DOI:10.16562/j. cnki.0256-1492.2017.06.016

# 基于多波束数据的南海海盆洋壳区海山地形特征

张伙带1.2,朱本铎1.2,关永贤1.2,杨胜雄1.2

(1. 国土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:利用全覆盖的多波束数据,聚集南海海盆洋壳区,统计分析了海山的地形特征,并展示了典型海山和海 丘的地形。统计结果表明,研究区发育高差1000 m以上的海山约46个,高差1000~500 m的海丘约90个,高差 500~200 m的海丘约100个。多波束数据揭示了海山和海丘更加精细的形态特征,如部分海山和海丘顶部保留的 火山口形态。同时,发现研究区众多海山和海丘一侧山坡为陡峭的断面,推测为一系列的小断裂切割形成。基于 海山和海丘的地形断面分布特征探讨了中南断裂的位置,推测中南断裂可能是由两组南北向平行的断裂及中间区 域组成的断裂带。

关键词:海山;海丘;地形特征;中南断裂;南海中央海盆 中图分类号:P737.2 文献标识码:A 文章编号:0256-1492(2017)06-0149-09

南海是西太平洋最大的边缘海,海山众多,且分 布广泛。南海海盆发育洋壳,洋壳的形成演化过程 一直是地学界的研究热点,洋壳上的海山作为研究 南海扩张和停止后深部地质过程的窗口,受到格外 重视。但在洋壳区,有多少座海山?规模如何?形 态如何? 1983 年曾成开等根据当时的测深资料描 述了南海海山和海丘的分布状况,认为南海海盆洋 壳区相对高差超过1000 m的海山有27个,高差 400~1 000 m 的海丘有 20 多个<sup>[1]</sup>。1993 年鲍才旺 等认为南海海盆相对高差超过1000 m 的海山有18 座<sup>[2]</sup>。但是前人依据的测深资料精度较低,误差较 大。近 30 年来,在南海新采集了大量的高精度多波 束数据,发现南海海盆洋壳区的海山和海丘个数远 远大于前人统计数量,水深和面积等地形特征也需 要更正。因此,为了加深对南海海盆洋壳区海山地 形的直观形象,方便日后更加有效地规划和组织南 海海盆洋壳区海山的调查和研究,本文重新统计了 南海海盆洋壳区的海山和海丘地形特征,并且展示 了代表性海山的地形。同时,基于海山海丘的分布 特征以及海山海丘的微地形特征,从地形角度探讨 了南海地质过程,是对磁异常和地震等资料的补 充。

# 1 区域地质背景

南海的面积约 3.5×10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>,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,南隔印度尼西亚半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<sup>[3,4]</sup>。扩张洋 盆的两侧,构成了共轭大陆边缘<sup>[4-6]</sup>,通过磁条带识别 南海扩张的年龄一直存在争论<sup>[3,7-11]</sup>。南海 IODP349 钻探结果表明南海东部次海盆扩张年龄为 33~15 Ma,南海西南次海盆扩张年龄为 23.6~16 Ma<sup>[12,13]</sup>。

本文以水深 3 700~4 500 m 的南海海盆洋壳 为研究区,洋壳区域范围参考广州海洋地质调查局 2015 年出版的《南海地质地球物理图系(1:200 万)》中的大地构造格架图<sup>[14]</sup>。研究区地形平坦,但 发育众多海山和海丘,已正式命名的海山、海丘和海 山链有多个,已在《南海地质地球物理图系(1:200 万)》中的地形图标注使用<sup>[14]</sup>。图 1 标注了研究区 内正式命名的 43 个海山和 3 个海山链名称,而管事 平顶海山、管事西海山和克庄海山为本文暂命名。

近年来,地球化学和深部动力学成为南海海山 研究的热点方法。已报道的研究区海山拖网岩石年 龄为 3.5~14 Ma<sup>[15-20]</sup>。海底磁异常条带以及 IO-DP349 航次的钻探结果表明研究区火山作用是在 洋壳扩张停止后几百万年出现的,属板内火山作用。 前人从拖网岩石的地球化学特征提取南海深部信 息,认为研究区的火山岩可能是海南地幔柱<sup>[21-24]</sup>活 动的产物<sup>[17,25]</sup>。

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);国家自然科学基金资助项目(91428207)

作者简介:张伙带(1985—),女,工程师,从事海洋地质工作, E-mail:z183514387@126.com

收稿日期:2017-04-30;改回日期:2017-06-21. 文凤英编辑



![](_page_1_Figure_4.jpeg)

# 2 数据来源和处理方法

研究区使用的多波束数据来自广州海洋地质调 查局"海洋四号"和"海洋六号"船多年调查资料。 "海洋四号"船采用美国 SeaBeam 公司的 Sea-Beam2112 多波束测深系统,测量水深 10~11 000 m,波束大小 2.0°×2.0°,最大波束数 151 个。"海 洋六号"船采用挪威 Kongsberg 公司的 EM122 多 波束测深系统,测量水深 10~11 000 m,波束大小 1.0°×1.0°~2.0°×2.0°,最大条幅开角 140°,最多 可接收 191 个波束。两套多波束测深系统精度小于 水深值的 0.3%,因此,在约 4 000 m 水深的南海海 盆洋壳区,水深误差约为 12 m。多波束资料原始数 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 m×200 m 的网格数据进行统计。

# 3 海山地形统计

### 3.1 统计方法

根据我国 2007 年颁布的海洋地质调查规范 (GB/T 12763.10, 2007),海盆中高差大于 500 m 为大型海山,高差 200~500 m 为高海丘,高差 50~ 200 m 为低海丘。但根据国际水道测量组织和政府 间海洋学委员会 2008 年 11 月颁布的海底地名命名 标准<sup>[26]</sup>,高差 1 000 m 以上为海山。国际海底地名 分委会(政府间海洋学委员会和国际水道测量组织 联合领导的全球海洋通用制图指导委员会的下属分 支机构,是世界上在海底地名领域具有较高权威性 和影响力的国际组织)采用 1 000 m 高差作为海山 和海丘的划分界线。本文依国际惯例,以 1 000 m 高差作为海山和海丘的划分界限。

研究区发育 3 条海山链(图 1)。其中位于东部 次海盆的珍贝-黄岩海山链由孤立的海山组成,包括 珍贝海山、黄岩西海山、黄岩东海山和贝壳海山等, 本文将这些孤立的海山纳入到统计范围。位于西南 次海盆的长龙海山链和飞龙海山链的海山彼此连 结,不易划分出独立的海山,不纳入本文统计范围。 本文高差为基座水深和山顶水深的差值,面积定义 为海山和海丘的投影面积。有些海山由于位于海沟 附近或者小海盆附近,靠近海沟和小海盆一侧基座 水深较大;有些海山与其他海山鞍部相连,靠近鞍部 一侧的基座水深较小。本文采用海山山脚平坦广阔 的深海平原的水深作为高差计算基座水深值。

#### 3.2 统计结果

统计结果表明,研究区发育海山约46个。中南海山高差最大,约4080m;贝壳海山面积最大,约7000km<sup>2</sup>。高差范围1000~500m的海丘约90个,高差范围500~200m的海丘约100个。

表 1 研究区海山基本地形参数 Table 1 Topographic parameters of seamounts in the study area

序号	名称	位置	山顶 水深/m	基座 水深/m	高差 /m	投影 面积/km <sup>2</sup>	平面 形态	走向
1	中南海山	13°58.0′N,115°25.7′E	299	4379	4080	1809	近圆形	
2	珍贝海山	15°04.0′N,116°32.5′E	317	4371	4054	2738	线状	NW
3	龙南海山	13°21.8′N,114°58.5′E	528	4467	3939	1019	线状	NWW
4	宪北海山	16°36.8′N,116°42.4′E	210	4120	3911	1628	线状	W-E
5	黄岩西海山	15°08.5'N, 117°09.6'E	498	4385	3887	1480	线状	NW
6	龙北海山	14°00.0′N,114°52.3′E	567	4337	3769	969	圆形	
7	涨中海山	15°34.1′N,116°11.1′E	654	4288	3633	1131	线状	NW
8	南岳海山	13°42.1′N,115°17.8′E	868	4386	3518	910	线状	NE
9	管事平顶海山	17°12.2′N,118°45.4′E	460	4250	3540	2119	线状	NE
10	北岳海山	14°21.8′N,115°24.1′E	862	4300	3438	907	线状	W-E
11	黄岩东海山	15°17.1′N,118°17.0′E	916	4267	3350	2387	线状	NW
12	贝壳海山	15°29.2′N,118°36.8′E	1230	4500	3270	7009	线状	NE
13	钱乙海山	16°46.4′N,118°36.0′E	1153	4200	3047	3110	线状	NE

序号	名称	位置	山顶 水深/m	基座 水深/m	高差 /m	投影 面积/km <sup>2</sup>	平面 形态	走向
14	石星海山	16°24.8'N,116°15.6'E	1 376	4 166	2 790	1 054	线状	近 E-W
15	宪南海山	15°54.5′N,116°46.9′E	1 526	4 200	2 674	897	线状	NNW
16	张仲景海山	15°50.8'N,117°30.9'E	1 819	4 254	2 435	1 161	线状	NEE
17	玳瑁海山	17°37.0′N,117°05.6′E	1 680	3 950	2 270	338	圆形	
18	钻石海山	15°01.4'N,114°54.5'E	2 236	4 288	2 052	310	线状	W-E
19	吴有性海山	16°50.3'N,119°00.6'E	2 200	4 200	2 000	784	线状	NW
20	玛瑙海山	12°09.4′N,115°53.8′E	2 514	4 406	1 892	899	线状	海山走向为 NE, 被 S-N 向断裂切断
21	易安海山	14°48.0′N,115°40.0′E	2 579	4 337	1 758	787	线状	海山走向为 NE, 被 NW 向断裂切断
22	一行海山	16°58.6'N,116°13.9'E	2 306	4 042	1 736	171	近圆形	
23	孙思邈海山	16°28.7′N,118°51.1′E	2 836	4 500	1 664	2 353	线状	NE
24	红宝石海山	14°40.8′N,114°30.6′E	2 663	4 321	1 658	233	线状	NW
25	蓝宝石海山	14°50.1′N,114°15.8′E	2 777	4 321	1 544	322	线状	NW
26	李时珍海山	15°53.0'N,118°19.3'E	2 968	4 500	1 532	1 396	线状	NE
27	紫贝海山	15°08.6′N, 117°24.6′E	1 065	2 596	1 531	487	线状	NW
28	管事西海山	17°16.2′N,118°28.6′E	2 515	4 032	1 516	191	线状	NE
29	龙珠海山	13°08.3'N,114°29.2'E	2 963	4 471	1 508	215	线状	W-E
30	龙门海山	12°32.3′N,113°43.3′E	2 971	4 436	1 464	318	线状	NNW
31	陆游海山	13°47.7′N,115°47.9′E	2 947	4 397	1 450	581	线状	海山走向为 NE, 被 NW 向断裂切断
32	韩愈海山	14°04.2′N,118°21.6′E	2 802	4 249	1 447	1 516	线状	海山走向为 E-W, 被 S-N 向和 NW 向两组断裂切图
33	张先海山	15°16.0′N,115°57.2′E	2 875	4 316	1 441	297	线状	NW
34	克庄海山	15°16.0′N,116°11.7′E	2 886	4 300	1 414	199	线状	NW
35	双峰海山	18°17.4′N,115°04.9′E	2 383	3 730	1 347	184	线状	NEE
36	小珍珠海山	12°41.7′N,115°58.2′E	3 046	4 390	1 344	757	线状	海山走向为 NE, 被 S-N 向断裂切断
37	大珍珠海山	12°48.6′N,116°34.0′E	3 044	4 353	1 309	2 017	不规则	
38	米芾海山	13°57.3'N,115°48.4'E	3 095	4 350	1 255	727	线状	NW
39	贺铸海山	13°12.6′N,116°02.0′E	3 147	4 390	1 243	210	线状	NE
40	秦观海山	14°03.0'N,115°46.1'E	3 116	4 318	1 202	768	线状	海山走向为 NE, 被 S-N 向断裂切断
41	华佗海山	16°31.6′N,118°03.1′E	3 045	4 241	1 196	1 746	线状	NW
42	范仲淹海山	13°25.2′N,115°46.3′E	3 165	4 360	1 195	559	线状	NE
43	王祯海山	18°09.5'N,115°49.5'E	2 635	3 823	1 188	59	近圆形	
44	玉佩海山	12°04.4′N,112°33.7′E	3 136	4 321	1 185	432	线状	NW
45	白居易海山	13°57.7′N,118°42.4′E	2 906	3 980	1 074	291	线状	NE
46	柳宗元海山	14°37.6′N,117°59.4′E	3 261	4 314	1 053	1 098	线状	海山走向为 E-W, 被 S-N 向断裂切断

注:由于海丘数量多,此表只列出海山的地形参数。

# 4 代表性海山和海丘的地形特征

研究区海山形态多样,本文选取了6个代表性的海山和海丘展示它们的地形特征。

(1)玳瑁海山

研究区大部分的海山为圆锥形海山,如玳瑁海山(图1、图2)。玳瑁海山基座水深3950m,山顶水 深1680m,高差约2270m。平面形态呈圆形,平面 直径约20km,面积约338km<sup>2</sup>。坡度为12°~14°。

![](_page_4_Figure_6.jpeg)

图 2 玳瑁海山三维地形图 Fig. 2 3D diagram of Daimao seamount

### (2)管事平顶海山

研究区仅发育一座平顶海山,为管事平顶海山 (图1、图3)。管事平顶海山山顶坡度小于1°,山顶 面积约为145 km<sup>2</sup>。海山基座水深约4250 m,山顶 水深460 m,高差约3540 m。海山走向为东北,长 约65 km,宽约34 km,面积约2119 km<sup>2</sup>。坡度约 为20°。

![](_page_4_Figure_10.jpeg)

图 3 管事平顶海山三维地形图 Fig. 3 3D diagram of Guanshi guyot

(3)龙南海山

研究区部分海山平面形态呈线状,如龙南海山 (图 1、图 4)。龙南海山沿近北西西向展布,长达 42 km,宽约 30 km,面积为 1 019 km<sup>2</sup>。海山基座水深 4 467 m,山顶水深 528 m,高差达 3 939 m。东北和 西南两侧斜坡坡度为 14°。

![](_page_4_Figure_15.jpeg)

# (4)大珍珠海山

研究区部分海山平面形态不规则,如大珍珠海山(图1、图5)。大珍珠海山南北长约52 km,东西 宽30~51 km,面积约2017 km<sup>2</sup>。海山基座水深约 4353 m,峰顶水深为3044 m,高差为1309 m。海 山斜坡地形较为平缓,坡度约4°。

![](_page_4_Figure_18.jpeg)

4300 4100 3900 3700 3500 3300 3100 水深/m 图 5 大珍珠海山三维地形图 Fig. 5 3D diagram of Dazhenzhu seamount

### (5) 蛟龙海丘

研究区有多个海丘顶部还保留着火山口形态特征,例如蛟龙海丘(图1、图6)。蛟龙海丘东西向长约8.4 km,南北向宽约11 km。面积约73 km<sup>2</sup>。海丘基座水深3950 m,山顶水深3294 m,高差为656 m。海丘主山峰位于南边,山顶为塌陷火山口,火山口深度约327 m,南边有缺口。

![](_page_5_Picture_2.jpeg)

3900 3800 3700 3600 3500 3400 3300水深/m

图 6 蛟龙海丘三维地形图 Fig. 6 3D diagram of Jiaolong knoll

(6)李益海丘群

研究区发育众多线状海山和海丘,其中一侧山 坡为陡峭的断面,推测为一系列的小断裂切割形成, 如李益海丘群(图1、图7)。李益海丘群由多个线状 海丘组成,走向为北东东。西侧山坡陡峭,如被切开 的断面一样,类似陆地上的断块山,断面走向为北北 西。

5 讨论

#### 5.1 东部次海盆海山海丘分布特征及成因

在东部次海盆海山和海丘的分布具有明显的规 律。大型海山如珍贝海山、黄岩西海山、紫贝海山、 黄岩东海山、涨中海山、宪南海山、宪北海山、石星海 山、张仲景海山、张先海山、克庄海山等(图1)的走 向总体呈北西向,集中分布在残留扩张脊,或零散分 布在扩张脊北部区域。石星海山、涨中海山、珍贝海 山和黄岩岛岩石的定年结果表明它们形成于海底扩 张停止之后<sup>[15,16]</sup>。因此,这些大型海山可能是海底 扩张停止之后,岩浆沿着北西向小断裂喷发形成。

东部次海盆扩张脊北侧 230 km 范围内,发育 平行珍贝-黄岩海山链的大量线状海山和海丘,如李 时珍海山和孙思邈海山(图 1),并且这些海山和海 丘发育在水深比其他海盆区浅 100~150 m 的隆起 区之上。东部次海盆扩张脊南侧 130 km 范围内, 也发育一系列平行珍贝-黄岩海山链的线状海山和 海丘,但是众多海山和海丘被南北向和北北西向的 小断裂切断,如柳宗元海山被南北向的小断裂切断。 这些平行海山链的海山和海丘尚无岩石定年数据, 推测断裂可能与海盆扩张过程中形成的转换断层有 关。

#### 5.2 西南次海盆海山海丘分布特征及成因

西南次海盆的大型海山如中南海山、北岳海山、 南岳海山、龙北海山的走向不一致。中南海山岩石 的定年结果表明形成于海底扩张停止之后<sup>[20]</sup>。因 此,这些大型海山可能与东部次海盆的大型海山相 似,在海底扩张停止之后岩浆喷发形成。

在西南次海盆扩张脊两侧,发育大量平行扩张 脊方向的线状海山和海丘。在离扩张脊 80 km 范 围内线状海山和海丘发育最密集。最典型的为由一 系列北东向线状海山和海丘组成的长龙海山链和飞

![](_page_5_Picture_15.jpeg)

4400 4300 4200 4100 4000 3900 水深/m

4400 4300 4200 4100 4000 3900 水深/m

图 7 李益海丘群三维地形图 Fig. 7 3D diagram of Liyi knolls 龙海山链(图 1)。但在西南次海盆扩张脊的东南 侧,一系列海山和海丘被北西向的小断裂切断,如陆 游海山由一系列北东向的小海山组成,但是被北西 向断裂切断。这些平行海山链的海山和海丘尚无岩 石定年数据,推测断裂可能与海盆扩张过程中形成 的转换断层有关。

## 5.3 海山海丘对中南断裂的地形响应

早期学者根据磁异常的走向估计东部次海盆和 西南次海盆之间存在一个转换断裂<sup>[3]</sup>,称为中南断 裂。但目前关于中南断裂的走向和位置仍然存在不 同的看法<sup>[10,26]</sup>。本文从地形的角度发现东部次海 盆西侧海山和西南次海盆东侧海山均被两组近南北 向的断裂切割,此断裂可能是中南断裂。基于此,本 文认为中南断裂可能是断裂带,具有一定的范围,包 括易安海山-小珍珠海山-玛瑙海山断裂、李益海丘 群-大珍珠海山断裂及它们之间的区域。

# 6 结论

(1)利用多波束数据对研究区的海山和海丘进行了统计。以1000m高差作为海山和海丘的划分依据,共识别出海山约46个,海丘约190个。2500m高差以上的海山分布在东部次海盆的残留扩张脊和北部区域,以及西南次海盆的残留扩张脊。

(2)研究区海山形态多样,以尖顶海山为主,也 发育有平顶海山。既有平面形态呈圆形的海山,也 有平面形态呈长形或不规则形的海山。高精度的多 波束数据揭示了海丘的精细地形特征,发现了火山 口和类似陆地上的断块山等特殊现象,为进一步开 展地质地球物理研究提供了基础信息。

(3)东部次海盆扩张脊南侧一系列海山和海丘 被南北向和北西向的小断裂切割,西南次海盆扩张 脊东南侧一系列海山和海丘被北西向的小断裂切 割。这些小断裂可能是海盆扩张过程中形成的转换 断层。

(4) 基于地形特征,推测东部次海盆和西南次 海盆之间的海山被两组南北向的断裂切割。此断裂 可能为中南断裂,并暗示了中南断裂可能为断裂带 性质,具有一定范围,由两组南北向断裂及中间区域 组成。

#### 参考文献(References)

海洋, 1987, 5(1-2): 1-9. [ZENG Chengkai, WANG Xiaobo. Distribution and genesis of the seamounts and hills in the South China Sea[J]. Donghai Marine Science, 1987, 5(1-2): 1-9.]

- [2] 鲍才旺,薛万俊.南海深海平原海山、海丘分布规律及形成环境[J].海洋学报,1993,15(6):83-90.[BAO Caiwang, XUE Wanjun. Distribution and formation environment of seamounts and knolls in the abysmal plain of the South China Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1993, 15(6):83-90.]
- [3] Taylor B, Hayes D E. Origin and history of the South China Sea Basin[M]//Hayes D E. The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands: Part 2. Washington, DC: American Geophysical Union, 1983; 23-56.
- [4] 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.
- [5] Clift P, 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.
- [6] 李家彪.南海大陆边缘动力学:科学实验与研究进展[J].地 球物理学报,2011,54(12):2993-3003. [LI Jiabiao. Dynamics of the continental margins of South China Sea: scientific experiments and research progresses[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2011,54(12):2993-3003.]
- [7] 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.
- [8] 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. [YAO Bochu. The Geological Memoir of South China Sea Surveyed Jointly by China & USA[M]. Wuhan; China University of Geoscience Press, 1994.]
- [9] Hsu S K, Yeh Y C, Doo W B, et al. New bathymetry and magnetic lineations identifications in the northernmost South China Sea and their tectonic implications[J]. Marine Geophysical Researches, 2004, 25(1-2): 29-44.
- [10] Li C F, 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(14): 3165-3181.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Koppers A A P. On the <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar dating of low-potassium ocean crust basalt from IODP Expedition 349, South China Sea[C]//Proceedings of 2014 AGU Fall Meeting. San Francisco: AGU, 2014.

- [14] 杨胜雄,邱燕,朱本铎,等. 南海地质地球物理图系(1:200万)[M]. 天津:中国航海图书出版社,2015. [YANG Shengxiong, QIU Yan, ZHU Benduo, et al. Atlas of Geology and Geophysics of the South China Sea (1:2000000)[M]. Tianjin: China Navigation Publication Press, 2015.]
- [15] 王贤觉,吴明清,梁德华,等. 南海玄武岩的某些地球化学 特征[J]. 地球化学,1984(4):332-340. [WANG Xianjue, WU Mingqing, LIANG Dehua, et al. Some geochemical characteristics of basalts in the South China Sea [J]. Geochimica, 1984(4):332-340.]
- [16] Tu K, Flower M F J, Carlson R W, et al. Magmatism in the South China Basin: 1. Isotopic and trace-element evidence for an endogenous Dupal mantle component[J]. Chemical Geology, 1992, 97(1-2): 47-63.
- [17] 鄢全树,石学法.海南地幔柱与南海形成演化[J].高校地质学报,2007,13(2):311-322. [YAN Quanshu, SHI Xuefa. Hainan mantle plume and the formation and evolution of the South China Sea[J]. Geological Journal of China Universities, 2007, 13(2):311-322.]
- [18] 鄢全树,石学法,王昆山,等. 南海新生代碱性玄武岩主量、 微量元素及 Sr-Nd-Pb 同位素研究[J]. 中国科学 D 辑:地球 科学,2008,38(1):56-71. [YAN Quanshu, SHI Xuefa, WANG Kunshan, et al. Major element, trace element, and Sr, Nd and Pb isotope studies of Cenozoic basalts from the South China Sea[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2008, 51(4):550-566.]
- [19] Yan Q S, Shi X F, Yang Y M, et al. Potassium-argon/argon-40-argon-39 geochronology of Cenozoic alkali basalts from the South China Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica,

2008, 27(6): 115-123.

- [20] 王叶剑,韩喜球,罗照华,等.晚中新世南海珍贝-黄岩海山 岩浆活动及其演化:岩石地球化学和年代学证据[J].海洋学 报,2009,31(4):93-102. [WANG Yejian, HAN Xiqiu, LUO Zhaohua, et al. Late Miocene magmatism and evolution of Zhenbei-Huangyan Seamount in the South China Sea: evidence from petrochemistry and chronology[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2009, 31(4):93-102.]
- [21] Lebedev S, Nolet G. Upper mantle beneath southeast Asia from S velocity tomography[J]. Journal of Geophysical Research, 2003, 108(B1): 2048.
- [22] Montelli R, Nolet G, Dahlen F A, et al. Finite-frequency tomography reveals a variety of plumes in the mantle[J]. Science, 2004, 303(5656): 338-343.
- [23] Zhao D P. Seismic images under 60 hotspots: search for mantle plumes[J]. Gondwana Research, 2007, 12(4): 335-355.
- [24] Lei J S, Zhao D P, Steinberger B, et al. New seismic constraints on the upper mantle structure of the Hainan plume
   [J]. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 2009, 173 (1-2): 33-50.
- [25] 石学法, 鄢全树. 南海新生代岩浆活动的地球化学特征及其构造意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011, 31(2): 59-72.
  [SHI Xuefa, YAN Quanshu. Geochemistry of Cenozoic magmatism in the South China Sea and its tectonic implications
  [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2011, 31(2): 59-72.]
- [26] IHO. Standardization of Undersea Feature Names[R]. Bathymetric Publication No. 6. Monaco: International Hydrographic Bureau, 2008.

# TOPOGRAPHIC FEATURES OF THE SEAMOUNTS IN THE CENTRAL BASIN OF THE SOUTH CHINA SEA: BASED ON MULTI-BEAM BATHYMETRIC DATA

ZHANG Huodai<sup>1,2</sup>, ZHU Benduo<sup>1,2</sup>, GUAN Yongxian<sup>1,2</sup>, YANG Shengxiong<sup>1,2</sup>

(1. Key Lab of Marine Mineral Resources, Ministry of Land and Resources, Guangzhou 510760, China;

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

Abstract: Upon the multi-beam bathymetric survey of the central basin of the SCS (South China Sea) in the past decades, submarine topography of the basin has become clearer. This paper is devoted to the study of the topographic features of seamounts and knolls in SCS central basin based on the multi-beam bathymetric data from Guangzhou Marine Geological Survey. Three dimensional topographic maps of typical seamounts and knolls are exhibited to reveal how the seamounts and knolls in SCS central basin look like. Statistics suggest that there are about 46 seamounts, 90 knolls with height difference in 1000-500m and about 100 knolls with height difference in 500-200m in the SCS central basin. Multi-beam bathymetric data shows finer terrain information than ever before. For examples, volcanic vents on the top of seamounts and knolls are discovered and steep slopes observed on some seamounts and knolls, probably caused by faults. Based on the distribution pattern of steep slopes, we inferred that the Zhongnan fault is actually a fault zone, consisting of two parallel N-S faults and the region between them.

Key words: seamounts; knolls; topographic features; Zhongnan fault; the central basin of South China Sea