

# 老海坝河段抛石护岸工程对 河道演变的影响评价

王茂枚<sup>1</sup>, 高云云<sup>2</sup>, 曾 瑞<sup>3</sup>, 鲁程鹏<sup>4\*</sup>, 赵 钢<sup>1</sup>

(1. 江苏省水利科学研究院, 江苏 南京 210017; 2. 安吉县水利局, 浙江 湖州 313300;  
3. 长江水利委员会长江下游水文水资源勘测局, 江苏 南京 210011; 4. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098)

**摘要:**为研究抛石护岸工程对河道演变的影响程度,基于 MIKE 3 水沙数值模型建立的河道演变影响综合评价模型,对6种不同的工程方案进行评价指标权重和河道演变影响综合评价系数的计算,并结合工程方案设计原理对评价结果进行综合分析。结果表明:影响抛石护岸工程附近河道演变的主要因素是流速和悬沙浓度,和河道演变的原理保持一致;不同工程方案对河道演变的影响程度和分布状况呈现较大的差异,工程区附近随不均匀度减小而减小,而其他区域随不均匀度呈先增后减的趋势;工程对整个区域的影响随抛石增厚值的增加而增加。研究结果不仅为抛石防护效果的评价提供思路,还为工程的后续管理和维护提供理论基础。

**关键词:**河道演变; 抛石护岸; 评价指标; 综合评价

**中图分类号:**TV861 **文献标识码:**B **文章编号:**1007-7839(2020)02-0042-06

## Impact evaluation of rock – revetment and bank – protection project on old sea dam reach on river course evolution

WANG Maomei<sup>1</sup>, GAO Yunyun<sup>2</sup>, ZENG Rui<sup>3</sup>, LU Chengpeng<sup>4\*</sup>, ZHAO Gang<sup>1</sup>

(1. Jiangsu Institute of Water Resources and Hydropower Research, Nanjing 210017, Jiangsu;  
2. Anji County Water Resources Bureau, Huzhou 313300, Zhejiang; 3. Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Yangtze River Lower Reach, Yangtze River Water Resource Commission, Nanjing 210011, Jiangsu;  
4. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, Jiangsu)

**Abstract:**To study the river course evolution on the effect of the riprap engineering based on MIKE3 water and sediment numerical model, constructed the comprehensive evaluation of the influence on the channel evolution, calculated the index weights and the comprehensive evaluation coefficient of river channel evolution, and analyzed the results combined with the engineering design principle. The results showed that the main factors affecting the river evolution near the rip rapping revetment project were the flow rate and suspended sediment concentration, which were in consistent with the principle of river evolution. The degree and distribution of the influence of different engineering schemes on the evolution of river channel were quite different, the area near the engineering decreased with the decrease of the index of unevenness, while the other areas increased first and then decreased. The influence of the project on the larger area increased with the increase of riprap thickening value. The research results could not only provide a new idea for the evaluation of the protection effect of riprap, but also afford a certain theo-

收稿日期:2019-08-04

基金项目:江苏省水利科技项目(2017009);河海大学中央高校基本科研业务费项目(2019B10514)

作者简介:王茂枚(1983—),男,高级工程师,硕士,主要从事抛石护岸工程方面的研究工作。

通信作者:鲁程鹏(1984—),男,副教授,主要从事水文水资源方面的科研工作。

retical basis for the follow-up management and maintenance for the project.

**Key words:** river course evolution; riprap protection of bank; evaluation index; comprehensive assessment

长江中下游河段受其自然特性及上游水沙条件的影响,河床和洲滩摆动性较大,岸线冲淤变化也较为频繁,崩岸现象时常发生<sup>[1]</sup>。据有关资料,自20世纪90年代以来,长江中下游河道已发生数百起崩岸现象,最严重时一年内发生数十起,崩岸段岸线长度占比达35.7%。在1998年大洪水的警示作用下,长江下游实施了大量河道整治工程,大大减少了崩岸现象的发生,大幅度提高了江岸的抗洪能力,但部分河段仍时常发生<sup>[2]</sup>。崩岸现象的危害难以估量,岸线的整治和维护对河势的稳定起着重大作用。此外,长江下游地区属长三角经济带,为全国重要的经济发展区,飞速发展的经济对防洪、航运等提出了更高的要求,因此长江下游的岸线稳定和河势控制势在必行。

目前,适应性强、费用低、施工难度低及可多次分批施工的水下抛石护岸工程,在长江下游护岸和河道整治工程中得到大量的应用<sup>[3]</sup>。但抛石护岸工程一般工程量和投资额较大,且用于抛石护岸的块石极易流失甚至崩塌。随着多波束探测技术和计算机技术的迅速发展,水下地形监测数据的获取难度降低,这为研究河床冲淤提供了良好的数据基础,许多学者以此对研究区进行了冲淤演变分析,为河道的治理提供了理论依据<sup>[4-5]</sup>。此外,三维水沙数值模拟发展至今,在精度、效率等方面均得到大幅度提高,具有广泛的应用价值<sup>[6-7]</sup>。姜果等根据河段内水文资料及河道地形资料,通过建立二维水沙数值模型分析了抛石前后水动力特性的变化,为研究抛石护岸工程的效果提供了新的思路<sup>[8]</sup>。本文基于水沙三维数值模型,筛选抛石护岸工程对河道演变的影响因素,通过建立相应的综合评价指标体系,计算指标权重并分析评价不同工程对河道演变的影响程度,结合具体工程进行河道演变的影响成因分析。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究区概况

研究河段位于长江三角洲城市群,处于长江潮流界变动区内,每日两涨两落。其径流泥沙资料参考大通站实测资料,近年来年平均输水量为 $7\ 930 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,年均输沙量为 $1 \times 10^8 \text{ t}$ 。该河段江面宽阔,宽度达10 km,河段内洲滩暗沙居多,使得河床对水

流约束的边界条件较宽,水流动荡,岸线冲淤反复。近年来该河段在节点综合整治工程下,河势的变化基本得到控制,但如皋中汉分流比长期在30%左右,落潮流顶冲浏海沙水道九龙港一带,导致河段河底高程达-65 m,严重威胁着岸线的稳定。为此,对浏海沙水道老海坝河段一干河—九龙港—十一圩河段进行抛石加固,目前工程已完工(位置如图1所示),该工程的实施缓解了水流的顶冲作用,对岸线的稳定起着重要的作用。

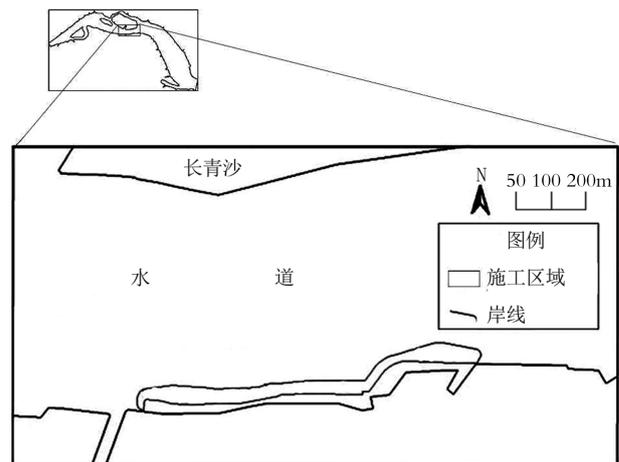


图1 抛石区位置示意图

### 1.2 三维水沙数值模型的建立

根据张家港市水利局提供的水位泥沙资料,采用MIKE 3对澄通河段江阴鹅鼻嘴至常熟徐六泾建立水沙数值模型,选取2014年7月26日至8月2日(工程前)和2015年8月11日至8月17日(工程后)这2个时段对模型参数进行率定及验证,其中模型的网格划分、边界控制条件、涉水工程概化方法、参数率定和验证参考相关规程并严格按照标准进行模型的建立和验证<sup>[9]</sup>。工程实施前和实施后的模型验证结果均满足相关规程,因此工程前的数值模型可将抛石护岸工程进行概化,从而提取抛石护岸工程实施前后水流和泥沙特性的变化并进行分析。

### 1.3 河道演变影响综合评价模型

#### 1.3.1 基本理论

河道演变影响评价可以简单理解为一些涉河工程对河流及河势演变的影响进行定量评价。目前,大江大河上有各种工程,包括跨河大桥、围堤、采砂、抛石等,许多学者针对某一工程对河势或河

床的影响进行详细评价,但普遍缺乏对河道演变的影响进行综合评价<sup>[10-11]</sup>。影响河道演变的主要因素可概括为进口边界条件、河床周界条件、出口边界条件。这3个因素有主次且互相制约、相互联系,但上游来水来沙条件是最主要的条件,因为其集中反映了河流作为输水输沙通道而存在的必要条件,而且其影响了另外2个条件的连锁变化。尽管影响河道演变的原因有很多,但从根本上讲河段内输沙不平衡是引起河道演变的根本原因。综上所述,确定河势演变影响评价主要包括水动力特性、泥沙特性和河床冲淤变化。

### 1.3.2 评价指标体系

根据研究区实际情况以及数据的可获取性,本着与代表性及全面性相结合,可操作性,现状与趋势相结合的原则,以河道演变规律为理论基础,将老海坝河段抛石工程对河道演变的影响作为主要评价内容,提取水位、流速、悬移质泥沙含量、冲淤变化等指标建立河道演变影响综合评价指标体系,见图2。

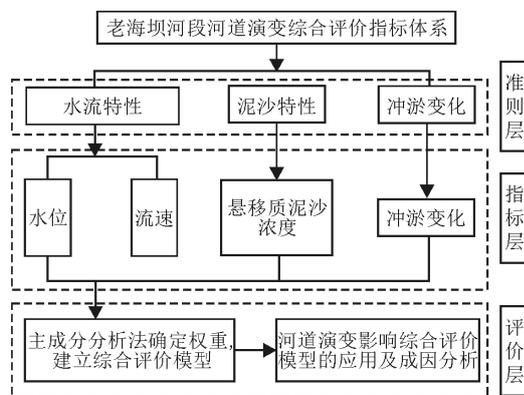


图2 评价指标体系

### 1.3.3 综合评价模型

根据已确定的河道演变影响综合评价指标体系,从已建立的三维水沙数值模型中提取各个指标并进行数据统一化处理。由于主成分分析法在为多个指标和变量确定权重方面具有广泛的应用性<sup>[12]</sup>,因此运用SPSS软件的主成分分析法确定各个指标的权重。最后,通过引入河道演变影响综合评价系数建立河道演变影响综合评价模型<sup>[13]</sup>。其模型公式如下:

$$CIRE_i = \sum_{j=1}^6 P_j W_j \quad (1)$$

式中: $i=1,2,\dots,6$ ,代表第1至第6个评价指标; $P_j$ 为第*j*个评价指标归一化后的值; $W_j$ 为第*j*个评价指标的权重。

## 2 结果与分析

### 2.1 工程方案设计

为分析不同工程对河道演变的影响程度,需要将抛石护岸工程的特性概化入模型中。但由于数值模型的局限性,工程的全部特性不可能全部概化,需根据实际情况选择既能反映工程的实际施工效果又能在模型中得以体现的因素进行概化。在实际施工过程中,往往是一些河势急剧的河段,抛入水下的石头不可能完全按照预先设计的路径在设计的位置落下,存在着各种各样的不确定性,抛石增厚值呈正态分布<sup>[14]</sup>。此外,不同河段不同河势下的设计抛石增厚值也不尽相同。这2个因素在MIKE 3数值模型中均可进行概化,因此可根据增厚值的随机分布情况及抛石增厚值来进行工程方案的设计。其中,抛石增厚值的随机分布情况采用空间分布不均匀度指数进行区分,指数越大意味着增厚值的分布越不规则<sup>[15]</sup>。工程方案1~6的具体情况见表1。

表1 施工区模拟地形方案

方案	数据来源
方案1	实际工程水下地形数据(其增厚值空间不均匀指数为0.82)
方案2	实测水下地形数据+增厚值(空间不均匀指数为0.79)
方案3	实测水下地形数据+增厚值(空间不均匀指数为0.73)
方案4	实测水下地形数据+增厚值(空间不均匀指数为0.76)
方案5	实测水下地形数据+抛石区增厚值为1 m
方案6	实测水下地形数据+抛石区增厚值为2 m

### 2.2 评价因子权重的确定

将表1中抛石护岸工程方案在MIKE 3数值模型中分别进行概化,并提取各工程方案的指标值。为使不同工程方案的评价指标处于同一尺度和标准下,对数据进行标准化处理,并运用主成分分析法确定各个指标的权重,如表2所示。

由表2可知,冲淤变化( $X_5$ )在所有因素中所占权重最小,平均权重仅11.6%;表层流速( $X_4$ )的平

均权重在所有因素中最大,为22.6%;中层流速( $X_3$ )的平均权重处于次要位置的原因为方案4中该指标值较小,拉低了整体的平均值。除方案4外,中层流速( $X_3$ )和表层流速( $X_4$ )的指标权重均占据最重要或者次重要位置,其平均权重值也较大,因此这两个指标对最终结果的影响较大,是进行河道演变影响评价的重要因素。水位( $X_1$ )和悬沙浓度( $X_5$ )的平均权重的大小处于中间位置,在各个方案中的权重也较大,因此水位和悬沙浓度是进行河道演变影响评价的次要因素。底层流速( $X_2$ )和冲淤变化( $X_6$ )在各个方案中所占的权重和平均权重较小,对河道演变影响评价的结果影响较小。根据河道演变的基本理论,上游来水来沙条件是影响河道演变的主要因素,据此推断流速和悬沙浓度对河道演变的影响较大,和上述权重分析结果保持一致,因此各个方案的权重计算结果可信度较高,可用于河道演变影响评价。

### 2.3 河道演变影响成因分析

#### 2.3.1 影响分析

根据表2可计算不同工程方案下,不同位置的

工程方案2一致;工程方案4中,其影响分布在整个模拟区域且影响偏小;工程方案5和方案6的影响分布较为均匀且方案6的影响大于方案5。工程方案1~4的指数分布较不均匀,方案5~6的影响则分布均匀;工程方案1~4中,工程区附近的指数分布均匀程度和其施工后的增厚值的不均匀度呈明显的相关关系。

#### 2.3.2 成因分析

为综合分析工程方案对河道演变的影响,将模拟区域分为几个不同的区域并详细分析,区域的划分如图4所示。工程方案1~6中各个分区的综合评价系数分布箱式图如图5所示。由图可知:工程区的系数值随抛石区不均匀度指数呈明显的减小趋势,随抛石增厚值的增加而增加;其他3个区域的系数值随不均匀度指数的减小而呈先增加后减小的明显变化,随抛石增厚值的增加而增加,其中如皋左汊的变化最为明显;当不均匀度指数处于一定范围内,工程对如皋左汊的影响远大于对其他区域的影响。从以上分析可知,抛石增厚值的分布均匀,其对工程区的影响愈小,抛石厚度越大则对

表2 方案1~6中河道演变影响综合评价指标权重系数

方案	水位 $X_1$	底层流速 $X_2$	中层流速 $X_3$	表层流速 $X_4$	悬沙浓度 $X_5$	冲淤变化 $X_6$
方案1	0.093	0.169	0.187	0.172	0.185	0.194
方案2	0.176	0.118	0.236	0.236	0.084	0.150
方案3	0.077	0.187	0.275	0.275	0.183	0.003
方案4	0.205	0.145	0.078	0.221	0.226	0.125
方案5	0.166	0.049	0.220	0.219	0.124	0.222
方案6	0.230	0.068	0.238	0.234	0.231	0.000

河道演变影响综合评价系数见图3。其中,河道演变影响综合评价系数愈大,意味着其对该区域的水动力泥沙特性的影响愈大。可以看出,不同工程方案下的河道演变影响程度和分布状况呈现较大的差异,部分工程方案的影响程度及范围较小,而其他工程方案的影响程度大且范围广,这些都与不同的工程实施方案有关。工程方案1的影响主要集中在工程区;工程方案2中,工程区附近的指数值较小,反而离工程区较远的通州沙水道、如皋左汊指数值较大;工程方案3的影响分布大小、范围和

河道演变的影响也越大。

## 3 结论

长江下游老海坝河段岸线整治工程对长江下游河势和岸线的稳定起着重要的作用。本文依托三维水沙数学模型建立了河道演变影响综合评价模型,分析不同工程设计方案对河道演变产生的影响并进行成因分析,得出以下结论:

(1)通过主成分分析法对反映河道演变的因子进行分析,得到了影响河道演变评价的主要因素

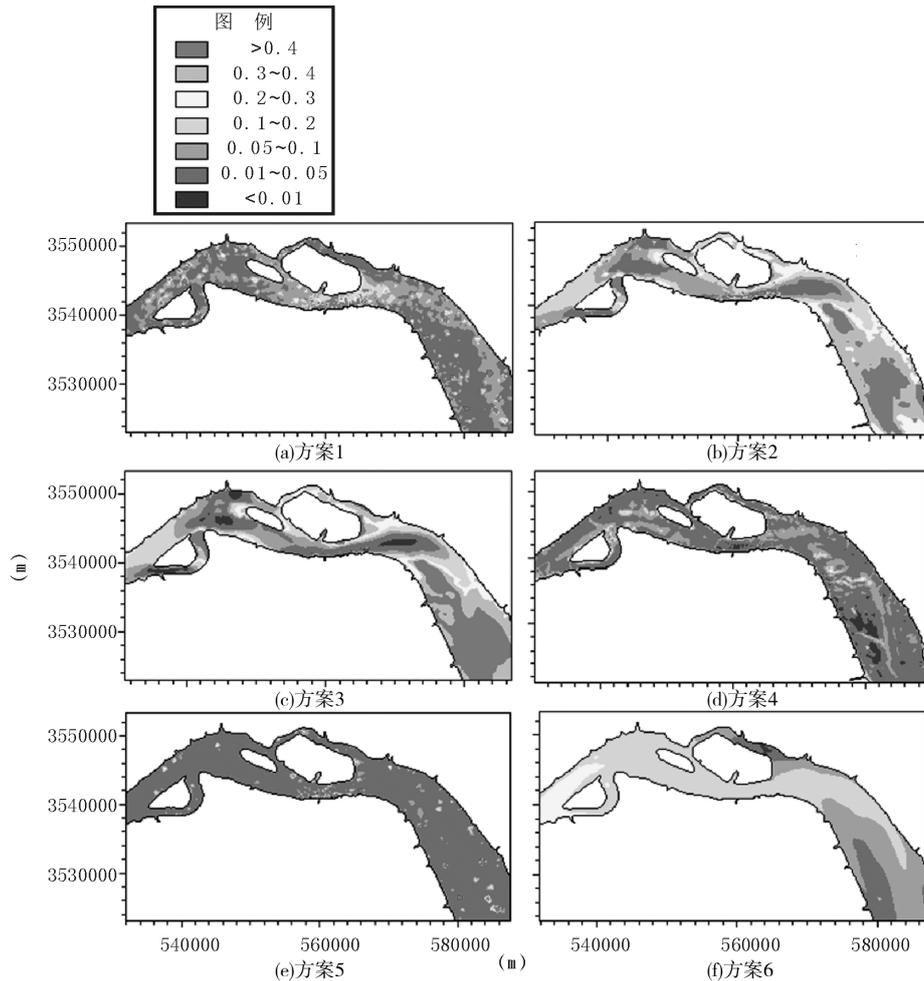


图3 工程方案1-6河道演变影响综合评价系数分布

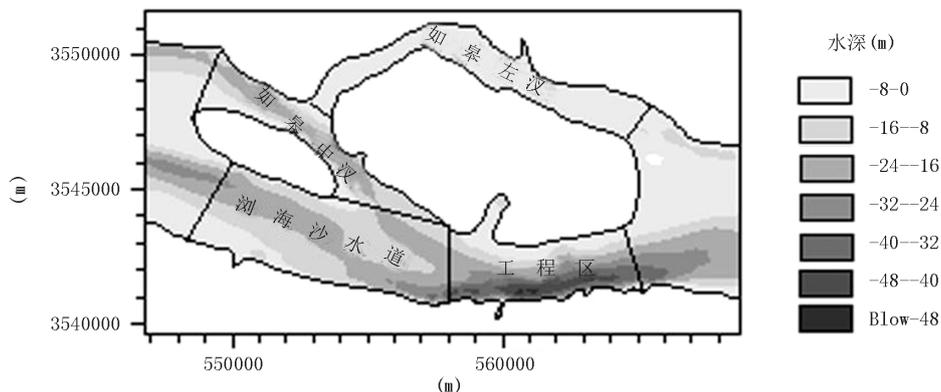


图4 工程区域的划分

(中层流速、表层流速)和次要因素(水位、悬沙浓度)以及可忽略因素(底层流速、冲淤变化)。

(2)当设计工程方案中抛石区增厚值分布不均匀时,其对工程区的影响随不均匀度的减小而减小,对如皋左汉、浏海沙水道、如皋中汉的影响呈现先增加后减小的趋势,其中如皋左汉最为显著;而当设计工程方案的增厚值为固定值时,对河道演变的影响分布在整个模拟区域,且随着增厚值的增大

而增大。因此,增厚值分布的不均匀度和厚度是影响河道演变的重要因素。

参考文献:

[1] 杨桂山,施少华,王传胜,等. 长江江苏段岸线利用与港口布局[J]. 长江流域资源与环境, 1999(1):17-22.  
 [2] 张幸农,应强,陈长英. 长江中下游崩岸险情类型及

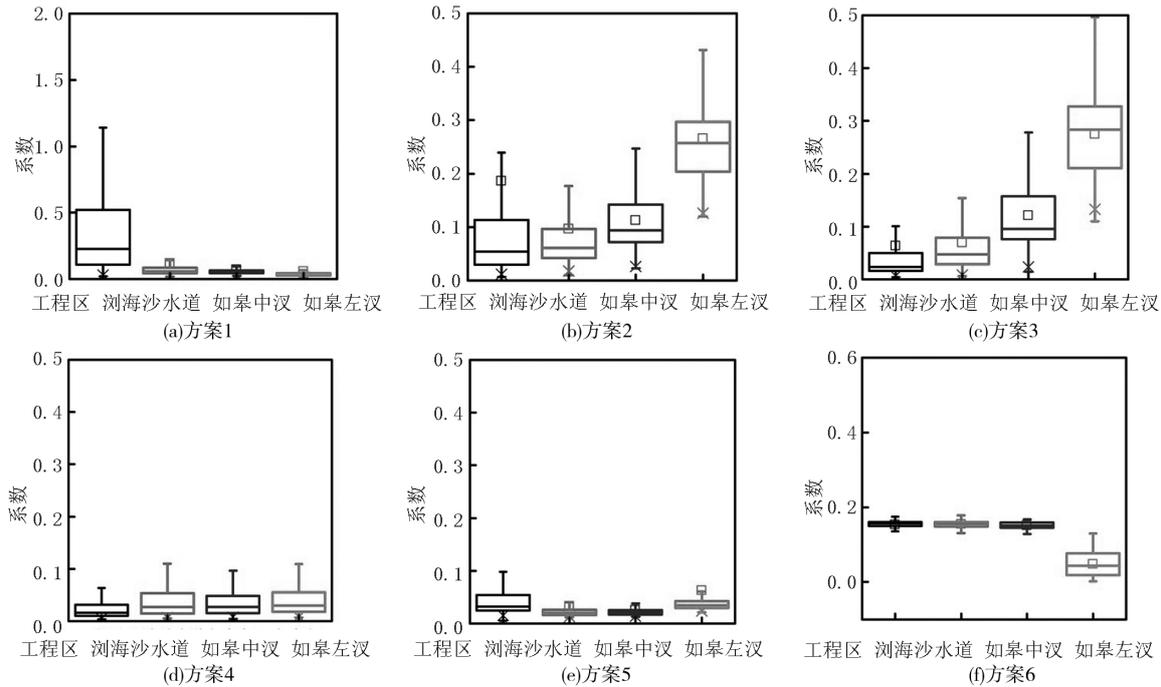


图5 方案1~6中不同分区评价系数箱式图

预测预防[J]. 水利学报, 2007(增刊1):246-250.

[3] 姚仕明, 卢金友. 抛石护岸工程试验研究[J]. 长江科学院院报, 2006(1):16-19.

[4] 钱海峰, 葛俊, 吴友斌, 等. 长江南京河段护岸工程实施效果浅析[J]. 人民长江, 2012, 43(增刊2):109-110.

[5] 屈贵贤, 王建, 高正荣, 等. 基于GIS的长江梅子洲头护岸工程对河势演变的影响分析[J]. 长江流域资源与环境, 2008(6):927-931.

[6] Leys V. OCEANS - IEEE. [C]. NEW YORK: IEEE, 2007:181-196.

[7] 李大鸣, 付庆军, 林毅, 等. 河道三维错层的水流泥沙数学模型[J]. 天津大学学报, 2008(7):769-776.

[8] 姜果, 鲁程鹏, 王茂枚, 等. 长江老海坝抛石护岸工程对河势的影响研究[J]. 泥沙研究, 2018, 43(5):27-32.

[9] 交通运输部. JTS/T 231-4—2018 内河航道与港口水流泥沙模拟技术规程[S]. 2018.

[10] 单婷婷, 杜德军, 吴道文, 等. 长江澄通河段横港沙

演变规律及整治效果预测[J]. 人民长江, 2011, 42(17):4-7.

[11] 张玮, 倪兵, 陈乾阳. 长江澄通河段通州沙西水道整治工程对分流比影响研究[J]. 水道港口, 2013, 34(1):39-44.

[12] Keshavarzifard M Z M P. Evaluation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Contamination in the Sediments of the Johor Strait, Peninsular Malaysia[J]. Polycyclic Aromatic Compounds, 2016:1-16.

[13] Smith E W T D. Principal component analysis and modeling of the subsidence of the shoreline of Lake Taupo, New Zealand, 1983 - 1999: Evidence for dewatering of a magmatic intrusion[J]. 2007, 112(8):8406.

[14] 吴雅文, 赵钢, 王茂枚, 等. 点云密度对水下抛石效果评价的影响[J]. 水电能源科学, 2018, 36(6):100-102.

[15] 陶良如, 朱彬彬, 孔德政. 基于均匀度理论的胡杨种群空间分布格局研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2018, 49(6):946-951.