



长江下游深水航道疏浚量的预测与分析

邹 祝, 陈源华, 李 昕, 李 冬

(长江航道规划设计研究院, 湖北 武汉 430011)

摘要: 长江中下游航道整治与维护的疏浚量到底有多少, 对长江下游深水航道建设维护疏浚的疏浚量和船舶需求分析至关重要, 涉及到长江下游深水航道维护疏浚船舶的选型决策。总结长江航道维护船舶的相关前期研究工作, 探讨在长江下游航道维护疏浚的主要影响要素, 提出复杂工况条件下航道维护疏浚量的测算方法。

关键词: 维护性疏浚量; 测算方法; 复杂工况; 扩大系数

中图分类号: U 616.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)08-0136-05

Prediction and analysis of amount of maintenance dredging in the Yangtze River downstream deep channel

ZOU Zu, CHEN Yuan-hua, LI Xin, LI Dong

(Changjiang Waterway Institute of Planning, Design and Research, Wuhan 430011, China)

Abstract: The amount of the dredging and maintenance in the Yangtze River downstream deep channel is essential for the demand analysis of the dredging volume and vessel demand for the maintenance dredging of the Yangtze River deepwater channel involving the decision-making for the types of dredging vessels. This paper summarizes the pre-research work for the maintenance dredging of the Yangtze River channel, discusses the main influential factors and proposes the calculation method for the channel dredging volume under complex working conditions.

Key words: amount of maintenance dredging; calculation method; complex working condition; expansion coefficient

长江黄金水道横跨我国西南、华中、华东三大经济带, 集“黄金水道”和“黄金海岸”于一身, 在我国实施西部开发、中部崛起和东部率先的区域发展战略中地位十分重要。长江南京以下航道条件优越, 但受南京长江大桥净空尺度限制, 一般大型海轮集中在南京以下航段。所以南京以下深水航道是长江黄金水道中含氧量最高的河段之一, 在我国水运体系中起着极其重要的作用, 也是沟通中西部经济腹地及扩大东部地区对外开放的桥梁和纽带, 在促进区域经济快速发展中扮演重要的角色。在我国经济社会保持持续、快速增长, 而资源和环境等约束日益严重的情

况下, 加快建设长江黄金水道、建设长江下游深水航道是当前充分发挥长江黄金水道作用的一个关键环节和重要任务。

随着12.5 m深水航道的不断建设, 长江干线南京—浏河口河段的船舶密度以及船舶等级都将进一步提升, 对航道维护管理也提出了更高的要求。南京至浏河口段航道自然条件较好, 但也有部分浅水航段的个别年份难以满足航道维护尺度要求, 仅靠航道整治工程难以持续稳定地提高航道水深, 还必须辅助以疏浚等手段, 才能达到12.5 m深水航道上延至南京的目标。但长江下游12.5 m深水航道的整治与维护的疏浚量到底有多少, 一直

收稿日期: 2013-01-08

作者简介: 邹祝(1970—), 男, 高级工程师, 从事航道科研与设计工作。

是业界比较关注和探索的课题。对长江下游深水航道建设维护疏浚量的分析涉及到长江航道维护与建设, 是前期研究工作的基础之一。因此, 本文总结长江航道维护船舶的相关前期研究工作, 探讨在长江中下游航道维护疏浚的主要影响要素, 提出复杂工况条件下航道维护疏浚量的测算方法供同行思索。

1 一般航道维护整治疏浚量计算

1.1 整治疏浚量的计算

在疏浚作业中, 为了维持挖槽两侧的的稳定, 挖槽横断面都设计成倒梯形, 倒梯形的底边为要求浚挖的宽度, 两边按一定的坡度向上倾斜。设计挖槽断面时, 首先设计好设计挖深、设计挖宽、挖槽中心线、挖槽坡度, 然后根据不同航道要求确定出超宽、超深, 便可以进行挖槽土方量计算了。挖槽土方量的计算有断面法、平均水深法、格或网法等, 或几种方法混合使用。其中断面法为较简单的一种计算方法^[1]。

计算挖槽区域内的土方量的横断面见图1。

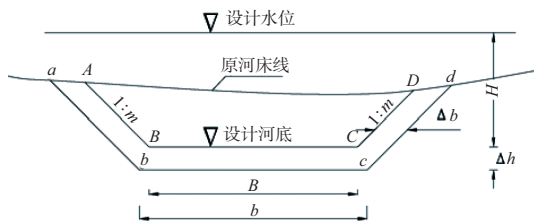


图1 挖槽土方量的横断面

图1中: $ABCD$ 为设计断面, $abcd$ 为工程量计算断面; H 为挖槽设计水深; B 为一挖槽设计底宽; M 为一挖槽边坡系数; $\Delta h, \Delta b$ 分别为工程量计算超深和超宽。

断面法采用分段计算土方量, 挖槽的起点、转折点、终点和不同类别土质的平面分界处均要布设计算断面, 相邻两断面面积平均后乘以断面间距, 即得该段计算挖槽土石方量, 其计算公式为:

$$V = \frac{A_0 + A_1}{2} L_1 + \frac{A_1 + A_2}{2} L_2 + \dots + \frac{A_{n-1} + A_n}{2} L_n \quad (1)$$

式中: V 为挖槽设计工程量 (m^3); A_0, A_1, \dots, A_n 分别为各设计断面开挖面积 (m^2); L_1, L_2, \dots, L_n

分别为 A_0 与 A_1, A_1 与 A_2, \dots, A_{n-1} 与 A_n 等各计算断面间的间距 (m)。

1.2 航道疏浚回淤量的预测方法

港口、航道的泥沙回淤问题历来是众多港口、航道建设中的一项不可避免而又必须认真对待并加以研究解决的重要课题。因此, 以不同方法和途径开展对港口、航道泥沙方面回淤的研究已有不少, 并就泥沙回淤强度的计算方法已进行了较为深入的研究, 归纳起来, 主要有以下几种方法: 现场实测资料量计、经验关系式估算、物理模型、数学模型(数值、解析计算和随机统计)。第1种方法精度较高, 但需要进行大量的现场测量和室内繁冗的量计工作, 耗费较多的人力物力。目前航道疏浚回淤量的预测大多数采用第2种方法, 通过经验关系公式来估算。主要有:

1) 在连云港港口扩建工程港内淤积问题研究中, 曾提出了计算港内淤积强度的半经验半理论公式^[2-3]:

$$P = \frac{K_m}{\rho_0 g} \alpha \omega \bar{S} \sin \theta \left[1 - \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^3 \right] \exp \left[\frac{1}{2} \left(\frac{A}{A_0} \right)^{1/3} \right] \quad (2)$$

式中: P 为港池年平均淤积强度 (m); ω 为细颗粒泥沙的絮凝沉降速度 (m/s); K 为经验常数, 一般取0.04; m 为1 a的总秒数; ρ_0 为淤积物的干容重; $\alpha \sin \theta$ 表示与入港水流形态等因素有关的某一数值; \bar{S} 为港口外浅滩水体年平均含沙量, 亦即进港水体年平均含沙量 (kg/m^3); H_1 为港口外浅滩水深 (m); H_2 为港内开挖水深 (m); A_0 为港内总水域面积; A 为港内浅滩水域面积。

并且根据该公式推算出了进港航道回淤量计算的经验公式:

$$P = \frac{K_m}{\rho_0 g} \alpha \omega \bar{S} \sin \theta \left[1 - \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^3 \right] \quad (3)$$

2) 在处于冲淤平衡状态下的淤泥质浅滩中的航道疏浚回淤量可用刘家驹公式^[4]进行计算:

$$P_1 = \frac{\omega S_1 t}{\rho_0 g} \left\{ K_1 \left[1 - \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^3 \right] \sin \theta + K_2 \left[1 - \frac{d_1}{2d_2} \left(1 + \frac{d_1}{d_2} \right) \right] \cos \theta \right\} \quad (4)$$

式中: P_1 为航道底面的淤积强度 (m); ω 为细颗粒泥沙的絮凝沉降速度 (m/s); S_1 为相应于平均水深 d_1 的浅滩水体的平均含沙量 (kg/m^3); t 为淤积

历时; ρ_0 为淤积物的干密度; K_1, K_2 分别为横流和顺流淤积系数, 在缺少现场资料的情况下, 可取 K_1 为0.35, K_2 为0.13; d_1, d_2 分别代表浅滩平均水深和航道开挖后的水深(m); θ 为航道走向和主流流向之间的夹角。

3) 目前常用的计算航道疏浚回淤量的公式为JTJ 319-1999《疏浚工程技术规范》中的经验公式^[5-6]。

$$P = \frac{\alpha \omega S_i}{\rho_0 g} \left[1 - \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right] \frac{1}{\cos(n\theta)} \quad (5)$$

式中: α 为悬沙的沉降概率, 泥沙粒径小于0.03 mm时, 取 $\alpha=0.67$; ω 为泥沙的絮凝沉速(m/s); S_i 为含盐度(‰), 当 $S_i \leq 5‰$ 时, 按5‰计算; ρ_0 为淤积物的干密度; v_1, v_2 为航道开挖前、后的平均流速(m/s); n 为转向系数, 其同航槽与流向夹角有关; 上式中泥沙的絮凝沉速 ω 可按下式计算:

$$\omega = \omega_0 F D \quad (6)$$

$$F = 0.001 77 d_{50}^{-1.82} \quad (7)$$

$$D = \left(1 + 0.12 \lg \frac{0.03}{d_{50}} \right) \exp[(1.1 \times 10^5 d_{50}^2 - 99) S_i] \quad (8)$$

式中: ω_0 为单颗粒泥沙的沉速; F 为絮凝因子; D 为絮凝程度减小的衰减因子, $FD \geq 1$; S_i 为含盐度(‰), 当 $S_i \leq 5‰$ 时, 按5‰计算; d_{50} 为泥沙中值粒径(mm), 当 $d_{50} > 0.030 7$ mm时, 则不考虑絮凝作用, $\omega = \omega_0$ 。

2 深水航道维护疏浚现状

长江南京以下的深水航道是长江黄金水道的精华部分, 也是我国内河水运货运量最大、运输效率最好的航段, 2005年10月, 为适应江苏沿江经济快速发展对深水航道的迫切要求, 长江航道局在未实施整治的情况下, 充分利用当时南京以下自然条件, 将航道维护水深提高到10.5 m, 航道尺度提高为10.5 m × 500 m × 1050 m(江阴以上为航行基准面, 江阴以下为理论最低潮面), 一直维护至今。南京至浏河口段航道自然条件比较优良, 分布有13个水道, 大部分水道均能满足10.5 m维护水深的要求, 其中也有部分浅航段个别年份难以满足航道维护尺度要求, 重点浅水道自上而下

为仪征、和畅洲(含焦山和丹徒直)、口岸直、福姜沙、通州沙、白茆沙6个水道。当航道尺度难以满足要求时, 需借助一定的维护手段, 主要采用疏浚、调标的常规维护手段。在这其中福姜沙水道维护力度最大, 采用的维护手段主要为疏浚, 每年需投入的大量的人力、物力, 而且随着航道维护尺度的提高, 维护疏浚量也大幅增长, 在福姜沙水道开通10.5 m航道后, 较维护水深为10 m时航道疏浚量增加约330%。

3 长江下游深水航道的河床特性与作业特点

3.1 深水航道的河床土质特性

长江下游为冲积性平原和现代沉积的三角洲平原, 河流沉积与滨海沉积盖层厚度大。土质具有二元相结构特征, 上层为河漫滩相细粒层, 多为细颗粒亚黏土、亚砂土, 厚度一般为数米至20 m左右, 下层为河床相沉积层, 一般为粗颗粒粉砂, 厚度为数米至40 m左右, 除个别山矶临江外, 其余河床、洲滩及河岸为现代沉积物, 结构松散, 抗冲性较差。

3.2 长江下游深水航道的疏浚作业特点

1) 由于作业水域的来水、来沙时时变化, 航道滩槽的不稳定性, 导致每年维护区域内航道发生淤积的地点、时间以及淤积量具有不确定性, 不可能用一种既定的模式指挥施工。而长江作为国内水运的最大动脉, 不容许发生长时间梗阻。这对疏浚时机的把握要求准确, 对疏浚装备的调度指挥要求及时通畅。

2) 下游深水航道主要碍航水道有: 仪征水道、和畅洲水道、口岸直水道、福姜沙水道、通州沙水道、白茆沙水道等6处。受上游来水来沙、下游潮汐作用和人类活动等因素的影响, 该河段仍处于调整变化之中, 滩槽变化大, 深泓不稳定, 年际间摆幅较大, 航道很不稳定。而且长江航道是个系统, 龙头动龙尾随之摆动, 随着航道整治工程的逐渐展开, 以及三峡工程和南水北调工程的实施, 使得相关河段的入口条件和来水来沙产生变化, 打破了传统的水沙平衡, 更使下游水道的演变产生变数, 深水航道维护更加困难,

需要疏浚来解决碍航的问题。

航道维护疏浚的点多线长面散, 虽然疏浚船舶数量绝对值较大但相对值较少, 枯水期疏浚船舶分散值班、守槽保槽, 维持浅险水道的畅通和维护性疏浚, 由于目前浅险水道众多, 现有的航道维护疏浚船舶总有捉襟见肘的感觉。

3) 长江江苏段380 km, 通航密度居中国首位, 2007年进出港船舶就达80万艘次, 日平均流量2 700多艘次。同时, 长江江苏段有危险货物码头170多座, 每天有300多艘危险品船舶航行及作业, 超过30万t危险货物通过, 作业区域是繁忙的航运通航水域, 这些川流不息的船舶干扰施工的正常进行。换言之, 要求疏浚施工对通航的影响要降到最低。要求疏浚强度大, 从航道疏浚船舶的特点, 需使用大能量、高效率、自动化程度高的大型自航式挖泥船以保证施工的快速高效、减少施工与通航的矛盾、提高应急疏浚能力, 同时高效省时的施工也降低施工成本, 提高综合效益。

4) 下游深水航道抗自然灾害的能力较弱, 南京以下河段, 特别是江阴以下的潮流河段, 除受上游径流影响外, 还受潮汐潮流的影响, 该段潮汐类型为非正规半日潮, 通常一日内两涨两落, 日潮不等现象较明显。长江口地区台风引发的风暴潮, 具有来势猛、速度快、强度大、破坏力强; 给疏浚作业带来了难度。再者长江下游的大雾也给施工带来了难度, 如2010年的长江下游普降大雾, 长江南京段从晨间4:00实行交通管制, 2 000余艘船舶滞留辖区, 使施工船舶根本无法施工。

5) 疏浚方式离不开大量的挖泥、抛填的船机作业, 要对疏浚区域和贮泥坑设置监测点进行水质监测, 及时把握疏浚对水质影响的程度。为了弥补深水航道疏浚工程可能给生态带来的不利影响, 施工单位有可能要有水生态系统的放生和修复工程。对深水航道疏浚工程的疏浚弃土合理利用, 实施泥土吹泥上滩和促淤造陆。采用大型高效施工船舶, 结合疏浚弃土综合利用, 不仅能大大提高疏浚效率, 降低总体疏浚成本, 更重要的是缩短施工时间, 减少对水下环境的扰动, 有利于环境保护, 减少疏浚弃土对水域环境的影响,

有效实现疏浚土资源的利用。

6) 自然规律是随着航道增深, 回淤量也越大, 疏浚强度要求更高。给建设、施工和监理工作带来相当难度。从长江口航道整治工程看随着水深的提高, 回淤量和每年的维护性疏浚大幅增加。如长江口航道整治工程一期工程水深由7 m提高至8.5 m, 二期工程水深由8.5 m提升至10.0 m, 三期工程水深由10.0 m提升至12.5 m, 每期工程的设计断面疏浚工程量和基建期回淤量都比前期有所增长; 最近完工的三期工程每年维护性疏浚较二期增加40%。如何进行疏浚维护船舶的合理调动, 怎样做好年维护施工计划和应急预案, 如何控制质量控制、进度控制, 怎样进行合同管理、安全生产管理和工作协调提出了新的课题。

4 长江下游深水航道的维护性疏浚量测算方法

目前长江口深水航道建设三期工程已于2010年3月顺利通过交工验收, 12.5 m深水航道全线贯通, 并上延至太仓荡茜闸。为充分发挥长江口深水航道治理工程的综合效益, 深化长江三角洲及长江流域地区改革开放, 实现与长江口深水航道上延顺利对接, 相关部门拟对南京一浏河口河段进行航道整治工程以达到12.5 m深水航道整治工程上延至南京。

根据多年资料分析, 下游深水航道主要碍航水道有: 仪征水道、和畅洲水道、口岸直水道、福姜沙水道、通州沙水道、白茆沙水道等6处。其中福姜沙水道、通州沙水道、白茆沙水道碍航程度最为严重。近年, 由于受上游来水来沙、下游潮汐作用和人类活动等因素的影响, 该河段仍处于调整变化之中, 尤其是6个重点碍航水道滩槽变化大, 深泓不稳定, 年际间摆幅较大, 航道很不稳定。目前, 10.5 m深水航道每年还需通过疏浚来维护, 12.5 m深水航道开通后, 疏浚量将进一步扩大, 根据初步研究, 如果仅沿目前10.5 m航路开通12.5 m深水航道, 整治工程的疏浚量就达到2 100万 m^3 , 再加上南京以下河段受潮汐影响较大, 水流运动复杂, 回淤量也比较大, 根据数学模型的初步计算, 12.5 m深水航道开通后, 每年的回淤量可达339万 m^3 , 碰上不利水文年, 如1998年

大洪水,回淤量可达516.6万 m^3 。而且12.5 m上延到南京的几段分叉河道的主航道选汉研究还在进行中,其维护疏浚量还将是未定量,也许将是成倍增长。

因此合理测算长江下游航道的维护疏浚量,对如何合理调配疏浚船舶,如何制定年度航道维护计划是很重要的。一般对疏浚量的测算是挖槽设计工程量加上测算的航道疏浚回淤量:

$$S=V+P \quad (9)$$

式中: V 为挖槽设计工程量; P 为航道疏浚回淤量。

但是,如果按照这个公式计算的方量安排施工计划,往往不能满足航道维护的需要,主要由于南京以下航道船舶通航密度大,施工与通航的矛盾突出。仅以通洲沙、白茆沙水道为例,船舶由2001年的42 788艘次增长到2005年的82 388艘次,2009年达到了11.88万艘次,增速分别达到了17.8%和10%;船舶平均载质量由2001年的6 400 t/艘次增长至2009年的7 100 t/艘次,船舶大型化趋势明显。预计开通12.5 m深水航道后,通航船舶的数量会进一步增长,且通航船舶的吨位也会进一步上升。另外,长江下游还受潮汐潮流的影响,长江口地区台风引发的风暴潮往往给疏浚作业带来了难度,再者长江下游的大雾也会给施工带来困难,疏浚施工的效率难以发挥。对浅险水道在不利情况下还要派挖泥船守槽,尽管每天挖的方量不大,但工程船舶被限制在浅险水道,更提不上满负荷施工了。

由此可以看到,长江下游航道疏浚存在着疏浚量大、通航繁忙的特点,施工与碍航的矛盾非常突出。同时长江下游深水航道还存在着一次性维护疏浚量大、点多线长、淤积碍航的不确定性等特点,这就需要在考虑疏浚时,必须就维护疏浚强度、多滩多点以及施工时间等多方面因素进行综合分析,以便在维护航道通畅时,也不会对通航船舶产生过多影响,达到高效、便捷。因此,在考虑长江下游航道疏浚量时,提出了不均匀系数 α ,即疏浚量在常规工程量的基础上乘以不均匀系数 α 得到,不均匀系数 α 中既考虑了淤积

过程、淤积分布的不均衡,又要考虑了与通航的关系,同时还要考虑了特殊水文年应急疏浚的需要。这样测算出来的预测疏浚量称它为“换算疏浚量”或“名义疏浚量”。

$$SH=\alpha(V+P) \quad (10)$$

式中: α 为不均匀系数; V 为挖槽设计工程量; P 为航道疏浚回淤量。

5 结语

1) 长江下游深水航道通航水深加深到12.5 m,除采用航道整治工程稳定河势外,必须通过疏浚保持日常航道畅通。

2) 维护性疏浚量的预测是航道疏浚的难题,对其认识有个过程,仅凭理论预测是不足的。必须通过维护疏浚船舶的疏浚实践和长期跟踪,分析航槽的流态和泥沙运动的规律,把握维护疏浚最佳时机。

3) 本文结合长江南京以下疏浚的实际情况,提出了不均匀系数与换算疏浚量,并分析了不均匀系数包含的内容,为研究长江南京以下深水航道维护疏浚量的预测奠定了基础。

4) 由于不均匀系数是首次提出,其具体的测算方法,还需进一步的研究,以便为长江深水航道的效益长久发挥提供保障,同时为国际疏浚技术的发展和科技创新作出贡献。

参考文献:

- [1] 林海聪. 疏浚工程中各种土质土石方工程量计算方法的分析[J]. 华南航道, 2008(2): 1-4.
- [2] 孙献清, 沈莹. 连云港现港区淤积分析[G]//交通部工程管理局, 连云港建港指挥部. 连云港回淤研究论文集. 南京: 河海大学出版社, 1990.
- [3] 李安中, 李国臣, 刘光臣. 近海开敞水域挖槽回淤试验研究[J]. 河海大学学报, 1986(3): 123-135.
- [4] 刘家驹. 连云港外航道的回淤计算及预报[J]. 水利水运科学研究, 1980(4): 34-45.
- [5] JTJ 319—1999 疏浚工程技术规范[S].
- [6] 交通部上海航道局. 疏浚工程手册[R]. 上海: 上海航道局, 1994.

(本文编辑 武亚庆)