



# 冀东油田人工岛设计关键技术\*

汪生杰<sup>1, 2</sup>, 胡殿才<sup>1</sup>

(1. 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120; 2. 同济大学土木工程学院, 上海 200092)

**摘要:** 近年来冀东油田为满足滩海油藏勘探开发需要, 成功建造了一系列海上人工岛。工程海域属粉砂质海岸, 浅滩、深槽、沙脊交错分布, 海域地形条件复杂。工程处于外海且无掩护, 风浪流较大, 冬季受冰冻影响且冰荷载大。滩海油藏勘探开发用人工岛, 安全环保要求苛刻。这对人工岛的设计提出了较高的要求。对冀东油田人工岛设计关键技术进行总结分析, 包括人工岛功能、选址、平面布置、建设标准、保滩护底措施、围堤结构、岛域吹填及地基处理、对外交通码头等人工岛设计所涉及的主要方面, 可供同类工程参考。

**关键词:** 人工岛; 关键技术; 平面布置; 围堤结构; 码头; 海油陆采

中图分类号: U 656.1<sup>+</sup>1.3

文献标志码: B

文章编号: 1002-4972(2012)12-0194-06

## Key technology for design of artificial gravel island in Jidong oilfield

WANG Sheng-jie<sup>1,2</sup>, HU Dian-cai<sup>2</sup>

(1. Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Shanghai 200120, China;

2. College of Civil Engineering Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** In recent years, in order to meet the needs of sea beach reservoir explorations and developments, a series of artificial islands have been successfully constructed in Jidong oilfield. The project is characterized by silty sea-bed, shallows, deep grooves, sand ridges staggered distribution of the waters and complex terrain conditions. The project locates in the open sea and has no cover, larger storm flow and frozen affect in winter. The exploration and developments of artificial islands in the sea beach have strict demands in safety and environment protection. Thus higher requirements on the design of the artificial island are set forth. This article summarizes the key technology of artificial island design in Jidong oilfield which covers artificial island function, layout, construction standards, bottom protection measures for beach, dike structure, the island domain, reclamation and foundation treatment, external transport and the main aspects in artificial island design.

**Key words:** artificial island; key technology; layout; dike structure; quay; recovering marine oil on the land

冀东油田南堡滩海探明石油储量丰富, 为解决滩海石油勘探开发难题, 自2007年开始相继建设5座人工岛, 成功实现“海油陆采”, 勘探开发大大降低了成本, 加快了进度, 提高了作业的舒适性及安全性。该系列人工岛的成功建设, 为确保冀东南堡油田滩海开发工程高效、快速、经济、安全的建设起到了非常关键的作用。本文以

建成的1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>共3座人工岛为例, 阐述冀东油田人工岛设计关键技术。

### 1 水文地质条件

冀东油田1<sup>#</sup>~3<sup>#</sup>人工岛位于河北省唐山市南部海域, 曹妃甸新区西侧浅滩, 各岛水深差异较大, 滩面高程从0 m到-5.0 m不等。

收稿日期: 2012-09-27

\*基金项目: 中交上海航道局2009年技术研发项目

作者简介: 汪生杰(1981—), 男, 工程师, 从事港口航道及海岸工程设计及施工管理。

工程海域为不规则半日潮, 设计高水位为3.19 m, 设计低水位为0.17 m, 极端高水位4.57 m, 极端低水位-1.40 m。工程区常浪向为S向, 强浪向为SE向, 100 a一遇波高 $H_{1\%}$ 为5.87 m,  $H_{13\%}$ 为4.56 m。

工程海域冬季结冰, 范围由浅海向深海发展, 严重冰日在1月中旬, 融冰日在2月中旬。固定冰宽度为1.5~2.5 km, 平均厚度为20 cm, 最大厚度为40 cm。固定冰沿浅滩分布, 在风浪潮作用下, 有海冰堆积现象。浮冰最大外缘距岸边15 nmile, 浮冰厚度10~30 cm。

工程区域地层以第四纪海相沉积层为主, 沉积韵律明显, 新近沉积土层较为松散软弱, 土层的强度从上到下逐渐增大。上部地层主要由松散的粉细砂混淤泥、淤泥质粉质黏土、粉质黏土及粉土组成, 下部地层为中密至密实粉细砂、粉质黏土、淤泥质土及粉土。

## 2 工程建设规模<sup>[3-5]</sup>

各岛均呈椭圆形。1#人工岛滩面高程-2.8~0.5 m, 面积27.48万m<sup>2</sup>, 围堤总长2 020 m, 吹填砂320万m<sup>3</sup>; 2#人工岛滩面高程为-3.2~-0.6 m, 面积22.98万m<sup>2</sup>, 围堤总长1 776 m, 吹填砂275万m<sup>3</sup>; 3#人工岛滩面高程-5.8~-4.0 m, 面积13.33万m<sup>2</sup>, 围堤总长1 374 m, 吹填砂248.6万m<sup>3</sup>。

## 3 设计特点与难点

冀东油田人工岛工程设计特点及难点如下:

1) 在满足勘探开发工艺要求的前提下, 人工岛选址应结合地形地貌、水文泥沙动力、岸滩稳定性等因素<sup>[1]</sup>, 确保人工岛安全稳定, 尽量减少人工岛对海洋环境的不利影响。

2) 在满足使用功能的前提下, 人工岛平面布置应顺应波浪潮流等水文动力条件<sup>[2]</sup>, 针对海床地质易于冲刷的特点, 特别是选址于沙脊的人工岛, 应采取可靠的保滩护底措施, 确保人工岛岸滩稳定安全。

3) 结构设计需重点考虑以下因素, 工程处于外海且无掩护, 风浪流较大, 冬季受冰冻影响且冰荷载大, 当地石料缺乏且运输成本高、效率低, 但砂源丰富。

## 4 设计关键技术

### 4.1 人工岛功能的确定

根据国内外经验, 近海浅滩采油一般有2种方式: 1) 海油海采方式, 即在海上设置海上钻井平台, 平台依靠插入海底的钢桩固定, 原油通过海底管道直接输送或油轮驳运到后方陆域集中处理站进行处理; 2) 海油陆采方式, 即在浅海滩建设人工岛, 人工岛与后方采用进海路或海底管线连接, 在人工岛上布置钻井采油及配套设施, 对原油进行初步处理后通过管道输送到后方陆域集中处理站进行处理。与海油海采相比, 近岸浅滩建设人工岛, 实现海油陆采具有建设成本低、维护方便、运营成本低、可实现全天候作业、生产效率高、综合效益好等优势。

各人工岛主要功能是为实现海油陆采提供陆域, 满足钻井及配套设施、原油初步处理设施布置需要。此外, 1#人工岛建设一条连岛路堤与后方陆域相连, 还具备油气水初步分离、污水处理、油气水集输系统等功能, 是2#、3#离岸人工岛的重要依托和上岸节点, 1#~3#人工岛产油气、污水集中在1#人工岛进行处理, 初步分离后的油气输至陆岸终端, 分离水及污水在1#岛处理后再输送至各人工岛回注, 实现“零排放”的环保要求, 避免了大量水体在1#岛与陆岸终端之间来回输送, 缩短了海上供水半径。

### 4.2 人工岛选址

在满足地下油藏勘探开发工艺的基础上, 结合水下地形地貌、水文泥沙动力条件、海床演变等因素, 人工岛宜选址在水深较浅、海床稳定的浅滩。

工程海域属粉砂质海岸, 浅滩、深槽、沙脊交错分布, 海域地形条件复杂。采用海岸地貌、潮流数值模拟、物理模型试验等技术手段, 对南堡及曹妃甸区域海洋动力地貌及岸滩稳定性进行分析。经研究认为, 在天然情况下, 工程海域的槽、滩局部地形虽然有一定的冲淤变化, 但总体上保持稳定。工程海域海床近期的变化主要是由于海岸线人为向海推进所造成的, 主要表现为潮沟存在向西南方向迁移的趋势, 且潮沟宽度变

窄,局部潮沟底部变深,潮沟北侧沟坡变陡,南侧潮沟壁的变化不明显。可选择水深相对较浅的沙脊、浅滩作为人工岛的选址位置(图1)。

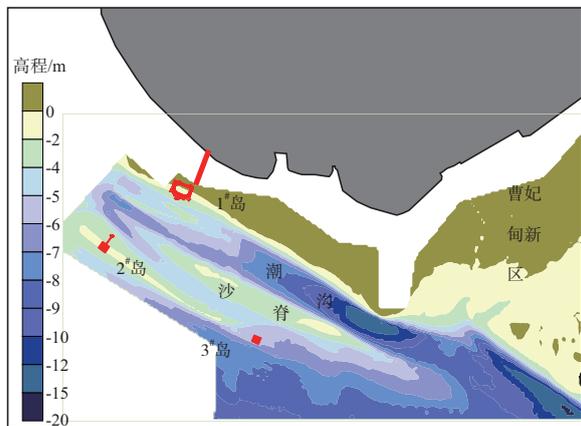


图1 人工岛选址

选址拟定后,采用潮流泥沙数及物理模型试验,分析研究工程区泥沙运动趋势、海床冲淤演变趋势,对工程建成前后的冲淤幅度进行定性与定量分析。根据数学模型计算结果,各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之内。工程后各护岛潜堤头部迎流面流速有所增加,流速增加值为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。各人工岛东西两侧滩地处于微淤状态,护岛潜堤头部也有所冲刷,但冲刷范围很小,仅为150 m×100 m的范围。

研究表明,人工岛的建设对流场的影响范围在距岛1 500 m范围之内,影响范围未及曹妃甸甸头深槽,尽管岛周边局部地形存在冲淤变化,但采取适当的保滩护底措施后,可确保人工岛稳定安全。因此,人工岛选址于沙脊和浅滩是可行的<sup>[7]</sup>。

#### 4.3 人工岛平面布置

由于人工岛所在海域地形条件复杂、安全环保要求高、粉砂质海床易于冲刷等因素,人工岛平面必须合理布置。设计充分利用现有地形地貌,顺应波浪潮流动力条件,人工岛采用椭圆形布置,岛体四边采用平顺圆弧相接,人工岛长边向尽可能与涨落潮主向平行,强浪向采用短边,以尽量减少人工岛与海域潮流的相互影响,尽量减少强浪向围堤长度,进而降低人工岛防护难度及费用。人工岛4个角点布置护岛潜堤,潜堤沿

人工岛长边方向向外延伸约150~200 m,并根据不同的主潮流方向、与码头前沿线的关系,设置0°~10°的张角,将人工岛四角点附近的强紊流区向外推移,保护人工岛坡脚及附近滩地免受冲刷,确保岛体安全(图2)。

1#人工岛面积27.5 hm<sup>2</sup>(413亩),连接岛体

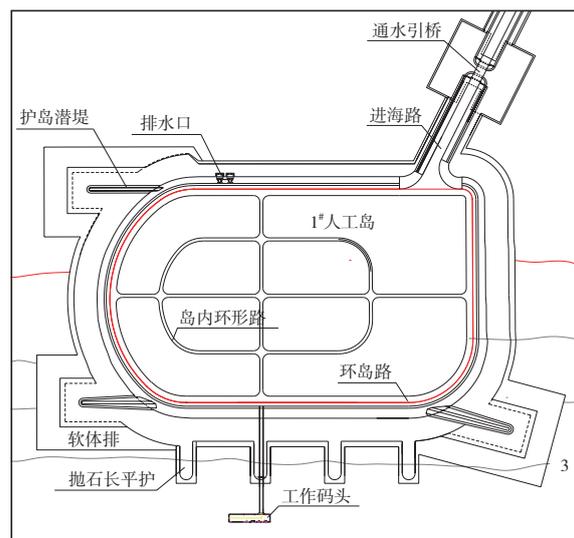


图2 1#人工岛平面

与后方陆域的路堤长1 657 m,其中包含2座通水引桥,每座通水引桥长42 m。连岛路堤堤顶考虑到各类管线、道路、防浪墙等布置需要,堤顶宽度为19.0 m。岛南侧布置工作船码头1座,码头前沿总长195.24 m,总宽30.0 m,设300 t交通艇泊位、1 000 t杂货船泊位、720 t客货滚装船泊位各1个。码头与人工岛采用引桥连接,引桥长106.9 m,宽14 m。除与路堤相连的角点外,人工岛其余3个角点沿长边方向布置3条长150~200 m的护岛潜堤。

2#人工岛面积23 hm<sup>2</sup>(345亩),北侧布置工作船码头1座,码头前沿总长195.24 m,总宽30.0 m,设置300 t交通艇泊位、1 000 t杂货船泊位、720 t客货滚装船泊位各1个。码头与人工岛采用引桥连接,引桥长106.9 m,宽14 m。沿2#人工岛长边方向布置4条长200 m的护岛潜堤。

3#人工岛面积13.3 hm<sup>2</sup>(200亩),北侧布置工作船码头1座,码头前沿总长225.54 m,总宽15.0 m,设置1 000 t杂货船泊位、720 t客货滚装船泊位、100 t交通艇泊位各1个,且滚装船泊位可兼靠300 t交通艇。码头与人工岛采用引桥连接,

引桥长65.7 m, 宽8 m。沿3#人工岛长边方向布置4条长150~200 m的护岛潜堤, 南侧护岛潜堤外张角5°, 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线基本平行。

#### 4.4 人工岛建设标准

由于人工岛位于开敞式海域, 且油气开采及输送属于危险品范畴, 一旦发生洪灾事故, 影响及后果严重, 在投资增加不多的情况下, 建设标准宜适当提高。人工岛设计使用年限为50 a, 防洪标准100 a (重现期), 1级堤防, 滩海结构物安全等级为 I 级, 港口工程 I 级水工建筑物。人工岛围堤防浪墙顶高程根据潮位特征、防洪防浪要求、围堤断面及护坡形式, 依据设计波浪要素计算波浪爬高, 按堤顶基本不越浪标准确定。防浪墙净高1.2 m, 外侧设置坡肩, 并安放有护面块体, 爬升波浪在坡肩位置大部分已破碎, 少量越浪水体落在防浪墙后。防浪墙后设计为混凝土防汛道路, 设置排水沟, 少量越浪水体可通过排水沟及时排除。从经济合理性出发, 人工岛防浪墙顶基本不越浪标准按照临界越浪量 $0.02 \text{ m}^3 / (\text{s} \cdot \text{m})$ 界定。

#### 4.5 人工岛保滩护底措施

滩面地质为粉土、粉细砂, 在沿堤流及绕堤流作用下易冲刷, 必须采取保滩护底措施。将人

工岛设计成椭圆形, 且将4个角点向外延伸形成护岛潜堤, 将强流区及紊流区向岛外推移。同时, 针对人工岛周边各区域的冲刷强度不同, 有针对性地采用砂肋软体排、混凝土联锁块软体排, 长、短平护相结合的保滩护底措施, 确保人工岛安全。

#### 4.6 人工岛围堤结构设计

围堤结构应根据水文地质、材料来源、外海孤岛施工、使用要求等因素, 本着技术可靠、经济合理的原则, 经多方案比选综合论证后确定。工程海域表层浅藏有丰富的粉细砂, 具备就地取沙条件, 围堤采用袋装砂斜坡堤结构, 堤身为内外袋装砂棱体+中间吹填砂堤芯结构, 分为上下2级, 堤底设2~4层通长砂袋, 利用袋体土工织物的加筋作用及袋装砂适应软基变形能力强的特点, 提高围堤的整体性, 减少不均匀沉降<sup>[6]</sup>围堤护坡采用扭王字块体, 下设抛石垫层, 块石垫层与袋装砂棱体间设置可靠反滤结构。

冀东油田人工岛首次将袋装砂筑堤吹填技术应用于油藏勘探开发海上人工岛, 进行了大量的研究与试验工作, 特别是开展了波浪和地震荷载作用下人工岛结构稳定性物模试验, 试验结果表明袋装砂围堤结构方案是可行的, 而且具有施工速度快、造价低、结构安全性好等优点。

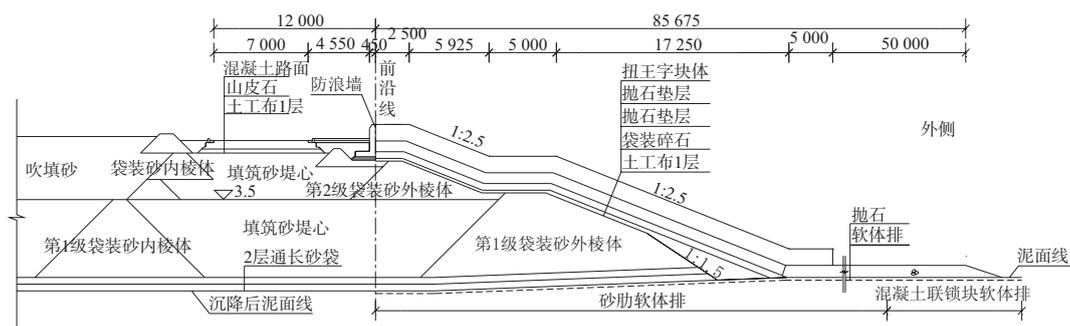


图3 人工岛围堤断面

#### 4.7 岛域吹填及地基处理

根据陆域使用功能、工程区域砂源情况, 人工岛吹填用砂采用粉细砂。根据确保人工岛安全、尽量减小对河势影响、经济排距布置的原则拟定取砂方案后, 采用潮流泥沙数模进行论证, 最终选择位置恰当、满足工程要求的取砂区作为人工岛吹填取砂区。取砂吹填采用工效高、经济

性好的绞吸船直接吹填工艺。

人工岛20 m深度范围内土层主要为吹填砂 (最大吹填砂厚度达14.5 m) 及表层粉砂地层, 均为松散状态的粉细砂, 地基承载力较低, 在动荷载作用下将发生液化, 因此必须进行地基处理。动荷载主要包括钻井钻机动荷载、地震动荷载。采油作业时钻机井架高度达45.2 m, 对地基承载力

要求较高，而且石油钻机动荷载较大，但其影响范围仅局限于井口槽区域，而且井口槽基础均设置桩基础，因此，钻机荷载由井口槽基础设计时考虑。人工岛地基处理主要按满足一般场地及道路要求，满足地震荷载要求，确定人工岛陆域地基处理目标为：地基承载力 $\geq 150$  kPa，工后沉降 $\leq 20$  cm，消除地震液化，满足7°抗震设防要求。

经比选，采用无填料振冲+振动碾压的方法进行地基处理。振冲处理深度15~20 m，振冲完成后，采用振动碾压法对表层松散砂层进行压实处理。

#### 4.8 人工岛陆岛交通

1#人工岛通过进海路与后方陆域路网连通。离岸式人工岛必须建设对外交通码头，以满足设备及人员从水域上、下人工岛的需求。3座人工岛各设置码头1座，2#、3#人工岛码头通过1#人工岛码头上岸后再与后方陆域路网连通。

码头吨位在1 000吨级以下，靠泊船舶吨位

小、干舷低、抗风浪能力差；装卸工艺多样，包括人员上下、杂货吊装、汽车滚装；人工岛位于开敞海域，缺乏掩护条件，风浪较大；地基为粉细砂，承载力不高，抗冲性差；工程处于渤海湾海域，需考虑冰的问题。以上特点与难点，对码头结构设计提出了挑战。

码头泊位呈品字形布置，在码头前沿布置1 000吨级杂货泊位和300吨级交通艇泊位，后沿布置1 000吨级滚装船泊位。码头采用高桩码头+活动钢引桥透空式结构<sup>[8]</sup>。设备及车辆运输通过客货滚装船泊位的活动钢引桥实现汽车直接上下船，即滚装上下岛；大件或模块化设备可通过杂货泊位，利用码头岸吊或浮吊进行装卸；人员主要通过交通船泊位台阶步行上下船。为解决开敞式海域高码头靠泊小型船舶低潮时易出现的“吊缆”现象，码头设计采用双层系船柱、双层上下船平台，上下层之间采用阶梯连接的结构形式（图4）。

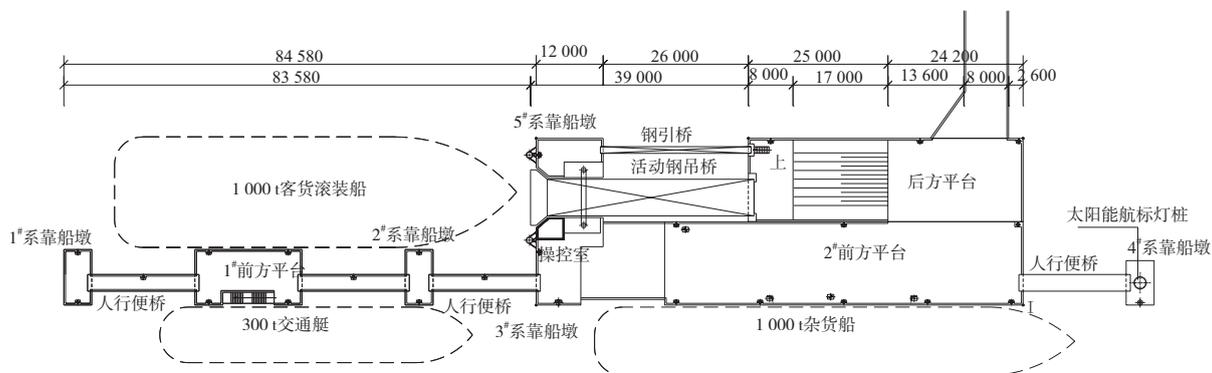


图4 人工岛码头平面

工程处于渤海湾海域，每年冬天均有不同程度的结冰，冰荷载成为海上码头和引桥结构的控制性水平荷载之一。设计过程中开展了冰荷载物理模型试验，研究确定大面积冰排作用于整个码头、单个排架和单桩上的冰力；码头群桩对冰的掩蔽效应；分析破碎冰在码头群桩前的再次堆积对码头结构所产生的影响；确定码头及引桥的冰荷载。设计采用了高桩墩台透空式码头及引桥结构，桩基为钢管桩，适应冰荷载大的特点，保证了人工岛码头及引桥在大水平荷载作用下的结构稳定。

#### 5 结语

冀东油田1#~3#人工岛先后于2007—2009年建成，年均建设1座人工岛。图5为已建成的1#人工岛航拍图。与其它油田滩海常规砂石人工岛相比，冀东油田人工岛具有造价低、施工速度快、岛体面积大、使用方便、建设标准高、安全性好等优点。冀东油田系列人工岛的成功建设为确保冀东南堡油田滩海开发工程高效、快速、经济、安全的建设起到了非常关键的作用，建岛技术在国内油气生产人工岛建设中处于领先水平，并具有较高的推广应用价值。



图5 1#人工岛航拍图

本文对冀东油田人工岛设计关键技术进行了总结分析, 包括人工岛功能、选址、平面布置、建设标准、保滩护底措施、围堤结构、岛域吹填及地基处理、对外交通码头等人工岛设计所涉及的主要方面。对于冀东油田后续人工岛建设具有参考意义, 对于其它类似人工岛建设具有借鉴意义。

#### 参考文献:

- [1] 严恺. 海岸工程[M]. 北京: 海洋出版社, 2002.
- [2] 上海航道勘察设计研究院. 岸线规划航道治理与陆域形成研究[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
- [3] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司. 冀东南堡油田西线进海路及1号人工端岛工程初步设计[R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2006.
- [4] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司. 冀东南堡油田1号构造2号人工岛工程初步设计[R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2007.
- [5] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司. 冀东南堡油田1号构造3号人工岛初步设计[R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2008.
- [6] 李凯双, 胡殿才, 李顺利, 等. 袋装砂筑堤技术在滩海、浅海工程中的应用[J]. 石油工程建设, 2011(1): 20-25.
- [7] 方伟, 蔡正银, 张桂荣, 等. 波流共同作用下滩海人工岛工程周边冲淤分析[J]. 水运工程, 2008(3): 27-32.
- [8] 李凯双, 郭生昌, 王长军, 等. 滩浅海油田人工岛码头建造技术研究与应用[J]. 石油工程建设, 2009(6): 15-18.

(本文编辑 郭雪珍)

(上接第167页)

## 6 结论

采用海岸地貌学、潮流数值模拟、物理模型试验方法对人工岛海床稳定性进行研究, 3种研究方法同步独立进行, 研究成果相互佐证, 得到主要研究结论如下:

1) 人工岛海域地处曹妃甸浅滩以西、南堡外侧的浅海区, 潮沟、浅滩、砂脊等微地貌发育, 在天然情况下虽然局部槽、滩地形有一定的冲淤变化, 总体上保持基本稳定。

2) 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, 附近拟建的其它工程、曹妃甸深槽均处于本工程潮流影响范围之外。人工岛平面布置为椭圆形、长轴与主流向, 与潮流、波浪相适应, 采取护岛潜堤、长短平护等防护措施有效, 可以确保人工岛的海床稳

定性, 平面布置方案合理可行。

#### 参考文献:

- [1] 严恺. 海岸工程[M]. 北京: 海洋出版社, 2002.
- [2] 南京大学. 京唐港曹妃甸港区海洋动力地貌调查报告[R]. 南京: 南京大学, 1997.
- [3] 南京水利科学研究院. 京唐港曹妃甸港区泥沙运动及冲淤趋势分析报告[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 1997.
- [4] 交通部天津水运科学研究所. 曹妃甸港区水文泥沙及冲淤演变分析[R]. 天津: 交通部天津水运科学研究所, 2004.
- [5] 顾建清, 张柄华. 冀东沉积沙岛的演变与开发利用[J]. 地理学与国土研究, 1997(5): 37-41.

(本文编辑 武亚庆)