

DOI: 10.16198/j.cnki.1009-640X.2015.06.014

孙波,王秀中,孙林云. 毛里塔尼亚友谊港岸线演变及防护工程[J]. 水利水运工程学报, 2015(6): 94-100. (SUN Bo, WANG Xiu-zhong, SUN Lin-yun. Coastline evolution and erosion control works at Friendship port in Mauritania [J]. Hydro-Science and Engineering, 2015(6): 94-100.)

毛里塔尼亚友谊港岸线演变及防护工程

孙 波^{1,2}, 王秀中³, 孙林云^{1,4}

(1. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029; 2. 河海大学 港口海岸及近海工程学院, 江苏 南京 210098;
3. 中交第一航务工程勘察设计院有限公司, 天津 300222; 4. 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029)

摘要: 毛里塔尼亚友谊港所处海域为典型沙质海岸,面向大西洋,波浪作用下自北向南的沿岸输沙是其主要泥沙运动方式。该海岸泥沙中值粒径 0.25 mm,年平均输沙约 100 万 m³。因为港口建设拦截了沿岸输沙,原本平直海岸线形成了港口北侧淤积和南侧冲刷的岸线形态。为保护堆场免受侵蚀,港口南侧于 1991 年建成了南挑丁坝,至 2009 年其南侧岸线已后退至根部,再度危及堆场和陆地设施安全。根据实测岸线资料,采用一线理论岸线演变数学模型,对港口南侧海岸不同防护方案进行了计算。结果显示,现有南挑丁坝与其南侧续建的 T 型丁坝之间岸线能很快调整至稳定状态,可对该岸段陆地设施起到保护作用。在现有丁坝南侧 2 000 m 处新建 T 型丁坝,平行于岸线的横头部分置于-2 m 等深线,作为港口南侧岸线防护的推荐方案。沿岸输沙未得到补给的情况下,新的岸线防护工程在稳定上游岸线时,下游岸线的冲刷后退不可避免。考虑较长期限和更大范围的岸线稳定,还需采取每隔一定年限新建防护工程的措施。

关 键 词: 沿岸输沙; 岸线演变; 岸线防护; 一线模型; 友谊港

中图分类号: TV148 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-640X(2015)06-0094-07

沙质海岸泥沙运动的主要动力为波浪及其破碎后形成的沿岸流,沿岸输沙则是岸线演变的关键动因,也是沙质海岸港口工程建设的中心议题。我国援建的毛里塔尼亚友谊港(努瓦克肖特港, port of Nouakchott),位于首都努瓦克肖特西南约 10 km 的大西洋东岸撒哈拉沙漠边缘的平直岸线上。因其兴建突堤拦截了自北向南的沿岸输沙,导致港口邻近岸线北侧淤长、南侧冲刷的累积变化。南侧岸线的持续侵蚀后退影响了港区堆场等陆上设施安全,需加以防护。

一线模型是计算沙质海岸岸线演变的有效手段,被广泛应用于工程实践中,特别是对较长时段的模拟更突显其简洁高效。本文采用一线模型对毛里塔尼亚友谊港海岸防护方案引起的长期岸线演变进行了计算分析。

1 友谊港概况

毛里塔尼亚友谊港地理位置及港口形成初期岸线见图 1^[1]。工程自 1979 年 4 月开工,1986 年 7 月竣工运行。该港口所处海岸线呈南北走向,海滩泥沙中值粒径为 0.25 mm,为典型的沙质海岸。该港口潮汐性质为正规半日潮,平均潮差 0.91 m,现场实测最大涨潮的表层流速仅 0.18 m/s,潮流较弱。

港口工程平面布置为岛堤式结构,工程离岸方向投影约为 1 300 m,由外海至陆地分别为防波堤、码头、突堤、港区堆场等几部分组成。由于工程建成后拦截了沿岸输沙,海岸原有的动态平衡遭到破坏,以致港口北侧发生泥沙淤积,下游南侧岸线遭受侵蚀后退。为了防止港口南侧海岸侵蚀后退影响港区堆场等陆上设

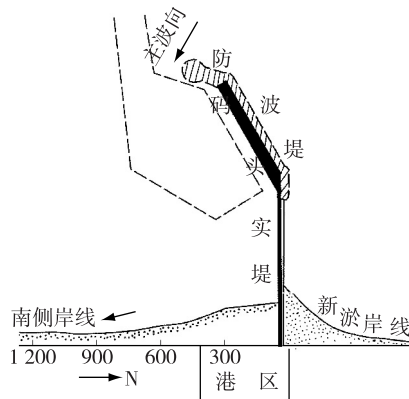
收稿日期: 2015-04-06

作者简介: 孙 波(1974—),男,湖北荆州人,高级工程师,硕士,主要从事海岸泥沙运动研究。E-mail: busun@nhri.cn

施,1991年在突堤南侧670 m处修建南挑丁坝,其对港区堆场起到了良好的保护作用。历经多年之后,该丁坝南侧岸线侵蚀已达到其根部,再次危及到堆场和陆地设施的安全,新的防护工程建设十分必要和迫切。



(a) 2009年4月13日的Google地球卫星图片



(b) 港口形成初期的岸线

图1 毛里塔尼亚友谊港地理位置

Fig. 1 Location of Friendship port, Mauritania

1.1 波浪与沿岸输沙

根据友谊港1976—1985年波浪实测资料统计,常浪向NW频率为48.64%,次常浪向WNW频率为36.16%;强浪向WNW, $H_{4\%} \geq 2.0$ m的频率为1.67%,次强浪向为W向, $H_{4\%} \geq 2.0$ m的频率为0.37%。本海区主导波型是以涌浪为主的混合浪,出现频率高达68%。每年12月至翌年3月为大浪期,多以周期涌浪出现,周期一般为13~18 s,方向WNW和W。

沿岸流是本海区破波带沿岸泥沙运动的主要动力。常浪向与强浪向均斜交于海岸,在近海破碎带形成了由北向南的较强沿岸流。岸滩泥沙在波浪掀动下起动,被沿岸流挟带向南运移,形成了典型悬移质为主的沿岸输沙过程。在季节性波浪作用下,剖面上的泥沙横向运动也较明显,即出现所谓夏季断面和冬季断面。破波带内沿岸流强度大体正比于破波波能,实测最大沿岸流流速为1.40 m/s。以往研究^[2-4]表明,友谊港海岸波浪作用下由北向南沿岸输沙量多年平均值在74~100万 m^3 之间,见表1。

1.2 港南岸线演变

友谊港附近海岸类型在地貌学上属沙坝泻湖海岸。泥沙运动下界水深视波浪条件不同而变,高程约为+3 m的前滩至水下-8 m岸滩均处于泥沙运动范围。一般尺度的混合浪作用,下界水深约为-6 m等深线附近,只有在较大尺度的涌浪作用下,下界水深将扩展到-8 m等深线;根据地质钻探和潜水调查,-8 m等深线附近局部贝壳岩裸露,泥沙覆盖层较薄。

对比1990年7月、1991年11月、2000年12月和2006年11月分别测量友谊港南岸线,见图2。其中1991年岸线较之1990年的最大后退距离为35 m,2000年比1991年后退了230 m,2006年比2000年后退了118 m,此3个时间段的年均后退速率约为25、25和

表1 友谊港沿岸输沙计算分析结果

Tab. 1 Calculated longshore sediment transport rate at Friendship port			
作者	方法或计算公式	依据资料时期	年均输沙量/(10^4m^3)
中交一航院(1989)	CERC	1976—1977年	74.0
中交一航院(1989)	上游淤积地形比	1979—1986年	85.0
Xie and Liu (1987)	Bijker	1976—1982年	99.9

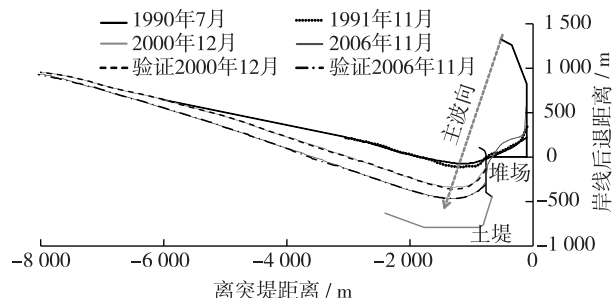


图2 友谊港南岸线变化

Fig. 2 South coastline retreat of Friendship port

20 m/a, 综合后多年平均岸线后退速率为 24 m/a。南侧岸线最大冲刷点实际为代表波 WNW 经防波堤绕射后的波射线与岸线交点。以此速率估算, 港南岸线将在 2010 年前后淘刷至南挑丁坝的根部; 根据图 1 中卫星图片记录, 2009 年水边线已到达该丁坝根部。

2 不同防护方案的岸线演变计算

海岸线长期演变主要由波浪折射、绕射、浅水变形、反射及破波产生的近岸流系统联合作用所造成。岸线演变模型中首先采用波浪场模型对研究岸段近岸波浪场进行计算, 根据波浪浅水变形过程中波浪破碎所产生的沿岸输沙, 结合输沙连续方程, 再通过建立的岸线长期演变“一线模型”, 对友谊港港南岸线不同防护方案的冲刷演变进行计算。

2.1 岸线演变模型

虽然用于模拟浅水运动、波浪传播、泥沙运动和底床变形的集成海岸工程数学模型系统已得到广泛应用, 最早由 Pelnard-Considère 提出的一线模型依然以其简洁高效在海岸工程研究领域占据重要地位^[5]。针对沙质海岸岸线的长期演变模拟, GENESIS, LITPACK, UNIBEST 等是具有代表性的一线模型计算软件^[6-7]。

岸线演变计算的一线理论, 假定岸滩在演变过程中其剖面形态基本保持不变, 岸滩演变可用某一等深线 (如 0 m 线) 的平面位置变化来表示, 见图 3^[2,8]。图中 d_1 为计算下界水深, 此水深以下泥沙不发生运动与输移, d_2 为岸线位置, 即计算剖面高度为 $d = d_1 + d_2$ 。长 Δx 的岸线在 Δt 时段内变化 (淤长或蚀退) 宽度为 Δy , 该部分泥沙的冲淤满足以下输沙平衡关系:

$$\partial S / \partial t = - \partial Q / \partial x \quad (1)$$

式中: Q 为沿岸输沙率; S 为下界水深以上岸滩剖面面积; t 为冲淤时间; x 为沿岸线方向的坐标。

岸滩剖面冲淤面积 ΔS 可由下式计算

$$\Delta S = \int_{-d_1}^{d_2} \Delta f(z) dz \quad (2)$$

$$\Delta f(z) = \Delta y \left(\frac{z + d_1}{d_1 + d_2} \right)^\alpha \quad (3)$$

式中: $\Delta f(z)$ 表示水深为 z 的等深线后退宽度; Δy 为岸线后退宽度。 α 为岸滩剖面形态因子, 取值 0~1 之间, 需根据实测资料确定; 当 $\alpha = 0$ 时, 即岸滩剖面平行移动。

将式(2)和(3)代入式(1)中可得:

$$\frac{\partial y}{\partial t} = - \frac{1 + \alpha}{d} \frac{\partial Q}{\partial x} \quad (4)$$

该式可采用显式中心差分法求解。

对于典型沙质海岸, 沿岸输沙率多采用美国《海岸防护手册》建议的 CERC 公式:

$$Q = K (EC_g)_b \cos \theta_b \sin \theta_b \quad (5)$$

该公式属经验关系式, 仅有波浪相关的输入变量, 未包含任何泥沙以及岸滩相关的因子。尽管如此, 其在沙质海岸沿岸输沙计算中依然不断得到很好的工程检验^[9]。

考虑到沿岸波高不等对输沙的影响, 对 CERC 公式改进的沿岸输沙率公式还可写为^[10]:

$$Q = K (EC_g)_b \cos \theta_b \sin \theta_b - K' (EC_g)_b \frac{1}{m} \frac{\partial H_b}{\partial x} \cos \theta_b \quad (6)$$

式中: $(EC_g)_b$ 为破波点处波能流; θ_b 为破波角; m 为岸滩坡度; H_b 为破波波高; K, K' 为沿岸输沙率系数, 当

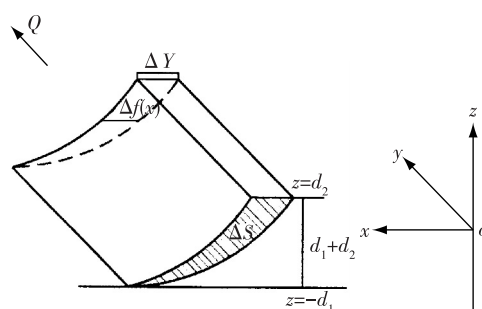


图3 岸滩剖面沿岸输沙平衡关系

Fig. 3 Definition sketch for shoreline change and longshore sediment transport

波高采用均方根波高表示时, $K' = 1.49 \times 10^{-4}$, $K = K_1 K_2$, $K_1 = 0.812 \times 10^{-4}$ 。 K_2 为采用单一特征波高作为计算波高时的修正系数,此时 $K_2 = 1.1$ 。

2.2 波浪场数学模型与代表波选择

近岸波浪场计算采用基于缓坡方程的数学模型,该模型计算中考虑受水深地形影响的浅水变形和折射、遇防波堤等障碍物时的绕射,以及坡度较陡海岸和防波堤、码头及护岸等建筑物前的反射,详见文献[2, 11],本文不再赘述。

一线模型可以进行长时段的模拟,其中代表波要素的选取尤为关键。由于波浪具有随机性,代表波要素 $F_{\text{rep},j}$ 的计算一般基于其出现频率的分级加权方法,计算公式如下:

$$F_{\text{rep},j} = \sum_{i=1}^n f_i F / \sum_{i=1}^n f_i \quad (7)$$

式中: F 可以是波高、周期和波向; f 为根据实测资料统计的波浪要素出现频率; i 为波浪要素分组。在波高和波周期存在较强相关关系情况下,波周期可依据二者间的关系求得,以减少统计过程中独立变量个数。

从研究泥沙运动的角度看,主要的动力是能产生沿岸输沙作用的波浪,实际为沿岸波能流。在研究波浪与建筑物相互作用时,一般按照不同波高出现的频率进行统计;在对波浪作用下的泥沙运动研究中,较小的波浪因其能量较弱,往往对泥沙运动影响甚微,故采用波浪能量加权的方法来统计特征波要素更为合理。即考虑波浪对沿岸泥沙输移的非线性作用,文献^[12-13]中代表均方根波高表述如下:

$$H_{\text{rms,rep},j} = \left(\sum_{i=1}^n f_i H_{\text{rms},i}^p / \sum_{i=1}^n f_i \right)^{\frac{1}{p}} \quad (8)$$

式中: p 为输沙率与波高的次方关系系数,一般取为 2~3。

能量加权的波要素统计方法现已列入我国行业标准《海港水文规范》,输沙率与波浪能量成正比,即与波高成平方关系,代表波高、波向和周期的计算公式分别如下^[14-15]:

$$H_{\text{rep}} = \sqrt{(\sum H_i^2 P_i) / \sum P_i} \quad (9)$$

$$\theta_{\text{rep}} = 0.5 \arcsin((\sum H_i^2 P_i \sin 2\theta_i) / (\sum H_i^2 P_i)) \quad (10)$$

$$T_{\text{rep}} = (\sum H_i^2 T_i P_i) / (\sum H_i^2 P_i) \quad (11)$$

式中: H_i , θ_i , T_i 为各统计波级的波高、波向和周期; P_i 为对应频率。其中代表周期也可以通过当地实测波高与周期的相关关系来求得。

根据友谊港波浪观测站 1975 年 10 月至 1985 年 12 月实测波浪统计资料,NNW,NW,WNW 和 W 这 4 个方向的波浪占绝对优势,这 4 个波向 $H_{1/10} \geq 0.55$ m 的波浪总出现频率为 93.47%。对这 4 个方向 $H_{1/10} \geq 0.55$ m 的波浪要素按以上统计分析方法得到代表波高为 1.10 m,周期 10.8 s,合成波向为 296°;考虑 $H_{1/10} \geq 1.0$ m 出现频率为 77.27% 的较大波浪,计算代表波高为 1.21 m,周期 11.0 s,合成波向依然为 296°,与观测的常浪向 WNW(292.5°) 基本一致。以出现频率更大,或代表性更为广泛而言,数学模型计算中采用 $H_{1/10} \geq 0.55$ m 的代表波要素计算结果。

2.3 岸线模型验证

岸线模型的计算范围,从港口突堤至下游 15 km,垂向以 -6 m 为下限水深 d_1 , +2 m 为岸线位置 d_2 。海滩坡度 m 取现场实测坡度的均值 1/30。断面形态参数 α ,根据实测地形资料分析,约为 1/6~2/3,具体取值通过模型验证计算。边界条件:上游边界假定突堤完全挡沙,即 $Q_1 = 0$;下游边界, $Q_2 = Q_0$ 。 Q_0 为不受港口建筑物影响的沿岸输沙率,也是模型中的关键验证参数。岸线变形数学模型空间步长取 $\Delta x = 40$ m,时间步长取 $\Delta t = 1$ d,波浪场每隔 50 d 计算一次。在岸线变形计算中,首先计算波浪场,然后计算沿程沿岸输沙率变化,最后根据输沙守恒方程计算岸线位置。

以 1990 年 7 月实测地形为初始地形和初始岸线位置,模型分别对 1991 年 11 月、2000 年 12 月和 2006 年 11 月的岸线进行了验证计算。考虑到验证资料时段对模型预测精度的影响,重点对 2000 年和 2006 年两次实测资料进行验证,结果见图 2。计算的 2000 年最大冲刷点处岸线后退大于实测位置 24 m,2006 年计算

的最大冲刷点基本与实测相符。验证计算中,断面形态参数 α 取 0.4,下游不受港口影响的沿岸输沙率 Q_0 约为每年 100 万 m^3 ,这与以往计算分析结果的上限值一致,见表 1。计算表明,模型中相关参数的选择合理,该模型可用来预测港南岸线的冲刷变化。在下文防护方案的计算中,沿用模型验证的计算参数和边界条件。

3 防护方案计算

为保护港口堆场,1990 年 7 月在突堤下游 670 m 处修建南挑丁坝,实践证明该丁坝对港区堆场起到了良好保护作用。从南挑丁坝防护效果和港口工程周围陆域保护安全角度考虑,在丁坝下游适当位置再修建护岸工程十分必要。

防护工程包括 2 种方案(见图 4(a)和(b)),方案 1 位于南挑丁坝以南 1 500 m,方案 2 将间距增加至 2 000 m,丁坝主体与港口突堤或南挑丁坝轴线平行。因友谊港所处岸滩较陡,深水波高大,若海岸防护工程直接采用丁坝结构其头部容易损坏,故考虑离岸堤与丁坝相结合(即“T 形丁坝”)的措施,其平行于海岸的横头不仅能起到保护丁坝主体的作用,同时也具有有效的拦沙功效。丁坝横头长度为 300 m,建在 2 m 等深线左右,离岸距离约为 70 m,丁坝主体与横头中点相连。

以 2006 年实测岸线为初始岸线位置,在此基础上对方案 1 和 2 进行 30 年岸线演变预测(见图 4)。从图中可见,新建防护工程与南挑丁坝之间岸线很快达到稳定状态,下游岸线冲刷转移至新建丁坝下游,方案 1 和方案 2 在其后 30 年的岸线后退距离分别为 673 和 707 m,相当于年均 22~24 m。两个防护方案比较,方案 2 在 2 000 m 处新建防护工程,保护范围较大,现有土堤可以完全得到保护,可作为推荐方案。

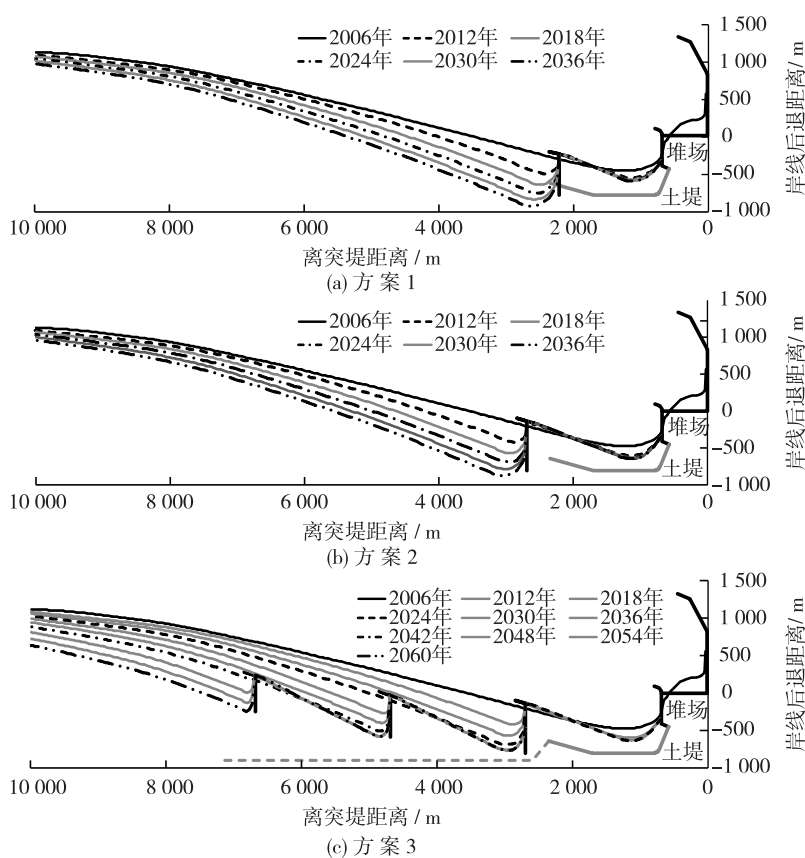


图 4 友谊港南侧防护方案多年岸线演变趋势

Fig. 4 Coastline changes of south shore protection schemes

由于岸线冲刷转移至新建防护工程下游,考虑较长期限的岸线防护措施,在上述推荐的防护方案2基础上进行下游岸线的后续防护,是为防护方案3(图4(c))。在岸线后退距离可接受范围内,考虑每18年新建后续防护工程,即在2006年的基础上于南挑丁坝下游2000m新建T形丁坝,18年后2024年在下游2000m处建第2道丁坝,再18年后2042年于下游2000m处建第3道丁坝。从图中可见,相对于基准线(即图中纵坐标的0线)港南岸线的最大后退距离出现在新建第1道丁坝后,后退距离在2036年为762m且基本稳定。各丁坝末端应覆盖其下游最大冲刷距离,即第1道丁坝末端应延伸至-762m,第2道丁坝应延伸至-581m,第3道丁坝应延伸至-241m。从新建防水土堤的安全考虑,建议其走向与现有土堤的平行段一致,见图4(c)中土堤延长虚线,土堤离岸距离在最大岸线后退距离的基础上保持一定安全间隔。

4 结 语

毛里塔尼亚友谊港所在海域为典型沙质海岸,近岸泥沙运动以波浪破碎形成的自北向南沿岸输沙为主,由此导致港口建成后其北侧海岸淤积和南侧侵蚀的岸线变化。南挑丁坝自1991年建成以来,对港区堆场起到了良好的保护作用,因无来沙补给,该丁坝下游岸线平均后退速率约24m/a,其根部在2009年已暴露于海水和波浪侵袭中,再次危及到堆场和陆地设施的安全,新的防护工程建设十分必要和迫切。

因友谊港所处岸滩较陡,深水波高大,海岸防护工程采用T形丁坝的结构形式,其平行于海岸的横头不仅能起到保护丁坝主体的作用,同时也具有有效的拦沙功效。采用“一线模型”分别对不同下游防护方案计算了30年岸线演变,新建防护工程与南挑丁坝之间岸线很快达到稳定状态,下游岸线冲刷转移至新建丁坝下游,其岸线后退速率相当于年均22~24m。两个防护方案比较,方案2在2000m处新建防护工程,保护范围较大,现有防水土堤可以完全得到保护,可作为推荐方案。该方案已于2013年得到实施。

在沿岸输沙未得到补给的情况下,新的岸线防护工程在稳定其上游岸线的同时,下游岸线的冲刷后退不可避免。考虑较长期限和更大范围的岸线稳定,在下游岸线侵蚀后退可接受范围内,需采取每隔一定年限新建防护工程措施。

参 考 文 献:

- [1] 刘家驹. 海岸泥沙运动研究与应用[M]. 北京: 海洋出版社, 2009: 129. (LIU Jia-ju. Study and application of coast sediment movement[M]. Beijing: China Ocean Press, 2009: 129. (in Chinese))
- [2] 孙林云, 潘军宁, 邢复, 等. 砂质海岸突堤式建筑物下游岸线变形数学模型[J]. 海洋学报, 2001, 23(5): 121-129. (SUN Lin-yun, PAN Jun-ning, XING Fu, et al. Numerical modelling of coastline deformation for sandy beach at downstream of a jetty[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2001, 23(5): 121-129. (in Chinese))
- [3] XIE S L, LIU T F. Long-term variation of longshore sediment transport[J]. Coastal Engineering, 1987, 11(2): 131-140.
- [4] SUN B, WANG X Z, SUN L Y, et al. Physical modeling of longshore transport at Friendship Port in Mauritania[C]//PENICHEV V, PINTO F T. Application of Physical Modelling to Port and Coastal Protection(Proceedings of 5th International Conference Coastlab 14). Varna, Bulgaria, 2014: 206-211.
- [5] PELNARD-CONSIDÈRE R. Essai de theorie de l'evolution des forms de rivage en plage de sable et de galets[C]//Fourth Journées de l'Hydraulique, les Energies de la Mer Annual Congress, Question III, Rapport 1. Paris, France Societe Hydrotechnique de France, 1956: 289-298. (in French)
- [6] HANSON H, KRAUS N C. Long-term evolution of a long-term evolution model[C]//Roberts T M, Rosati J D, and Wang P. Journal of Coastal Research, SI 59. West Palm Beach, Florida, 2011: 118-129.
- [7] COELHO C, LIMA M, VELOSO-GOMES F. Relationship between cross-shore active profile and one-line shoreline evolution models performance[C]//CONLEY D C, MASSELINK G, RUSSELL P E, et al. Proceedings 12th International Coastal Symposium, Journal of Coastal Research, SI-65. Plymouth, England, 2013: 2107-2112.
- [8] 严凯, 梁其荀. 海岸工程[M]. 北京: 海洋出版社, 2002: 358-360. (YAN Kai, LIANG Qi-xun. Coastal engineering[M]. Beijing: China Ocean Press, 2002: 358-360. (in Chinese))

- [9] SAMARAS A G, KOUTITAS C G. Comparison of three longshore sediment transport rate formulae in shoreline evolution modeling near stream mouths[J]. *Ocean Engineering*, 2014, 92: 255-266.
- [10] 陈士荫. 不规则波作用下沿岸输沙率计算[J]. *海洋通报*, 1987, 6(2): 51-56. (CHEN Shi-yin. Computation of longshore transport rate under random waves[J]. *Marine Science Bulletin*, 1987, 6(2): 51-56. (in Chinese))
- [11] 潘军宁, 左其华, 王红川. 一种高效的缓坡方程数值解法[C]//第九届全国海岸工程学术讨论会论文集. 北京: 海洋出版社, 1999: 167-176. (PAN Jun-ning, ZUO Qi-hua, WANG Hong-chuan. An efficient numerical method for solving the mild slope equation[C]//Proceedings of 9th National Conference on Coastal Engineering. Beijing: China Ocean Press, 1999: 167-176. (in Chinese))
- [12] ROELVINK J A, RENIERS A J H M. A guide to modelling coastal morphology[M]. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2011: 193-200.
- [13] WALSTRA D J R, HOEKSTRA R, TONNON P K, et al. Input reduction for long-term morphodynamic simulations in wave-dominated coastal settings[J]. *Coastal Engineering*, 2013(77): 57-70.
- [14] SUN L Y. The longshore sediment transport rate of friendship harbor, Mauritania[C]//WANG G Q. Proceedings of the 9th International Symposium on River Sedimentation. Beijing: Tsinghua University Press, 2004: 2036-2041.
- [15] JTS145-2—2013 海港水文规范[S]. (JTS145-2—2013 Code of hydrology for sea port[S]. (in Chinese))

Coastline evolution and erosion control works at Friendship port in Mauritania

SUN Bo^{1,2}, WANG Xiu-zhong³, SUN Lin-yun^{1,4}

(1. *Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*; 2. *College of Harbor, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China*; 3. *CCCC First Harbor Consultants Co., Ltd., Tianjin 300222, China*; 4. *State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing 210029, China*)

Abstract: The Friendship port (port of Nouakchott) in Mauritania is located on the east coast of the Atlantic Ocean, a typical sandy beach having mean sediment diameter 0.25 mm. Tidal currents are weak, while strong longshore transport from the north to the south induced by wave actions plays a main role in sediment movement. Previous studies show that the annual longshore sediment transport was about one million cubic meters. The construction of the port intercepted longshore sediment transport, which caused serious upstream accretion and downstream erosion and changed the original straight coastline. To protect the yard from erosion, a groin on the south side of the port was built in 1991. The erosion reached the end of the groin in 2009, and endangered once again the safety of the yard and other land facilities. According to the measured shoreline data, a “one-line theory” mathematical model was used to calculate shoreline evolutions for different protection schemes of the south coastline. T-shape groin was planned to build in the shore, where the transverse part can keep upstream sediment and prevented the head of the groin from wave attacks. The transverse part was 300 m long and was put along -2 m contour. Numerical modelling results show that the coastline between the new T-shape groin and the existing groin was soon adjusted to steady state and was fixed in position. The recommendation scheme for the south coastline prevention was to build a new T-shape groin 2 000 m downstream of the existing groin, which was implanted by the port authority in 2013. Due to strong longshore sediment transport, the new shoreline protection works fix upstream shoreline, while their downstream shoreline erosion is inevitable. Taking a longer duration and a greater range of shoreline stability into concern, new protection measures are needed every certain number of years.

Key words: longshore transport; erosion control; one-line model; Friendship port