



某离岸人工岛平面方案论证*

胡殿才¹, 汪生杰¹, 崔 峥²

(1.中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120; 2.南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

摘要: 在分析水文泥沙资料的基础上, 采用海岸地貌、潮流数值模拟、物理模型试验等技术手段, 对建于粉砂质海岸的某离岸人工岛平面方案进行研究论证。研究表明, 人工岛的建设对流场的影响范围仅限于岛南北侧500 m和东西侧1 500 m范围之内, 平面布置与潮流、波浪相适应, 所采取的护岛潜堤、长短平护等防护措施有效, 平面布置方案合理可行。

关键词: 人工岛; 平面方案论证; 海床稳定性; 数模; 物模试验

中图分类号: TV 139.2⁷

文献标志码: A

文章编号: 1002(4972)2012-0162-06

On plane program of offshore artificial island

HU Dian-cai¹, WANG Sheng-jie¹, CUI Zheng²

(1.Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Shanghai200120,China;

2.Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029,China)

Abstract: This paper, which on the basis of analysis of hydrology and sediment data, uses the numerical simulations of coastal landforms and tidal current, physical model tests and other technical means to research the plane program of an offshore artificial island on the silty shore. The study result indicates that the impact of the artificial island on flow field is restricted within a scope of 500 m to the south and north as well as 1 500 m to the east and west. The island layout is adapted to the tidal current and wave conditions, while the island protection measures, such as submerged protecting dike, long and short bed protections, etc., are effectively applied, and thus the layout scheme is appropriate and feasible.

Key words: artificial island; plane program demonstration; stability of seabed; numerical simulation; physical model test

传统顺岸式填海方式不利于我国宝贵的海洋滩涂资源的科学、协调、可持续开发利用, 已受到严格限制。而离岸人工岛有利于增加海岸线长度、降低对海洋环境的影响程度, 提升所造地块的景观价值、社会经济和环境效益, 实现科学合理用海, 将成为未来向海洋要地的主要方式。

在工程应用领域, 潮流数值模拟比较成熟, 应用广泛, 但由于仅考虑潮流, 而忽略了波浪、泥沙等因素, 使其结果往往存在局限性; 物理模型可较好地模拟现场情况, 可考虑潮流、波浪、

泥沙等多因素, 但成本高、周期长, 往往只能针对主要因素及少数工况进行试验, 特别是由于试验场地及试验技术的限制, 不能采用正态模型, 往往只能采用变态模型, 试验比尺也难以完全相似, 只能根据不同的试验工况, 力求主要因素相似, 次要因素尽量相似, 试验结果有时与实际情况也有一定的差异。

某离岸人工岛用于滩海石油勘探与开发, 海洋环境保护要求严格, 工程海域属粉砂质海床, 浅滩、深槽、沙脊交错分布, 海域地形条件复

收稿日期: 2012-09-27

*基金项目: 中交上海航道局2009技术研发项目

作者简介: 胡殿才(1974—), 男, 高级工程师, 从事港航工程研究设计工作。

杂, 平面方案及海床稳定性是决定项目技术可行性的关键。本文采用海岸地貌分析、潮流数值模拟、物理模型试验等技术手段, 对建于粉砂质海岸的某离岸人工岛平面方案进行综合论证。

1 平面方案

人工岛位置根据地下油藏确定, 位于水下沙脊东侧尾端, 滩面高程约 $-2 \sim -3\text{m}$ (当地理论最低潮面, 下同), 海底地形坡度 1% 左右 (图1)。

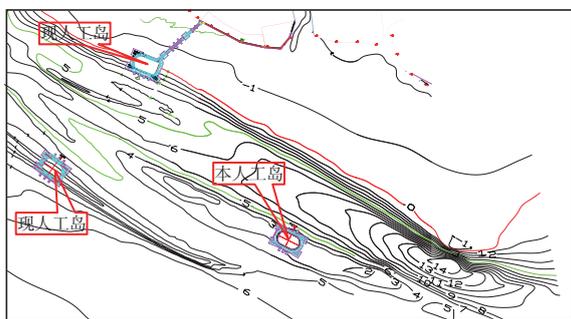


图1 人工岛位置 (等深线单位: m)

人工岛呈近似椭圆形布置, 面积 0.23 km^2 , 布置码头一座, 水深 4.5 m , 采用扭王字块体护坡, 布置护岛潜堤4座, 长 $150 \sim 200\text{ m}$, 采用软体排平护+长平护底, 见图2。

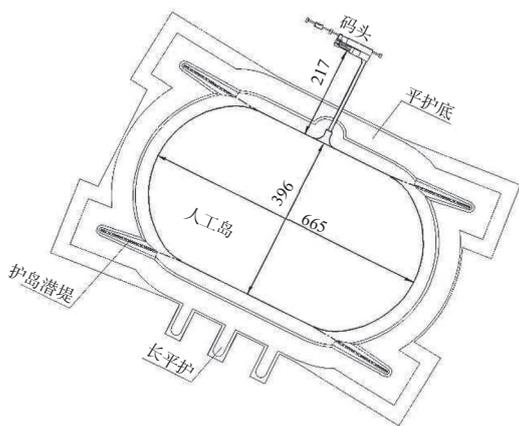


图2 人工岛平面 (单位: m)

人工岛设计使用年限为 50 a , 防洪标准(重现期) 100 a , 1级堤防, 滩海结构物安全等级为I级, 港口工程为1级水工建筑物。

2 水文泥沙条件分析

工程海域潮汐为不规则半日潮, 平均高潮位

2.7 m , 平均低潮位 0.75 m , 100 a 一遇高潮位 4.71 m , 100 a 一遇低潮位 -1.55 m 。波浪主要为风浪, 常浪向及强浪向均为SE向, SE向 100 a 一遇波高 $H_s=3.54\text{ m}$, $T=9.6\text{ s}$, 50 a 一遇波高 $H_s=3.48$, $T=9.4\text{ s}$; SW向 100 a 一遇波高 $H_s=2.65\text{ m}$, $T=5.8\text{ s}$; 50 a 一遇波高 $H_s=2.63\text{ m}$, $T=5.8\text{ s}$ 。潮流呈往复流特性, 涨潮流略大于落潮流, 涨、落潮最大流速一般都出现在表层或近表层, 涨潮最大流速 1.16 m/s , 落潮最大流速 0.80 m/s 。垂线平均含沙量 $0.1 \sim 0.2\text{ kg/m}^3$, 底沙为粉细沙, 中值粒径 $d_{50}=0.04\text{ mm}$ 。

3 海床稳定性分析

人工岛海床稳定性与泥沙运动密切相关, 常常受制于海岸动力、泥沙因素和工程条件3因素。海岸动力包括潮汐、波浪、海流, 泥沙因素包括泥沙来源和泥沙特性^[1]。

3.1 地质地貌特征

工程海域属于曹妃甸海域, 处古滦河三角洲前沿和渤海湾中央深槽的交界地带, 为典型的泻湖沙坝体系, 依据沿岸沙堤内外的水动力条件、地形、地貌特征的不同, 分为4个地貌区: 1) 西部无沿岸沙堤浅海区: 曹妃甸以西一南堡岸线以外的潮间带及浅海区, 即本工程海域; 2) 东部沿岸沙堤内潮湖坪区; 3) 东部沿岸沙堤外浅海区; 4) 东部大型潮沟区: 曹妃甸东北的 $15 \sim 20\text{ km}$ 处分布有老龙沟和二龙沟等两条大型潮沟^[2]。人工岛所处的西部无沿岸沙堤浅海区自陆向海依次分布有高潮坪、低潮坪、大型潮沟、潮流沙脊等 (图3)。

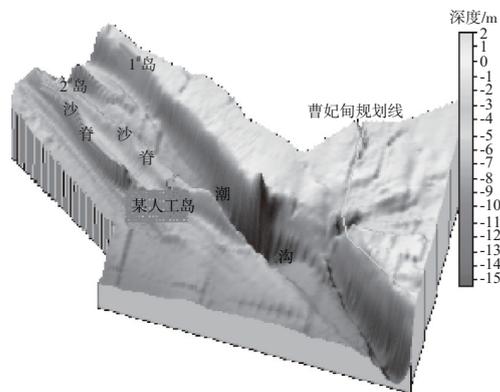


图3 人工岛海域地形

3.2 泥沙来源及运动形式

工程海域无外来沙源，以区内产沙为主。常浪向与强浪向均大致与岸向垂直，而潮流主流向与岸线基本平行，因此，细颗粒泥沙在波浪掀动后由潮流携带平行岸线方向运动，粗颗粒底砂在波浪作用下作垂直岸线方向运动。泥沙运动以横向为主，纵向较弱，在浅滩上存在二、三道平行于高潮线的滩脊、滩槽，大型复合沙嘴不发育^[3]。

3.3 海床的稳定性分析

曹妃甸区域地貌体系的形成已有上千年的历史，处于基本稳定时期。随着曹妃甸规划人工海岸线的形成，甸头位置更加稳定，矾头效应仍将存在，为曹妃甸深槽及其西侧潮沟的稳定奠定了基础^[4]。总的来看，人工岛海域滩、槽是稳定的，处于微冲微淤的动态平衡状态。

根据历史测图、遥感图资料分析，人工岛附近海域潮沟有向西南方向迁移的趋势，且潮沟宽度变窄，局部潮沟变深，潮沟北侧沟坡变陡，南侧潮沟壁变化不明显。这是由于海岸线人为向海推进，原来比较平直的岸线变为向西南方向凸出，使原来较宽的滩地变窄，迫使在新的海岸线前缘产生新的淤积潮滩和水下浅滩，因此原来的浅滩前缘潮沟逐步向海方向迁移。人工岛附近海域槽、滩局部地形虽然有一定的冲淤变化，但总体上保持基本稳定^[5]。

4 潮流数值模拟

采用二维潮流数值模拟研究了人工岛对曹妃甸浅滩及深槽流场、对工程附近海域岸滩的影响，以及人工岛局部流场变化。研究表明，人工岛的建设对流场的影响范围在岛南北侧500 m和东西侧1 500 m范围之内，影响范围未及曹妃甸甸头深槽。见图4~7。

各护岛潜堤头部迎流面流速有所增加，流速增加值0.1~0.3 m/s，而岛四周流速呈减小态势，减小值0.1~0.8 m/s，表明潜堤护岛效果明显，见表1。

人工岛登陆点流速较工程前略有增加，涨急流速1.1 m/s，较工程前增加12.7%，落急流速0.73 m/s，较工程前增加13.6%；涨落急流向与码头前沿夹角较工程前减小2°左右。

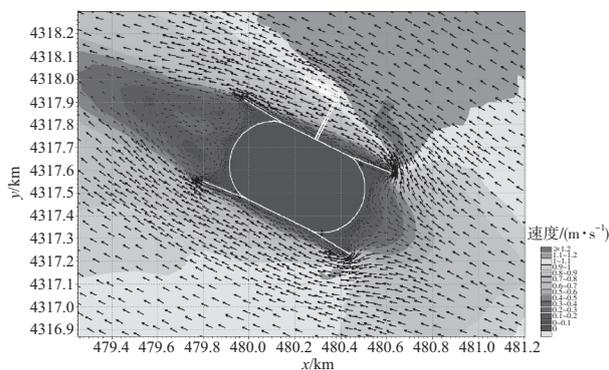


图4 人工岛周围涨急流场

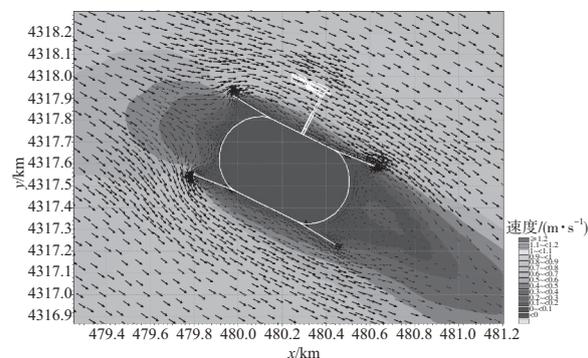


图5 人工岛周围落急流场

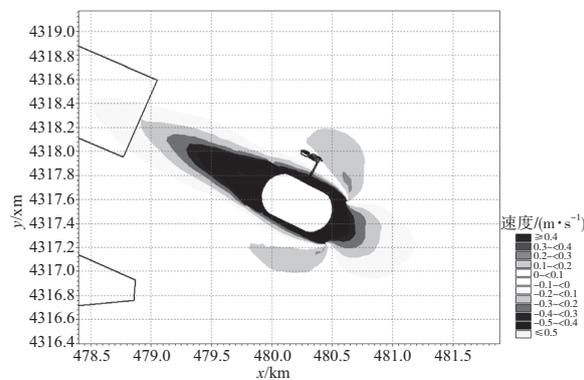


图6 人工岛建设前后涨急流速变化

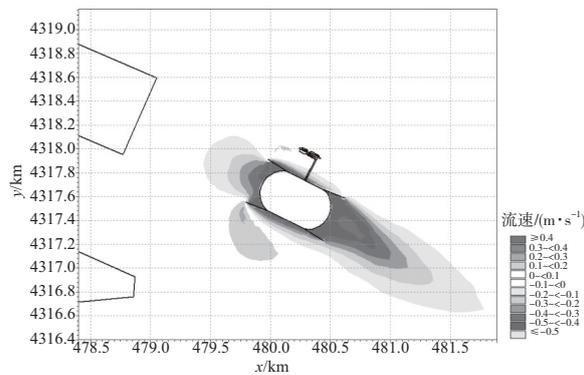


图7 人工岛建设前后落急流速变化

表1 护岛潜堤堤头绕堤流涨落急流速

时刻	位置	流速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)			变化幅度/ %
		工程前	工程后	变化值	
涨急	东北侧	0.93	1.17	0.24	26.3
	东南侧	0.85	1.42	0.57	67.4
	西南侧	0.78	0.37	-0.41	-52.7
	西北侧	0.83	0.44	-0.38	-46.4
落急	东北侧	0.64	0.50	-0.13	-21.0
	东南侧	0.57	0.55	-0.02	-3.7
	西南侧	0.56	0.63	0.07	11.7
	西北侧	0.61	0.76	0.14	23.2

5 平面物理模型试验验证

5.1 物理模型设计

动力条件包括潮流和波浪, 潮流动力决定了人工岛建成后的冲淤分布, 而波浪作用是影响人工岛东、南侧海床稳定的主要动力因素。物理模型试验内容如下:

1) 潮流作用下的清水定床试验, 研究人工岛建成后岛周围及附近海域岸滩潮流变化情况, 模型比尺 $\lambda_l=400$ 。

2) 波流共同作用下的动床试验, 研究人工岛建成后岛周围岸滩地形冲淤情况, 变态模型, 水平比尺 $\lambda_l=400$, 垂直比尺 $\lambda_h=100$, 变率为4。

3) 不同条件波浪作用下大尺度动床试验, 研究人工岛岸滩冲刷范围和冲刷深度, 变态模型, 水平比尺 $\lambda_l=200$, 垂直比尺 $\lambda_h=100$, 变率为2。

选用 $d_{50}=0.08\text{ mm}$ 左右的煤作为模型沙。

5.2 潮流作用下的清水定床试验

潮流作用下的清水定床试验表明, 人工岛海域为往复流, 潮流较为平顺, 人工岛长轴走向与潮流流向基本一致。涨潮时, 潮流经过人工岛东侧后发生分流, 分别绕过岛南北侧后在西侧逐渐汇流, 岛西侧出现较大范围的缓流区, 岛周边的4个潜堤使潮流与岛身进一步分离。落潮与之相反, 落潮流在岛西侧发生分离, 分别绕过岛南北侧后在东侧逐渐汇流, 岛南侧形成一定范围的缓流区, 北侧缓流区范围相对较小。见图8和9。

图10为人工岛建成后全潮平均流速等值线图, 距岛东西侧1 500 m及南北侧100 m范围以内平均流速小于 0.40 m/s 。护岛潜堤对人工岛有一定的

防护作用, 南潜堤长200 m, 张角 5° , 将涨落潮流外挑, 有利于减缓潮流对人工岛前滩地的冲刷作用。北潜堤长150 m, 张角 0° , 走向与人工岛长轴走向一致, 将涨落潮流外挑, 有利于减缓潮流对人工岛前滩地的冲刷作用, 同时对码头前潮流影响较小, 涨落潮流向与码头前沿基本平行, 平均流速约 0.40 m/s , 满足船舶靠泊要求。

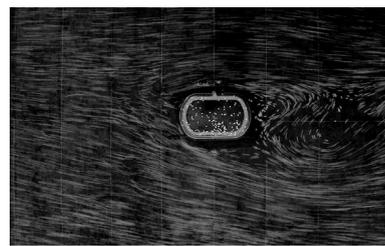
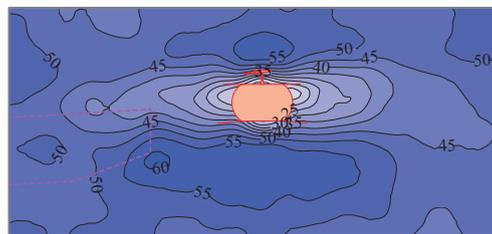
图9 建成后落急 ($T=22\text{ h}$) 流态照片图8 建成后涨急 ($T=15\text{ h}$) 流态照片图10 全潮平均流速等值线 (单位: m/s)

图11为人工岛附近全潮平均流速比值等值线图。与工程前流速相比, 人工岛建成后对东西两侧影响基本相近, 均为1 500 m左右, 北侧200 m及南侧120 m以内流速有所减小, 在此之外流速有所增加, 其中北侧流速增加10%, 南侧流速增加10%~20%。

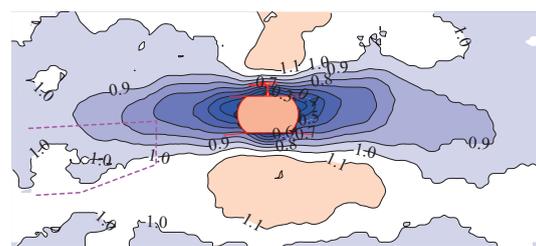


图11 全潮平均流速比值等值线 (与工程前比较)

5.3 波流共同作用下的动床试验

5.3.1 地形冲淤验证

动床范围为 $2\ 000\text{ m} \times 2\ 400\text{ m}$ ，冲淤验证采用2006年7月和2007年9月实测地形及冲淤变化。2007年3月3日—5日渤海湾出现过一次风暴潮，海域波高超过 3 m ，风暴潮期间大风持续时间较长，风力大。潮流和波浪共同作用，采用2006年8月大潮潮型，风暴潮波高 $H_0=3.0\text{ m}$ ， $T=6\text{ s}$ ，与SW向50 a一遇波浪相当。

5.3.2 波流共同长期作用下的冲淤变化

试验表明，在风暴潮波浪和大潮共同长期作用下（试验至地形冲淤平衡为止），人工岛处滩面冲刷很少，甚至出现淤积，人工岛外的海床出现冲刷。

图12为地形冲淤照片，图13为地形冲淤分布等值线图。试验后整个海床面变化不大，南侧迎浪面海床分布规则的横纹，是波浪遇到人工岛后形成的，人工岛北侧波影区内没有出现明显沙纹，是由于人工岛的掩护作用，波浪很难作用到人工岛背浪面。

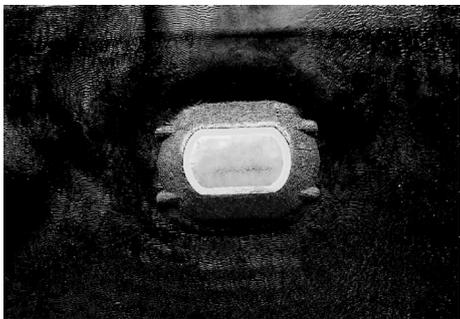
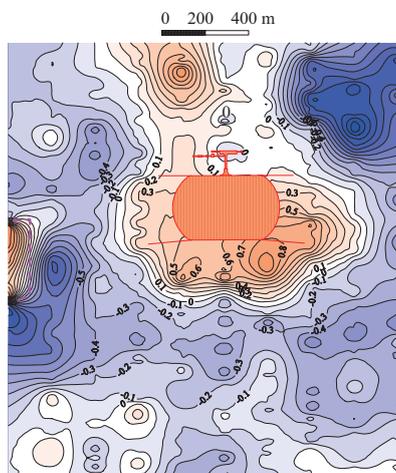


图12 波流长期作用后地形冲淤照片（俯视）



注：正为淤积，负为冲刷。

图13 波流长时间作用后地形冲淤分布（单位：m）

人工岛外一定范围的海床出现冲刷，靠近人工岛岸滩则出现淤积，其中南侧和北侧淤积较为明显，反映了在波浪、潮流共同作用下，由于人工岛四周水域水流流速减弱而减少了波浪对床面的冲刷作用，这对人工岛的安全是有利的。

离开人工岛范围，北侧水深较浅的水域冲刷幅度相对较大，这是由于一方面没有人工岛对波浪的掩护，另一方面由于人工岛及潜堤的挑流作用，使水流动力有所加强，在大浪作用下该水域的冲刷会有所加剧。

5.3.3 不同水位时，仅波浪作用下的冲淤变化

波流共同作用时，由于潮流和波浪的时间比尺不一致，试验结果仅能反映冲淤变化趋势，与实际的冲淤数值存在偏差。考虑到人工岛迎浪面的冲刷主要是波浪作用造成的，在试验中只考虑波浪作用，并结合不同水位条件研究人工岛前可能的最大冲刷范围和冲刷深度。

试验研究了100 a一遇SW向波浪分别在100 a一遇高潮位、平均高潮位、平均海平面、平均低潮位、100 a一遇低潮位水位时，波浪作用下的冲淤变化情况。试验结果表明，在相同的波浪要素作用下，不同水位时地形冲淤分布有着不同的特点。

100 a一遇高潮位时，人工岛近岛处（主要是南侧迎浪面）出现一定程度的淤积，人工岛以外的海床均出现轻微的冲刷，人工岛东北、西北侧冲刷相对较大一些，但总的冲淤幅度均不大，对人工岛海床稳定性影响并不大。

平均高潮位时，总的冲淤趋势和100 a一遇高潮位时基本一致，人工岛近岛处海域均处于淤积状态，且淤积范围和淤积深度有所增加，人工岛东北、西北侧冲刷进一步加大。

潮位位于平均海平面时，情况发生变化，人工岛南侧床面开始出现冲刷，平均冲刷深度 50 cm 左右，其它近岛处变化不大稍有淤积，其它区域冲刷量与平均高潮位相近，西北侧的冲刷有所减少。

平均低潮位时，人工岛南侧海床冲刷进一步加大，平均冲刷深度达 $60\sim 70\text{ cm}$ ，最大冲深超过 1 m ，人工岛东北侧冲刷进一步加大，这是由于在平均水位条件下，波浪在该处发生破碎使得冲刷加剧的缘故。

水位达到100 a一遇低潮位时, 由于波浪在人工岛外海床即发生破碎, 对破碎区以上海床的影响小于平均低潮位, 人工岛前平均冲刷50~60 cm, 最大80 cm。

依上分析, SW向100a一遇波浪作用下, 对人工岛处海床稳定性影响最大的是平均海平面和平均低潮位之间的水位, 图14为平均海平面时波浪作用后地形冲淤等值线分布图, 图15为平均低潮位时波浪作用后地形冲淤等值线分布。

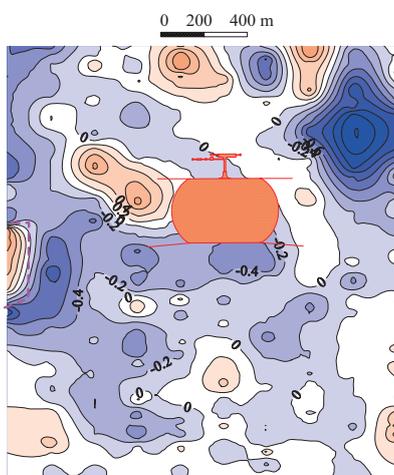


图14 平均海平面时试验后地形冲淤分布 (单位: m)

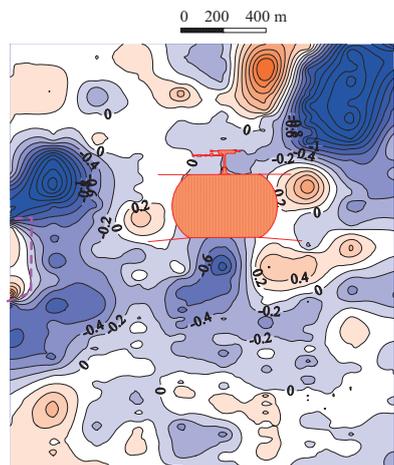


图15 平均低潮位时试验后地形冲淤分布 (单位: m)

5.3.4 不同波向人工岛迎浪面岸滩冲刷

将模型放大1倍, 水平比尺变为1:200, 垂直比尺不变, 变率为2, 可以减少由于变率大、岸滩坡度增加引起的冲刷量减小, 使试验的精度尽可能得到提高。

试验研究了平均高潮位、平均海平面、平均低潮位时, SW, SE, S向波浪作用下, 迎浪面岸滩

冲刷情况。试验表明, SW向100 a一遇波浪作用下最大冲刷发生在平均低潮位处, 最大冲刷深度1.1 m, 发生在距离人工岛南岸线60 m左右。SE向波浪为强浪向, 对人工岛东侧海床的侵蚀作用很大, 最大冲刷发生在平均高潮位, 东侧迎浪面最大冲刷深度2.7 m, 坡脚处最大冲刷深2 m, 冲刷范围距离坡脚55~60 m; 北坡脚处最大冲刷1.4 m, 冲刷范围距离坡脚15~20 m。S向波浪对人工岛南侧影响大于东侧, 冲刷较大发生在平均高潮位时, 床面和坡脚最大冲刷深度1.5 m。

SE向波浪为强浪向, 波高明显大于SW向, 且波周期长, 对人工岛的影响最大。

图16为平均高潮位时SE向波浪作用后地形冲淤照片, 在岛东侧迎浪面出现了明显的冲刷带, 说明在平均高潮位时, 大浪的侵蚀作用仍然很大。

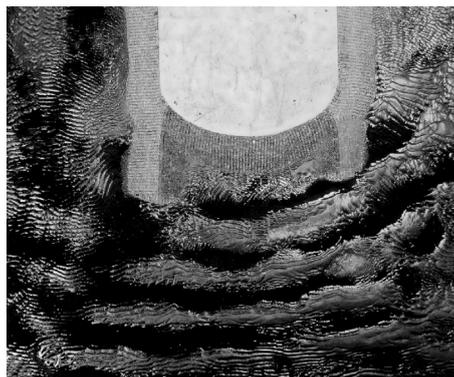


图16 SE向波浪作用后冲淤照片 (平均高潮位)

从平均高潮位时人工岛东、北和南侧海床不同断面冲淤分布情况可以看出, 在平均高潮位时, 人工岛东侧迎浪面冲刷较大, 近岛处最大冲刷深度为2.7 m, 坡脚处冲刷深度也达2 m, 发生在人工岛东侧中部, 冲刷区距离坡脚最远55~60 m。北侧坡脚处最大冲刷深度1.4 m, 主要冲刷范围为坡脚以外15~20 m。人工岛南侧近岛处仍以淤积为主。

由于人工岛所处水深较大, 建岛后, 海床冲刷明显, 建议加强防护, 人工岛南侧防护范围为坡脚以外30~40 m, 东侧防护范围坡脚以外55~60 m, 并增加长平护, 以加强对SE向来浪的防护; 西、北侧波浪作用相对较小, 可以比南侧防护范围适当减小。由于东北潜堤对潮流的挑流作用和SE向波浪的影响, 注意加强人工岛东北侧的防护。

(下转第199页)