



基于 MATLAB 的耙吸船施工方案 优化软件的应用

赵丽娜¹, 冯 晨², 吴永彬³, 杨正军⁴

(1. 中交天航港湾建设工程有限公司, 天津 300450; 2. 中交天津航道局有限公司, 天津 300461;
3. 中交海洋建设开发有限公司, 天津 300457; 4. 天津市疏浚工程技术企业重点实验室, 天津 300457)

摘要: 针对耙吸船在浚挖水深较小、疏浚量较大、运距较远的航道作业时常常要浪费大量时间候潮的问题, 开发基于 MATLAB 的耙吸船减载或候潮施工方案优化软件。该软件根据施工海域潮汐情况, 预测耙吸船在候潮施工和减载施工 2 种工况下的生产率, 从中选择更为高效的施工方案。同时, 该软件可以精准计算挖泥时间, 为施工人员提供更为合理的参考, 在保障耙吸船安全施工的同时提高船舶施工效率。研究成果成功应用于马来西亚槟城吹填造地工程中, 使施工周期缩短 10%, 生产率提高 7%。

关键词: 耙吸船; MATLAB; 候潮; 减载

中图分类号: U 616

文献标志码: B

文章编号: 1002-4972(2021)08-0225-05

Application of construction scheme optimization software based on MATLAB for trailing suction hopper dredger

ZHAO Li-na¹, FENG Chen², WU Yong-bin³, YANG Zheng-jun⁴

(1.CCCC Tianhang Harbor Engineering Co., Ltd., Tianjin 300450, China; 2.CCCC Tianjin Dredging Co., Ltd., Tianjin 300461, China;
3.CCCC Marine Construction & Development Co., Ltd., Tianjin 300457, China; 4.Tianjin Key Laboratory for
Dredging Engineering Enterprises, Tianjin 300457, China)

Abstract: Trailing suction hopper dredgers(TSHD) always waste a lot of time to wait for tide when dredging channels with shallow water, large dredging volume, and longer hauling distance, thus we develop the construction scheme optimization software based on MATLAB for the TSHD. It can predict the efficiency of the TSHD under working conditions of waiting tide and relieving load according to the tidal situation of the construction sea area and choose a more efficient construction scheme. Furthermore, it can calculate the excavation time and thus provide more reasonable references for the construction personnel. It can not only ensure safe construction but also promote the construction efficiency of the TSHD. The research result has been successfully applied to the land reclamation works of Penang City, Malaysia, with the construction period shortened by 10% and productivity increased by 7%.

Keywords: trailing suction hopper dredger(TSHD); MATLAB; waiting for tide; relieving load

随着经济的快速增长, 疏浚技术突飞猛进, 世界各国的疏浚施工需求不断上升, 疏浚量巨大^[1]。耙吸式挖泥船因其具有自航、自挖、自载、自抛和自吹的性能, 调遣方便, 且在施工中对在

航道中的其他船舶航行影响较小, 成为目前疏浚界的主力施工船型。近年来, 随着施工环境越来越复杂, 常常出现航道水深很小、疏浚量较大、运距较远的情况, 这给大型耙吸式挖泥船的施工

带来了巨大的挑战，如若处理不当船舶即有搁浅的危险。通常这种工况下耙吸船有 2 种施工方案可选择：一是候潮施工，船舶取砂时装至最大吃水，等待潮水满足通航要求时进港吹填；二是减载施工，不装满泥舱就停止施工，待到抛泥或吹填后再进行下一船的施工。无论采用上述哪种施工方案，挖泥时间的确定都十分重要。它一方面关系到船舶自身的安全，另一方面关系到船舶产能的释放。如何能既安全又高效地进行施工是面对这种工况亟需解决的问题。

近年来，对于耙吸挖泥船在这种水深较浅的航道中的施工工艺，国内一些学者进行了分析研究：冯志方等^[2]通过分析潮汐、水深条件、耙吸船特性、施工工艺等要素，确定航道上线里程，保障船舶安全；黎汉庭等^[3]以肯尼亚蒙巴萨港油码头项目为例，分析了大型耙吸挖泥船在超浅水港池疏浚施工过程中采取的多种施工方法，论证了万方耙吸挖泥船超浅水施工的相关工艺；鲁运会等^[4]通过优化自航耙吸船浅水航道施工工艺，解决了耙吸船在浅水航道中边通航边施工的问题。

以往的研究主要对单一施工方案进行分析，没有方案比选的过程，也没有考虑怎样能使船舶产能达到最大，参数的确定也往往仅凭经验。本文基于 MATLAB 软件对耙吸挖泥船候潮还是减载施工进行方案比选，能够精准计算船舶的挖掘土方量、挖泥时间、周期生产率等参数，既保障船舶安全又提高了生产率。

1 计算公式及软件主要功能

1.1 基本原理

通过实际试挖统计平均过泵效率，总结过泵量与土方量的关系，确定溢流损失或有效装舱量。计算减载施工时，通过设定的下耙时间点，推算船舶抵达航道时的潮位，确定最大允许装载吃水对应的土方量，并逐步增加挖泥期间，循环计算直至挖泥时间与装载土方量匹配，确定减载施工方案对应的最佳挖泥时间等参数。候潮施工方案，直接以满载吃水确定挖泥时间。

1.2 主要公式

1.2.1 减载施工

$$G = G_{\text{排}} - G_{\text{空}} \quad (1)$$

$$q = \frac{\frac{G}{C} - \rho_w}{\rho_0 - \rho_w} C \quad (2)$$

$$t_{\text{挖泥}} = \frac{q}{(1-\lambda)} \quad (3)$$

$$t_{\text{航}} = \frac{l}{v} \quad (4)$$

式中： G 为船舶装载量 (t)； $G_{\text{排}}$ 为船舶排水量 (t)，由船舶吃水求得； $G_{\text{空}}$ 为空船质量 (t)； q 为泥舱装载土方量 (m^3)； C 为设定舱容 (m^3)； ρ_w 为水的密度 (t/m^3)； ρ_0 为原状土密度 (t/m^3)； $t_{\text{挖泥}}$ 为挖泥时间 (h)； λ 为溢流损失 (%)； η 为过泵效率； $t_{\text{航}}$ 为航行时间 (h)； l 为航行里程 (nm)； v 为航速 (kn)。

首先预设一个挖泥时间，潮位取下耙时间往后推(挖泥时间+航行时间)的潮位值，然后按照上述公式循环至土方量最大。

1.2.2 候潮施工

候潮施工方案直接以满载吃水确定挖泥时间。

$$q_{\text{候潮}} = \frac{G}{\rho_0} \times 95\% \quad (5)$$

式中： $q_{\text{候潮}}$ 为候潮施工方案中泥舱装载土方量 (m^3)。

由土方量可根据公式(4)计算出挖泥时间。此时船舶满载施工，可由船舶性能表查出对应的满载吃水，按照下面公式计算所需潮位值：

$$h_{\text{潮位}} = h_{\text{满载}} + h_{\text{富余}} - h_{\text{航道}} \quad (6)$$

式中： $h_{\text{潮位}}$ 为所需的潮位值 (m)； $h_{\text{满载}}$ 为船舶满载吃水 (m)； $h_{\text{富余}}$ 为富余水深 (m)； $h_{\text{航道}}$ 为航道水深 (m)。因此候潮时间 $t_{\text{候潮}}$ 为挖泥结束后至潮位达到 $h_{\text{潮位}}$ 所对应的时间。

1.2.3 周期生产率

$$t_{\text{吹填}} = \frac{q}{\theta} \quad (7)$$

$$t_{\text{周期}} = t_{\text{挖泥}} + t_{\text{重载}} + t_{\text{轻载}} + t_{\text{拆}} + t_{\text{吹填}} + t_{\text{候潮}} \quad (8)$$

$$W = \frac{q}{t_{\text{周期}}} \quad (9)$$

式中: $t_{\text{吹填}}$ 为吹填时间(h); θ 为吹填效率; $t_{\text{周期}}$ 为周期时间(h); $t_{\text{重载}}$ 为重载航行时间(h); $t_{\text{轻载}}$ 为轻载航行时间(h); $t_{\text{拆接}}$ 为拆接管时间(h); W 为周期生产率(t/m^3)。

按上述公式分别计算减载施工和候潮施工的周期生产率, 选择生产率较大的施工方案进行施

工, 并得到相应的参数。

1.3 软件界面

该软件的界面如图 1 所示。首先引入潮汐数据, 然后根据使用船舶初步设定基本施工参数, 软件会自动比选施工方案并计算减载施工和候潮施工对应的施工参数。

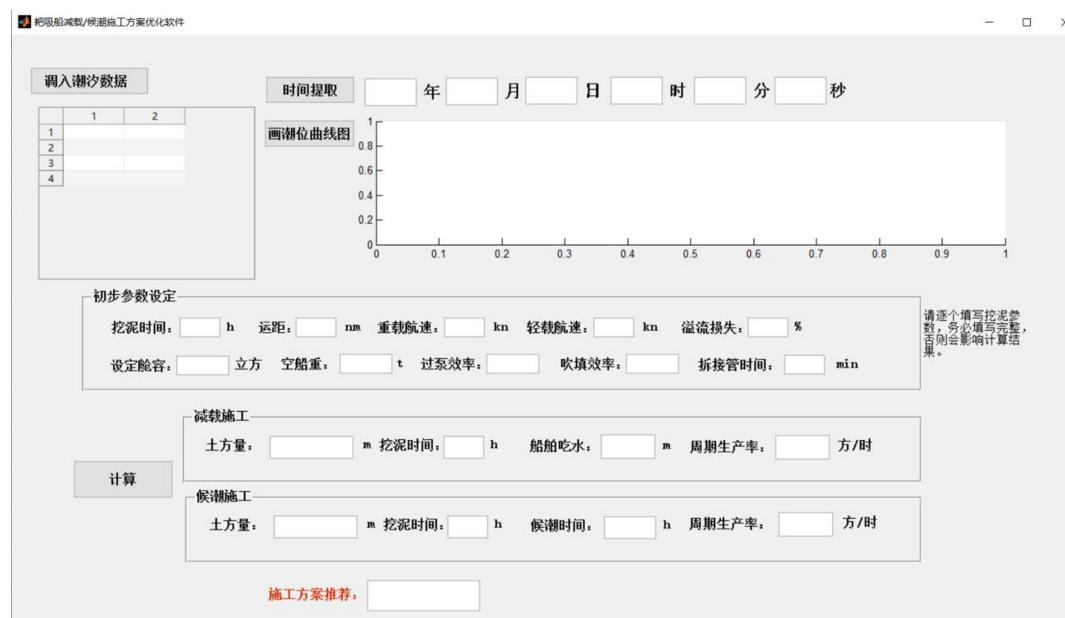


图 1 软件界面

2 工程实例

2.1 工程概况

马来西亚槟城吹填工程为典型的深海、远海取砂吹填工程。该工程须自行实施砂源探测, 砂源区位于 130 km 以外的远海区域, 水深 60 m 以

上, 主要为中粗砂。“通途”轮舱容 2 万 m^3 , 右耙装有水下泵, 设计最大挖深 90 m, 满载吃水深度为 11.3 m, 途经设计通航水深 11.0 m、实际通航水深 10.5 m 的槟港北航道时, 存在搁浅或触底的风险。“通途”轮性能参数见表 1。

表 1 “通途”轮性能

船长/m	型宽/m	型深/m	设计空载吃水/m	满载吃水/m	舱容/万 m^3	装载量/万 t	主机功率/kW	设计航速/kn	设计挖深/m
165.7	30	15	6.3	11.3	2.1	3	8 700×2	15.04	35~85

2.2 施工参数分析

由于运载航线上浅区的存在, 船舶需要候潮通过浅区, 整体施工周期延长。选取“通途”轮 2017 年 1 月 1—5 日在 J 区取砂的统计资料可知, J 区距离施工区约 145 km; 受潮水影响, 挖吹平

均时间为 6.92 h, 重载航行平均时间 8.38 h, 轻载航行平均时间 5.49 h, 候潮平均 4.57 h; 船舶施工周期平均 25.36 h, 每船次装载土方量约 1.2 万 m^3 , 周期生产率平均为 475 m^3/h (表 2)。

表 2 2017 年 1 月 1—5 日施工数据

日期	挖吹时间/h	重载航行时间/h	轻载航行时间/h	候潮时间/h	施工周期/h	周期生产率/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)
1月1日	7.32	7.50	5.69	2.16	22.67	522.3
1月2日	7.16	8.51	5.73	3.70	25.10	478.1

续表2

日期	挖吹时间/h	重载航行时间/h	轻载航行时间/h	候潮时间/h	施工周期/h	周期生产率/(m ³ ·h ⁻¹)
1月3日	6.08	9.02	5.42	4.93	25.45	471.5
1月4日	6.63	9.10	5.47	5.64	26.84	447.1
1月5日	7.41	7.77	5.14	6.42	26.74	448.8
平均	6.92	8.38	5.49	4.57	25.36	475.0

2.3 成果应用

“通途”轮满载吃水 11.3 m, 而槟港北航道水深 10.5 m, 为满足船舶通航要求, “通途”轮通过航道时须保证 1.5 m 的富余水深。马来西亚槟城项目取砂区为不规则半日潮, 必须将潮位的动态变化与船舶装载量和挖泥时间密切结合起来, 分析选择减载施工或候潮施工, 即根据船舶进港的潮位确定适宜的船舶装载量, 控制船舶吃水, 或船舶取砂时

装至最大吃水, 等待潮水满足通航要求时进港吹填。由于潮位、挖泥时间、装载量、船舶吃水的动态变化, 难以通过人工推算针对每一船进行分析计算, 因此通过分析确定各参数间的逻辑关系, 联系相应数学模型, 编制相应的施工优化软件, 通过计算机动态推演分析比选 2 种方案的周期生产率, 确定最佳方案以及相应的施工参数, 并在软件界面上输出, 指导船舶施工(图 2)。

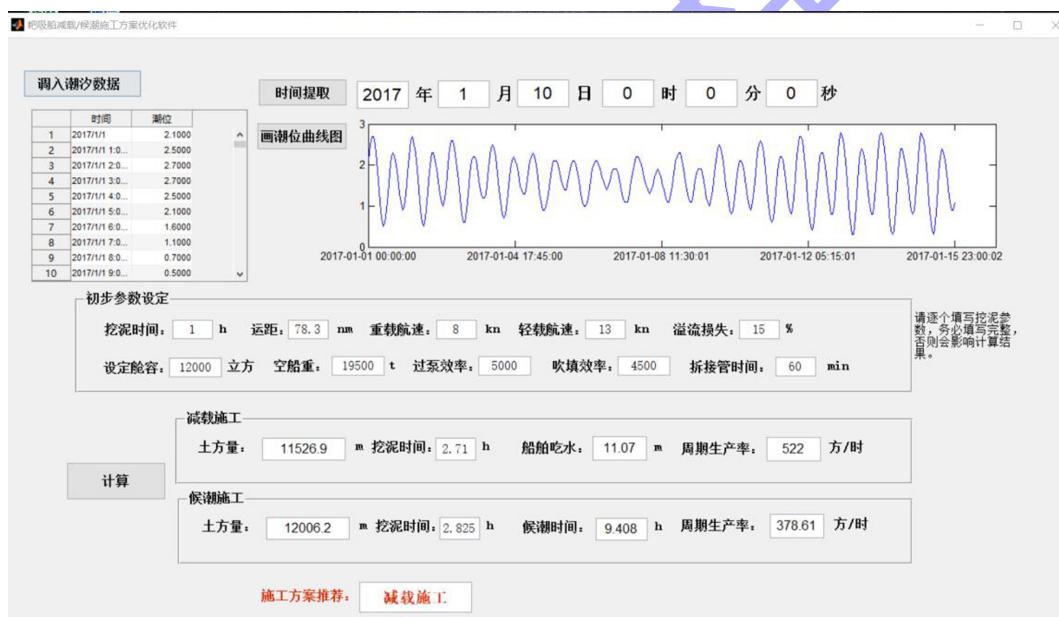


图 2 应用软件进行方案比选

应用该软件对 2017 年 1 月 10—14 日的施工方案进行优化, 按照软件比选出的方案进行施工,

得到的施工数据见表 3。

表 3 采用软件比选的施工方案

船次	时间	施工方案	候潮时间/h	施工周期/h	装舱量/万 m ³	周期生产率/(m ³ ·h ⁻¹)
1	1月10日 T00:00	减载施工	0	22.20	1.15	519.2
2	1月10日 T22:12	减载施工	0	22.20	1.16	523.7
3	1月11日 T20:24	候潮施工	4.00	26.30	1.20	456.3
4	1月12日 T22:42	候潮施工	1.70	24.00	1.20	500.0
5	1月13日 T22:42	候潮施工	2.20	24.50	1.20	489.8
平均			1.58	23.84	1.18	497.8

如不采用软件优化, 通常选择候潮施工, 结果见表 4。

表 4 采用候潮方案施工

船次	时间	候潮时间/h	施工周期/h	装舱量/m ³	周期生产率/(m ³ ·h ⁻¹)
1	1月10日T 00:00	9.40	31.20	1.2	384.6
2	1月11日T 07:12	2.93	25.20	1.2	476.2
3	1月12日T 08:24	2.35	24.70	1.2	485.8
4	1月13日T 09:06	2.30	24.60	1.2	487.8
5	1月14日T 09:42	2.35	24.70	1.2	485.8
平均		3.87	26.08	1.2	464.0

比选软件完成 5 个船次, 能够准确预测出每一船次的施工情况(排除突发情况干扰), 施工周期平均 23.84 h, 周期生产率平均 497.8 m³/h。采用常规候潮方案施工完成 5 个船次, 施工周期平均 26.08 h, 周期生产率平均 464 m³/h, 而且推演的时间段在月初, 潮位相对较高。如果在每个月的中下旬, 潮位较低, 船舶依然采用候潮施工, 则候潮时间可达数十小时甚至更多。进一步比较可以发现, 应用软件前后, 施工周期缩短了近 10%, 周期生产率提高了 7%。

施工方案比选计算软件能够根据施工海域潮汐情况有效预测候潮施工和减载施工的周期生产

率, 为施工人员提供更为合理的参考, 有利于工程进度的把控和施工效率的提升。

3 结论

1) 基于 MATLAB 的耙吸船施工方案优化软件对耙吸挖泥船候潮还是减载施工进行方案比选, 能够有效缩短耙吸船的施工周期, 提高生产效率。

2) 研究成果已经应用于马来西亚槟城吹填工程中并取得较好结果, 施工周期缩短 10%, 生产率提高 7%。该成果对施工参数的控制以及确保船舶安全运转具有指导意义。

参考文献:

- [1] 李铭志, 何炎平, 黄超. 超大型绞吸挖泥船泥沙输送系统优化设计[J]. 水运工程, 2017(2): 166-172.
- [2] 冯志方, 李志新, 罗华锐, 等. 耙吸挖泥船浅窄航道施工技术[J]. 水运工程, 2020(11): 119-122.
- [3] 黎汉庭, 简多荣. 浅谈万方耙吸挖泥船超浅水施工工艺[J]. 珠江水运, 2020(4): 62-63.
- [4] 鲁运会, 李涛. 自航耙吸挖泥船浅水航道施工工艺研究[J]. 中国水运, 2020(6): 108-110.

(本文编辑 郭雪珍)

(上接第 224 页)

4 结论

1) 通过对码头结构选型和防波堤护面结构优化, 减少了大型水工施工设备的投入, 增加可实施性, 保证施工质量和结构安全; 通过对疏浚施工工艺优化, 创造了大型挖泥船的连续施工条件, 加快施工进度, 保证工程按期完工。

2) 总平面布置优化在使码头运营更便利高效的同时, 加快了施工进度, 降低工程成本, 提高经济效益, 同时为港区发展拓展了潜力。

参考文献:

- [1] WORLEY W. Ma'aden project infrastructure, port design and construction-scope of work[R]. Riyadh: Worley Parsons, 2006.
- [2] BECHTEL. Ras az Zawr feasibility study for port port facility[R]. Riyadh: Bechtel, 2004.
- [3] PARSONS W. Ma'aden Ras az Zawr port environment impact assessment[R]. Riyadh: Worley Parsons, 2006.
- [4] 马代均, 杨林虎. 价值工程理论在沙特扎瓦尔港 EPC 项目中的应用[J]. 珠江水运, 2016(7): 76-77.
- [5] 吕国平, 慈庆玲. 沙特扎瓦尔港口工程无围堰吹填施工工艺[J]. 中国港湾建设, 2014(2): 62-65.

(本文编辑 郭雪珍)