



# 连云港新城海滩清淤工程维护效果研究

阮程<sup>1</sup>, 张玮<sup>2</sup>, 杨汜<sup>3</sup>

(1. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032;

2. 河海大学水运工程科学研究所, 江苏南京 210098; 3. 南京水利科学研究院, 江苏南京 210098)

**摘要:** 淤泥质海岸人工沙滩的维护问题日益为人们所关注。在平衡水深概念推导出的海床冲淤公式的基础上, 通过对平衡流速的假设, 增加了因水深改变而引起的海床冲淤, 推广了适用于计算自然滩面下海床冲淤的公式。通过推广后的公式计算了连云港新城海滩清淤工程的泥沙冲淤。计算结果表明: 各清淤方案有使海床恢复到自然水深的趋势, 且均有泥滩出露的现象, 需要进行定期的疏浚维护。

**关键词:** 连云港; 人工沙滩; 海滩清淤; 平衡水深; 平衡流速; 泥沙回淤

中图分类号: TV 148.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)08-0039-06

## Maintenance effect of Lianyungang new city beach dredging project

RUAN Ting<sup>1</sup>, ZHANG Wei<sup>2</sup>, YANG Fang<sup>3</sup>

(1. CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China; 2. Research Institute for Water Transport, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

**Abstract:** The maintenance of artificial beach in silt coast has been increasingly concerned. Based on the formula of sea bed erosion and siltation derived by the concept of equilibrium depth, through the assumption of equilibrium velocity, the sea bed scouring and silting caused by the change of water depth is added. The formula which is adapted to the calculation of erosion and siltation of natural seabed is generalized. The sediment scouring and silting of the beach dredging project in the new city of Lianyungang is calculated by the new formula. The result shows that the seabed tend to reduce to original depth after every dredging project is implemented. Mud is exposed and regular dredging maintenance is needed.

**Key words:** new city of Lianyungang; artificial beach; beach dredging; equilibrium depth; equilibrium velocity; sediment siltation

海滩是人们喜爱的旅游、休憩与水上活动的场所。随着经济的快速发展, 人民生活水平日益提高, 人们对海滩景观环境的质量也越来越重视。人工沙滩便是改善海洋景观、提升岸线品味的一种方法。人工沙滩是在没有海滩的海岸, 采用人工填砂的方法营造海滩。所用砂源来自附近海岸或外海, 用船挖与管道输送, 利用机械或水力方式填砂<sup>[1]</sup>。纵观国内外诸多工程实例<sup>[2-5]</sup>, 人工沙滩大多建设在砂质海岸。对于淤泥质海岸,

因其地势平坦、海滨有大片低地泥滩, 海滩容易泥化而不适于人工沙滩的维护。近年来, 国内也开展了关于淤泥质海岸人工沙滩维护方面的研究。天津东疆港区东海岸通过修建环抱式防波堤来挡沙防浪, 孙开妍等对环抱水域泥沙回淤展开了研究<sup>[6]</sup>。上海奉贤碧海金沙水上乐园利用海堤形成全封闭水域来保护人工沙滩。然而, 上述维护措施因需建设出水堤而影响了海洋景观的视觉效果。能否通过清淤工程对人工沙滩实施维护, 保

收稿日期: 2013-01-02

作者简介: 阮程(1986—), 男, 硕士, 助理工程师, 从事港口工程设计工作。

持原汁原味的海岸景观风貌，也开始成为人们关注的焦点。目前，国内尚缺乏在淤泥质海岸建设开敞式人工沙滩的成功经验。

在淤泥质海滩实施清淤工程，工程后的泥沙回淤是需首要考虑的问题。如何准确预测泥沙回淤的强度、范围和趋势，对于人工沙滩的维护起到了很大的作用。曹祖德等<sup>[7-8]</sup>根据平衡含沙量的概念，建立了预测淤泥质海床冲淤演变的计算公式，并以此预测了洋山港西部港区冲淤演变。但研究发现，该公式仅适用于自然滩面的海床冲淤计算，并没有考虑水深开挖条件下引起的那部分海床冲淤，有待进一步的推广。本文以连云港新城清淤工程为例，针对清淤后水深改变的实际情况，对曹祖德等所建立的淤泥质海床冲淤计算公式进行了适当的推广，并以此计算了各清淤方案实施后所产生的泥沙回淤，研究结论可为方案评估提供参考依据。

### 1 研究对象概况

连云港新城所在岸段属于淤泥质平原海岸，潮滩以粉砂淤泥质为主。工程区海域潮型为浅海正规半日潮，潮流从外海向岸边逐渐由旋转流向往复流过渡。根据连云港报潮所站多年潮位观测资料统计，工程区域平均低潮位1.28 m(理论基面，下同)，设计低潮位0.48 m，历年最低潮位-0.45 m。工程区含沙量呈近岸高、离岸低趋势，全潮平均含沙量在0.2~0.3 kg/m<sup>3</sup>。本海域底质以黏性淤泥质细颗粒泥沙为主，中值粒径平均值小于0.01 mm<sup>[9]</sup>。

连云港新城工程东起西墅扬水站、西至临洪口，岸线平均向海推进2.8 km，新增围海面积约21 km<sup>2</sup>，围堤岸线长约6.4 km，围堤岸线高程约为1.0~1.5 m。连云港新城所在岸段滩面平缓，平均滩坡为1/1 500左右，设计低潮位低于前沿海滩的滩面高程。低潮位时，大面积滩涂将露出水面，泥面高低不平，视觉效果较差，影响当地景观。

为了提升连云港新城所在海岸线的品味，改善当地的海岸景观条件，拟采用人工沙滩结合海滩清淤的开敞式整治方案。即首先清除连云港新城围堤外0 m等深线以上的泥滩，然后在围堤外近岸

区铺设适当的人工沙滩。围堤外一定范围内通过清淤，增大近岸水深，增强水流、波浪等动力条件。开敞式清淤方案分为3种工况(表1)。各清淤方案的平面布置见图1，工程区清淤坡面见图2<sup>[10]</sup>。

表1 开敞式清淤方案

方案	清淤水深
1	围堤外100 m以外按1/20边坡清淤到0 m，与外海0 m等深线衔接
2	围堤外100 m以外按1/20边坡清淤到-1 m，与外海-1 m等深线衔接
3	围堤外100 m以外按1/20边坡清淤到-2 m，与外海-2 m等深线衔接

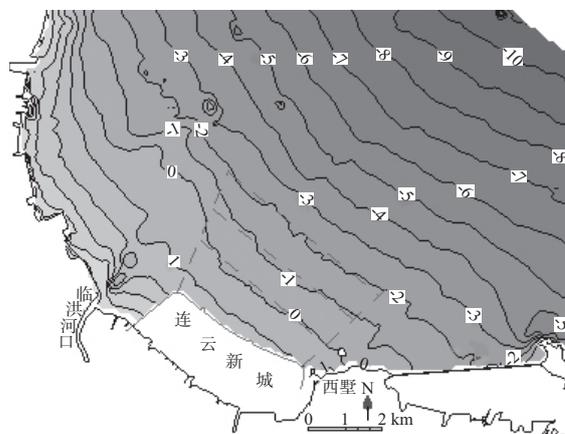


图1 各清淤方案平面示意图(水深:m)

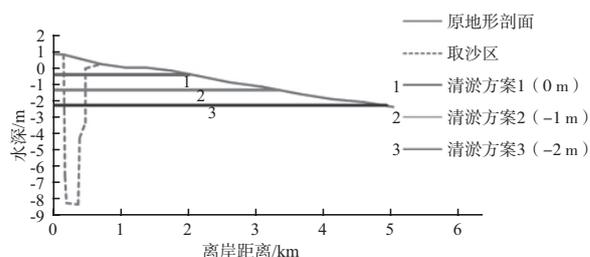


图2 各清淤方案坡面示意图

清淤工程破坏了工程海域的泥沙冲淤平衡，势必造成工程区海床的泥沙回淤，从而达到一个新的平衡。海床达到新的平衡后，泥沙回淤的强度和范围、逐年回淤的强度与趋势、人工沙滩建设后的海洋景观能否维持？能够维持多久？在实施整治工程之前，这些问题都需要预测。

### 2 海床冲淤演变机理

对于淤泥质海岸来说，海床演变是水流、泥沙、边界条件三者共同作用的结果。淤泥质海床

的泥沙运动以悬移质为主,促使海床长周期冲淤演变的主要动力是潮流。影响海床稳定的主要参数是流速、含沙量和水深,其中流速参数最活跃,是挟带水体含沙量的能源,是引起海床冲淤变化的关键动力<sup>[7]</sup>。

### 2.1 平衡含沙量概念

流速、含沙量和水深间的相互影响十分复杂,海床也因三者的变化处于一个动态平衡的状态中。但在稳定的海床上,三者关系可用下式来表示:

$$S_p = \alpha_p \rho \frac{u^2}{gh} \quad (1)$$

式中:  $S_p$  为平衡含沙量;  $h$  为平衡水深;  $u$  为平衡流速;  $\rho$  为水密度;  $g$  为重力加速度;  $\alpha_p$  为挟沙力系数,不同海区因环境泥沙不同而有不同取值。

平衡含沙量是指海床处于冲淤平衡稳定时的含沙量,它是以水流挟沙能力为基础,并受泥沙粒径、初始含沙量和环境泥沙影响的综合结果。平衡含沙量是考虑了泥沙水力特性后的水流挟沙能力,可以较好地预测海床冲淤演变,平衡含沙量与实际含沙量之差是产生海床冲淤演变的基本原因<sup>[7]</sup>。

### 2.2 平衡水深概念

由式(1)可知,海床稳定时,水深与动力(流速)、泥沙处于相对平衡状态,这时的水深称为平衡水深。平衡状态下各要素间关系可利用平衡含沙量公式导出<sup>[8]</sup>。

## 3 海床冲淤计算

如前所述,影响淤泥质海床演变的主要因素是流速的变化。就实际工程来说,引起流速变化的情况分为两种:一种是工程海域建设了码头、防波堤等水工建筑物;另一种情况是工程海域实施了清淤工程。在这两种情况下,所在海域的流速都会发生改变。但后者的海床冲淤不仅因流速改变而造成,还与开挖引起的水深改变有关。

### 3.1 平衡冲淤厚度计算

#### 3.1.1 仅因流速改变而造成的冲淤变化

流速是影响海床冲淤的主要因素,是引起海床冲淤变化的关键动力。根据文献[7],海床平衡后

的总演变量可由下式来表达:

$$\Delta_{zong} = h_0 \left[ 1 - \left( \frac{\alpha_x}{\alpha_{p0}} \right)^{1/3} \left( \frac{u_e}{u_0} \right)^{2/3} \right] \quad (2)$$

式中:  $\Delta_{zong}$  为平衡后冲淤厚度(m),取“+”表示淤积,取“-”表示冲刷;  $h_0$  为工程前的水深(m);  $\alpha_x$  表示不同冲淤过程的系数,随泥沙沉降、起悬不同而取不同值,当  $u_e < u_0$  时,泥沙沉降,取  $\alpha_x = \alpha_{p1}$ ,当  $u_e > u_0$  时,泥沙起悬,取  $\alpha_x = \alpha_{p2}$ ;  $u_e$  为原稳定海床上因某种原因而改变后的流速;  $u_0$  为工程前流速。

#### 3.1.2 因水深改变而造成的冲淤变化

但是,式(2)引起冲淤变化的原因是仅仅由流速的改变而引起的,适用于计算连云港围垦后海床冲淤演变。而开敞式清淤方案的水深因开挖而发生了改变,因此还需要考虑因水深改变而引起海床冲淤。

问题的关键在于:清淤工程后,工程所在海域的水深发生了变化,也就是由清淤前的  $h_0$ , 改变为清淤后的  $h_d$ , 在计算中,水深到底是应该取哪一个? 如果取  $h_0$  进行计算的话,则计算所得的冲淤变化仅仅是相对于清淤前的结果,没有考虑清淤后因水深变化而带来的影响; 如果取  $h_d$  进行计算的话,则其与式(2)中的流速  $u_0$  又不相对应的,因为  $u_0$  对应的是清淤前的海床平衡稳定状态时的流速。因此,为了能够计算清淤后的海床冲淤变化,还需要进行中间过程的转换。

令清淤后的水深为  $h_d$ , 假设清淤后的海床将达到一个暂时的冲淤平衡,则有一个虚拟的平衡流速  $u_d$  与清淤水深相对应。假设清淤前后的平衡含沙量不变,便可以根据式(1)建立  $u_d$  与  $u_0$  之间的关系:

$$u_d = \sqrt{\frac{h_d}{h_0} u_0^2} \quad (3)$$

用  $h_d$  代替  $h_0$ , 并将平衡流速  $u_d$  代替  $u_0$  代入式(2)就可以得到包含了因水深改变而造成的海床冲淤变化:

$$\Delta_{zong} = h_d \left[ 1 - \left( \frac{\alpha_x}{\alpha_{p0}} \right)^{1/3} \left( \frac{u_e}{u_d} \right)^{2/3} \right] \quad (4)$$

### 3.2 逐年冲淤厚度计算

#### 3.2.1 仅因流速改变而造成的冲淤变化

根据文献[7],工程后逐年冲淤厚度计算公式为:

$$\Delta_i = \frac{\alpha\omega S_0 t}{\rho_c} \left[ 1 - \frac{\alpha_x}{\alpha_{p0}} \left( \frac{u_e}{u_0} \right)^2 \left( \frac{h_0}{h_0 - \sum_{i=1}^i \Delta_i} \right)^3 \right] \quad (5)$$

式中： $\Delta_i$ 为年冲淤厚度； $\omega$ 为泥沙沉降速度(m/s)； $t$ 为1 a时间(s)； $S_0$ 为水体中原有的含沙量(kg/m<sup>3</sup>)； $h_i$ 为*i*年后的水深(m)； $\rho_c$ 为沉积土的干密度(kg/m<sup>3</sup>)。

### 3.2.2 因水深改变而造成的冲淤变化

清淤工程改变了工程水域的水深，考虑到水深改变对海床逐年冲淤变化的影响，式(5)可修正为：

$$\Delta_{cong} = \frac{\alpha\omega S_0 t}{\rho_c} \left[ 1 - \frac{\alpha_x}{\alpha_{p0}} \left( \frac{u_e}{u_d} \right)^2 \left( \frac{h_d}{h_d - \sum_{i=1}^i \Delta_i} \right)^3 \right] \quad (6)$$

## 4 连云港新城海滩清淤工程海床冲淤计算

### 4.1 计算参数选取

#### 1) 泥沙沉降速度。

根据以往研究结果，连云港海域悬沙沉降速度为0.4~0.6 mm/s，本文采用刘家驹对连云港海域的推荐值0.5 mm/s<sup>[11]</sup>。

#### 2) 沉积物干密度。

根据现场实测资料<sup>[12]</sup>，本海域底质中值粒径为0.005 26~0.007 52 mm，由下式计算可得沉积物干密度<sup>[13]</sup>：

$$\rho_c = 1\ 750 D_{50}^{0.183} \quad (7)$$

得到干密度为669.9~715.1 kg/m<sup>3</sup>，实际计算中统一取值675 kg/m<sup>3</sup>。

#### ①冲淤系数。

$\alpha_x$ 表示不同冲淤过程的系数，曹祖德在计算洋山港工程时的取值为：当 $u_e < u_0$ ，取 $\alpha=0.45$ ，当 $u_e > u_0$ 时， $\alpha=0.23$ ；根据连云港主港区7万吨级航道开挖后回淤实测资料以及文献<sup>[14]</sup>的推荐值，泥沙冲淤几率选择为：当 $u_e < u_0$ 时，取 $\alpha=0.67$ ，当 $u_e > u_0$ 时， $\alpha=0.23$ 。

#### ②悬沙含沙量。

工程所在海域的含沙量为0.2~0.3 kg/m<sup>3</sup>，本次计算取0.25 kg/m<sup>3</sup>。

### 4.2 工程区海床冲淤演变分析

在连云港新城工程海域布置流速测点，布点位置见图3，其中3#~7#点、9#~14#点在近岸取沙坑内。

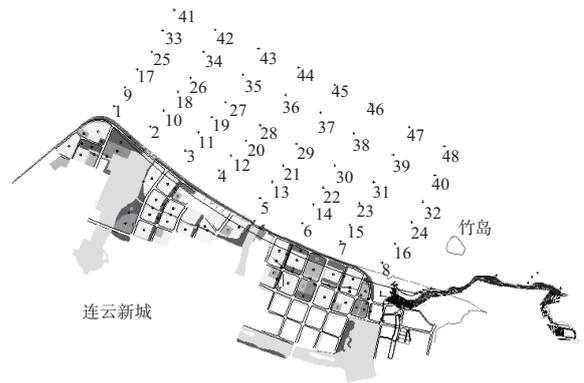
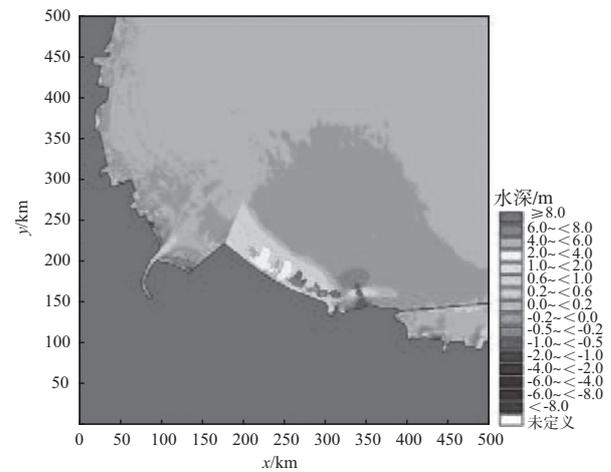
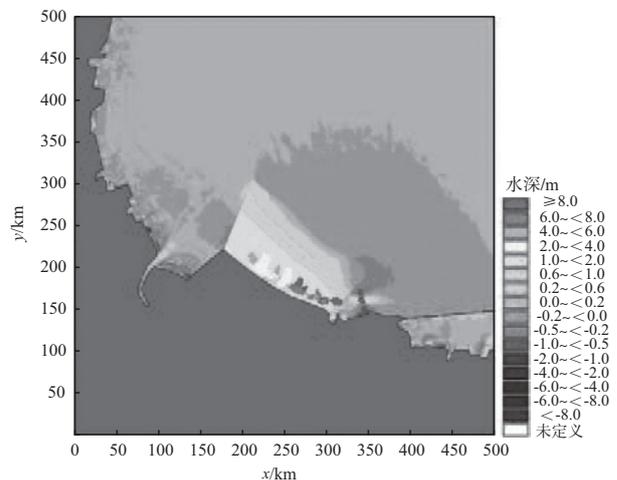


图3 开敞方案流速采样点布置

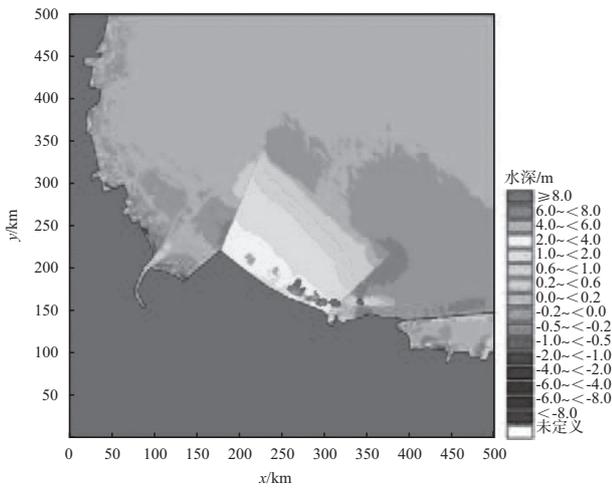
根据数学模型计算所得的清淤工程前及工程后的流速、模型的建立及验证见参考文献<sup>[9]</sup>，利用式(4)和(6)，可得连云港新城工程水域的冲淤演变趋势。各方案工程海域最终平衡后冲淤分布情况见图4，各方案部分采样点逐年淤积情况见图5，各方案部分采样点平衡水深及回淤厚度见表2，其中，水深均以海平面为准进行计算。



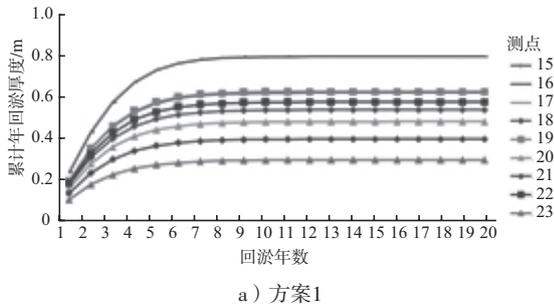
a) 方案1



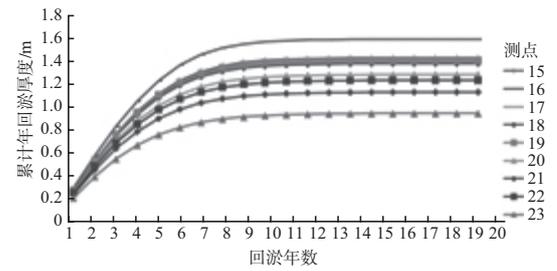
b) 方案2



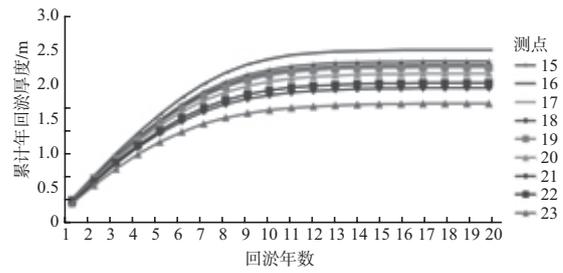
c) 方案3  
图4 开敞方案



a) 方案1



b) 方案2



c) 方案3

图5 开敞各测点累计回淤厚度

连云港平均低潮位为1.28 m, 设计低潮位为0.48 m, 历年最低潮位为-0.45 m; 如以平均海平面(在理论基面以上2.90 m)为准计算水深的话, 则3种潮位对应的水深分别为1.62 m, 2.42 m,

表2 开敞式方案采样测点工程前后平衡水深变化

点号	工程前 水深	方案1			方案2			方案3		
		开挖水深	平衡水深	最终回淤厚度	开挖水深	平衡水深	最终回淤厚度	开挖水深	平衡水深	最终回淤厚度
15	2.11	3.0	2.38	0.62	4.0	2.54	1.46	5.0	2.71	2.29
16	1.85	3.0	2.21	0.79	4.0	2.38	1.62	5.0	2.55	2.45
17	2.20	3.0	2.38	0.62	4.0	2.58	1.42	5.0	2.79	2.21
18	2.48	3.0	2.46	0.54	4.0	2.59	1.41	5.0	2.76	2.24
19	2.51	3.0	2.38	0.62	4.0	2.56	1.44	5.0	2.80	2.20
20	2.53	3.0	2.52	0.48	4.0	2.69	1.31	5.0	2.89	2.11
21	2.57	3.0	2.60	0.40	4.0	2.84	1.16	5.0	3.09	1.91
22	2.47	3.0	2.43	0.57	4.0	2.74	1.26	5.0	3.02	1.98
23	2.71	3.0	2.70	0.30	4.0	3.03	0.97	5.0	3.31	1.69

3.35 m。也就是说, 当海滩上的平衡水深小于1.62 m时, 平均低潮位时就会露滩; 当平衡水深介于1.62~2.42 m时, 设计低潮位时就会露滩; 当水深介于2.42~3.35 m时, 历年最低潮位时就会露滩。

分析图表可知:

1) 各方案工程后的平衡水深略大于工程前的自然水深, 说明虽然实施了浚深工程, 但泥沙的回淤有使海床恢复到工程前自然水深的趋势。不过, 随着开挖深度的增加, 平衡水深有增加的趋

势, 如方案3的平衡水深较其余2个方案都要大。

2) 就所给各测点的情况来看, 各方案的平衡水深略有不同, 方案1的最小平衡水深为2.21 m, 方案2为2.38 m, 方案3为2.55 m。说明经过一段时间以后, 方案1和方案2在设计低潮位时仍然会有泥滩出露, 方案3在历年最低潮位时也将有泥滩出露, 也就是说, 必须定期地进行泥滩疏浚维护, 否则, 连云港新城海洋景观无法维持。

3) 开敞方案实施后, 从各方案冲淤平衡后的

冲淤分布来看,随着开挖深度和范围的增加,泥沙回淤的范围和强度也逐渐增加,如方案3的回淤范围明显大于方案2,而方案2的回淤范围又明显大于方案1。

4)从各方案逐年累计回淤来看,回淤强度是逐年递减的,即初期淤积较快,以后逐步递减。如方案1第1 a的回淤率在30%左右,前5 a累计回淤率约为90%,6~7 a后达到最终的平衡。

5)随着开挖深度和范围越大,逐年回淤率越小,达到最终平衡所需的年限也越大。如方案2第1 a的回淤率在20%左右,前5 a累计回淤率约为80%,8~9 a后达到最终的平衡;方案3第1 a的回淤率在15%左右,前5 a累计回淤率约为65%,10~11 a后达到最终的平衡。

## 5 结论

1)随着人们对海滩环境要求的逐步提高,开敞式人工沙滩成了一种改善淤泥质海岸景观的一种尝试。开敞式清淤引起了泥沙回淤,所产生的海滩维护问题需要进一步研究。

2)在平衡水深概念所建立的淤泥质海床冲淤计算公式的基础上,通过对平衡流速的假设,添加了因水深改变而引起的海床冲淤。对适用于计算自然滩面下淤泥质海床冲淤计算公式做了适当的推广,提出了水深开挖条件下的淤泥质海床冲淤演变的计算公式。

3)利用推广后的公式,计算了连云港新城开敞式海滩清淤各方案的泥沙冲淤,计算结果符合水深开挖后泥沙回淤的基本规律,合理可信,说明本公式可在淤泥质海岸水深开挖的条件下应用。

4)由计算结果可知:开挖水深和范围越大,平衡后泥沙回淤的强度与范围也越大;清淤工程平衡后,泥沙回淤有使海床恢复到工程前自然水深的趋势;各方案回淤强度逐年递减,年回淤率

随着开挖深度的增加而下降;各方案最终平衡年限随着开挖深度的增加而增加,方案1~方案3的最终平衡年限分别在6 a,8 a,10 a左右;各方案海床冲淤平衡后都会有泥滩出露现象,需要进行定期疏浚维护。

## 参考文献:

- [1] 季小梅,张永战,朱大奎.人工海滩研究进展[J].海洋地质动态,2006,22(7):21-25.
- [2] 张振克.美国东海岸海滩养护工程对中国砂质海滩旅游资源开发与保护的启示[J].海洋地质动态,2002,18(3):23-27.
- [3] 宋向群,郭子坚,陈士荫.星海湾人工海滨浴场的规划设计研究[J].土木工程学报,2005,38(4):134-140.
- [4] 季小梅,张永战,朱大奎.三亚海岸演变与人工海滩设计研究[J].第四纪研究,2007,27(5):853-860.
- [5] 潘毅,匡翠萍,杨燕雄,等.北戴河西海岸养护工程方案研究[J].水运工程,2008(7):23-28.
- [6] 孙开妍,庞启秀,刘杰,等.天津港人工沙滩环抱水域泥沙回淤研究[J].水道港口,2012(1):8-13.
- [7] 曹祖德,肖辉.潮流作用下淤泥质海床冲淤演变预测及应用[J].水道港口,2009(1):1-8.
- [8] 肖辉,赵洪波,曹祖德.平衡含沙量,平衡水深与海床冲淤计算[J].中国港湾建设,2009(5):16-20.
- [9] 张玮,阮程.连云港市连云新城人工岸线整治工程潮流泥沙数值模拟研究[R].南京:河海大学,2011.
- [10] 徐啸,余小建.连云港连云新城岸段人工沙滩可行性及岸滩设计研究[R].南京:南京水利科学研究院,2011.
- [11] 刘家驹.粉沙淤泥质海岸的航道淤积[J].水利水运工程学报,2004(1):6-11.
- [12] 国家海洋局.连云港西墅湾水文测验报告[R].北京:国家海洋局,2004.
- [13] JTJ 213—1998 海港水文规范[S].
- [14] 窦国仁.潮汐水流中的悬沙运动及冲淤计算[J].水利学报,1963(4):13-23.

(本文编辑 武亚庆)