



太平口水道维护疏浚时机研究*

刘林双^{1,2}, 郑力², 王云波², 胡阳²

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

摘要: 长江中游航道具有水文变幅大、河床冲淤多变、江湖关系复杂等特点, 导致疏浚时机较难确定。揭示了航道疏浚时机的影响因素, 建立了疏浚时机的确定方法。结果表明, 疏浚时机的主要影响因素包括水位过程、河床冲淤、疏浚能力以及通航状态等, 同时给出疏浚设计水位、维护水深、预留水深、船舶展臂最大水下垂直深度、疏浚量、疏浚效率等参数取值及基于此类参数的疏浚时机确定方法。以2023年太平口水道养护疏浚为例, 分析2018—2022年水位过程, 综合确定最佳疏浚时机为2023年9月初—10月底。研究成果可为类似航道疏浚提供技术支持。

关键词: 径流航道; 水位过程; 疏浚时机; 疏浚设计水位

中图分类号: U617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)09-0086-07

Maintenance dredging timing of Taipingkou waterway

LIU Linsuang^{1,2}, ZHENG Li², WANG Yunbo², HU Yang²

(1. National Research Center for Inland Waterway Regulation Engineering Technology,
Yangtze River Waterway Institute of Planning and Design, Wuhan, 430040, China;

2. Changjiang Waterway Survey Design and Research Institute (Wuhan) Co., Ltd., Wuhan, 430040, China)

Abstract: The waterway in the middle reaches of the Yangtze River has the characteristics of large hydrological variation, variable riverbed erosion and sedimentation, and complex river and lake relationships, making it difficult to determine the dredging timing. This paper reveals the factors affecting the dredging timing and establishes a method to determine the dredging timing. The results show that the main influencing factors of dredging timing include water level process, riverbed erosion and sedimentation, dredging capacity, and navigation status. At the same time, the values of parameters such as dredging design water level, maintenance water depth, reserved water depth, maximum underwater vertical depth of ship arm extension, dredging volume, dredging efficiency are given, and the method for determining dredging timing based on these parameters is determined. Taking the maintenance dredging of Taipingkou waterway in 2023 as an example, the water-level process from 2018 to 2022 is analyzed. The optimal dredging timing is from early September to the end of October in 2023. The research results can provide technical support for the dredging of similar waterways.

Keywords: runoff waterway; water-level process; dredging timing; dredging design water-level

航运是各种交通运输方式中兴起最早、历史最长的运输方式, 具有载质量大、成本低、投资省、环境影响小等优势。内河航运是水运的重要

组成部分, 也是河流的重要功能之一。世界上内河航道里程较长的国家有俄罗斯、中国、巴西、美国^[1-3]。内河航道货运密度以美国和西欧最高,

收稿日期: 2023-12-12

*基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFC3203404); 国家自然科学基金项目(U2340217)

作者简介: 刘林双(1986—), 男, 博士, 高级工程师, 从事水力学及河流动力学方面研究。

其中美国内河航道已形成以密西西比河为干线的航道网,其干线及主要支流已实现渠化,北部与五大湖相连通,沿圣劳伦斯海道可东出大西洋^[4]。西欧莱茵河源于瑞士,经法国、德国,在荷兰入北海,其干、支流均已渠化或治理,并与易北河和威悉河相沟通^[5]。随着内河水运的发展,国内各流域也开展了大量的内河航道建设^[6-8]。截止到2021年底,全国内河航道通航里程达12.8万km,居世界首位,其中国家高等级航道超过1.6万km,保障了内河水运的健康快速发展。

航道疏浚是维持航道尺寸稳定的主要手段。随着国内各主要内河生态、防洪等要求逐步提高,采用“整疏结合”的理念^[9-10],通过实施少量必要的整治工程,采取维护性疏浚措施巩固工程效果,维护航道的畅通,已成为内河航道维护的主要手段。长江中游河段具有径流水文变幅大^[11-12],河床冲淤多变^[13-15],枢纽^[16-17]、分汇流^[18-19]、江湖关系^[20-21]复杂等特点,导致航道疏浚位置、时机复杂多变。本文基于长江中游航道疏浚的大量经验,开展疏浚时机的影响因素分析,提出疏浚时机的确定方法,并在典型河段航道疏浚中开展应用,旨在为长江等内河航道疏浚提供技术支撑。

1 疏浚时机影响因素

1.1 水位过程

水位过程对疏浚时机的影响主要包括对碍航时间和疏浚船舶作业时间的影响。

1) 对碍航时间的影响。水深是保障船舶正常通航的基础,水位过程则是水深变化的直接影响因素,因此,水位过程变化直接决定了水道碍航程度,进而影响到疏浚时机。以长江中游宜昌—城陵矶河段为例,2018—2022年疏浚位置主要位于关洲、芦家河、枝江江口、大埠街、涪市、太平口、瓦口子、周天、藕池口、窑监大、反嘴、熊家洲—城陵矶河段(水道)。从年际来看,枯水期(1—3月、12月)水位低、水深小,是年内最可能发生碍航的时期,因此“战枯水”成为维护航道畅通的重难点;而从年际变化来看,由于三峡

水库蓄水后、清水下泄条件下坝下游河段河床冲刷,最枯水位下降明显,对于局部难冲区域则易出浅碍航,需要进行疏浚维护。

2) 对疏浚船舶作业时间的影响。水位过程变化直接决定了疏浚船舶的作业能力,水位过高,机械臂无法伸入江底完成疏挖作业。水位过低,水深不足,船舶无法驶入,施工、通航等矛盾加剧,是影响疏浚时机的主要因素。如芦家河、枝江江口水道的河床主要以砂卵石为主,维护疏浚以抓斗式挖泥船为主,疏浚船舶有效挖深为8m左右。而太平口水道的河床为沙质,一般采用耙吸挖泥船或吸盘挖泥船开展疏浚,疏浚船舶有效挖深为10m左右,船舶有效挖深不同则对水位要求不同,疏浚时机也有较大差异。

1.2 河床冲淤规律

航道内河床冲淤情况对航道疏浚时机也有较大影响。不同来水来沙条件下航道冲淤情况不同,航道疏浚时机也不尽相同,尤其是长江航道受季节性来水影响较大,即使同一航道,年内不同月份冲淤规律也差别较大,因此,对航道冲淤规律应提前掌握,针对不同冲淤情况应有基本预判,并结合淤积情况,提前确定疏浚时机。如长江中游涪市—城陵矶沙质河段,河槽总体遵循“洪淤枯冲”的变化规律,则航道疏浚时机也需考虑借助河床的自然输沙规律,一般在汛后冲刷开始后开展疏浚。

1.3 疏浚能力

疏浚时机受疏浚量和疏浚能力影响较大,如部分狭窄内河,通航限制下船舶施展不开,疏浚能力有限,在疏浚量较大而疏浚能力不足的情况下,应通过调整疏浚时机,提升疏浚效率。同时,在部分卵石、砂卵石河段常出现基岩坚硬难挖、疏浚效率变化等问题,需提前预判,结合疏浚船舶调度,提前调整疏浚时机。如在2019—2021年关州、芦家河水道的航道养护疏浚中,均出现了底质过硬导致疏浚无法开展或疏浚进度迟滞的情况。

1.4 通航状况

通航状况对疏浚时机影响包括施工与通航矛

盾、水面能见度等影响。

施工与通航矛盾影响：施工对通航的影响主要体现在工程区域的施工船舶占用一定的通航水域和挖泥船抛泥时需穿越航道而影响通航。施工时需合理安排施工顺序，控制好施工时间和工期，必要时对施工时序进行调整。

水面能见度影响：不同地貌的气象特点差异较大，不利气象条件如雾、雪、雨天气条件下，河道能见度对水上疏浚施工产生一定影响。长江中游河段是全国云雾最多的地区之一，年平均雾日 30.3d，一般从 11 月—翌年 4 月起雾较多，遇中雾和浓雾时，就必须视雾情调整疏浚时机。

2 疏浚时机

2.1 水位过程因素影响

水位过程因素是影响航道维护疏浚时机的主要因素。通过前述疏浚时机影响因素分析可知，内河航道可疏浚水位应同时满足船舶机械臂可伸入江底和水深满足船舶正常驶入等条件，与疏浚设计水位、疏浚维护水深、维护预留水深、疏浚船舶满载吃水、船舶展臂最大水下竖直深度等参数相关。通过分析疏浚水位关系（图 1），设事件 A 为适合疏浚的水位基本要求，可按式(1)计算：

$$\begin{cases} A = \{H' \in [a, b]\} \\ a = H_s - h_w - h_y \\ b = H_s - h_w - h_y + L \end{cases} \quad (1)$$

式中： H' 为适合疏浚的水位； a 为符合疏浚条件的最低水位值； b 为符合疏浚条件的最高水位值； H_s 为疏浚设计水位，内河航道维护疏浚中一般可采用保证率法、最枯水位法、最枯水位加预留水深等方法确定^[22-23]； h_w 为疏浚维护水深，一般由航道运行养护单位定期发布； h_y 为疏浚维护预留水深，可根据河道冲淤特性选取，一般取 0.3~0.5 m； h_0 为拟疏浚区厚度； L 为疏浚船舶展臂最大水下竖直深度。

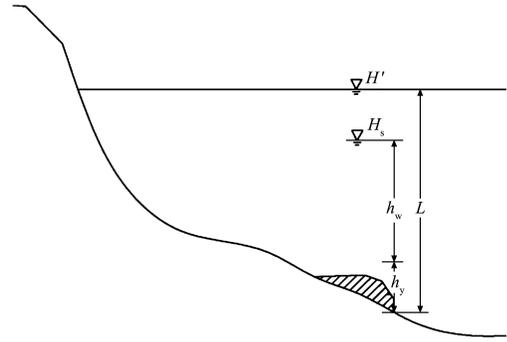


图 1 径流航道疏浚水位关系

考虑施工展开需要时间，水位达到要求后应持续一定时长，因此，设 $T(A)$ 为符合 A 要求的持续时长，其条件应符合式(2)：

$$T(A) \geq N \quad (2)$$

式中： N 为考虑船舶调配等因素时满足施工水位的最低持续时长。

2.2 其他因素影响

对部分基岩坚硬难挖、船舶不适应等河段，应结合疏浚船舶能力提前预判，调整疏浚时机；不同来水来沙预期条件下航道冲淤情况不同，应重点结合汛前汛后冲淤规律，预估疏浚量特大、汛后维护疏浚能力明显不足以完成的河段，可提前安排汛前疏浚。汛期淤积严重、枯水期必定出浅碍航的滩段可在汛后开展疏浚。河型复杂，夜间、雨雪雾天水面能见度较低河段应结合天气预报提前优化疏浚时机，在通航密度小、确保船舶安全下优选时机开展疏浚。分汊河段主支汊均可通航时，宜在水位较高时先疏浚主汊，水位退落后再疏浚支汊。

2.3 疏浚时长计算

疏浚时长与疏浚总方量、日疏浚方量相关，可按式(3)计算：

$$T' = D / P \quad (3)$$

式中： T' 为疏浚时长，d； D 为疏浚总方量， m^3 ； P 为日疏浚方量， m^3 。

3 长江中下游典型径流航道疏浚时机

3.1 可疏浚水位过程

近年来，长江中游河段受上游三峡等梯级枢纽蓄水影响，河段滩槽形态不断调整，部分浅滩

段分汉口门、顺直过流段等出现新的碍航问题。针对这些问题, 相关航道部门实施了一系列的航道整治工程, 同时通过维护性疏浚措施巩固工程效果, 维护航道的畅通。

航道可疏浚水位分析是确定疏浚时机的基础。从长江中下游径流量的变化情况(图2), 各水文站年径流总量丰枯基本一致, 年际间由于水文过程的随机性使得径流量有大有小, 但无趋势性变化, 上游梯级水库的投入运行并未对下游年径流量产生趋势性影响。三峡水库蓄水前, 葛洲

坝下游宜昌、枝城、沙市、监利、螺山、汉口、大通站多年平均径流量分别为4 369亿、4 450亿、3 942亿、3 576亿、6 460亿、7 111亿、9 052亿 m^3 。从不同蓄水阶段的情况来看, 2003—2007年长江中下游各站的多年平均径流量较蓄水前偏枯5%~10%; 进入试验性蓄水期后, 年均径流量较蓄水前有所降低, 但较初蓄阶段有一定程度的增加。2008—2020年三峡水库加大了下泄流量, 比初蓄阶段的年均径流增大较为明显, 但年均径流量仍小于三峡蓄水前(监利站除外)。

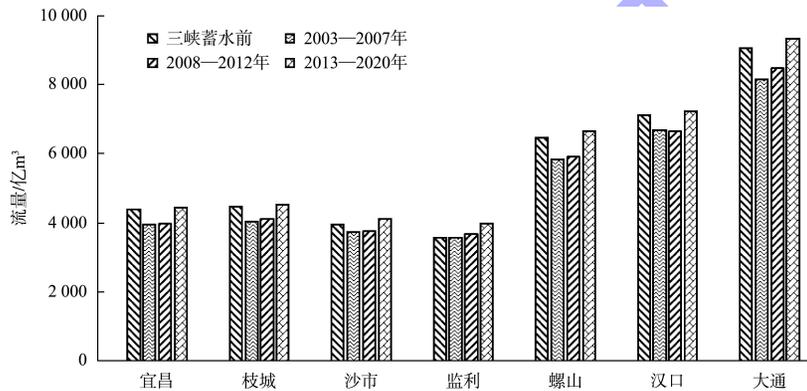
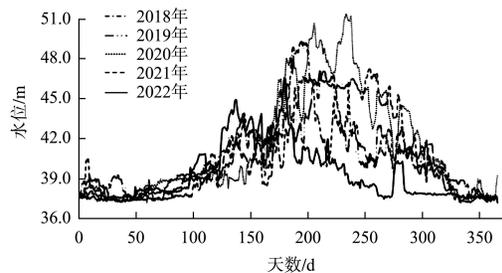
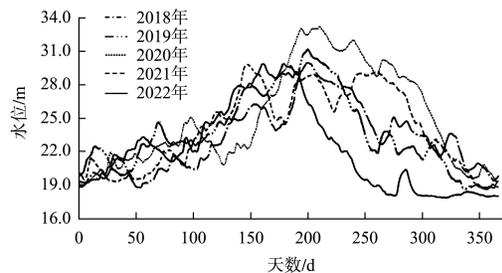


图2 各水文站年径流量历年变化过程

近5年, 2020年为丰水年, 2022年为枯水年, 2018、2019、2021年为中水年。从长江中下游近5年水位过程来看(图3), 除2022年为极端枯水外, 其他年份一般1—4月为枯水期, 5月进入涨水期, 6月初—8月中旬为洪水期, 水位较高, 之后进入汛后退水期, 10月以后进入枯水期。对于航道疏浚而言, 长江中游河段一般遵循洪淤枯冲的总体演变规律, 洪水期泥沙落淤航槽, 但水位较高, 船舶通过不受影响。汛后退水阶段及枯水期航槽冲刷情况是后续枯水期航道条件是否达标的关键。因此, 对于长江中游河段而言, 基于具体浅区汛后水位变化情况, 判断航槽疏浚的开始时机, 并结合实际疏浚量和疏浚能力, 确定疏浚时间长度, 是航道疏浚方案制定的关键。



a) 宜昌站



b) 城陵矶站

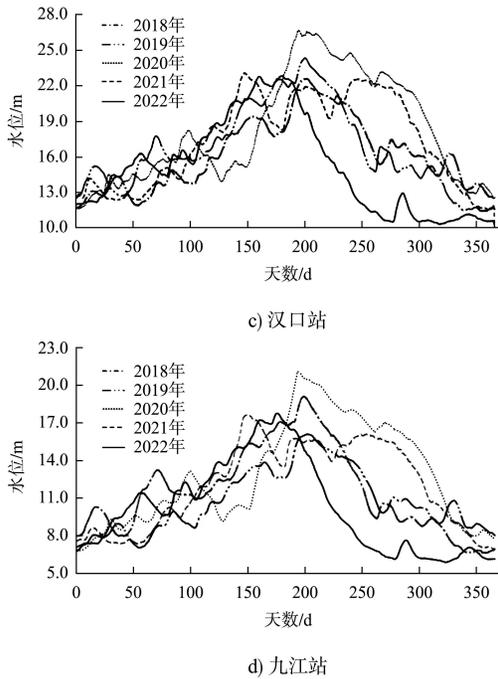
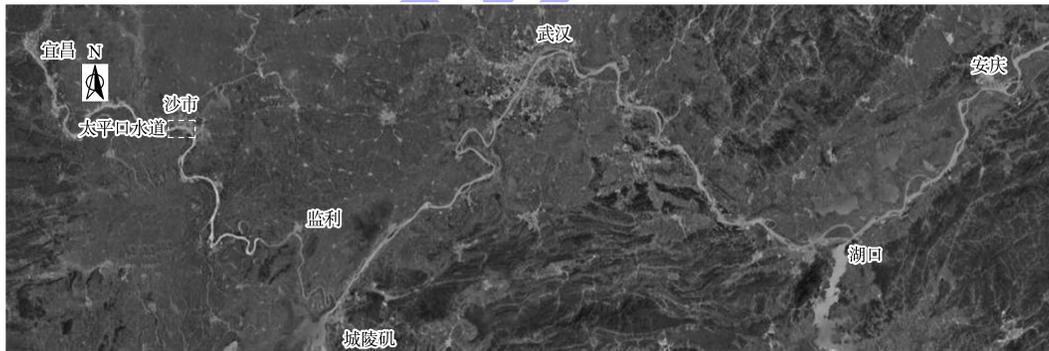


图3 长江中下游主要水文站水位过程

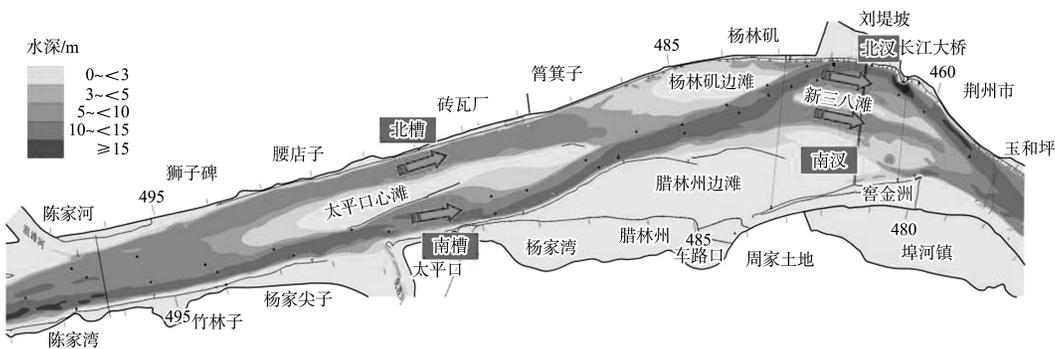
3.2 典型河段可疏浚时段

太平口水道位于长江中游荆江河段，属人工护岸控制的顺直、微弯分汊河道(图4)。该水道以杨林矶为界分为上下2段，上段被太平口心滩分为南北槽，下段为三八滩分汊段。横跨三八滩

的荆州长江公路大桥于2002年10月建成，在靠近两岸的北汊及南汊内均设置了通航桥孔，中间为非通航桥孔。太平口水道很不稳定，主流频繁摆动、洲滩互为消长、汊道兴衰交替。为改善航道条件，先后实施了三八滩中上段守护工程、腊林洲高滩守护工程、荆江河段航道整治工程昌门溪—熊家洲段工程的太平口水道工程，稳定了水道下段的分汊形态，洲滩大幅冲淤、主流大幅摆动现象得到一定控制，可满足3.5 m水深整治目标。2016年以来，为维持航道条件，持续对北汊进行疏浚维护，以进一步恢复北汊过流能力。目前2#槽已基本淤废，1#槽稳定性有所增强，但杨林矶边滩及三八滩边缘局部滩体挤压航槽，加之分流不足带来的航槽回淤现象的存在，北汊航道尺寸依然难以满足枯水期最小维护尺寸的要求。太平口水道历来是长江中游航道通过的最堵点之一，近年来连续开展维护疏浚才能确保畅通，2018—2020年度疏浚量分别达1 031.8万、624.89万、317.61万 m³，占长江中游航道(宜昌—武汉段)疏浚量的56.2%~87.3%，疏浚量大、时间长，对疏浚时机的准确性要求较高。



a) 太平口水道地理位置



b) 太平口水道河势

图4 太平口水道地理位置及河势

水位过程因素仍是影响太平口水道疏浚时机的主要因素。2008年以来,沙市水文站(位于太平口水道)最枯水位在27.53 m左右,出现在2019年11月底,考虑2020—2022年每年同流量下水位的下降幅度为15~20 cm,3年共计下降50 cm,2023年太平口水道疏浚设计水位取为27.03 m。根据长江航道局发布的航道维护尺寸,太平口水道疏浚维护水深为3.8 m,预留水深取0.5 m;按长江中游疏浚船舶特点,展臂最大水下竖直深度一般为10 m,根据式(1)可得,水位低于32.73 m时可保证船舶疏浚至航槽底部(图5)。

为保证船舶施工通行,最低施工水位应考虑疏浚体厚度。由于太平口水道航道条件运行监测较为严格,航道维护疏浚保证率较高,实际养护过程中,一般当年的疏浚措施可保障航道尺寸,在第2年养护中,若航道因淤积,水深已逼近航道养护尺寸,将会启动疏浚措施。根据经验,疏

浚体侵占航道水深厚度一般不会超过2 m即启动疏浚,同时考虑最大0.5 m水深下降值以及0.5 m水深预留,需疏浚体厚度一般不会超过3 m。本次疏浚体厚度按3 m取值,根据式(1)得出,水位高于25.73 m时,可保证疏浚船舶通行。因此,总体而言,水位在25.73~32.73 m时可保证疏浚正常开展。考虑船舶调配等因素,根据式(2),满足太平口水道疏浚水位的最低持续时长为5 d,见表1。

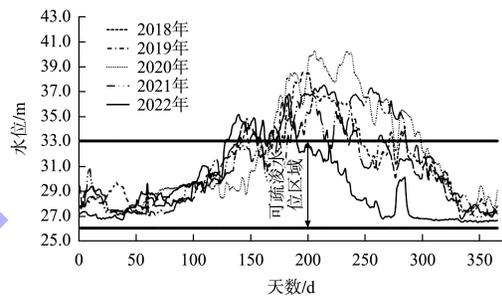
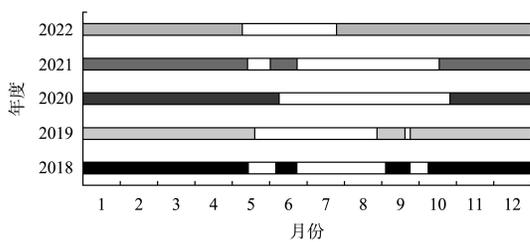


图5 太平口水道可疏浚水位区域

表1 疏浚时机分析参数

a/m	b/m	h_0/m	H_s/m	h_w/m	h_y/m	L/m	N/d	$D/万 m^3$	$P/(m^3 \cdot h)$	T'/d
25.73	32.73	3	27.03	3.8	0.5	10	5	5.0	1 350	42.7

图6为太平口水道可疏浚时段分布。从水位影响因素分析来看,近5年来,2022年由于总体来水较枯,除5月初—7月底无法开展疏浚,其他时段均可开展疏浚。其他年份可疏浚时段一般为1—5月中下旬,部分年份,如2018、2021年在6月中旬即初次涨水回落期间,仍有一定的疏浚窗口期;下半年则受汛后退水及三峡蓄水影响较大,若汛后退水较早,则在9月初即可进入可疏浚时段,若汛后退水较晚,则在10月下旬进入可疏浚时段,可延续至12月底或次年上半年枯水期。



注:空白处为不可疏浚时段。

图6 太平口水道可疏浚时段分布

从河床冲淤因素分析来看,长江中游河段总体保持“洪淤枯冲”河床演变规律,疏浚施工应借助汛后河床自然冲刷或枯水期河槽冲刷能力。河床冲淤因素对疏浚时机的影响与水位因素对疏浚时机的影响总体保持一致,即若汛后退水较早,则在9月初即可进入可疏浚时段;若汛后退水较晚,则在10月下旬进入可疏浚时段,可延续至12月底或次年上半年枯水期。

从施工与通航矛盾因素分析来看,施工前应发布航行通告、通电,发布施工时间和运送计划。必要时调整通航规则,按规定和现场情况优化疏浚时机。

3.3 疏浚时段安排

结合太平口水道历年疏浚量以及近期测图,预计太平口水道2023年疏浚量为50万 m^3 。

从水面能见度影响分析来看,结合以往施工经验,考虑白天光线充足,施工相对安全,每天疏浚施工工作时间宜按10 h计算。太平口水道

11月—翌年4月间可能起雾,一般轻雾对疏浚施工和航行影响很小,遇中雾和浓雾,行轮须停航“扎雾”,结合以往疏浚经验,每月疏浚时间按26d计算。

从疏浚能力因素分析来看,太平口水道具备耙吸挖泥船或吸盘挖泥船施工条件。以中游常用的吸盘船挖泥船为例,采用挖、运、抛工艺时,疏浚效率主要受限于运输泥驳船效率,泥驳船规格为2000m³。根据2017年以来太平口水道的疏浚经验,按照2km运距、每天疏浚施工时间10h、每天可运输船数平均值6.5船,施工效率约在1.35万m³/d。

结合疏浚能力、水面能见度等因素分析,每月工作时间26d,则1艘挖泥船的月疏浚量为35.10万m³,根据式(3),计算理论工期为41.0d。综合水位、河床冲淤、疏浚能力和通航状况等因素,2023年太平口水道计划疏浚时段为9月初—10月底。同时,建议按照疏浚前实际水情对疏浚时机进行细化,并做好不利水文年份提前施工和投入更多疏浚设备的准备。

4 结论

1) 长江中游河段航道疏浚时机的影响因素包括水位过程、河床冲淤、疏浚能力及通航状况等。本文建立了航道可疏浚水位以及疏浚时长确定方法,提出疏浚设计水位、维护水深、预留水深、疏浚区厚度、船舶展臂最大水下竖直深度、最低持续时长、疏浚量、疏浚效率等相关参数的确定方法。

2) 分析长江中下游河段主要水文站流量、水位过程及对航道疏浚影响,并结合水位过程、河床冲淤、疏浚能力、通航状况因素,确定长江中游河段的航道养护疏浚时机。对于长江中游水道,若汛后退水较早,则在9月初即可进入可疏浚时段;若汛后退水较晚,则在10月下旬进入可疏浚时段,可延续至12月底或次年上半年枯水期。

3) 以典型年份太平口水道养护疏浚为例,确

定了疏浚施工量、生产率,计算了养护疏浚工期及疏浚时段。2023年太平口水道养护疏浚计算理论工期为41.0d,疏浚时段为9月初—10月底。同时,建议按照疏浚前实际水情对疏浚时机进行细化,并做好不利水文年份提前施工和投入更多疏浚设备的准备。

参考文献:

- [1] SUKHODOLOV A N, ARNAUT N A, KUDERSKY L A, et al. Chapter 13-Western steppic rivers [M]. Amsterdam: Elsevier, 2009.
- [2] BEGORRE C, DABRIN A, MASSON M, et al. Reconstruction of historical suspended particulate matter contributions of Rhône River tributaries to the Mediterranean Sea[J]. *Geomorphology*, 2022, 417: 1-15.
- [3] MAKO P, GALIERIKOVÁ A. Inland navigation on the Danube and the Rhine waterways[J]. *Transportation research procedia*, 2021, 55: 10-17.
- [4] W. H. 麦克纳, 马元珽. 密西西比河防止海水入侵的措施[J]. *水利水电快报*, 1997(24): 18-23.
- [5] IMME B, CHIEL C. VAN H. et al. Anomalous moisture sources of the Rhine basin during the extremely dry summers of 2003 and 2018 [J]. *Weather and climate extremes*, 2021, 31(33): 1-15.
- [6] 何传金. 长江中游荆江河段航道治理思路、对策及初步成效[J]. *水运工程*, 2015(2): 174-181.
- [7] 杨云平, 周良平, 张华庆, 等. 三峡工程运行后荆江河段分汇段航道水深资源及碍航驱动机制[J]. *湖泊科学*, 2023, 35(2): 684-695.
- [8] 刘清, 曾旭虹. 国内外内河航道发展阶段对比分析[J]. *水运工程*, 2014(1): 102-107.
- [9] 邓中辉, 黄蓓蓓, 刘林双. 分流比相当的典型分汉河段航道治理方案研究[J]. *中国水运(上半月)*, 2020(6): 88-91.
- [10] 彭松柏, 黄成涛, 江凌. 长江干线宜昌至安庆段航道尺度提升可行性研究[J]. *人民长江*, 2017, 48(8): 1-4.
- [11] HAN J Q, SUN Z H, LI Y T, et al. Combined effects of multiple large-scale hydraulic engineering on water stages in the middle Yangtze River[J]. *Geomorphology*, 2017, 298(Dec. 1): 31-40.

(下转第122页)