

DOI: 10.3724/SP.J.1140.2014.02079

菲律宾海构造地貌特征

张斌^{1,2}, 李广雪^{1,2}, 黄继峰^{1,2}

(1. 中国海洋大学 海洋地球科学学院, 青岛 266100

2. 海底科学与探测技术教育部重点实验室, 青岛 266100)

摘要: 菲律宾海地处西太平洋边缘, 位于两大俯冲带之间, 四周被深海沟所环绕, 陆源物质较少汇入, 海底保存了较为原始的构造地貌特征。通过收集的精细水深测量数据, 结合已有研究成果, 以板块构造为基础对该区域划分四级构造单元, 并对主要构造地貌进行系统研究。研究表明, 菲律宾海地貌的形成、分布受构造活动控制, 西菲律宾海盆因以中央裂谷带为中心的海底扩张形成了一系列 NW—SE 向的大型构造地貌; 其东侧因太平洋板块的俯冲形成了近南北走向的“沟-弧-盆”体系。西菲律宾海盆中央裂谷带线状海岭、海山, 海盆内不断转向的海岭, 帕里西维拉海盆雁形裂谷等特殊地貌形态的存在, 都与其形成过程中的特殊性有关, 能与其复杂发育史相印证。

关键词: 构造运动; 地貌特征; 地貌分类; 菲律宾海

中图分类号: P736.1

文献标识码: A

文章编号: 0256-1492(2014)02-0079-10

菲律宾海位于西太平洋边缘, 处于东海、南海和西太平洋之间(图 1), 发育着地球上最年轻的、最壮观的海沟-岛弧-弧后盆地体系^[1]。由于远离陆源物质丰富的中国大陆和四周深海沟的存在, 陆源物质较少汇入到菲律宾海, 主要沉积物为半深海、深海和火山碎屑物沉积, 所以海底保留了较为原始的构造地貌特征, 是板块构造地貌最为理想的研究场所。从战略位置来看, 菲律宾海位于太平洋“第一岛链”和“第二岛链”之间, 是全球军事活动最活跃的区域之一, 其研究对于我国国防安全具有重要意义。

由于其特殊性, 早在 20 世纪 70 年代, Andrews 等通过对一横跨菲律宾海南部的旁侧声呐测线分析, 识别出与构造模式相吻合的线状深海山^[2], 拉开了该区域构造地貌研究的序幕。国内学者的研究从 20 世纪 90 年代开始, 林美华等对菲律宾海周围的深海沟地貌和中央断裂带地貌进行了详细的描述^[3-4], 傅命佐等对琉球“沟-弧-盆”构造地貌进行了详细研究^[5], 李常珍等对菲律宾海区域的地势特征进行了简单的描述^[6]。但前人的研究大多集中在局部特殊地貌特征上, 尚未有学者对这一地区地貌特征进行系统的分类分析。

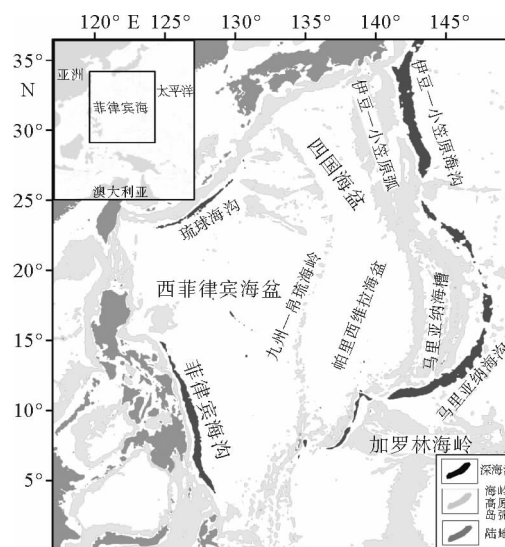


图 1 菲律宾海地理位置

Fig. 1 The location of the Philippine Sea

本文依据收集到的涉及该海域的 520 个航次的国内外水深数据, 剔除测点相对较少的航次; 并通过相邻航次对比、极值研究等质量控制手段, 剔除数据异常的航次, 最终选用其中 417 个航次的航次数据, 并利用 GEBCO (The General Bathymetric Chart of the Oceans) 中的数据, 补充测量密度相对较低的区域, 数据分布密度优于 1:50 万, 是迄今为止最为精细的水深数据集。据此, 绘制了详细的菲律宾海水深图及三维地形图(图 2), 并结合前人关于构造运动研究结果对该海域的地貌特征进行了系统分类研究。

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41030856); 大洋重大项目课题(DY125-11-R-01); 泰山学者建设工程专项

作者简介: 张斌(1987—), 男, 博士, 从事海洋地质研究。

通讯作者: 李广雪, 教授, 博导, E-mail: estuary@ouc.edu.cn

收稿日期: 2013-09-13; **改回日期:** 2013-10-25. 文凤英编辑

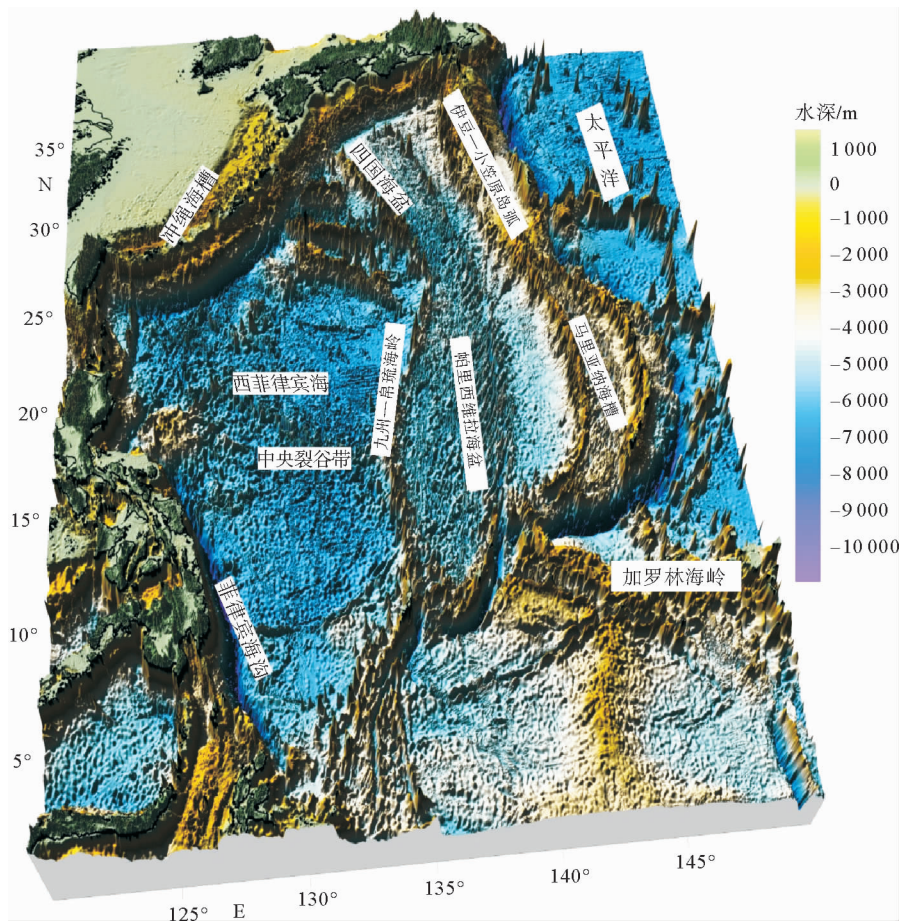


图2 菲律宾海三维地形

Fig. 2 Three dimensional topographic map of the Philippine Sea

1 区域地质背景

菲律宾海处于大洋板块和大陆板块的汇聚地带,经历了多次旋转和扩张最终形成现今格局。Deschamps 和 Lallemand 认为西菲律宾海盆是发育在两个俯冲带之间的弧后盆地,盆内裂谷开始于 55 Ma 左右,停止于 33~30 Ma。初始的扩张轴与古老的菲律宾岛弧平行,但是当一个新的扩张脊从海盆东部传播过来与之前的扩张脊交汇后,之前的扩张脊就基本停止活动。扩张主要发生在第二个扩张轴,并伴随着逆时针旋转。大约在 30~26 Ma 的时候,盆地中央发生无岩浆的扩张活动,形成了较深的裂谷^[7-9]。

深海钻探计划和大洋钻探计划开始以来,在菲律宾海域开展了不少航次钻探。钻探结果表明,纵贯菲律宾海中部的九州-帛琉海岭属残留弧性质,钻遇的安山玄武岩年龄为 34 Ma。其东面的西马里亚纳海脊产有钙碱性火山岩,年龄 11 Ma,是较晚形成的残留弧。中间的帕里西维拉海盆,钻探得出的年龄为 30~15 Ma,与磁异常年龄基本吻合,证明该海

盆是通过弧间海底扩张形成的。在 30 Ma 以前,帕里西维拉海盆与马里亚纳海槽均尚未扩张形成,九州-帛琉海脊、西马里亚纳海脊和马里亚纳岛弧应连成一体,构成统一的活动岛弧系。约 30 Ma 前,这一岛弧系一裂为二,其间新生的帕里西维拉海盆逐渐扩张加宽,西侧的九州-帛琉海脊逐渐远离东侧的活动岛弧系及俯冲带,火山活动停息,演化成为残留弧^[10]。约 15~20 Ma,东侧的活动岛弧系再度发生分裂,其间新生的马里亚纳海槽逐渐扩张开来,在海槽西侧留下了西马里亚纳海岭,成为又一列残留弧^[11]。

2 地貌分类

海底地貌分类有以外营力、内营力、板块构造为基础进行分类的三种观点。其中以外营力作用为基础的分类,在地貌学界有广泛的应用,其小范围、大比例编图对海洋工程、海岸带及近海的开发和利用具有重要的使用价值;内应力为基础的分类能清晰地反映构造对地貌的控制作用,适用于大范围、小比例尺的地貌分类和制图;而以板块构造为基础的分

类则为地貌的成因机制和分布规律提出了崭新的解释。菲律宾海区域演化历史较为复杂,在整个演化过程中板块驱动力为主要控制力,本文以板块构造为基础,形态、成因相结合,内营力、外营力相结合,按形态特征、地貌体规模大小及主从关系,依次逐级划分^[5],我们将该区域地貌分为四级(表 1)。

2.1 一级地貌单元

一级地貌单元根据板块构造环境及形态特征进行划分。每个地貌单元处于相同的板块构造环境,其地壳组成一致,由若干个成因上密切联系的二级地貌单元构成^[12]。

菲律宾海区域的一级地貌单元可分为过渡壳地貌和洋壳地貌两种。西菲律宾海盆是以中央断裂带为中心进行扩张所形成的洋壳地貌;而其东西两侧为大洋板块向大陆板块俯冲所形成的“沟-弧-盆”体系过渡型地貌。根据俯冲带两侧的板块性质又将过渡型地貌分为“洋缘沟弧盆”和“陆缘沟弧盆”两个亚

系,其中九州-帛琉海岭至伊豆-小笠原-硫黄-马里亚纳海沟区域是位于西菲律宾海与太平洋之间的“洋缘沟弧盆”体系;西菲律宾海盆北侧及西侧则为亚欧大陆边缘的“陆缘沟弧盆”体系(图 3)。

2.2 二级地貌单元

二级地貌单元根据区域构造的性质、形态特征及水深变化进行划分。同一地貌单元具有相同的构造属性^[12]。

西菲律宾海盆二级地貌单元为深海盆地地貌。西菲律宾海盆是发育在两个俯冲带之间的弧后盆地,在 55 Ma 至 33~30 Ma 之间发生了以中央断裂带为中心的岩浆性扩张,在 30~26 Ma 盆地中央发生无岩浆扩张活动^[8]。

洋缘沟弧盆体系二级地貌可分为海沟、岛弧、弧后盆地三大类,其中海沟地貌包括伊豆-小笠原海沟、硫黄海沟、雅浦海沟、帛琉海沟,它们自北向南将整个菲律宾海环绕其中。岛弧地貌包括伊豆-小笠

表 1 菲律宾海构造地貌分类

Table 1 Tectonic geomorphology classification of Philippine Sea

| 一级构造单元 | | 二级构造单元 | 三级构造单元 | 四级构造单元 |
|-----------|-----------|--------|--|--------------------------------|
| 洋壳地貌 | | 深海盆地 | 中央裂谷带 中央裂谷 中央海山链 | 海山 |
| | | | 深海海岭 深海高原 海山海丘群 | 海丘 构造谷(槽) 深海凹陷 |
| | | | 深海平原 平坦的深海平原 起伏的深海平原 倾斜的深海平原 | 断层陡坡 |
| 过渡壳地貌 | 洋缘沟-弧-盆体系 | 海沟 | 海沟沟底盆地 海沟边缘斜坡 海沟海山海丘群 | 海山 |
| | | 岛弧 | 岛架台地 岛架斜坡 岛坡深水阶地 岛坡海岭 岛坡断陷盆地 | 海丘 断层凹陷 深海凹陷 地垒 地堑 |
| | | 弧后盆地 | 弧后扩张裂谷 洋缘海盆平原 盆内海岭 海山海丘群 | |
| 陆缘沟-弧-盆体系 | | 海沟 | 海沟盆地 海沟边缘斜坡 海沟海山海丘群 | 海山、海丘 断层凹陷 深海凹陷 |

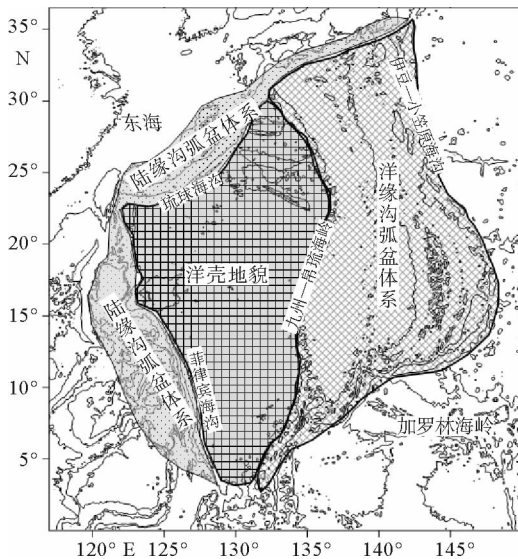


图3 菲律宾海一级地貌单元

Fig. 3 The first geomorphic units of the Philippine Sea

原-硫黄岛弧、马里亚纳弧、西马里亚纳弧,以及具残留弧性质的贯穿菲律宾海南北的九州-帛琉海岭。而在弧间发育的四国海盆、帕里西维拉海盆和马里亚纳海槽则为弧后盆地地貌。

陆缘沟弧盆体系二级地貌在该区域主要为海沟地貌,其后面发育的岛弧以及弧后盆地未列入本文的探讨范围。其中琉球海沟、南海海槽、菲律宾海沟都属于该地貌单元。

2.3 三级地貌单元

三级地貌单元是在不同的内、外营力作用下形成的基本地貌形态类型^[12]。

西菲律宾海深海盆地地貌的三级地貌类型分为中央裂谷带地貌、深海海岭地貌和深海平原地貌。中央裂谷带地貌又分为中央裂谷、中央海山链;深海海岭地貌又分为深海海岭、深海高原、深海丘陵;深海平原地貌分为平坦的深海平原、起伏的深海平原、倾斜的深海平原。

洋缘沟弧盆体系中,海沟的三级地貌单元为海底盆地、海沟边缘斜坡、海沟海山海丘群;岛弧三级地貌分为岛架台地、岛架斜坡、岛坡深水阶地、岛坡海岭、岛坡断陷盆地等;弧后盆地三级地貌单元分为弧后扩张裂谷、洋缘海盆平原、盆内海岭、海山海丘群等。

陆缘沟弧盆体系中,海沟的三级地貌单元有海沟盆地、海山海丘群、海沟边缘斜坡等。

2.4 四级地貌单元

四级地貌单元按独立的形态划分,以形态特征

为主体,是小型的地貌实体。通常成因要素单一,可同时出现在上述高级地貌单元中^[12]。

菲律宾海区域四级地貌单元包括小型海底平原、海山、海丘、海底峡谷、深海凹陷、断层凹陷、陡坡、构造谷(槽)、小型地垒、地堑等。

3 主要构造地貌特征

3.1 深海盆地地貌

西菲律宾海盆位于菲律宾海西部,西南侧为帛琉海沟,东侧为九州-帛琉海岭,北侧为琉球海沟,西南侧为菲律宾海沟。海盆水深达5 000~6 500 m,海盆中央被一条NW—SE向延伸的长条状的裂谷带分隔开;而裂谷带的西北段,其两侧则分别发育了本哈姆高原和乌尔达内塔高原。在盆地东北部发育有与中央裂谷走向近乎平行的冲大东海岭、大东海岭、奄美海台(图4)。

西菲律宾海盆地地貌单元的形成主要受海底扩张控制,大约在55 Ma至33 Ma~30 Ma期间,盆地内部发生以中央裂谷为中心的海底扩张,随着岩浆活动性的海底扩张^[8],深海平原地貌逐渐形成;同时随着扩张脊的发育,一些平行于扩张方向的断裂带和垂直于扩张方向的深海山也逐渐形成并随着扩张的进行不断推移,分布于深海平原之上。

3.1.2 深海平原

西菲律宾海盆地又分为主盆地(本哈姆高原和乌尔达内塔高原以东)、西北次盆地、南次盆地(帛琉海盆)。主盆地被认为是以中央断裂带为中心的海底扩张形成,盆地水深5 500~6 000 m,相比而言东侧水深较大。盆地内发育有一系列线状深海山、海槽,而深海山的走向有规律地发生变化,从中央裂谷带处近东西向,不断发生顺时针变化,最终至海盆西南侧的NNW—SSE向。盆地北部25°N附近被拉普拉普海岭分隔,海岭两侧高差近400 m。海岭北侧地形较为平坦,南侧地形起伏。盆地东北部海底地形平缓,是被九州-帛琉海岭和冲大东海岭的厚火山碎屑沉积物覆盖所致^[13]。

南次盆地(帛琉海盆)被一弧形的海岭与主盆地隔开,该海岭在132°E以东走向为NW—SE向,132°以西走向近似于东西向,且在129.6°E与131°E之间被分隔开。盆地中央地形较为平坦,水深比主盆地浅300~400 m;盆地东侧、南侧水深较浅,且分布众多孤立海山。盆内水深和地形分布与主盆地有明显差别。关于南次盆地的成因目前尚无定论,通

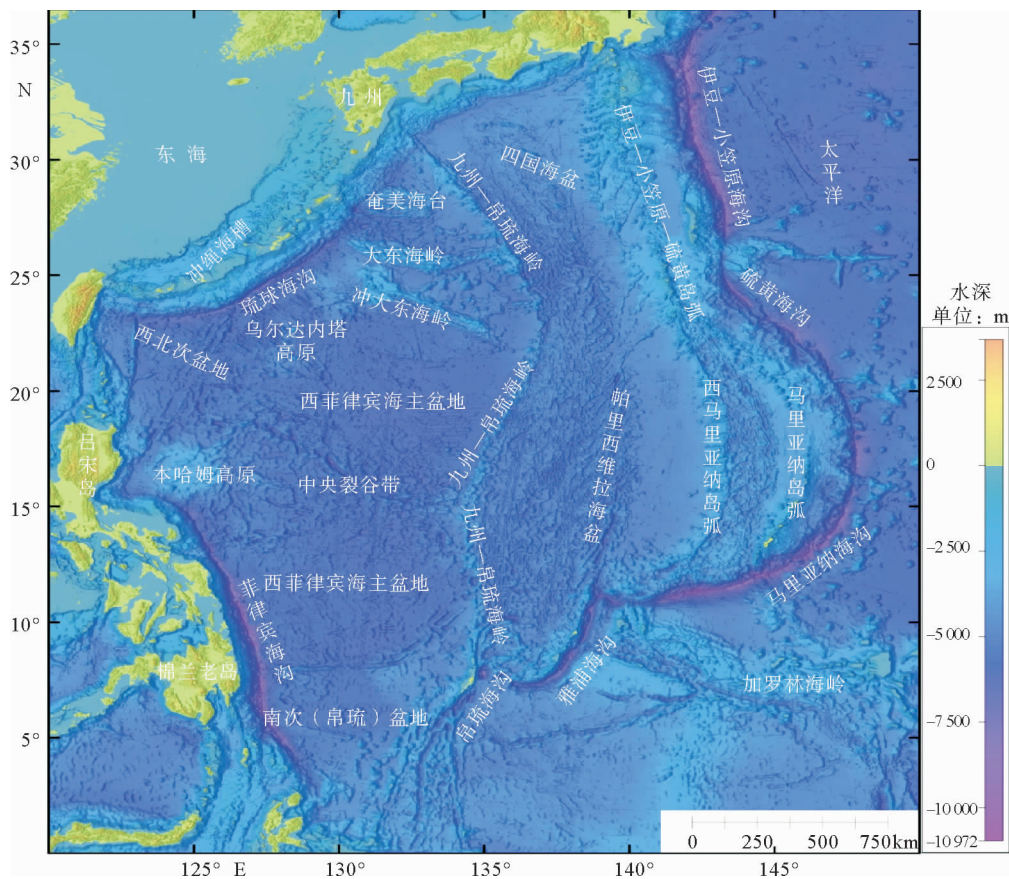


图 4 菲律宾海底地貌

Fig. 4 Seafloor geomorphology of the Philippine Sea

过对该区域地貌的初步分析认为它的形成早于主盆地的形成;形成之后可能是在菲律宾海复杂的演化过程中,由于其旋转后退和太平洋板块对其挤压,造成的南次盆地海岭中部开裂和东西两侧构造走向的差异。

西北次盆地位于本哈姆高原和乌尔达内塔高原以西,盆地水深主要分布于 5 000~5 700 m,其地貌特征与主盆地明显不同,盆地西侧发育一条近南北走向的格德岩海岭,中部发育有一系列 NE—SW 走向的海岭,北部靠近冲大东海岭处发育一系列 NW—SE 走向的海岭、地堑。推测其与主盆地的发育有较大的差异性或在盆地形成后期经历了强烈的构造演化。

3.1.3 深海海岭

本哈姆高原和乌尔达内塔高原对称地出现在中央裂谷带西北部的两侧,从地貌图上看,它们被断断续续的海脊、海山连接起来,成因具有一定的相关性。本哈姆高原位于西南侧,主区域横向宽度约为 300 km。高原顶部有一系列南北向和 NNE—SSW 向、相对高差 500 m 以上的链状海岭。高原东南侧的延伸以 NW—SEE 向的海岭发育为主要特征。

高原东北侧发育一系列 NE—SW 向的链状海山,自 17.4°N 开始东北向延续的海山近似垂直于中央裂谷带的走向,且与乌尔达内塔高原向中央裂谷带的延伸方向连成一线。乌尔达内塔高原比本哈姆高原小,东西跨度不足 200 km,南北跨度 250 km 左右,仅比两侧盆地高 1 000 m,自东向西逐渐变浅。其上发育有一系列 NW—SE 向海岭,除去这些海岭外,其余地形较为平缓。

西菲律宾海北部三角形地带分布冲大东海岭、大东海岭和奄美海台,它们由南向北依次排列。冲大东海岭呈 NW—SE 向延伸,大东海岭呈 NWW—SEE 向延伸,奄美海台呈东西向延伸。整体看来,越靠近中央断裂带其延伸方向越平行于中央断裂带。在它们的相间区域地貌较为杂乱,分布有大量的孤立海山、深海凹陷和小型的链状海山,地形自东向西由浅变深。

冲大东海岭位于最南侧,在 131.8°E 附近被分隔为两个部分,东部可见两条平行海岭,中间夹有一个相对高差最大超过 3 000 m 的海槽。海槽北部的北列海岭高度明显大于南列海岭,平均高差超过 1 000 m;海槽南部两列海岭高度相差不大,但槽内

水深较北部浅 300 m 左右。在 131.8°E 以西区域可见两个隆起,北部隆起水深主要分布在 2 000~4 000 m 范围内,南部隆起水深主要分布在 3 500~5 000 m 范围,顶部较为平坦。两个隆起的走向大致呈 NNE—SSW 向。

大东海岭位于三角形地带中部,西侧延伸至琉球海沟,东侧与九州海岭西坡相接,顶部水深主要分布于 1 500~2 500 m。该海岭主体呈 NWW—SEE 向伸展,在 133.4°E 附近转为 NEE—SWW 向延伸。海岭南坡坡度较陡,直接插入到海盆当中;北坡坡度较缓,呈阶地状延伸至海盆底部。

奄美海台位于九州海岭与大东海岭之间,其上发育三列东西走向的海岭。中部海岭水深较浅,顶部水深 1 500~2 500 m,与大东海岭的水深分布近似。南部海岭顶部水深为 3 000~4 000 m,它与中部海岭之间存在一个相对高差超过 1 000 m 的海底槽地。北部海岭和它与中部海岭之间的洼地呈倾斜形态,自东向西水深由浅变深。

3.2 “沟-弧-盆”体系地貌

沟弧盆体系又可以分为海沟、岛弧、弧后盆地三大地貌单元。菲律宾海被其周围的深海沟链状环绕,北部为琉球海沟,东缘为伊豆-小笠原海沟、硫黄海沟、马里亚纳海沟,南缘为雅浦海沟和帛琉海沟,西南为菲律宾海沟。在海沟后侧(远离大洋一侧)依次出现岛弧、弧后盆地以及残留弧。整个沟弧盆体系是在板块俯冲过程中形成的一组具有成生联系的构造体系。在西太平洋板块向欧亚板块俯冲时,大洋板块俯冲于大陆板块之下,并受上覆板块的压缩推挤发生弯曲下潜,伴随着洋底下沉形成深邃的海沟;同时上覆板块仰冲抬起,伴随俯冲作用产生的岩浆活动和火山作用,导致了岛弧的形成。此外,由于大洋板块向大陆一侧俯冲潜没,摩擦生热,导致地幔物质自俯冲带向上浮起,地幔热底辟的膨胀和上浮力克服了板块俯冲边界的压应力,从而导致弧后地区的拉张作用,形成弧后盆地^[14]。

3.2.1 海沟

琉球海沟位于菲律宾海北缘,沿琉球岛弧走向平行延伸,东西横跨 10 个经度(122°~132°E)。根据水深地形可以将该海沟分为 3 个区域:128.5°E 以东区域,该区域冲大东海岭、大东海岭、奄美海台呈 NW—SE 向延伸至海沟底部,海沟水深 5 000~6 000 m,出现海岭、高地、凹地等相间的起伏形态,整体地形由南向北逐渐变浅,至奄美海台处海沟消失不见。中部 126°~128.5°E 区域,该区域海沟呈

NE—SW 向延伸,沟底水深大于 7 000 m 且地形较为平坦,海沟两侧呈不对称的 V 字型,海沟陆坡坡度较陡,出现多级阶地并被数条海底峡谷切割,海沟洋坡坡度较缓,见很多孤立海山林立其上。126°E 以西区域处的海沟呈东西方向延伸,海沟水深主要分布于 5 500~6 500 m,沟底见数座大型海山;与中部区域相比,沟底宽度扩张近一倍,陆坡坡度也相对较缓,阶地地貌发育不明显。

伊豆-小笠原海沟位于菲律宾海西北,南北方向跨 9 个纬度(26.5°~35.5°N)。沟底水深大都在 9 000 m 以下,最深处达到 9 810 m^[15],位于伊豆-小笠原群岛东侧。海沟两侧斜坡呈不规则的 V 字型,海沟岛侧斜坡有阶地发育,并分布数量众多的海山、海丘,海沟洋侧斜坡发育很多与海沟延伸方向平行的断层凹陷。它们是随着俯冲板块向下方弯曲发生在岩板上方附近的引张力的表现形式^[16]。海沟北侧沟底较为平坦、宽阔,最宽处超过 20 km;海沟南侧沟底相对狭窄,沟底凹陷、海岭、海山众多。

马里亚纳海沟位于菲律宾海东南缘,北端开始于小笠原海台,南端延伸至西马里亚纳岛弧西南坡脚,呈扇形分布。它的北部由于海洋性的玄武岩壳体侵入分隔为硫黄海沟和马里亚纳海沟两段。硫黄海沟位于北部,中间被海山分成数段,呈链状相接,一般水深 6 000~7 000 m,中北部水深超过 8 000 m。硫黄海沟南侧为马里亚纳海沟,是全球最深的海沟,海沟最大观测深度 11 034 m^[3]。海沟横断面呈经典 V 字型,北部海沟坡度较小,西侧岛坡呈阶地状延伸至海沟底部,东侧洋坡上发育有很多断层凹陷。随着海沟向南推移,其两侧坡度逐渐变大,岛坡阶地地貌逐渐消失,取而代之的是坡度超过 10°的陡崖;洋坡上断裂地貌发育更为密集。

雅浦海沟和帛琉海沟位于菲律宾海南缘,呈 NNE—SSW 向延伸。雅浦海沟位于东侧,水深大于 7 000 m,局部水深超过 8 000 m。海沟横断面呈对称的 V 字型,仅在海沟北侧西坡出现阶地地貌,海沟南侧坡度较陡(超过 20°),坡面几乎没有被切割。帛琉海沟位于西侧,水深主要分布于 6 000~7 000 m,仅在北部很小区域水深大于 8 000 m,海沟两侧坡度较小,有明显的阶地地貌。

菲律宾海沟位于菲律宾海西南缘,呈 NNE—SSE 向延伸。海沟窄而深,中部(6°~11°N)水深超过 9 000 m,向南北方向逐渐变浅至 6 000~7 000 m。海沟陆坡坡度较陡,呈阶地状下降,洋坡坡度较缓。海沟底部海山、海丘普遍发育。

3.2.2 岛弧

残留弧性质的九州-帛琉海岭位于菲律宾海中央,整体呈一翻转的 S 型南北延伸。海岭总长约 2 900 km,最宽处位于海岭中部,约 90 km。海岭两侧有明显的不对称性,西坡较为平缓,海岭缓慢地插入到西菲律宾海盆中,东坡陡峭,坡脚凹地普遍发育。海岭北部(18°N 以北)为一连续海脊,海脊西侧有众多线状的小型海脊与之相接,并发育有众多高差超过 3 000 m 的海山。海岭中部(10°~18°N)由一系列不连续的链状海岭组成,该区域内地形复杂,海岭、凹陷相间排布。在海岭南部(10°N 以南区域)由于帛琉海沟的俯冲,海岭地形整体呈上升趋势,并在 7.5°N 左右出露于水面形成帛琉群岛。

伊豆-小笠原-硫黄岛弧位于菲律宾海东缘,北部延伸至日本本州岛,南部与西马利亚纳岛弧相接。该海岭宽度近 400 km,顶部水深较浅,北部分布有伊豆诸岛,向南有小笠原群岛和硫黄列岛出露洋面。岛弧北段(小笠原海槽以北)西侧岛坡坡度较缓,有数条 NEE—SWW 向的小型链状海岭;中部地形起伏多变,海岭、凹陷相间分布;东部岛坡从岛弧顶部至海沟坡折处呈缓慢下降形态,并有弧前盆地发育,从海沟坡折处地形呈阶梯式急剧下降并插入沟底。岛弧南段又一分为二形成两列岛弧,中间夹有小笠原海槽;西侧构造作用显著,形成海岭、海槽相间地形;东侧地形陡峭,呈阶地状插入深海沟中。

马利亚纳岛弧和西马利亚纳岛弧位于菲律宾海东南缘,两列弧南北两端相交,中段夹有宽约 200 km 的马利亚纳海槽,整体呈月牙型弯曲,有一系列岛屿出露水面。相比而言,东侧靠近海沟的马利亚纳岛弧上海岭更高,岛弧西侧岛坡上有一系列海山呈链状分布;岛弧东坡弧前盆地广泛发育,整体呈台阶状插入海沟沟底,越靠近海沟处坡度越陡。西马利亚纳岛弧西坡缓慢插入到帕里西维拉海盆,坡上发育有众多小型线状海岭(北侧呈 NE—SW 向,南侧转为 NW—SE 向)和众多的海山;岛弧东坡相对坡度较大,坡脚凹地普遍发育。

3.2.3 弧后盆地

四国海盆和帕里西维拉海盆是菲律宾海区域两大弧后海盆,它们位于九州-帛琉海岭以东,伊豆-小笠原-硫黄-西马利亚纳岛弧以西的广阔海域,两者以索夫干断裂为界^[17],北侧为四国海盆,南侧为帕里西维拉海盆。

四国海盆呈 NNW—SSE 走向,北宽南窄,相差近 200 km;内部水深平均为 4 000~5 500 m,由北向南、自东向西逐渐加深。盆地西侧地形较为平坦,东部地形不规则,有众多小规模 NNW—SSE 向

的海岭、海槽,小型地垒、地堑地形广泛发育,数座高差超过 2 000 m 的海山也零散地分布于海盆东部区域;在海盆最东侧靠近岛弧处地形趋于平坦,缓慢上升。

帕里西维拉海盆位于索夫干断裂以南,呈南北走向,盆地水深 4 500~5 500 m。盆地中央有一条最大水深超过 7 000 m 的裂谷,该裂谷由一系列不连续的深海槽组成,整体呈南北走向,每段海槽似发生顺时针的倾斜呈 NNE—SSW 向延伸。裂谷东侧地形较为平坦,呈缓慢上升趋势;西侧地形起伏多变,海岭、海槽相间分布,丘陵、凹陷广泛发育;在其最西侧九州-帛琉海岭坡脚处多为凹陷地形。

4 结果与讨论

(1) 菲律宾海地处太平洋板块、欧亚板块以及南侧加罗林板块汇聚地带,位于两大俯冲带之间,其区域地貌的分布格局主要受板块构造运动及其产生的构造应力场和区域地质构造控制,故对此区域构造地貌的分类需要以板块构造为基础分级进行。首先根据其所处的板块环境将该区域分为洋壳地貌和过渡壳地貌两种一级构造单元;之后根据区域构造的性质、形态特征及水深变化,将不同海域划分为深海平原、海沟、岛弧、弧后盆地等二级构造单元;之后根据内、外营力作用的控制及精细的水深变化特点进行三级地貌的划分;而四级地貌单元比较独立,成因要素单一,会同时出现于上述单元中^[12]。

(2) 菲律宾海不同地貌单元的形成、分布,受板块运动的控制。在距今约 45 Ma,太平洋板块运动方向由 NNW 转为 NWW,对菲律宾海的构造演化发生了至关重要的影响,使菲律宾海一分为二,发育了两组走向截然不同的构造线。以中间的九州-帛琉海岭为界,西侧菲律宾海盆因近南北向的海底扩张,形成了一系列近 NW—SE 走向的构造单元。而海岭东侧受太平洋板块 NWW 方向俯冲影响,九州-帛琉海岭和西马利亚纳弧先后开裂,形成一系列近南北走向的构造单元。

(3) 西菲律宾海是经过多次旋转、扩张形成的,在其演化过程中形成的不同地貌单元是其复杂发育史的良好证据。在大多数张型海脊形成时期断裂带的走向平行于扩张方向,深海山一般则垂直于扩张方向^[2]。中央裂谷带是西菲律宾海盆的扩张中心,经过后期无岩浆扩张形成了现今的 V 字型裂谷,裂谷两侧与之平行的海岭和垂直的断裂带则指示了其扩张的方向。而主海盆南半部分出现的不断转向的

线状海岭,则为西菲律宾海的扩张方向的转变提供了有力证据。在西菲律宾海盆北部的大东海岭、冲大东海岭、奄美海台,它们的走向与中央裂谷带近乎平行,它们三者顶部水深相近,之间海山密布,似岩石破碎的壳体;考虑它们之前可能同为一体,在西菲律宾海形成过程中断裂开来,并随着海底的扩张而向北推移。通过 DSDP 钻探的结果显示,大东海岭和冲大东海岭的地层和沉积有一定相似性^[18],拖捞于大东区的岩石和年代测定在年代和岩性上很相似于在哈马黑拉-哇格乌区所见到的^[19]。这更加有利于这种猜测。

(4)由于太平洋板块 NWW 向的俯冲,在板块碰撞前沿,形成了一系列的深海沟,同时由于应力的消减,其外缘(东缘)的深海沟明显比内侧(北缘)的深海沟规模大、水深大。林长松通过对该地区双俯冲带板块应力场和构造运动的研究,认为菲律宾海东侧一系列岛弧的形成及东南部月牙型地貌形态是受板块碰撞的影响^[20]。在他的研究基础上进一步分析可以看出,菲律宾海内部地貌的形成也深受板块运动的影响。沿太平洋板块的运动方向来看,帕里西维拉海盆内部,由于存在非常强烈的近东西向的张应变^[21],造成了中部海槽的不连续及雁形地貌发育。海盆后面的九州-帛琉海岭也在太平洋板块运动方向上发生两次大规模的转向,且发生破碎现象。在其之后的琉球岛弧处,中段岛弧与运动方向垂直,而俯冲形成的琉球海沟在中段处的水深也明显超过东西两侧。作为应力汇聚地的西菲律宾海西北次盆地,其构造作用复杂,但明显可以看出其内部 NE—SW 向构造带的形成也深受太平洋板块俯冲的影响。

(5)每种特殊地貌形态的存在都与其形成过程中构造运动的特殊性有关。以四国海盆为例,通过对磁异常条带的分析表明,盆地西侧的扩张速率明显大于东侧;盆地北部早裂开,并较早停止活动,而盆地南部张开较晚,且较早结束活动^[21]。对应四国海盆地貌来看,盆地地形自东向西逐渐变深,东部地形复杂,西部较为平坦;盆地北部较宽,南部较窄。这恰好与该区域的发育史相印证。

同样为残留弧性质的九州-帛琉海岭和西马里亚纳弧在地形特征上有一定的相似性。在背离洋一侧,岛弧坡度较缓,很多孤立的海山也大多分布于此;在向洋侧坡度较陡,且在坡脚处多为凹陷地形。造成这种地貌分布原因是在岛弧形成初期火山活动强烈,向其两侧供应大量的火山碎屑物,使之沉积较厚的底层。随着岛弧开裂,在其不断发育的历史中,

残留弧性质的海脊火山活动相对较弱,因此向其两侧供应的火山碎屑物也较少;而新生的岛弧两侧火山活动剧烈,向两侧供应了大量的火山碎屑沉积物,形成了较厚的底层,地形就显得相对平坦^[22]。这就造成了岛弧两侧地形形态的巨大差异。

5 结论

(1)菲律宾海形成演化主要受板块构造运动控制,据此以板块构造为基础,通过详细的水深数据分析对该区域构造地貌特征逐级划分,共分为四级构造地貌单元;对每一个地貌单元的形态、水深、延伸方向、地势特征等进行描述,为今后该区域的研究奠定基础。

(2)不同构造单元的形成受板块运动的控制。西菲律宾海盆近 NW—SE 向的构造单元及四国海盆、帕里西维拉海盆近南北向的构造单元都是板块运动的结果。

(3)不同形态特征是菲律宾海复杂发育过程的良好证据。西菲律宾海中央裂谷带的 V 字型裂谷、线状海岭、海山都是其扩张发育的证据,而不断转向的海山则指示了其扩张过程中的不断改向。而通过四国海盆、帕里西维拉海盆的研究可以发现,特殊的地貌形态都能与区域发育史相印证。

总体而言,菲律宾海盆不同地貌单元的形成、分布,受板块运动的控制;其不同的形态特征能良好反映构造运动的变化。

参考文献 (References)

- [1] 秦蕴珊,尹宏. 西太平洋——我国深海科学研究的优先战略选区[J]. 地球科学进展, 2011, 26(3): 245-248. [QIN Yunshan, YIN Hong. Western Pacific: The strategic priority in China deep-sea research[J]. Advances in Earth Science, 2011, 26(3): 245-248.]
- [2] Andrews J E. Morphologic evidence for reorientation of sea-floor spreading in the West Philippine Basin[J]. Geology, 1980, 8(3): 140-143.
- [3] 林美华,李乃胜. 菲律宾海周边的深海沟地貌[J]. 海洋科学, 1998, 6: 29-31. [LIN Meihua, LI Naisheng. The surrounding trench geomorphology of Philippine Sea[J]. Marine Sciences, 1998, 6: 29-31.]
- [4] 林美华,李乃胜. 西菲律宾海中央断裂带地貌学研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1999, 19(1): 39-44. [LIN Meihua, LI Naisheng. Geomorphic study of the central rift zone in the West Philippine Sea[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1999, 19(1): 39-44.]
- [5] 傅命佐,刘乐军,等. 琉球“沟-弧-盆系”构造地貌:地质地球物

- 理探测与制图[J]. 科学通报, 2004, 49(14): 1447-1460. [FU Mingzuo, LIU Lejun, et al. The tectonic geomorphology of the Ryukyu trench-arc-basin: Geological and geophysical exploration and cartography[J]. Science Bulletin, 2004, 49(14): 1447-1460.]
- [6] 李常珍, 李乃胜, 等. 菲律宾海的地势特征[J]. 海洋科学, 2000, 24(6): 47-51. [LI Changzhen, LI Naisheng, et al. Terrain features of the Philippine Sea[J]. Marine Sciences, 2000, 24(6): 47-51.]
- [7] Deschamps A, Lallemand S. The West Philippine Basin: An Eocene to early Oligocene back arc basin opened between two opposed subduction zones [J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2002, 107(B12): 1-23.
- [8] 倪祥龙. 西菲律宾海盆西北部重磁资料处理及其地质意义[D]. 中国科学院研究生院(海洋研究所). 2007. [NI Xianglong. Geological Significance and Processing of Gravity and Magnetic Data in the Northwest of the West Philippine Basin [D]. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences. 2007.]
- [9] Deschamps A, Lallemand S, Dominguez S. The last spreading episode of the West Philippine Basin revisited[J]. Geophysical Research Letters, 1999, 26(14): 2073-2076.
- [10] 臧绍先, 宁杰远. 西太平洋俯冲带的研究及其动力学意义[J]. 地球物理学报, 1996, 39(2): 188-202. [ZANG Shaoxian, NING Jieyuan. Study on the subduction zone in Western Pacific and its implication for the geodynamics[J]. Acta Geophysica Sinica, 1996, 39(2): 188-202.]
- [11] 金性春. 大洋钻探与西太平洋构造[J]. 地球科学进展, 1995, 10(3): 234-239. [JIN Xingchun. Ocean drilling program and tectonics of the western pacific region[J]. Advance in Earth Sciences, 1995, 10(3): 234-239.]
- [12] 刘忠臣, 刘保华, 等. 中国近海及邻近海域地形地貌[M]. 北京: 海洋出版社, 2005. [LIU Zhongchen, LIU Baohua, et al. The Topography and Geomorphology of Chinese Coastal and Adjacent Sea[M]. Beijing: Ocean Press, 2005.]
- [13] Mrozowski C L, Lewis S D, Hayes D E. Complexities in the tectonic evolution of the West Philippine Basin[J]. Tectonophysics, 1982, 82: 1-24.
- [14] 张祖陆. 地质与地貌学[M]. 北京: 科学出版社, 2012. [ZHANG Zulu. Geology and Geomorphology[M]. Beijing: Science Press, 2012.]
- [15] 吴时国, 喻普之. 海底构造学导论[M]. 北京: 科学出版社, 2006. [WU Shiguo, YU Puzhi. Introduction of the Submarine Tectonics[M]. Beijing: Science Press, 2006.]
- [16] 上田诚也, 玉木贤策, 久城育夫, 等. 菲律宾海东缘构造[J]. 海洋地质译丛, 1984, 3: 16-24. [Uyeda Seiya, Tamaki Kensaku, Kushiro Ikuo, et al. Tectonic of the eastern of the Philippine Sea[J]. Marine Geology Renditions. 1984, 3: 16-24.]
- [17] 吴时国, 范建柯. 论菲律宾海板块大地构造分区[J]. 地质科学, 2013, 48(3): 677-692. [WU Shiguo, FAN Jianke. Discussion on the tectonic division of the Philippine Sea Plate[J]. Chinese Journal of Geology, 2013, 48(3): 677-692.]
- [18] 陶国保. 菲律宾海板块构造研究述评[J]. 海洋地质译丛, 1987, 1: 1-22. [TAO Guobao. Reviews of the Philippine Sea plate tectonic studies[J]. Marine Geology Renditions, 1987, 1: 1-22.]
- [19] Hall R, Ali J R, et al. Origin and motion history of the Philippine Sea Plate[J]. Tectonophysics, 1995, 251: 229-250.
- [20] 林长松. 双俯冲带的板块应力场和构造运动-浅论大马里亚纳沟-弧系的形成及其演化[J]. 海洋通报, 1987, 6(4): 80-88. [LIN Changsong. Plate stress field and tectonic movement of the double subduction zones: Discussion on formation and evolution of big Marianas trench-arc system[J]. Marine Science Bulletin, 1987, 6(4): 80-88.]
- [21] 李延兴, 张静华, 等. 菲律宾海板块的整体旋转线性应变模型与板内形变-应变场[J]. 地球物理学报, 2006, 49(5): 1339-1346. [LI Yanxing, ZHANG Jinghua, et al. Integral-rotation linear strain model and intraplate deformation-strain field of the Philippine Sea Plate[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2006, 49(5): 1339-1346.]
- [22] 许淑梅, 张晓东, 等. 四国海盆起源与沉积环境演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2004, 24(2): 119-123. [XU Shumei, ZHANG Xiaodong, et al. The origin and sedimentary environment evolution of the Shikoku basin[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2004, 24(2): 119-123.]

THE TECTONIC GEOMORPHOLOGY OF THE PHILIPPINE SEA

ZHANG Bin^{1,2}, LI Guangxue^{1,2}, HUANG Jifeng^{1,2}

(1. College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;

2. Key Lab of Submarine Sciences and Exploration Technology, Education Ministry of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: The Philippine Sea is located at the West Pacific, between two large subduction zones. The sea is surrounded by a deep trench, in which there is little terrigenous import, so the original landscape features are well preserved. According to the exact water depth data, combined with the existing research results, and under the regime of the plate tectonics, this area is divided into four tectonic units, and the main tectonic geomorphology system is studied. The results show that the shape and distribution of topography in the Philippine Sea are controlled by tectonic activity. The west Philippine Sea Basin is characterised by a series of large tectonic geomorphology of NW—SE directions, due to the seafloor spreading of the central rift zone; the east Philippine Sea Basin characterized by a N—S trench-arc-basin system because of the subduction of the Pacific plate. There are some linear ridges and seamounts around the central rift zone, continuous steering ridges in the basin, and echelon rift valleys in the Parece Vela basin. Such a pattern of geomorphology is all related to its special process of formation, corresponding to the complex evolutionary history.

Key words: tectonic movement; geomorphology; geomorphology classification; the Philippine Sea