

文章编号:1009-2722(2013)04-0007-05

马里亚纳海沟水深探测及 “挑战者深渊”海底地形特征

刘方兰, 曲 佳

(广州海洋地质调查局, 广州 510760)

摘 要:“海洋六号”综合调查船先后于 2011、2012 年, 利用 EM122 多波束测深系统在马里亚纳海沟最深海域“挑战者深渊”进行了全覆盖水深测量, 获得了区域内详细的海底地形资料, 揭示了马里亚纳海沟在区内呈近东西向延伸以及海沟两侧斜坡地形迥异、不对称的特点, 南北两侧不同的地形地貌特征反映了马里亚纳海沟形成过程中两侧不同的次生构造活动影响。“挑战者深渊”区内有西部、中部和东部 3 个洼地, 其中, 西部洼地较深, 其中心位置($142^{\circ}12'14''E, 11^{\circ}19'92''N$)水深 10 917 m, 是马里亚纳海沟的最深点。

关键词:马里亚纳海沟; 挑战者深渊; 多波束测深; 海底地形

中图分类号:P229.1 **文献标识码:**B

马里亚纳海沟是太平洋板块自东向西俯冲于菲律宾板块之下形成的一条向东弧形凸出、近南北向延伸的深沟^[1,2](图 1), 其北起硫黄列岛, 西南至雅浦(Yap)岛附近, 全长 2 550 km, 平均宽 70 km, 大部分水深在 8 km 以上^[3,4]。“挑战者深渊”位于马里亚纳海沟南段, 位于关岛西南约 200 km。1873 年以来, 英国多艘“挑战者”号探测船不断在该海域测得超过万米的水深^[5], 特别是 1951 年, “挑战者 8 号”(Challenger VIII)船测得 10 983 m, 其测深技术和测深值都被普遍认可, 因此, 自 1952 年以来, 大家都把这个地球最深的区域称为“挑战者深渊”。几十年来, 该深渊的准确位置和水深均有多种不同的报道^[5,6]。最深的水深报道是 1957 年的“维迪亚兹”(Vityaz)船测得的 11 034 m^[8]。20 世纪 90 年代后, 随着多波束测

深技术的应用, 日本调查船利用 SeaBeam2100 多波束系统对“挑战者深渊”附近海域进行了全覆盖海底地形测量, 并探明该海域存在 3 个相对较深的洼地, 最新的深度为 $(10\,920 \pm 5) \text{ m}$ ^[7], 位于东部洼地内。

2011 年 10 月和 2012 年 6 月, “海洋六号”船在执行中国大洋 23 和大洋 27 航次期间, 对马里亚纳海沟最深处以及“挑战者深渊”附近海域进行了多波束全覆盖海底地形探测。本文把“挑战者深渊”附近大约 100 km(东西向)×80 km(南北方向)作为研究区域, 利用实测资料, 对该区域内马里亚纳海沟及其南北两侧海底地形进行详细研究, 同时精确确定了“挑战者深渊”的最大水深。

1 海底地形探测

1.1 多波束全覆盖水深测量

“海洋六号”船分别于 2011 年、2012 年 2 次对马里亚纳海沟进行了海底地形测量, 使用的测深设备是 EM122 多波束测深系统。该系统的工

收稿日期:2013-01-12

基金项目:国际海域资源调查与开发“十二五”富钴结壳资源评价项目(DY125-13-R-09)

作者简介:刘方兰(1967—), 男, 教授级高级工程师, 主要从事海洋地质地球物理技术方法研究工作。

E-mail: lflhome@21cn.com

作频率 12 kHz^[8],适用于全海洋深度水深测量,波束宽度 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$,最大条幅开角 150° ,最大测量条幅宽度超过 30 km。该系统配备了高性能的外部设备,Octans 4 型光纤运动传感器为系统提供艏向、纵倾偏角、横摇偏角、升沉起伏高度等参数,星站差分 GPS 直接为系统提供定位数据(动态精度优于 1 m)与时间同步(1 PPS),SeaPath200 系统

提供三维加速度信息,在船底探头处安装有提供实时表层声速的声速计,全深度声速剖面则由声速计(Veport Midas)和温盐深系统(SBE 9plus)实测提供。根据系统的技术性能^[8],其中心波束($0^{\circ} \sim 45^{\circ}$)范围内水深测量精度可达水深的 0.2%,外围波束精度为水深的 0.6%。

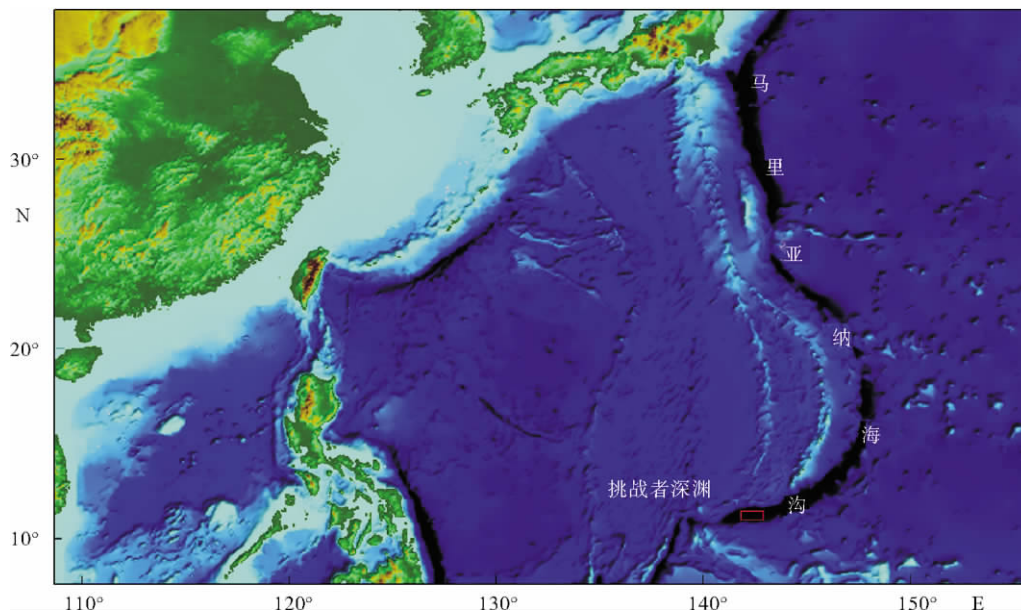


图 1 马里亚纳海沟“挑战者深渊”位置示意图

Fig. 1 Location of the Challenger Deep in Mariana Trench

2011 年 10 月,海洋六号船首次对马里亚纳海沟进行走航测量,航速 12 节,条幅开角 120° ,测线沿海沟方向布设,但航迹未在海沟中轴线上。2012 年 6 月,海洋六号第 2 次对马里亚纳海沟进行了测量,这次测量在第 1 次测量的基础上,有针对性地进行了测线布设和测量参数的调整。首先在南北方向上,布设了 2 条长 150 km 的主测线,测量船速 10 节,等距加密波束、双条幅工作模式,开角 120° 。为了对研究区进行全覆盖测量,准确获取“挑战者深渊”最大水深,又在测线之间以及海沟最大深度处进行了 16 条测线的测量,而且,由于海沟内水深较大,特别降低了测量船速(6~8 节),条幅开角减小到 40° 。经过测量,获得了良好的全覆盖水深数据资料,条幅间互相重叠超过 30%,海沟中心处测量重复率高达 500%。

1.2 地形资料处理与地形图绘制

资料采集后使用 Caris Hips 软件对数据进行处理。处理之前,首先检查了条幅间的重复测量以及相交测线重复测量的一致性,系统采用的参数具有较高的精度,而且采用了现场声速剖面数据,因此,在数据处理过程中,保持了系统纵倾、横摇、艏向以及时间延时等参数,数据处理工作主要对每条测线每个条幅的波束进行数据滤波,删除误差较大的数据点以及外部设备数据不合格的波束。对海沟最深处的数据点,则进行更加详细的滤波处理。例如,在单条幅内对波束水深进行横向比较,根据地形剖面起伏变化的特点,删除明显偏离剖面的波束点;另外,也对相邻地形剖面进行比较,删除异常波束点。数据处理过程中,还对照 Caris 地形图查找需要再处理的数据,如此反复,

最后由 Caris 软件输出离散波束水深值,利用 GMT 和 Surfer 进行网格化处理与成图。经过处理以后的数据,从平面分布来看,海沟两侧数据点间距多在 40~80 m 之间,海沟中心由于重复测量次数较多,数据点密度多在 10~30 m 之间(以最深区域统计,平均每 350 m² 范围内即有 1 个有效数据点)。从数据测量精度来看,海沟中心平坦区域水深数据均方根差为 35.4 m,相对误差(标准差)为水深的 0.35%。

根据区域内数据点密度,研究区内地形图采用的网格化间距为 100 m×100 m(图 2),海沟中心区域地形图采用 40 m×40 m 网格间距(图 5)。

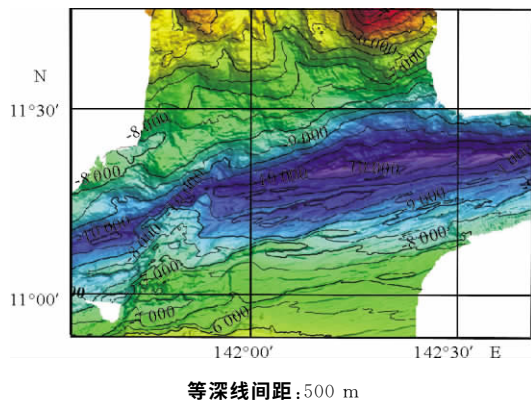


图 2 马里亚纳海沟“挑战者深渊”附近海域海底地形

Fig. 2 Bathymetric chart around the Challenger Deep in the southern Mariana Trench

2 研究区海底地形特征

从研究区地形图(图 2)看出,海沟自东向西延伸,其轴向在最西侧为 66°,中部为 78°,到东部变为 86°。海沟内深度>10 000 m 的等深线圈闭区(中心海沟区)东西长 106.4 km,中间宽,东西两端较窄,形似纺锤,在 142°20'E 附近宽度最大,约 12.5 km。海沟两侧为不对称斜坡,海沟北侧为单一海底斜坡,相对较陡,平均坡度 10°~15°之间。在北侧斜坡上,发育有多个不同规模的海山,其形态各异,没有一致的排列方向,主要发育在水深 6 000 m 以浅的区域。海沟南侧斜坡相对较为平缓,平均坡降在 6°~10°之间。该侧斜坡最显著的特点是从最深的海沟底部开始,发育有大量的海脊(图 4),海脊延伸方向与海沟基本一致,长度

大多在 10~80 km 之间,宽度一般为几千米,相对起伏相差较大,起伏大的达 400~500 m,较小的只有几十米。这些海脊应该反映了太平洋板块在俯冲过程中次生构造活动对地形地貌的改造。

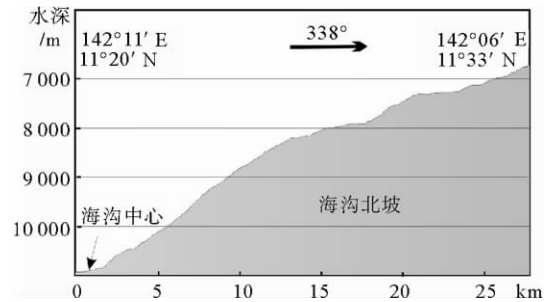


图 3 海沟北坡地形剖面

Fig. 3 The topography of the northern side of the Trench

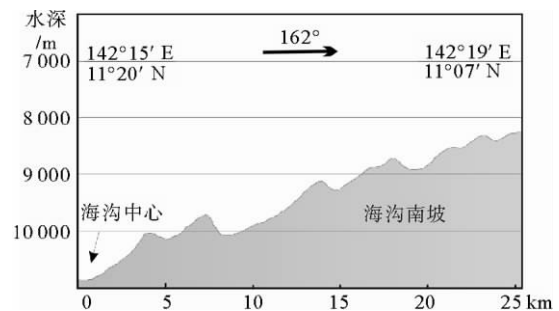


图 4 海沟南坡地形剖面

Fig. 4 The topography of the southern side of the Trench

研究区内中心海沟区为“挑战者深渊”,是一个大型洼地,被 10 850 m 等深线圈闭。从大比例地形图(图 5)来看,该洼地由 3 个次一级洼地组成,分别为西部、中部和东部洼地,其中轴方向基本与海沟中轴方向一致,但不同等深线圈闭范围和特点略有差异。

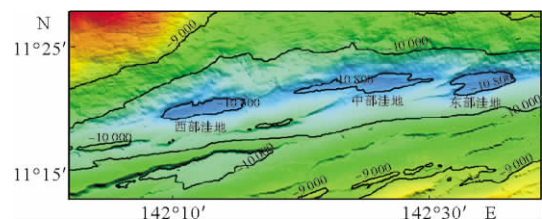


图 5 马里亚纳海沟“挑战者深渊”内 3 个洼地地形

Fig. 5 Three depressions in the Challenger Deep in Mariana Trench

西部洼地(图 6)以水深 10 800 m 为洼地上界,洼地呈长卵型,长轴方向 239°,水深 10 800 m 等深线圈闭范围 11.3 km×2.0 km。从轴向地形剖面来看,东西两侧地形微微向中心倾斜,平均坡度只有 0.7°~1.1°。垂直长轴方向的地形剖面呈“U”型,两侧地形较陡(20°左右),水深>10 900 m 的中央区域地形非常平坦。在洼地中央,能够绘制最大的等深线为 10 916 m,根据该圈闭区内测深数据统计,中心位置(142°12.14'E, 11°19.92'N)水深为 10 917 m。

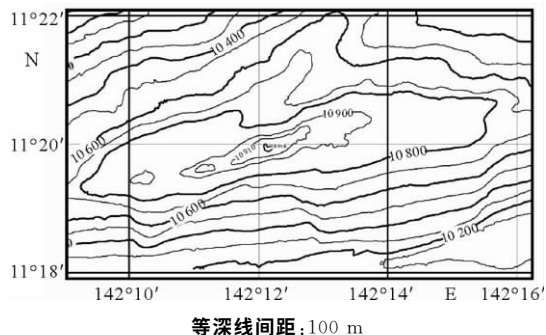


图 6 西部洼地地形

Fig. 6 Bathymetric chart of the west Depression

中部洼地地形等深线 10 800 m 圈闭区呈纺锤形,中间宽(2.5 km),两端窄,长轴呈 84°方向延伸,长约 20 km。10 850 m 等深线圈闭区相对 10 800 m 圈闭区范围大大缩小,东西向只有 6.5 km。与西部洼地类似,轴向地形相对较缓,垂直轴向方向两侧地形较陡。该洼地水深相对较小,水深 10 900 m 的圈闭范围只有 2.5 km×0.3 km,最大的等深线 10 904 m 的圈闭区范围为 330 m×205 m,其中心位置(142°25.49'E, 11°22.13'N)水深为 10 905 m。

东部洼地 10 800 m 等深线圈闭区形似张口向西的“鱼嘴”,10 900 m 等深线圈闭区犹如“鱼嘴”的腮部。东部洼地近东西向延伸,长 8.9 km,南北向宽 2.5 km。洼地底部深度>10 900 m,其范围约 3.5 km(东西向)×1.5 km(南北向),地形平坦。洼地轴向自西向洼地中心缓缓倾斜,平均坡度只有 0.5°~1.0°,东侧坡度较陡,自东向西倾斜,坡度达 7.6°。洼地南北向地形剖面呈“U”型,底部最大宽度 1.1 km,南、北两侧坡度分别为 15°和 10°。东部洼地内最深等深线为 10 915 m,圈

闭区范围约 210 m×190 m,中心位置(142°35.3'E, 11°22.2'N)水深为 10 916 m。

“挑战者深渊”内 3 个洼地水深均超过 10 900 m,但根据从中心通过的测线现场监控观测以及对各洼地最大等深线圈闭区内的测深值的统计结果显示,东、西两洼水深相对较大,西部洼地中心位置(142°12.14'E, 11°19.92'N)的水深为 10 917 m,是“挑战者深渊”内最大水深,也是马里亚纳海沟最深的位置。

3 结论

海洋六号船分别于 2011 年、2012 年 2 次对马里亚纳海沟“挑战者深渊”附近海域进行了多波束全覆盖水深探测,获得了区内高精度地形资料以及挑战者深渊最深点精确水深值与位置,并取得了如下认识:

(1)“挑战者深渊”海域马里亚纳海沟近东西向延伸,海沟两侧为不对称斜坡,北侧斜坡上,发育有多个不同规模的海山,它们的形态各异,海沟南侧斜坡则发育有大量与海沟基本平行的海脊。海沟南北两侧不同的地形特征反映了太平洋板块在俯冲过程中马里亚纳海沟南北两侧不同的次生构造活动对两侧海底地形地貌的改造。

(2)“挑战者深渊”内有 3 个洼地,自西向东排列,分别为西部、中部和东部洼地,它们都由 10 800 m 等深线圈闭,长轴方向与海沟方向一致。洼地底部水深>10 900 m,地形较为平坦。其中,西部洼地中心(142°12.2'E, 11°19.9'N)水深 10 917 m,是“挑战者深渊”内最大水深,也是马里亚纳海沟最深的位置。

致谢:特别感谢海洋六号科考船船长孙雁鸣以及中国大洋第 23 航次、第 27 航次的全体参航人员。

参考文献:

- [1] 卢林松. 日本“海沟”号查明马里亚纳海沟深度[J]. 海洋信息, 1995(8):31.
- [2] Fryer P, Becker N, Appelgate B, et al. Why is the Challenger Deep so deep[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2003, 211: 259-269.
- [3] 陈惠田, 张德玉. 马里亚纳海沟玄武岩岩石学[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1991, 11(3): 93-104.

- [4] Carruthers J N, Lawford A L. The deepest oceanic sounding[J]. *Nature*, 1952, 169: 601-603.
- [5] Fujioka K, Okino K, Kanamatsu T, et al. Morphology and origin of the Challenger Deep in the southern Mariana Trench[J]. *Geophysical Research Letters*, 2002, 29(10): 1-4.
- [6] Gvirtzman Z, Stern R J. Bathymetry of Mariana trench-arc system and formation of the Challenger Deep as a consequence of weak plate coupling[J]. *Tectonics*, 2004, 23: TC2011, doi:10.1029/2003TC001581.
- [7] Nakanishi M, Hashimoto J. A precise bathymetric map of the world's deepest seafloor, Challenger Deep in the Mariana Trench[J]. *Mar Geophys Res*, 2011, 32: 455-463.
- [8] Kongsberg Maritime AS. EM122 Multibeam echo sounder product description[Z]. 2006(6): 1-43.

SEAFLOOR TOPOGRAPHY AND BATHYMETRIC SURVEY OF THE CHALLENGER DEEP OF MARIANA TRENCH

LIU Fanglan, QU Jia

(Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510760, China)

Abstract: In 2011 and 2012, with the Haiyang-6 as the carrier, EM122 multibeam bathymetric system was used to carry out the full coverage depth measurement in the Challenger Deep, the deepest point in the Mariana Trench. Detail bathymetric data were obtained from the region. It was revealed that the trench extended in an east-west direction and the geomorphological features are different between the two sides of the trench, indicating the differentiation of the secondary tectonic activities. There are three depressions in the Challenger Deep, with the western depression as the deepest. The depth of the central point ($142^{\circ} 12.14' E, 11^{\circ} 19.92' N$) is 10 917 meters, which, in fact, is the deepest point in the Mariana Trench.

Key words: Mariana Trench; Challenger Deep; multibeam bathymetry; seabed topography