

# 岸线变化对连云港港口海域水交换的影响研究<sup>\*</sup>

张存勇

(淮海工学院 测绘工程学院, 江苏 连云港 222005)

**摘要:**运用 ECOMSED 三维数值模型研究了岸线变化对连云港港口海域水交换的影响, 得出了港域典型位置水质点的 Lagrange 轨迹和水体的半交换期。结果表明, 岸线变化后, 港域流速变小, 受南、北防波堤的束水作用, 口门附近流速增大, 丁坝内侧流速减缓, 北防波堤内侧和旗台港区延伸段东南角的局部水域在涨潮过程中形成旋流区。质点追踪结果显示, 港域水质点具有向湾顶方向运移的趋势, 运移距离总体变小, 一个潮周期内港域中部附近水质点已很难运移到口门以外海域。岸线变化前后水交换半周期分别为 31.8 个潮周期和 39.3 个潮周期。

**关键词:**岸线变化; 水交换; 港口海域; 连云港

**中图分类号:**P731

**文献标识码:**A

**文章编号:**1671-6647(2015)01-0031-07

水交换能力是海湾、近岸海域的重要水动力学特性, 与区域水体的自净能力、环境容量、营养盐输运、生态环境、冲淤等具有密切的联系<sup>[1]</sup>。近年来, 随着港口扩建工程的开发, 港口岸线发生变化, 因而海域的水动力和水交换能力改变, 这对港口、航道和海岸生态系统造成一定影响。

连云港港口位于江苏省北部, 滨临南黄海, 连接长江三角洲北部地区和渤海湾南部地区, 为一淤泥质半封闭海湾式港口。随着江苏沿海开发国家战略的实施, 为拓展连云港港口空间, 对港内岸线及水域重新规划开发, 围海造港并新建外防波堤。岸线变化导致狭长港湾内的水动力发生一定变化, 直接关系到港内回淤和水质状况。因此, 开展岸线变化对港口海域水交换的影响分析, 对港口经济的可持续发展具有重要意义。本文基于连云港港口海域岸线变化数据, 应用 ECOMSED 三维数值模型研究了岸线变化对港内水动力的影响, 定量研究了港湾水体的交换能力。

## 1 港域概况

### 1.1 岸线变化

连云港港口大堤港区的建设使岸线向港内推进, 水域面积减小, 港内岸线及水域重新规划为墟沟港区、庙岭港区、大堤港区和旗台港区。为满足旗台港区的泊稳要求, 2012 年在旗台港区延伸段东北角以及羊窝头以东分别建设了南、北防波堤。旗台港区和防波堤的建设, 使港口海域的口门向东推进了约 4.5 km, 岸线形态的变化改变了港口形状(图 1), 导致港内水动力环境发生变化。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2014-01-14

资助项目: 江苏省海洋资源开发研究院开放课题基金——岸线变化对港口海域水沙交换的影响研究(JSIMR201331)

作者简介: 张存勇(1971-), 男, 山东单县人, 副教授, 博士, 主要从事海洋技术方面研究. E-mail: ouczhangcunyong@163.com

(陈 靖 编辑)

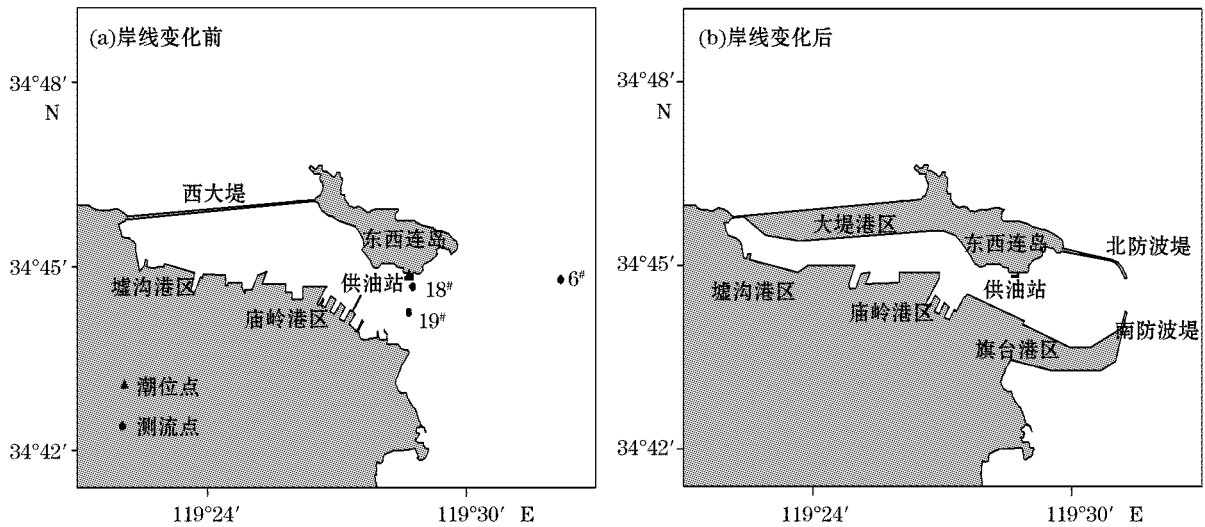


图 1 连云港港口海域岸线变化

Fig. 1 Shoreline change of Lianyungang port area

## 1.2 潮汐潮流

连云港港口海域基本属于正规半日潮,根据 2005 年实测水文资料,港域供油站最高潮位 5.49 m,最低潮位 1.03 m,最大潮差 4.24 m,涨潮流历时约为 5 h 11 min~5 h 40 min,落潮流历时 6 h 29 min~7 h 18 min。潮流运动主要受  $M_2$  分潮流控制,基本为往复流。涨潮流进入湾口后,随着湾域展宽潮流转为 NW 向,主体向西大堤边滩流动;落潮流基本沿着涨潮流路返回,到达湾口水域后流向外海<sup>[2]</sup>。

## 2 计算方法

ECOMSED 模型是在 POM 模式的基础上发展起来的一个适用于河流、堤坝、河口海岸等浅水环境的三维泥沙水动力模型<sup>[3]</sup>。模式分内外模态,采用时间分裂技术,包括水动力模块、非粘性泥沙输运、粘性泥沙输运、再悬浮及沉积固结模块、质点追踪模块、波浪模块等,可用来模拟水位、潮流、波浪、水温、盐度、示踪物、沉积物时空分布和输运的三维数值模式,已被成功运用于海洋、海岸和河口水体的数值模拟研究中。

### 2.1 模型设置

计算区域选取从岚山头到灌河口所包含海域,采用矩形网格,在港口海域进行加密,小网格空间步长为 200 m,大网格为 1 000 m(图 2)。垂向采用  $\sigma$  坐标,分为 7 层。内模时间为 30 s,内外模时间比为 10。开边界采用岚山

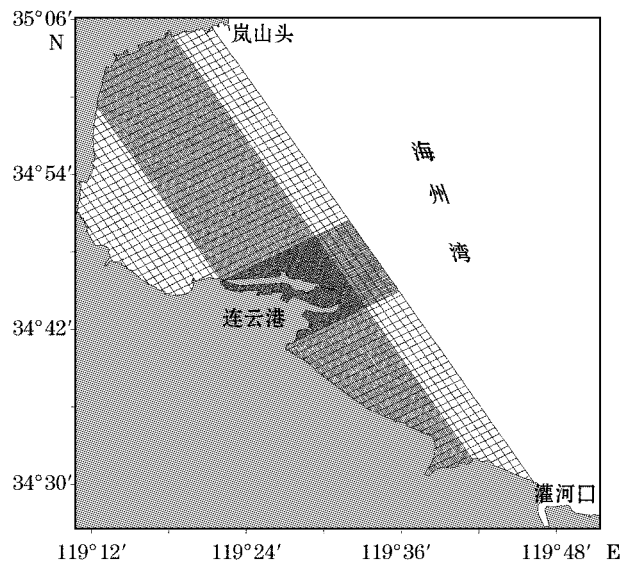


图 2 计算区域网格

Fig. 2 Grid of the computational domain

头和灌河口实测水位准调和分析的 4 个主要分潮作为潮流场的驱动力。水位和流速采用零初始条件。温、盐初始条件采用实测的温、盐平均值。水深由中国人民解放军海军司令部航海保障部编制的 12570、12582、12583 号 3 幅海图和部分实测结果确定,经数字化处理插值得到模型计算的网格水深,并将水深换算到平均海平面。

### 2.2 模型验证

选取 2006-01-02 多站定点实测潮位、潮流<sup>[4]</sup>对模型进行验证,分别输出比较接近的计算网格点结果与相同时刻站位实测值进行比较。以港域供油站潮位和口门附近 18# 站(图 1)潮流验证结果为例(图 3 和图 4),从图中可以看出,实测水位与同步计算结果符合较好,表中底层流速与计算值变化趋势基本一致,但不完全吻合,产生这种现象的原因可能同观测期间受波浪影响有关。此外,观测采用的是直读式海流计,人工观测加上仪器误差也会产生偏差。

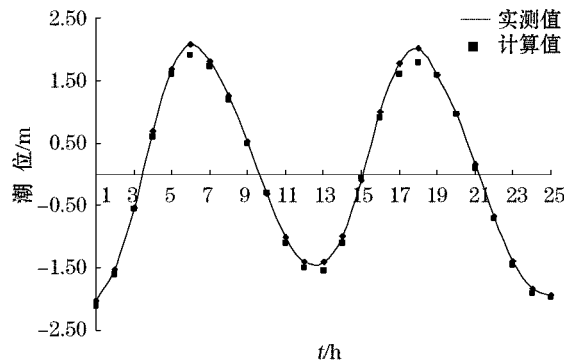


图 3 供油站潮位验证

Fig. 3 Verification of tidal level at oil supply station

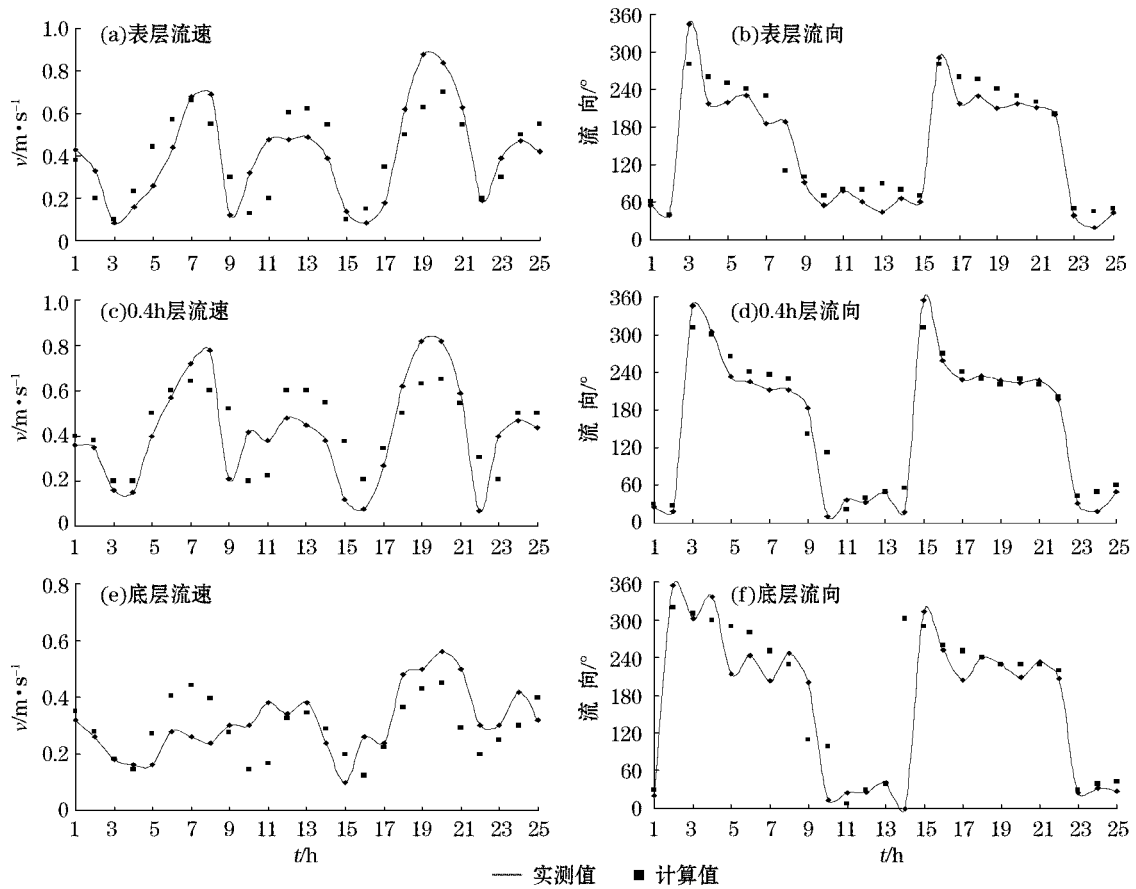


图 4 18# 站潮流实测值与计算值验证

Fig. 4 Verification of tidal current at Station 18

### 3 结果与分析

#### 3.1 水动力变化

计算结果表明,流场垂向变化趋势基本一致。图 5 为港口海域岸线变化前后涨落潮中间时表层的计算流场,由图可知,岸线变化前,港湾外部海域潮流以旋转流为主,受东西连岛、周边海岸轮廓线和水下地形影响,近岸水域各岸段潮流有所不同。涨潮时,海州湾一部分潮流绕过东西连岛和外海潮流流入港湾,另一部分向南流去,在口门附近发生分流;落潮时,港内潮流和南来的潮流在口门附近产生汇流,向偏北方向流去,一部分潮流呈逆时针方向绕岛偏转。港内水域涨、落潮流均从口门进出,基本为往复流,涨潮流向西,落潮流向东,涨、落急最大流速基本处于中潮位,在高、低潮位时,流速最低。

岸线变化后,港湾外部海域潮流场受影响较小,远岸为旋转流,近岸为往复流。涨潮时,海州湾一部分潮流绕岛经北防波堤和外海潮流流向港内海域,一部分经南防波堤向南流去。落潮时,湾内潮流和来自南防波堤以南的潮流在口门外交汇,向偏北方向流去,一部分潮流呈逆时针方向绕岛偏转。港内潮流受空间限制基本为往复流,由口门向内,潮流逐渐变小,受湾内地形和建筑物的影响,部分港域流速变化不均。强流区位于口门附近,由于南、北防波堤的束水作用,使潮流输运集中,流速增大,涨潮时最大流速为  $0.96 \text{ m/s}$ ,落潮时最大流速为  $0.54 \text{ m/s}$ ,涨潮流强于落潮流。丁坝内侧潮流减缓,北防波堤内侧以及旗台港区延伸段东南角的局部水域在涨潮过程中形成旋流区。

为了比较岸线变化前后港湾内水动力环境的变化,选取湾顶墟沟港区附近、港湾中部庙岭港区附近和供油站附近 3 个典型位置分析潮位与潮流变化。从潮位变化来看,岸线变化前潮位大于岸线变化后潮位,这与岸线变化后港内纳潮量减少有关,受湾内地形和工程建筑物的影响,潮位由湾顶向外减小。从潮流变化来看,岸线变化后,供油站和港湾中部附近流速减小,这与纳潮量减小和口门南北防波堤阻流相一致,湾顶附近流速略有增大,同大堤港区建设后断面缩小有关。综上所述,岸线变化在一定程度上改变了港域的水动力环境。

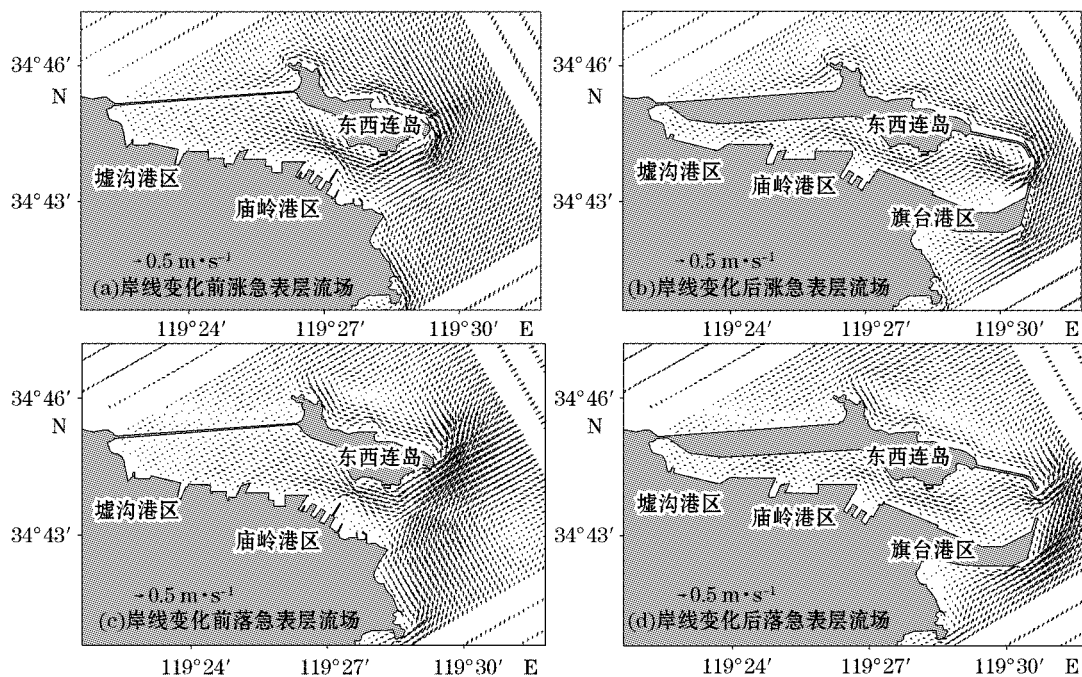


图 5 岸线变化前后港口海域表层涨落急流场

Fig. 5 Current field of spring and ebb tides before and after shoreline change

### 3.2 水质点输运变化

为研究水动力变化后流体质点位置随时间的变化,采用粒子追踪法研究水质点的迁移方向<sup>[5]</sup>以及港内水交换的不均匀性。

#### 3.2.1 岸线变化前后单点运移轨迹

分别选取湾顶附近、港湾中部附近 2 个典型位置同时各释放 1 个粒子,对其运移轨迹进行追踪。图 6 为岸线变化前后粒子在一个潮周期的运移轨迹。从图中可以看出,粒子基本呈往复运动,与潮流运动形式一致。岸线变化前,湾顶附近粒子涨潮向西北方向运移,最远运移距离为 0.452 km;落潮向东南方向运移,最远运移距离为 0.343 km。港湾中部附近粒子涨潮基本向西北方向运移,最远运移距离 1.711 km,落潮先向东南向运移,后绕岛沿逆时针方向偏转,最远运移距离为 2.301 km。岸线变化后,湾顶附近粒子涨落运移方向为西北—东南向,涨潮最远运移距离为 0.363 km,落潮最远运移距离为 0.304 km。港湾中部附近粒子涨落潮运移方向由于受南北防波堤的影响,绕岛偏转方向消失,大致呈西北—东南向运移,运移距离变小,涨潮最远运移距离为 0.854 km,落潮最远运移距离为 1.230 km。

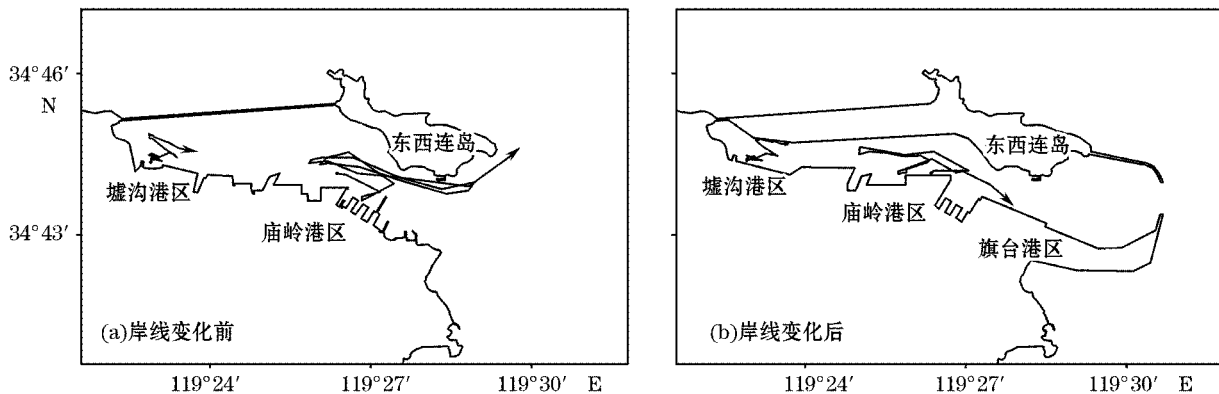


图 6 典型位置单个粒子一个潮周期的运移轨迹

Fig. 6 Trajectories of single particle of typical station during one tidal cycle

粒子经过一个完整的潮周期后,其运移轨迹并不封闭,而是有一个净位移。岸线变化前,湾顶附近粒子一个潮周期净位移方向大致为东北向,净位移距离为 1.209 km。港湾中部附近粒子一个潮周期向东北净位移 5.583 km。岸线变化后,湾顶附近粒子一个潮周期净位移为东北向,净位移距离为 1.405 km。港湾中部附近粒子向东南净位移 2.492 km。

根据岸线变化前后单点运移计算结果可以看出,岸线变化导致港湾内粒子运移距离和运移方向发生变化,从湾顶至口门,粒子运移方向偏转,岸线变化前粒子运移距离总体上大于岸线变化后粒子运移距离。2 个典型位置粒子一个潮周期内的运移变化基本反应了岸线变化对水质点运移的影响,经考察,多个潮周期粒子运移具有类似规律。此外,模拟结果还表明,单个粒子的运移轨迹与粒子释放的位置和时间有关,总体趋势相近但量值具有一定差异,这与港湾内涨落潮流速、涨落潮历时、湾内地形和建筑物的影响有关。

#### 3.2.2 岸线变化前后粒子群的运移扩散

为进一步研究岸线变化对水质点运移的影响,分别在湾顶附近、港湾中部附近 2 个典型位置(释放点同图 6)同时释放 100 个粒子为代表颗粒,追踪粒子群的运移扩散。图 7 为岸线变化前后粒子群一个潮周期的运移扩散范围。由图可知,粒子群扩散趋势与单点粒子运移方向基本一致。湾顶附近水动力较弱,粒子运移扩散范围较小;港湾中部水动力较强,粒子扩散范围较大。岸线变化前,湾顶附近粒子群向西北扩散到湾顶西大堤附近,向东南最大扩散距离为 2.258 km。港湾中部附近粒子群扩散范围较大,粒子已扩散到港湾外侧水域。岸线变化后,由于受大堤港区填海造港,水域变小,湾顶附近粒子群向西大堤湾顶方向扩散增强,向

东南最大扩散距离为 2.116 km。港湾中部附近粒子群受水域限制,主要向西北和东南方向扩散,但南北防波堤的建设,使港口海域的口门向东推进,延长了潮流交换的距离和时间,粒子在一个潮周期已很难扩散到口门以外海域。

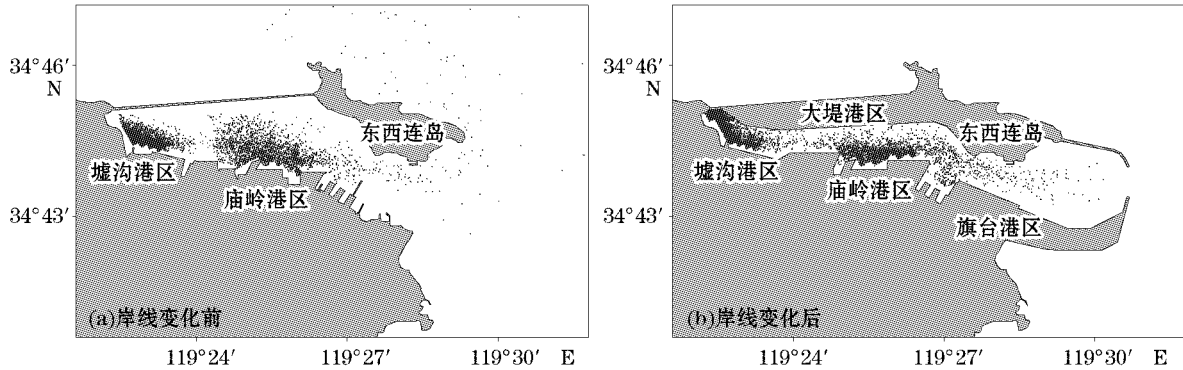


图 7 典型位置粒子群一个潮周期的运移扩散

Fig. 7 Distribution of the particles of typical locations during one tidal cycle

上述粒子运移都是在正常天气下模拟的,未考虑风和浪的作用,事实上,岸线变化后,口门变小,海浪的影响相对较小,风向能够影响粒子运移路径,但连云港港口海域北有东西连岛,南有云台山脉,加上湾内空间限制和工程建筑物的影响,有待根据风速风向统计规律进一步研究。

### 3.3 水交换时间

利用质点追踪法在港湾内均匀释放 506 个质点计算水体的半交换时间,质点在潮流驱动下自由迁移到海域内各个深度,统计流出港口海区边界的质点数,当海域内质点数为原有质点数的 37% 时为水体半交换时间<sup>[6]</sup>。

经计算,本研究中岸线变化前港域水体半交换时间为 31.8 个潮周期,岸线变化后港域水体半交换时间为 39.3 个潮周期。港湾水交换时间差异的主要因素是岸线变化,受港域口门大小、距离等因素影响,岸线变化前质点迁移出港湾的速度较快,岸线变化后较慢。由于港内岸线及水域重新规划开发,围海造港并新建外防波堤,已无法选取一个共同的断面来比较岸线变化前后的水交换时间,但岸线变化前后港域的水体半交换时间计算结果对深入了解港口海域的水交换、评估海洋开发活动对港湾水交换的影响具有一定的意义。

## 4 结 论

1) ECOMSED 三维数值模型计算结果表明,岸线变化使连云港港口海域水动力环境发生变化。岸线变化后,港内流速总体变小,受南、北防波堤的束水作用,口门附近流速加大,水流流向更为集中,丁坝内侧水流减缓,出现环流结构。

2) 拉格朗日质点追踪模拟结果表明,粒子运移基本遵循潮流运动规律。岸线变化后,粒子具有向湾顶方向扩散的趋势,一个潮周期内港湾海域中部附近粒子已很难扩散到口门以外。岸线变化前港域水体的半交换期为 31.8 个潮周期,岸线变化后港域水体半交换期为 39.3 个潮周期。

### 参考文献 (References):

- [1] LI X B. An efficient method for simulating water exchange of large-scale sea bay[D]. Tianjin: Tianjin university, 2011. 李小宝. 大型海湾水交换高效计算方法研究[D]. 天津: 天津大学, 2011.

- [2] QU H L, DOU X P, GAO X Y. Layout of breakwaters in the channel extension project of Lianyungang Port[J]. *Port&Waterway Engineering*, 2008,11:9-14. 曲红玲, 窦希萍, 高祥宇. 连云港港航道扩建工程防波堤方案研究[J]. *水运工程*, 2008, 11:9-14.
- [3] BLUMBERG A F, MELLOR G L. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model[M]// Heaps N. *Three-Dimensional coastal ocean models*. Washington D C: American Geophysical Union, 1987:1-16.
- [4] ZHANG C Y. Characteristics of tidal current dynamic in Lianyungang nearshore area[J]. *Port&Waterway Engineering*, 2012,9:30-34. 张存勇. 连云港近岸海域潮流动力特征[J]. *水运工程*, 2012,9:30-34.
- [5] ZHANG X Q, SUN Y L. 3-D particle tracer model and its application in Jiaonan sea area[J]. *Advances in Water Science*, 2006, 17(6): 873-876. 张学庆, 孙英兰. 三维质点追踪模型及其在胶南海域的应用[J]. *水科学进展*, 2006, 17(6): 873-876.
- [6] WEI H, TIAN T, ZHOU F, et al. Numerical study on the water exchange of the Bohai Sea: Simulation of the half life time by Dispersion Model[J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2002, 32(4): 519-525. 魏皓, 田恬, 周锋, 等. 渤海水交换的数值研究-水质模型对半交换时间的模拟[J]. *青岛海洋大学学报*, 2002, 32(4): 519-525.

## Effects of Shoreline Change on Water Exchange in Lianyungang Port Adjacent Waters

ZHANG Cun-yong

(School of Geodesy & Geomatics Engineering, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005, China)

**Abstract:** The water exchange in Lianyungang port adjacent waters affected by shoreline change was studied using the three-dimensional numerical model ECOMSED. The Lagrange particle tracking at typical positions and half-life time of water exchange were obtained. Results show that the velocity of tidal current inside the port decreases after the shoreline change, while the velocity close to the harbor entrance increases owing to the south and the north breakwaters. The current of the inner spur dike become slow, and rotating currents are formed in the inner side of the north breakwater and to the southeast of Qitai port during flood tide. The water particles inside the harbor tend to diffuse to the top of the bay, and the transport distance generally decrease, making it difficult for the water particles to diffuse to the outside of the harbor within a tidal cycle. The half-life time of water exchange before and after the shoreline change are 31.8 and 39.3 tidal cycles, respectively.

**Key words:** shoreline change; water exchange; port adjacent area; Lianyungang

**Received:** January 14, 2014