

渤海海底地貌特征和控制因素浅析*

刘晓瑜,董立峰,陈义兰,周兴华

(国家海洋局 第一海洋研究所,山东 青岛 266061)

摘要:基于我国近海地形地貌调查项目获取的水深、侧扫声纳及浅层剖面数据,结合渤海海域历史资料 and 前人相关工作、研究成果,对渤海地貌类型和分布特征进行了描述。在一些重点区域通过最新调查资料和历史资料的对比,描述了地貌的变化趋势,在此基础上编绘了渤海海底地貌类型图,并从地质构造、海平面变化、河流和海流等水动力作用以及人类活动几个方面对影响渤海海底地貌发育的因素进行了讨论。

关键词:渤海;海底地貌;潮流动力;地貌演化

中图分类号:P736

文献标识码:A

文章编号:1671-6647(2013)01-0105-11

渤海是我国唯一的内海,除渤海海峡与黄海沟通外,其余 3 面均为我国陆地所环抱。虽然渤海平均水深只有 18 m,但海底发育了比较丰富的地貌形态。同时,渤海是我国海洋生物和油气资源的主要产区之一,对渤海海底的地貌形态和演变的研究,不仅是我国近海海洋调查和研究的重要内容,还对渤海海洋工程开发具有十分重要的意义。在 20 世纪 50 年代我国开展的全国海洋综合性调查中,就对渤海海底地形地貌进行了详细调查。此后几十年里,关于渤海的相关论述和研究基本都是基于此次调查,如 20 世纪 80 年代秦蕴珊等^[1]编制的渤海地质专著;耿秀山^[2]对黄渤海海底地貌类型和演化机制进行的论述;对渤海重点海湾的描述也用到了这些资料^[3-4]。此后,随着调查手段的改进和环渤海经济圈开发力度的加大,一些局部区域海底地貌特征得到了深入研究,并取得了成果,如对渤海陆架东部潮流沉积体系的研究^[5-8],在中国近海地质研究中渤海的相关内容^[9],对渤海海峡老铁山水道^[10]、辽东湾东岸潮流沙脊^[11]、登州浅滩^[12-13]、莱州浅滩^[14]和黄河三角洲^[15-19]等的研究。但对于渤海海底地形地貌的全面调查和整体研究工作自 20 世纪 50 年代后就未再开展。2006 年以来,借助于我国近海海洋调查专项的实施,渤海海底地形地貌得到了全面调查,调查采用多波束测深系统和高精度的测深仪,对渤海进行了大比例尺水深地形测量和侧扫声纳测量以及浅地层剖面测量,取得了高质量、高精度的水深数据和高清晰度的声纳影像和浅地层资料,查明了渤海海底的基本地貌单元和微地貌形态的分布特征。基于此次调查数据,结合以往资料和相关工作对渤海海底的地貌特征和近年来的变化进行描述,并对影响其演化的控制因素进行简要分析。

1 自然地理概况

渤海位于我国大陆的东北部,位于 37°07'~41°00'N,117°35'~121°10'E,是一个深入中国大陆的浅海,南北长约 480 km,东西宽约 300 km,面积 $7.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。整个渤海分为辽东湾、渤海湾、莱州湾、渤海中央盆地和渤海海峡五个部分。渤海与黄海以辽东半岛的老铁山西南角与山东半岛的蓬莱间的连线—渤海海峡为界分开,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渤海海峡倾斜,坡度平缓,平均坡度 0.13%。渤海平均水深 18 m,最大水深 84 m,位于渤海海峡中部。由于沿岸有黄河、海河、辽河和滦河等

* 收稿日期:2011-12-15

资助项目:中国近海海洋综合调查与评价——我国近海海底地形地貌成果集成(908-JC-I-07);海洋公益性行业科研专项——近海海底地质灾害预测评价及防控关键技术研究(201005005)

作者简介:刘晓瑜(1982-),女,山西忻州人,硕士,助理研究员,主要从事海底地形地貌和海洋工程地质方面研究。E-mail:liuxiaoyu@fio.org.cn

(陈 靖 编辑)

含沙量很大的河流注入,致使渤海近岸水深变得更浅,在一些河口沉积区,等深线向海突出。

渤海的潮汐与潮流能量大,是该海区最主要的水文动力环境因素。潮波通过渤海海峡进入渤海,分别传向辽东湾和渤海湾,在地形和地转偏向力作用下形成 2 个逆时针方向的旋转潮波。2 个旋转潮波的无潮点分别位于秦皇岛和黄河口近海。在渤海中东部为不规则的半日潮流,在渤海湾及莱州湾为规则半日潮流。渤海的波浪以风浪为主,具有明显的季节性特点。冬春两季多为西北浪和北向浪;夏秋两季浪向偏南,但受北向台风影响时,也会出现东南浪向。影响渤海的大洋性海流夏季为黑潮暖流的分支,冬季为东海寒流。沿岸流主要分为 2 支:一支北起秦皇岛,南到渤海湾,大致呈 NE—SW 向,主要受东北风影响,流势较强而稳定;另一支南起黄河口附近,北到渤海湾,大致呈 SE—NW 向,主要受东南风的影响。

在地质构造上,渤海是新生代的隆起和拗陷运动产生的沉降盆地,位于营口隆起带、华北拗陷区、鲁西隆起区及郯庐断裂带交汇之处。整个渤海湾盆地可以划分为 6 个拗陷(辽河拗陷、渤中拗陷、黄骅拗陷、济阳拗陷、冀中拗陷和东濮拗陷)和 2 个隆起(沧县隆起和埕宁隆起)。盆地内新生代活动断裂发育,以 NE 向为主导走滑断裂,与之配套的有 NEE,近 EW 及 NW 向次级断裂^[20]。断裂带的活动对渤海基本构造格局和晚第四纪的沉积起控制作用。渤海地区第四系地层发育广泛,普遍发育了晚更新世以来的 3 个海侵层,不同区域第四系厚度差别较大,在黄河三角洲地区和辽东浅滩地区最厚,渤海海峡各水道底部该地层缺失。

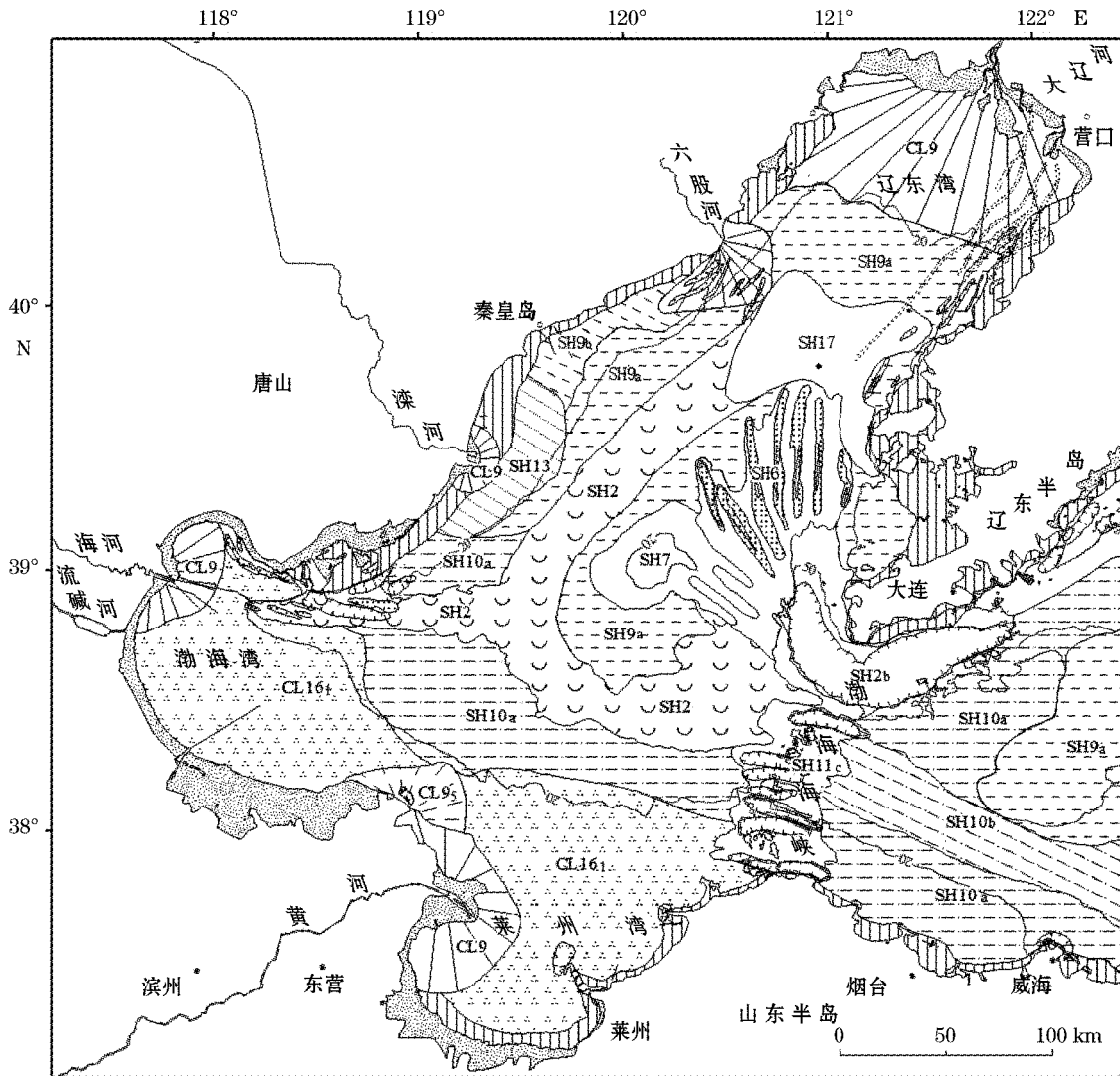
2 主要地貌类型及特征

基于调查得到的水深、声纳和浅地层资料及历史资料,按形态与成因相结合的原则,渤海海底地貌可划分为海岸带地貌和陆架地貌两种二级地貌类型,其中海岸带地貌包括潮间带和 underwater 岸坡两个亚类,三级地貌类型的划分和微地貌形态类型(表 1 和图 1)。

表 1 渤海海底地貌类型表^[21]

Table 1 Seafloor geomorphic types in the Bohai Sea

二级地貌	三级地貌	地貌形态	
海岸带地貌	粉砂淤泥质潮滩(CL1)	潮沟、沙堤、	
	潮间带地貌	岩滩(CL2)	海蚀平台、
		沙滩(CL3)	海蚀穴
	水下岸坡地貌	现代河口水下三角洲(CL9)	海底滑坡
		废弃河口水下三角洲(CL9 _s)	滑塌洼地
		水下堆积岸坡(CL11)	侵蚀沟槽
水下侵蚀-堆积岸坡(CL12)		海底古河道	
	水下侵蚀岸坡(CL13)	沙波	
	海湾堆积平原(CL16 ₁)	冲刷坑	
陆架地貌	陆架侵蚀洼地(SH2)	侵蚀沟槽、潮流沙脊	
	陆架潮流冲刷深槽(SH2 _b)	潮流冲刷槽	
	平坦的陆架堆积平原(SH9 _a)	潮流沙脊	
	倾斜的陆架堆积平原(SH9 _b)	沙波	
	平坦的陆架侵蚀堆积平原(SH10 _a)	潮流冲刷槽	
	起伏的陆架侵蚀平原(SH11 _c)	海底侵蚀沟槽	
	陆架现代潮流沙脊群(SH6)	潮流沙脊、潮流冲刷槽	
	陆架潮流沙席(SH7)	沙波	
	陆架古三角洲平原(SH13)	沙波	
	陆架古湖泊洼地(SH17)	海底古河道	



图例

	粉砂-淤泥质潮滩		SH2 陆架侵蚀洼地		SH9 _b 倾斜的陆架堆积平原		海底古河道
	CL9 现代河口水下三角洲		SH2 _b 深掘的陆架侵蚀洼地		SH10 _a 平坦的陆架侵蚀堆积平原		海底侵蚀沟槽
	CL9 _s 废弃河口水下三角洲		SH6 现代陆架潮流沙脊群		SH10 _b 倾斜的陆架侵蚀堆积平原		人工航道
	水下岸坡		SH7 现代潮流沙席		SH11 _c 起伏的陆架侵蚀平原		潮流沙脊
	CL16 _s 海湾堆积平原		SH9 _a 平坦的陆架堆积平原		SH13 古三角洲平原		海底浅滩
			SH17 陆架古湖沼洼地				

图 1 渤海海底地貌图

Fig. 1 Seafloor geomorphic map of the Bohai sea

2.1 海岸带地貌

2.1.1 潮间带地貌

渤海潮间带地貌类型主要有粉砂淤泥质潮滩、岩滩和沙滩。1)粉砂淤泥质潮滩是渤海海域分布最广的潮间带地貌类型,辽东湾顶部自葫芦岛至鲅鱼圈区、渤海湾沿岸、莱州湾西岸现行黄河口至虎头崖都发育了

此类潮滩,宽度可达 5~15 km,为渤海 3 个海湾沿岸大河携带泥沙沿岸堆积而成。潮滩上的沉积物主要由淤泥质粉砂,一般较为松散,且周期性地接受到海水的淹没和出露,侵蚀淤积变化复杂,滩面上发育小型冲刷潮沟、各种波痕和侵蚀凹坑。2) 沙滩和岩滩相对较少,分布也比较分散,沙滩主要分布在辽东湾东岸和西岸,宽度一般在几十米,河口附近可达几百米到一公里,沙滩上多发育平行于海岸的条带状沙脊和沙堤,如秦皇岛及洋河口附近高潮线上部发育的沙堤。3) 岩滩主要分布在辽东湾西岸和山东半岛北部的岸段,波浪强烈侵蚀的海岸岬角区,海蚀崖、海蚀洞穴和海蚀平台等地貌形态发育普遍。

2.1.2 水下岸坡地貌

1) 现代河口水下三角洲(CL9)

渤海沿岸河流众多,且含沙量大,泥沙在河口迅速堆积形成各类水下三角洲是渤海水下岸坡地貌的重要特点。规模较大的黄河、滦河、六股河、辽河和海河河口均发育水下三角洲。

位于莱州湾西部的现代黄河水下三角洲是 1976 年黄河改道清水沟流路以来形成的水下堆积体,由三角洲前缘、三角洲侧缘和前三三角洲组成。三角洲前缘有明显的平台区和斜坡区,低潮线至 2 m 等深线内的平台区地势平坦,宽度约 4 km,沉积物粒度略粗,也可称作河口沙坝;2 m 等深线以深的斜坡区坡度 0.2‰~0.3‰,是水下三角洲坡度最大的部分,宽 2.9~5.3 km,上部较陡,下部较缓,斜坡坡折出现在 11~12 m 等深线附近。三角洲侧缘位于河口外南北两侧低潮线至 12~13 m 水深内,又称烂泥湾,坡度 0.6‰~1‰,坡度变化小,沉积物为粘土质粉砂,河口中部明显变细。前三三角洲位于水深约 12~18 m,海底地形平坦,宽度可达 13 km,前三三角洲之外坡度更加平缓。黄河水下三角洲是渤海海底地形变化最快的地区之一,在 1976 年改道初期年均造陆速度可达 44.8 km²[17],水下三角洲前缘迅速向海推进。由于泥沙的快速搬运堆积,沉积时间短,固结度低、含水量高,加上波浪、潮流等水动力对其的侵蚀,三角洲前缘斜坡海底非常不稳定,形成滑塌洼地、滑塌陡坎、冲蚀沟等微地貌(图 2)。1996 年经人工改道黄河由清汊河入海,新近沉积的水下三角洲叶瓣叠置在原三角洲上,前缘斜坡最远向海推进 2.4 km,原清水沟流路河口沙坝南部向海突出的部位受到不同程度的侵蚀[19]。

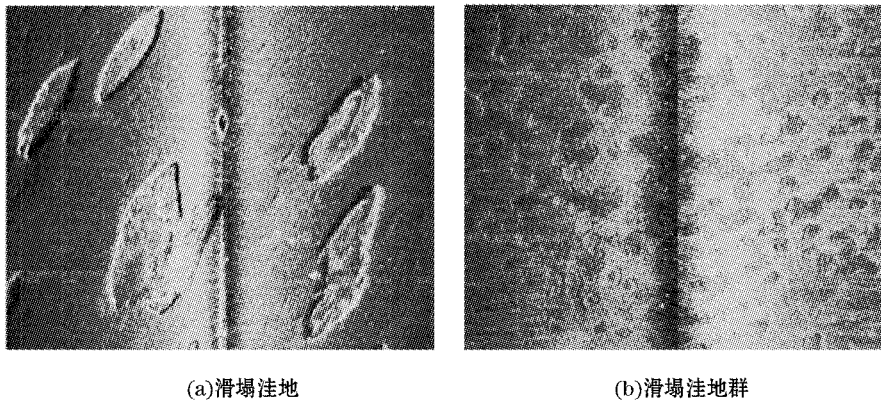


图 2 滑塌洼地和滑塌洼地群侧扫声纳记录^①

Fig. 2 Sidescan sonar records of sliding depression and sliding depression groups

辽河水下三角洲位于辽东湾顶部,是辽河、双台子河、大凌河和小凌河共同沉积联合形成的,向海可延伸至 20 m 等深线以外,坡度为 0.3‰~0.4‰。在辽河和双台子河河口及口外海滨普遍有沙坝沉积体系发育,如辽河西滩,盖州滩等。三角洲东侧发育一组与湾顶几近垂直的狭长凹槽,槽深 1~2 m,最长可延伸至 30 m 等深线外,为大凌河—辽河海底古河道。水下三角洲东西两侧近岸区域发育与岸线平行的垄状潮流沙脊,高 5~10 m,长数十千米。据研究,这些沙脊是冰后期被淹没的古滨海堆积地貌残留体经现代潮流改造

^① 毕建强,李学全,张永明. 908-01-QC08 区块调查研究报告,2010

形成的^[13]。

海河水下三角洲位于渤海湾北部,由河口向外辐射,等深线呈阶梯状排列,外缘至 8~10 m 等深线附近,平均坡降为 0.36‰。全新世地层为三角洲和浅海相粉砂层,厚度自陆向海减薄,表层沉积物主要由粘土质粉砂和粉砂质粘土等细粒物质组成。近年来海河流域水资源开发迅速增加,入海径流量和含沙量急剧减小,海河水系入海水量已近枯竭,而海岸波浪和潮流侵蚀携带进入河口的泥沙量要大得多^[22],海河水下三角洲已由河控型转为潮控型。再加上频繁的航道开挖、采砂、填海等人类活动,水下三角洲已失去了原来的面貌。

滦河水下三角洲为波控型水下三角洲,全新世滦河由曹妃甸逐渐向东迁移至现代滦河口期间曾多次改道。现行河口自 1915 年以来发育形成的水下三角洲是规模较小,从口门起到水下三角洲前缘坡折止,长约 5.5 km,外缘在 13 m 等深线附近,坡度由岸向海逐渐变小,沉积物也由粗变细,由细砂逐渐变为粘土质粉砂,直至粉砂质粘土。水下三角洲北部发育小型潮流沙脊。

六股河河口水下三角洲受波浪、潮流及风暴潮共同作用,河口西南外缘线在 10~13 m 等深线附近。在南向较强海流的作用下,六股河携带的泥沙被大量向 SWW 向运移,形成水下沙脊群,最明显的有 3 条,当地人称为“三道岗”(图 3)。“三道岗”呈指状分布,起始于二河口南侧,各沙脊距离较近,沙脊面陡峭,其上发育有沙波,密布沙纹,向西南延伸至长滩河口正南方。

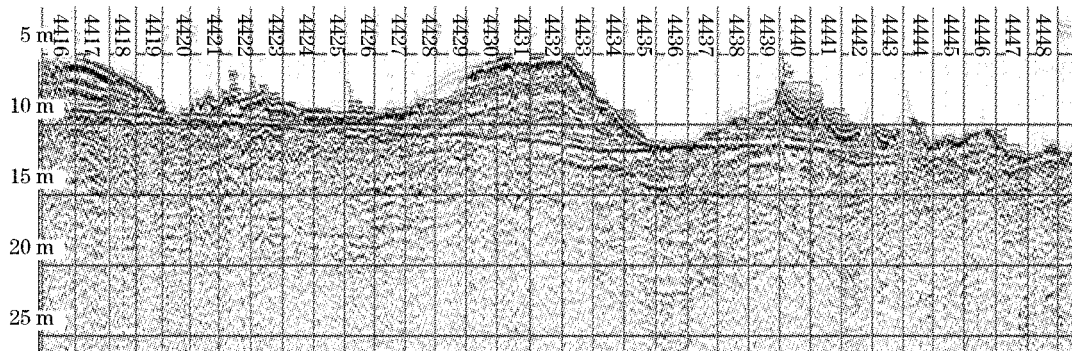


图 3 六股河水下沙脊浅地层剖面记录^②

Fig. 3 Subbottom profile of underwater sand ridges in the Liuguhe River

2) 废弃河口水下三角洲(CL9₅)

1885 年黄河在铜瓦厢决口改道由山东半岛北部入海以来,尾间摆动频繁,曾发生数十次较大规模的改道,每次均形成一个亚三角洲,使该段岸线迅速淤长,而废弃段则快速蚀退^[16]。多期形成的亚三角洲相互重叠,形成了以宁海为顶点,北起套尔河口,南达支脉河口,呈扇形展布的复合现代黄河三角洲体系。1976 年黄河改道后废弃的水下三角洲都遭到了侵蚀^[19],三角洲前缘已不明显。再加上近年来胜利油田在该区进行的石油开采活动,海底地形变化复杂,各种侵蚀微地貌如水下滑坡、滑塌洼地、凹坑等发育普遍。

3) 水下堆积岸坡(CL11)

堆积岸坡地貌过程以堆积作用为主,其发育岸段往往也是淤泥质海岸和潮滩发育岸段,由沿岸大型河流携带的大量泥沙入海随沿岸流扩散、淤积而成,沉积物较细,多为粘土质粉砂。渤海水下堆积岸坡主要分布于河口附近和水动力作用较弱的海湾内,如南堡南岸、莱州湾沿岸和辽东半岛西岸的复州湾、普兰店湾和金州湾。岸线平直,岸坡宽 6~10 km,金州湾和普兰店湾最宽处可达 30 km。受堆积作用影响,岸坡地势平坦,坡度小于 0.1‰,坡脚水深一般为 5~10 m。

4) 水下侵蚀堆积岸坡(CL12)

水下侵蚀堆积岸坡是渤海分布最广泛的岸坡类型,主要分布在辽东湾西岸、东岸和龙口湾内,地貌过程

^② 吕京福,任军,吴桑云. 908-01-QC03 区块调查研究报告, 2010

介于侵蚀、堆积作用之间。不同岸段水动力的侵蚀和堆积作用的程度不同,岸坡坡度也有所不同。辽东湾西岸的葫芦岛港以南至六股河口以北、东岸鲅鱼圈岸外、北戴河至大蒲河之间及龙口湾内岸坡以堆积作用为主,坡度较小,为 0.3‰~1‰,水深 6~10 m,主要沉积物为粉砂质砂。六股河口以南至北戴河以北、滦河口与大清河口之间、辽东半岛西岸的温坨子至长咀子之间、葫芦山湾内、老铁山西角以北至营城子湾和辽东湾一些岛屿附近海域水下岸坡受侵蚀作用较大,岸坡坡度陡,沉积物较粗,下界水深可达 30 m。大蒲河口和滦河口之间、辽东半岛西岸太平湾以北海域岸坡起伏不平,水深 10 m 以内,其上发育潮流沙脊群,表层沉积物以砂为主。

5) 水下侵蚀岸坡(CL13)

渤海水下侵蚀岸坡分布较少,仅砣矶岛北部岸段龙口湾界河口以南海域部分岸段有发育,岸坡狭窄、坡度陡。砣矶岛北部受 NE—SW 向强涨落潮流的冲刷,水动力作用较强,10 m 等深线距岸 700~800 m,物质成分较粗,主要为中粗砂。界河以南段水下岸坡仅 1 km 左右宽,坡降为 10‰,组成物质以细砂、粉砂为主。

6) 海湾堆积平原(CL16)

海湾堆积平原地貌主要分布在渤海湾和莱州湾等海湾内,水深 20 m 以浅,坡度平缓,水动力条件相对稍弱,接受河流和陆源物质沉积,全新世沉积厚 5~10 m,地貌类型比较简单。由于水深较浅,海底表面受波浪垂直作用形成弱侵蚀微地貌,有点状、鳞片状、网状、条纹状冲刷坑槽,侵蚀高度 0.1~0.5 m(图 4)。海底表层沉积物类型渤海湾和莱州湾略有不同。渤海湾主底质较细,以淤泥质粉砂为主,与黄河物质的扩散有关。莱州湾则受黄河和山东半岛沿岸河流直接影响,沉积物自湾顶的砂向外逐渐变为细粒的砂质粉砂和粉砂质砂。由于沉积物来源丰富充足,在莱州湾东部刁龙嘴近岸还发育一个较大的水下堆积砂体——莱州浅滩。浅滩长达 25 km,呈 NW—SE 走向,根部宽 5.5 km,整体呈向西倾斜的“7”字折头形状,砂体净高达 8~10 m,滩面上发育沙波和沙纹。

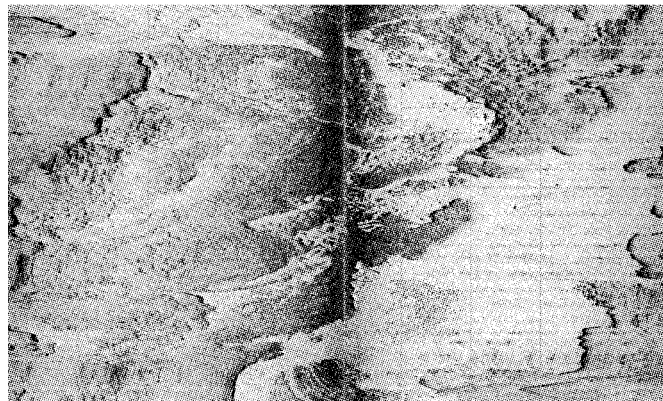


图 4 渤海湾南部的冲刷微地貌^③

Fig. 4 Micro-geomorphology formed by scouring in the southern part of the Bohai Bay

2.2 陆架地貌

2.2.1 陆架侵蚀洼地(SH2)

渤海中部陆架中央地势低洼,发育带状陆架侵蚀洼地。洼地北部沿辽东湾东西两岸向中部倾斜,向南延伸至渤海中部,宽 27 km,走向 NE—SW,与渤海主要断裂郯庐断裂走向一致,其发育受基本构造格局控制,全新世潮流的侵蚀作用也对其有一定影响。洼地南部始于渤海湾堆积平原北部海河水下河谷,向东延伸至渤海海峡口,渤海湾南部地势南部平坦北部自海河水下河谷 16 m 等深线外地势出现倾斜,形成近东西向的

^③ 肖玉仲,石厥民,文武,等. 908-01-QC05 区块调查研究报告,2009

洼地地貌,洼地底部崎岖不平,发育明显的潮流侵蚀沟槽和潮流脊。曹妃甸南侧深槽为一近东西走向的狭长深槽,长 38 km,宽 5 km,槽底水深最深可达 39 m,近年来由于曹妃甸人工岛的建设,曹妃甸南侧的深槽受侵蚀加剧,比历史记载的水深有所加深。南部洼地的形成与渤海古河系的流路有很大关系,古黄河曾北徙绕经天津流经渤海陆架流入黄海,它大致经由海河水下溺谷,穿过渤海中心海底的缓浅谷进入老铁山水道冲刷槽^[23],古河道在全新世海侵时海平面逐渐上升的过程中,被掩埋形成埋藏河谷,在海水的侵蚀作用下逐渐形成现在的洼地地貌。图 5 为浅地层记录到海底埋藏河谷,埋藏河谷所在的陆相地层被侵蚀,上覆全新世海相层。

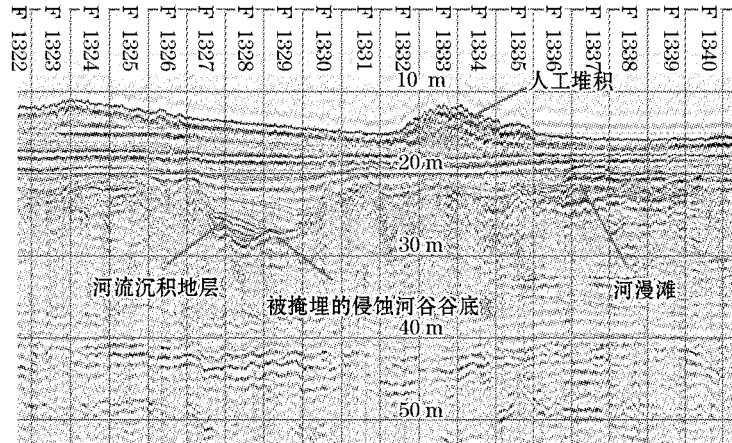


图 5 曹妃甸南侧埋藏河道浅地层剖面记录^③

Fig. 5 Subbottom profile of buried channel in the southern side of Caofeidian

2.2.2 深掘的陆架侵蚀洼地(海釜)(SH2_b)

渤海海峡北部为潮流进入渤海的主要通道,潮流最大流速超过 5 kn,强大的潮流将海底沉积物掏起,形成深达 60~84 m 的冲刷深槽(老铁山水道),在地貌上为深掘的陆架侵蚀洼地(海釜),冲刷深槽在海峡处呈东西方向,进入渤海后向北偏转,与渤海 M₂分潮椭圆长轴方向一致^[1]。水道底部全新世地层缺失,出露晚更新世的砾砂和砾石^[8]。

2.2.3 陆架堆积平原(SH9)

渤海中部水动力环境较弱,海底受陆源沉积物堆积作用影响,在辽东湾中部形成以堆积作用为主的平坦的现代陆架堆积平原,其分布位置与渤海构造上的拗陷盆地相对应。全新世沉积厚度仅有数米,沉积物较细,以细砂为主,受黄河物质扩散影响显著。陆架堆积平原水深 18~26 m,地势平坦,仅秦皇岛水下岸坡外侧略向中部洼地倾斜。

2.2.4 陆架侵蚀堆积平原(SH10)

渤海湾和莱州湾外的陆架平原处在渤海海峡和渤海湾之间,由渤海海峡进出的潮流对其存在一定的侵蚀作用,形成平坦的陆架侵蚀堆积平原地貌,水深 20~25 m,地势平坦,表层沉积物为粘土质粉砂。其中滦河水下三角洲南侧的部分,潮流冲刷作用强烈,海底表面粗糙,发育侵蚀沟槽、沙脊、沙波等微地貌。

2.2.5 陆架侵蚀平原(SH11)

渤海海峡是潮流进出渤海的主要通道,长期强潮流作用将海峡南部海底冲刷出一系列东西向大小不等的冲刷深槽。槽间为庙岛群岛及周围的岩礁,地形起伏剧烈,形成起伏的陆架侵蚀平原地貌。海底沉积物北粗南细,隍城岛附近至老铁山水道为粉砂质砂,庙岛海峡至大钦岛之间受山东半岛北岸黄土海岸侵蚀影响沉积物以粉砂为主。海峡西南部登州水道西南侧发育一个潮流堆积沙体,通常被称作“登州浅滩”,基本呈东西走向,与登州水道和潮流走向一致,是登州水道形成的潮流三角洲地貌体系的一部分^[12]。20 世纪后期,由于

^③ 肖玉仲,石厥民,文武,等. 908-01-QC04 区块调查研究报告,2009

挖沙造成该浅滩沿岸侵蚀显著,面积大幅度减小^[13]。

2.2.6 陆架现代潮流沙脊群(SH6)

辽东浅滩沙脊由老铁山水道的顶部向辽东湾呈指状辐射,形状如同伸开的手指。单条沙脊长度 7~33 km,宽 2~5 km,较大的沙脊有 6 条,由东向西依次排列,中间 4 条基本呈南北方向。最西侧的 6 号沙脊稍微向西北倾斜,从中间断开成为两条。沙脊间为潮流冲刷深槽,形成脊槽相间的地貌形态。脊槽水深相差最大的 3 号沙脊脊槽差可达 24.5 m,沉积物类型脊粗槽细,在脊部一般为细砂和中细砂,槽底为粉砂质砂。

2.2.7 陆架现代潮流沙席(SH7)

渤中浅滩沙席位于辽东浅滩沙脊的西侧,水深 20~22 m,是一片较为平坦的砂质沉积体。浅滩中间稍微凸起,在沙席东南部靠近老铁山水道的一侧,砂体变为条带状,像拖出的 3 条彗尾,指向水道。这显示了该处潮流流速由往复流变为旋转流,形成相应的沉积体形态由沙脊向沙席过渡的过程。

辽东浅滩沙脊堆积区、渤中浅滩潮流沙席堆积区和老铁山水道冲刷槽共同组成了渤海东部潮流沙脊体系,是现代潮流作用形成的堆积地貌而非古残留地貌^[5]。经计算,老铁山水道全新世地层潮流冲刷深度为 10~45 m,冲刷下来的物质被潮流带入渤海,在浅滩堆积,形成辽东浅滩沙脊和渤中浅滩潮流沙席。沙脊区全新世海相地层在脊部可达 26 m,沙席区全新世海相层厚 20 m,均为渤海中除黄河口外全新世沉积最厚和沉积速率最快的海区,估算最大沉积速率为 3 mm/a,沙脊体上还发育不同规模的水下沙丘、沙条、冲刷沟等微地貌类型^[8]。与 20 世纪 70 年代海图水深数据相比,渤海东部潮流沙脊体系水道深度和沙脊高度变化不大,表明近 30 a 来沙脊沉积体系处于动态平衡。

2.2.8 陆架古三角洲平原(SH13)

现代滦河水下三角洲前缘外为古滦河在 1915 年以前发育的一系列三角洲形成的古三角洲平原,其地形平坦,坡度平缓,海底坡降在 2‰~3‰之间,外缘水深可达 15~20 m 等深线附近。海底表层沉积物颗粒较粗,以灰黄色、灰褐色的细砂为主。

2.2.9 古湖泊洼地(SH17)

辽东湾中部有一个碟形的 30 m 等深线圈闭的低洼地带,水深最大可达 33m,通常被称为“辽中洼地”,沉积物以粉砂为主,两侧较粗,杂以砾石、贝壳等,分选较差。辽东湾顶部的古河道由洼地顶部伸入洼地中,表明该处曾经一度位于河口或滨岸环境,后来为薄层现代沉积物所覆盖。在全新世海相沉积层之下,为晚更新世末期或全新世早期的埋藏湖沼沉积,其地貌形态基本保留晚更新世低海面时期的原貌^[24],在地貌类型上属古湖沼洼地。

3 渤海海底地貌的控制因素浅析

渤海海底地貌的发育和演化受到地球内外营力的综合影响。构造和气候变化形成的古地貌是控制渤海海底地貌格局的基础,入海河流以及波浪和潮流等水动力对海底的侵蚀和堆积作用是塑造现代海底地貌的重要因素。同时,渤海沿岸近年来大规模的人类活动也使渤海海底地貌更加丰富。

1) 构造和古地貌

渤海是新生代的隆起和拗陷运动产生的沉降盆地,强烈隆起和断陷的构造格局对其地貌发育的控制作用非常明显^[1]。NE 和 NNE 为主体的断裂构造控制了海底地貌的基本格局,渤海中部陆架堆积平原和陆架侵蚀洼地地貌的形态和走向均与断裂走向相吻合,侵蚀洼地西部海河水下溺谷的发育也与深大断裂有关^[2]。堆积作用为主的渤海湾和莱州湾堆积平原与新生代的拗陷相吻合,冲刷剧烈的渤海海峡与胶辽隆起相吻合,老铁山水道也是沿断裂发育的。

2) 气候变化和海平面上升

渤海海底地貌的发育与气候变化导致的全球海平面上升有密切的关系。末次盛冰期时全球海面下降 130 m,中国东部陆架出露 85 万 km²,古渤海全部出露为陆地,现代渤海海底地貌是经历了晚更新世以来数

次海侵和海退形成的。在海面阶段性上升中,不同的沉积环境塑造了不同的海底地貌系统,李广雪^[25]将末次冰期以来中国东部陆架海底沉积环境划分为4个阶段:低海面时期古滨岸带、快速上升期海侵边界层、慢速上升期潮流沙脊体系和高水位期沉积。这4个阶段的沉积特征与渤海海底地貌的发育非常吻合,低海面时渤海一带变为陆相沉积,发育堆积平原、古河流和古湖泊;海面快速上升期海水从渤海海峡进入渤海,淹没了原来的陆地地貌,形成海底堆积平原和侵蚀洼地;海面慢速上升期渤海的潮流系统基本形成,发育了辽东浅滩、渤中浅滩等潮流沙脊体系,渤海海峡潮流动力地貌也基本形成;高水位期中国东部海域基本达到目前的状态,陆架海环流体系形成,黄河携带泥沙大量进入渤海,渤海近岸海底地貌如河口水下三角洲、海湾堆积平原等水下岸坡等逐渐形成。

3) 现代浪潮流等水动力对海底地貌的塑造

首先,渤海3面环陆,陆地河流对渤海沉积物的贡献达90%^[26],河流所携陆源碎屑物大量填充入海,参与现代海洋沉积过程,不仅在河口附近不同程度地发育了各自的水下三角洲,还把丰富的陆源沉积物搬运到渤海中部,形成海湾堆积平原和陆架堆积平原地貌。渤海整体上表现为浅海相沉积环境,泥沙运动在近岸和海底地貌的塑造中起了很大的作用。其次,渤海平均水深较浅,近岸波浪、潮流和沿岸流等水动力作用非常活跃,是塑造现代渤海海底地貌过程的基本动力。潮流集中进入和流出的地带也是地形变化复杂地貌类型丰富的地方,强大的潮流动力切割海底形成侵蚀洼地和冲刷深槽,潮流的进退搬运泥沙等沉积物,在水沙条件适宜的地方形成潮流沙脊和沙席。

4) 人类活动对海底地貌的影响

近几十年来,随着对环渤海经济圈的开发,人类也参与到了海底地貌的演化过程中。河流改道、航道开挖、码头、人工岛建设、挖沙、填海造地、海洋石油开采等活动不仅直接改变了海底本来的面貌,而且改变了局部地区水动力和泥沙平衡,从而塑造新的地貌形态。在黄河水下三角洲近30 a的变迁中,人类活动对其地貌发育产生了重大的影响。1976年和1996年的人工改道促进了莱州湾西部的现代黄河水下三角洲体系的发育,胜利油田在北部的废弃水下三角洲上进行的一系列开发活动也加剧了废弃三角洲的侵蚀和萎缩。曹妃甸深水大港和码头的建设,以及渤海湾、莱州湾航道开挖和填海工程也改变了局部海底的冲淤平衡,使曹妃甸南侧的深槽有所加深。

4 结 语

我们通过对渤海海底地貌特征及控制因素的分析,得到如下结论:

1) 渤海海底地貌类型丰富,二级地貌可分为海岸带地貌和陆架地貌,海岸带地貌可分为潮间带地貌和水下岸坡地貌,潮间带地貌主要有粉砂淤泥质潮滩、沙滩和岩滩;水下岸坡地貌有河口水下三角洲、海湾堆积平原、水下侵蚀岸坡、水下堆积岸坡、水下侵蚀堆积岸坡等;陆架地貌有陆架堆积平原、陆架侵蚀洼地、现代陆架潮流沙脊群、陆架潮流沙席、陆架潮流冲刷槽和古湖沼洼地等。

2) 渤海地区所处的构造单元是控制渤海海底地貌格局的基础,气候变化引起的海平面升降与渤海海底地貌的发育有密切的关系,入海河流以及潮流和波浪等水动力对海底的侵蚀和堆积作用是塑造渤海海底地貌的重要外力因素。

3) 渤海整体上是一个浅海堆积平原,地貌类型以堆积为主,泥沙运动在近岸和海底地貌的塑造中起了很大的作用。同时,渤海沿岸近年来大规模的人类活动也使渤海海底地貌更加丰富。

致谢:图件编制和成文过程中得到了国家海洋局第一海洋研究所傅命佐研究员指导和帮助。

参考文献(References):

- [1] Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences. Bohai Geology[M]. Beijing: Ocean Press. 中国科学院海洋研究所. 渤海地质[M]. 北京: 海洋出版社, 1985.
- [2] GENG X S. The geomorphological features and forming factors of submarine relief in the Bohai sea and Yellow sea[J]. Acta Geographica Sinica, 1981, 48(4): 423-434. 耿秀山. 黄渤海地貌特征及形成因素探讨[J]. 地理学报, 1981, 48(4): 423-434.
- [3] XU J S. Dynamic factors and feature analysis of geomorphic development of coastal zone in western Bohai Bay[J]. Marine Science Bulletin, 1990(2): 58-64. 徐家声. 渤海西部海岸带地貌发育的动力因素及特征分析[J]. 海洋通报, 1990, (2): 58-64.
- [4] Copilation committee of bays in China, Bays of China seas[M]. Beijing: Ocean Press, 1991. 中国海湾志编纂委员会, 中国海湾志[M]. 北京: 海洋出版社, 1991.
- [5] LIU Z X, XIA D X, TANG Y X, et al. Tidal depositional systems of eastern Bohai sea of Holocene[J]. Science in China(Series B), 1994, 24(12): 1331-1338. 刘振夏, 夏东兴, 汤毓祥, 等. 渤海东部全新世潮流沉积体系[J]. 中国科学: B辑, 1994, 24(12): 1331-1338.
- [6] LIU Z X, XIA D X. A preliminary study of tidal current ridges[J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 1983, 14(3): 286-295. 刘振夏, 夏东兴. 潮流脊的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 1983, 14(3): 286-295.
- [7] LIU Z X, XIA D X. A probe into hydraulic problems About tidal current ridges[J]. Journal of Oceanography of Huanghai and Bohai Seas, 1995, 13(4): 23-29. 刘振夏, 夏东兴. 潮流脊脊的水力学问题探讨[J]. 黄渤海海洋, 1995, 13(4): 23-29.
- [8] LIU Z X, XIA D X. Tidal Sands in the China Seas[M]. Beijing: Ocean Press, 2004. 刘振夏, 夏东兴. 中国近海潮流沉积沙体[M]. 北京: 海洋出版社, 2004.
- [9] XU D Y. China Offshore Geology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997. 许东禹. 中国近海地质[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- [10] LIU J H, W Q, ZHONG S Y, et al. Study on dynamic geomorphology evolution of the Lao Teishan channel, the Bohai Strait[J]. Marine Science Bulletin, 2008, (1): 68-74. 刘建华, 王庆, 仲少云, 等. 渤海海峡老铁山水道动力地貌特征及演变研究[J]. 海洋通报, 2008, (1): 68-74.
- [11] ZHANG Z P, WU J Z, MIAO F M, et al. Forming Mechanism of sands at eastern Liaodong Bay[J]. Marine Geology Letters, 2008, 24(5): 6-13. 张子鹏, 吴建政, 苗丰民, 等. 辽东湾东部水下沙脊成因机制[J]. 海洋地质动态, 2008, 24(5): 6-13.
- [12] LI F L, XIA D X, WANG W H, et al. Discussion on the evolution cause and its recovery for the Dengzhou Shoal[J]. China, Acta Oceanologica Sinica, 2004, 26(6): 65-73. 李福林, 夏东兴, 王文海, 等. 登州浅滩的形成、动态演化及其可恢复性研究[J]. 海洋学报, 2004, 26(6): 65-73.
- [13] WANG Z D, WU S Y, YU J. Study of the recent geomorphological evolution in the Dengzhou shoal area[J]. Coastal Engineering, 2005, 24(1): 29-38. 王忠岱, 吴桑云, 于健. 登州浅滩地貌近期演变研究[J]. 海岸工程, 2005, 24(1): 29-38.
- [14] WANG Q, YANG H, ZHONG S Y, et al. Sedimentary dynamics and Geomorphologic evolution of the Laizhou shoal[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(5): 749-756. 王庆, 杨华, 仲少云, 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.
- [15] REN Y C. Geomorphic features and evolution of the submerged delta of the modern Yellow river[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1992, 12(4): 59-68. 任于灿. 现代黄河水下三角洲的地貌特征及演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1992, 12(4): 59-68.
- [16] FENG X L, QI H S, WANG T, et al. Geomorphological evolution and geological disasters analysis in Chengdao sea area of the Yellow River delta, Rock and soil Mechanics[J]. 2005, 25(Supp. 1): 17-20. 冯秀丽, 戚洪帅, 王腾, 等. 黄河三角洲埕岛海域地貌演化及其地质灾害分析[J]. 岩土力学, 2005, 25(增刊 1): 17-20.
- [17] HUANG J J, LI F, PANG J Z. Land-ocean Interaction Research among Yellow River Delta\Bohai Sea and Yellow Sea[M]. Beijing: Science Press, 2005. 黄家军, 李凡, 庞家珍. 黄河三角洲与渤、黄海陆海相互作用研究[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [18] LI H D, YANG Z S, WANG H J, et al. Factors of Geo-hazards in the modern Yellow river subaqueous delta[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2006, 26(4): 37-43. 李海东, 杨作升, 王厚杰, 等. 现代黄河水下三角洲地质灾害现象的空间分布[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(4): 37-43.
- [19] MI P P, YAN J, ZHUANG L H, et al. The topographical and morphological features of modern Yellow river Mouth area and their relation to erosional/depositional processes[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2010, 30(3): 31-38. 密蓓蓓, 阎军, 庄丽华, 等. 现代黄河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.
- [20] ZHOU X H, YU Y X, TANG L J, et al. Cenozoic offshore basin architecture and division of structural elements in Bohai sea[J]. China Offshore Oil and Gas, 2010, 22(5): 285-289. 周心怀, 于一心, 沈良杰, 等. 渤海海域新生代盆地结构与构造单元划分[J]. 中国海上油气, 2010, 22(5): 285-289.

- [21] The Office of Special 908 Project, SOA. Comprehensive Survey of Offshore Marine and Evaluation Project in China—Specifications for Feature Classification Code, Schema and Legend[M]. Beijing: Ocean Press, 2008. 国家海洋局 908 专项办公室. 我国近海海洋综合调查要素分类代码和图式图例规程[M]. 北京: 海洋出版社, 2008.
- [22] WANG Z Y, CHENG D S, LIU C. Delta processes and management strategies in China—II The Yellow and Haihe River[J]. Journal of Sediment Research, 2006, (1): 76-81. 王兆印, 程东升, 刘成. 人类活动对典型三角洲演变的影响——II 黄河和海河三角洲[J]. 泥沙研究, 2006, (1): 76-81.
- [23] GENG X S. Ancient channel system at the east continental Shelf of China sea, Marine Science[J]. 1981, (2): 21-26. 耿秀山. 中国东部海底陆架的古河系[J]. 海洋科学, 1981, (2): 21-26.
- [24] LI F, LIN M H. Submarine relict geomorphic and relict sediment of Liaodong Bay[J]. Studia Marina Sinica: 22 Series, Beijing: Science Publishing House, 1984: 56-57. 李凡, 林美华. 辽东湾海底残留地貌和残留沉积[J]. 海洋科学集刊: 第 22 集. 北京: 科学出版社, 1984: 56-67.
- [25] LI G X, LIU Y, YANG Z G. Sea-level rise and sedimentary environment response in the east China continental shelf since the last glacial maximum[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2009, (4): 13-19. 李广雪, 刘勇, 杨子赓. 中国东部陆架沉积环境对末次冰盛期以来海面阶段性上升的响应[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, (4): 13-19.
- [26] QIAO S Q, SHI X F, WANG G Q, et al. Discussion on grain-size characteristics of seafloor sediment and transport pattern in the Bohai Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2010, 32(4): 139-147. 乔淑卿, 石学法, 王国庆, 等. 渤海海底质沉积物粒度特性及输运趋势探讨[J]. 海洋学报, 2010, 32(4): 139-147.

Analysis on Geomorphological Features and Their Controlling Factors in the Bohai Sea

LIU Xiao-yu, DONG Li-feng, CHEN Yi-lan, ZHOU Xing-hua

(First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China)

Abstract: The geomorphological types and their distribution characteristics in the Bohai Sea are described based on historical data, results of previous studies and the data obtained in the bathymetric, side scan sonar and subbottom profile surveys carried out during the coastal topography and geomorphology programs in China. The geomorphological evolution tendency in some key areas is discussed by comparing the historical data to the newly-obtained investigation results. Meanwhile, the factors that influence and control the seafloor geomorphological development in the Bohai Sea are analyzed from the aspects of geological structure, sea-level change, river and tidal hydrodynamics and human activities.

Key words: the Bohai Sea; seafloor geomorphology; tidal dynamics; geomorphological evolution

Received: December 15, 2012