

海南东方岸外风电场 海底地形地貌特征

张洪运^{1,2}, 栾振东^{1*}, 李近元^{3,4}

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

2 中国科学院大学, 北京 100049; 3 国电新能源技术研究院, 海洋地质和水文研究室, 北京 102209;

4 中能电力科技开发有限公司, 北京 100034)

摘要:利用 Sonic 2024 多波束测深系统对海南东方岸外进行高精度的水深测量, 根据所测数据绘制海底水深地形地貌图等。研究区水深范围在 8~32 m 之间, 西部深, 东部浅, 水深向岸线方向变浅, 地势东北高, 西南低。研究区存在 2 种典型的海底地形地貌, 西部的 U 型冲刷谷和两片沙波活动区。U 型谷内水深较大, 地形较为平坦, 无大的起伏。沙波活动区的沙波规模较大, 以大型和巨型沙波为主, 沙波脊线基本沿 WE 向, 但两片沙波并不完全相同, 存在空间差异, 沙波的形态参数上也存在一定差异。

关键词:风电场; 地形地貌; U 型谷; 沙波

中图分类号: P736.1

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2016.09001

21 世纪是海洋开发的世纪, 随着海洋资源开发力度的增大, 各种海上工程设施日益增加。伴随着我国大气污染的日益加重, 对清洁能源的需求日益增加, 海上风力发电作为一种清洁能源, 备受各国青睐。21 世纪前 10 年, 丹麦、荷兰、英国、日本纷纷开展了海上风电项目^[1]。海底地形地貌的探测和分析工作是海上风电场的选址和建设的基础工作之一, 由于海底地形的复杂多变, 前期的场址调查显得十分重要, 可能关系到整个项目的成败。海底地形地貌的研究主要采用高精度的多波束测深系统对研究区进行水深测量, 并配合浅

地层剖面仪和侧扫声呐对海底地形地貌进行分析。

1 研究区概况

研究区位于海南岛西部, 感城镇附近海域, 隶属于海南东方市, 东方市位于海南岛西部稍偏南, 南与乐东县接壤, 北与昌江县交界, 西濒北部湾(图 1)。研究区在其西南约 30 km, 处在 18°45′52.66″—18°53′22.55″N, 108°28′25.29″E—108°31′48.90″, 面积约 76.2 km²。研究海域位于北部湾东南部海域, 北部湾为三面受陆地包围的浅水海湾, 大部分水深在 20~60 m, 等深线走向基本上与岸线走向一致。

研究区在构造上位于新生代莺歌海盆地内, 区域主要构造线方向为 NW—SE 向, 部分为 NE—SW 向。其中莺歌海盆地是在红河裂谷系的基础上发育起来的一个新生代大型裂谷式凹陷盆地, 在古近(晚白垩世)开始形成。位于九

收稿日期: 2016-03-24

基金项目: 海南东方海上风电状态监控管理系统开发 (Y422291011)

作者简介: 张洪运(1991—), 男, 在读硕士, 主要从事海上风电开发技术及海底地形地貌方面的研究工作。E-mail: 1577928289@qq.com

*** 通讯作者:** 栾振东(1976—), 高级工程师, 主要从事深海探测技术及海底地形地貌方面的研究工作。E-mail: luan@qdio.ac.cn

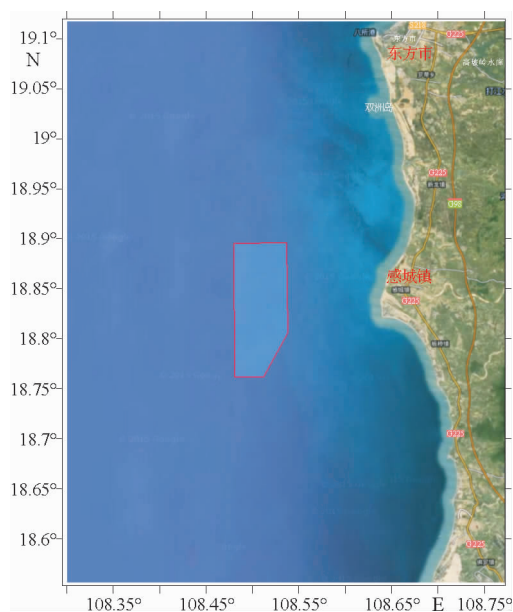


图 1 研究区位置

Fig. 1 Location of study area

所—陵水断裂带和王五一文教断裂带之间,属于华南褶皱系五指山褶皱带。五指山褶皱带演化历程经历了 3 个发展阶段及相应的构造运动:长城纪—志留纪为地槽发展阶段;泥盆纪—早三叠世为准地台发展阶段;中三叠世—第四纪为大陆边缘活动带发展阶段。八所海岸地区位于二叠系上统南龙组与二叠系下统鹅顶组之间,呈不整合接触。

该区域沉积物来源主要为沿岸地区的剥蚀产物^[2],同时可能也接收来自北部湾 NW 向搬运来的沉积物及由南向北的海流所带来的外海沉积物^[3],从附近昌化江等小型河流入海,也会为该地区提供大量的沉积物^[4]。因此,研究区的表层沉积物是近岸剥蚀、海流运输和河流输入的混合沉积物。根据钻孔和海底沉积物取样资料,研究区表层沉积物以松散的砂为主,部分地区有黏土质粉砂、砾砂^[5],下部为质密的砂、粉砂质黏土、黏土质砾砂^[6]。该区广泛发育沙波沙脊,沙脊走向为 NS,沙波大致呈 NE—SW 走向^[7]。

北部湾冬季在东北季风的作用下,在整个湾内产生一个大的逆时针环流。夏季西南季风较弱,密度流对整个环流贡献较大,湾内海流表现为逆时针环流^[8]。因此,研究区附近表层海流特点为一个大的逆时针环流,流向不随季风改变。北部湾潮波是由太平洋潮波传入南海,再传入北部

湾形成的,东方市近岸海域潮汐为规则日潮,平均潮差为 1.49 m^[6]。海南岛西岸外近岸潮流主要为近 SN 向往复流,流向与海岸基本平行,涨落潮流方向分别为 N 向和 S 向^[9]。

2 资料来源与研究方法

中国科学院海洋研究所于 2014 年对研究区进行了专门的地球物理探测和研究工作。主要进行了精密的多波束水深测量,旁扫声呐地貌测量和浅地层剖面测量。水深测量使用的是 Sonic 2024 多波束测深系统,该系统具有连续的在线调频能力,工作频率范围比较广,从 200~400 kHz,共有 20 多个频率,另外该系统支持根据外业情况合理的选择覆盖角度,具有全覆盖,高精度,高效率的特点。用旁扫声呐主要对研究区的活动沙波分布区的海床形态进行自然或人工地貌(障碍物、锚缆沟等)形态分析;浅地层剖面测量主要是为了查明海底状况、海底基岩埋深和分布情况等。

3 分析与讨论

3.1 研究区的地形特征

多波束水深数据经过 Caris 软件预处理形成最终的成图水深数据。根据最终的成图水深数据,采用克里金插值法,做出高精度的海底地形图(图 2)。从水深等值线图可以看出,研究区无明显礁石或基岩出露,总体上西部深,东部浅,水深向岸外方向变深,地势东北高,西南低,向西南方向倾斜,斜度一般在 3°~5°之间。水深范围在 8~32 m 之间,平均水深 21 m。研究区西部水深较大,水深范围为 20~32 m,最大水深 32 m。中间水深较浅,水深范围为 9~20 m,最小水深 9 m。在研究区的西部存在一个海沟,开始海沟近乎 SN 向,到研究区北部,海沟逐步过渡为 NE—SW 向,呈现出一个开口向东的“U”字。中部水深较浅,等值线呈现多个不规则的条带状。研究区的东南部有 NE—SW 向的密集等值线区,表明此处地形起伏变化大,地形高差约 20 m。总体来说,研究区的地形相对较为复杂,冲蚀沟槽和高地相间分布。

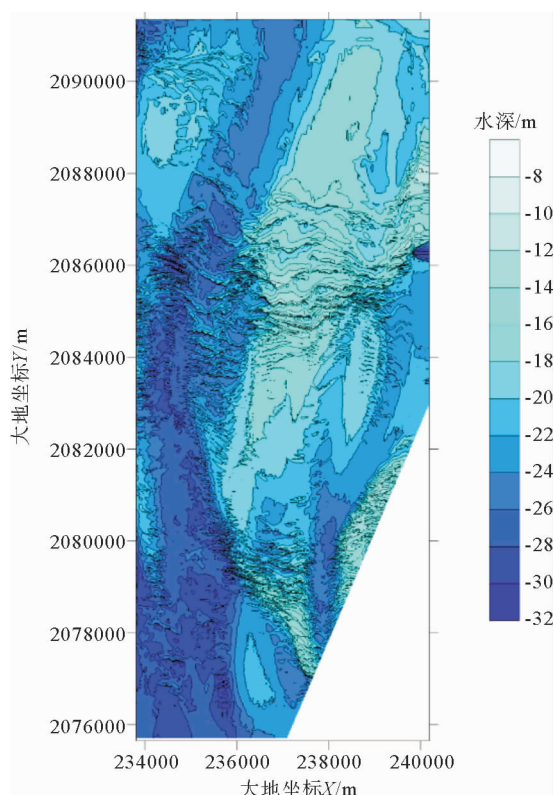


图 2 研究区水深地形

Fig. 2 The bathymetric and topographic map of the study area

3.2 典型剖面特征

从研究区选取 4 条典型地形剖面来研究区域的主要地形特征,各典型剖面和其位置见图 3。

(1)剖面 A 剖面 A 是一条横穿研究区域北部的典型剖面,走向 WE,总长度约 6.3 km。从剖面图上可以看出研究区北部地形两边高,中间低,中间低的位置是一个冲淤沟槽,沟槽宽度约 1.5 km,冲沟的深度大约为 6 m,宽度远远大于深度,坡度 0.8%。剖面图的 A 端的谷坡和谷顶有微小锥状起伏,高度大约为 1 m。

(2)剖面 B 剖面 B 位于研究区的中部,横穿整个研究区,总长度约 6.3 km,走向 WE。从图 3 中可以看出,西边地势低,东边高,在中间 2.8 km 处有一坡度较陡的水下岸坡,坡度 6.5%。在剖面图的左边可以看到一些波状起伏,推测为一些细小的沙波。

(3)剖面 C 剖面 C 位于研究区的最南端,总长度 3.7 km,走向 WE。从图 3 中可以看出,地势东高西低,与研究区总体的地形相一致。

(4)剖面 D 剖面 D 是一条纵贯研究区南北的剖面,总长度约 14 km,走向 SN。从图 3 可以看出,地势南北高,中间低,中间部分,有两片区域有连续的锯齿状地形起伏,推测应该是沙波活动区的位置。

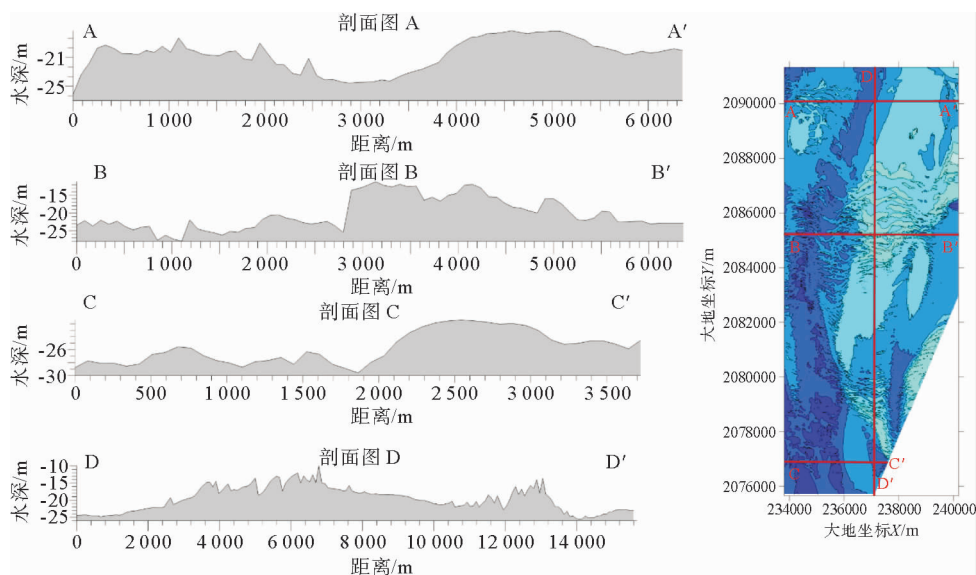


图 3 剖面图和剖面位置示意图

Fig. 3 Sections and location of sections

3.3 研究区地貌特征

在地貌上,研究区主要处于陆架浅海平原地带,水体较浅,通过海底三维地形图(图 4),该地区主要为陆架沙脊沙波地貌,以及少量几处水下岸坡和岩滩地貌为特征。从调查区三维地形图上可以看出,地形构造以 EW 向为台阶状构造为主,南北为条带状海底沟谷为主。北部地形较为平缓,地形落差比较小,中部偏北地形崎岖,落差最大。地形最大落差位于地形剖面线 B 所处位置,约为 12 m 落差。南部地形落差最大位于地形剖面线 C 位置,落差为 8 m,海底相对平坦。

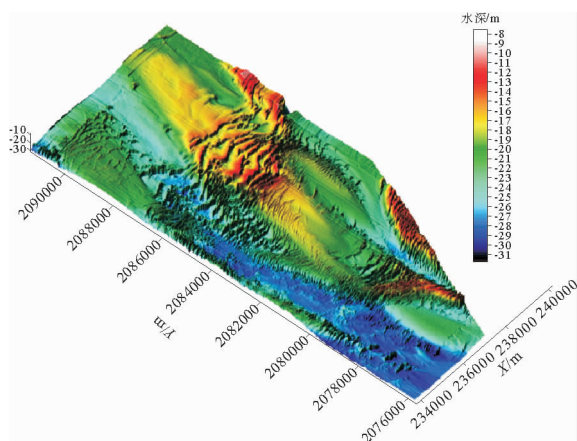


图 4 三维地貌

Fig. 4 3D submarine geomorphologic map

从图 4 中可以看出,研究区存在两种相对较大的典型海底地貌,西部的 U 型沟谷区和两片沙波分布区。

3.3.1 U 型谷

研究区存在一个 U 型冲刷谷(图 5),U 型谷的宽度在 800~1 600 m 不等,水深较大,平均水深 25 m,U 型谷北部地形较为平坦,无起伏,再往南,到中部开始水深增大,到南部水深增至最大,达到 32 m。沟谷内部海底可见细小波状纹起伏。

从沟谷的北、中、南各取一条剖面(图 6):剖面 1 位于沟谷的北段,可以看出,沟谷北段宽度约为 1.5 km,最大水深 26 m。沟谷两侧坡度不等,左侧坡度 0.5%,右侧坡度 1%,左侧较平缓,右侧较陡,右侧谷坡有发育成二级阶地的迹象,但是不明显。U 型谷中段宽度约为 1.2 km,左侧沟谷

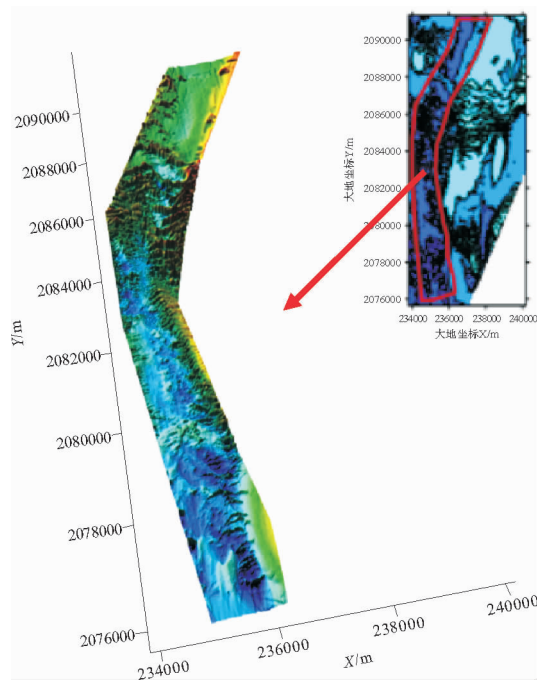


图 5 U 型谷地貌

Fig. 5 The geomorphologic map of the U-shaped valley

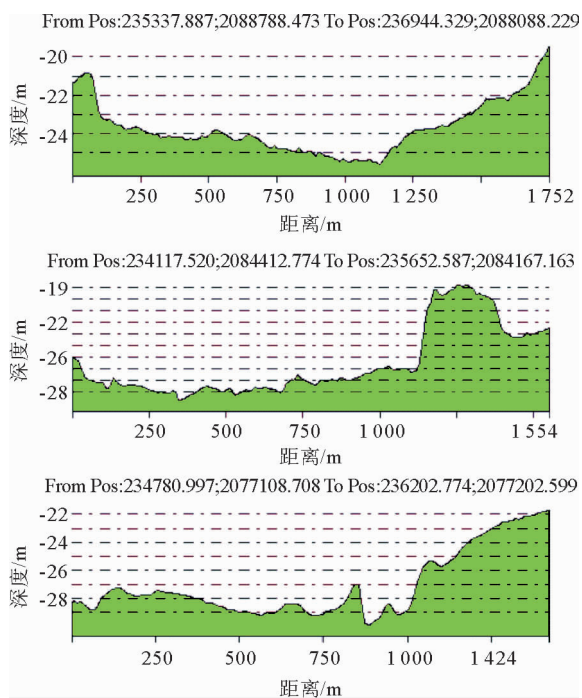


图 6 U 型谷的剖面

Fig. 6 The transections of the U-shaped valley

底部比较平坦,平均水深 26 m,地形略有起伏,但起伏不大,多在 ± 1 m 以内。从剖面图上可以看出,右侧谷坡较陡,右侧有一高达 7 m 的水下岸

坡,坡度达到 8.7%。U 型谷南部水深较大,研究区的最大水深即位于此处,左侧较为平缓,右侧谷坡较陡,坡度 1.6%。

3.3.2 沙波活动区

研究区存在 2 个较为明显的沙波活动区如图 7 所示。通过垂直于沙波脊线的地形剖面,提取沙波的波长、波高、陡倾角、缓倾角等形态参数,并计算沙波的沙波指数、对称系数等,可以得到表 1 的统计结果。

A 区以 $18^{\circ}50.93906'N, 108^{\circ}30.585023'E$ 为中心,呈南北长 3.91 km,东西宽 2.8 km 的近似方形区域,平均水深 15 m。A 区分布着各种类型的沙波,沙波之间的差异性较大,沙波脊线的延伸方向基本上呈 WE 向。波高范围为 0.84~9.9 m、平均波高 4.8 m,波长范围为 49.4~719.7 m、平均

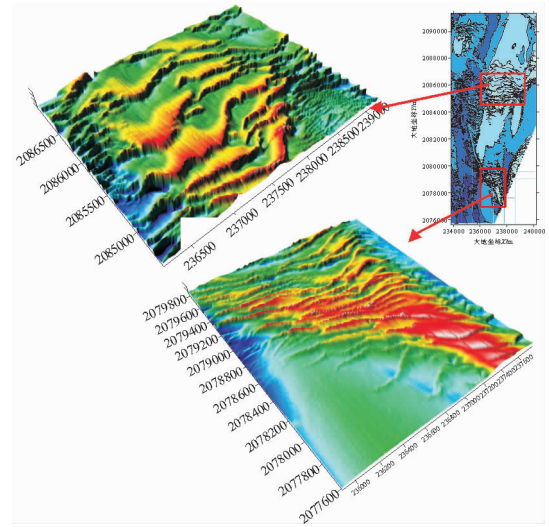


图 7 沙波活动区三维地形

Fig. 7 3D topographic map of sand waves

表 1 沙波形态参数

Table 1 Morphological parameters of sand waves

沙波分区		波高/m	波长/m	陡倾角/(°)	缓倾角/(°)	垂直形态系数	对称指数
范围	A 区	0.84~9.9	49.4~719.7	2.15~10.8	0.34~5.34	15.7~196.2	0.77~9.63
	B 区	1.44~5.95	41.5~172	2.0~13.3	0.65~8.05	14.5~89.2	0.67~5.69
均值	A 区	4.8	253.1	5.8	2.35	57.7	3.98
	B 区	3.5	95.04	7.06	4.29	30.2	2.26

波长 253.1 m,垂直形态系数(波长/波高)范围为 15.7~196.2、均值为 57.7,沙波对称指数(缓坡投影长/陡坡投影长)范围为 0.77~9.63、均值为 3.98。根据 Ashley 的沙波分类方法^[10],A 区的沙波类型涵盖了从小型、中型、大型直到巨型沙波等全部类型,其中大部分沙波的波长>100 m,故 A 区沙波以巨型沙波为主,且沙波的陡缓倾角都相对较小。A 区沙波规模较大,平面形态上基本以新月型为主,沙波区内地形呈阶梯状起伏。

B 区以 $18^{\circ}47.15045'N, 108^{\circ}30.35341'E$ 为中心,呈南北长 3.1 km,东西宽 1.25 km 的长方形区域,B 区水体较深,平均水深为 20 m 左右。沙波规模相对 A 区较小,波高范围为 1.44~5.95 m、平均波高 3.5 m,波长范围为 41.5~172 m、平均波长 95.04 m,垂直形态系数(波长/波高)范围为 14.5~89.2、均值为 30.2,沙波对称指数(缓坡投影长/陡坡投影长)范围为 0.67~5.69、均值为 2.62。根据 Ashley 的沙波分类方法^[10],B 区的

沙波以大型沙波为主,也有少量巨型沙波分布在 B 区东南部。这些沙脊延伸方向为近东西向,沙波沙脊走向与底流方向近乎垂直,但沙脊区 B 延伸方向有由 EW 向向 NW 向变化的趋势。

通过对比 A 区和 B 区的沙波可以发现,研究区的沙波发育存在一定的空间差异性,A 区到 B 区水深逐渐增大,沙波规模却有所减小,主要表现在沙波的平均波长和波高都减小,沙波的垂直形态系数也有所减小。沙波的对称系数变小,说明沙波的对称性变好。另外一方面的差异体现在沙波脊线的走向上,A 区和 B 区的绝大部分沙波的脊线走向是近乎 WE 向,但是 B 区的南部沙波的走向有从 WE 走向,变为 NW—SE 向的趋势。一般认为,海底沙波的形成是沉积物和水动力相互作用的响应,是由于定向的海流搬运砂质沉积物,堆积在海底形成的,也是沉积物、地形和水动力环境的复杂耦合作用的结果。推测 B 区的海底水动力条件和 A 区存在较大差异。

4 结论与展望

(1) 东方风电场海域水深一般为 8~32 m, 平均 21 m 左右, 往岸线方向逐渐变浅。远离岸线外海一侧, 南北方向上发育一条 U 型沟谷, 最大水深位于沟谷南部地区, 水深约 32 m, 整体上风电场西南部水深大于东北部。

(2) 研究区地形整体起伏不大, 海底无基岩或礁石出露, 地形构造以东西向台阶状构造为主, 南北为条带状 U 型海底沟谷为主, 地形落差由北向南逐渐减小, 地形起伏趋于平缓。

(3) 地貌上, 调查区域主要处于陆架浅海平原地带, 水体较浅, 该地区主要以陆架沙脊沙波地貌为特征, 区内共划分为两处大型沙脊沙波区, 发育少量水下岸坡和水下岩滩地貌。

参考文献:

[1] 严晓建. 丹麦海上风电发展及其经验借鉴 [J]. 中国市场, 2010(13): 82-4.

- [2] 谭文化. 海南岛周边海域底质碎屑矿物分布及其物源分析 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2007.
- [3] 徐志伟, 汪亚平, 李 炎, 等. 多元统计及物源分析支持的北部湾东部海域沉积物输运趋势 [J]. 海洋学报(中文版), 2010, 32(3): 67-78.
- [4] 窦衍光, 李 军, 李 炎. 北部湾东部海域表层沉积物稀土元素组成及物源指示意义 [J]. 地球化学, 2012, 41(2): 147-157.
- [5] 董志华, 曹立华, 薛荣俊. 台风对北部湾南部海底地形地貌及海底管线的影响 [J]. 海洋技术, 2004, 23(2): 24-28.
- [6] 高 伟. 海南岛岸外陆架底形变化特征及对海底管线状态的影响 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.
- [7] 王伟伟, 范奉鑫, 李成钢, 等. 海南岛西南海底沙波活动及底床冲淤变化 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(4): 23-28.
- [8] 姐婷婷. 北部湾环流及其机制的分析 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2005.
- [9] 马小川. 海南岛西南海域海底沙波沙脊形成演化及其工程意义 [D]. 北京: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2013.
- [10] Ashley GM, Chairperson S. Classification of large-scale subaqueous bedforms: A new look at an old problem [J]. Journal of Sedimentary Research, 1990, 60(1): 160-172.

RESEARCH OF SUBMARINE TOPGRAPHY AND GEOMORPHOLOGY IN DONGFANG OFFSHORE WIND FARM, HAINAN

ZHANG Hongyun^{1,2}, LUAN Zhendong^{1*}, LI Jinyuan^{3,4}

(1 Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3 Marine Geology and Hydrology Research Laboratory, Guodian New Energy Technology Research Institute, Beijing 102209, China; 4 Zhongneng Power-Tech Development Company Limited, Beijing 100034, China)

Abstract: A high resolution bathymetric survey has been carried out using the Sonic 2024 Multi-Beam Sounding System in the Dongfang Wind Farm offshore Hainan Island. A lot of images such as the bathymetric charts, 3D submarine geomorphologic maps etc are made from the survey data. The water depth of the study area ranges between 8 to 32 meters and it is deeper in the west rather than in the east. As the results, the terrain is higher in the northeast. There are two submarine geomorphological features in the study area, a U-shaped erosion valley and two sand wave areas. The water depth of the U-shaped valley is deeper than any part of the study area. The topography of the valley bottom is relatively flat, and there are no big relieves. The sand waves are widely distributed and belong to large and giant sand waves. The crests of sand waves are basically in E-W direction. But there are differences in spatial distribution patterns and geometric parameters between the two sand wave areas.

Key words: wind farm; submarine topography and geomorphy; U-shaped valley; sandwaves