200m 以上的高差,据此推断,多级山顶平台很可能是在采薇海山群的差异沉降过程中形成。这意味着多级山顶平台之间发育正断层。采薇主山顶平台和次山顶平台之间的斜坡走向为北西向,倾向为东北向,因此推测断层走向为西北向,倾向为东北向。根据地形推测采薇平顶海山和采杞平顶海山之间的正断层的走向为西北向,倾向为西南向(图 7)。

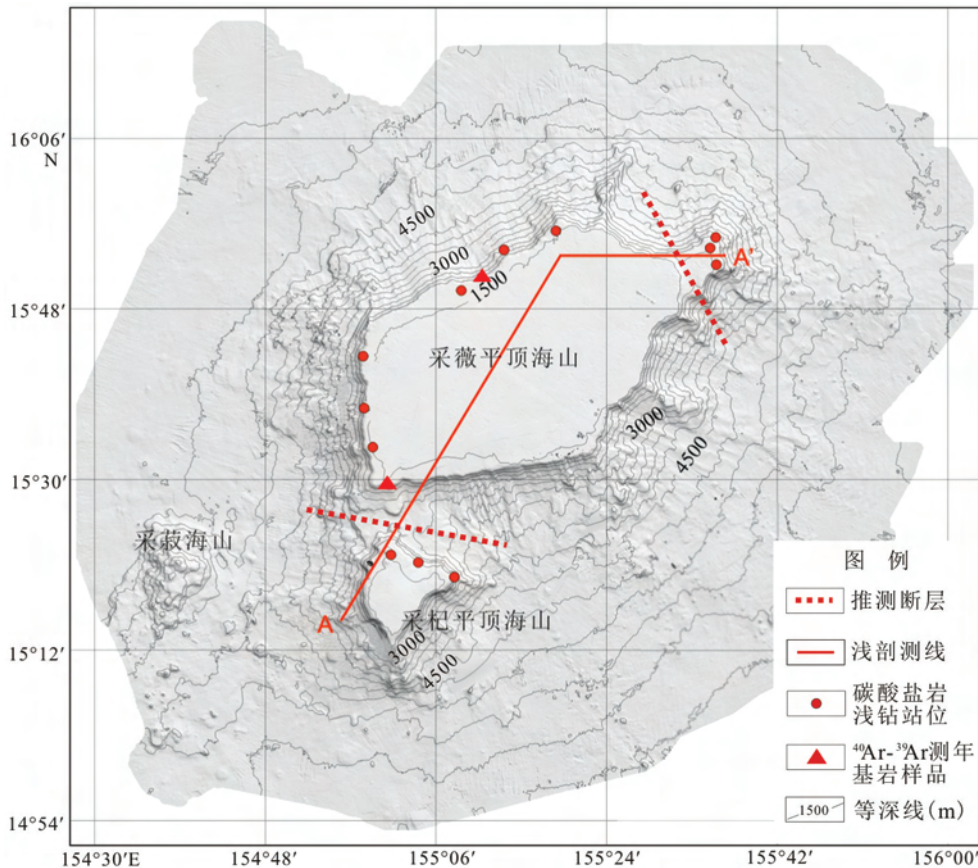


图 7 推测的采薇平顶海山群多级山顶平台之间的断裂位置

Fig.7 Inferred faults between multi-tables of Caiwei Guyots

## 5 结论

(1) 利用全覆盖的多波束数据对采薇平顶海山

群开展微地形地貌研究,发现海山群平坦的顶部发育多级山顶平台。

(2) 根据浅剖数据计算出了山顶平台的沉积物厚度,沉积物厚度差比山顶平台地形高差小,否定了

沉积物厚度差是形成多级山顶平台地形的主要原因。

(3) 通过对比海山群多级平台地形特征与南海甘泉海台多级水下阶地特征,否定了海平面相对变化是形成海山群多级平台的主要原因。

(4) 推测采薇平顶海山群形成多级山顶平台可能为断裂构造成因,断裂为西北向正断层。

### 参考文献(References)

- [1] 章伟艳,张富元,朱克超,等.西太平洋海域海山地形分形特征研究[J].现代地质,2009,23(6):1138-1146.[ZHANG Weiyan, ZHANG Fuyuan, ZHU Kechao, et al. Fractal research on seamount topography in the West Pacific Ocean[J]. Geoscience, 2009, 23(6):1138-1146.]
- [2] 张国祯,张子健.西太平洋海底平顶山研究[J].海洋地质与第四纪地质,2001,21(1):19-24.[ZHANG Guozhen, ZHANG Zijian. Investigation of guyots in the Western Pacific Ocean[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2001, 21(1):19-24.]
- [3] 章伟艳,张富元,胡光道,等.中西太平洋海山形态类型与钴结壳资源分布关系到[J].海洋学报,2008,30(6):76-84.[ZHANG Weiyan, ZHANG Fuyuan, HU Guangdao, et al. Relationship between shape classification of Pacific seamount morphology and distribution of cobalt-rich crust resources[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2008, 30(6):76-84.]
- [4] 朱本铎,梁德华,崔兆国.西太平洋麦哲伦海山链的海山地貌及成因[J].中南大学学报,2011,42(2):92-98.[ZHU Benduo, LIANG Dehua, CUI Zhaoguo. Geomorphologic characteristics and genesis of Magellan seamount chain in the western Pacific[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2011, 42(2):92-98.]
- [5] 石学法,任向文,刘季花,等.富钴铁锰结壳的控矿要素和成矿过程——以西太平洋为例[J].矿物岩石地球化学通报,2008,27(3):232-238.[SHI Xuefa, Ren Xiangwen, Liu Jihua, et al. Ore-controlling factors and ore-forming processes of Co-rich Fe-Mn crust: An example from Western Pacific[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2008, 27(3): 232-238.]
- [6] 石学法,任向文,刘季花.太平洋海山成矿系统与成矿作用过程[J].地学前缘(中国地质大学),2009,16(6):55-65.[SHI Xuefa, Ren Xiangwen, Liu Jihua. Ferromanganese metallogenic system and ore-forming processes of seamounts in the Pacific[J]. Earth Science Frontiers, 2009, 16(6):55-65.]
- [7] 马维林,杨克红,包更生,等.中太平洋海山富钴结壳成矿的空间分布规律研究[J].海洋学报,2014,36(7):77-89.[MA Weilin, YANG Kehong, BAO Gengsheng, et al. Spatial distribution study of cobalt-rich crusts ore formation on the Central Pacific Seamount[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2014, 36(7):77-89.]
- [8] Clouard V, Bonneville A, Gillot P Y. A giant landslide on the southern flank of Tahiti Island, French Polynesia[J]. Geophysical Research Letters, 2001, 28(11):2253-2256.
- [9] Masson D G, Watts A B, Gee M J R, et al. Slope failures on the flanks of the western Canary Islands[J]. Earth-Science Reviews, 2002, 57: 1-35.
- [10] Mitchell N C. Transition from circular to stellate forms of submarine volcanoes[J]. Journal of Geophysical Research, 2001, 106(B2):1987-2003.
- [11] Haggerty J A, Premoli S I, Rack F, et al. Proceedings of Ocean Drilling Program, Scientific Results, 144[M]. College station, TX(Ocean Drilling Program), 1995.
- [12] Larson R L, Lancelot Y, et al. Proceedings of Ocean Drilling Program, Scientific Results, 129. College station, TX(Ocean Drilling Program) [C]. 1992.
- [13] Koppers A A P, Staudigel H, Wijbrans J R, et al. The Magellan seamount trail: implications for Cretaceous hotspot volcanism and absolute Pacific plate motion[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1998, 163: 53-68.
- [14] 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, doi.org/10.1029/2003GC000533.
- [15] 赵俐红,金翔龙,高金耀.麦哲伦海山链漂移史及可能的来源[J].海洋学报,2010,32(3):60-66.[ZHAO Lihong, JIN Xianglong, GAO Jinyao, et al. The research on the drifting history and possible origin of the Magellan seamount trail[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2010, 32(3):60-66.]
- [16] Gordon R G. Late Cretaceous apparent polar wander of the Pacific Plate: Evidence for a rapid shift of the Pacific hotspots with respect to the spin axis[J]. Geophysical Research Letters, 2013, 10(8):709-712.
- [17] Duncan R A, Clague D A. Pacific plate motion recorded by linear volcanic chains[M]//The Ocean Basins and Margins: the Pacific Ocean 7A. New York: Plenum Press, 1985: 89-121.
- [18] Hildebrand J A, Parker R L. Paleomagnetism of Cretaceous Pacific seamounts revisited[J]. Geophys. Res., 1987, 92: 12695-12712.
- [19] Clouard V, Bonneville A. Ages of seamounts, islands and plateaus on the Pacific Plate[C]// Foulger G R, Natland J H, Presnall D C, Anderson D L (Eds). Plates, Plumes, and Paradigms. Geological Society of America Special Volume 388, 2005: 71-90.
- [20] 张江勇,黄文星,刘胜旋,等.南海西沙海域甘泉海台的阶梯状地形[J].热带地理,2016,36(1):10-18.[ZHANG Jiangyong, HUANG Wenxing, LIU Shengxuan, et al. Terrace topography of the Ganquan Plateau in the Xisha Area of the South China Sea[J]. Tropical Geography, 2016, 36(1): 10-18.]
- [21] 中国科学院南沙综合科学考察队.南沙群岛永暑礁第四纪珊瑚礁地质[M].北京:海洋出版社,1992.[Nansha Comprehensive Survey Team of Chinese Academy of Sciences. Quaternary Coral Reef Geology of Yongshu Reef in Nansha Qundao [M]. Beijing: Ocean Press, 1992.]