

江苏淤泥质海岸入海河道闸下淤积研究

闵凤阳, 汪亚平

(南京大学 地理与海洋科学学院, 海岸与海岛开发教育部重点实验室, 江苏 南京 210093)

摘要: 通过建立 ARIMA 模型, 分析了江苏淤泥质海岸四条入海河道(射阳河、新洋港、斗龙港和黄沙港)建闸后闸下河道的冲淤演变过程, 预测闸下河道淤积量的变化情况。结果表明, 射阳河闸下淤积量将会持续增加, 到 2010 年预计量可达 $2.47 \times 10^7 \text{ m}^3$, 淤积量为四条河中最大; 黄沙港和斗龙港有波动上升的趋势, 但无射阳河明显, 淤积量有小幅度增加; 新洋港变化不大, 已达到冲淤平衡的状态。

关键词: 淤泥质海岸; 挡潮闸; 淤积和侵蚀; ARIMA 模型

中图分类号: TV 148

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2008)10-0087-05

河口海岸区域经济发达, 同时也是人类活动强烈干预的地区。建国以来, 我国沿海大部分中小河流河口都已建挡潮闸, 主要目的是挡潮御卤、排洪蓄淡, 尤以苏北和海河流域建闸最多。挡潮闸的修筑发挥了积极的经济和社会效益, 但建闸后改变了原有水流的水动力和泥沙冲淤特性, 常常导致闸下水道发生淤积。江苏粉砂淤泥质海岸泥沙来源丰富, 闸下淤积问题较其他区域更为突出。据 1985 年的统计, 江苏沿海修筑的 58 座挡潮闸大多均发生淤积, 其中 15 座严重淤积, 占 26%; 基本淤死的 5 座, 占 9%^[1]。

国内对闸下淤积的研究始于窦国仁^[2]对射阳河建闸后河道水文泥沙的变化分析, 他认为潮波变形、下泄径流减少是闸下淤积的主要原因。罗肇森^[3]、张忍顺^[4]、季龙泉^[5]、施世宽^[6]、张文渊^[7]的研究指出, 苏北沿海挡潮闸下淤积的主要原因除了上述因素以外, 还包括落潮历时延长、流速减弱, 以及潮滩匡围等。赵鸿钧^[8]、杨庆钰^[9]对海河流域的闸下入海河道进行了分析, 指出河流上游径流较小、风浪掀沙等因素是造成淤积的主要原因。许多学者在研究闸下淤积原因的同时, 也探讨了闸下河道的冲淤演变规律及发展趋势。袁美琪^[10]、沈承烈^[11]对甬江闸下淤积冲淤规律作了总结, 赵今声^[12]、赵鸿钧^[13]、梁永立^[14]、王宏江^[15]对泥质河口的闸下冲淤特性及冲淤量作了分析。作者在前人研究工作的基础上, 分析

了淤积量的变化特征, 并在此基础上建立数学模型, 对未来闸下淤积量进行预测。

1 区域概况

江苏 954 km 的海岸线中, 淤泥质平原海岸占 93%, 长 884 km^[1]。历史上黄河曾在苏北夺淮入海, 在近岸沉积了大量泥沙。1885 年, 黄河北归后, 废黄河河口三角洲受到侵蚀, 物质沿海岸带向南搬运并不断堆积, 同时受到辐射沙脊的掩护供沙, 滩涂迅速淤长^[16, 17]。作者选取四条典型河道(即射阳河、黄沙港、新洋港、斗龙港)为研究对象, 其入海河段均穿过粉砂淤泥质潮滩入海; 研究区海水悬沙浓度较高, 是闸下淤积的主要泥沙来源。

江苏里下河流域地势低洼, 在历史上多受洪涝侵袭, 解放后通过修筑堤防, 开挖灌溉渠, 使得洪水威胁大大减轻。射阳河、新洋港、斗龙港、黄沙港, 是里下河地区排水入海的主要通道, 在防洪排涝中发挥了重要作用, 其排水量占里下河地区入海总排水量的 60% 以上(表 1^[18, 19])。

收稿日期: 2008-01-22; 修回日期: 2008-08-15

基金项目: 国家自然科学基金(40576040); 江苏省自然科学基金(BK2006131); 江苏省“六大人才高峰”项目(2006027)

作者简介: 闵凤阳(1983), 男, 湖北当阳人, 硕士研究生, 主要从事海洋沉积动力学研究, E-mail: minfengyang1983@163.com

表 1 苏北四条主要入海河道建闸初期的基本情况

Tab. 1 The general information on the four main rivers at the north Jiangsu Province

河道名称	设计最大流量(m ³ /s)	平均(设计)断面积(m ²)	平均断面宽(m)	平均床底高程(m)	备注
射阳河	6 340	2 290	540	- 4.24	1984 年实测值
黄沙港	1 210	653	298	- 3.15	1984 年实测值
新洋港	1 540	1 841	450	- 4.10	1970 年实测值
斗龙港	1 260	1 064	373	- 2.85	1970 年实测值

建闸以后, 闸下河道的水文泥沙情况发生变化, 潮波由前进波变为驻波或不完全驻波, 河流径流作用减弱。以射阳河为例, 建闸后, 潮波传到闸前受闸门阻挡而反射变形, 由前进波变成驻波型, 或有不完全驻波变成驻波, 使得沿程各站高潮位抬高, 低潮位降低, 潮差增大; 涨潮历时比建闸前更短, 落潮历时则更长。关闸期间由于无上游径流下泄, 进潮量减少了近 80%。加之建闸后涨潮的含沙量大于落潮含沙量, 导致净输沙量向河道内输入, 潮量越大, 净输沙量越大, 导致河道淤积。建闸后几年内, 由于河口段来水来沙条件急剧变化, 港道回淤最为迅速。据统计, 与建闸时相比, 2005 年射阳河闸、黄沙港闸、新洋港闸、斗龙港闸闸下淤积分别达 2.14×10^7 , 1.42×10^7 , 8.04×10^6 , 2.07×10^6 m³ (以现有长度, 0 m 以下部分计算, 高程采用 1956 年青岛高程)。一般规律是河段冲淤交替变化, 在丰水年冲刷(1991, 2003 年), 枯水年淤积, 但总体呈淤积趋势。

2 研究方法

由于波、流、潮和风暴等作用使得闸下河道环境动力条件较为复杂, 加之对闸下河道泥沙运动的机理的了解较为有限, 对闸下淤积的预报存在诸多困难^[20]。常规的研究方法是根据经验公式估算^[21, 22], 建立数值模型^[24-26], 并结合物理模型验证。但这种方法需要大量的现场和室内工作, 耗费较多人力物力; 而数值模型需求解流体力学的基本方程, 其中包含一些简化和假定条件, 模型的率定和验证也是一个难点。作者根据已有的历史观测数据, 采用相对简易的时间分析序列模型, 来预测闸下淤积。

时间序列分析是概率统计学中的一个重要分支, 它在工程技术、气象、水文、生物医学、经济管理

等许多领域都得到了广泛的应用^[27]。求和自回归移动平均模型是一个重要的基本模型, 在各个领域有着广泛的应用。其中, 非平稳自回归滑动平均混合模型(简称 ARIMA 模型)可用于进行预测分析。一般地, ARIMA(p, d, q) 模型可表达为^[28, 29]:

$$\phi(B) \Delta^d x_t = \theta(B) e_t$$

该模型适用于分析对象为非平稳的时间系列。对该时间系列经过一定处理(通常是差分)后, 产生一个平稳的时间序列, 再对平稳序列进行定阶、确定出模型参数(即 p, q 的值), 代入这些参数就可对研究对象进行预测分析。因此, 它本质上是一个概率统计预测模型。由于闸下河道平均断面面积时间序列存在非平稳性特点, 因而满足该模型应用的要求。

3 结果与讨论

3.1 模型构建

自 1991 年以来, 江苏粉砂淤泥质海岸入海河道闸下淤积呈增加趋势, 其中射阳河口淤积较为显著。下文以射阳河为例, 来分析闸下河道淤积量的发展趋势。

ARIMA 模型首先需要将非平稳的序列转化成平稳的时间序列。在实际操作中, 可对射阳河闸下淤积量的原始数据进行差分处理, 图 1 是经过 2 次差分后射阳河闸下淤积量的自相关和偏相关图。2 次差分后, 自相关和偏相关值很快落入置信区间内, 自相关系数的值呈指数衰减, 也就是说获得了平稳的时间序列。此外, 差分后的时间序列表现出拖尾的特性, 符合 ARIMA(p, q) 模型的应用条件, 所以可采用 ARIMA 模型来进行预测。

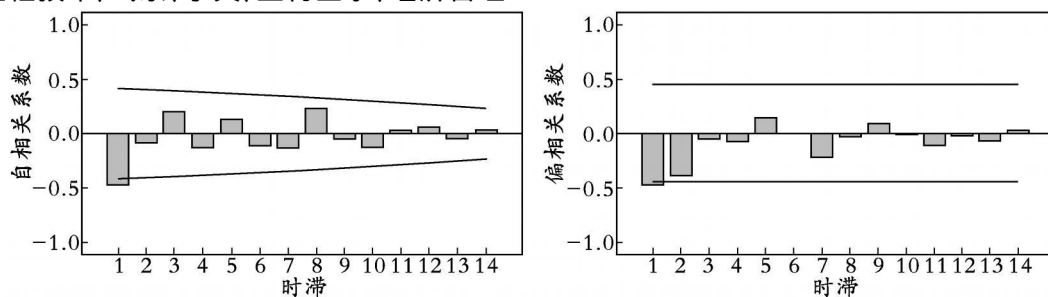


图 1 二次差分后的自相关和偏相关系数

Fig. 1 Autocorrelations and partial autocorrelations coefficient derived by twice difference

确定 AMIMA 模型阶数的 p, q 的方法主要有: 自相关函数和偏相关函数特性分析法, FPE 准则法,

AIC 和 BIC 准则法^[30]。从射阳河闸下淤积量 2 次差分后的自相关函数和偏相关图中可以看出, 显著不为零的偏相关和自相关个数为 1 或 2, 因此可初步判定 $p=1$ 或 $2, q=1$ 或 2 , 模型可初步选定预测模型为 ARIMA(1, 2, 1), ARIMA(1, 2, 2), ARIMA(2, 2, 1), ARIMA(2, 2, 2)。通过选取不同的 p, q 值计算此时的 AIC 和 BIC 的值, 获取使 AIC 和 BIC 最小的值, 对模型进行检验。经过多次试算, 得出当 $p=1, q=1$ 时, AIC 和 BIC 最小, 因此可确定 ARIMA(1, 2, 1) 为预测射阳河闸下淤积量变化的最终模型。

采用 ARIMA(1, 2, 1) 模型进行拟合, 所得的结果如图 2 所示。结果表明, 预测值和实测值之间的相关系数达到了 92%, 呈显著相关。

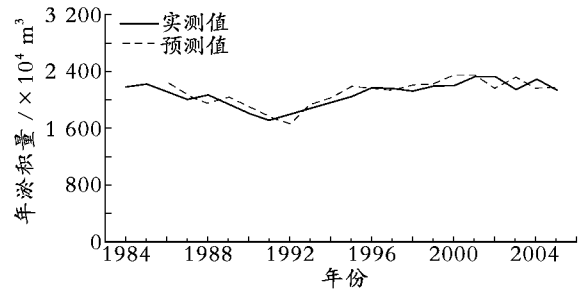


图 2 射阳河闸下淤积量实测值与 ARIMA(1, 2, 1) 模型预测值对比

Fig. 2 Comparison of the survey siltation and forecast siltation estimated by ARIMA(1, 2, 1) for the Sheyang River mouth

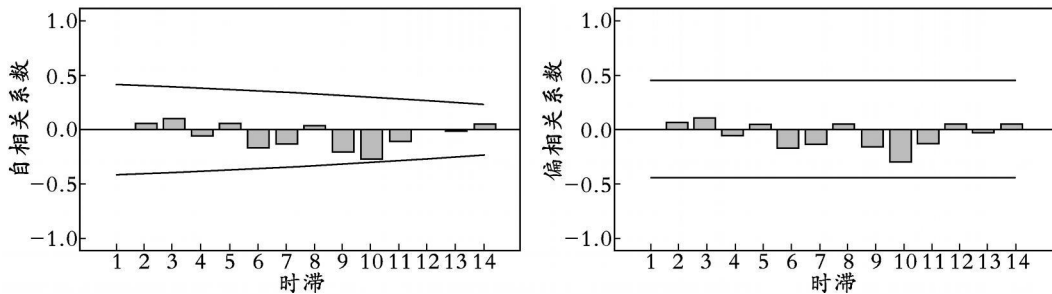


图 3 ARIMA(1, 2, 1) 残差序列的自相关和偏相关系数

Fig. 3 Autocorrelations and partial autocorrelations coefficient for the ARIMA(1, 2, 1) residual

考察 ARIMA(1, 2, 1) 的残差自相关和偏相关系数(图 3)发现, 残差随机分布在置信区间内, 为白噪声序列, 因此可认为对于射阳河口该模型的识别是合理的。

根据上述方法, 确定出黄沙港、新洋港、斗龙港的预测模型分别为 ARIMA(2, 1, 3)、ARIMA(4, 1, 3)、ARIMA(3, 1, 1)。

3.2 淤积预测

根据上述分析建立的 ARIMA(1, 2, 1) 模型, 对射阳河口 2005~2010 年间的闸下淤积量进行预测(图 4a)。采用同样的方法, 应用 ARIMA(2, 1, 3), ARIMA(4, 1, 3), ARIMA(3, 1, 1) 对黄沙港、新洋港、斗龙港的闸下淤积量进行预测(图 4b, c, d)。

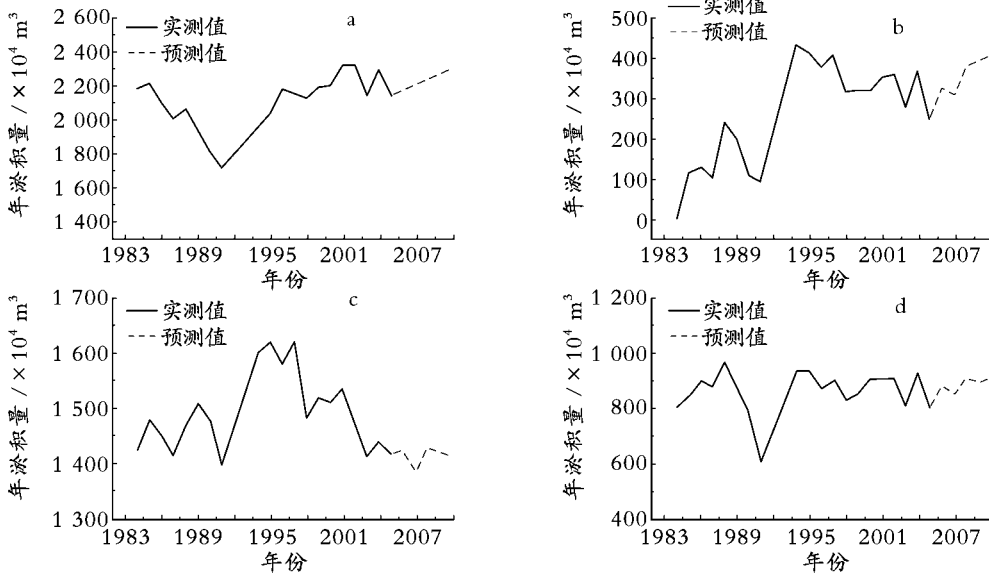


图 4 ARIMA 模型预测的河口闸下淤积量

Fig. 4 The forecast siltation by the ARIMA model for the river mouth

a. 射阳港; b. 黄沙港; c. 新洋港; d. 斗龙港

a. Sheyang River; b. Huangsha River; c. Xinyang River; d. Doulong River

从图 4 看出,从 1984 年到 1991 年间,射阳河口闸下的淤积量出现下降趋势,主要原因是 1980 年在东小海进行了裁弯取直,导致水流比降加大,增加了河床冲刷,使得闸下淤积量减少;其中 1988 年干旱时,淤积量有所增加。1991 年爆发了全流域的洪水,淤积量减少到近十年的最低。但 1991 年大水过后,河道迅速回淤,1995 年淤积量就达到了 $2.04 \times 10^7 \text{ m}^3$,2001 年淤积量达到最大,为 $2.33 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。2001 年后淤积趋于稳定,仅有小范围的波动。黄沙港、新洋港、斗龙港闸下淤积量变化情况大致类似,1984 年到 1988 年间淤积量逐步增加,1988 年到 1991 年间淤积量有所减少。1991 年的洪水,使得淤积量减少到最低,1995 年淤积量最高,之后淤积量并无明显的变化。但不同的是,新洋港从 1997 年后淤积量呈缓慢下降的趋势。

ARIMA 模型的计算结果表明,2005~2010 年,射阳河闸下淤积量将会持续增加,2010 年将达 $2.47 \times 10^7 \text{ m}^3$,比 2005 年增加近 $3.30 \times 10^6 \text{ m}^3$,将超过 2001 年时的最大淤积量,因此清淤保港压力较大。黄沙港和斗龙港的闸下淤积量也呈波动上升趋势,但淤积量的增加较射阳河为小,预计 2010 年闸下淤积量将分别达到 4.05×10^6 , $9.12 \times 10^6 \text{ m}^3$;由于其总的淤积量相对较小,采用人工方式清淤也较其他河道容易。新洋港的淤积量的波动,总体上变化不大,基本达冲淤平衡状态。

从以上分析可知,至 1991 年以来,射阳河闸下淤积量增加了近 $4.60 \times 10^6 \text{ m}^3$,占这四条港道的总淤积增加量的 40% 左右,因此里下河地区河道淤积整治的重点应是射阳河。除了日常的调水冲淤以外,还要加强机械清淤的工作,必要时辅助工程措施加以整治。黄沙港、斗龙港闸下淤积量虽有所增加,但总淤积量较小,新洋港淤积量变化不大,因此加强日常的调水冲淤就可使淤积量相对稳定。从长远看,随着苏北经济的发展,工农业用水增加,必然会影响到枯季的冲淤水源,闸下淤积则更为严重。一旦淤死,则闸门必须向海外迁。但闸门外迁后能维持多少年,外迁后河势如何变化等问题,还需要进一步的研究。

另外,ARIMA 模型适用于有一定规律、一定趋势的数据序列,对于无规律的外部环境变异,如人为大规模的清淤或大干旱导致淤积量骤升等会导致预报精度变差。由于闸下淤积受多种因素的影响,同时受 ARIMA 模型自身特性的限制,只能进行短期的预报。今后,对闸下淤积预测仍需不断改进模型的估计方法,发展更加有效的算法(如非线性科学);对于 ARIMA 模型的预报精度,仍需使用未来

的观测数据进行验证,进行参数修正。

4 结论

潮汐河口建闸后,由于径流量和纳潮量的减少,潮波变形和涨落潮的不平衡输沙性,导致闸下河道发生严重淤积,无法避免。由于闸下河道平均断面面积时间序列存在非平稳性特点,因而可采用概率统计预测模型,即非平稳自回归滑动平均混合模型来进行闸下淤积的预测分析。

以射阳河、新洋港、斗龙港和黄沙港河口为研究区,应用非平稳自回归滑动平均混合模型对闸下水道的淤积量进行预测。结果表明,2005~2010 年射阳河闸下淤积量将会显著增加,2010 年可达 $2.47 \times 10^7 \text{ m}^3$;黄沙港、斗龙港有所增加,但增幅较小,到 2010 年分别可达 4.05×10^6 , $9.12 \times 10^6 \text{ m}^3$;新洋港则基本达到冲淤平衡的状态。

参考文献:

- [1] 江苏海洋局. 江苏省海岸与海涂资源调查综合报告 [M]. 北京: 海洋出版社, 1986.
- [2] 窦国仁. 射阳河闸下淤积问题分析 [R]. 南京: 南京水利科学研究院报告, 1963.
- [3] Luo Z, Gu P. Sedimentation associated with tidal barriers in China's estuaries and measures for its reduction [A]. Kennedy V S. Estuarine Comparisons [C]. New York: Academic Press, 1982.
- [4] 张忍顺. 潮滩落潮归槽水对闸下淤积的影响 [A]. 中国海洋工程学会. 第七届全国海岸工程学术讨论会文集 [C]. 北京: 海洋出版社, 1993.
- [5] 季龙泉. 里下河四大港闸下引河的变化和清淤保港措施 [J]. 江苏水利, 1998, 增刊: 17-19.
- [6] 施世宽. 东台沿海挡潮闸下淤积的原因及其对策 [J]. 中国农村水利水电, 1999, 1: 20-23.
- [7] 张文渊. 苏北沿海挡潮闸下淤积的原因及其对策 [J]. 泥沙研究, 2002, 1: 73-76.
- [8] 赵洪钧, 王金铸, 李士叙. 海河流域部分泥质河口回淤特性及治理意见 [J]. 海河水利, 1987, 4: 15-21.
- [9] 杨庆钰, 李玉山, 蒋礼平. 海河流域泥质潮汐河口淤积问题及防淤减淤措施的初步探讨 [J]. 海河水利, 1984, 1: 17-32.
- [10] 袁美琪. 甬江河道淤积问题的分析 [J]. 水道港口, 1982, 2: 11-14.
- [11] 沈承烈. 甬江的冲淤规律及其影响因素 [J]. 杭州大学学报, 1983, 10(4): 534-544.
- [12] 赵今声. 挡潮闸下河道淤积原因和防淤措施 [J]. 天津大学学报, 1978, 1: 73-85.
- [13] 赵洪钧, 王金铸, 李士叙. 海河流域部分泥质河口回淤特性及治理意见 [J]. 海河水利, 1978, 4: 15-21.
- [14] 梁永立, 刘英泉. 永定新河冲淤变化及发展趋势分析

- [J]. 水利水电工程设计, 1998, 3: 33-36.
- [15] 王宏江. 泥质河口闸下冲淤特性及冲淤量的分析预报 [J]. 海洋工程, 2002, 20(4): 78-84.
- [16] 吴小根, 王爱军. 人类活动对苏北潮滩发育的影响 [J]. 地理科学, 2005, 25(5): 614-620.
- [17] 耿秀山, 傅命佐. 江苏中南部平原淤泥质岸滩的地貌特征 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1988, 8(2): 91-101.
- [18] 毛桂, 钱志平, 石建华, 等. 里下河四港排水能力分析 & 治理对策 [J]. 江苏水利, 2006, 12: 12-16.
- [19] 江苏省地方志编纂委员会. 江苏省志·海涂开发志 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1995.
- [20] 付桂, 李九发, 虞志英, 等. 河口闸下淤积和清淤措施研究综述 [J]. 上海水务, 2005, 21, 4: 31-35.
- [21] 刘家驹. 连云港外航道的回淤计算 & 预报 [J]. 水利水运科学研究, 1980, 4: 31-42.
- [22] 罗肇森, 辛文杰, 黄晋鹏. 珠江黄浦新沙港区泥沙回淤预报 [J]. 水利水运科学研究, 1987, 4: 27-38.
- [23] 蒋建华, 苏纪兰. 甬江建闸前后冲淤特性的初步数值模拟 [J]. 海洋学报, 1995, 17(1): 121-129.
- [24] 韩曾萃, 周文波, 邵雅琴. 上浦闸闸下淤积的预测 & 实测对比 [J]. 1997, 4: 1-8.
- [25] 何用, 黄伟, 李荣, 等. 河口节制闸下淤积 & 冲淤效果耦合模型计算 [J]. 武汉大学学报(工学版), 2004, 37(4): 16-20.
- [26] 耿兆铨, 卢祥兴. 黄湾建闸后闸下潮汐、潮流变化 & 淤积趋势预估 [J]. 东海海洋, 1990, 8(1): 18-26.
- [27] 安鸿志, 陈兆国, 杜金观, 等. 时间序列的分析 & 应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [28] Box G, Jenkins G, Reinsel G. 时间序列分析预测 & 控制 [M]. 顾岚, 范金城译. 北京: 中国统计出版社, 1997.
- [29] 安鸿志. 时间序列分析 [M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1992.
- [30] 胡永红, 吴志峰, 李定强, 等. 基于 ARIMA 模型的区域生态水足迹时间序列分析 [J]. 生态环境, 2006, 15(1): 94-98.

Study on the sediment siltation downstream tidal barriers in the North of Jiangsu Province

MIN Feng yang, WANG Ya ping

(Ministry of Education Key Laboratory for Coast and Island Development, School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Received: Jan., 22, 2008

Key words: intertidal mudflat coast; tidal sluice gate; siltation and erosion; ARIMA model

Abstract: The siltation is a key problem of building tidal sluice gate at the river mouth along the intertidal mudflat coasts. In this paper, four rivers (i. e. the Sheyang River, Huangshagang River, Xinyanggang River and Doulonggang River) along the intertidal mudflat coast in the north Jiangsu Province are analyzed on the sediment discharge and channel siltation. The ARIMA model has been established to forecast the quantity of siltation at the river mouth after tidal sluice gate construction. The results show that the siltation of the Sheyang River would increase rapidly in the future without additional treatments. Till 2010, the quantity of siltation will reach $2.47 \times 10^7 \text{ m}^3$ which is the strongest siltation among the four rivers. The quantities of siltation of both Huangshagang River and Doulonggang River increase fluctuantly. The quantity of siltation of Xinyanggang River will reach a equilibrium situation.

(本文编辑: 刘珊珊)