

扬子浅滩东南海域海底潮流沙脊、沙波特征

庄丽华^{1,2}, 阎 军^{1,2}, 徐 涛^{1,2}, 栾振东^{1,2}

(1. 中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院海洋地质与环境重点实验室, 山东 青岛 266071)

摘要: 利用 seabat8101 多波束系统对扬子浅滩东南海底地形进行了高精度探测。发现海底呈明显近乎平行排列的条带状起伏, 脊谷相间, 沙脊大部分呈 NW - SE 向排列, 发育在 45~50 m 水深范围之内, 沙脊横剖面不对称, 大部分沙脊西南侧坡度大、东北坡缓。沙脊规模略有差异, 沙脊宽度约 0.6~9.8 km, 沙脊之间间距可达 8.9~22.4 km, 高度约 1.8~13.3 m, 研究区内最长可达 53 km。部分脊槽过渡区域发育成片链状海底沙波, 沙波大致呈 NE-SW 走向, 波高约 0.3~1 m, 波长 1 km 左右。研究区中西部有海底礁石孤立地突兀于相对平坦的海底之上, 暂定名为扬礁, 最浅水深 35.9 m, 位于 30°59'7.4"~31°N, 124°36'48.7"~124°37'40"E。扬子浅滩东南海域沙脊是介于活动沙脊和衰亡沙脊之间的准活动沙脊。该研究将为我国海洋开发和海洋经济发展、海洋行政管理以及海洋安全保障提供服务。

关键词: 扬子浅滩; 潮流沙脊; 沙波; 暗礁

中图分类号: P737.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2017)01-0011-07

DOI: 10.11759/hyxx20160614001

东海内陆架海域, 不仅是海洋石油开发重点海域, 还是繁忙的航运、渔业生产活动海域, 充分了解海底地形地貌特征是海洋工程、渔业生产活动以及航海安全的基础保证。东海中部陆架扬子浅滩 (30°42'~32°36'N, 122°30'~125°00'E), 为一片微倾的、沙波地貌非常发育的沉积区, 底质主要为中细砂、细砂和粉砂质细砂, 水深 25~55 m^[1-2]。关于扬子浅滩的成因, 众海洋地质学家的说法不是很一致。在 20 世纪 80 年代之前地质学家普遍认为扬子浅滩是残留沉积, 有人认为这是至今仍未受到现代沉积物覆盖的古滨海砂, 形成于冰后期海侵停顿时期^[3-5]; 也有人认为浅滩为晚更新世末期海退时形成的古长江三角洲顶积或前积沉积, 由于缺乏物质来源供应, 即使经受海侵作用影响, 原来的沉积特征依旧保留不变^[6]。至 20 世纪 90 年代, 有学者根据浅滩上细砂、中细砂沉积物特点, 认为扬子浅滩沉积为古长江三角洲残留沉积, 并将 50 m 等深线圈定的不规则扇形隆起与北部的废黄河三角洲合并, 认为是古长江古黄河复合三角洲^[7]; 另有学者提出截然不同的观点, 认为扬子浅滩是典型的现代潮流沙席^[8], 与西北部的江苏滨外潮流沙脊共同组成长江口外现代潮流沉积体。最新研究表明, 从冰消期晚期开始 10~11 kaBP 扬子浅滩开始发育沙波地貌与砂质地层, 在整个全新世持续发育砂质沉积, 浅滩上普遍发育的

中小水下沙丘是运动的, 浅滩地貌特征和沉积物类型与周围浅海截然不同^[1-2], 浅滩东南边缘局部海域存在 3 条脊高 10 m、宽约 10 km、NNW - SSE 向伸展的潮流沙脊, 这些残留潮流沙脊目前正处于侵蚀状态^[9]。

本文主要利用我国近海海洋综合调查期间, 通过 seabat8101 多波束系统获得的扬子浅滩东南海域高精度海底地形的第一手资料, 结合前人研究, 探讨了该海域海底潮流沙脊、沙波、水下暗礁等地形地貌特征, 将为海洋开发和海洋经济发展、海洋行政管理以及海洋安全保障提供服务。

1 自然地理概况

本文调查海区位于嵎泗列岛以东 160 km、水深 35~60 m 的东海内陆架边缘 30°40'~31°20'N, 124°30'~

收稿日期: 2016-06-14; 修回日期: 2017-01-05

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41576056); 我国近海海洋综合调查与评价专项(908-01-DX23); 中国科学院战略性先导科技专项(XDA11030301)

[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41576056; Research Program of Comprehensive Investigation and Evaluation of Offshore Sea in China (908-01-DX23); Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No.XDA11030301]

作者简介: 庄丽华(1974-), 女, 山东招远人, 高级工程师, 博士, 主要从事海洋沉积、海洋工程地质与灾害地质工作, 电话: 0532-82898669, E-mail: lhzhuang@qdio.ac.cn

125°00'E(见图1), 大部分位于长江凹陷构造带之内, 基本处在扬子浅滩东南边缘, 附近有浙闽隆起带、虎皮礁凸起、海礁凸起、长江凹陷、浙东凹陷和西湖凹陷等石油地质构造带, 这一构造背景主要是第三纪以来形成, 到第四纪仍在活动^[10]。海域内潮流沙脊、沙脊间洼地相间排列, 沙脊侧翼有移动沙波分布, 该海底地貌对于海底工程设施将具有一定的危害性, 是灾害性地质因素。

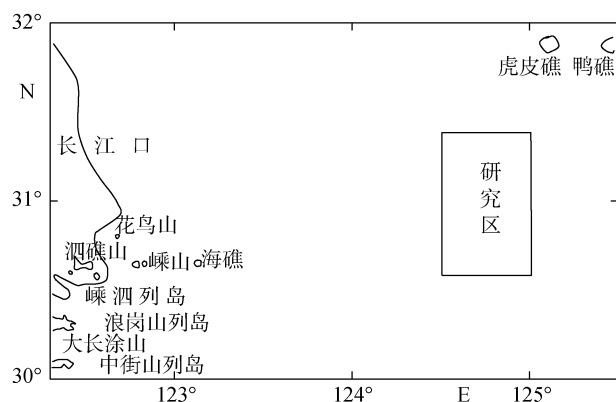


图1 研究区位置示意图

Fig. 1 Location map of study area

2 研究方法

中国科学院海洋研究所通过 Seabat8101 多波束系统对研究海域进行了 13 014.9 km 高精度海底地形测量, 全部数据处理工作在 SUN 工作站上完成, 利用加拿大 CARIS 公司开发的 CARIS HIPS/SIPS/GIS 软件提供的平台上进行彻底处理。用 CARIS 软件进行数据后处理工作, 在 MAPGIS 或 SURFER 软件中生成水深、等值线和三维地形地貌等图件。对于个别海底地形变化剧烈的水下暗礁地区, 采取加密调查测线、处理时成图数据密度加大的方式保证图件的准确。

3 海底地形特征

扬子浅滩东南海域海底地形相对单一, 呈现近乎平行排列的条带状起伏分布, 脊谷相间, 综合现有研究成果可知, 研究区属于现代潮流沙脊区, 这些隆起为一系列海底潮流沙脊, 规模较大, 沟脊相间排列, 沙脊的形成主要受现代潮流影响, 在潮流的冲刷改造下逐渐形成了与潮流平行的潮流沙脊。为了方便海底地形的描述, 将海底划分为 6 个隆起区(分别称之为 A, B, C, D, E, F 沙

脊)和 6 个凹槽(分别称之为 I, II, III, IV, V, VI 凹槽), 见图 2 所示。

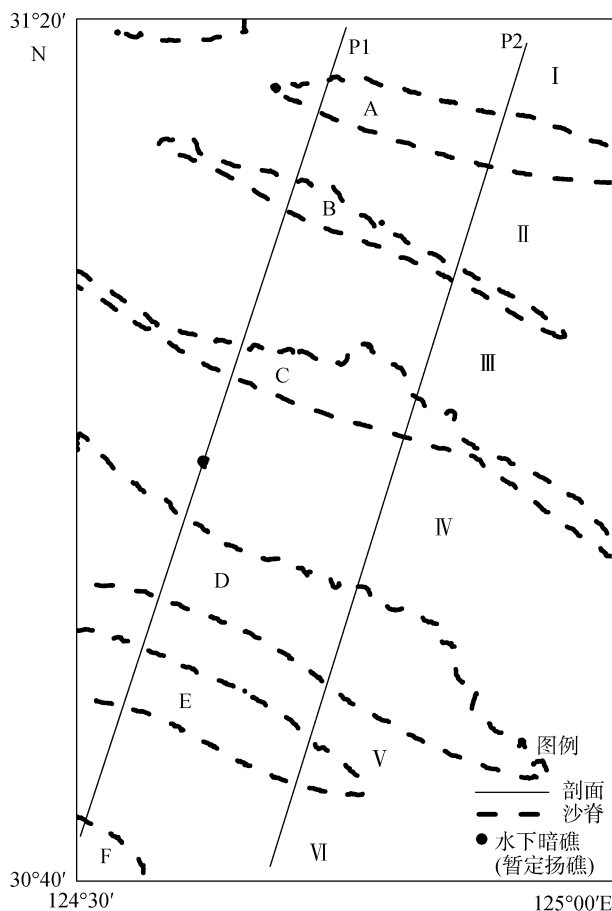


图2 研究区沙脊凹槽、剖面示意图

Fig. 2 Sand ridges, depressions, and profiles in study area

A—E 5 列沙脊表现比较完整, 沙脊总体走向一致, 近似平行, 大部分呈 NW-SE 向排列, 排列比较规律, 大致平行分布, 贯穿整个研究区, 东南角 F 沙脊仅仅展示了一小部分。这些海底沙脊北侧坡较缓, 南侧坡较陡, 发育在 45~50 m 水深范围之内。脊线呈 NW-SE 向延伸, 规模较大, 地形起伏幅度达 10 m 以上。沙脊规模略有差异, 沙脊顶部宽度在 0.6~9.8 km, 沙脊之间间距在 8.9~22.4 km, 沙脊高度一般在 1.8~13.3 m, 研究区内最长可达 53 km。部分沙脊向凹槽过渡区域发育成片海底沙波。研究区中西部有海底礁石出露, 孤立地突兀于相对平坦的海底之上(图 3)。

研究区内凹槽 I 接近 E-W 走向, 而凹槽 II, III, IV, V, VI 总体走向为 NW-SE, 凹槽 I 和 II 在西北端彼此相连。凹槽 II, III, IV, VI 南北向宽度比较大, 其他两个凹槽宽度较窄。这些凹槽最底部水深在

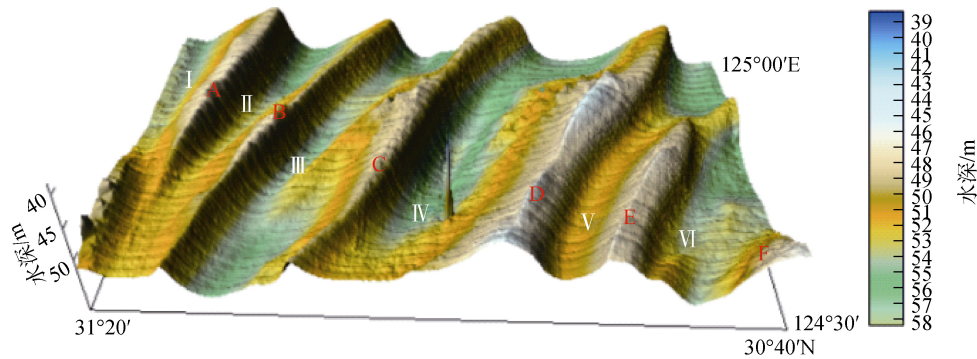


图3 研究区海底三维地形图

Fig. 3 Three-dimensional topographical map of study area

53~58 m。沙脊向凹槽的斜坡上以及凹槽底部广泛发育海底沙波，沙波波峰线走向在各局部地区有所变化，沙波有的成片链状分布，有的零星出现。海底沙波常见于潮流作用较强的内陆架海域，是一种脊线与潮流流向垂直的横向底形微地貌形态，海底沙波可以在沉积物充足、流速达到 0.6~1.0 m/s 的海底形成。在该研究区块中，从沙脊 C 向凹槽III过渡的斜坡上，以及从沙脊 D 向凹槽IV过渡的斜坡上，分布着两片局部起伏明显的海底沙波。这些沙波大致呈 NE-SW 走向，波高约 0.3~1 m 左右，波长 1 km 左右。

在凹槽IV西部接近中央位置存在一水下暗礁，暗礁近方形，孤立地突兀于相对平坦的海底之上，基本上处于 54 m 水深以浅，面积约为 0.45 km² (图2~图5)，大致位于 30°59'7.4"~31°00'00"N, 124°36'48.7"~124°37'40"E 的区域之内，暂时定名为扬礁，大致位于苏岩^[11] (32°07.57' N, 125°11.80'E, 水深 5.4 m)、鸭礁^[11] (31°44.86' N, 125°27.20'E, 水深 31 m) 西南海域，需要在以后的工作中获取更多的资料加以证实。近海底附近暗礁大部分区域水域为 45~54 m 水深，等深线较稀，地形变化较缓；而礁石西北部非常陡峭，等深线密集，水深在 35.9~45 m，最小水深为 35.9 m。与其周围平坦的凹槽相比，礁石基底大部分区域比凹槽高出 1~10 m，而暗礁西北部高出凹槽 10~19 m。在声波反射强度和形状特点上进一步分析其为 (图5) 明显高出周围海底地形的基岩突起。

4 典型地形剖面分析

为了对研究区地形特征有一个详细直观的了解，选取了两条典型剖面 P1 和 P2 进行分析，两条剖面大致垂直于调查区块内潮流沙脊延伸方向，基本上代表了调查区块海底地形特征，剖面位置见图2。

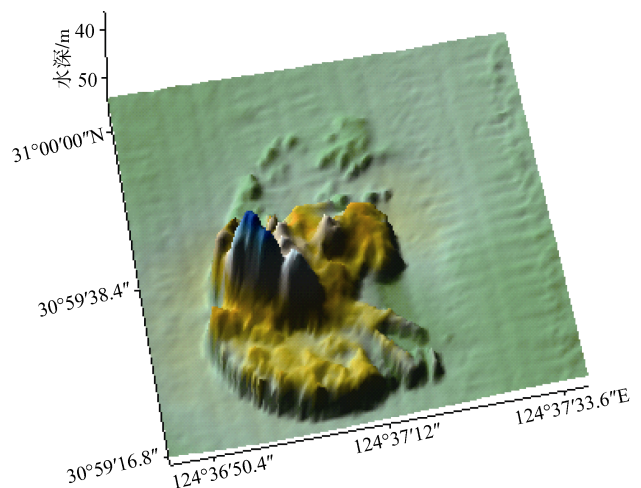


图4 研究区水下暗礁扬礁三维立体图

Fig. 4 Three-dimensional map of the Yangjiao Reef

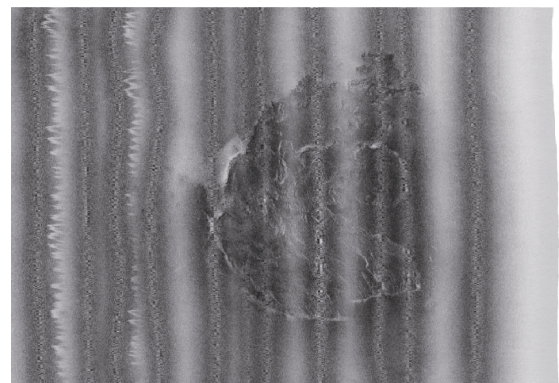


图5 研究区水下暗礁扬礁旁扫声纳图像

Fig. 5 Side-scan image of the Yangjiao Reef

剖面 P1 呈 NE-SW 向，整条剖面处于研究区西部潮流沙脊区，垂直于大部分潮流沙脊走向横切沙脊区，并经过水下暗礁区，从沙脊 F 一直延伸到凹槽 I 西部，先后穿过调查区沙脊 F、凹槽VI、沙脊 E、凹槽V、沙脊 D、凹槽IV、水下暗礁、沙脊 C、凹槽

III、沙脊 B、凹槽 II、沙脊 A 和凹槽 I 等 6 条沙脊、1 处水下暗礁和 6 个凹槽。剖面 P1 水深最大为 55.6 m, 出现在凹槽 IV 底部, 距离剖面南面端点约 39.138 km 左右; 剖面水深最小为 39 m, 出现在凹槽 IV 水下暗礁处, 距离剖面南面端点约 34.922 km 左右。剖面上沙脊高度为 5~7.7 m, 变化不大; 沙脊规模不一, 间距不等, 沙脊之间间距为 9.2~18.8 km。在较大型的沙脊上发育小型的沙波和波痕, 例如潮流沙脊 C 和 D 的北侧翼(见图 6)。沙脊横剖面不对称, 除沙脊 E 南坡缓北坡陡外, 其他沙脊都是南侧坡度大北坡缓; 沙脊南侧翼坡度为 $0.043^{\circ}\sim 0.134^{\circ}$, 沙脊北侧翼坡度为 $0.028^{\circ}\sim 0.049^{\circ}$ 。

剖面 P2 位于研究区东部, 呈 NE-SW 向, 从凹槽 VI 一直延伸到凹槽 I 东部, 先后横切调查区中东部凹槽 VI、沙脊 E、凹槽 V、沙脊 D、凹槽 IV、沙脊 C、凹槽 III、沙脊 B、凹槽 II、沙脊 A 和凹槽 I 等 6 条沙脊和 6 个凹槽。剖面 P2 水深最大为 55.6 m, 出现在凹槽 IV 底部, 距离剖面 P2 南面端点约 36.391 km 左右; 剖面水深最小为 45.1 m, 出现在沙脊 D 顶部, 距离剖面 P2 南面端点约 20.645 km 左右。剖面 P2 上沙脊高度变化不大, 在 5.5~9.97 m, 沙脊之间间距为 10.13~21.52 km。沙脊规模不一, 在较大型的沙脊上发育小型的沙波和波痕, 例如潮流沙脊 E、C 和 D 的北侧翼(见图 6)。沙脊横剖面不对称, 各沙脊都是南坡陡北坡缓; 沙脊南侧翼坡度为 $0.068^{\circ}\sim 0.097^{\circ}$, 沙脊北侧翼坡度为 $0.034^{\circ}\sim 0.049^{\circ}$ 。

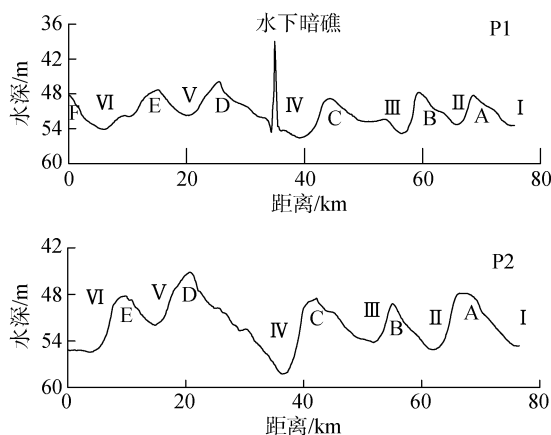


图 6 剖面 P1、P2 地形剖面

Fig. 6 Water depth profiles of P1 and P2

5 潮流沙脊成因与活动性探讨

5.1 潮流沙脊成因

潮流沙脊是在潮流作用下, 沙质底床形成的脊

状地貌形态。潮流沙脊为该区块微地貌的主要类型。这 6 条沙脊(沙脊 A—F)分布于整个调查区, 发育在 45~50 m 水深范围之内, 除了位于西南角的沙脊 F 之外, 调查区内沙脊 A—E 5 条潮流沙脊形态比较完整。沙脊呈 NW-SE 向平行排列, 规模略有差异。沙脊横剖面不对称, 大部分沙脊都是南坡陡北坡缓。在较大型的沙脊上发育成片的小型沙波和波痕。

潮流沙脊之下可能为晚更新世早期古长江(黄河)水下三角洲沉积。多年调查证明, 东海陆架基本沉积格局基本上由晚更新世末期的古长江三角洲沉积体系和现代长江三角洲沉积体系这两个不同时期的沉积物所组成, 形成了东海陆架沉积模式^[12]。作为海退期三角洲沉积体系, 海底沙脊目前已经被冰后期海侵形成的陆架席状沙所覆盖^[13]。东海陆架在中更新世晚期为一自西南向东北倾斜的河流冲积平原, 晚更新世以来在东北部较低地区, 主要发育了来自西北方向大型河流的三角洲^[14]; 贯穿扬子浅滩砂层的 10 余个岩芯和 ^{14}C 测年表明扬子浅滩全新世砂质沉积厚度在 0.64~3.65 m^[1], 位于 $30^{\circ}45'\text{N}$, $124^{\circ}45'\text{E}$ 的 7293 站岩芯位于扬子浅滩东南调查海域西南角, 该岩芯揭示的全新世沉积物厚度最薄, 仅为 0.64 m, 这说明该海域潮流沙脊全新世期间沉积速率较慢, 全新世沉积厚度较薄。

研究区大致位于中法东海海洋地质调查区西北角, 根据晚更新世早期和中期长江(黄河)水下三角洲的分布等厚度图^[14], 结合扬子浅滩成因^[6-7]以及扬子浅滩全新世沉积厚度^[1]的研究, 推测研究区现代潮流沙脊群下部沉积为晚更新世早期古长江(黄河)水下三角洲沉积。根据前人^[15-17]研究工作, 研究区中可能存在两条埋藏古河道, 上部那条埋藏古河道对应着形成于 27~12 kaBP^[16]的古长江东河口口门, 该河道也是 20 世纪 80 年代时期识别出的两条古河道^[15]之一, 自西北向东南贯穿整个研究区。下部那条古河道是长江口外 6 条大型古河道系统^[17]之一, 对应着末次冰期长江在东海陆架平原上的主要流路, 该河道在研究区西部和中部与现代水下带状突起地 E 沙脊大致对应, 该古河道自西向东贯穿整个研究区。但是由于在海侵过程中逐渐被掩埋, 单从地形上已经不能看出其河道形态, 需要在今后的工作中结合浅地层剖面等更多的资料来识别。

综上所述, 扬子浅滩东南海域潮流沙脊下部沉积为晚更新世早期古长江(黄河)水下三角洲沉积, 研究区可能存在两条埋藏古河道; 潮流沙脊区上部

接受全新世沉积, 沉积厚度较薄。

5.2 潮流沙脊活动性

东海陆架潮流沙脊群极为发育, 调查区全部位于扬子浅滩东南海域的现代潮流沙脊群三级地貌单元内。扬子浅滩东南海域海底地形起伏明显, 水深 35~60 m, 近似平行排列的潮流沙脊以及沙脊间潮流冲刷槽形相间排列, 形成了规模较大、比较强烈的对照性地形。

海底沙波作为一种微地貌形态, 海底沙波脊线与潮流流向垂直, 常见于沉积物充足、流速达到 0.6~1.0 m/s、潮流作用较强的内陆架海域。

现在正在活动的沙脊上往往叠加有沙波、沙丘等底形, 近表平均大潮峰值流速大都大于 50 cm/s; 沙脊横剖面不对称, 陡坡、缓坡倾角分别约为 6°、1°。当潮流流速无法起动海底砂质沉积物时, 潮流沙脊变成衰亡沙脊, 沙脊上无沙波叠加, 横剖面较圆滑, 两翼坡度倾角通常小于 1°^[18]。124°30' E 以西潮流方向为 NW-SE 或 NNW-SSE, 而 124°30' E 以东潮流方向则为 NNW - ESE, 底层最大流速为 56~122 cm/s^[19], 因此扬子浅滩东南海域潮流沙脊走向与现代潮流方向大体一致, 近底潮流流速较大。

研究海域潮流沙脊之上普遍发育有海底沙波存在, 这些沙波尺寸大小不一, 沙波波峰走向大致为 NE-NW, 与沙脊脊线走向呈一定夹角。其中沙脊西南侧沙波规则波状起伏(波纹), 但尺寸较小, 而沙脊东北侧海底沙波平面分布较不规则, 但尺寸较大, 呈丘状起伏。地貌图中仅标示出规模、沙波个体尺寸较大的海底沙波分布区。

从沙脊 C 向凹槽 III 过渡的斜坡上, 以及从沙脊 D 向凹槽 IV 过渡的斜坡上, 分布着两片较大的海底沙波区(图 3)。其中从沙脊 D 北侧翼向凹槽 IV 过渡的斜坡上的海底沙波大面积成片出现, 波峰波谷相间排列, 只是波峰、波谷走向并不完全一致, 但总体上以 NE-SW 向为主。沙波波长在 1 km 左右, 波高约为 0.3~1 m。从沙脊 C 北侧翼向凹槽 III 过渡的斜坡上分布的海底沙波规模较小, 沙波波长在 0.5~1.5 m, 波高约为 1 m。

总之, 研究海域潮流沙脊横剖面不对称, 部分沙脊侧翼上叠加发育了成片海底沙波底形, 海底沙波的存在表明沙脊侧翼受现在水动力影响仍然具有一定活动性。但是研究海域潮流沙脊两翼坡角均小于 1°, 推测扬子浅滩东南海域潮流沙脊是介于活动沙脊和衰亡沙脊之间的准活动沙脊。

6 结语

1) 扬子浅滩东南海域大型底形主要是大致呈 NW-SE 向排列的潮流沙脊, 脊谷相间, 沙脊顶部约 0.6~9.8 km 宽, 约 1.8~13.3 m 高, 沙脊间距可达 8.9~22.4 km, 发育在 45~50 m 水深范围之内, 沙脊横剖面不对称。

2) 扬子浅滩东南海域沙脊是介于活动沙脊和衰亡沙脊之间的准活动沙脊。部分沙脊向凹槽过渡区域发育成片的 NE-SW 向海底沙波, 波高约 0.3~1 m, 波长 1 km 左右。

3) 在 30°59'7.4"~31°N, 124°36'48.7"~124°37'40"E 位置存在一水下暗礁扬礁, 暗礁近方形, 基本上处于 54 m 水深以浅, 最浅处水深 35.9 m, 面积约为 0.45 km², 孤立地突兀于相对平坦的海底之上, 礁石基底大部分区域比周围海底高出 1~10 m, 而暗礁西北部高出周围海底 10~19 m。

参考文献:

- [1] 叶银灿, 庄振业, 来向华, 等. 东海扬子浅滩砂质地形研究[J]. 中国海洋大学学报, 2004, 34(6): 1057-1062.
Ye Yincan, Zhuang Zhenye, Lai Xianghua, et al. A study of sandy bedform on the Yangtze Shoal in the East China Sea[J]. Periodical of Ocean University of China, 2004, 34 (6): 1057-1062.
- [2] 龙海燕, 庄振业, 刘升发, 等. 扬子浅滩沙波底形活动性评估[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(6): 17-24.
Long Haiyan, Zhuang Zhenye, Liu Shengfa, et al. Activity manitude of the small-medium subaqueous dunes in the Yangtze Shoal[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2007, 27(6): 17-24.
- [3] Emery K O. Relict sediments on continental shelves of world[J]. Bulletin of the American Association of Petroleum, Geologists, 1968, 52(3) : 445-464.
- [4] 陈中原, 周长振, 杨文达, 等. 长江口外现代水下地貌与沉积[J]. 东海海洋, 1986, 4(2): 28-37.
Chen Zhongyuan, Zhou Changzhen, Yang Wenda, et al. Subaqueous topography and sediments off Modern Changjiang Estuary[J]. Donghai Marine Science, 1986, 4(2): 28-37.
- [5] 刘锡清. 中国陆架残留沉积[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1987, 7(1): 1-14.
Liu Xiqing. Relict sediments in China Continental Shelf[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1987, 7(1): 1-14.
- [6] 秦蕴珊, 赵一阳, 陈丽蓉, 等. 东海地质[M]. 北京:

- 科学出版社, 1987.
- Qin Yunshan, Zhao Yiyang, Chen Lirong, et al. Geology of the East of China Sea[M]. Beijing: The Science Press, 1987.
- [7] 金翔龙. 东海海洋地质[M]. 北京: 海洋出版社, 1992. Jin Xianglong. Marine Geology of the East of China Sea[M]. Beijing: The Ocean Press, 1992.
- [8] 刘振夏. 对东海扬子浅滩成因的再认识[J]. 海洋学报, 1996, 18(2): 85-92. Liu Zhenxia. Re-recognition of the formation cause of the Yangtze Shoal in the East China Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1996, 18 (2): 85-92.
- [9] 曹立华, 侯志民, 庄振业, 等. 扬子浅滩东南边缘海底底形特征及成因[J]. 海洋地质动态, 2010, 26(9): 1-5. Cao Lihua, Hou Zhimin, Zhuang Zhenye, et al. Submarine bedforms and their origin in the southeast of Yangtze Shoal[J]. Marine Geology Letters, 2010, 26(9): 1-5.
- [10] Ren Jianye, Tamaki K, Li Sitian, et al. Late Mesozoic and Cenozoic rifting and its dynamic setting in Eastern China and adjacent areas[J]. Tectonophysics, 2002, 344: 175-205.
- [11] 王振宇, 丁宇, 梁若冰, 等. 东海东北部原虎皮礁海域岩礁特殊地形的认识和新发现[J]. 海洋石油, 2004, 24(1): 14-18. Wang Zhenyu, Ding Yu, Liang Ruobing, et al. New discovery about particular topography of reef in Hupi Reef area, northeast part of East China Sea[J]. Offshore Oil, 2004, 24(1): 14-18.
- [12] 秦蕴珊, 赵松龄. 中国陆架海的沉积模式与晚更新世以来的陆架海侵问题[C]//国际地质对比计划第 200 号项目中国工作组. 中国海平面变化. 北京: 海洋出版社, 1986: 1-12. Qin Yunshan, Zhao Songling. A sedimentary model of China shelf sea and the problem of shelf transgressions since late Pleistocene[C]// International Geological Correlation Programme Project No. 200 China Working Group. China Sea Level Changes. Beijing: the Ocean Press, 1986: 1-12.
- [13] 杨文达. 东海海底沙脊的结构和沉积环境[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2002, 22(1): 9-16. Yang Wenda. Structure and sedimentary environment for submarine dune ridges in the East China Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2002, 22(1): 9-16.
- [14] 刘振夏, Berne S, L' ATALANTE 科学考察组. 东海陆架的古河道和古三角洲[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2000, 20(1): 9-14. Liu Zhenxia, Berne S, the L' ATALANTE Scientific Party. Paleochannels and paleodeltas in the continental shelf of the East China Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2000, 20(1): 9-14.
- [15] 朱永其, 曾成开, 冯韵. 东海陆架地貌特征[J]. 东海海洋, 1984, 2(2): 1-20. Zhu Yongqi, Zeng Chengkai, Feng Yun. The shelf geomorphic features of the East China Sea[J]. Donghai Marine Science, 1984, 2(2): 1-20.
- [16] 袁迎如. 东海大陆架外部的晚更新世晚期长江河口[J]. 海洋学报, 1992, 14(6): 85-91. Yuan Yingru. The Yangtze River mouth in late Pleistocene in the outer shelf of the East China Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1992, 14(6): 85-91.
- [17] 李广雪, 刘勇, 杨子康, 等. 末次冰期东海陆架平原上的长江古河道[J]. 中国科学 D 辑, 地球科学, 2004, 35(3): 284-289. Li Guangxue, Liu Yong, Yang Zigeng, et al. The paleo-channels of the Yangtze River in the last glacial period in the shelf plain of the East China Sea[J]. Science in China Ser D, Earth Sciences, 2004, 35(3): 284-289.
- [18] 刘振夏, 余华, 熊应乾, 等. 东海和凯尔特海潮流沙脊的对比研究[J]. 海洋科学进展, 2005, 23(1): 35-42. Liu Zhenxia, Yu Hua, Xiong Yingqian, et al. A comparative study on tidal sand ridges in the East China Sea and Celtic Sea[J]. Advances in Marine Science, 2005, 23(1): 35-42.
- [19] Ye Yincan, Jin Changmao, Lei Zhiyan, et al. Bedform morphologies of the continental shelf off Changjiang River mouth and their environmental conditions[C]// Acta Oceanologica Sinica. Proceedings of International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf, with Special Reference to the ECS. Beijing: China Ocean Press, 1983: 762-774.

Bedform of tidal sand ridges on the southeast Yangtze Shoal on continental shelf in the East Sea

ZHUANG Li-hua^{1, 2}, YAN Jun^{1, 2}, XU Tao^{1, 2}, LUAN Zhen-dong^{1, 2}

(1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

Received: Jun. 14, 2016

Key words: the Yangtze Shoal; tidal sand ridge; sand wave; submerged reef

Abstract: The southeast Yangtze Shoal on the continental shelf in the East Sea is characterized by tidal sand ridges, and this study measures its three-dimensional morphology using the Seabat8101 sounding system. Tidal sand ridges are arranged in a NW-SE parallel pattern and developed from a depth of 45 m to 50 m. Cross profiles of sand ridges are asymmetrical; the gradient of the south side of most ridges varies between 0.043° and 0.134° , which is steeper than that of the north side. The scales of the sand ridges differ; heights and widths vary from 1.8 m to 13.3 m and 0.6–9.8 km, respectively, and the space between adjacent ridges varies from 8.9–22.4 km. Developed in the flank of sand ridge, several patches of sand waves have NE-SW strikes, where the sand wave height varies from 0.3–1 m with a wave length of about 1 km. An isolated submerged reef stand out in the west of the study area: temporarily named the Yangjiao Reef, it is located between $30^\circ59'7.4''$ – $31^\circ00'00''$ N, and $124^\circ36'48.7''$ – $124^\circ37'40''$ E and lies at a depth of 35.9 m at its most shallow part. These sand ridges are classified as qua-active sand ridges and are thus between the types of active and declined sand ridges.

(本文编辑: 刘珊珊)