

泥岸养滩技术与效益评估

——以天津东疆浴场建设和评估为例

庄振业¹, 刘修锦², 邱若峰², 赵东波³, 李 兵⁴

(1 中国海洋大学海洋地球科学学院, 青岛 266100; 2 河北省地矿局秦皇岛矿产水文工程地质大队, 河北秦皇岛 066000;
3 福建海洋研究所, 厦门 361013; 4 国家海洋局海岛研究中心, 福建平潭 350400)

摘 要:天津塘沽东疆港区海岸位于海河口和永定新河口之间, 是典型的粉砂淤泥质海岸, 潮滩低平, 沉积物黏、滑而下陷, 海水含沙量极高, 风暴潮期间水深浪大, 缺乏建沙滩的工程地质条件。通过采取建 3.8 km 长的半封闭防波堤围堰、竹筏—土工布沙泥隔板、双沙泥界网和人工抛沙 20 万 m³ 等措施, 于 2008 年建成 1 370 m, 宽 140 m 的人造沙滩。泥岸养滩是我国的首创, 国外尚无一例。目前我国在淤泥质岸上已建了十多个人造沙滩, 最成功的有上海金山、天津东疆和潍坊央子 3 处, 分别在建围堰、隔板、界网以及沉泥碧水等方面积累了较好的经验。

关键词:粉砂淤泥质海岸; 人造沙滩; 防波堤围堰; 沙泥隔板; 沙泥界网

中图分类号:P753 **文献标识码:**A **DOI:**10.16028/j.1009-2722.2016.04008

近年来, 为防治海岸侵蚀灾害, 国内外普遍发展起海滩养护工程^[1,2]。国外养滩几乎都是通过向受蚀海滩抛沙达到稳滩甚至扩滩的目的, 建立起宽阔的砂质海滩^[3]。我国粉砂淤泥质海岸约 6 000 km, 占全国大陆海岸的 30%^[4], 辽、鲁、苏、浙均有较大的比例^[5], 粉砂淤泥质海岸淤泥黏、滑而下陷, 海水含沙量颇高^[6]。山东省东营市、河北省唐山市菩提岛曾尝试在淤泥岸上抛沙建沙滩浴场, 皆毁于风暴潮的强浪和高含沙量的海水。2005 年, 上海金山浴场通过沉泥碧水技术首次在粉砂淤泥质潮滩上建成人造沙滩^[2]。随后, 2008 年, 天津塘沽以隔泥阻陷技术建成我国第 2 个人造沙滩。泥滩养滩工程是我国的首创, 目前为止,

尚未见国外类似类型的养滩报导。沪、津两泥岸养滩工程以及其后的潍坊央子工程的建设将推动我国乃至世界养滩业的发展。

笔者介绍了天津塘沽东疆区海岸环境、人造沙滩构建过程和效益评估, 同时分析了当前我国养滩技术, 总结基本经验, 探讨沉积机理, 以利我国泥岸养滩和世界养滩工程的发展。

1 天津塘沽东疆区海岸环境

天津市东疆区位于永定新河河口和海河河口之间的开发区内, 该区分为码头作业、物流作业和综合配套服务 3 个亚区。综合配套区岸长 2 km, 重点是人造沙滩建设, 其南约 100 m 为天津新港北防波堤, 其北约 3 km 为永定新河河口。该段海岸南北延伸, 向东开敞, 沙滩围堰外侧水深 2 m, 内侧为开发区顺岸围堰坝(图 1)。2000 年以前, 该区为顺岸坝外的淤泥潮滩。

天津港海域的潮汐属于不正规半日潮, 具有

收稿日期:2015-12-5

基金项目:国家海洋局公益性项目海岛旅游海滩管理技术研究与应用示范(201405037); 福建省海岛与海岸带管理技术研究重点实验室项目(CIMTS2014-01)

作者简介:庄振业(1936—), 男, 教授, 主要从事海洋地质方面的研究工作. E-mail: zhyzhuang123@163.com

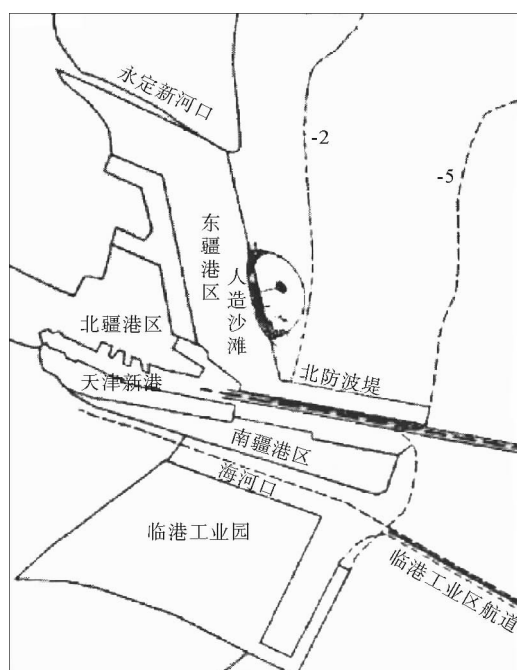


图1 天津市东疆人造沙滩位置

Fig.1 Location of the artificial beach at the Tianjin Dongjiang

明显的日潮不等现象。落潮历时大于涨潮历时,平均涨潮历时为 5 h40 min,平均落潮历时为 6 h53 min。平均潮差 2.35 m,平均高潮位 3.67 m,平均低潮位 1.32 m(黄海基准)。近海潮流基本属于往复流性质,涨潮流向 NW,落潮流向 SE,在近岸靠近工程区域流向有所变化。涨潮流速大于落潮流速,涨潮流速平均约 0.24 m/s,落潮平均约 0.17 m/s,整体看,潮流动力较弱。流速纵向分布呈外海大于近岸。

波浪以风浪为主,占 68.4%;混合浪为辅,占 31.6%;纯涌浪很少,仅占 0.6%。常浪向为 S 向,强浪向为 NE。各级波向的分布率为: <1.0 m 的占 84.0%; 1.0~1.9 m 的占 15.7%; ≥2.0 m 的仅占 0.3%。说明波浪相对较弱,但风暴潮期间水位增高约 1.5~2.0 m,波浪力相应增强。

海水含沙量随季节而变化,夏季是无风季节,风浪较小,其水体含沙量也是全年最小的季节,平均约为 0.06 kg/m³;在春秋季节,因受寒潮的影响,风浪增强,含沙量也随之增高,平均约为 0.08 kg/m³;而到冬季风浪最强,水体含沙量也呈最大状态,平均约为 0.12 kg/m³。垂向含沙量的分布随水深增大呈减小的规律, -2 m 处平均约为

0.18 kg/m³; -5.0 m 处平均约为 0.10 kg/m³;至 -7.0 m 处平均约为 0.08 kg/m³。说明愈近岸水浅含沙量愈高。

近岸区潮间滩面泥沙属于黏土粉砂类型,泥沙颗粒很细,平均中值粒径为 0.007 mm,细砂含量占 8.6%,粉砂占 51.0%,黏土占 40.4%,其黏结性较强。从不同季节取样结果看,冬季的泥沙稍粗,平均中值粒径为 0.009 6 mm;春秋两季次之,平均中值粒径为 0.008 2 mm;夏季稍细,平均中值粒径为 0.006 mm^[7]。可见,底质泥沙的变化与气候的变化有密切的关系,在风浪较强的季节里,滩面泥沙略粗,而在小风浪季节则偏细,这也与水体含沙量的变化相对应。

潮间滩面十分平缓,平均坡度约 0.01%~0.02%,表面下陷约 5~10 cm,活动层以下含沙增多,承压力相对变高。

2 人造沙滩构筑过程

东疆港人造沙滩浴场是在粉砂淤泥质海岸上构建的,总体工程包括环抱半封闭式防波堤围堰、1 370 m 长的人造沙滩和沙泥界网 3 部分(图 2)。

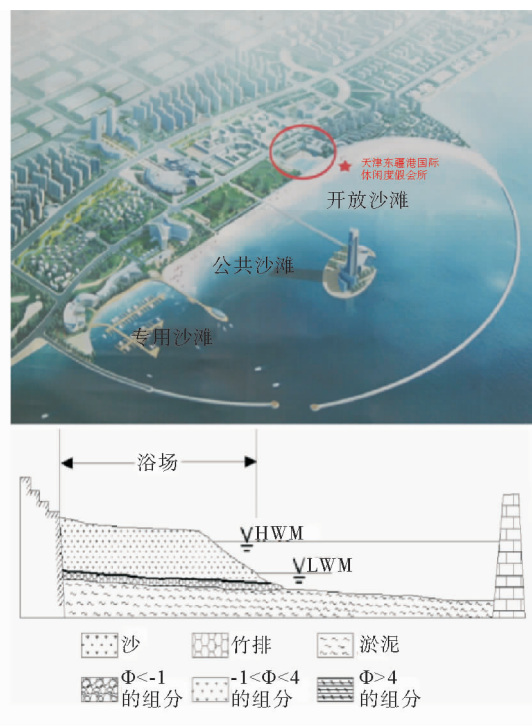


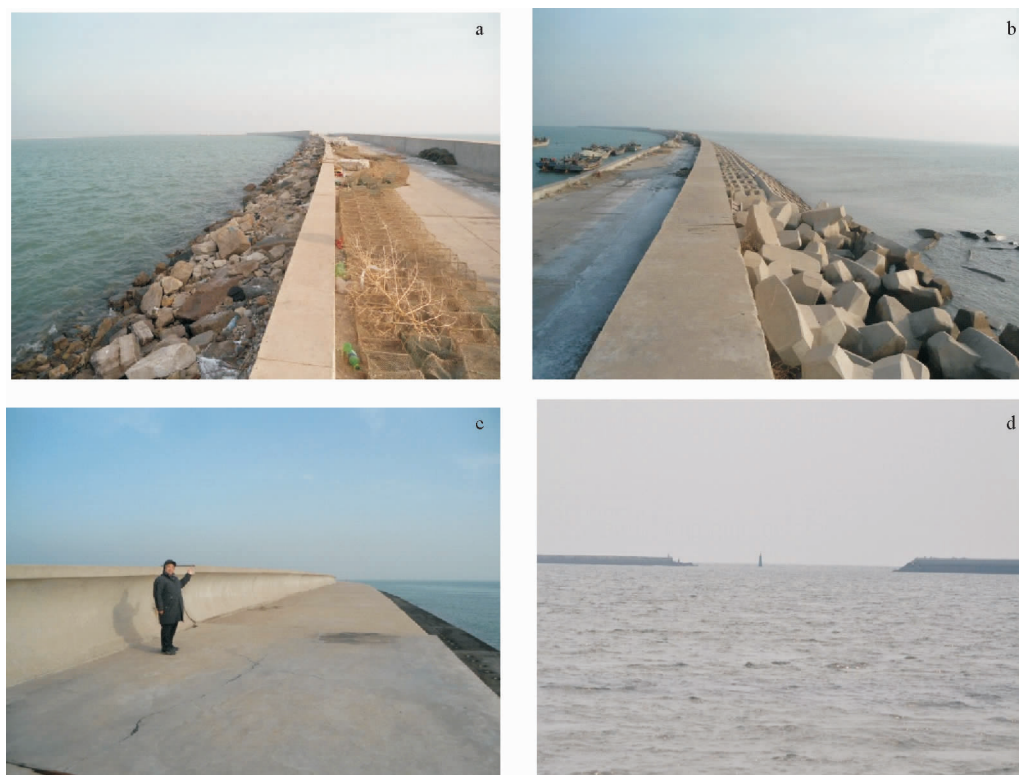
图2 天津市东疆人造沙滩和围堰

Fig.2 The beach and the cofferdam

2.1 防波堤围堰

为了降低风暴潮和波浪对人工沙滩的冲击和海水的沉泥作用,首先要建防波堤围堰,按设计采用半封闭式椭圆形(短半径 1 250 m)。防波堤(图 2)长约 3.8 km,顶面宽约 8 m,高程约 3.6 m。风暴浪可爬顶,但可被内侧 1.5 m 高的

短墙(图 3c)所阻挡。防波堤外侧以四角水泥块体护坡(图 3b),内侧为高角度斜坡护岸(图 3a),防波堤围堰口门面向 SE,宽约 0.12 km(图 3d),两端建高出堤面约 15 m 的灯塔,以便船只进出。口门低潮水深 3 m 左右,两侧的防波堤头端为了降低波能辐聚而建成水泥斜坡式,斜入海水中。



a 防波堤内坡;b 防波堤外坡;c 防波堤内挡墙;d 口门和灯塔

图 3 防波堤围堰(摄于 2014 年 10 月 28 日)

Fig. 3 The breakwater cofferdam (2014. 10. 28)

2.2 人造沙滩

东疆海岸为海河口淤泥质潮滩,在其上铺设沙滩要经历 3 道工序:

(1)原滩表层为稀而黏的不稳定泥层,通称为潮汐沉积活动层。在建人造沙滩之前需要吹蚀掉。

(2)建隔板层。隔板层在泥层与沙层之间,厚约 10~12 cm,分上下 2 部分,下部由直径 6 cm 左右的毛竹子用塑料绳交叉编扎呈大型竹筏,竹距 20~30 cm,铺设在泥层之上,上部盖有特制的

加厚(约 1~2 mm)宽面土工布(图 4b)。

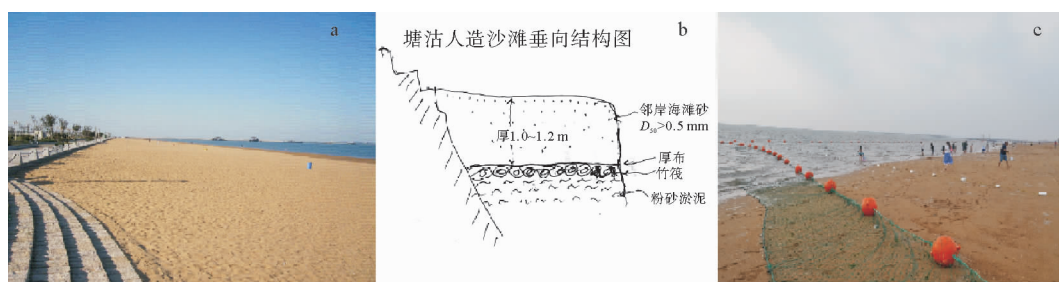
(3)抛沙建滩。在土工布上盖有厚约 1.1 m (高潮线向陆),表面为向海倾斜的海滩中粗砂。该沙来自外埠海滩, D_{50} 为 0.793 mm。2008 年一次性抛沙约 20 万 m^3 ,建成长约 1 370 m,宽约 140 m,滩面平坦,外坡接近 2° 的人造沙滩(图 4a)。沙滩外缘延伸至低潮线附近,沙层逐渐变薄。

2.3 沙泥界网

在低潮线附近建活动式网,每年 5—10 月挂

网,网高约 3 m,上为浮漂,分内外两网(图 4c),两网间距约 10 m。游人不得过内网,外网附近有小

船看管,游人不慎过网,进入黏滑的淤泥滩,可能出现危险。



a 滩面;b 淤泥层—竹筏—土工布—沙层层序;c 活动式双沙泥界网

图 4 人造沙滩

Fig. 4 The artificial beach

3 工程效果

浴场建成至今 6 年余,滩沙松软平坦,夏季每天接待游客约 2 万人,每年收入百万以上。长远来看,东疆浴场作为淤泥岸上的人造沙滩,其成败标志主要体现在沙滩的沙流失^[8]和是否泥化两方面。

沙流失是砂岸抛沙养滩的主要威胁,抛沙后的新滩在波浪作用下发育新的平衡剖面^[8],新滩快速蚀退,逐渐于 1 年左右进入新滩稳定阶段^[9]。有时这一阶段容易引起所抛沙的严重流失^[9]。东疆的人造沙滩于 2008 年建成,2010 年作过调整,新滩宽度接近设计的 140 m。2010 年至今,5 年未再大规模抛沙,滩宽仍保存 90~100 m,目前滩肩前坡极缓,逐渐过渡到滩面,横向总坡度不足 2°,沿岸未见侵蚀陡坎(图 4a),说明波浪比较微弱,沙滩稳定。无疑是半封闭式防波堤围堰起到消浪的作用。

东疆海岸地处海河口外,海水含沙量很高,人造沙滩能否泥化一直受人关注,设计者为此曾做了较多的实验和调查(表 1)^[7]。围堰建成后,堰内水流条件甚弱,悬移泥沙会在沙滩上淤积,不久会在水下滩面上沉积泥层,2009 年,发现低潮线附近有不足 1 cm 厚的泥层^[7],笔者也发现在 2011 年春季(冬季发生多次风暴潮)低潮线处沙滩表面有 0.4 cm 厚的泥层。为了消除低潮线附近的薄泥层,沙滩管理者在每年春季要进行全部

表 1 沙滩泥层观察统计(据文献[7])

Table 1 The statistics value of sand layer
(from reference [7])

位置	夏季 月平均淤厚	夏季 月平均淤厚	年平均淤厚
开放沙滩区	0.3	0.6	5
公共沙滩区	0.5	0.9	8.3
专用沙滩区	0.4	0.7	5.6

沙滩平整,除去薄泥层,同时向滩面扬沙整治。说明沙滩仍存在泥化的威胁,当然还未计算粒间含泥量的增加状况。笔者 2015 年又发现低潮线附近有下伏灰色泥层穿刺到沙层以上的现象(图 5),说明人工抛沙量不足和隔板宽度不够。



图 5 下伏灰色泥层穿刺到沙层以上(摄于 2015 年 7 月 5 日)

Fig. 5 The underlying mud layer
penetrated into sand layer(2015.07.05)

4 讨论与评估

从以潮流为主要动力的悬浮沉积环境跃到以波浪为主要动力的砂质沉积环境,在沉积学上称为跳相过程。在粉砂淤泥质岸上建沙滩(统称人造沙滩)是我国独创的海滩养护类型^[10],国外未见类似案例。目前我国泥岸养滩工程已近 10 处,有的工程经历过较多的弯路,后被毁掉,大部分成功,最成功的人造沙滩是上海金山人造沙滩、天津东疆人造沙滩和潍坊央子人造沙滩。与砂岸抛沙养护工程相比,相同之处是抛沙环节,最终都要建成或养护成宽阔而松软的沙滩。不同之处是泥岸养滩要面对强浪冲击、高含沙量海水沉积和泥层滑陷等 3 项环境问题。相应要采取的措施是建防波堤海水围堰、沙泥隔板和沙泥界网等 3 道特殊

的工序。

4.1 防波堤围堰

围堰是以防波堤的建造达到消浪和防止高含沙量海水侵入沙滩的工程,从而稳定沙滩和抵御沙滩泥化。目前我国较好的泥岸养滩围堰模式有以下 3 种。

(1) 上海金山浴场封闭式围堰模式

2005 年在杭州湾北岸金山县的淤泥岸上建成 10 km 的长方形封闭防波堤围堰,变高含沙量海水为 1.5 km² 的“湖水”(图 6a),每 7~10 天换水 1 次,称为沉泥碧水工程。防波堤以水泥方块护岸,顶面高出风暴潮高度。至今 10 年间,防止了暴风浪的冲击,也使岸外高含沙量的海水变为堤内清水,消除了沙滩泥化之忧。



a 上海金山封闭式围堰;b 天津东疆半封闭式弧形围堰;c 潍坊央子的鱼尾式丁坝群护沙

图 6 人造沙滩围堰工程

Fig. 6 The cofferdam of artificial beach

(2) 天津东疆沙滩半封闭式弧形围堰模式

2008 年开始建开口式弧形防波堤围堰,口门宽 120 m,自然通海(图 6b),大浪期间可以消减近沙滩的波能,避免了沙流失,但风暴浪期间高含沙量的海水可以过门而入,造成沙滩下部沉积薄泥层,并渗入砂粒之间,降低了沙滩下部的平均粒径。

(3) 潍坊央子人造沙滩的鱼尾式丁坝群护沙模式

潍坊央子人造沙滩位于莱州湾顶防潮坝外的潮滩上,每年多次风暴潮,水位高,浪力强。2013

年建长鱼尾状丁坝群半封闭式沙滩围堰^[11](图 6c),成功抵御冬季风暴潮和强浪,至 2015 年沙滩宽度基本无减。

潮滩(原滩)以潮流悬浮沉积为主,基本理论是涨落潮的滞后效应^[12],但在风暴潮和强浪作用下,波浪对海岸泥沙的侵蚀力远大于潮流的作用,防波堤围堰工程就能起到消浪作用。上述 3 种模式说明我国粉砂淤泥岸上的人造沙滩必须构筑坚固的防波堤围堰,以防护沙滩沙的流失。上述 3 种围堰模式均能消浪护沙,但面对高含沙量海水的潮滩,采用上海的全封闭式围堰模式较好,天津

和潍坊的半封闭式围堰虽然均能消浪,但难以消除沙滩的泥化。

4.2 沙、泥隔板

沙、泥隔板是沙层和下伏泥层间的隔层。粉砂淤泥质潮滩泥层要承受当潮悬浮泥的沉积,厚约1~3 mm,厚者可达10 mm以上,这种黏滑的泥层在沙层之下就会引起起伏地层被压实、滑动,不均匀的沉降和穿刺到上覆沙层中。为了预防泥、沙层之间发生不良工程地质作用,我国目前有天津东疆的竹筏—土工布隔板和潍坊央子的塑料格栅—土工布隔板2种模式。前者,已于前述;后者是以塑料格栅代替前者的竹筏。格栅由相互联结的高强度栅条组成,栅条厚约2 mm,宽约0.5~1.0 cm,栅条间距约3 cm,栅条板之上盖有宽面加厚的土工布,布上铺上异地海滩沙。对比2种隔板模式,竹筏—土工布结构较为坚固、平坦,而塑料格栅在沙层之下容易弯曲和起伏,凸起者易被波浪冲刷出露。

4.3 沙泥界网

沙泥界网是游人安全的保障,前文提及的3个人造沙滩皆以不同方式构建了沙泥界网:上海金山的铁丝连接一系列桩柱的固定式界网、天津东疆的活动式漂浮双网和潍坊央子的活动式浮飘单网。三界网各有千秋,按各泥岸特征,上海固定式较为坚固,建成7年未见损坏,但常无人看管;天津和潍坊活动式界网在夏季挂上时较为安全,但冬季收网期间难免不发生问题。厦门曾发生过小海湾上建小型人造沙滩,因陷于沙外缘的泥层中而造成人员伤亡的案例,足见沙泥界网的作用十分重要。

5 结论

天津东疆港开发区海岸是典型的粉砂淤泥质海岸,地质地理条件极不适于建浴场,依靠泥岸养滩技术,2008年抛沙20万 m^3 ,建成长1370 m、宽140 m的人造沙滩,效果较好,一直使用至今。

除抛沙之外,沙滩构建主要工序还建了3.8 km长的弧形半封闭防波堤围堰,沙泥层之间的

竹筏—土工布隔板和活动式双沙泥界网,有力地阻挡了风暴潮期间波浪对人造沙滩的冲击,防止了所抛沙的流失。但围堰有口门,不能完全隔离高含沙量的海水对沙滩的泥化影响;竹筏—土工布沙泥隔板,消除了原滩淤泥黏、陷和滑的不利工程地质环境,使沙滩覆盖部分数年稳定,但因抛沙量过少,隔板宽度不够,致局部淤泥穿刺到沙层上。与国内其他相应工程相比,该隔板工程是成功的范例。

在粉砂淤泥质岸上建人造沙滩是我国在海滩养护工程中的创造。2005年以来已建成或待建10余项人造沙滩工程,国外尚无一例。在其中的“围堰”、“隔板”和“界网”工程上,上海金山、天津东疆和潍坊央子3个典型模式分别适合我国辽、鲁、苏、浙等大面积淤泥质海岸的建滩环境,值得推广。

参考文献:

- [1] 胡广元,庄振业,高伟. 欧洲各国海滩养护概观和启示[J]. 海洋地质动态,2008,24(2):24-33.
- [2] 庄振业,曹立华,李兵,等. 我国海滩养护现状[J]. 海洋地质与第四纪地质,2011,31(3):133-139.
- [3] 迪安(Dean R. G.). 海滩养护:理论与实践[M]. 蔡锋,等,译. 北京:海洋出版社,2010.
- [4] 刘锡清. 中国海洋环境地质学[M]. 北京:海洋出版社,2006.
- [5] 陈吉余. 中国海岸侵蚀概要[M]. 北京:海洋出版社,2010.
- [6] 时连强,夏小明. 我国淤泥质海岸侵蚀研究现状与展望[J]. 海洋学研究,2009,26(4):72-78.
- [7] 孙连成. 天津东疆港区人工沙滩冲淤稳定性试验研究[J]. 水运工程,2009,总第424期(2):7-12.
- [8] Spielmann K, Certain R, Astruc D, et al. Analysis of submerged bar nourishment strategies in a wave-dominated environment using a 2DV process-based model[J]. Coastal Engineering, 2011,58:767-778.
- [9] Hamm L, Capobianco M, Dette H H, et al. European beach nourishment experience[J]. Coastal Engineering, 2002,47:237-264.
- [10] 庄振业,杨燕雄,刘会欣. 环渤海砂质岸侵蚀和海滩养护[J]. 海洋地质前沿,2013,29(2):1-9.
- [11] 周军,庄振业,曹立华,等. 潮滩上的人造沙滩——潍坊滨海旅游沙滩构建始末[J]. 海洋地质前沿,2014,30(4):64-70.
- [12] 王琦,朱而勤. 海洋沉积学[M]. 北京:海洋出版社,1989.

MUD SHORE BEACH NOURISHMENT TECHNOLOGY AND BENEFIT EVALUATION: CONSTRUCTION AND EVALUATION OF TIANJIN EAST BEACH

ZHUANG Zhenye¹, LIU Xiuji², QIU Ruofeng², ZHAO Dongbo³, LI Bing⁴

(1 College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;

2 Qinhuangdao Mineral Resource and Hydrogeological Brigade,

Hebei Geological Prospecting Bureau, Qinhuangdao 066001, Hebei, China;

3 Fujian Institute of Oceanography, Xiamen 361013, China; 4 Island Research Center, SOA, Pingtan 350400, Fujian, China)

Abstract: The Tianjin Tanggu Dongjiang harbour is located between the Haihe River estuary and the Yongding River estuary. It is a typical muddy coast with low tidal flat and stick and slip sediments. The sediment concentration of sea water is high and the wave is strong during the storm surge. Therefore, there was no engineering geological condition to building sand beaches. After construction of a semi-closed breakwater cofferdam which is 3.8 km long, and a sand-mud separator which consists of Bamboo raft-geotextile, an artificial beach, which is 1 370 m long and 140 m wide, was constructed in 2008. It has successfully provided conditions for swimming and summer holidays. Beach nourishment at muddy coast is an innovation by Chinese. So far, we have built tens of artificial beaches along the muddy coasts of China, among which, the artificial beaches at Shanghai Jinshan, Tianjin Dongjiang and Weifang Yangzi are the most successful ones. They have provided useful experiences in building cofferdam, separator, sector net and the facilities to precipitate mud and clean water.

Key words: muddy coast; artificial beach; breakwater cofferdam; sand-mud separator; sand-mud border net

(上接第 50 页)

DEEPWATER TRAPS AND OIL ACCUMULATION MODELS IN THE GULF OF MEXICO

ZHAO Yang, LU Jingmei, LIU Xuekao

(CNOOC Research Institute, Beijing 100027, China)

Abstract: As one of the most sought-for basins in global deep water oil exploration, the deepwater Gulf of Mexico (GoM) has become a focus operation area for major oil companies. According to the analysis of petroleum geologic conditions and the discussion on trap types and oil accumulation models, it is revealed that the distribution of exploration plays is characterized by obvious zonation. There are two types of traps, named 4-way and 3-way, with 3-way as the majority. Key factors for exploration prospects in the deep water GoM are trap, reservoir and migration, while focus varies in different plays. Through comparing oil accumulation elements of the three plays, it is concluded that the Jurassic Norphlet sand play shows superiority to the Wilcox play, and the Miocene play shows inferiority to the Wilcox.

Key words: Gulf of Mexico (GoM); deep water; salt structure; trap type; accumulation model