

潮汐河口闸下淤积及减淤措施试验研究

徐和兴, 徐锡荣

(淮海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要 结合盐灌船闸泥沙模型试验, 研究闸下泥沙淤积规律, 探讨减少闸下泥沙淤积的工程措施. 试验研究表明, 盐灌船闸修建后, 下游引航道内的淤积是严重的, 利用汛期部分水量由船闸集中放水冲沙, 对清除下游引航道的泥沙淤积是有效的. 在泄水冲沙同时采用机船拖耙等搅沙措施, 能大幅度提高冲沙效率. 改斜坡式断面为直立式断面, 缩小下游引航道的过水面积, 不仅能减少淤积量, 而且有利于提高冲沙效率.

关键词 潮汐河口, 闸下淤积, 减淤措施

中图分类号: TV143

文献标识码: A

文章编号: 1000-1980(2001)06-0030-06

在潮汐河口, 为了抵御盐水入侵、排泄内涝, 常在河口感潮段修建挡潮闸. 河口建闸后, 改变了河口地区的动力条件, 使潮位和潮流过程出现相位差, 涨潮历时缩短而涨潮流速加大, 落潮历时加长而落潮流速减小, 使涨潮带进的泥沙量远大于落潮带出的泥沙量, 改变了原有天然情况下的输沙平衡, 引起闸下河段的严重淤积^[1, 2]. 苏北灌河上段武障河, 1976 年修建盐东控制工程后, 在武障河闸下至东三岔约 13 km 的河段内发生严重的泥沙淤积. 如: 1983 年 11 月 ~ 1984 年 4 月, 闸下河段各断面河床淤高达 1.2 ~ 2.0 m; 1991 年 12 月 ~ 1992 年 3 月, 闸下河段 4 个月平均淤高 1.13 m. 闸下河道的严重淤积不仅影响河道的泄洪排涝, 而且对河道通航、沿岸供排水均带来不利影响. 本文结合盐灌船闸下游引航道泥沙模型试验, 对闸下泥沙淤积和减淤措施进行了试验研究.

1 盐灌船闸闸下淤积试验研究

1.1 工程概况

盐河和灌河是江苏北部地区两大入海河流, 拟建的盐灌船闸位于灌河上段武障河闸下, 是沟通盐河和灌河航道的交通枢纽, 工程位置如图 1 所示.

武障河闸于 1976 年建成, 建闸后, 闸下至东三岔河道发生严重淤积, 尤其在枯水期节制闸不放水或泄流量很小时, 在潮流作用下, 闸下河段呈单向淤积趋势, 在枯季 3 ~ 4 个月内, 闸下河段淤积可达 1 ~ 2 m. 在洪水期, 闸上有较多的水量下泄时, 闸下河段可发生冲刷. 该闸下河段冲淤变化的规律为: 枯水年淤积, 大水年冲刷, 在年内为枯水期淤积, 洪水期冲刷.

盐灌船闸修建后, 闸下引航道及与武障河交汇处, 会有较多泥沙淤积. 为研究工程前后下游引航道口门区的流场特性, 探索下游引航道合理的布置形式, 预估工程实施后下游引航道内的淤积量及其分布, 并探求减少闸下泥沙淤积的工程措施, 进行盐灌船闸下游引航道模型试验研究.

1.2 模型试验概况

本模型上起武障河节制闸上游 240 m 和拟建盐灌船闸上游 240 m, 下至大圈以下 160 m, 模拟范围约 4 km, 模型全长 54 m, 模型平面比尺为 80, 垂直比尺为 40. 模型布置示意图如图 2 所示.

本模型模拟河段属潮汐河道, 需模拟出潮汐水流运动和上游节制闸放水过程. 在模型上应用一套非恒定流自控、监测及数据采集装置, 能自动控制 4 个口门的流量或水位变化过程, 模拟出与天然河道相似的潮汐运动并能同步观测 64 个流速、32 个水位和 32 个模拟量, 将测试数据列表打印出来, 动床试验时用搅拌式加

沙机加沙,用光电测沙仪监测水中含沙量.

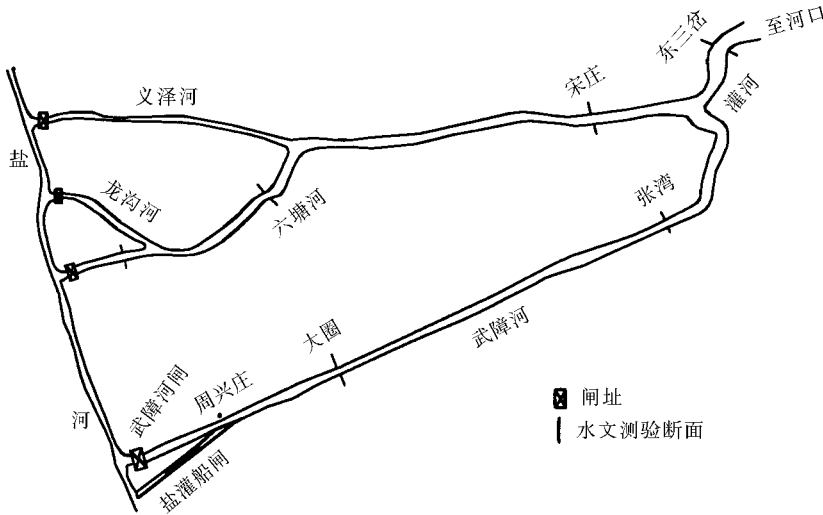


图 1 盐灌船闸附近河势平面图

Fig.1 Plain view of river regime near Yanguan Lock

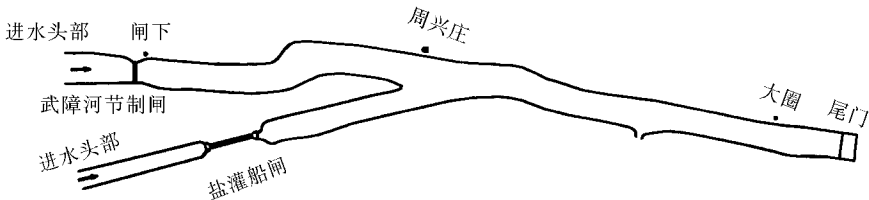


图 2 模型布置

Fig.2 Schematic diagram of the physical model

为模拟原型中的悬移质泥沙和河床质泥沙运动,按泥沙沉降相似条件和起动相似条件,选用中值粒径 $d_{50} = 0.063\text{ mm}$ 和 $d_{50} = 0.099\text{ mm}$ 的木粉作模型沙分别模拟悬移质泥沙和河床质泥沙.

模型试验分定床试验和动床试验两个阶段进行.

定床试验利用原型实测资料对模型进行沿程潮位验证和全潮流速验证,并在模型上的工程部位布点分别观测工程前及设计方案实施后 4 种典型潮的全潮流速过程,通过工程前后流场资料的对比分析,预估工程对附近流场的影响.为使下游引航道口门区的横向流速满足设计要求值,进行了 6 种探索方案的试验,提出以口门区回流范围较小和横向流速满足设计要求的长透水导堤方案作为建议方案.

动床试验在进行淤积验证、冲刷验证及长历时冲淤验证的基础上,对建议方案分别进行了枯水年、平水年及两种不同频率丰水年的冲淤试验,预估了各典型年在下游引航道内的淤积分布和淤积量.为减少闸下泥沙淤积,还进行了各种减淤措施的试验研究.

1.3 动床试验内容及主要成果

1.3.1 试验河段冲淤特性分析

据武障河闸下河道实测含沙量资料,大潮时,涨潮平均含沙量 1.58 kg/m^3 ,落潮平均含沙量 0.17 kg/m^3 ;小潮时,涨潮平均含沙量 0.39 kg/m^3 ,落潮平均含沙量 0.09 kg/m^3 .由此可见,涨潮含沙量远大于落潮含沙量,大潮含沙量远大于小潮含沙量.

据大圈断面输沙量资料统计,大潮落潮输沙量为 42.6 万 kg,涨潮输沙量为 513.5 万 kg,小潮落潮输沙量为 18.9 万 kg,涨潮输沙量为 54.2 万 kg.由此可见,涨潮输沙量远大于落潮输沙量,涨潮带进的泥沙绝大部分将淤积在闸下河道内.

据历次地形测量资料分析,武障河闸下河床冲淤变化的规律为:枯水年份淤积,大水年份冲刷,在年内枯水期淤积,洪水期冲刷,冲淤幅度较大.

1.3.2 动床验证试验

利用 1997 年 10 月和 1997 年 12 月两次地形资料进行淤积验证 ,利用 1996 年 5 月和 1996 年 8 月两次断面测量资料进行冲刷验证 ,利用 1996 年 5 月和 1997 年 10 月地形资料进行 17 个月的长历时冲淤验证试验 .上述 3 组动床验证试验表明 ,模型中各测淤断面的冲淤量与原型相接近 ,说明模型中的泥沙运动与原型基本相似 .

1.3.3 工程方案冲淤试验

为预估工程实施后各典型年船闸下游引航道内的淤积量和淤积分布 ,对前述的建议方案分别进行了 $P = 5\%$ 、 $P = 10\%$ 丰水年、 $P = 50\%$ 平水年和 $P = 95\%$ 枯水年的冲淤试验 .

1.3.3.1 $P = 5\%$ 丰水年冲淤试验

该年武障河闸 6~9 月月平均泄流量在 $120\text{ m}^3/\text{s}$ 以上 ,最大月平均泄流量达 $225\text{ m}^3/\text{s}$,全年平均泄流量达 $84.3\text{ m}^3/\text{s}$.在模型上进行 6~9 月共 4 个月的冲淤试验 ,下游引航道淤积后纵剖面如图 3(a)所示 .由图可见 ,该年洪季下游引航道淤积主要集中在口门附近的回流区 ,淤积厚度 $0.6\sim 0.8\text{ m}$,闸下淤厚仅 0.1 m 左右 ,引航道内平均淤厚 0.35 m .

1.3.3.2 $P = 10\%$ 丰水年冲淤试验

该年 6~8 月月平均泄流量在 $130\text{ m}^3/\text{s}$ 以上 ,最大月平均泄流量 $196\text{ m}^3/\text{s}$,全年平均泄流量 $72.9\text{ m}^3/\text{s}$.在模型上进行 6~8 月 3 个月的冲淤试验 .下游引航道淤积纵剖面如图 3(b)所示 .该典型年洪季后 ,引航道口门区淤厚 $0.6\sim 0.8\text{ m}$,近闸淤厚小于 0.1 m ,引航道内平均淤厚 0.25 m .

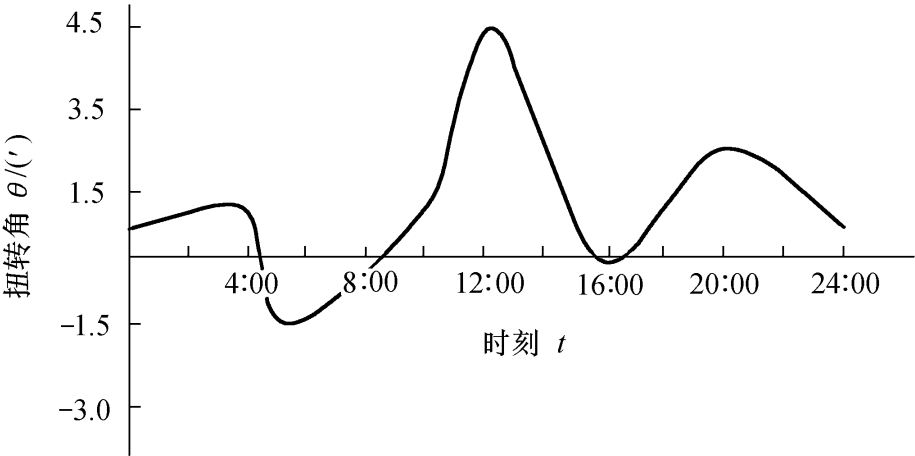


图 3 各典型年下游引航道淤积纵剖面图

Fig.3 Deposition profile of downstream access channel for typical years

1.3.3.3 $P = 50\%$ 平水年冲淤试验

该年各月武障河闸均有下泄流量 ,最大月平均泄流量 $74.7\text{ m}^3/\text{s}$,在模型上分别进行 6 个月、12 个月的冲淤试验 ,下游引航道内淤积纵剖面如图 3(c)所示 .6 个月后 ,引航道口门区淤厚 $0.8\sim 1.0\text{ m}$,闸下淤厚 $0.1\sim 0.2\text{ m}$,引航道内平均淤厚 0.65 m .12 个月后 ,引航道口门区淤厚 $1.4\sim 1.6\text{ m}$,闸下淤厚 $0.2\sim 0.3\text{ m}$,引航道内平均淤厚 0.94 m .

1.3.3.4 $P = 95\%$ 枯水年冲淤试验

该年有 4 个月武障河闸不放水 2 个月泄水流量极小 ,最大月平均泄流量 $49.4\text{ m}^3/\text{s}$,年平均泄流量 $15.8\text{ m}^3/\text{s}$.在模型上分别进行了 2 个月、4 个月、6 个月的冲淤试验 .下游引航道淤积纵剖面如图 3(d)所示 .该年泥沙淤积厚度在口门处较多 ,向闸下逐渐减少 ,随着时间的加长 ,引航道内淤积渐增 .2 个月后 ,口门区淤厚约 0.4 m ,闸下淤厚小于 0.1 m ,引航道内平均淤厚 0.28 m ;4 个月后 ,口门区淤厚 $0.8\sim 0.9\text{ m}$,闸下淤厚 $0.1\sim 0.2\text{ m}$,引航道平均淤厚 0.63 m ;6 个月后 ,口门区淤厚 $1.0\sim 1.3\text{ m}$,闸下淤厚 $0.2\sim 0.4\text{ m}$,引航道内平均淤厚 0.96 m .

据上述资料分析 (a)引航道内的泥沙淤积量与各典型年的水沙条件有关 ,枯水年月平均淤厚 $0.14\sim 0.16\text{ m}$,平水年月平均淤厚 $0.08\sim 0.11\text{ m}$,丰水年洪季月平均淤厚 $0.08\sim 0.09\text{ m}$.(b)在引航道口门区 ,由于存在回流 ,淤积厚度一般较大 .尤其丰水年 ,淤积主要在口门附近 .从口门至船闸闸下 ,淤积量逐渐减少 ,随着淤积历时的加长 ,淤积泥沙由口门逐渐向闸下推进 .(c)武障河节制闸泄放大流量时对闸下河道的冲刷是有效的 ,但对减少船闸下游引航道泥沙淤积无明显作用 .只有从船闸泄放大流量 ,方能冲刷下游引航道内的泥沙淤积 .

2 盐灌船闸下游引航道减淤措施试验研究

上述各典型年冲淤试验表明 ,船闸不放水时 ,船闸下游有较多的泥沙淤积 ,只有船闸泄放大流量 ,使下游引航道内的流速超过淤沙起动流速或扬动流速时才有可能发生冲刷 .

为维持下游引航道的通航条件 ,进行了如下减淤措施的模型试验研究 .

2.1 利用船闸开通泄水冲沙

利用武障河闸泄流期间的部分水量由船闸泄放 ,可对下游引航道内的淤沙进行冲刷 .分别对大洪水期、丰水年洪季、平水年洪季和枯水年洪季及枯水季用相应潮位过程 (D_1, P_1, P_4, P_5, P_0) 进行冲沙试验 ,各组试验船闸下泄流量均为 $200\text{ m}^3/\text{s}$ 左右 ,各组试验冲沙效果见表 1 .由表 1 可见 ,冲沙效果与冲沙期平均潮位有关 .冲沙潮型不同 ,冲沙效果不同 ,同一冲沙潮型 ,随开闸时水位差的加大 ,冲沙效果随之增大 .因此 ,选择低潮位时开闸冲沙有利于提高冲沙效果 .

2.2 采用拖耙等搅沙措施提高清淤效果

沿海挡潮闸下游 ,在开闸泄水冲沙的同时 ,采用机船拖带沙耙进行搅沙等措施 ,使淤沙扬动起来随水流带走 ,有较好的清淤效果 .模拟拖耙搅沙 ,分别对大水年冲沙、枯水年洪季冲沙及低潮位冲沙 3 种情况进行清淤试验 ,清淤效果见表 2 .

表 1 冲沙效果对比
Table 1 Comparison of sediment scouring effect

冲沙潮型	闸上水位 /m	开闸时下游水位 /m	开闸时水位差 /m	冲沙时间/h		冲沙期平均潮位 /m	冲刷平均厚度 /m	冲刷总量 /m ³	冲沙效率 (m ³ ·h ⁻¹)
				模型	原型				
D ₁	2.8	2.8	0.0	0.80	232	2.33	0.18	7 920	34
	2.5	2.5	0.0	0.75	218	1.59	0.28	12 320	56
P ₁	2.5	2.0	0.5	0.62	180	1.41	0.26	11 440	64
	2.5	1.5	1.0	0.43	125	1.26	0.20	8 800	70
	2.5	2.5	0.0	0.75	218	1.23	0.37	16 280	75
P ₄	2.5	2.0	0.5	0.63	183	1.13	0.34	14 960	82
	2.5	1.5	1.0	0.52	151	0.97	0.32	14 080	93
	2.5	1.0	1.5	0.37	108	0.75	0.25	11 000	102
	2.5	2.5	0.0	0.80	232	1.15	0.43	18 920	82
P ₅	2.5	2.0	0.5	0.67	195	0.96	0.41	18 040	93
	2.5	1.5	1.0	0.58	169	0.79	0.38	16 720	99
	2.5	1.0	1.5	0.41	119	0.56	0.32	14 080	118
	2.5	0.5	2.0	0.30	87	0.35	0.26	11 440	132
	2.5	0.0	2.5	0.30	87	-0.19	0.38	16 720	192

表 2 加拖耙后冲沙效果对比

冲沙潮型	闸上水位 /m	开闸时下游水位 /m	开闸时水位差 /m	冲沙时间/h		冲沙期平均潮位 /m	冲刷平均厚度 /m	冲刷总量 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	冲沙效果 ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)
				模 型	原 型				
D ₁	2.8	2.8	0.0	0.8	232	2.33	0.56	24 640	106
P ₅	2.5	2.5	0.0	0.8	232	1.15	0.69	30 360	131
P ₀	2.5	0.0	2.5	0.3	87	-0.19	0.46	20 240	233

试验成果表明,泄水冲沙加拖耙的措施具有较好的清淤效果,该措施可提高冲沙效率,每小时可增加冲沙量 $40 \sim 70 \text{ m}^3$. 冲沙前后下游引航道纵剖面对比如图 4 所示.

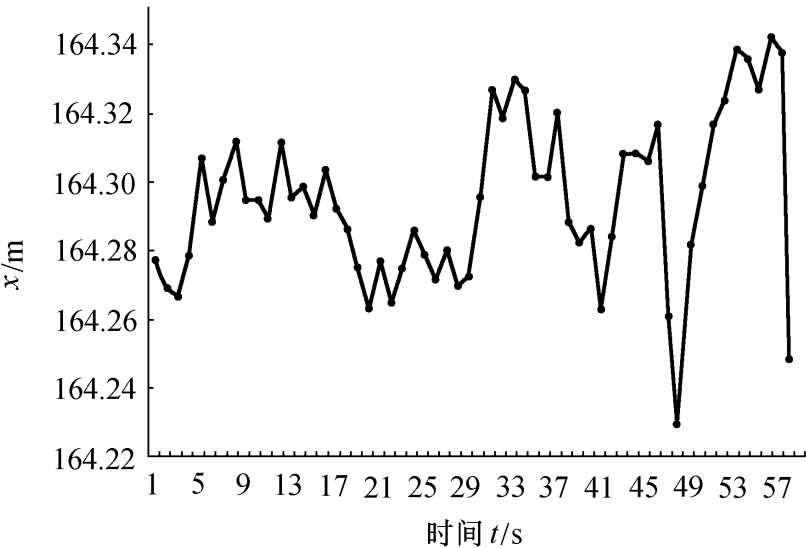


图 4 船闸放水冲沙前后下游引航道纵剖面对比

Fig.4 Comparison of longitudinal section before and after discharge scouring

2.3 缩小下游引航道断面面积

在满足通航条件的前提下,缩小引航道过水断面面积,不仅能减少引航道内的泥沙淤积量,而且能有效地提高冲沙效率.

当从船闸泄放相同冲沙流量时,闸下水位为 $0 \sim 2 \text{ m}$ 时,如将斜坡式断面改为直立式断面,冲沙效率可增加 $10\% \sim 37\%$,同时随着过水面积的减小,下游引航道的纳潮量相应减少,淤积量也随之减小.

3 结 论

a. 潮汐河口建闸后,改变了闸下河道的动力条件,使涨潮流速大于落潮流速,涨潮带进的泥沙远大于落潮带出的泥沙,使闸下河道发生严重淤积.

b. 盐灌船闸下游引航道冲淤试验资料表明,在下游引航道内,枯水年月平均淤厚为 $0.14 \sim 0.16 \text{ m}$,平水年月平均淤厚为 $0.08 \sim 0.11 \text{ m}$,丰水年月平均淤厚为 $0.08 \sim 0.09 \text{ m}$. 可见建船闸后,下游引航道的淤积是严

重的.

c. 闸下减淤措施试验研究表明 利用汛期泄流量集中冲沙 ,使泄水期闸下河段流速大于淤沙起动流速 ,对清除闸下淤积是有效的 ,冲沙时潮位越低 ,冲沙流量越大 ,冲沙效果越好 ;在泄水冲沙的同时如采用机船拖耙等搅沙措施 ,能大幅度提高冲沙效率.

d. 缩小下游引航道的过水断面 ,改斜坡式断面为直立式断面 ,不仅能减少淤积 ,而且有利于提高冲沙效率.

参考文献 :

[1] 钱宁 .河床演变学[M].北京 科学出版社 ,1987.504 ~ 506.
[2] 罗肇森 ,顾佩玉 .建闸河口淤积变化规律和减淤措施[A].见 :中国水利学会主编 .河流泥沙国际学术会议论文集[C].1980.377 ~ 386.

Sediment Deposition under Tidal Estuary Lock and Experimental Study on Deposition Reduction

XU He-xing ,XU Xi-rong

(College of Water Conservancy and Hydropower Engineering ,Hohai Univ. ,Nanjing 210098 ,China)

Abstract :In combination with model experiments for the Yanguan Lock , sediment deposition is studied and engineering measures for deposition reduction are discussed. The research shows that the construction of the Yanguan Lock results in serious sediment deposition ,that the use of part of discharge during the flood season to scour deposition in the access channel is effective ,and that the combination of flow scouring with machine agitating may help improve sediment scouring efficiency greatly. The change of the slope section to vertical section and the reduction of wetted cross-section may not only decrease deposition but also improve sediment scouring efficiency.

Key words :tidal estuary ;sediment deposition under lock ;measures for deposition reduction