



长江干线卵石(砂卵石)河段航道养护 疏浚时机计算方法研究

谷祖鹏^{1,2}

(1. 长江航道规划设计研究院, 湖北 武汉 430040; 2. 国家内河航道整治工程技术研究中心, 湖北 武汉 430040)

摘要: 长江干线航道浅滩众多, 航道养护疏浚工作贯穿全年且线长点多, 难度极大。针对长江干线航道养护疏浚时机难以把握的问题, 开展了长江干线卵石(砂卵石)河段航道养护疏浚时机计算方法研究。采用理论分析、经验总结、调查研究等方法, 提出了长江干线航道疏浚时机的定义, 阐明了长江干线卵石(砂卵石)河段的养护疏浚时机的主要影响因素, 明确了航道疏浚养护“精—通—畅”的疏浚时机确定原则, 并基于河床冲淤变化规律、养护疏浚量、汛后水位退落过程、疏浚船舶的施工效率等, 建立了长江干线卵石(砂卵石)河段航道养护理论最佳疏浚时机计算公式。研究成果为长江干线航道疏浚时机的确定提供了计算方法, 可为航道养护疏浚设计提供技术支持。

关键词: 长江干线; 航道养护; 疏浚时机; 施工效率

中图分类号: U616+.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2026)03-0186-05

Calculation method for navigation channel maintenance dredging timing in pebble (sand-pebble) river reaches along main channel of the Yangtze River

GU Zupeng^{1,2}

(1. Changjiang Waterway Institute of Planning and Design, Wuhan 430040, China;

2. National Engineering Research Center for Inland Waterway Regulation, Wuhan 430040, China)

Abstract: The main channel of the Yangtze River is characterized by numerous shoals, making the maintenance and dredging of the waterway a year-round task with numerous locations and points, posing great difficulties. To address the challenge of determining the appropriate timing for maintenance and dredging of the main channel of the Yangtze River, a study is conducted on the calculation method for the timing of maintenance and dredging in pebble (sand-pebble) river reaches of the main channel of the Yangtze River. By adopting methods such as theoretical analysis, experience summarization and field investigation, this study defines the dredging timing of the main channel of the Yangtze River, clarifies the key influencing factors of maintenance dredging timing for the pebble (sand-pebble) reaches, and establishes the principle of “precision-smoothness-unimpededness” for determining the dredging timing of channel maintenance. Furthermore, based on the laws of riverbed scouring and deposition, maintenance and dredging volume, post-floodwater level recession process, and construction efficiency of dredging vessels, a calculation formula for the theoretical optimal dredging timing in pebble (sand-pebble) river reaches of the main channel of the Yangtze River is established. The research results provide a calculation method for determining the dredging timing of the main channel of the Yangtze River, and can offer technical support for the design of channel maintenance and dredging.

Keywords: the main channel of the Yangtze River; navigation channel maintenance; dredging timing; construction efficiency

收稿日期: 2025-07-01

录用日期: 2025-07-15

作者简介: 谷祖鹏(1977—), 男, 博士, 高级工程师, 从事航道治理规划和研究。

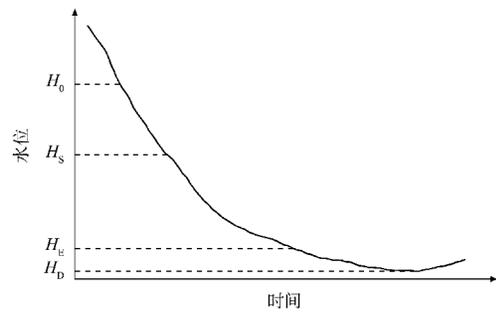
航道养护疏浚是长江干线航道养护工作的重要组成部分,是确保航道尺度的主要手段。长江干线航道浅滩众多,航道养护疏浚工作贯穿全年且线长点多^[1],养护疏浚的工作量大,人力、物力、财力投入大。由于长江干线河道上、中、下游河床条件各有不同,同时受气候变化、枢纽调度等因素影响,水沙条件年际间差异巨大^[2],河床演变规律复杂,年内年际间的冲淤调整幅度差异性较大^[3-4],在航道养护疏浚工作中,仍存在养护疏浚时机不易把握的问题,导致养护疏浚工作难度较大。

近年来,随着航道养护疏浚工作的不断推进^[5-10],相关研究人员已注意到疏浚时机对航道养护疏浚工作的重要性,并对疏浚时机进行了探索研究^[11-14],但相关研究成果均未明确疏浚时机的含义,研究内容或针对具体水道、或影响因素考虑不全,缺少系统性分析和疏浚时机的计算方法研究。实际上,航道养护疏浚时机应含有一个明确的内涵,且受汛后水位退落过程、河床演变、疏浚部位地质条件、船舶施工效率等多方面复杂因素综合影响,系统性、理论性的疏浚时机确定方法仍有待建立,疏浚时机的选择仍较为困难。

为了科学合理地确定航道养护疏浚时机,有效指导长江干线航道管理与养护,本文明确了航道养护疏浚时机的主要影响因素,提出了长江干线荆州以上航道养护疏浚时机的理论计算公式。

1 疏浚时机的定义

依据 JTS/T 320—2021《航道养护技术规范》、《航道养护管理规定》等法律法规及技术规范,以及长江航道局印发的《长江航道养护管理工作规定》等技术要求,本文研究的主要目标是通过航道养护疏浚确保本届枯水期航道条件。经分析、总结长江航道局多年长江干线航道养护疏浚实践及经验,所谓养护疏浚时机,是以当届枯水期最低水位(疏浚设计水位)以上时保证年度最小航道尺度为标准,合理介入航道养护疏浚的理论水位区间或时间段。以理论水位解释疏浚时机的示意图见图1。



注: H_0 为当前水位; H_S 为最晚开工水位; H_E 为完工水位; H_D 为疏浚设计水位; $H_E - H_D$ 为疏浚区最高点的高程与疏浚设计水位对应航道尺度的河床高程的差值; H_0 和 H_S 之间为疏浚时机, H_S 为理论最佳疏浚时机或最晚疏浚时机。

图1 汛后退水过程中的疏浚时机示意图(理论水位)
Fig. 1 Schematic diagram of dredging timing during post-flood recession process (theoretical water level)

2 疏浚时机的主要影响因素

2.1 河床冲淤变化规律

河床冲淤变化规律决定了航道疏浚时机的选择,而不同河道自然禀赋决定了河道自身的河床冲淤变化规律。对于长江干线来说,普遍的年内河床冲淤变化规律为洪淤枯冲,同时也不乏洪冲枯淤、微淤微冲等河床冲淤变化规律的水道,如长江中游芦家河水道一般认为是典型的洪冲枯淤水道,且芦家河水道在枯水期特定流量下淤积异常严重,枝江水道一般认为是典型的微淤微冲水道。

对于洪淤枯冲型的水道,其碍航主要原因为局部水动力不足而导致部分淤积体难以完全冲刷,应充分利用汛后退水过程中水动力仍较大时对河床自然冲刷的积极作用,进一步冲刷碍航淤积体,尽量减少实际疏浚量,而冲刷至下游的原碍航淤积物将可能冲至深槽等部位,基本不影响下游航道条件或疏浚量。因此,宜选择在河床冲淤变化不大以后实施疏浚。

对于洪冲枯淤型水道,如疏浚时机介入过早,疏浚量可能极小,枯水期原疏浚区可能会大幅回淤,导致疏浚效果不理想,甚至出现做无用功的可能;如介入较晚,有效疏浚时间较短,如遇水位突降,在无法提前完成疏浚施工的情况下,航道尺度将难以保证。因此,宜选择在河床淤积充分发育之后实施疏浚,同时,应保证在水位降到

设计水位之前能够完成疏浚工作。

对于微淤微冲型水道，其汛后河床地形总体变化不大，除应考虑中高水位期施工安全风险、船机配布等因素外，疏浚时机可选择在汛后的任意时间点。

2.2 疏浚量

河道内不同来水来沙条件和河床冲淤变化规律决定了航道疏浚量，而疏浚量又决定了在同等施工条件下疏浚时机。对于受季节性来水条件影响较大的长江干线卵石(砂卵石)河段，中洪水位大流量下河床卵石(砂卵石)的运动和中枯水位下的滚动落淤是影响航道养护疏浚量的重要因素。因此，针对不同特性的重点养护水道，应在充分认识其河床冲淤变化规律的基础上，重点关注汛期来水条件，及时掌握汛后地形变化，对汛后疏浚量应有基本的预判。

2.3 水位退落过程

一般而言，水位涨落变化幅度要明显高于同期河床地形变化幅度。水位退落过程是影响长江干线航道养护疏浚时机的重要因素之一。长江干线的主汛期为每年的6—8月，汛后长江干线卵石(砂卵石)河段的河床冲淤幅度一般不大，随着汛后水位退落，航道水深、航宽等尺度条件将逐渐减小，当水位退落至一定条件时，航道尺度将难以达到计划尺度要求。为保证航道尺度，应根据重点水道水位退落过程的主要影响因素，对汛后中长期水情有合理的判断，确定疏浚设计水位，确保在预见期水位条件出现前，完成航道养护疏浚工作。

2.4 疏浚施工效率

疏浚施工效率决定了同一水道在相同疏浚量、水位退落过程情况下所需的实际时间，是影响航道养护疏浚时机的主要因素之一。针对不同的碍航淤积体组成以及坝下持续冲刷下泄形成的河床地质条件，所选用的疏浚船舶也应有所不同。对于卵石(砂卵石)为主的碍航淤积体和河床地质条件，多采用抓斗式疏浚船，其自身工作能力主要受船舶的定位、展布、斗容大小、小时工作量等

影响。同时，如果碍航淤积体的范围较为分散或立体形态较为平缓，则需疏浚深度通常不大，这将导致抓斗式疏浚船的冲斗率较低，施工时间延长，影响航道养护疏浚的整体效率。因此，在确定疏浚时机时，应充分考虑疏浚船舶的工作能力、疏浚部位立体形态及范围、疏浚深度、疏浚部位的河床地质条件、施工组织与施工工艺等影响。

3 疏浚时机的确定原则

基于航道养护疏浚的目的以及前文疏浚时机的定义，疏浚时机的确定原则主要分为3个层次，即一“精”、二“通”、三“畅”。

“精”：以精准养护、绿色疏浚为目标，准确预测疏浚量、系统规划施工组织、合理安排施工工艺等，是确保航道养护疏浚达到目标的首要条件。

“通”：通过科学合理的安排疏浚时机，全力以赴确保年度最小航道水深条件，“通”是必须达到的基本要求，是底线，但施工期内可能会出现短暂的航宽或弯曲半径不足的情况。

“畅”：对于条件受限河段、施工与通航矛盾较为突出的河段，在“通”的基础上，合理安排疏浚时机，尽量保证枯水期航道宽度、航道弯曲半径达到航道尺度要求，降低船舶安全通航的风险。必要时，可以适当增加疏浚量或多次实施疏浚养护，从而尽可能保证年最小航道尺度。

4 疏浚时机的计算方法

本文主要针对长江干线不受三峡回水影响的宜宾—重庆和宜昌—荆州段的卵石(砂卵石)河床条件，并在基于“精”的基础上开展航道养护理论最佳疏浚时机计算方法研究。

4.1 基于航道“通”的疏浚时机计算方法

考虑到养护疏浚的目的，最基本要保障航道“通”。疏浚时机计算步骤：1) 基于汛后长江干线水情的综合研判，确定疏浚设计水位 H_D ；2) 结合重点水道汛后河床冲淤规律、汛后第1次测图及

疏浚设计水位, 计算疏浚量 Q_d 和施工期回淤量 Q_c , 推算出疏浚完工水位 H_E ; 3) 依据计算疏浚方量和施工期回淤量, 结合疏浚船舶施工效率 V_h 及每日施工时间 t_d , 计算出疏浚所需时长 T_B ; 4) 综合多年水位退落过程, 推算水位退落速度 V_d , 并由当前水位和疏浚完工水位推算出从当前到疏浚完工所需的时长 T_A , 两个时长的差值即为从当前到最晚疏浚开工前的总时长 T_C ; 5) 结合当前水位、水位退落速度、以及当前到最晚疏浚开工前的总时长, 即可得出各水道开工最低水位 H_T 对应的最晚疏浚时机。

主要参数的计算方法如下。

1) 疏浚所需时长 T_A 。依据确定的疏浚设计水位, 结合汛后第1次测图计算疏浚量 Q_d , 由于汛后第1次测图和开工前最后一次测图相差一段时间, 因此采用参数 α 对 Q_d 进行修正。再根据各水道的实际情况和工作经验确定施工期回淤量 Q_c , 即得到实际总疏浚量 Q 。

$$Q = \alpha Q_d + Q_c \quad (1)$$

通过各水道适宜疏浚船舶的实际施工时间 t_d 和实际每小时施工效率 V_h , 结合实际总疏浚量 Q , 可得到疏浚所需时长 T_A 。

$$T_A = \frac{\alpha Q_d + Q_c}{\beta t_d V_h} \quad (2)$$

式中: β 为多艘疏浚船舶共同施工的日综合效率系数。

2) 从当前到疏浚完工所需的时长 T_B 。依据重点水道当前实际水位 H_0 , 综合多年水位退落过程, 推算水位退落速度 V_d , 再结合当前水位 H_0 和疏浚完工水位 H_E , 计算得出 T_B 。

$$T_B = \frac{H_0 - H_E}{V_d} \quad (3)$$

3) 从当前到疏浚开工所需的时长 T_C 。从当前到疏浚完工所需的时长 T_B 和疏浚所需时长 T_A 的差值, 即为从当前到疏浚开工所需的时长 T_C 。

$$T_C = T_B - T_A \quad (4)$$

4) 疏浚开工最低水位 H_T 。 H_0 、 V_d 已知的情况下, 由 T_C 结合当前水位和水位退落速度即可得到 H_T 。

$$H_T = H_0 - V_d T_C \quad (5)$$

即,

$$H_T = H_E + V_d \left(\frac{\alpha Q_d + Q_c}{\beta t_d V_h} \right) \quad (6)$$

式中: α 为 Q_d 的修正参数, 需根据各水道特点取值, 一般情况下洪淤枯冲型水道取值小于1, 微冲微淤型水道取值等于1, 洪冲枯淤型水道取值大于1; Q_c 为施工期回淤量, 根据水道特点取值, 一般可取总疏浚量的10%~30%。

4.2 基于航道“畅”的疏浚时机计算方法

在保证航道“通”的基础上, 尽可能减小对“畅”的影响, 减少禁航施工的时间或航道单控施工时间, 即减少施工造成航宽缩窄的时间和通航高峰期航道内施工时间。因此, 在保证航道“通”的最晚疏浚时间的基础上, 应适当将疏浚时机提前, 利用在中高水位进行水道疏浚施工, 解决通航与施工矛盾的问题, 缓解枯水期通航安全风险。保证航道“畅”的开工最低水位见式(7)。

$$H_T = H_E + V_d \left(\frac{\alpha Q_d + Q_c}{\beta T_d V_h} \right) + \Delta H \quad (7)$$

式中: ΔH 为水道疏浚施工影响通航的水位至开工水位的水位差。

5 结语

1) 长江干线航养护疏浚时机的主要影响因素为河床冲淤变化规律、养护疏浚量、汛后水位退落过程、疏浚船舶的施工效率等。

2) 基于航道养护疏浚的目的及疏浚时机的定义, 长江干线卵石(砂卵石)河段疏浚时机的确定原则主要分为3个层次: “精”“通”“畅”。

3) 在航道养护“精”的基础上, 分别得出了基于航道“通”和“畅”的疏浚时机计算公式。

参考文献:

- [1] 武建中, 卢志炎, 盛晨兴. 我国疏浚业的现状与展望[J]. 中国水运, 2017, 38(2): 14-16.
WU J Z, LU Z Y, SHENG C X. Present situation and prospect of dredging industry in China[J]. China water transport, 2017, 38(2): 14-16.

- [2] 李聪, 邓金运, 韩剑桥. 三峡水库蓄水后长江中游航道设计水位变化研究[J]. 水运工程, 2013(5): 95-100.
LI C, DENG J Y, HAN J Q. Variation of design navigable water level in middle reach of the Yangtze River after impoundment of Three Gorges Reservoir[J]. Port & waterway engineering, 2013(5): 95-100.
- [3] 刘林双, 李明, 郑力. 长江中下游砂卵石分汉河段演变机理[J]. 武汉大学学报(工学版), 2017, 50(3): 346-353, 394.
LIU L S, LI M, ZHENG L. Evolution mechanism of sand and gravel braided reach in middle and Lower Yangtze River [J]. Engineering journal of Wuhan University, 2017, 50(3): 346-353, 394.
- [4] 朱玲玲, 李义天, 孙昭华, 等. 三峡蓄水后枝江—江口水道演变趋势初步分析[J]. 泥沙研究, 2009(2): 8-15.
ZHU L L, LI Y T, SUN Z H, et al. Preliminary analysis on the Zhijiang—Jiangkou channel evolution trend after the impoundment of the Three Gorges Project[J]. Journal of sediment research, 2009(2): 8-15.
- [5] 薛俊, 茆长胜. 长江中游芦家河水道维护及治理探讨[J]. 水运工程, 2010(6): 95-99.
XUE J, MAO C S. Maintenance and regulation of Lujiahe channel in the middle reach of the Yangtze River [J]. port & waterway engineering, 2010(6): 95-99.
- [6] 杨义壮, 向征平, 汪金豹. 长江中游芦家河水道维护研究[J]. 中国水运·航道科技, 2017(3): 29-32.
YANG Y Z, XIANG Z P, WANG J B. Study on maintenance of Lujia river channel in the middle reaches of the Yangtze River [J]. China water transportation (science & technology for waterway), 2017(3): 29-32.
- [7] 吴江平. 三峡蓄水后长江中游航道的演变及维护性疏浚方案分析[J]. 中国水运, 2011(11): 44-45.
WU J P. Evolution of waterway in the middle reaches of the Yangtze River after impoundment of the Three Gorges and analysis of maintenance dredging scheme [J]. China water transport, 2011(11): 44-45.
- [8] 董正法, 黄蓓蓓, 李明, 等. 长江中游芦家河水道维护性疏浚技术[J]. 水运工程, 2020(1): 90-96.
DONG Z F, HUANG B B, LI M, et al. Maintenance dredging technology of Lujiahe waterway in middle of the Yangtze River [J]. Port & waterway engineering, 2020(1): 90-96.
- [9] 杨传华, 黄蓓蓓, 李明, 等. 长江中游太平口水道维护性疏浚技术[J]. 水运工程, 2019(11): 100-106, 117.
YANG C H, HUANG B B, LI M, et al. Maintenance dredging technology of Taipingkou waterway in middle Yangtze River [J]. Port & waterway engineering, 2019(11): 100-106, 117.
- [10] 闫霞, 陈立, 姚仕明, 等. 2018年度长江上游航道维护性疏浚工程后评价[J]. 水运工程, 2021(3): 132-137.
YAN X, CHEN L, YAO S M, et al. Post-evaluation of maintenance dredging project of the Upper Yangtze River waterway in 2018[J]. Port & waterway engineering, 2021(3): 132-137.
- [11] 陆桂录. 航道维护疏浚中介入强度和时机选择[J]. 科技风, 2014(22): 34.
LU G L. Selection of intervention intensity and opportunity in waterway maintenance dredging [J]. Technology wind, 2014(22): 34.
- [12] 李开春, 何明, 高应兵, 等. 三角碛浅滩最佳疏浚时机探索[J]. 中国水运·航道科技, 2016(2): 24-28.
LI K C, HE M, GAO Y B, et al. Exploration on the best dredging opportunity of triangle shoal [J]. China water transportation (science & technology for waterway), 2016(2): 24-28.
- [13] 黄登, 李金乾. 关于长江中游芦家河、枝江等水道航道维护疏浚时机的探讨[J]. 中国水运·航道科技, 2020(3): 7-12.
HUANG D, LI J Q. Discussion on the opportunity of waterway maintenance and dredging in Lujiahe and Zhijiang in the middle reaches of the Yangtze River [J]. China water transportation (science & technology for waterway), 2020(3): 7-12.
- [14] 刘林双, 郑力, 王云波, 等. 太平口水道维护疏浚时机研究[J]. 水运工程, 2024(9): 86-92, 122.
LIU L S, ZHENG L, WANG Y B, et al. Maintenance dredging timing of Taipingkou waterway [J]. Port & waterway engineering, 2024(9): 86-92, 122.

(本文编辑 王传瑜)