

新洋港闸下港道适宜断面与平衡流量

龚 瑜¹, 陆 倩¹, 严 飞¹, 张长宽²

(1. 上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海 200092;

2. 河海大学港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要:在总结前人关于新洋港闸冲淤平衡流量研究成果的基础上,分析了自建闸至 2012 年新洋港闸下港道的冲淤情势和一般规律。基于 2008—2012 年港道冲淤和水情资料,采用相关性分析方法,重点分析了下泄径流对闸下港道的冲淤效果。结果表明:为了维持港道冲淤平衡,闸门不宜长期关闭,非汛期不排水天数占总天数的比例不宜高于 42%;径流和潮流对水流输沙能力共同产生作用,径流条件可以改善港道内的涨落潮不平衡输沙现象;较弱的落潮流只能携带泥沙下泄 7~9 km,长时间大流量开闸有利于港道稳定;当港道达到冲淤平衡时,日均下泄径流量 Q 与港道平均断面积 A 之间符合 $Q=0.13A$ 的定量关系;在目前港道形态下,港道健康运行的适宜断面积约为 664 m^2 ,其冲淤平衡日均下泄径流量约为 $86\text{ m}^3/\text{s}$ 。

关键词: 闸下淤积;港道冲淤;平衡流量;适宜断面;入海河口;新洋港闸

中图分类号:TV147

文献标志码:A

文章编号:1006-7647(2015)04-0059-06

Study on appropriate section and balanced flow of channel downstream the Xinyanggang Sluice//GONG Yu¹, LU Qian¹, YAN Fei¹, ZHANG Changkuan²(1. *Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Company Limited, Shanghai 200092, China*; 2. *College of Harbor, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China*)

Abstract: This paper summarizes the research achievements on erosion-siltation balanced flow of Xinyanggang Sluice, and analyzes the erosion-siltation conditions and general laws of channel downstream sluice for 2012. Based on the data related to the erosion-siltation and water regime during the period from 2008 to 2012, the effects of discharging runoff on the erosion-siltation of the channel downstream the Xinyanggang Sluice are mainly analyzed with correlation analysis method. The results show that to keep the channel stable, the floodgate is not suitable to be closed for a long time and the ratio of undrained days accounting for total days should be less than 42% in non-flood season. Runoff and tides interact on sediment transport capacity of flow, and the unbalanced sediment transportation at flood and ebb tides in channel can be improved by runoff conditions. Sediment can only be carried 7 to 9 km seaward by weaker ebb currents, so large discharges for long time will be useful for stability of the channel. When the channel reaches the equilibrium state of erosion-siltation, there is a relationship between daily average discharge (Q) and the average cross-section area (A) of the channel (i. e., $Q=0.13A$). In the present channel regime, for proper functioning of the channel, the area is approximately 664 m^2 and the daily average discharge is approximately $86\text{ m}^3/\text{s}$.

Key words: siltation downstream sluice; erosion-siltation of channel; balanced flow; appropriate section; estuary; Xinyanggang Sluice

20 世纪 50 年代,我国在沿海大部分中小入海河口建立了挡潮闸。挡潮闸修建后,在发挥御卤蓄淡、防潮抗台、防洪排涝等功能的同时,也带来了严重的泥沙淤积问题,尤其在海向来沙的淤泥质淤长型海岸,闸下港道普遍处于较严重的淤积状态。虽然经过长期的治理,但闸下淤积问题与防洪、航运和农业生产要求的矛盾仍十分突出^[1-3]。

影响闸下冲淤的因素众多,对于我国淤泥质淤积海岸段,目前一般认为海相来沙是闸下淤积的主要沙源,潮波变形是闸下淤积的动力特征,涨落潮不平衡输沙是闸下淤积的基本模式,而径流是维持河床生命的动力^[4-7]。目前关于闸下淤积定性的研究较多,而定量的研究较少。本文以江苏沿海北部新洋港闸下港道为例,基于 2008—2012 年实测地形及

水文资料统计分析,研究闸下河道适宜断面与平衡流量,为闸下河口治理提供依据。

关于新洋港闸的冲淤平衡径流量,前人已有不少研究成果。罗肇森等^[8]通过分析新洋港多年实测泄水量与闸下河段变化的资料,得出下泄径流量1.9亿m³/月可以保持闸下冲淤平衡,大于此流量时河床冲刷,小于此流量时河床淤积。朱国贤等^[9]根据新洋港闸下河道历年汛期冲淤统计资料,提出6—9月排水量小于10亿m³时闸下河段基本处于上冲下淤状态,大于10亿m³时闸下河段呈全线冲刷状态。刘建东^[10]提出5月至次年4月新洋港闸下河道清淤标准,下泄径流量与汛前河床容积关系如下:①丰水年($P \leq 20\%$),年径流量27.5亿m³以上,汛前河道河床容积在570万m³以上;②平水年($P = 50\%$),年径流量20亿m³,汛前河道河床容积410万m³;③枯水年($P \geq 70\%$),年径流量17亿m³以下,汛前河道河床容积360万m³以下。刘凌等^[11]在输沙水量与其影响因素关系的基础上,建立了最经济冲淤保港生态需水量计算方程,预测新洋港年最经济冲淤保港生态需水量为2.33亿m³。江苏沿海闸下河道淤积综合治理研究项目组^[12]根据挡潮闸闸孔净宽计算的新洋港月冲淤保港水量为1.1亿m³(高值),根据管理单位的工程实践经验分析得出月冲淤保港水量为0.55亿m³(低值)。可以看出,以往研究得出的平衡流量差异较大,年平均下泄水量最小为2.33亿m³,最大近28亿m³。

1 闸下河道冲淤情势

新洋港闸工程建成于1957年5月,距离海口17.5 km,设计日均流量485 m³/s,是苏北里下河地区排洪涝的第二大通道,担负着里下河地区约25%的排涝任务,排涝面积2765 km²。

新洋港闸位于苏北盐城市境内,地处苏北淤长型淤泥质潮滩,周边海相沙源丰富,泥沙颗粒细且结构松散,易随潮流发生悬扬和输移,上游流域属于苏北滨海平原,流域来水几乎不含泥沙。港闸工程建成后,改变了河口地区水沙动力条件,控制了径流下泄,阻挡了潮流上溯,加剧了河道内潮波变形,产生不平衡输沙,造成闸下淤积,使河道断面减小,排灌环境恶化,河道疏浚维护投入不断增加^[13-15]。

1957—2012年新洋港闸下河道汛前、汛后平均断面面积和年排水量变化如图1所示。1957年建闸初,河道平均断面面积1841 m²,1961年汛前急速回淤至747 m²,为建闸初面积的41%,此后淤积速率逐渐趋缓;2012年汛后闸下河道平均断面面积617 m²,为建闸初面积的34%。为了治理闸下淤积,新洋港闸

下河道实施了河道整治、裁弯取直、机船拖淤、水力冲淤等清淤保港措施^[2,10,16]。1972—2003年间,新洋港河道历经了8次较大规模的河道整治工程,整治工程均在非汛期实施,累计开挖土方3683.75万m³;1970年冬至1971年春、1991年冬至1992年春,闸下河道实施了两次裁弯取直工程,港闸排水能力和河道断面面积迅速增大,但很快又恢复到裁弯前的状态;1965年新洋港闸下开展了机船拖淤试验,此后每遇大旱或偏旱年,闸下河道即采取机船拖淤与水力冲淤相结合的清淤措施。经过长期的冲淤演变和淤积治理,近年来闸下河道较为顺直,河道断面面积随下泄径流的增大逐步增大,河道自身的平衡状态逐渐形成。2008—2012年闸下河道没有采取清淤措施^[17],闸下河道平面形态见图2。

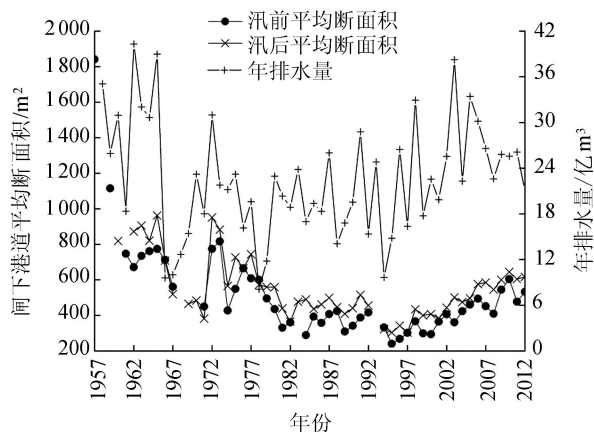


图1 1957—2012年新洋港闸下河道汛前、汛后平均断面面积和年排水量变化

2 下泄径流与河道冲淤一般规律

新洋港闸修建之前,上游有水即排,建闸之后,上游下泄径流受到控制。统计1960—2012年新洋港闸年排水量,进行频率分析,选取枯水年1995年、丰水年2003年、平水年2008年作为3个典型年,分析典型年内新洋港闸的开闸排水过程。典型年逐月排水量和开闸排水天数见表1,可以看出,丰水年排水量大,枯水年排水量小,丰水年2003年的排水量是枯水年1995年的2.2倍;汛期(6—10月)排水量大,非汛期排水量小,1995年、2003年、2008年汛期排水量占全年排水量的比例分别为67%、72%、75%;汛期几乎每天开闸放水,非汛期开闸排水天数少(枯水年非汛期开闸冲淤除外),某些月份几乎不开闸。

闸下冲淤的发展过程,实际上是河道的边界条件及来水来沙条件发生改变后,闸下河道河床的自身调整过程^[18]。由图1可见,新洋港闸下泄径流与河道冲淤规律之间有着密切的联系。丰水年和汛期,为了排涝,过闸流量大且连续开闸,河道通常表

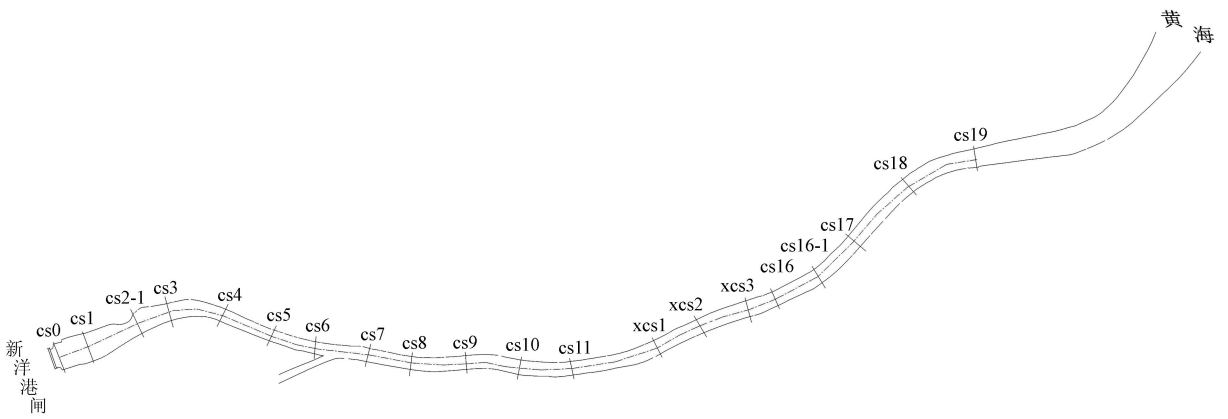


图2 新洋港闸下港区平面形态及2008—2012年测量断面布置示意图

表1 典型年逐月排水量和开闸天数

月份	排水量/亿 m ³			开闸天数/d		
	枯水年(1995年)	丰水年(2003年)	平水年(2008年)	枯水年(1995年)	丰水年(2003年)	平水年(2008年)
1	0.89	1.94	0.26	12	17	2
2	0.45	0.60	0.41	8	8	3
3	0.39	1.24	0	11	24	0
4	0.24	0.81	0	10	20	0
5	0.76	0.43	0.35	16	10	4
6	0.35	0.67	2.99	12	9	21
7	2.18	13.43	2.85	31	31	21
8	2.64	5.23	5.08	29	31	31
9	3.31	4.86	2.72	30	30	27
10	1.43	3.38	3.29	28	27	29
11	0.75	2.82	2.63	14	27	27
12	1.41	2.84	2.03	24	23	19

现为冲刷;枯水年和非汛期,为了蓄水灌溉,过闸流量小且经常关闸,港区常表现为淤积。1965年、1991年、1998年、2003年、2006年等丰水年,港区平均断面面积较前一年增大;1966年、1978年、1979年、1994年、1995年、1997年等枯水年,港区平均断面面积较前一年减小;汛后港区平均断面面积较同年汛前增大,次年汛前又减小。

闸下港区整体呈现丰水年偏冲、枯水年偏淤,汛期冲刷、非汛期淤积的规律。但这种情况也并不绝对,如果汛期下泄的径流量小于河床的平衡流量,河床会发生淤积;如果非汛期下泄的径流量大于河床的平衡流量,河床也会冲刷。

3 下泄径流对闸下港区冲淤效果分析

3.1 非汛期闸门运用与港区冲淤关系

新洋港建闸前,港区内涨落潮流速过程基本对称,建闸后,尤其在非汛期闸门关闭期间,近闸河段的潮波由前进波变为驻波,潮波变形使涨潮历时缩短,落潮历时延长,涨潮流速大于落潮流速,涨潮携带的沙量大于落潮冲走的沙量,造成闸下淤积,且建闸后闸下港区纳潮量减小,落潮平均流量(包括闸

下泄径流量)减小,港区易发生严重淤积^[2,4]。

2008—2012年非汛期港区冲淤量与不排水天数占总天数比例的关系如图3所示,其中负值表示淤积,正值表示冲刷。冲淤量与不排水天数占总天数比例呈负相关关系($n=5$,在0.01的显著水平上,临界相关系数 $r_{0.01}=0.959$)。不排水天数占总天数的比例越大,港区淤积量越大。因此,要维持非汛期新洋港闸下港区不发生淤积,不宜长期关闸,不排水天数占总天数比例不应高于42%。

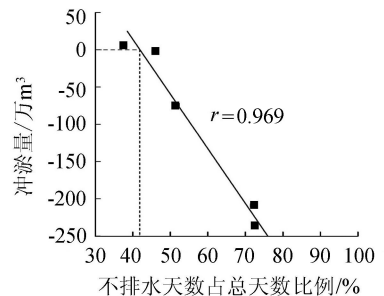


图3 2008—2012年非汛期港区冲淤量与不排水天数占总天数比例关系

3.2 闸下潮差与下泄径流量关系

潮差的大小,可以表征河口潮汐输沙作用的强弱,因此,涨潮期间进入闸下港区的泥沙数量,主要

取决于潮差的大小。影响航道潮差大小的因素有外海潮汐特性、航道形态和下泄径流量。在河床形态变化不大的一定时期内,在一定径流条件下,外海潮差越大,闸下潮差也越大;若下泄径流量越大,对闸下潮差的削弱作用则越强,涨潮流挟沙能力沿航道衰减得越快^[19-25]。

2012年7—12月新洋港闸下日均潮差 ΔH 与日均径流量 Q_d 之间的关系如图4所示,分别拟合了大、中、小潮期间日均潮差与日均径流量之间的关系,指数拟合相关关系良好(在0.01的显著水平上,均大于临界相关系数)。可以看出,径流量越大,闸下潮差越小,涨潮流越受到抑制,则涨潮进沙量越小,同时,落潮流得到加强,则落潮出沙量越大。径流和潮流对水流输沙能力共同产生作用,当下泄径流达到某一量值时,可以使涨落潮进出沙量平衡,甚至使落潮输沙能力大于涨潮输沙能力。

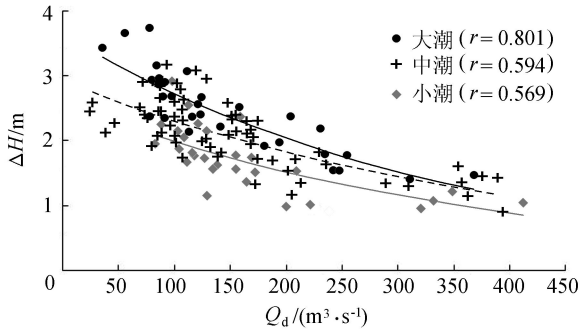


图4 2012年7—12月闸下日均潮差与日均径流量相关曲线

3.3 下泄径流量与航道沿程冲淤强度关系

2012年汛期对新洋港闸下航道沿程 $cs_0 \sim cs_{19}$ 共20个断面进行了5次测量,施测河长10.54 km(图2),测量时间段内下泄径流量和航道冲淤量见表2,4个测量时间段内,闸下航道沿程累计结果均为冲刷,且排水量越大,冲刷量越大。航道沿程每延米日均冲淤量如图5所示,8月1—15日时间段内有连续10 d关闭闸门,排水量很小,虽然航道整体统计结果为冲刷,但闸下3~7 km发生淤积,据此可以推测,若闸门关闭的时间延长,淤积量将增大。

表2 2012年汛期新洋港闸下泄径流量及航道冲淤量

测量时间段	下泄径流量/亿 m^3	冲淤量/万 m^3
2012-07-09—2012-08-01	3.90	45.14
2012-08-01—2012-08-20	0.42	37.07
2012-08-20—2012-09-03	1.24	33.14
2012-09-03—2012-09-20	2.20	41.58

由图5还可以得出以下结论:①新洋港闸下航道靠近河口段,冲淤量受排水量的影响较小,该段的冲淤主要受天文潮影响;②近闸河段的冲淤受闸门启闭的影响较大,8月1—15日时间段内,闸门连续关闭10 d,但近闸段冲刷量增加,可能由于闸门关

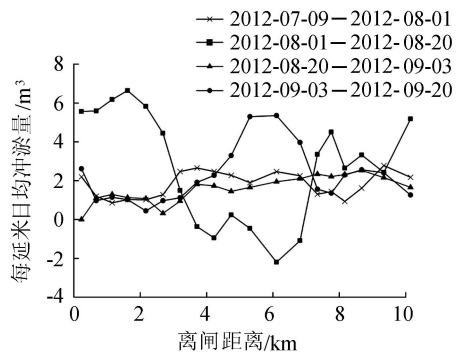


图5 2012年汛期新洋港闸下航道沿程每延米日均冲淤量

闭,避免了开闸时咸淡水混合的层化效应抑制落潮流对底部沉积物再悬浮的现象^[26-27];③由于泥沙在一潮中的移动距离有限,如果悬沙向外海的移动速度为0.5 m/s,那么开闸的4~5 h内,泥沙只能下行7~9 km^[28]。8月1—15日时间段内,下泄径流量少,落潮流得不到加强,没有足够的水量将近闸河段掀起的泥沙全部带出航道,导致航道中段发生淤积,因此,长时间大流量开闸有利于将泥沙运出航道。

3.4 汛前航道断面面积对汛期径流冲淤的影响

2008—2012年汛期单位水量冲淤量与汛前航道平均断面面积相关关系如图6所示,单位水量冲淤量与汛前航道平均断面面积基本呈负相关($n=5$,在0.01的显著水平上,临界相关系数 $r_{0.01}=0.959$),汛前淤积越严重,航道平均断面面积越小,汛期单位水量冲淤效果越好。当单位水量冲淤量为零时,汛前航道平均断面面积约664 m^2 ,本文称之为航道健康运行的适宜断面面积。

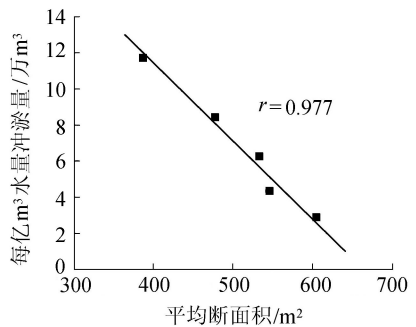


图6 2008—2012年汛期单位水量冲淤量与汛前航道平均断面面积相关关系

4 冲淤平衡径流量

由上文的分析可知,在闸下航道形态和口外天文潮汐作用相对稳定的时期内,航道的冲淤主要受下泄径流量、开闸排水天数和汛前航道平均断面面积的影响。为了建立新洋港闸下航道径流量与冲淤量之间的定量关系,寻求冲淤平衡径流量,拟合2008—2012年汛期、非汛期日均下泄径流量 Q 、港

道平均断面面积 A 和日均冲淤量 ΔV 之间的关系如图 7 所示,表 3 为实测数据。

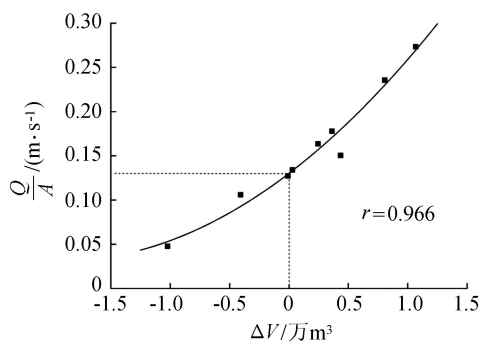


图 7 2008—2012 年汛期、非汛期 Q/A 与 V 相关关系

表 3 2008—2012 年闸下河道冲淤与水情统计

时间	河道平均断面面积 A/m^2	河道容积 $V/10^4 m^3$	日均冲淤量 $\Delta V/10^4 m^3$	日均下泄径流量 $Q/(m^3 \cdot s^{-1})$
2008-04-29—2008-10-08	387 ~ 546	408 ~ 581	1.067 9	105.737
2008-10-08—2009-04-30	546 ~ 545	581 ~ 579	-0.009 8	69.397
2009-04-30—2009-09-26	545 ~ 600	579 ~ 633	0.362 4	96.954
2009-09-26—2010-04-15	600 ~ 604	633 ~ 639	0.029 9	80.454
2010-04-15—2010-10-20	604 ~ 645	639 ~ 685	0.244 7	98.807
2010-10-20—2011-04-19	645 ~ 477	685 ~ 500	-1.022 1	30.740
2011-04-19—2011-10-12	477 ~ 604	500 ~ 642	0.806 8	112.359
2011-10-12—2012-04-18	604 ~ 533	642 ~ 568	-0.407 4	63.972
2012-04-18—2012-10-23	533 ~ 617	568 ~ 650	0.436 2	80.137

Q/A 与 V 之间呈良好的二次多项式关系($n=9$, 在 0.01 的显著水平上, 临界相关系数 $r_{0.01} = 0.798$)。当 $V=0$ 时, 有 $Q=0.13A$ 的定量关系。

2008—2012 年, 河道平均断面面积 $540 m^2$, 为了维持冲淤平衡, 日均下泄径流量约 $70.20 m^3/s$, 即年下泄径流量约 22.14 亿 m^3 ; 要使河道达到健康运行的适宜断面面积 $664 m^2$, 并达到冲淤平衡, 则日均下泄径流量约 $86 m^3/s$, 即年下泄径流量约 27.22 亿 m^3 。

5 结 论

a. 为了维持河道冲淤平衡, 闸门不宜长期关闭, 非汛期不排水天数占总天数的比例不宜高于 42%。

b. 径流和潮流对水流输沙能力共同产生作用, 径流条件可以改善河道内的涨落潮不平衡输沙现象。

c. 河道沿程冲淤规律不同, 较弱的落潮流只能携带泥沙下泄 7~9 km, 该段是淤积的重点, 长时间

大流量开闸有利于河道稳定。

d. 当河道达到冲淤平衡时, 日均下泄径流量 Q 与河道平均断面面积 A 之间符合 $Q=0.13A$ 的定量关系。

e. 在目前河道形态下, 河道健康运行的适宜断面面积约为 $664 m^2$, 其冲淤平衡日均下泄径流量约为 $86 m^3/s$ 。

参考文献:

- [1] 金元欢, 沈焕庭. 我国建闸河口冲淤特性[J]. 泥沙研究, 1991(4): 59-68. (JIN Yuanhuan, SHEN Tinghuan. Scouring and deposition characteristics of sluice construction estuary in China [J]. Journal of Sediment Research, 1991(4): 59-68. (in Chinese))
- [2] 陈静. 射阳河口挡潮闸闸下淤积分析与治理开发研究[D]. 南京: 南京水利科学研究所, 2006.
- [3] 徐雪松, 窦希萍, 陈星, 等. 建闸河口闸下淤积问题研究综述[J]. 水运工程, 2012(1): 116-121. (XU Xuesong, DOU Xiping, CHEN Xing, et al. Overview of siltation downstream estuarine floodgates [J]. Port & Waterway Engineering, 2012(1): 116-121. (in Chinese))
- [4] 辛文杰, 张金善. 我国建闸河口闸下淤积问题及其对策[R]. 南京: 南京水利科学研究所, 2003.
- [5] 施春香. 挡潮闸下游河道淤积原因分析及冲淤保障措施研究: 以王港闸为例[D]. 南京: 河海大学, 2006.
- [6] 郑华美, 王均明. 苏北沿海挡潮闸闸下水道淤积的因素和影响机制分析[J]. 盐城工学院学报: 自然科学版, 2005, 18(3): 73-76. (ZHENG Huamei, WANG Junming. The analyses of factors and the influencing mechanism of watercourses siltation under tide-blocking floodgates in the coastal regions in Northern Jiangsu Province [J]. Journal of Yancheng Institute of Technology: Natural Science, 2005, 18(3): 73-76. (in Chinese))
- [7] 施世宽. 东台沿海挡潮闸淤积成因及减淤防淤措施[J]. 中国农村水利水电, 1999(1): 20-22. (SHI Shikuan. Siltation causes and measures to prevent and reduce siltation downstream sluices along Dongtai coast [J]. China Rural Water and Hydropower, 1999(1): 20-22. (in Chinese))
- [8] 罗肇森, 顾佩玉. 江苏海岸带闸下淤积问题分析[R]. 南京: 南京水利科学研究所, 1981.
- [9] 朱国贤, 项明. 沿海挡潮闸闸下淤积分析与疏浚技术[J]. 海洋工程, 2005, 23(3): 115-118. (ZHU Guoxian, XIANG Ming. Sedimentation and dredging downstream tidal sluices along coasts [J]. The Ocean Engineering, 2005, 23(3): 115-118. (in Chinese))
- [10] 刘建东. 新洋港闸下河道动态平衡清淤标准分析[J]. 江苏水利, 2003(5): 17-19. (LIU Jiandong. Analysis of dynamic equilibrium dredging standards of Xinyanggang Channel [J]. Jiangsu Water Resources, 2003(5): 17-19.

(in Chinese))

- [11] 刘凌,常本春,毛媛媛,等.里下河地区主要通海通道冲淤保港生态需水量研究[C]//江苏省水利厅.江苏沿海闸下通道淤积防治对策研究.北京:海军出版社,2007:97-103.
- [12] 江苏沿海闸下通道淤积综合治理研究项目组.江苏沿海闸下通道淤积综合治理研究技术总结[R].南京:江苏省防汛防旱指挥部办公室,2009:83-90.
- [13] 陈其美.新洋港闸下通道淤积分析及对策[J].水利建设与管理,2009(9):57-63.(CHEN Qimei. Sedimentation and its control in Xinyanggang Channel [J]. Water Resources Development & Management, 2009(9):57-63. (in Chinese))
- [14] 陈锡林,闻余华.里下河地区沿海通道典型年排水能力分析[C]//江苏省水利厅.江苏沿海闸下通道淤积防治对策研究.北京:海军出版社,2007:151-158.
- [15] 罗伯明.里下河地区沿海闸下河港淤积成因分析及清淤保港技术措施浅议[C]//江苏省水利厅.江苏沿海闸下通道淤积防治对策研究.北京:海军出版社,2007:46-56.
- [16] 吉建家,李爱芹,邓正殿.新洋港河道整治工程后的排涝能力分析[J].江苏水利,2009(9):23-26.(JI Jianjia, LI Aiqin, DENG Zhengdian. Analysis of drainage ability after regulation works in Xinyanggang River [J]. Jiangsu Water Resources, 2009(9):23-26. (in Chinese))
- [17] 江苏省沿海河口挡潮闸优化调度原则研究[R].南京:江苏省防汛防旱指挥部办公室,2013:33-41.
- [18] 陆倩,龚政,李欢,等.平原冲积河流及潮汐河口河相关关系研究进展[J].人民长江,2013,44(21):7-11.(LU Qian, GONG Zheng, LI Huan, et al. Research advance on relationship between plain alluvial river and tidal estuary [J]. Yangtze River, 2013, 44(21):7-11. (in Chinese)).
- [19] 窦国仁.潮汐水流中的悬沙运动及冲淤计算[J].水利学报,1963(4):13-24.(DOU Guoren. Suspended sediment movement and scouring and silting calculation in tidal current [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1963(4):13-24. (in Chinese))
- [20] GODIN G. Modification of river tides by the discharge[J]. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 1985, 111:257-274.
- [21] 闵凤阳.里下河“四港”闸下水道淤积分析[C]//第十
- 三届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集.北京:海军出版社,2007:541-547.
- [22] 周济福,王涛,李家春,等.径流与潮流对长江口泥沙输运的影响[J].水动力学研究与进展:A辑,1999,14(1):90-100.(ZHOU Jifu, WANG Tao, LI Jiachun. Influence of runoff and tide on sediment transport in the Yangtze Estuary [J]. Journal of Hydrodynamics: Ser A, 1999, 14(1):90-100. (in Chinese))
- [23] 欧素英,杨清书.珠江三角洲网河区径流潮流相互作用分析[J].海洋学报,2004,26(1):125-130.(OU Suying, YANG Qingshu. Interaction of fluctuating river flow with a barotropic tide in river net work of the Zhujiang Delta [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2004, 26(1):125-130. (in Chinese))
- [24] 徐雪松,窦希萍,赵晓东,等.建闸河口潮波变形概化模型研究[J].水运工程,2011(6):6-10.(XU Xuesong, DOU Xiping, ZHAO Xiaodong, et al. Generalized model study on tidal wave transformation in estuaries with barriers constructed [J]. Port & Waterway Engineering, 2011(6):6-10. (in Chinese))
- [25] 徐和兴,徐锡荣.潮汐河口闸下淤积及减淤措施试验研究[J].河海大学学报:自然科学版,2001,29(6):30-35.(XU Hexing, XU Xirong. Sediment deposition under tidal estuary lock and experimental study on deposition reduction [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2001, 29(6):30-35. (in Chinese))
- [26] ALLEN G P, SALOMON J C, BASSOULLET P, et al. Effects of tides on mixing and suspended sediment transport in macro tidal estuaries [J]. Sedimentary Geology, 1980, 26:69-90.
- [27] 李明亮,汪亚平,朱国贤,等.中小型建闸河口的闸下水体悬沙输运过程:以新洋港河口为例[J].海洋通报,2013,32(6):657-667.(LI Mingliang, WANG Yaping, ZHU Guoxian, et al. Suspended sediment transport in small and medium estuaries with the sluice gate: a case study of the Xinyanggang Estuary, China [J]. Marine Science Bulletin, 2013, 32(6):657-667. (in Chinese))
- [28] 窦国仁.射阳河闸下淤积问题分析[C]//窦国仁论文集.北京:中国水利水电出版社,2003:112-135.

(收稿日期:2014-08-25 编辑:熊水斌)

(上接第48页)

- [8] 蒋力.土石挡水建筑物防渗体布置形式对渗流计算结果的影响研究[D].西安:西安理工大学,2011.
- [9] 王晓燕.悬挂式混凝土防渗墙深度优化设计研究[D].西安:西安理工大学,2008.
- [10] 毛昶熙.渗流计算分析与控制[M].北京:水利水电出版社,2003:155-158.
- [11] 冯国栋.土力学[M].北京:中国水利水电出版社,1986:33-38.
- [12] 韩磊,陈建生,陈亮.帷幕灌浆扩散半径及数值模拟研究[J].岩土力学,2012,33(7):2235-2240.(HAN Lei, CHEN Jiansheng, CHEN Liang. Research on diffusion radius and numerical simulation in curtain grouting [J]. Rock and Soil Mechanics, 2012, 33(7):2235~2240. (in Chinese))

(收稿日期:2014-04-28 编辑:熊水斌)