

渤海海底地形特征^{*}

陈义兰¹, 吴永亭^{1,2}, 刘晓瑜¹, 周兴华¹, 雷 宁³

(1. 国家海洋局第一海洋研究所, 山东 青岛 266061; 2. 武汉大学 测绘学院, 湖北 武汉 430070;
3. 山东科技大学 测绘学院, 山东 青岛 266590)

摘 要: 基于 2004—2010 年渤海海底地形地貌调查资料, 结合前人对渤海海底地形的认识, 对渤海海底地形 5 个区(辽东湾、渤海湾、莱州湾、渤海中央盆地和渤海海峡)的地形及微地形, 进行了全面的分析描述。并与 1985 年出版的渤海地形图进行比较, 寻找渤海地形近几十年来的变化并分析其原因。分析表明: 渤海海底地形平缓, 从辽东湾、渤海湾和莱州湾三个海湾向渤海中央盆地及东部渤海海峡倾斜, 平均水深 18 m; 由于环境变化和人类活动, 导致部分近岸海域的水深比 40 多年前的水深变浅, 而渤海中央盆地发生侵蚀, 水深加深。

关键词: 渤海; 海底地形; 演变

中图分类号: P736.4

文献标识码: A

文章编号: 1671-6647(2013)01-0075-08

渤海是一个深入中国大陆的浅海, 位于 $37^{\circ}07' \sim 41^{\circ}00'N$, $117^{\circ}35' \sim 121^{\circ}10'E$, 南北长约 480 km, 东西宽约 300 km, 面积约 $7.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。其东北、西、南面分别被辽宁、河北、天津和山东省包围, 仅东南有渤海海峡与黄海相连^[1]。1958 年由国家科委海洋组海洋普查办公室主持在渤海开展了全面的综合调查。中科院海洋研究所于 1985 年出版了 1:100 万的《渤黄东海地形图》。20 世纪 80 年代以后, 中国海洋石油总公司、中国石油、中国石化集团公司等单位在渤海进行了大规模调查工作, 这些海上调查工作加速了我国对渤海海域内油气田的开发, 收集和积累了大量的地球物理勘探和地形地貌资料, 但是这些都是局部的调查工作。2004—2010 年在我国近海海洋综合调查评价专项——我国近海海底地形地貌调查研究项目的实施中, 我国相关海洋单位采用多波束测量系统(重要河口区)、高精度的单波束数字测深仪以及侧扫声纳系统, 对渤海的海底地形地貌进行了全面的勘测, 地形调查几乎覆盖整个渤海, 获得了高精度、高分辨率的水深地形数据。在调查过程中采用不同的测量设备分区块测量, 精度和分辨率会有差异, 区块接边会出现误差, 所以需要将数据进行同化和融合处理。将获得的多波束水深数据和单波束水深数据的平面坐标统一到 WGS84 坐标, 将深度统一到理论深度基准面, 然后采用趋势面拟合方法对不同设备测量的数据接边处进行同化处理, 消除接边误差, 得到满足规范要求的高精度、高分辨率的水深数据, 再采用这些数据绘制渤海海底地形图。基于这些新数据以及前人对渤海地形的认识, 对渤海海底地形特征进行分析描述, 并对渤海的典型微地形进行了较细致的分析。

1 地形特征

渤海为陆架浅海盆地, 由于黄河、海河、辽河和滦河等含沙量很大的河流注入, 致使渤海水浅、地形平缓。整个海底从辽东湾、渤海湾和莱州湾三个海湾向渤海中央浅海盆地及东部渤海海峡倾斜, 坡度平缓, 平均坡度 0.13%, 是中国 4 个海域中坡度最小的海区(图 1)。渤海平均水深约 18 m, 最深处位于渤海海峡北部的老铁山水道, 最深水深 84 m。为了便于描述, 将渤海地形 5 个区(辽东湾、渤海湾、莱州湾、渤海中央盆地和

* 收稿日期: 2011-10-17

资助项目: 中国近海海洋综合调查与评价专项——我国近海海底地形地貌调查研究成果集成(908-ZC-1-07)

作者简介: 陈义兰(1973-), 女, 湖北公安人, 硕士, 高级工程师, 主要从事海洋测绘数据处理和海底地形地貌方面研究。

E-mail: chenyanlan@fio.org.cn

(陈 靖 编辑)

渤海海峡)分开来描述。

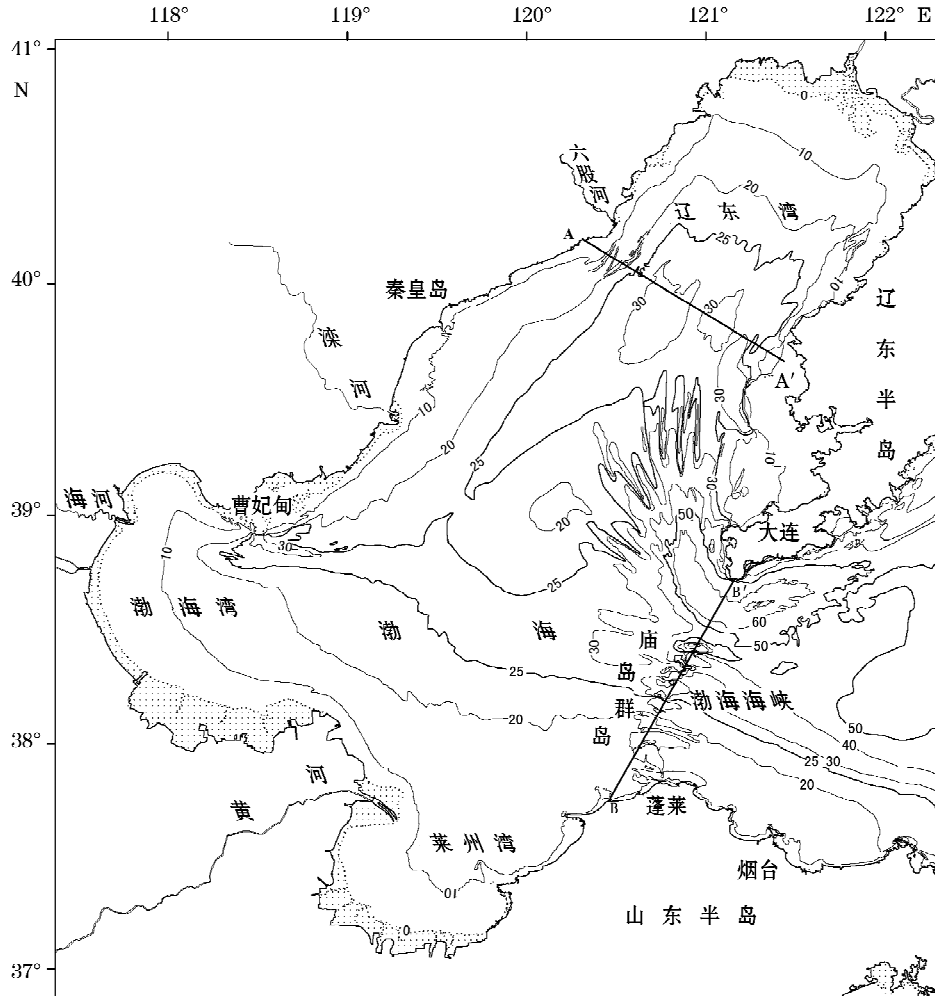


图 1 渤海海底地形图

Fig. 1 Seafloor topography of the Bohai Sea

1.1 辽东湾

辽东湾位于渤海的东北部,是渤海最大的海湾,海湾长轴的方向为 NE—SW,其西南部与渤海中部的开阔海域相连接,其它面为冀辽沿海陆域,海湾形似倒“U”字,其海底地形轮廓也和海湾的形态相似。海底地形明显受海湾形态及陆上地形特征的影响,如陆上平原区附近的海域,海底地形平坦开阔,为陆上地形的自然延伸。而在山地附近的海域,则可见明显的起伏。

辽东湾水深变化的基本趋势是由湾顶向湾口逐渐加深,平均坡度小于 0.2‰,湾内大部分水深小于 30 m,最大水深达 60 多 m,位于辽东湾的东南部,老铁山水道内。辽东湾沿海水深 20 m 以浅的海域,为近岸的半封闭浅海海域,系大陆边缘被海水淹没的水下自然延伸部分。海湾西部地形起伏一般较小,而东侧有明显的起伏,坡度变化也较大,局部达到 1‰~4‰。海湾地形变化最大地方位于辽东湾的东南部,靠近渤海海峡,水深从近 20 m 至 40 多 m 的范围内急剧变化,形成了大范围的波状起伏地形,即潮流沙脊群,为辽东湾一种独特的地形形态。辽东湾中部存在一深达 30 m 以上的深水盆地,由 2 个 30 m 等深线圈闭合,即辽中洼地,辽中洼地最深水深 33 m,洼地走向与海湾一致,30 m 等深线面积约 1 537 km²。洼地内地形平坦,深

度变化约为 3 m。图 2 为从西向东横跨辽东湾的地形剖面 AA' (位置见图 1), NW—SE 向, 西起绥中, 东至复洲湾, 全长近 127 km。

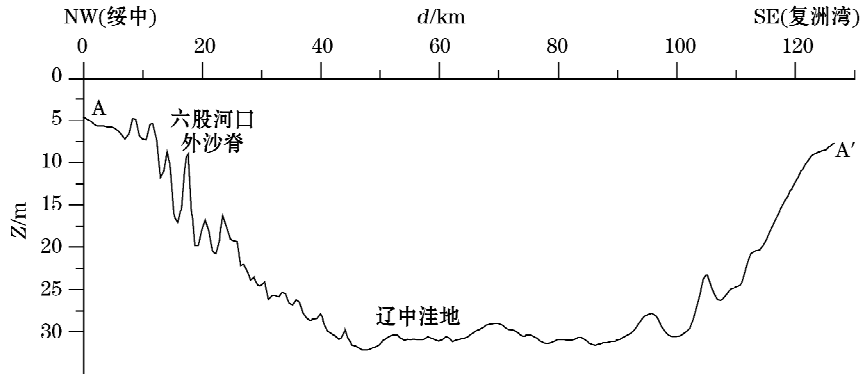


图 2 辽东湾地形剖面

Fig. 2 Topographic profile of the Liaodong Bay

辽东湾的西部和东部均存在着一系列沿岸展布,与岸线接近平行的谷—脊相间地形形态。在西南部,滦河口至大蒲河口的滨海区,发育有大量水下沙脊。沙脊的长度为 1.0~4.3 km,宽度约 0.5 km,平均高出海底 1~3 m。在 5~8 m 水深区域沙脊数量最多,呈 SW—NE 走向;在 10 m 等深线附近沟脊交错,等深线呈锯齿状。中西部的六股河口外,存在着明显的沙脊地形,最明显的有 3 条,当地人称为“三道岗”,呈指状分布,各沙脊距离较近,沙脊面陡峭。3 道沙脊中,中间沙脊的长度最长,约为 36.5 km,最外侧的约为 25.3 km,向岸一侧的长约 19.2 km。沙脊略呈弧形向西南向弯曲,沙脊局部小范围内的坡度可达 18%~19%,一般北向坡比南向坡陡,脊顶较陡且尖锐,深度变化较大,脊谷高差 5~15 m。在起伏区外侧,随着离岸距离的增大,水深加深,地形起伏趋于平缓。辽东湾的东部沿海,比中西部地形起伏更大,主要呈现与岸线接近平行的谷—脊相间地形形态,地形在形态、大小以及顶部和谷底的变化均非常紊乱,该区沙脊宽窄不一,长度从几公里至数十公里不等,沙脊高差 4~20 m。尤其从浮渡河口外到太平湾,地形紊乱,坡度变化大。其中浮渡河口外靠近 20 m 水深处,高差达 15 m,西坡坡度明显陡于东坡,达 21%;复洲湾外靠近 30 m 水深处,地形陡峭,高差达 20 m,西坡坡度陡于东坡,达 22%。辽东湾的东南部,是整个辽东湾水深变化最为剧烈的海区,主要地形为著名的辽东浅滩潮流沙脊。该沙脊区基本上以渤海海峡老铁山水道为中心呈指状或放射状向西和西北方向展布,形成 6 条沙脊,非常有规则。脊顶最浅水深 10~18 m,脊宽一般为 5~10 km,相对高度在 10~20 m 之间,沙脊坡度 2%~3.8%。槽底地形平缓,槽底水深 23~34 m。由于港口等海洋工程建设的需要,辽东湾内形成大量的人工地形,如防波堤、航道、海洋倾倒区等。

1.2 渤海湾

渤海湾位于渤海西部,是一个向西凹入的弧形浅水海湾,海底地势平缓地自湾顶向渤海中央倾斜,海底地形平均坡度约为 0.2%。渤海湾区内,除东北部的曹妃甸浅滩南部有一较深的凹槽和湾顶及老黄河口区地形较高外,其它海域地形平坦。湾内水深大部分小于 20 m,最大水深为 39 m,出现在东北部的曹妃甸凹槽处。

渤海湾近岸北到大清河口,南至旧黄河口,西至天津和黄骅,等深线与岸线平行,由于近年来沿岸海洋工程的建设,如天津塘沽沿岸填海造地、曹妃甸工业区的开发,黄骅港的兴建等,沿岸海底地形较以前发生了改变。海底形成多条人工疏浚航道,如天津港航道、黄骅港人工航道等。最典型的属曹妃甸工业区的开发,使曹妃甸近岸海域地形发生较大的变化,著名的曹妃甸深槽变深。曹妃甸位于渤海湾的东北部,海河、大清河和滦河入海物质受潮流作用在此形成一系列平行于海岸的水下沙坝,最高达十几米,绵延几十千米。近岸水

深变化剧烈,海底地形十分复杂,海底冲蚀沟槽与潮流沙坝相间分布,20 m等深线逼近海岸。曹妃甸外的海底深槽水深超过30 m,最深达39 m,近NW—SE走向,向渤海中央延伸。槽底呈平缓的波状起伏,脊槽相间,相对水深差2.8~4.0 m,其上还叠加相对高差0.5 m左右的小波状地形。深槽的北坡较南坡陡,北坡坡度为2.8‰,南坡坡度为0.9‰,显示了在曹妃甸近岸水深变化剧烈。在槽底还存在一些人工构筑物痕迹。深槽的东北面分布着浅滩和洼地,其上发育有沙波。在旧黄河口近岸0~5 m等深线区内,水深地形顺海岸走势由浅至深分布比较均匀,平均坡降为0.69‰^[3]。

1.3 莱州湾

莱州湾位于渤海南部,北以黄河口—妃姆岛一线为界,是一个弧状的浅水海湾。海湾开阔,海底地形单调,坡度平缓,由南向北缓慢倾斜,平均坡度约0.19‰。水深大都在15 m以内,最深23.5 m,位于妃姆角附近。

现代水下黄河三角洲地形是莱州湾海域的典型地形。现代黄河口附近,孤东海堤和黄河农场防波堤的修建、黄河口人工改道、疏浚等人类活动是影响黄河三角洲和海底地形变化的重要因素。三角洲等深线向海凸出,三角洲的前缘斜坡坡折接近12 m等深线,平均坡度0.9‰。三角洲南部地形平缓,5 m以浅等深线坡度为0.3‰。近年来黄河入海水沙量较少,受NW—SE向潮流、波浪等作用,孤东海堤附近近岸地形区侵蚀作用较强,侵蚀程度有逐渐增强的趋势,海堤基部海底地形不稳定。而现行河口黄河水下三角洲前缘斜坡底部出现滑塌陡坎^[4]。

在莱州湾西南岸,浅水区坡度约0.6‰,等深线总体上与岸线平行。近岸有大小十几条河流入海,近岸浅水区地形受这些河流影响,在河口处等深线较曲折。小清河是该区沿岸入海河流中较大的1条,在近岸浅水区形成明显的河口地形,两侧沙嘴与水下汊道脊槽相间,1 m等深线呈M形。

莱州湾东岸地形复杂,分布着许多礁石,还有大量的人工地形。最显著的地形是莱州浅滩,该浅滩是山东半岛北岸规模最大的近岸水下堆积地貌体,浅滩区水深为1~10 m。莱州浅滩长达25 km,为沙嘴式水下浅滩,呈狭长箭状,等深线变化比较复杂,水深大于3 m的等深线大致沿着浅滩轮廓连续展布;浅滩顶部2 m和3 m等深线不再连续展布,在浅滩中部出现了NE—SW向延伸的3 m等深线闭合区。刁龙嘴附近浅滩根部最大宽度为15.5 km,西北端发生转折部位的浅滩最窄宽度仅为0.97 km。浅滩顶部水深为1~5 m,从顶部向东、西、西北端逐渐增大,西北端水深可达6~10 m。浅滩西南侧等深线密集,地形明显变陡,地形坡度最高达12.7‰;浅滩东北侧坡度缓,等深线略为稀疏,地形坡度约为4‰;浅滩顶部地形比较平缓,平均坡度约为0.45‰。

1.4 渤海中央盆地

渤海中央盆地位于渤海3个海湾与渤海海峡之间,平面形态近四边形^[2],属于浅海堆积平原,水深20~28 m,为一较浅的大型盆地。地形平坦开阔,坡度较平缓,为0.05‰~0.14‰。盆地向东,即海峡方向微倾斜,靠近海峡区,水深约以0.1‰的坡度从28 m逐渐递增到36 m。

在渤中盆地以北、辽东浅滩西南,有一不规则的三角形浅滩,为渤中浅滩。浅滩处于岸坡带与脊沟区之间,被20 m等深线圈定,20 m等深线闭合面积约400 km²,滩顶部水深18.5~20 m,向四周缓慢倾斜。

1.5 渤海海峡

渤海海峡位于辽东半岛南端老铁山—山东蓬莱之间,长约115 km,庙岛群岛罗列其中,使海峡分割为若干水道。较大的水道有6条,由北向南为老铁山水道、大小钦水道、北砣矶水道、南砣矶水道、长山水道和登州水道^[5],其规模以北部的老铁山水道最为宏大。

渤海海峡水深地形受断裂构造、庙岛群岛和潮流的共同作用,海底地形复杂,海底近东西向的沟槽与庙岛群岛诸岛屿相间分布。北部的老铁山水道位于北隍城岛与老铁山角之间,呈“U”型,NE—SE向延伸,宽

约 42 km,最大水深达 84 m,为近期调查渤海的最大深度。南部的登州水道位于蓬莱角与南长山岛之间,海底冲刷槽水深较浅,水深为 20~30 m,最大水深 38.6 m,宽度 5~7 km,沟底起伏较大。在这 2 个水道之间,庙岛群岛各岛屿之间也形成潮流冲刷槽,这些沟槽规模较小,宽度 5~10 km,底部深度多为 20~60 m,沟槽底部基岩出露,部分有砾石堆积,地形较为复杂。图 3 为穿越整个渤海海峡的地形剖面 BB'(位置见图 1),南起龙口北侧海岸,北达老铁山角附近,长度约 137 km,显示了渤海海峡岛屿与沟槽相间分布的特点。

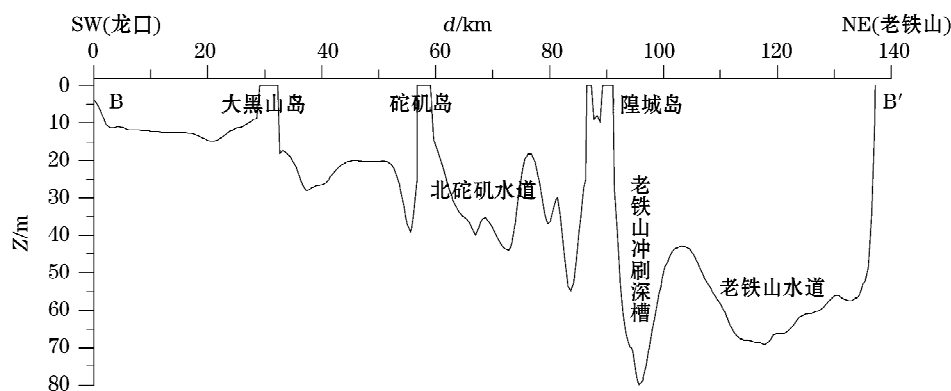


图 3 渤海海峡地形剖面

Fig. 3 Topographic profile of the Bohai Strait

2 渤海地形演变分析

为了解近几十年来渤海地形的变化,将本次调查数据生成的等深线和 1985 年中科院海洋研究所编绘的 1:100 万《渤黄东海地形图》中的渤海等深线进行比较分析。将本次调查的海底地形图和 1985 年出版的渤海海底地形图统一到同一坐标系和投影下,比较它们的等深线(图 4)。1985 年出版的地形图以 1958 年以后的渤海综合调查的资料为主,主要采用单波束回声测深仪测量^[2],仪器测量误差不大于水深的 2%^[6],渤海的水深基本小于 50 m,其测量误差小于 1 m。因调查设备精度的提高,本次调查的测量误差小于 0.5 m。可以认为这两个阶段调查的精度为同一量级,通过等深线的比较来分析渤海海底地形的变化趋势。由图 4 知,渤海的整体地形趋势基本没有变化,经过统计,平均水深依然约为 18 m,但是在有些地方地形发生了较大的变化。

2.1 辽东湾地形变化

辽东湾整体地形没有太大的变化,变化最大的地方位于近岸。辽东湾近岸地形中,北部湾顶零米线整体向海移动,最大移动约 10 km,而在辽东湾西部的零米线则向岸靠近。辽东洼地的深度和 30 m 等深线面积变化都不大,只是有些地方略有冲刷,使洼地变得更平整。辽东湾东南部的潮流沙脊略有变化,6 条沙脊均有变窄变尖的趋势,沙脊顶部水深没有变化,但是沙脊间的冲刷槽有变深的趋势。

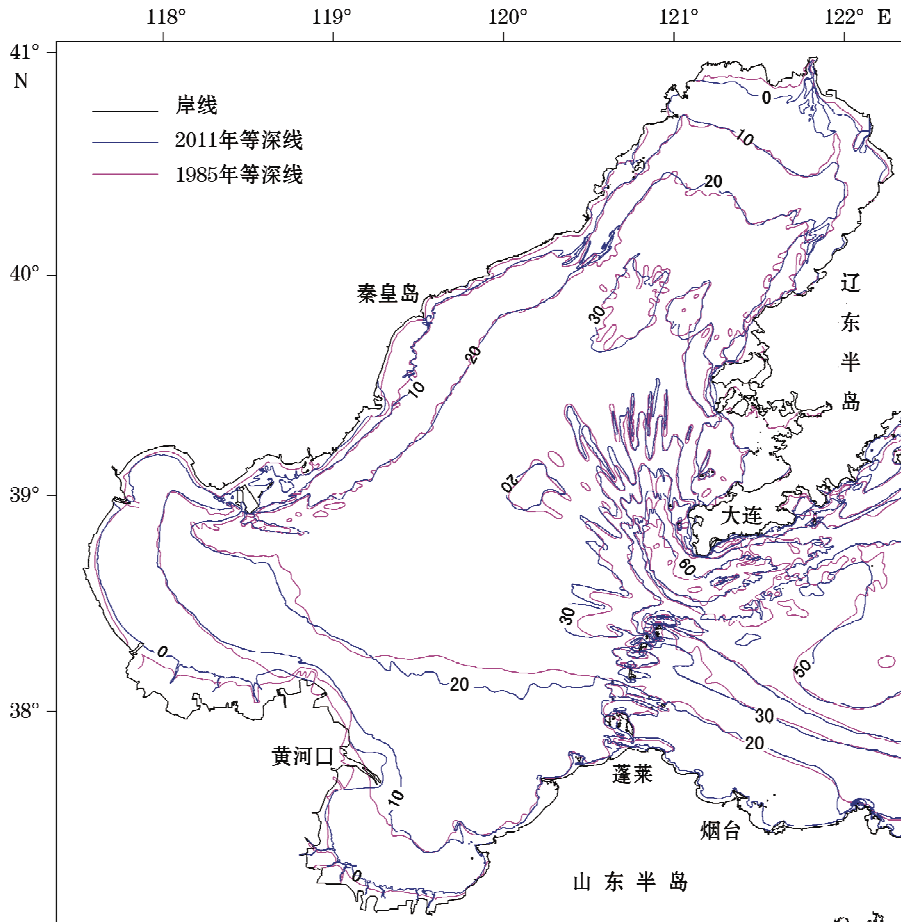


图4 1985年和2011年等深线对比图

Fig. 4 Comparison of the depth contours between 1985 and 2011

2.2 渤海湾地形变化

渤海湾地形变化最大的地方为近岸和曹妃甸海域。渤海湾零米线整体向海移动约1~6 km。10 m等深线在曹妃甸西北部向岸靠近,水深变深约1~2 m;而在老黄河口西北部10 m等深线则向海移动,最大约12 km。曹妃甸海域是整个渤海湾地形变化最为显著的地方,和以往资料比,曹妃甸深槽在深度、长度上都有变化,水下沙脊和浅滩的高度、形状有明显的变化。深槽的深度达39 m;30 m等深线的长轴约为37 km,增加了约12 km;20 m等深线也向岸靠近,水深变深。

2.3 莱州湾地形变化

莱州湾近岸地形变化最大,尤其是黄河三角洲的变化最大。零米线整体向海方向移动,莱州湾的零米线向海移动1~4 km,主要是在大的河流入海区。零米线发生变化,说明这些河口区发生泥沙淤积。在黄河三角洲区域,零米线的变化更为显著,最大的地方向海移动约22 km。10 m以浅水深变浅,等深线明显向海移动,尤其在现行河口附近,10 m等深线向海移动,最大距离约18 km,主要是1976年和1996年黄河改道后,三角洲向海淤积扩张造成的。在莱州湾的东部,10 m等深线则整体向岸移动,最大约4 km。另外一个地形变化较大的地方是莱州浅滩,莱州浅滩西部的10 m等深线向东移动3~7 km,而东部的10 m等深线向东移动0.5~1.5 km。由此可见,浅滩整体萎缩,处于侵蚀状态,主要是由于修建水库、码头和海底采沙等人类活

动导致泥沙亏损以及海岸冲淤状态的变化使浅滩总体发生侵蚀^[7]。

2.4 渤海中央盆地和渤海海峡的地形变化

渤海中央盆地地形变化不大,靠近莱州湾的 20 m 等深线向岸方向移动,靠近海峡的 30 m 等深线向盆地中央靠近,显示中央盆地水深有所加深。渤中浅滩潮流沙席 20 m 等深线范围也有所减小,沙席呈萎缩趋势,这可能和辽东半岛南岸河流输沙量减少导致进入渤海海峡的涨潮流含沙量减少有关。渤海海峡地形趋势没有变化,冲刷沟槽的深度及方向无大的变化,只是有些地方深度有所加深。

3 结 语

渤海地形平缓,由辽东湾、渤海湾和莱州湾三个海湾向渤海中央浅海盆地及东部渤海海峡倾斜。最新数据表明:渤海整体海底地形变化不大,平均水深为 18 m,基本没变。但是由于环境变化和人类活动,导致部分近岸海域,如黄河三角洲区、曹妃甸工业区等海域,和 40 多 a 前的水深比较,水深变浅,而渤海中央盆地水深有所加深。

参考文献(References):

- [1] SUN X P. China offshore regional ocean[M]. Beijing: Ocean Press, 2006. 孙湘平. 中国近海区域海洋[M]. 北京: 海洋出版社, 2006.
- [2] Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences. Bohai Geology[M]. Beijing: Ocean Press, 1985. 中科院海洋研究所海洋地质研究室, 渤海地质[M]. 北京: 海洋出版社, 1985.
- [3] WANG Y G, YU Y H, FU Y B, et al. Marine bottom features and evolution of the abandoned Huanghe River Delta[J]. Transaction of Oceanology and Limnology, 2008, (1): 10-16. 王玉广, 于永海, 付云宾, 等. 废弃黄河三角洲的地形特征及演化[J]. 海洋湖沼通报, 2008, (1): 10-16.
- [4] MI B B, YAN J, ZHUANG L H, et al. The topographical and morphological features of Modern Yellow River Mouth area and their relation to erosional/depositional process[J]. Marine geology & Quaternary geology. 2010, 30(3): 31-38. 密蓓蓓, 阎军, 庄丽华, 等. 现代黄河口地形地貌特征及冲淤变化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2010, 30(3): 31-38.
- [5] XU D Y, LIU X Q, ZHANG X H, et al. China offshore Geology[M]. Beijing: Geology Press, 1997. 许东禹, 刘锡清, 张训华, 等. 中国近海地质[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- [6] State Oceanic Administration. Specifications for oceanographic survey[M]. Beijing:[s. n.],1975. 国家海洋局. 海洋调查规范[M]. 北京:[出版者不详], 1975.
- [7] WANG Q, YANG H, ZHONG S Y, et al. Sedimentary Dynamics and Geomorphic Evolution of the Laizhou Shoal[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(5): 749-756. 王庆, 杨华, 钟少云, 等. 山东莱州浅滩的沉积动态与地貌演变[J]. 地理学报, 2003, 58(5): 749-756.

Features of Seafloor Topography in the Bohai Sea

CHEN Yi-lan, WU Yong-ting, LIU Xiao-yu, ZHOU Xing-hua, LEI Ning

(1. *First Institute of Oceanography*, Qingdao 266061, China; 2. *School of Geodesy and Geomatics*, Wuhan University, Wuhan 430070, China; 3. *College of Geodesy and Geomatics*, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

Abstract: Based on the topographical and geomorphological data obtained in the surveys carried out in the Bohai Sea from 2004 to 2010 and by combining with previous studies as well, the seafloor topography and typical micro-topography in five topographical regions (the Liaodong Bay, the Bohai Bay, the Laizhou Bay, the Bohai Central Basin and the Bohai Strait) divided in the Bohai Sea are described in detail and compared to the topographical map of the Bohai Sea published in 1985, trying to find the changes in the seafloor topography in the last decades years and to analyze their causes. The results show that the seafloor of the Bohai Sea is quite flat, with a gentle tilt being from the Liaodong Bay, the Bohai Bay and the Laizhou Bay toward the Bohai Central Basin and the Bohai Strait located in the east. The averaged water depth is 18m. Compared with the water depth over forty years ago, the present water depth in parts of the coastal area becomes shallower due to environmental changes and human activities. In the Bohai Central Basin, however, the water depth becomes deeper due to the erosion there.

Key words: the Bohai Sea; seafloor topography; evolution

Received: October 17, 2011