



淮河出海航道滩头整治工程平面方案分析

刘赛龙, 吴凌波

(中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 430071)

摘要: 航道整治需抓住工程实施的有利时机, 在通航条件还未恶化前提前预防。以淮河出海航道(红山头—京杭运河段)大淤滩整治工程为例, 利用平面二维水流数学模型对滩头不同侵蚀方案产生效果进行计算, 分析若不对滩头进行守护将可能导致的后果, 说明滩头守护的必要性, 并结合河床演变分析提出滩头整治工程平面布置方案。

关键词: 淮河出海航道; 平面二维水流数学模型; 滩头后退; 整治工程

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)07-0110-05

Regulation layout plan of reach in Huaihe river to sea channel

LIU Sai-long, WU Ling-bo

(CCCC Second Harbor Consultants Co., Ltd., Wuhan 430071, China)

Abstract: The channel regulation should be implemented at appropriate time before the navigation condition is deteriorated. Taking the regulation of the Dayu beach in the Huaihe outfall waterway (Hongshantou to the Grand Canal section) as an example, various erosion schemes of the head of Dayu beach are calculated by a two-dimensional flow model. The consequences without protection at the head of the beach are analyzed which explains the necessity of protection. At last, combining with the recent river evolution, a beach regulation layout plan is proposed. This method may serve as reference for the decision-making of the regulation plan.

Key words: Huaihe river to sea channel; 2-D flow mathematical model; erosion of the head of the shoal; regulation engineering

淮河出海航道是江苏省规划建设的“两纵四横”干线航道网中的“第一横”, 也是《全国内河航道与港口布局规划》和《长三角高等级航道网规划》确定的高等级航道^[1]。航道上游起点为红山头, 终点至京杭运河, 全长 102 km。航道按照 III 级标准整治, 设计水深 3.2 m, 航宽 60 m, 最小弯曲半径不小于 480 m。

本航道整治手段以疏浚为主, 并辅以洲滩守护, 稳定河势。在河道入洪泽湖口处有大淤滩, 滩头附近水道满足 III 级航道建设标准, 然而近年来滩头河床变化较为剧烈, 滩头的变化有可能影响通航汉道的稳定。航道整治需因势利导, 掌握

工程实施的有利时机, 在洲滩河段航道还未恶化前固定较为完整的上下边滩, 维护现有良好航槽。为了研究滩头变化对航道的影响, 本文假定几组滩头侵蚀后退方案, 采用二维水流模型对其进行模拟, 并分析滩头向后侵退产生的效果, 以说明现阶段滩头守护对维护通航汉道稳定的必要性, 并提出工程平面布置方案。

1 自然条件

1.1 水文、泥沙条件

统计分析发现淮河干支流主要测站的实测年径流量无明显增加或减少的趋势, 来水量在较长

收稿日期: 2014-01-03

作者简介: 刘赛龙(1966—), 男, 高级工程师, 主要从事航道整治工程、港口工程设计。

的时间内保持稳定, 而输沙量、含沙量总体上呈逐年减少的趋势。本河段泥沙主要以悬移质为主^[2], 推移质所占比例很小, 悬移质输沙量占总输沙量的95%以上。悬移质泥沙粒径在0.10~0.25 mm所占比重较大, 多年平均含沙量为0.21 kg/m³。

1.2 地质情况

工程河段江中洲滩系全新冲积物, 抗冲性能差, 河床上部为淤泥粉质黏土, 下部为粉质黏土, 受水流浸泡, 容易侵蚀。

2 河道概况及河床演变

本河段位于淮河入洪泽湖河口段, 受洪泽湖蓄水水位影响, 河面宽阔, 主槽宽浅, 河底成倒比降, 洲滩众多, 泥沙淤积与芦苇生长形成的自然堤向湖区延伸^[3]。在老子山附近, 河道被大淤滩分成左右两汊, 左汊与上游河段平顺衔接, 右汊与上游河道成90°交角, 为通航汊道(图1)。

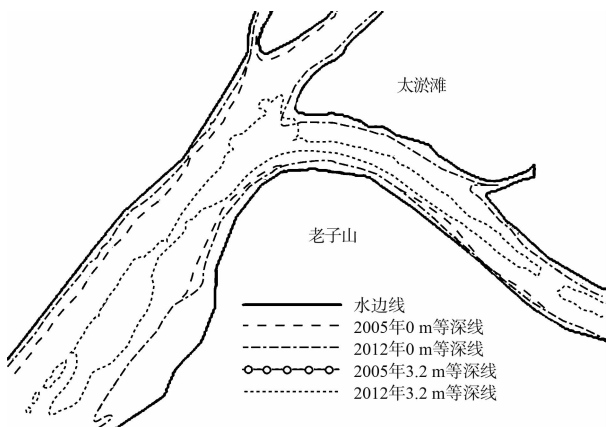


图1 老子山河段河势

大淤滩形成于20世纪40年代, 属于淮河入洪泽湖河口三角洲的一部分。1938年黄河南下夺淮, 大量泥沙经淮河输入洪泽湖, 湖心淤滩开始形成并迅速扩大, 1947年黄河北归后, 淮河泥沙顿减, 入湖三角洲主体已经形成。20世纪50年代以来, 受洪泽湖出口三河闸水流的影响, 大淤滩在平面上逐渐东移, 这使得大淤滩平面上呈明显右偏形。由于工程河段两岸建有防洪大堤, 近几十年来, 工程河段河势格局基本稳定。

近年来, 淮河上游来沙量减少, 同时受航道疏浚、人工采砂等因素的影响, 工程河段河床冲

淤变化较大。从图1和2可看出, 工程河段河床变化主要表现为冲槽淤滩。2005年河道河床宽浅, 深泓高程沿程起伏不大, 高程变化在2.5 m以内, 且全段均未达到3.2 m航深。与2005年相比, 工程河段2012年深泓线高程起伏较大(图2), 且沿程呈锯齿状, 变化幅度达到6 m。2012年0 m等深线范围有所减小, 大淤滩滩头前沿0 m等深线后退, 其中滩头左侧后退岸线长约200 m, 滩头右侧后退岸线长约1100 m, 而滩头顶点处后退距离最长, 后退约100 m。工程河段2012年出现3.2 m深槽, 且深槽范围较大, 其中大淤滩右汊3.2 m深槽宽度基本维持在100 m左右, 而滩头前沿3.2 m深槽宽度不一, 最大达到400 m。

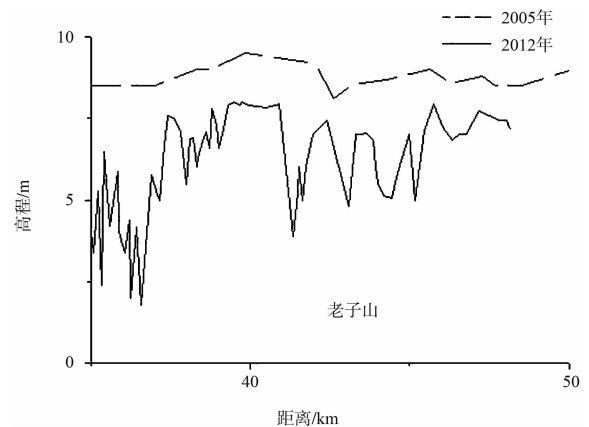


图2 老子山河段附近河道深泓高程

从深槽分布范围来看, 经过近年来航道的疏浚, 在大淤滩滩头附近水道满足Ⅲ级航道标准(60 m×3.2 m)。由于疏浚航槽在大淤滩附近发生偏转, 水流“洪水取直, 低水坐弯”, 在洪水期水流与深槽交角较大, 因而洪水期冲槽效果明显, 深槽正向左汊发展, 在大淤滩前沿深槽范围较大。大淤滩上游河段冲槽淤滩将导致水流集中, 滩头顶冲效果将更加明显, 同时由于大淤滩河床抗冲性较差, 滩头有进一步侵蚀的趋势。

由以上分析可知, 虽然大淤滩附近水道满足建设Ⅲ级航道要求, 但是由于滩头近年来有后退的趋势, 洲滩头部不稳将影响整个心滩的稳定, 从而导致分汊河段河势发生变化, 进而影响通航汊道稳定。为了预测滩头后退对航道的影响, 本文设定几种滩头侵蚀的方案, 利用平面二维水流

数学模型计算滩头侵蚀后通航河道分流比、流速变化,分析其对通航河道的影响。

3 滩头侵退效果计算分析

3.1 数学模型

1) 基本方程^[4]。

① 连续方程:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

② 动量方程:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) = -gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(E_x \frac{\partial p}{\partial x} \right) +$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(E_y \frac{\partial p}{\partial y} \right) - \frac{gp}{c^2 h^2} \sqrt{p^2 + q^2} + \Omega q + f v v_x - \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial p_a}{\partial x} \quad (2)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) = -gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(E_x \frac{\partial q}{\partial x} \right) +$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(E_y \frac{\partial q}{\partial y} \right) - \frac{gq}{c^2 h^2} \sqrt{p^2 + q^2} + \Omega p + f v v_y - \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial p_a}{\partial y} \quad (3)$$

式中: x, y 为空间坐标 (m); t 为时间 (s); ζ 为水位 (m); h 为总水深 (m); p, q 分别为 x, y 方向的单宽流量 ($\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$), 分别为 uh, vh, u, v 分别为 x, y 方向的垂线平均流速 (m/s); c 为谢才系数 ($\text{m}^{1/2}/\text{s}$), $c = \frac{1}{n} h^{1/6}$, n 为曼宁系数; g 为重力加速度 (m/s^2); v, v_x, v_y 为风速及其在 x, y 方向的分量 (m/s); Ω 为柯氏力系数 (s^{-1}); p_a 为大气压力 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$); ρ_w 为水的密度 (kg/m^3); f 为风成流流速系数; E_x, E_y 为水流涡黏系数。

2) 计算网格及其离散求解。

模型采用的是非结构化三角形网格, 计算网格共 83 285 个, 计算节点 42 501 个, 最小网格尺度 5 m。数值方法采用有限体积法。模型中采用“冻结法”定义临界水深的增减水来作动边界处理根据水深动态调整计算域的大小。

3.2 模型验证

采用 2007 年 7 月—8 月实测水位流量资料进行验证。图 3 为老子山水位站的实测和计算水位过程线对比, 从图 3 可以看出, 计算所得水位过

程与实测过程吻合良好, 计算和实测水位最大误差小于 5 cm, 满足规范要求。

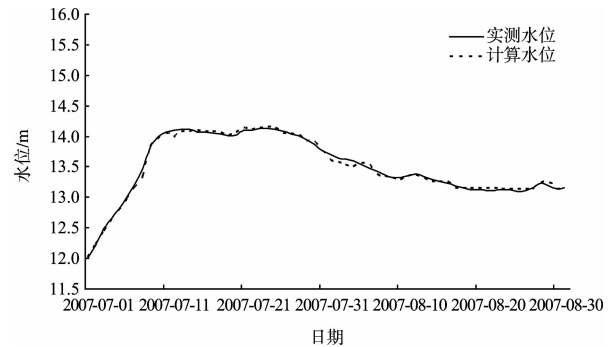


图3 老子山实测和计算水位过程对比

3.3 计算方案

本文主要考虑 11, 12 m 高程等高线侵退, 滩头侵蚀按滩头各等高线脊线向后侵退。分别假设大淤滩滩头 11, 12 m 等高线向后侵蚀 50, 100 m, 计算方案参数见表 1, 各方案见图 4 (图中只标出了特征等高线)。

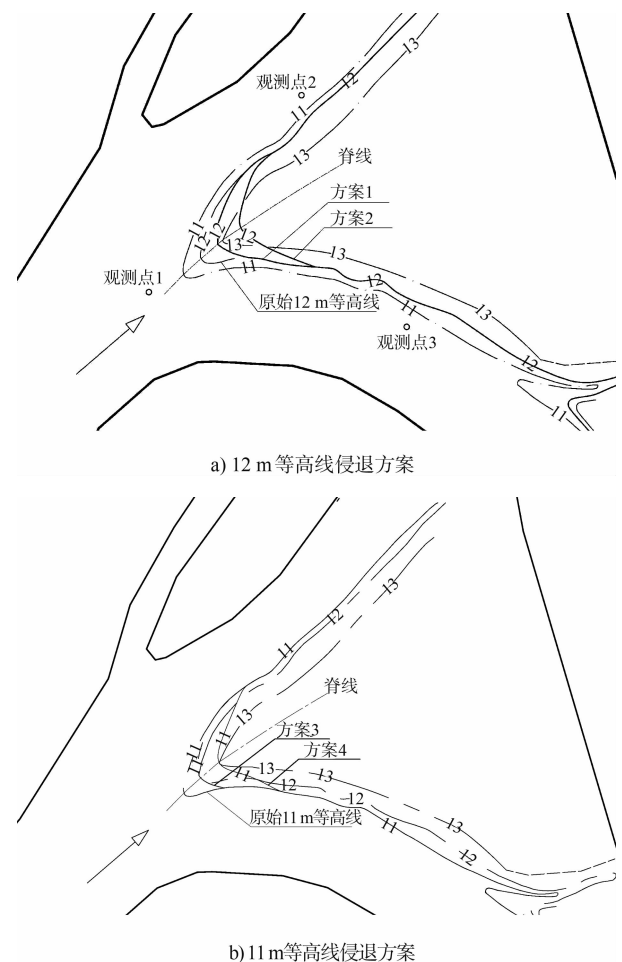


图4 各方案平面图

表1 计算方案参数

方案	等高线侵退距离/m	
	12 m 等高线	11 m 等高线
1	50	0
2	100	0
3	50	50
4	100	100

3.4 分流比变化

选用中水水流条件作为各方案计算条件, 分别计算各方案两汉分流比, 其结果见表2。

表2 各方案右汉分流比变化 %

方案	左汉分流比	右汉分流比	工程后右汉分流比变化
无工程	45.14	54.86	
方案1	45.19	54.81	-0.04
方案2	45.55	54.45	-0.41
方案3	45.20	54.8	-0.06
方案4	45.84	54.16	-0.70

从表中可看出:

1) 各高程下滩头向后侵蚀都将导致右汉分流比减小。说明滩头的存在对稳定右汉分流比有重要的意义。

2) 同一高程下, 滩头向后侵蚀距离越长, 导致右汉分流比减小越大。对比方案1与方案2, 在12 m等高线分别侵退50 m与100 m, 方案2右汉分流比明显减小。

3) 滩头侵蚀高程越低, 对分流比的影响越大。对比方案2与方案4, 12 m等高线侵退100 m右汉分流比减小0.41%, 而11 m等高线侵退100 m导致分流比减小0.7%。

3.5 流速变化

表3统计了各方案条件下3个观测点(图4a))流速变化情况。从表中可看出, 滩头后退将导致滩头前沿流速增大, 右汉流速减小, 左汉流速增大。滩头侵蚀距离越长, 变化越明显, 且侵蚀等高线越低, 流速变化也越明显。

表3 各方案观测点流速变化 %

方案	点1	点2	点3
1	0.75	0.16	-0.04
2	2.80	1.18	-0.40
3	1.53	0.19	-0.20
4	5.10	1.76	-1.14

大淤滩两汉分流角较大, 且右汉与上游主流成 90° 交角。右汉能维持较大的分流比有两个原因: 一是右汉深槽较左汉深, 河道深泓偏向右侧; 二是大淤滩滩头对水流具有导流作用。右汉主流与上游主流交角较大, 大淤滩滩头的存在增加了水流进入右汉的过渡长度, 使得进入右汉水流弯曲半径增大, 因而水流在滩头附近能够平顺分流(图5)。如果滩头向后侵退, 一方面, 根据计算结果, 滩头上游流速将增大, 而滩头附近河床抗冲性较差, 因而有可能加剧滩头的冲刷; 另一方面, 分流点后退, 水流进入右汉弯曲半径将减小, 从而导致水流进入右汉更加困难。右汉流速减小将导致右汉河槽发生淤积, 同时从图4中可看出, 大淤滩滩脊线靠近滩头左侧, 若滩头持续后退, 将使得水流进入左汉更为顺畅(图6)。在分流比不断增大情况下, 滩头左侧将不断侵蚀使得左汉河道断面扩大, 如果不加以维护, 长久以后, 左汉将成为主汉, 与此相反, 右汉在分流比减小、航槽淤积的情况下, 有可能出现浅滩碍航、通航水深不足等情况。

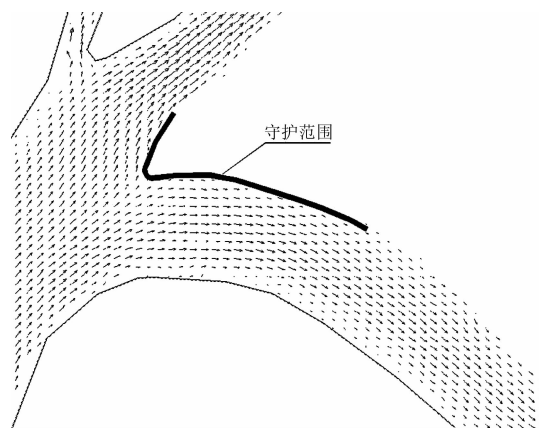


图5 原地形条件下流场

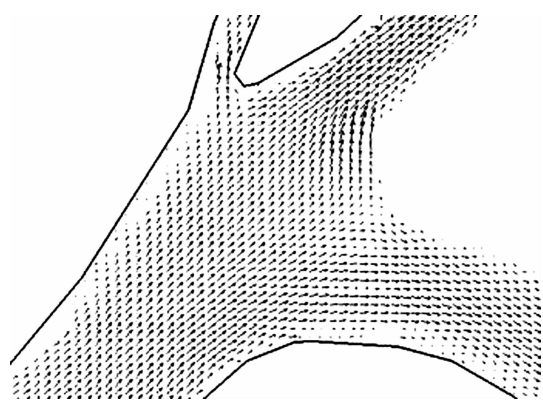


图6 方案4流场

一旦滩头发生长距离后退，滩头导流作用消失，工程河段河势将发生变化，右汊通航条件可能持续恶化，到时要维持右汊通航将付出更大的代价，而想恢复到滩头后退前的河势将十分困难。因而需要抓住现在有利时机，对滩头进行守护。

河道分汊口水流发生偏转区域，水流与滩体存在交角，因而在与滩体垂直方向上存在速度分量，进而形成环流，对滩体产生淘蚀，因而需要对水流进入各汊道的过渡段进行重点守护。由图5可看出，大淤滩左汊在汊道口处有一长约200 m的束窄段，而在右汊水流在经过一段1100 m的过渡段后进入顺直段。对比河演分析结果，上述两段在近年来岸线后退较为明显（图1），因而需对其进行重点防护。

4 整治工程方案设计

为了稳定大淤滩河段河势，保持当前良好的航槽位置，需对大淤滩滩头及右汊边滩进行守护。护滩结构应顺应河岸形态，整体结构稳定可靠，对水流的干扰较小。目前国内应用于护滩工程的结构形式主要有系混凝土块软体排、沙肋软体排、混凝土铰链块软体排和混凝土连锁块软体排等，其中软体排具有足够的强度与柔软性、水力特性较好、使用寿命长、施工便利等优点。结合工程河段的主要设计条件和施工能力，大淤滩守护工程考虑采用D型系混凝土块软体排进行护底（滩）。考虑到滩头区域受顶冲作用最为明显，拟对该区域软体排由枯水平平台向河心侧25 m范围排

体上满抛石块进行压载。根据长江航道整治多年来已实施工程经验，在设计中加强护滩边缘结构防护措施，拟采用增加抛石厚度进行处理。大淤滩守护工程平面布置见图7。

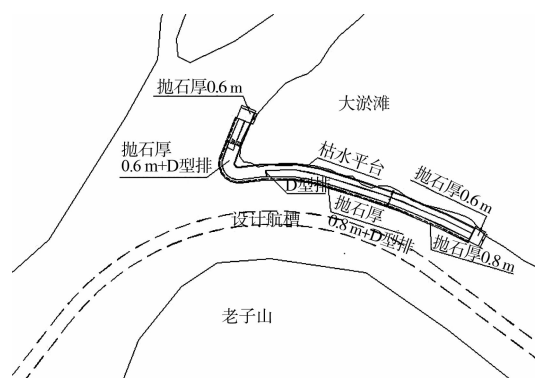


图7 大淤滩守护工程平面布置

已建护滩工程较多，如长江新淤洲鱼嘴、南京八卦洲鱼嘴、武汉天兴洲洲头守护工程等，都取得了良好的整治效果^[5]。以武汉天兴洲为例^[6]，洲头和右缘持续崩退，为维护河势稳定，对天兴洲洲头实施了守护工程，工程中采用软体排进行守护，工程实施后基本达到设计效果，滩型保持完整。本工程建设条件与天兴洲护洲工程类似，从天兴洲的整治效果来看，利用软体排可以达到守护大淤滩滩头的目的。

5 结论

- 1) 地质资料及河演分析表明，受水流冲刷侵蚀及人工采砂影响，大淤滩滩头有逐年后退的趋势。
- 2) 数值计算表明，滩头后退将使得主航道（右汊）分流比和流速明显减小，可能导致主航道产生淤积，影响通航条件，因而需对滩头及其右侧边滩进行守护。分析表明，目前是进行滩头守护的较好时机。
- 3) 整治实践表明，采用D型系混凝土块软体排+排上抛石压载进行护滩，可以达到稳定滩头的效果。

本文通过假定滩头后退，分析滩头后退对通航条件的影响，在河演分析的基础上进一步说明滩头守护的必要性，本方法可为工程决策提供参考。

（下转第118页）