

DOI: 10. 20040/j. cnki. 1000-7709. 2023. 20230386

# 横沙东滩(六~八期)工程对长江口影响的数值模拟研究

宋荣华, 唐建华

(长江勘测规划设计研究有限责任公司上海分公司, 上海 200439)

**摘要:** 为分析横沙东滩(六~八期)工程建设对长江口的影响,通过 Delft3D 建立长江口二维潮流模型,结合 2008、2016 年已有水文资料进行潮位、流速率定验证。基于平水年、洪水年水文条件,模拟计算横沙东滩六~八期工程实施前后长江口主要汊道潮量、潮位、流场等水文条件。结果表明,两种流量条件下,横沙东滩六~八期工程的建设对长江口主要汊道涨、落潮流量的影响较小,长江口高、低潮位的变化不超过 0.01 m,工程所在水域高、低潮位的变化不超过 0.02 m;工程对长江口大面流场结构无明显不利影响,北港水道、北港北沙夹泓涨潮流速有所减小,北港水道最大减幅为 0.03 m/s,北港北沙夹泓最大减幅为 0.02 m/s,横沙通道、长江口北槽深水航道涨潮流速基本无变化;在现状河床地形及工程边界条件下(横沙东滩工程全部建成),东北侧滩面存在西北—东南向窄沟,八期工程北缘和下游沙体北缘,落潮流速较大,最大流速在 1.5 m/s 以上,不利于横沙东滩整治工程的稳定。

**关键词:** 横沙东滩; 长江口; 数值模拟; 工程建设

**中图分类号:** TV131.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-7709(2023)11-0026-05

## 1 概况

横沙东滩位于上海市崇明区横沙岛东南。横沙东滩整治工程共分为八期,一、二、四期为促淤工程,五期为大堤工程;三、六、七、八期为综合整治工程(图 1)。横沙东滩六期工程基于一~五期工程实施,紧靠五期大堤,一、二、四期促淤区,整治总面积 3 200 ha。七期工程位于五期大堤北侧、六期东堤东侧、N23 丁坝西侧,整治面积约 1 347 ha。八期工程于 2016 年开工,整治面积约 4 267 ha。现有研究<sup>[1-3]</sup>表明,长江口洲滩处于动态再平衡状态,但缺少对横沙东滩六~八期工程建成后对河口影响分析及存在问题研究,本文通过适用于大型河口海岸且应用较成熟的 Delft3D

建立长江口二维潮流模型,基于平水年、洪水年水文条件,对横沙东滩六~八期工程实施前后主要汊道潮量、潮位、流场等水动力条件模拟计算,分析各因素变化量及其对河口的影响,同时在最新长江口河床地形及工程边界条件下,分析横沙浅滩、北槽、北港下段水域水动力变化对横沙东滩整治工程的影响,以利后期加固维护。

## 2 模型建立与验证

### 2.1 控制方程

Delft3D 是以 Flow 水动力模块为主体的多功能模型。水动力模块建立在 Navier-Stokes 方程的基础上,使用有限差分法和 ADI 法进行离散求解,采用正交曲线网格提高了模型对复杂岸线地形的适应性。在正交曲线坐标系  $\xi-\eta$  下平面二维水流方程<sup>[4]</sup>为:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d + \zeta)u \sqrt{G_{\eta\eta}}]}{\partial \xi} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d + \zeta)v \sqrt{G_{\xi\xi}}]}{\partial \eta} = 0 \quad (1)$$
$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{w}{d + \zeta} \frac{\partial u}{\partial \sigma} +$$

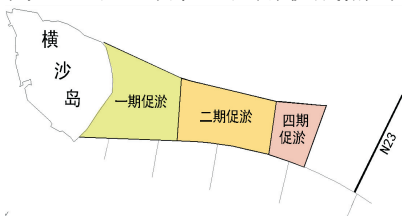


图 1 横沙东滩整治工程平面示意图

Fig. 1 Plan schematic diagram of Hengsha East Beach regulation project

收稿日期: 2023-03-16, 修回日期: 2023-04-22

作者简介: 宋荣华(1998-),男,研究方向为水动力学数值模拟, E-mail: 664004362@qq.com

$$\frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}}\frac{\partial\sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial\eta}-\frac{v^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}}\frac{\partial\sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial\xi}=-\frac{1}{\rho_0\sqrt{G_{\xi\xi}}}P_{\xi}+F_{\xi}+\frac{1}{(d+\zeta)^2}\frac{\partial}{\partial\sigma}\left(v_v\frac{\partial u}{\partial\sigma}\right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+\frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}}\frac{\partial v}{\partial\xi}+\frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}}\frac{\partial v}{\partial\eta}+\frac{w}{d+\zeta}\frac{\partial v}{\partial\sigma}+\frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}}\frac{\partial\sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial\eta}-\frac{u^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}}\frac{\partial\sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial\xi}=-\frac{1}{\rho_0\sqrt{G_{\eta\eta}}}P_{\eta}+F_{\eta}+\frac{1}{(d+\zeta)^2}\frac{\partial}{\partial\sigma}\left(v_v\frac{\partial v}{\partial\sigma}\right) \quad (3)$$

式中,  $\zeta$  为参考平面以上的水位;  $t$  为时间;  $\xi, \eta$  均为平面或曲线坐标;  $G_{\xi\xi}, G_{\eta\eta}$  分别为  $\xi, \eta$  方向的坐标变换系数;  $d$  为参考平面以下的深度值;  $u, v$  分别为  $\xi, \eta$  方向沿水深平均的流速分量;  $w$  为沉速;  $\sigma$  为无量纲量, 自由水面取 0, 河底取 1;  $\rho_0$  为水的密度;  $P_{\xi}, P_{\eta}$  分别为  $\xi, \eta$  方向的静水压强;  $F_{\xi}, F_{\eta}$  分别为  $\xi, \eta$  方向的雷诺应力;  $v_v$  为垂向粘滞系数。

### 2.2 计算范围与网格布置

长江口、杭州湾整体二维潮流数学模型的计算范围包括长江口、杭州湾及附近外海水域。模型长江部分上边界在长江大通河段, 外海北边界至北纬  $32^{\circ}17'$ , 南边界位于杭州湾南侧北纬  $29^{\circ}11'$  附近, 东至东经  $123^{\circ}45'$ 。模型东西长约 600 km, 南北宽约 345 km (图 2(a))。模型计算中考虑长江口已实施的工程, 包括长江口深水航道、中央沙、青草沙水库、南北港分流口整治工程及南汇东滩已实施的各期工程等。整体模型网格分辨率较高, 口内为 100~500 m, 南北支分汉口区域的网格加密, 在北支上端的分辨率约 100 m, 口外较疏, 最大约 7 km; 模型网格总数为  $595 \times 699$  个。为提高模型计算精度, 并尽可能真实反映工程实际尺度, 工程所在水域网格局部加密, 最小网格间距约 50 m, 模型网格总数为  $186 \times 167$  个 (图 2(b))。

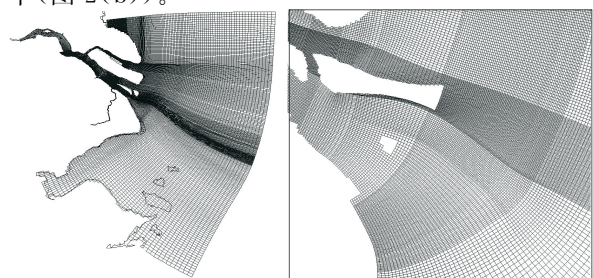


图 2 模型计算范围与网格划分

### 2.3 边界条件和初始条件

长江口、杭州湾整体模型上边界由实测流量过程控制; 口外北、东、南边界采用 16 个分潮的天文调和常数计算潮位来驱动。工程河段地形 (水深) 采用横沙六期建设前和现状条件模拟。初始潮位取计算开始时刻的上、下边界的平均潮位; 初始流速取为零。

### 2.4 模型计算参数

潮流数学模型计算时间步长为 30 s; 紊动粘滞系数为  $30 \text{ m}^2/\text{s}$ ; 谢才系数采用曼宁公式, 糙率在深槽取值范围为 0.010~0.016, 浅滩水域取值为 0.016~0.025。

### 2.5 模型的率定和验证

模型采用范围较广、资料较为完整的验潮站逐时潮位观测资料和潮流同步观测资料率定和验证。模型率定采用 2008 年 3 月 9~10 日工程水域附近的水文测验资料, 见图 3(a)。模型率定同时采用 2016 年 7 月长江口南港、北港、南槽、北槽水域的水文测验资料, 各潮流测站分布见图 3(b)。2016 年的水文资料中水文测验潮位和流速测点齐全, 在工程所在河段有完整测点, 能较好反映长江口水域的潮流特征。从模型率定和验证结果来看, 总体上模型率定和验证效果良好, 潮位相位误差一般不超过 0.25~0.50 h, 高、低潮位误差在 0.15 m 以内; 流速计算值与实测值有一定误差, 一方面可能是测量仪器本身的误差, 另一方面是模拟计算中主要考虑径流和潮流两种动力因子, 而实测资料还受到风、波浪等诸多因子影响。

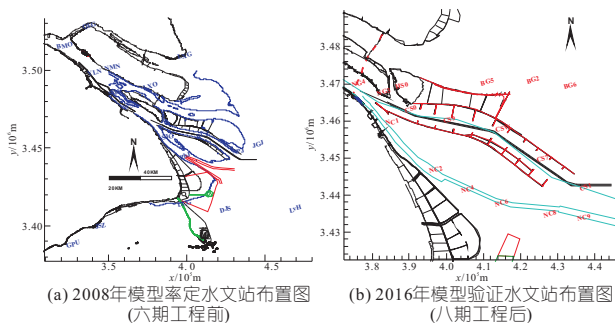


图 3 模型率定、验证水文站布置

Fig. 3 Model calibration and verification of hydrological station layout

## 3 模型计算结果与分析

### 3.1 计算水文条件

根据大通站流量资料统计, 通常水平年大通流量约  $29\ 600 \text{ m}^3/\text{s}$  左右, 丰水年大通流量在  $70\ 000 \text{ m}^3/\text{s}$  以上。为分析工程建设对附近水域

(a) 长江口大范围模型计算网格 (b) 工程河段局部计算网格

Fig. 2 Model calculation scope and grid division

的影响,各计算水文条件选取如下:①平水年水文条件。计算时段 2002 年 9 月 20~30 日,对应上游大通流量为 30 600~38 600 m<sup>3</sup>/s,江阴站最大潮差为 2.65 m,连兴港最大潮差 4.22 m。②丰水年水文条件。计算时段 1998 年 8 月 6~11 日,上游大通洪峰流量为 82 300 m<sup>3</sup>/s,徐六泾最大潮差 3.22 m,连兴港最大潮差 4.54 m。

### 3.2 计算方案

①方案 1。施工前。横沙六期工程实施以前地形和岸界条件。②方案 2。施工后。2021 年现状地形条件、河床边界条件、上下游已实施的相关工程条件。

### 3.3 计算结果分析

(1)主要汉道潮量变化。为研究工程建设后对长江口水域各主要水道涨落潮量的影响,在工程上游南、北港布置断面 CS1、CS2,在工程附近北港水域布置断面 CS3、CS8、CS9,在横沙通道布置断面 CS4,在北槽深水航道布置断面 CS5、CS6、CS7,在横沙东滩 N23 丁坝外侧布置断面 CS10,在 N23 丁坝以东沿北导堤布置断面 CS11(图 4(a)),共设置 11 个断面进行统计分析。

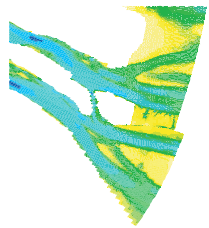


图 4 潮量监测断面及潮位监测点分布

Fig. 4 Tidal monitoring section and distribution map of tidal level monitoring points

由表 1 可知,因工程实施前区域滩面较高、水深较浅,且其西侧、南侧均已固定,工程附近水域各水道的涨、落潮量变化不大;工程水域上游的

表 1 工程前后各断面涨落潮量变化统计

Tab. 1 Statistics of changes in tidal volume at various sections before and after the project

断面	所在汉道、水道	平水年涨潮量变化率/%	洪水涨潮量变化率/%	平水年落潮量变化率/%	洪水落潮量变化率/%
CS1	北港上	0.1	0.2	0.1	0.1
CS2	南港上	0.1	0.2	0.1	-0.1
CS3	北港下	1.9	2.0	0.5	0.3
CS4	横沙通道	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5
CS5	深水航道上	-0.3	-0.2	-0.4	-0.3
CS6	深水航道中	-0.2	-0.7	-0.3	-0.3
CS7	深水航道下	-1.0	-1.1	-0.9	-0.8
CS8	北港北沙夹泓	1.2	2.1	0.9	0.6
CS9	北港水道	-2.0	-2.1	-1.8	-1.6
CS10	N23 丁坝	-1.9	-2.1	-0.5	-0.7
CS11	N23 丁坝东侧北导堤	-0.1	-0.1	0.2	0.4

南、北港 CS1、CS2 断面的涨落潮量略有变化,但变化幅度均在 0.4% 以内;横沙通道 CS4 的涨落潮量有所减小,但减小幅度在 0.5% 以内;对于北槽长江口深水航道,工程实施后,各断面涨落潮量均有一定程度减小,CS7 断面涨落潮量变化幅度稍大,涨落潮量减小幅度最大达 1.5%;由于工程后北港下断面束窄,涨落潮流北偏,故北港下断面 CS3 涨落潮量均有所增加,增加幅度最大为 2.0%;断面 CS9 涨落潮量均有所减小,减小幅度最大约 2.0%,断面 CS9 减小的涨落潮量部分补充到北港北沙夹泓,故断面 CS8 涨落潮量均有所增加,增加幅度最大约 2.1%。

根据模型计算结果,工程实施后,涨、落潮期通过 N23 丁坝的越堤流量均有所减少,且减小幅度涨潮期大于落潮期,最大减小幅度达 3.5%,这有利于该丁坝的维护及横沙东滩的滩涂稳定、促淤;涨潮期通过 N23 丁坝东侧未出水北导堤的越堤流量略有减少,落潮期通过 N23 丁坝东部未出水北导堤的越堤流量有所增加,增加幅度最大为 0.4%,因此工程实施对横沙东滩与长江口北槽深水航道的水量交换基本无影响。

从涨、落潮量的变率对比来看,总体上来说,工程建设对涨潮量的影响比对落潮量的影响大,这主要是因为工程水域落潮期受横沙岛岛影庇护影响,而涨潮期直接受北港外海涨潮流及北槽深水航道越堤涨潮流影响,因此涨潮流带来的影响更为直接。

由于工程水域滩面较高、水深较浅,故工程实施不会明显影响南北港的分流比。根据统计,工程实施后北港分流比的变化幅度最大为 0.05%。

(2)长江口潮位变化。工程前后各潮位输出点(图 4(b))高、低潮位变化见表 2。由表 2 可知,工程实施后,各邻近点高、低潮位变化不超过 0.01 m;工程附近水域高、低潮位变化不超过 0.02 m。

(3)附近水域流场变化。各水文条件下,工程建设前后水域流场变化见图 5。由图 5 可知,工程建设后,工程水域北侧、东侧的北港水道、北港北沙夹泓涨潮流速有所减小,北港水道最大减幅为 0.03 m/s,北港北沙夹泓最大减幅为 0.02 m/s;北港水道、北港北沙夹泓之间水域涨潮流速有所增加,最大增加幅度为 0.02 m/s;工程水域西侧上游的北港水道涨潮流速有所增加,最大增幅为 0.02~0.03 m/s;横沙通道、长江口北槽深水航道涨潮流速基本无变化。

工程建设后,工程水域北侧、东侧的北港水道、北港北沙夹泓落潮流速有所减小,北港水道最

表 2 各水文条件下高低潮位工程前后变化

Tab.2 Changes in high and low tide levels before and after engineering under various hydrological conditions

序号	所处位置	平水年高潮位变化/m	平水年低潮位变化/m	洪水年高潮位变化/m	洪水年低潮位变化/m
1	BZH	-0.01	-0.01	-0.01	0.00
2	QCS	0.00	0.00	-0.01	0.00
3	XJG	-0.01	0.00	0.00	-0.01
4	HS1	0.00	-0.01	0.00	0.00
5	HS2	0.00	0.00	0.00	-0.01
6	CMDT	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01
7	BC1	0.01	0.00	0.01	0.00
8	BC2	0.01	0.00	0.01	0.00
9	BC3	0.01	0.00	0.01	0.00
10	BC4	0.00	0.00	0.00	0.00
11	BG1	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01
12	BG2	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01
13	BG3	0.00	0.00	0.01	0.00
14	BG4	0.00	0.00	0.00	-0.01
15	NC1	0.01	0.00	0.01	0.00
16	NC2	0.00	0.00	0.01	0.00
17	NC3	0.00	0.00	0.01	0.00
18	NG1	0.00	-0.01	0.00	0.00
19	NG2	0.02	0.00	0.00	0.00
20	NMG	0.00	0.00	-0.01	0.00
21	FLK	0.00	0.00	-0.01	0.00
22	BDS	-0.01	0.00	0.00	0.00
23	HShDT	0.01	0.01	0.01	0.00

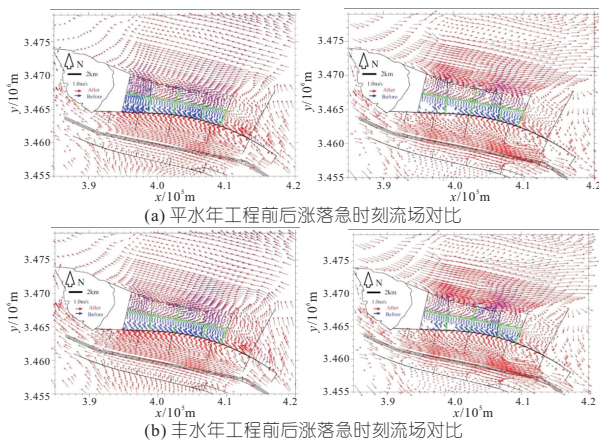


图 5 工程建设前后流场对比

Fig.5 Comparison of flow field before and after engineering construction

大减幅为 0.05 m/s,北港北沙夹泓最大减幅为 0.02 m/s;北港水道、北港北沙夹泓之间水域落潮流速基本无明显变化;工程水域西侧上游北港水道落潮流速略有增加,最大增加幅度为 0.02 m/s;横沙通道落潮流速略有减小,最大增幅为 0.01 m/s,长江口北槽深水航道落潮流速基本无变化。

(4)工程水域现状水动力条件计算分析。为研究工程实施对长江口横沙浅滩、北槽、北港下段现状河床地形、工程边界条件下的水动力影响,模拟计算平水年、洪水水文条件下,工程附近水域的涨、落潮流场及流速大小分布,见图 6。由图 6 可

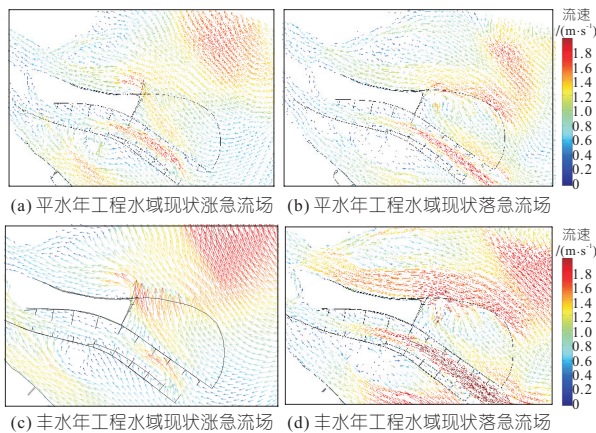


图 6 工程水域水动力条件分析

Fig.6 Analysis of hydrodynamic conditions in engineering waters

知,在新的河床地形及工程边界条件下,横沙浅滩、北槽、北港下段水域的水动力条件得到了调整和很好地适应。

横沙浅滩自西北侧 N23 潜堤堤头至深水航道北导堤东段,存在一西北—东南向窄沟,涨落潮期,主流经此窄沟向西北或东南方向流动,窄沟水域最大流速在 1.5~2.0 m/s 以上,导致窄沟不断发展发育;窄沟西南及东北侧横沙浅滩滩面水域,涨落潮流速相对较低,尤其是窄沟西南侧横沙浅滩滩面水域涨落潮流速较低,有利于滩面维护,但窄沟东北侧滩面,涨落潮期存在漫滩流,不利于滩面维护。

现状地形条件下,受北港中上段弯道不断坐弯影响,北港下段深泓线南靠,不断逼近横沙东滩八期工程北缘和下游的横沙浅滩北缘沙体,落潮流速较大,最大流速在 1.5 m/s 以上,后续需加强沿线水域的研究和防护。北槽涨落潮流得到进一步归顺,涨落潮流总体较为平顺和集中。

## 4 结论

a. 横沙东滩六~八期工程的建设对长江口主要汊道涨、落潮流量的影响较小,长江口高、低潮位的变化不超过 0.01 m,工程所在水域高、低潮位的变化不超过 0.02 m。

b. 横沙东滩工程对长江口大面积流场结构无明显不利影响,北港水道、北港北沙夹泓涨潮流速有所减小,北港水道最大减小幅度为 0.03 m/s,北港北沙夹泓最大减幅为 0.02 m/s,横沙通道、长江口北槽深水航道涨潮流速基本无变化。

c. 在现状河床地形及工程边界条件下,东北侧滩面存在西北—东南向窄沟,八期工程北缘和下游沙体北缘,落潮流速较大,最大流速在 1.5 m/s 以上,不利于横沙东滩整治工程稳定,后期需

加强沿线水域研究和防护。

参考文献:

[1] 栾华龙,刘同宦,丁平兴. 长江口河段近期冲淤演变过程及未来趋势预测[J]. 工程科学与技术,2019,51(2),21-27.

[2] 郭兴杰,王寒梅,史玉金,等. 近年来横沙东滩围垦

区前沿地形演化规律及驱动因素分析[J]. 海洋学报,2019,41(11):142-149.

[3] 曹帅. 横沙东滩圈围工程对周边水环境影响的数值模拟研究[D]. 大连:大连理工大学,2015.

[4] 路川藤,罗小峰,徐群,等. 基于非结构网格的长江口横沙东滩新陆域数值模拟[J]. 水利水电技术,2017,48(9):72-76,125.

## Numerical Simulation Study on Influence of Hengsha Dongtan (Phase 6-8) Project on the Yangtze River Estuary

SONG Rong-hua, TANG Jian-hua

(Shanghai Branch of Changjiang Survey, Planning, Design and Research Co., Ltd., Shanghai 200439, China)

**Abstract:** To analyze the impact of the construction of the Hengsha Dongtan (Phase 6-8) project on the Yangtze River Estuary, a two-dimensional tidal flow model was established using Delft3D, and tidal level and velocity calibration verification was conducted using existing hydrological data from 2008 and 2016. Based on the hydrological conditions in normal and flood years, the hydrological conditions, such as tidal volume, tidal level, and flow field in the main tributaries of the Yangtze River Estuary before and after the implementation of the Hengsha Dongtan Phase 6-8 Project were simulated. The results show that under two flow conditions, the construction of the Hengsha Dongtan Phase 6-8 project has a relatively small impact on the rising and falling tide flows of the main tributaries of the Yangtze River Estuary. The variation of high and low tide levels in the Yangtze River Estuary does not exceed 0.01 m, and the variation of high and low tide levels in the water area where the project is located does not exceed 0.02 m; The project has no significant adverse impact on the large-scale flow field structure of the Yangtze River Estuary. The rising tide velocity of the Beigang Waterway and Beigang Beisha Jiahong has decreased, with a maximum decrease of 0.03 m/s in Beigang Waterway and 0.02 m/s in Beigang Beisha Jiahong. The rising tide velocity of the Hengsha Channel and the North Channel of the Yangtze River Estuary has remained basically unchanged. Under the current riverbed terrain and engineering boundary conditions (all of the Hengsha East Beach project has been completed), there is a northwest southeast channel on the northeast side of the beach surface. The northern edge of the eighth phase project and the northern edge of the downstream sand body have a high ebb tide velocity, with a maximum velocity of 1.5 m/s or above, which is not conducive to the stability of the Hengsha East Beach regulation project.

**Key words:** Hengsha Dongtan; the Yangtze River Estuary; numerical simulation; engineering construction

\*\*\*\*\*  
(上接第 42 页)

[7] 彭守璋. 中国 1 km 分辨率逐月降水量数据集 (1901-2020)[M]. 北京: 国家青藏高原科学数据中心, 2020.

[8] 徐新良. 中国年度植被指数 (NDVI) 空间分布数据集[M]. 北京: 中国科学院资源环境科学数据中心数据注册与出版系统, 2018.

[9] 中国地质环境监测院. 中国地质环境监测地下水位年鉴[M]. 北京: 中国大地出版社, 2005-2016.

[10] BRUNSDON C, FOTHERINGHAM S, CHARL-

TON M. Geographically weighted regression[J]. Journal of the Royal Statistical Society Series D(the statistician), 1998, 47(3). DOI: 10.1111/1467-9884.00145.

[11] 刘芳芳,黄耀欢,姚华荣,等. 基于 GRACE 的京津冀地下水储量变化时空演变格局[J]. 南水北调与水利科技(中英文),2021,19(5):874-882.

[12] 王丽亚,郭海朋. 连续干旱对北京平原区地下水的影响[J]. 水文地质工程地质,2015,42(1):1-6.

## Downscaling of Groundwater Storage Change in Haihe River Basin Based on GWR Model

HUANG Shang-fu<sup>1,2a</sup>, DUAN Guang-yao<sup>1</sup>, HE Ji-jun<sup>2b</sup>, WU Xia<sup>1</sup>, YU Shuai<sup>1</sup>

(1. Beijing Water Science and Technology Institute, Beijing 100048, China; 2a. College of Resource Environment and Tourism; 2b. College of Elementary Education, Capital Normal University, Beijing 100048, China)

**Abstract:** Using GRACE gravity satellite data combined with GLDAS data inversion can obtain the change of groundwater reserves, which can monitor the change of groundwater reserves in the study area on a large scale, but the spatial resolution of the obtained data is only 0.25°, and it is difficult to be applied in the small scale. Based on the spatial relationship between GRACE terrestrial water storage and GLDAS shallow surface water storage and precipitation, NDVI, a downscaling method of groundwater storage change based on geographically weighted regression model (GWR model) was proposed, and the spatial resolution of groundwater storage was downscaled to 1 km. The results show that the GWR model downscaling method is successfully applied to the Haihe River Basin. The correlation coefficients between the groundwater storage data after downscaling and the measured groundwater level data at 46 verification points are all greater than 0.6, and the simulation results are reasonable and reliable. Furthermore, the temporal and spatial variation characteristics of groundwater storage in Haihe River Basin and Beijing Plain were analyzed by using the downscaling results. The results are highly consistent with the existing data, indicating that the downscaling method based on GWR model can effectively improve the spatial resolution of groundwater storage change data.

**Key words:** GRACE; GLDAS; groundwater storage changes; GWR downscaling; water resources monitoring