

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2017.01.003

西太平洋雅浦俯冲带的地貌及地层结构特征

董冬冬^{1,2}, 张广旭^{1,3}, 钱进^{1,3}, 范建柯^{1,2}, 张正一^{1,4}, 张国良^{1,2}

(1. 中国科学院海洋地质与环境重点实验室, 中国科学院海洋研究所, 青岛 266071;

2. 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋地质过程与环境功能实验室, 青岛 266061;

3. 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋矿床资源评价功能实验室, 青岛 266061; 4. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:2015 年中科院海洋所在西太平洋雅浦海域首次开展了综合地球物理调查,并同步采集了重磁震及多波束、浅地层剖面等数据,主要利用采集的多道地震剖面及多波束数据研究了雅浦俯冲带主要构造单元的地貌及沉积地层结构特征,并进一步探讨了加罗林洋脊俯冲作用下的构造特征。研究表明弧后的帕里西维拉盆地为区域沉积中心,最厚处可能发育近千米沉积层,而雅浦海沟内未发育明显水平沉积,以俯冲侵蚀作用为主;加罗林俯冲板片之上的加罗林洋脊因其特殊的地形地貌改造了俯冲带的构造发育特征,可能造成了岛弧岩浆作用的南、北部差异;揭示了雅浦海沟北段的地貌及地质结构细节特征,认为加罗林洋脊的高地形可能导致了海沟附近的俯冲板片更大的挠曲拉张量,从而形成垒塹构造带;为索罗尔海槽的盆地张裂结构提供了多道地震剖面证据,并推测了海槽的形成年代。

关键词:雅浦海沟;加罗林海;索罗尔海槽;多道地震;多波束

中图分类号:P736.12

文献标识码:A

文章编号:0256-1492(2017)01-0023-07

雅浦俯冲带位于马里亚纳俯冲带南部,二者在 11°N 附近相连。加罗林板块沿雅浦海沟向西俯冲至菲律宾海板块之下。与马里亚纳俯冲带相比,雅浦俯冲带存在很多特殊构造现象,如沟弧距离很近、震源深度很浅(小于 40 km)以及存在洋脊俯冲等^[1],并被认为是全球为数不多的年轻俯冲带^[2]或典型的不成熟俯冲带^[3],因此对该俯冲带的地质、地貌和构造特征的研究对丰富俯冲带的理论具有重要的科学意义。20 世纪 70 年代美国海军对西加罗林海盆开展了电火花震源勘探^[4],20 世纪 80 年代日本对雅浦海沟海域开展了重磁震、热流、单道和 12 道地震勘探调查^[5],我国的“向阳红 10 号”调查船也在 20 世纪 80 年代由上海至加罗林群岛开展了两次重力剖面测量^[6]。然而,前人对雅浦俯冲带的地质与地球物理调查采集的数据较为分散并且精度不高,特别是缺乏较高分辨率的多道地震剖面,总体的地球物理研究程度相对较低,使得我们对雅浦俯冲带这一年轻俯冲带的地质构造不甚了解。

2015 年 1 月至 3 月,在中科院战略性先导科技专项的资助下,“科学”号科考船在雅浦海沟海域开展了综合地球物理调查,同步采集了多道地震、热流、重磁、多波束和浅地层剖面等多种地球物理数据。这些资料是我国首次在该区同步测量获得的综合地球物理资料,可以为雅浦俯冲带及其周边构造单元的地质及地球物理研究提供重要的基础数据。本文主要基于本次调查获取的多波束和多道地震数据,并结合全球地形及水深数据,对雅浦俯冲带主要构造单元的地貌及沉积地层结构开展了研究,并由此探讨了洋脊俯冲影响下的特殊构造特征。

1 构造背景

雅浦海沟位于西太平洋菲律宾海板块的东南边界,是菲律宾海板块、太平洋板块和加罗林板块之间交汇的一个复杂构造区(图 1),海沟的西部为菲律宾海板块,东部为加罗林板块。雅浦海沟最北部与马里亚纳海沟的西南端在 11°10'N、139°00'E 相交,为 NNE 向,向南延伸至 7°15'N 转为 NWW 向,与帕劳海沟在 7°30'N 处相交,雅浦海沟整体形态呈“J”字型,全长超过 700 km(图 1),海沟轴凸向东南。加罗林洋脊是加罗林板块之上最突出的地貌单元,走向为 SEE—NWW,东西长约 500 km,南北宽约 300 km,平均地形比周边海域高约 2 km。加罗林洋

基金项目:中国科学院战略性先导科技专项(A类)资助(XDA11030102);中国科学院“海山成因、演化与深部物质循环”科技创新与交叉团队项目;全球变化与海气相互作用专项(GASI-GEOGE-02);国家自然科学基金项目(41506059,41476046)

作者简介:董冬冬(1982—),男,博士,副研究员,主要从事海洋地球物理研究,E-mail: dongdongdong@qdio.ac.cn

收稿日期:2016-09-20; **改回日期:**2016-11-21. 周立君编辑

脊沿雅浦海沟向 NW 俯冲至菲律宾海板块之下,与海沟近乎垂直。索罗尔海槽是发育在加罗林洋脊上的裂谷,将加罗林洋脊分为北部的加罗林岛脊和南部的西加罗林隆起^[2]。雅浦岛位于索罗尔海槽向 NW 延伸的岛弧位置。

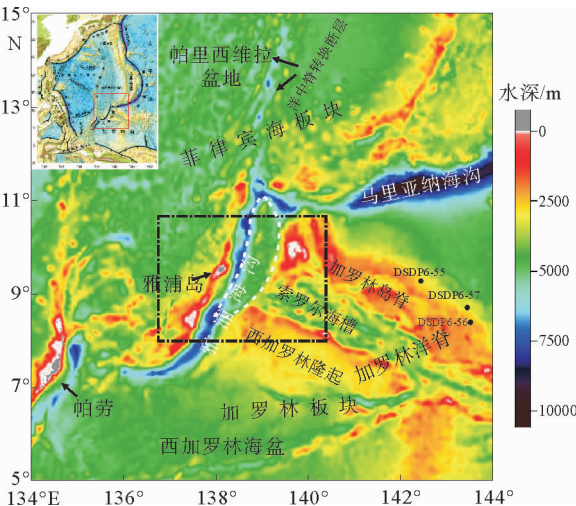


图 1 雅浦俯冲带的地形图
点划线黑框为图 2 的区域,白色虚线区域为垒堑构造带。
DSDP6-55,56 和 57 分别为 DSDP 6 航次的 55、56 和 57 站位
Fig. 1 Topographic map of the Yap subduction zone
The black box outlined by dot dashed line represents the area of Fig. 2 and the area outlined by white dashed line represents the structural belt of horst and graben. DSDP6-55,56 and 57 represent the site 55,56 and 57, Leg6 of DSDP

太平洋板块向菲律宾海板块的俯冲始于中始新世^[7],俯冲作用形成的四国-帕里西维拉弧后盆地在约 30 Ma 开始张开。在早中新世^[8]或晚渐新世^[9],加罗林洋脊开始沿雅浦海沟向菲律宾海板块下俯冲,可能导致帕里西维拉盆地最南端的中央裂谷以东部分沿裂谷向西俯冲消亡,使得关岛以南的海沟在 7 Ma 左右到达帕里西维拉中央裂谷位置^[9],同时帕里西维拉盆地的扩张方向在 19 Ma 发生了转向,从 E—W 向转为 NE—SW 向。加罗林洋脊是由晚渐新世的热点火山作用形成的,而索罗尔海槽被认为是在 10~15 Ma 形成的裂谷^[2]。

2 数据

本航次利用 ELAC Nautik 公司的 SB3012 型深水多波束系统开展走航式地貌调查,频率为 12 kHz,波束可达 918 束,开角为 140°。本次研究将调查获取的多波束数据和美国地球物理数据中心的 ETOPO1 地形数据进行整合,其中,ETOPO1 数据网格为 1 弧分^[10],在本研究区内的网格大小约为 1 820 m;而多波束数据的网格大小为 200 m,精度较高。

本次采用多道数字地震电缆的工作段长度为 1 500 m,震源为 4 支气枪组成的枪阵,容量分别为 520、380、250 和 150 in³,最大和最小炮检距分别为 1 722 和 234.5 m,其他记录参数如表 1 所示。结合本区地震地质条件,本次处理采用特色 2DPSTM 处理流程。针对深水资料特点,利用专业地震处理软件,部分应用自编软件模块,重点从振幅补偿、叠前保幅综合去噪、组合反褶积、多次波衰减、精细偏移速度场建立和二维叠前时间偏移成像等方面,优选处理模块和参数建立了一套适用本海区的地震处理流程,完成了所有地震资料精细处理。地震主测线横跨雅浦俯冲带的沟-弧-盆各构造单元,在雅浦岛的南北两侧各布设一条测线,同时横跨索罗尔海槽布设一条测线,测线名称分别为 YP15-1、YP15-2 和 YP15-3,具体位置见图 2。

3 海底地貌特征

地震测线 YP15-1 和 YP15-2 分别位于雅浦岛南北两侧,距岛的垂直距离分别为 28 和 25 km(图 2)。多道地震数据采集过程中同步进行多波束水深测量,因此大部分多波束数据的覆盖区域与地震测线重合,并呈条带状展布,宽约 20 km。多波束所揭示的精细海底地貌区主要位于帕里西维拉盆地、雅浦岛弧和索罗尔海槽。帕里西维拉盆地以洋中脊为界分为东西两部分,本次调查区域位于雅浦海沟海域,因此只穿过帕里西维拉盆地的西部海盆。

表 1 多道地震采集参数
Table 1 Parameters of the multichannel seismic acquisition

气枪总容积 /in ³	震源工作压力 /psi	道间距 /m	接收电缆道数	放炮间距 /m	记录长度 /s
1 300	2 000	12.5	120	50	12

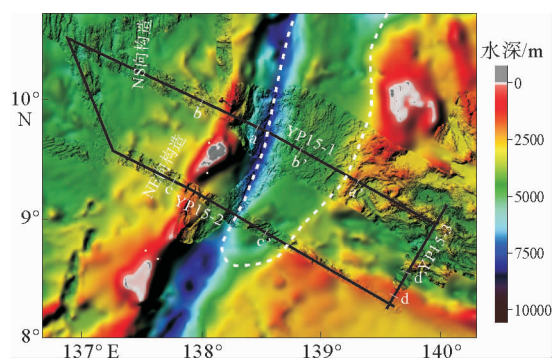


图 2 雅浦海域的地形阴影图

黑色实线为多道地震测线位置,白色虚线区域为垒壑构造带。
地震测线区域为多波束水深数据,其他区域为 ETOPO1 水深数据。
aa'、bb'、cc'和 dd'分别为图 3、4a、4b 和图 5 的剖面段位置

Fig. 2 The topographic shadow map of Yap sea

The solid line represent the location of multichannel seismic profiles, the area outlined by white dashed line represents the structural belt of horst and graben. The bathymetry data in seismic survey area are got from multi-beam, and that in other area comes from ETOPO1. aa', bb', cc' and dd' represent the locations of seismic lines in Fig3, 4a, 4b and 5

YP15-1 测线的西北端位于帕里西维拉盆地内部,平均水深为 5 000 m,多发育 N—S 向构造,海盆因此呈现为多条基底隆起带和线性盆地交互发育的地貌形态(图 2)。南部的 YP15-2 测线仅穿过帕里西维拉盆地的东南边缘,位于雅浦岛西北 70 km 以内的弧后区域,地形相对海盆内部高 1 500 m 左右。与帕里西维拉盆地内部的 N—S 向构造不同,雅浦俯冲带弧后的海盆区多发育 N30°E 向构造,与雅浦

岛弧走向一致,显示帕里西维拉盆地的扩张经历过不同的阶段,发育不同的构造地貌。根据帕里西维拉盆地的扩张史来分析,N—S 向构造带对应海盆早期的 E—W 向扩张阶段,时间大约在 28~20 Ma 之间^[11, 12];自 19~20 Ma 开始,海盆的扩张方向发生逆时针旋转^[11],在洋中脊处发育了大型的 NE 向走滑断层^[13],现今帕里西维拉盆地洋中脊附近的 NE 向构造带即为后期扩张阶段形成的构造地貌(图 1),而雅浦岛弧后区域发育的 NE 向构造带可能是这一构造带的延伸。北部测线 YP15-1 穿过的弧前区域平均水深为 6 000 m,而南部测线 YP15-2 为 4 000 m,同时,在多波束反映的精细地貌上可以看出南北部的弧后区域也存在明显的地形差,南部比北部地形明显偏高(图 2)。因此,雅浦岛南部的弧前和弧后区域相比北部都发生了明显的抬升,可能与俯冲板块的地形相关。

本调查区的加罗林俯冲板块上主要的构造单元是加罗林洋脊,洋脊上部发育裂开的索罗尔海槽,俯冲板块上最明显的地貌特征为海沟向海一侧发育的新月形垒壑构造带(图 1、2)。ETOPO1 数据的分辨率不足以识别新月形垒壑构造带内的精细地貌,但是本次调查获得的多波束数据可以揭示更多的构造地貌细节。精细地貌研究发现,构造带内密集发育了一系列断裂带,断裂之间的间距约为 2 km,最近的仅 1 km 左右。多道地震剖面揭示的垒壑构造特征和多波束数据具有很好的一致性(图 3)。垒壑构造带内部断裂的走向在北部与海沟近似平行,在南

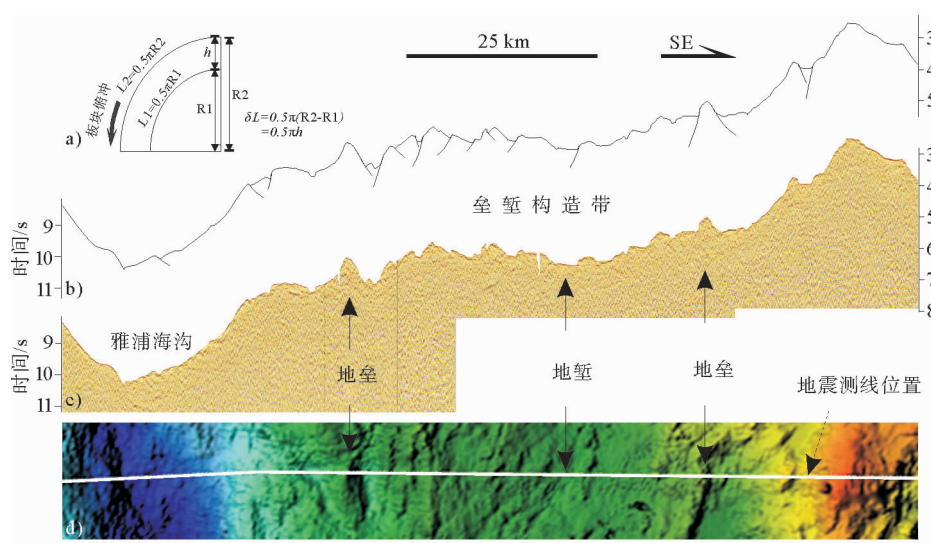


图 3 垒壑构造带的地震剖面及多波束地形图(剖面位置见图 2 的 aa')

(a)俯冲板片的拉张示意图;(b)地震剖面解释;(c)地震剖面;(d)多波束地形图

Fig. 3 Seismic profiles and multi-beam topographic map of the structural belt of horst and graben

(See Fig. 2 for the location.) (a)Schematic diagram of subduction plate tension;

(b)Interpretation of Seismic profile; (c)Seismic profile; (d)Multi-beam topographic map

部与海沟呈 45° 。北部坳堑构造带宽度为 90 km,由索罗尔海槽的断块体构成,南部宽度为 60 km,主要由索罗尔海槽的南部裂谷肩受断裂错断而形成。索罗尔海槽内发育了大量海底火山,使得海槽的海底地貌非常崎岖,显示出裂谷作用期间强烈的岩浆作用。

4 沉积地层结构

本次调查所获得的多道地震剖面为揭示研究区的沉积分布及地层结构特征提供了重要的资料。地震测线 YP15-1 走向为 $N85^\circ W$,图 4a 剖面段揭示的雅浦海沟轴的水深为 7 528 m,两侧的斜坡呈现不对称的 V 字型,向弧一侧较陡,向洋一侧相对较缓,剖面段的位置见图 2。雅浦岛弧的横截面表现为典型的锥形构造,弧顶最高点的水深为 1 300 m,距离海沟轴部的水平距离为 36 km。在水深 5 300 m 和 6 050 m 处各发育一个坡折点,大致将海沟向弧斜坡分为上中下三部分,坡度分别为 19° 、 4° 和 13° 。

地震测线 YP15-2 走向与 YP15-1 基本平行(图 2)。雅浦海沟在该剖面上的形态呈现基本对称的 V 字型,海沟轴部的水深为 6 650 m,比 YP15-1 剖面的海沟轴高约 900 m。岛弧的发育形态不同于北部的锥形构造,其横截面近似为梯形。平面和剖面图均显示岛弧顶部发育 4 个平行排列的火山脊(图 2,图 4b),将弧顶分割成 3 个盆地,盆地内发育近 300 m 的沉积充填(图 4b)。与 YP15-1 测线类似,YP15-2 测线的海沟向弧斜坡同样存在两个坡折点,但是水深相对小得多,分别在 3 540 和 4 240 m 水深处,斜坡的上中下三段坡度分别为 15° 、 3° 和 20° ,这反映了雅浦岛南部的海沟向弧斜坡与北侧的地形

相比明显被抬升。

DSDP 6 航次的 55、56 和 57 站位位于研究区内的加罗林洋脊之上(图 1),其中 57 站位钻遇了 330 m 厚的沉积物,其下为玄武岩^[14],56 站位钻遇了 270 m 厚的沉积物,其下为坚硬的岩石,沉积物的平均声波速度为 1.61 km/s ^[15],本研究用该速度对地震剖面揭示的浅部地层进行时深转换。从地震剖面揭示的沉积结构来看,帕里西维拉盆地被基底隆起所分割的凹陷多为东断西超的半地堑,发育了全区最厚的地层。YP15-1 测线揭示的弧后半地堑地层厚度超过 1.2 s,近 1 000 m 厚。DSDP 生物地层学研究揭示加罗林洋脊第四纪的沉积速率为 $8 \sim 25 \text{ m/Ma}$ ^[16],日本的地震调查显示西加罗林海盆发育有约 400 m 厚的沉积物^[17],本次调查的地震剖面也在索罗尔海槽揭示有 100 多米厚的沉积物(图 4),然而,雅浦海沟的地震剖面表明海沟轴部附近呈强烈的 V 字形,未发现明显的水平沉积物层(图 4),且研究区揭示的海域都存在这种地形,说明海沟处未发育典型的增生楔,海沟很可能现今仍然在活动,并且海沟内部以俯冲侵蚀为主。日本的深潜结果发现,雅浦海沟向弧斜坡上通常被碎屑流沉积覆盖,说明海底滑坡仍在发生^[1],但本研究的地震剖面并未在向弧斜坡上识别出明显的沉积层,可能是因为本区发育的碎屑流沉积层只有 10 m 左右,薄层无法被多道地震所识别。

YP15-2 测线在索罗尔海槽的南部裂谷肩上可清晰识别出沉积层(图 4b),YP15-3 测线横穿索罗尔海槽,对沉积层的揭示更加清晰。图 5 显示的是 YP15-3 测线南端 23 km 的地震剖面,经过裂谷肩和海槽南部。裂谷肩上可识别出超过 1 s 的沉积地层,厚度超过 800 m,但基底无法清晰识别,因此沉

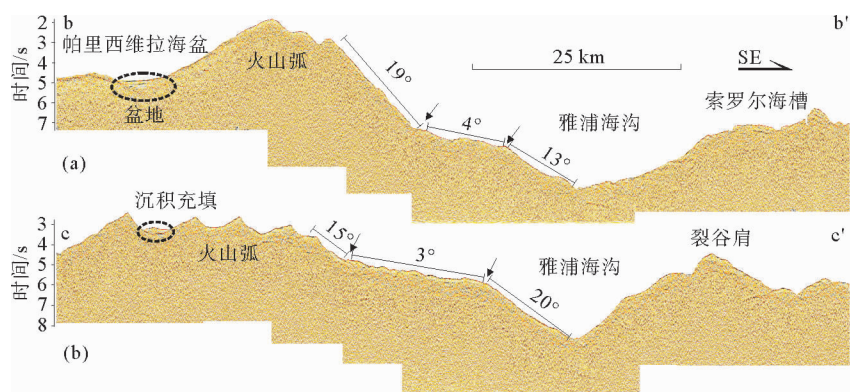


图 4 穿过雅浦海沟的地震剖面

(a) 图为 YP15-1 剖面段, (b) 图为 YP15-2 剖面段, 剖面段位置见图 2。箭头所示为坡折点的位置

Fig. 4 Seismic profiles across the Yap trench

(a) Profile Yp15-1, (b) Profile Yp15-2. See Fig. 2 for the location of the seismic profiles. The arrows indicate the slope-break points

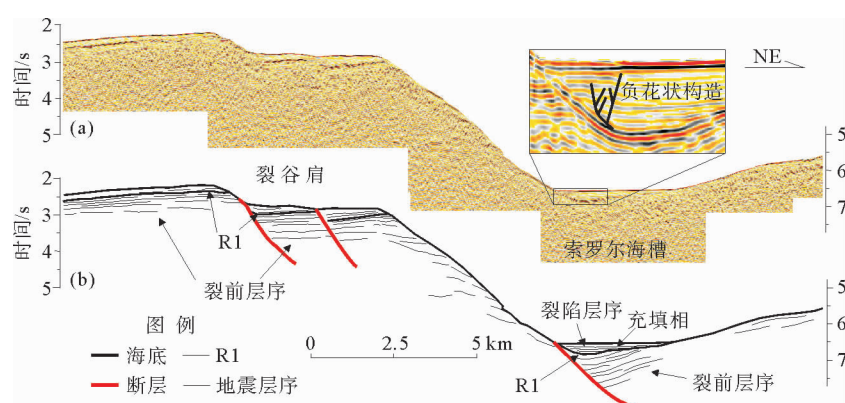


图 5 索罗尔海槽南部边界处的地震剖面(a)及解释(b)(剖面位置见图 2 的 dd')

Fig. 5 The seismic profile across the southern boundary of Sorol Trough (a) and its interpretation (b) (See profile dd' in Fig. 2 for locations)

积层应该更厚。整个剖面的沉积层序内广泛发育一条强反射 R1,在海槽内可明显识别出该强反射为一不整合面,下部地震层序间呈现平行反射特征,显示地层为水平沉积,后期受到张性断层错断发生掀斜,为索罗尔海槽裂陷作用开始之前的沉积地层。R1 之上的地震层序呈明显的充填相反射特征,应为海槽裂陷开始后沉积的地层,厚度约 240 m。因此,根据 R1 的年龄可以推测索罗尔海槽张开的时间。

5 讨论

(1) 俯冲板块对俯冲带构造地形的改造

雅浦岛南部的弧前区域和海沟轴部较北部均有 1~2 km 的抬升,从多波束和多道地震揭示的平面及剖面特征来看,南部俯冲板块对应于索罗尔海槽的裂谷肩,地形较高,而北部对应索罗尔海槽,为区域沉降中心。虽然裂谷肩被垒堑构造带的断裂错断,但是地形上仍然呈现海底隆起的形态(图 4),比北部的索罗尔海槽中心地形高 1 000 m,因此其俯冲下插到雅浦海沟之下后造成了南部沟-弧系统的抬升,进而在海沟向弧斜坡一侧形成三阶台阶式的坡折带。雅浦火山弧的南北部发育形态存在差异,北部的火山弧截面为典型锥形结构,而南部火山弧形态为多个较小的火山弧平行发育,其间发育弧间盆地,揭示了岛弧形成期间南、北部的岩浆供应量存在较大差异,这可能也与俯冲板块上部地形地貌、地壳厚度以及俯冲角度的差异有关。同时,雅浦岛南部火山弧发育的弧间盆地内的沉积物厚度近 300 m,暗示岩浆作用至少在该区域已经长期不活跃。根据附近海域的第四纪沉积速率^[16]估算,南部火山弧可能自 12 Ma 以来都未出现明显的岩浆活动。

(2) 垒堑构造带的形成

Fujiwara 等^[9]利用多波束数据在 10°30'N 的雅浦海沟向海一侧的斜坡上识别出了垒堑构造带,认为其内部由于俯冲板块在海沟处发生挠曲而形成一系列正断层。Lee^[2]利用加罗林海的水深图在加罗林洋脊靠近海沟的区域圈定了一个南北长 200 km 东西宽 50 km 的半地堑带,中间最宽,往南北两端逐渐变窄,也认为是俯冲板块的挠曲垮塌而导致的断裂带。本次研究利用多波束数据分析了这个新月形垒堑构造带的精细地貌,研究显示构造带内发育的断裂非常密集,间距约为 2 km。该构造带仅发育在加罗林洋脊和雅浦海沟接触的区域,即 8°24'N 至 11°N 之间,南部的正常洋壳俯冲带并没有发育类似的构造带,因此其发育应与加罗林洋脊的地形特征有关,是洋脊俯冲作用的产物^[18, 19]。根据前人对雅浦海沟的地震震源分析^[20],海沟的震源深度均浅于 40 km,且分布在与海底近乎垂直的平面内,由此认为俯冲板块在雅浦海沟附近的俯冲角度接近 90°。板片因俯冲而在前缘形成的挠曲拉张可用图 3(a)来示意,如果俯冲板片的地形高差为 h ,则相对拉张量为 $0.5\pi h$ 。加罗林洋脊平均地形比周边正常洋壳高 2 km,因此其表面拉张量比正常洋壳大 3 km 左右,较大的拉张量造成了加罗林洋脊在海沟外缘发育一系列正断层,形成垒堑构造带,其宽度向正常洋壳一侧逐渐变窄并最终消失。此外,洋脊和正常洋壳的岩石物性差异应该也是构造带发育差异的影响因素之一。

(3) 索罗尔海槽的形成

Bracey 和 Andrews^[21]认为索罗尔海槽是形成于渐新世或者中新世的边缘盆地,海盆内部水深可达 4.5 km,推测其现今已经停止发育,然而 Weissel

和 Anderson^[22]则根据少量的地震事件推测索罗尔海槽现今仍然在活跃,海槽内部主要发育左旋走滑构造,而在西段同时发生倾斜拉张,从而发育了很深的裂谷。Lee 认为索罗尔海槽形成于 10~15 Ma^[2]。本研究利用多道地震剖面清晰揭示了索罗尔海槽自张裂以来沉积的地层至少厚 240 m。DS-DP 生物地层学研究显示,加罗林洋脊自中新世以来的沉积速率为 3~25 m/Ma^[16],以此计算,索罗尔海槽至少在 10 Ma 就已经张开。同时,在索罗尔海槽内靠近南部边界断裂处可以识别出由几条张扭性断层构成的负花状断裂带(图 5a),但是该断裂带并没有延伸至海底,暗示该区域确实发育过张扭性构造,但现今的走滑效应已经不明显。本次研究结果和前人具有类似的结论,但揭示了更多的构造细节,并提供了多道地震剖面证据。

(4) 雅浦海沟及其邻区的演化

雅浦海沟位于菲律宾海板块、太平洋板块和加罗林板块交汇的复杂构造区。中始新世,太平洋板块开始向菲律宾海板块之下俯冲,约 30 Ma 时,四国-帕里西维拉弧后盆地开始张开,海盆早期的扩张方向以 E—W 向为主(约 28~20 Ma);早中新世或晚渐新世,加罗林板块开始沿雅浦海沟向菲律宾海板块下俯冲,晚渐新世的热点火山作用可能导致了加罗林洋脊的形成,从而极大地减缓了板块的俯冲过程,雅浦岛弧火山活动停止。同时,洋脊的高地形使俯冲板片产生较大的拉张量,板片前缘挠曲垮塌形成了垒堑构造带;约 19 Ma 时,帕里西维拉盆地的扩张方向由 E—W 向转为 NE—SW 向,在洋中脊处发育大型 NE 向走滑断层;约 10 Ma 时,加罗林洋脊在张扭应力的作用下开始裂陷,并逐步形成索罗尔海槽。

6 结论

本研究利用在雅浦海区同步测量获得的综合地球物理资料对雅浦俯冲带主要构造单元的地貌及沉积地层结构开展了研究,并进一步探讨了洋脊俯冲影响下的构造特征,得出以下结论:

(1) 位于弧后的帕里西维拉盆地为区域的沉积中心,发育近千米的沉积层;雅浦海沟内未发育明显水平沉积层,以俯冲侵蚀作用为主;

(2) 俯冲的加罗林洋脊的地形改造了俯冲带的构造地貌,并可能导致了岛弧岩浆作用的差异;

(3) 利用多波束数据揭示了雅浦海沟北段垒堑构造带的地貌及地质结构细节,认为加罗林洋脊的

高地形可能导致了俯冲板片在海沟外缘隆起处出现更大的挠曲伸展量,从而形成垒堑构造带;

(4) 为索罗尔海槽的张裂结构提供了多道地震剖面证据,并推测了其形成年代早于 10 Ma。

致谢: 本研究所用数据由“科学”号科考船采集,感谢执行雅浦海域 2015 年度航次的全体船员及科学家。感谢两位审稿人对本文提出的修改建议。

参考文献 (References)

- [1] Ohara Y, Fujioka K, Ishizuka O, et al. Peridotites and volcanics from the Yap arc system: implications for tectonics of the southern Philippine Sea Plate [J]. *Chemical Geology*, 2002, 189(1): 35-53.
- [2] Lee S M. Deformation from the convergence of oceanic lithosphere into Yap trench and its implications for early-stage subduction [J]. *Journal of Geodynamics*, 2004, 37(1): 83-102.
- [3] Kim Y M, Lee S M, Okino K. Comparison of gravity anomaly between mature and immature intra-oceanic subduction zones in the western Pacific [J]. *Tectonophysics*, 2009, 474(3-4): 657-673.
- [4] Bracey D R. Reconnaissance geophysical survey of Caroline basin [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1975, 86(6): 775-784.
- [5] Nagihara S, Kinoshita M, Fujimoto H, et al. Geophysical observations around the northern Yap Trench-seismicity, gravity and heat-flow [J]. *Tectonophysics*, 1989, 163(1-2): 93-104.
- [6] 万明浩, 金性春, 王胜利. 上海至加罗林群岛重力剖面的初步研究 [J]. *地球物理学报*, 1988(5): 510-518. [WAN Minghao, JIN Xingchun, WANG Shengli. Preliminary studies in Shanghai to Caroline islands gravity profile [J]. *Acta Geophysica Sinica*, 1988(5): 510-518.]
- [7] Uyeda S, Ben-Avraham Z. Origin and development of the Philippine Sea [J]. *Nature*, 1972, 240(240): 176-178.
- [8] McCabe R, Uyeda S. Hypothetical model for the bending of the Mariana Arc [C]// In: Hayes D E, ed. *The tectonic and geologic evolution of Southeast Asian seas and islands: Part 2. Geophys Monogr Am Geophys Union*, 1983, 23: 281-293.
- [9] Fujiwara T, Tamura C, Nishizawa A, et al. Morphology and tectonics of the Yap Trench [J]. *Marine Geophysical Researches*, 2000, 21(1-2): 69-86.
- [10] Amante C, Eakins B W. ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, data sources and analysis [C]// NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24. National Geophysical Data Center, NOAA, 2009.
- [11] Okino K, Kasuga S, Ohara Y. A New Scenario of the Parece Vela Basin Genesis [J]. *Marine Geophysical Researches*, 1998, 20(1): 21-40.
- [12] Sdrolias M, Roest W R, Muller R D. An expression of Philippine Sea plate rotation: the Parece Vela and Shikoku Basins

- [J]. *Tectonophysics*, 2004, 394(1-2): 69-86.
- [13] Okino K, Ohara Y, Fujiwara T, et al. Tectonics of the southern tip of the Parece Vela Basin, Philippine Sea Plate [J]. *Tectonophysics*, 2009, 466(3-4): 213-228.
- [14] Heezen B C, Fischer A G, Boyce R E, et al. Site 57. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Volume VI[M]. Washington U S Government Printing Office, 1969: 493-537.
- [15] Heezen B C, Fischer A G, Boyce R E, et al. Site 56. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Volume VI[M]. Washington U S Government Printing Office, 1969: 449-492.
- [16] Bukry D, Douglas R G, Kling S A, et al. Planktonic microfossil biostratigraphy of the northwestern Pacific Ocean[M]. Washington U S Government Printing Office, 1969: 1253-1300.
- [17] Tokuyama H, Asanuma T, Nishiyama E, et al. Multichannel seismic reflection survey[C]// In: Kobayashi K, ed. Preliminary Rep. of Hakuho-Maru Cruise KH84-1[M]. Ocean Res. Inst., Univ. Tokyo, 1985: 282-291.
- [18] 马本俊, 吴时国, 范建柯. 板片窗构造研究综述[J]. *海洋地质前沿*, 2015(12): 1-10. [MA Benjun, WU Shiguo, FAN Jianke. An overview of slab window[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2015(12): 1-10.]
- [19] 孙卫东, 凌明星, 杨晓勇, 等. 洋脊俯冲与斑岩铜金矿成矿[J]. *中国科学: 地球科学*, 2010(2): 127-137. [SUN Weidong, LING Mingxing, YANG Xiaoyong, et al. Ridge subduction and porphyry copper gold mineralization: An overview[J]. *Science China: Earth Sciences*, 2010(2): 127-137.]
- [20] Kobayashi K. Origin of the Palau and Yap trench-arc systems [J]. *Geophysical Journal International*, 2004, 157: 1303-1315.
- [21] Bracey D R, Andrews J E. Western Caroline Ridge: Relic island arc? [J]. *Marine Geophysical Researches*, 1974, 2(2): 111-125.
- [22] Weissel J K, Anderson R N. Is there a Caroline Plate? [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1978, 41(2): 143-158.

GEOMORPHOLOGY AND STRATIGRAPHIC FRAMEWORK OF THE YAP SUBDUCTION ZONE, WESTERN PACIFIC

DONG Dongdong^{1,2}, ZHANG Guangxu^{1,3}, QIAN Jin^{1,3},
FAN Jianke^{1,2}, ZHANG Zhengyi^{1,4}, ZHANG Guoliang^{1,2}

(1. Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China

2. Laboratory for Marine Geology, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266061, China

3. Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China

4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The Institute of Oceanology under the Chinese Academy of Sciences conducted an integrated geophysical survey in the sea area near the Yap Island, western Pacific in 2015, including surveys of gravity, magnetism, seismics, multi-beam and sub-bottom profiles. Multichannel seismic and multi-beam data are mainly used to investigate the topography of major tectonic units and the stratigraphic framework in the Yap subduction zone as well as the tectonic characteristics of ridge subduction. Data suggests that the Parece Vela Basin, as the regional depositional center, is filled with young sediments for nearly 1000 meters. On the contrast, the horizontal depositional layers are hardly identified in the trench, where subduction erosion dominates. The Caroline ridge changed the tectonic characteristics of subduction zone, and influenced magmatism in the Yap arc due to its specific topography. The topography and geological structure of horst and graben in the north Yap are depicted in details. The topographic high of the Caroline ridge is supposed to bring greater bending and tension and favor the formation of the subsequent horst and graben belt. Multichannel seismic evidence has been used for interpreting the expansion of the Sorol Trough and its inferred age.

Key words: multichannel seismic; multi-beam; the Yap trench; Caroline sea; Sorol Trough