



网格化作业在长江口深水航道 维护疏浚中的应用

储华军, 涂俊豪

(交通运输部长江口航道管理局, 上海 200003)

摘要: 针对长江口深水航道船舶通过量大、边通航边施工矛盾突出, 以及抛泥区容量紧张等问题, 研究提出并实施了航道施工与抛泥区使用的网格化作业模式, 旨在提升航道维护效率和抛泥区可持续利用水平。采用航道浅点网格化划分与纵向条带分配相结合的方法, 优化耙吸船施工范围及指令精准度; 同时, 对抛泥区实施动态细分小区管理, 结合定期水深监测与临时禁抛机制, 实现抛泥作业的统一性与安全性。结果表明: 航道维护针对性扫浅效率提升 10%; 抛泥区泥沙消散率接近 100%, 水深稳定在 9 m 以上, 未发生抛泥安全事故。网格化作业通过精细化空间管理与动态调度, 有效解决了复杂水文条件下航道维护的高效性与抛泥区容量受限的难题, 为类似河口航道的智能化维护提供了技术参考, 同时支撑了长江口航道在区域经济发展中的战略作用。未来可结合智能疏浚装备与实时数据平台, 进一步优化网格化技术的自适应能力。

关键词: 长江口; 深水航道; 航道施工; 抛泥区施工; 网格化

中图分类号: U61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2026)03-0223-08

Application of grid-based operation in maintenance dredging of deep-water channel at the Yangtze River Estuary

CHU Huajun, TU Junhao

(Yangtze Estuary Waterway Administration Bureau, Ministry of Transport, Shanghai 200003, China)

Abstract: To address the challenges of high vessel traffic volume, the conflict between navigation and simultaneous construction operations, and the limited capacity of dumping areas along the deep-water channel of the Yangtze River Estuary, this study proposes and implements a grid-based operation model for channel maintenance and dumping area management, aiming to enhance channel maintenance efficiency and ensure sustainable utilization of dumping areas. The methodology involves grid-based division of shallow areas combined with longitudinal strip allocation to optimize the operational scope and precision of trailing suction hopper dredgers. Concurrently, dynamic sub-zoning management of dumping areas is implemented, incorporating regular bathymetric monitoring and temporary no-dumping zones to ensure uniform and safe sediment disposal. The results show that a 10% improvement in targeted dredging efficiency, with sediment dissipation rates in dumping areas approaching 100% and the water depth is stable at over 9 meters, while achieving zero disposal-related accidents. The grid-based operations effectively resolve the dual challenges of efficient channel maintenance under complex hydrodynamic conditions and limited disposal capacity through refined spatial management and dynamic scheduling. This study provides valuable technical references for intelligent maintenance of similar estuary waterways and supports the strategic role of the Yangtze River Estuary channel in regional economic development. Future research could further enhance the adaptive capabilities of grid-based technology through integration with intelligent dredging equipment and real-time data platforms.

Keywords: Yangtze River Estuary; deep-water channel; waterway construction; dumping area operation; grid-based

收稿日期: 2025-06-25 录用日期: 2025-08-13

作者简介: 储华军(1980—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口航道工程技术管理及研究工作。

长江口航道地处长江黄金水道和东部黄金海岸的交汇点,具有独特区位优势,作为长江黄金水道的龙头,承载着长江黄金水道通江达海的使命,是长江经济带唯一入海通道,是长三角一体化的重要依托,是上海国际航运中心的重要支撑。长江口深水航道治理工程位于长江口南港和北槽河段,全长 92.2 km、底宽 350~400 m、深 12.5 m(当地理论最低潮面)^[1]。该工程于 1998 年开始建设,治理难度非常大,于 2011 年 5 月通过国家竣工验收,并进入常态化维护管理。

长江口深水航道通航能力的稳定与提升对我国对外贸易和区域经济发展具有重要意义。然而,尽管 2011 年以来已通过一系列的减淤措施和优化摸索施工工艺,使得航道年维护量从最高峰的近 1 亿 m³ 降低至近年来常态量约 5 000 万 m³,但受长江河口复杂的水沙运动、航道回淤严重及船舶大型化趋势的影响,航道维护施工依然面临疏浚任务繁重、施工环境动态多变等挑战,加之随着上海港航经济的发展,使得当前长江口可使用的抛泥区容量越发紧张。传统的维护管理模式已难以满足高精度、高效率的航道维护需求,亟需引入更加科学化、精细化的施工管理方法。

利用 Civil 3D 与 Subassembly Composer(部件编辑器),提升了设计效率与准确性,为类似航道工程数字化设计与绿色施工提供可行路径^[2]。基于卫星影像和 GIS(geographic information system,地理信息系统)技术的方法,结合粗精数据与 TIN(triangulated irregular network,不规则三角网)建模,快速生成多精度地形,验证了在堤防布置等方面的可靠性与实用性,提供高效数据处理与可视化方案^[3]。基于对长江干流重点治理河段研究,采用精细化、分区化疏浚与抛泥管理策略,抛卸弃土形成良性循环,提升航道整治与维护能力^[4]。在此背景下,“网格化作业”模式出现,针对长江下游航道特点研究其技术系统和引用效果,通过网格化模式实现疏浚砂高效转运利用,减少

影响,提升资源化利用效率^[5]。将疏浚工程与信息化管理融合,研究网格化系统设计原理和关键技术实现突破^[6]。针对传统航道施工粗放管理问题,对比插值方法精度,为精细化设计提供依据,提升计算与拟合准确性,推动施工管理转变^[7]。针对长江口复杂环境,研究疏浚抛泥区精细化分区管理技术,划分网格单元和小分区,提升航道维护效率和经济性^[8]。精细网格化疏浚方法广泛应用,基于建筑信息模型(building information modelling, BIM)技术提升航道设计标准化与自动化水平,实现多项功能,为数字化、正向化设计提供方案。长江口预选倾倒区扩散模拟表明,科学选划倾倒区对控制悬浮物扩散至关重要^[9-10]。通过在长江口深水航道维护中采取网格化作业措施,显著提升了航道维护效率和质量,抛泥区的使用可持续性得到加强,及时总结疏浚工程实践经验,有助于提升航道建设和养护管理水平,可为类似航道维护提供一定的技术参考。

1 工程概况

长江口三级分汊四口入海,水体含沙量大,河势变化复杂,受径流、潮流及咸淡水交互影响,河口段形成拦门沙,长江口 12.5 m 深水航道回淤量大,维护强度高,需要通过常年维护确保航道水深畅通。

2 航道回淤特点和维护难点

2.1 回淤总量大、且时空分布高度集中

长江口深水航道开通的最初 5 a,年回淤总量平均约为 8 000 万 m³;近年来,通过一系列的减淤工程和减淤措施,年常态回淤量约 5 000 万 m³。回淤在空间分布上主要集中于北槽航道中下段和南港及圆圆沙航道段,两个峰值区段的回淤量约占全航道总回淤量的 80%,分布情况见图 1。回淤时段分布上主要集中在每年的 6—11 月,约占总回淤量的 80%,分布情况见图 2。

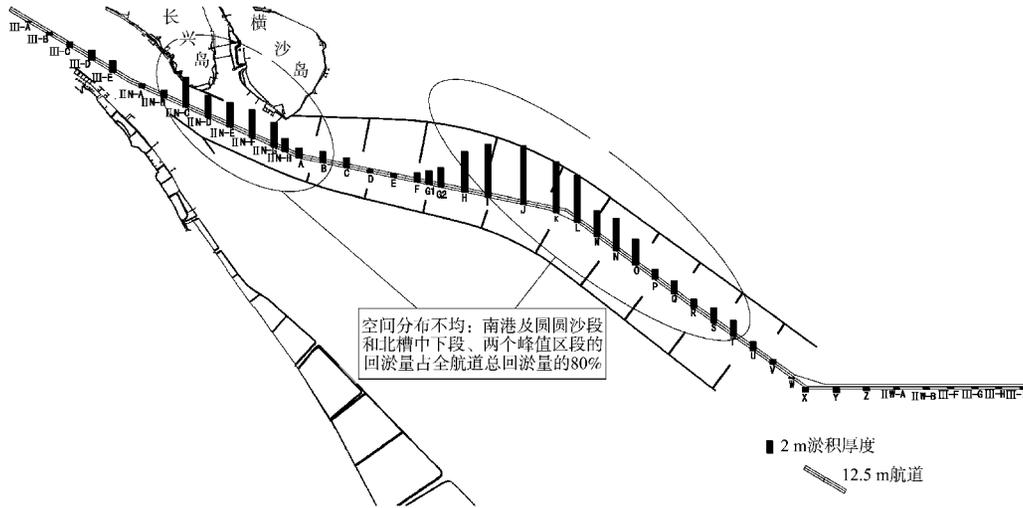


图1 航道回淤空间分布情况

Fig. 1 Spatial distribution of channel back-silting

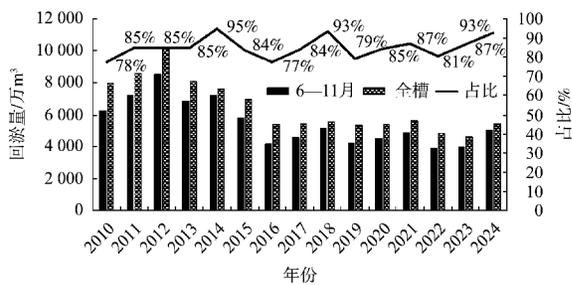


图2 历年6—11月与年回淤总量对比

Fig. 2 Comparison of back-silting volume from June to November over the years and annual total back-silting volume

2.2 易受恶劣天气影响, 骤淤量大

长江口每年7—10月平均受2~6次台风影响, 加上冬季寒潮大风等恶劣气象条件, 航道易产生浮泥骤淤, 浮泥典型分布见图3, 年均骤淤量约700万m³, 最大年份达1200万m³。台风骤淤与洪季常态高回淤时段相互叠加, 加大了航道维护保畅通的压力。

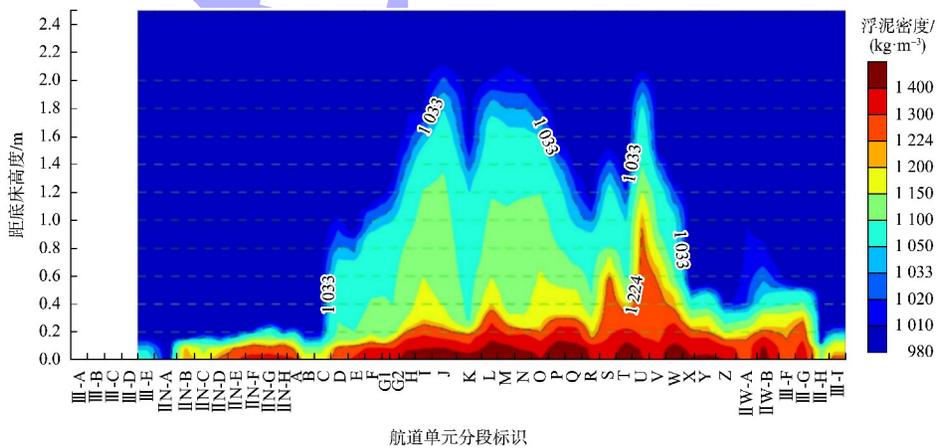


图3 2024年“贝碧嘉”台风后航道浮泥密度纵向分布

Fig. 3 Longitudinal distribution of fluid mud density in the channel after typhoon “Bebinca” in 2024

2.3 通航与维护并存, 安全矛盾突出

深水航道建成后, 通过能力显著提高, 船舶通过量、大型化趋势明显增强, 鉴于航道回淤量大且分布集中, 必须在繁忙的通航航道上同时进

行维护施工, 边通航边施工情况见图4, 疏浚船舶多且进出航道频繁, 与通航船舶交叉会遇的频次也大大增加, 对现场组织和安全管理提出了更高的要求。

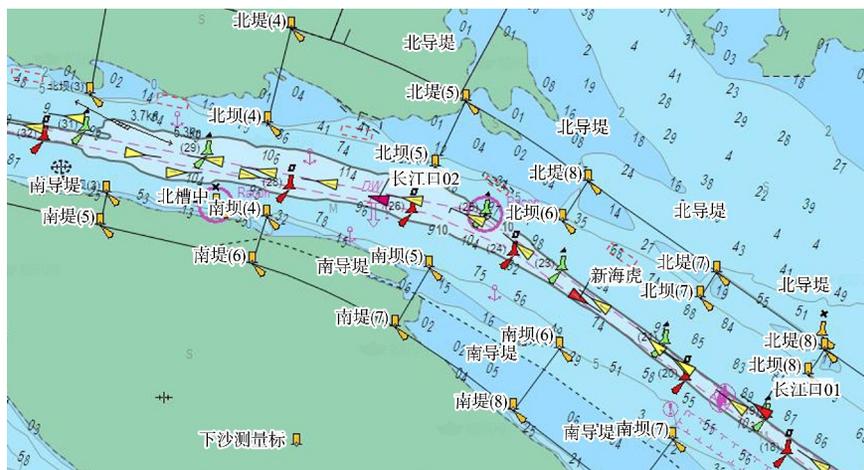


图4 边通航边施工情况

Fig. 4 Concurrent navigation and construction

3 网格化作业措施

3.1 航道施工网格化

3.1.1 网格化划分

为提高疏浚船舶扫浅施工的针对性，对航道内浅区浅点进行网格化划分。考虑到疏浚船舶施工时的操作性、第三方考核测量单位的补测要求以及周边环境的影响程度，保障施工的安全与高效，以 100 m×50 m 网格为基础，采用在航道横向浅点两侧间距 50 m、纵向上下游浅点两侧间距 200 m 的标准划分(即横向 1 个点，纵向 2 条线)，将浅区、浅点集中置于施工网格图中；同时，沿航道纵向分为 6 条带，网格化情况见图 5。在每次测量出图后，根据浅区、浅点位置绘制施工网格框图，同时按浅点浅值对疏浚船舶在各条带中的施工能力进行分配重点施工条带，随施工区段调整单，一起经施工监理和建设单位审核后，发送各疏浚船舶加载到施工软件中执行，既规定了疏浚船舶扫浅施工的范围，又指导疏浚船舶合理施工布线，避免各疏浚船舶之间的干扰，进一步提高了施工指令的准确性和施工针对性。

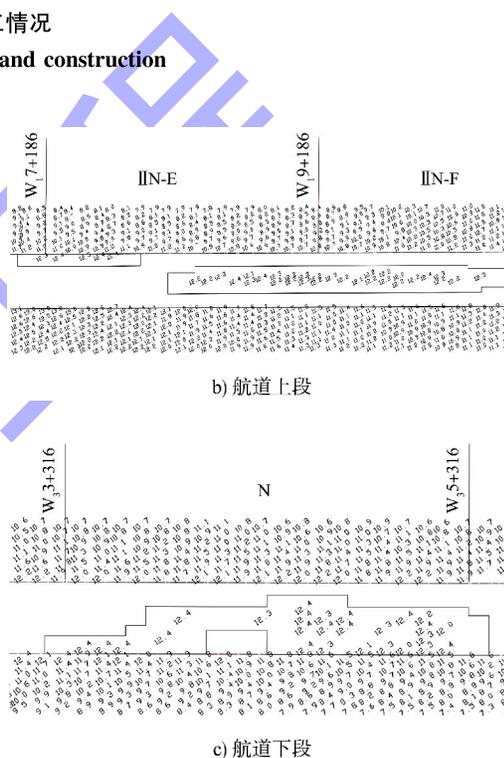
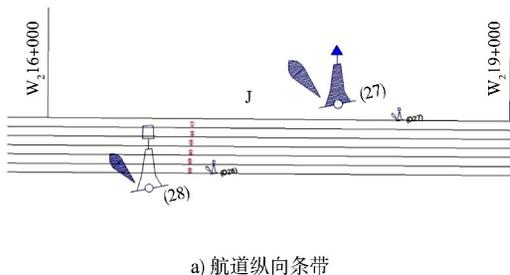


图5 航道施工网格化情况

Fig. 5 Grid management application in waterway construction

3.1.2 优化施工背景图

疏浚施工平台背景图上的航道要素线、水深值以及施工框线交错，不易识别，施工操作人员易出现误判断的情况，为了解决上述问题，开展了如下优化工作：1)分带背景图线条采用细条线、航道助航标志移至航道边线以外；2)施工范围框图采用中粗线；3)不同深度水深点优化颜色区分，提高了疏浚施工平台背景图上颜色对比辨识度。优化前后对比情况见图 6。



a) 航道纵向条带

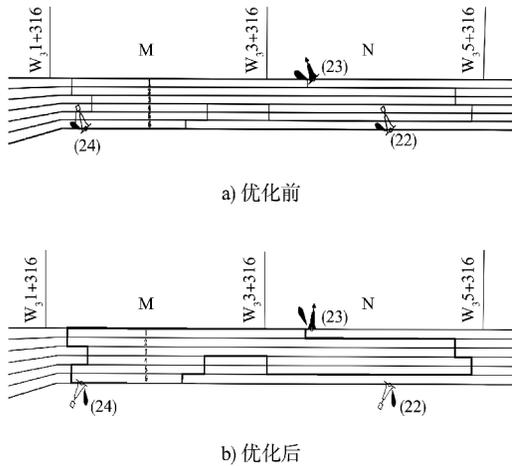


图6 施工背景图

Fig. 6 Construction background image

3.2 抛泥区使用网格化

长江口深水航道维护高峰期投入的耙吸船数量达13~15艘, 主要使用4#、5#、6#抛泥区。为确保耙吸船抛泥作业安全和抛泥区使用的可持续性, 从均匀抛泥、安全抛泥、抛泥区水深和容量评估等方面着手, 在国家生态环境部批准的抛泥网格基础上, 对各抛泥区实施网格化分区管理, 具体见图7。4#抛泥区尺度为2 000 m×1 500 m (长×宽), 每个小分区为1 000 m×750 m; 5#抛泥区尺度为4 000 m×3 000 m, 每个小分区为1 000 m×1 000 m; 6#抛泥区尺度为3 000 m×3 000 m, 每个小分区为1 000 m×1 000 m。同时, 制定抛泥区使用规定, 定期安排抛泥区水深监测, 根据水深变化情况动态管理。

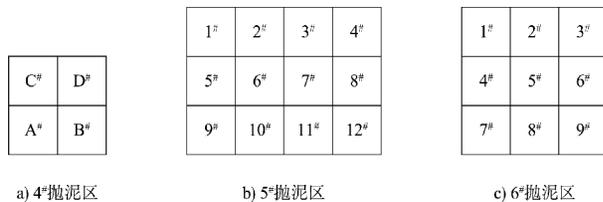


图7 抛泥区网格化情况

Fig. 7 Grid management application in dumping area

1) 制定抛泥区使用规定。为扎实推进抛泥区使用网格化工作, 在系统总结过往有效经验和成熟做法的基础上, 研究制定了《长江口航道维护疏浚抛泥区使用规定》, 重点设置循环使用周期, 旨在从制度层面为长江口航道疏浚抛泥区的合理使

用提供坚实保障, 按照批准可抛泥控制方量, 组织耙吸船抛泥作业, 做到均匀抛泥和规范抛泥, 确保维护疏浚与抛泥区可持续利用协调共进。

2) 定期检测抛泥区水深, 动态调整可使用小分区。根据长江口航道洪淤枯冲的特点和抛泥区使用频次, 定期安排对各抛泥区进行水深测量, 分析各抛泥区的平均水深以及各小分区的平均水深和最小水深变化, 以及与上次测图的变化量, 对比情况见图8, 再依照两次测图期间的抛泥量, 分析计算各抛泥区的冲淤情况和抛泥消散率, 以便动态调整可使用小分区供耙吸船抛泥。

3) 确定临时禁抛范围, 保障安全抛泥。对于抛泥区水深测量数据显示浅于航道维护疏浚施工耙吸船最大重载吃水的范围, 为避免耙吸船抛泥作业泥门擦底, 确保船舶安全, 每次测量后将抛泥区内水深浅于9 m的区域画框, 确定临时禁抛范围, 见图9, 规定船舶不得在此区域内进行抛泥作业, 基本做到避浅就深抛泥。

1#区 9.47(8.37) +0.01	2#区 9.54(8.75) -0.29	3#区 9.44(8.25) -0.17	4#区 9.97(9.20) -0.05
5#区 9.04(8.26) -0.06	6#区 9.05(8.44) -0.16	7#区 8.93(7.80) -0.07	8#区 9.62(9.29) -0.15
9#区 9.13(8.26) +0.01	10#区 9.40(8.96) -0.18	11#区 9.30(8.35) -0.23	12#区 9.71(9.23) -0.09

注: 以1#区为例, 平均水深为9.47 m, 最小最深为8.37 m, 比上次测图平均深0.01 m。

图8 5#抛泥区各小分区水深变化情况
Fig. 8 Water depth changes in dumping area of spoil ground 5#

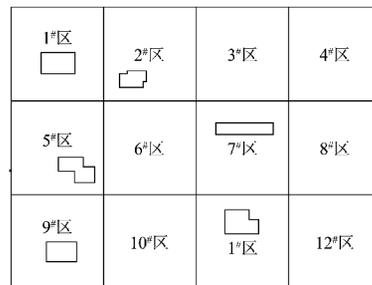


图9 5#抛泥区设立临时禁抛范围

Fig. 9 Establishment of temporary no-dumping zone in dumping area 5#

4 网格化作业取得的效果

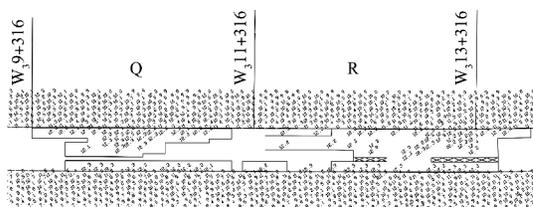
4.1 航道施工网格化

4.1.1 提高扫浅施工精准度

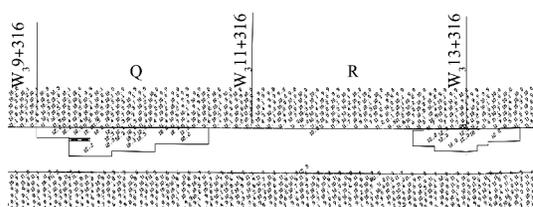
在实施航道施工网格化作业后，对浅区扫浅的针对性和效率均得到提升，通过扫浅面积与之前对比，航道维护针对性效率提高 10%。通过对航道 2024 年 7—11 月主要回淤和维护的 D3.3、D3.4 和 D3.5 区段考核初测图是否实施网格化统计，合计减少面积 206.6 万 m²，见表 1，有效提高了扫浅施工精准度，也使有限的船舶能力得到充分利用。从具体到每次施工区段调整指令看，在考核测量补挖补测期间，根据每次补测图重新绘制新的施工框图，缩小施工范围，更具施工针对性，较好地控制了施工范围和提高扫浅施工效率；以 10 月考核补测图 Q~R 单元为例，通过 3 次补挖补测，需要施工的范围持续减少，效果见图 10。

表 1 D3.3、D3.4 和 D3.5 区段考核初测图面积差值
Tab.1 Area variance statistics in initial evaluation maps for segments D3.3, D3.4, and D3.5

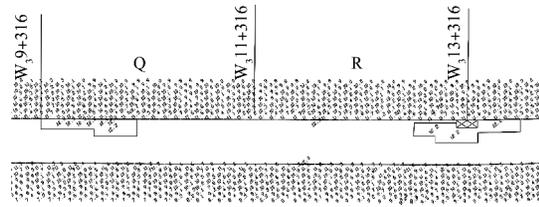
月份	考核初测图面积差值/万 m ²			合计
	D3.3 区段	D3.4 区段	D3.5 区段	
7 月	36.4	11.3	0	47.7
8 月	22.1	10.2	7.4	39.7
9 月	5.8	8.6	13.9	28.3
10 月	23.5	15.9	12.0	51.4
11 月	26.8	12.7	0	39.5
合计	114.6	58.7	33.3	206.6



a) 2024-10-19 网格化浅区



b) 2024-10-21 网格化浅区



c) 2024-10-22 网格化浅区

图 10 航道施工网格化浅区变化

Fig. 10 Changes of grid shallow zones in waterway construction

4.1.2 提高施工指令的监督检查效率

使用耙吸船施工轨迹线专业回放软件，结合船舶一分钟生产记录数据，逐日检查船舶施工是否符合航道维护调船指令情况，并形成回放检查记录。如在检查中发现有违反施工指令中规定航道网格化框图范围超范围挖泥，该船次施工船方予以扣除，不予计费。通过检查，深水航道 2023、2024 年度维护疏浚分别发现未按规定施工 3 船次和 1 船次，相应进行处罚。

4.1.3 提高疏浚方量精准复核效率

根据定期施工区段调整测量水深数据，利用专业软件计算判定两次测图之间的疏浚情况，对超过允许深度范围的工程量，在计量支付中予以扣除，通过网格化管理，更加便于超挖计算范围的控制，计算更加准确合理。

4.2 抛泥区使用网格化

4.2.1 提高抛泥施工安全性

以生态环境部批准的抛泥分区为基础进行抛泥网格化后，明显减少了疏浚船舶之间抛泥作业的相互干扰，提高了抛泥作业效率和安全性，也未发生过一起抛泥安全事故。

4.2.2 均匀抛泥效果显著

在抛泥区网格化使用过程中，时刻监控每个分区的可抛容量，每次测量后将抛泥区内水深浅于 9 m 的区域画框，规定船舶不得在此区域内进行抛泥作业，严格要求疏浚船舶均匀抛泥，从根本上杜绝了抛泥区出现局部过浅的情形；细致把控每个分区的水深，以达到抛泥区整体水深，满足疏浚船舶安全抛泥的要求，不仅保障了船舶安全抛泥，同时也保证了抛泥区的可持续使用，见图 11。

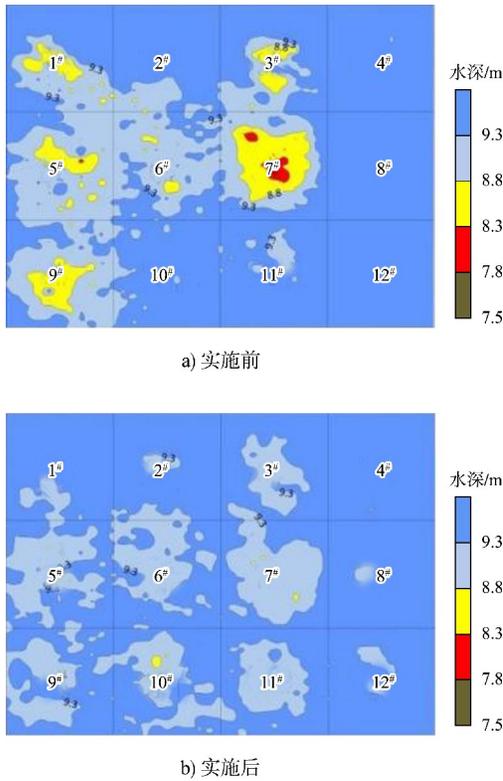


图 11 5# 抛泥区实施网格化前后水深对比情况
 Fig. 11 Water depth comparison before and after grid formation in dumping area 5#

4.2.3 为容量评估提供良好支撑

近几年来, 长江口航道维护主要使用 4#、5#、6# 抛泥区的抛泥作业规范, 泥沙消散情况良好, 以 5# 区为例, 水深基本稳定, 见图 12。在每年的容量评估中均按选划批复时的上限作为评估结果, 充分实现了抛泥区的可持续使用, 并且得到了生态环保部门的充分认可。

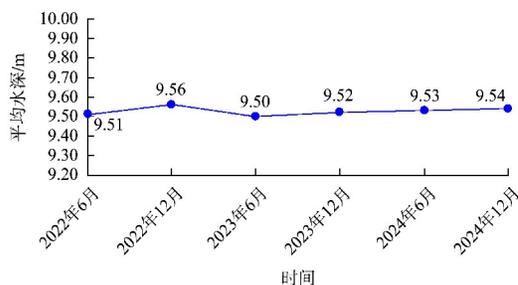


图 12 近几年平均水深变化情况
 Fig. 12 Average water depth changes in recent years

4.2.4 便于抛泥的监督管理

目前各耙吸船都安装了海洋倾废记录仪, 生态环境主管部门对耙吸船的抛泥进行监控。而且,

施工监理部和建设单位现场管理部门每日根据施工区段调整指令中相关要求, 对各船舶的 1 min 数据中的船舶抛泥轨迹进行复查。2023 年检查中发现 2 船次、2024 年检查中发现 1 船次未严格执行抛泥区使用规定, 都相应进行处罚。

4.2.5 改善了抛泥区的渔网影响

以前部分抛泥区附近常年受渔船渔网干扰较大, 尤其是渔网分布位置频繁变化, 对抛泥作业造成较大影响, 通过抛泥区使用网格化, 同时加强对现场渔民的宣贯和劝阻, 经过近几年的共同努力, 虽然偶尔还存在抛泥区局部影响, 但是较往年已大大改善了抛泥区的作业环境, 保证了抛泥区网格化的有效开展和实施。

5 结语

1) 通过精细化划分施工单元、动态调整抛泥分区等网格化作业措施, 显著提高了维护效率, 降低了维护成本, 同时依托信息化技术实现了施工过程的精准监控与管理, 为复杂水文条件下的航道维护提供了科学解决方案。

2) 当前网格化应用仍面临通航环境干扰、船舶操纵局限性等挑战, 未来需进一步结合智能疏浚装备、实时数据共享平台及风浪预警技术, 推动网格化管理向智能化、自适应化方向发展。此外, 深化抛泥区冲淤规律研究、优化动态调度模型, 将是实现抛泥区长期可持续利用的关键。研究成果不仅为长江口航道的高效维护提供了实践范例, 也为类似河口航道的网格化施工与生态化治理提供了可借鉴的技术路径和管理经验。

3) 随着智慧航道建设的深入推进, 未来网格化技术将与人工智能、大数据等新兴技术深度融合, 进一步提升航道维护的精准性与可持续性, 为我国水运高质量发展注入新动力。

参考文献:

[1] 国务院. 国务院关于印发“十四五”现代综合交通运输体系发展规划的通知[Z/OL]. (2022-01-18) [2025-05-25]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2022-01/18/content_5669049.htm.

The state Council. The State Council issues the “14th Five-Year Plan” for the development of modern integrated transportation system [Z/OL]. (2022-01-18) [2025-05-25]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2022-01/18/content_5669049.htm.

[2] 李斌强. 某内河水运航道疏浚工程设计研究[J]. 珠江水运, 2024(11): 47-49.

LI B Q. Design and research on dredging engineering of an inland waterway [J]. Pearl River water transport, 2024(11): 47-49.

[3] 牛新宇, 耿贺松, 耿敬, 等. 基于 Google Earth 数据的水运工程数字地形快速构建方法[J]. 水运工程, 2018(5): 67-71.

NIU X Y, GENG H S, GENG J, et al. Quick constructing method of water transport project based on Google Earth data[J]. Port & waterway engineering, 2018(5): 67-71.

[4] 李靓亮, 赵维阳, 裴金林, 等. 重点治理河段抛泥区选址分析[J]. 水运工程, 2014(12): 87-91, 101.

LI L L, ZHAO W Y, PEI J L, et al. Location of dumping area in way governance river [J]. Port & waterway engineering, 2014(12): 87-91, 101.

[5] 陈秀瑛, 古浩, 孙萍. 长江下游航道疏浚砂综合利用研究[J]. 中国水运, 2021(19): 126-128.

CHEN X Y, GU H, SUN P. Study on comprehensive utilization of dredged sediment in the lower reaches of the Yangtze River[J]. China water transport, 2021(19): 126-128.

[6] 刘亚帅, 曹伟, 管志强. 基于网格化压缩挖掘船舶航道位置信息 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (1): 263-266.

LIU Y S, CAO W, GUAN Z Q. Position information of vessel track mining based on grid compression [J]. Computer measurement & control, 2019, 27(1): 263-266.

[7] 夏军, 陈中. 数据网格化处理在地形分析中的精度比较[J]. 水运工程, 2016(7): 16-21.

XIA J, CHEN Z. Comparison of data grid processing's accuracy in terrain analysis [J]. Port & waterway engineering, 2016(7): 16-21.

[8] 戚定满, 王元叶, 万远扬. 长江口北槽深水航道整治工程贮泥坑抛泥过程监测分析[J]. 水运工程, 2013(11): 43-48.

QI D M, WANG Y Y, WAN Y Y. Field measurement for dumped sediment transport at disposal zone of the Yangtze estuary deep navigation regulation project [J]. Port & waterway engineering, 2013(11): 43-48.

[9] 高源, 高鑫, 苏东升, 等. 基于 BIM 技术的内河航道设计模块研发与应用[J]. 水运工程, 2025(8): 202-208.

GAO Y, GAO X, SU D S, et al. Research and application of inland waterway design module based on BIM technology [J]. Port & waterway engineering, 2025(8): 202-208.

[10] 许鹏, 唐晓峰, 李阳, 等. 基于 FVCOM 的长江口预选倾倒区抛泥扩散数值模拟 [J]. 应用海洋学学报, 2022, 41(3): 483-490.

XU P, TANG X F, LI Y, et al. Numerical modeling of dredged material spread in candidate dumping areas in Changjiang Estuary based on FVCOM [J]. Journal of applied oceanography, 2022, 41(3): 483-490.

(本文编辑 赵娟)

(上接第 222 页)

[9] 张荣兴, 张德晖, 黄文城, 等. 毛竹竹箨顺横纹抗剪性能的试验[J]. 东北林业大学学报, 2021, 49(4): 66-70.

ZHANG R X, ZHANG D H, HUANG W C, et al. Straight lines and horizontal lines shear resistance capability of bamboo roots [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2021, 49(4): 66-70.

[10] 刘杰, 巴蕾, 刘宁, 等. 灌注桩墙与重力式结构组合体系在码头升级改造中的应用[J]. 水运工程, 2022(S1): 101-108.

LIU J, BA L, LIU N, et al. Application of composite system of cast-in-place pile wall and gravity structure in wharf upgrading and reforming [J]. Port & waterway engineering, 2022(S1): 101-108.

[11] 建筑基坑支护技术规程: JGJ 120—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.

Technical specification for retaining and protection of building foundation excavations: JGJ 120-2012 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.

(本文编辑 王璁)