



天津港 30 万吨级航道耙吸船施工工艺优化

刘昊¹, 张亚楠², 秦亮²

(1. 中交天航滨海环保浚航工程有限公司, 天津 300461; 2. 中交天津航道局有限公司, 天津 300461)

摘要: 为提高耙吸船施工生产率、降低施工成本, 分析耙吸船施工数据, 机具性能, 进行土质采样试验, 深入研究并优化耙吸船施工工艺。新的施工工艺实施后, 天津港 30 万吨级航道耙吸船施工生产率提高了 37%, 加快了施工进度, 节约了施工成本。

关键词: 耙吸船; 生产率; 数据分析; 施工工艺

中图分类号: U 616^{+.5}

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)06-0154-04

Optimization of TSHD construction technology in Tianjin Port 300 000 DWT waterway

LIU Hao¹, ZHANG Ya-nan², QIN Liang²

(1. CCCC-TDC Binhai Environmental Channel Dredging Co., Ltd., CCCC Tianjin Dredging Co., Ltd., Tianjin 300461, China;

2. CCCC Tianjin Dredging Co., Ltd., Tianjin 300461, China)

Abstract: To improve the TSHD's construction productivity and reduce the construction cost, we analyze the TSHD construction data, carry out soil sampling test, and optimize the construction technology of TSHD. The implementation of the new construction technology has increased the construction productivity of Tianjin Port 300 000 DWT waterway by 37%, speeded up the construction progress, and cut down the construction cost.

Key words: TSHD; productivity; data analysis; construction technology

1 工程概况

天津港位于天津市塘沽区、海河入海口处, 地处渤海西部海岸中心位置, 地理坐标为北纬 38° 59'08", 东经 117°42'05", 距北京市约 170 km, 距天津市区约 60 km, 是我国最大的人工港。

天津港 30 万吨级航道二期工程位于天津港港区, 在 30 万吨级航道一期工程的基础上进行。工程实施的航道长度约为 35.3 km, 里程为 12+208~47+500。工程量为 2 352.636 万 m³。在 30 万吨级航道一期工程(有效宽度 407 m, 设计底高程 -21.0 m)基础上保持航道轴线不变, 沿已有边坡继续浚深至设计底高程 -22.0 m, 通航底高程 -21.4 m(水深起算为新港理论最低潮面), 航道有效宽度 397 m, 设计边坡坡比 1:5。

本工程航道疏浚范围内基建土质基本为黏质

粉土、密实度较高的砂质粉土及少量淤泥质黏土, 从工程上分级, 属于 5、6 和 10 级土, 少部分 3 级土^[1]。

2 耙吸船航道施工情况

2.1 施工基本数据统计

耙吸船开挖天津港航道 K25+000~31+000 里程段, 采用斜线布线方式双耙施工, 施工 K25+000~31+000 里程两个往返, 下耙深度 22.5 m。各船次施工情况见表 1^[2]。

由表 1 数据可以看出, 12 船次的抽样数据, 平均挖泥时间 4.3 h, 平均吹填时间 1.3 h, 平均每船装舱量 6 966 m³, 平均生产率仅 898 m³/h, 其中生产率最高 939 m³/h, 最低 852 m³/h, 相差 87 m³/h。

收稿日期: 2013-10-08

作者简介: 刘昊(1985—), 男, 工程师, 主要从事疏浚船舶施工工艺研究工作。

表 1 耙吸船各船次施工情况

船次	挖泥时间/ h	吹填时间/ h	总运转时间/ h	装舱量/ m ³	生产率/ (m ³ ·h ⁻¹)
1	4.5	1.3	7.95	7 200	906
2	4.4	1.5	8.05	7 100	882
3	4.3	1.3	7.75	6 900	890
4	4.7	1.2	8.04	7 200	896
5	4.3	1.4	7.89	7 200	913
6	4.3	1.4	7.86	7 100	903
7	4.6	1.3	8.06	7 200	893
8	4.5	1.3	7.93	7 000	883
9	4.6	1.1	7.88	7 400	939
10	2.3	1.4	5.87	5 000	852
11	4.7	1.0	7.84	7 100	906
12	4.4	1.3	7.85	7 200	917
平均	4.3	1.3	7.70	6 966	898

2.2 影响生产率的主要因素分析

1) 耙头内部经常有黏土堵塞 (图 1), 日均 4 ~ 5 次, 清理困难, 耗时长, 同时经过计算得到耙齿入土深度不足 260 mm, 严重影响挖掘量^[3]。



图 1 耙头堵塞现象

2) 耙吸船施工期间, 所有施工工艺参数的制定都是根据经验以及简单观察仪表显示的数值, 没有经过分析优化, 保守地确定工艺参数, 严重制约船舶生产率的提高。

3) 施工中一些施工技巧没能很好地发挥, 中规中矩地执行施工参数, 也一定程度制约了船舶生产率的提高。

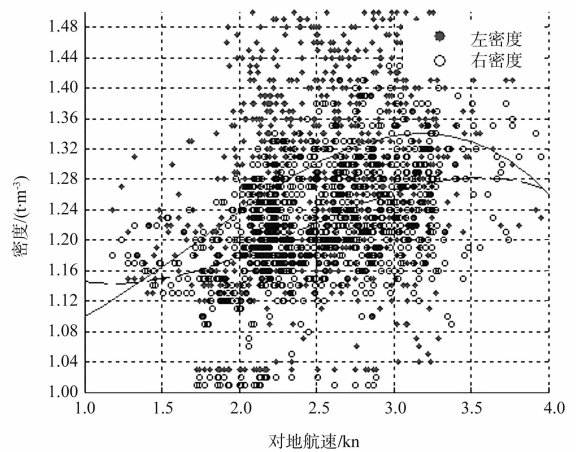
4) 天津港土质对于耙吸船来说, 不容易装舱, 溢流损失较为严重。

3 解决方案

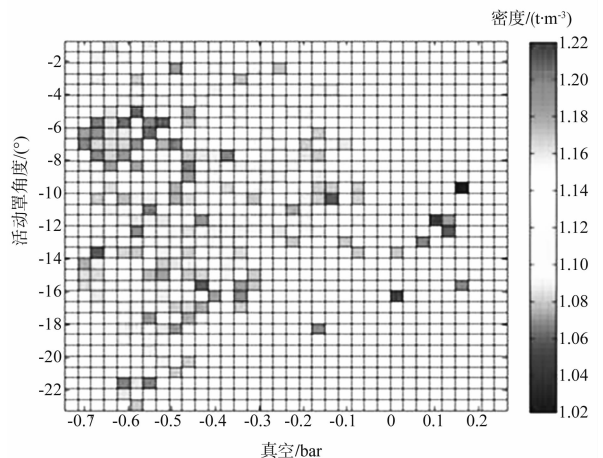
1) 针对耙头容易堵塞以及耙齿入土深度较浅现象, 及时更换了两个最新研制的耙头, 该耙头

耙腔内相对于旧耙头多了一排高压冲水。在施工时开启高压冲水, 能将泥块打散打碎, 很好地解决了堵耙现象。另外, 新耙头的齿床角度放大, 增加了耙齿入土深度, 有效提高生产率。

2) 施工参数的施工工艺水平较低, 一些主要的施工参数没有很好优化, 针对这种情况, 需要对主要的施工参数进行分析优化, 在分析其中的任何几个施工参数前, 都要固化其它的施工参数, 也就是边界条件相同的情况下, 才能找出最优的参数组合^[4]。固化是相互的, 这样才能得到较好的一组施工参数。针对天津港航道工程, 需要确定对地航速和密度、流速的关系, 固化泥泵转速、高压冲水压力、波补压力等相关参数, 这样通过寻优分析, 在认为土质变化不大的前提下确定出较好的对地航速, 能产生较高的产量^[5] (图 2)。



a) 航速与密度曲线



b) 多参数综合分析

图 2 主要施工参数的寻优分析

3) 针对“施工工艺水平较低,一些技巧没有被运用”问题,天津港航道耙吸船运用了提升泥泵吸入能力的技巧,耙吸船开始施工时,因为船舶吃水较小,泥泵与水平面距离较近,静水压力较小,因此,采用前舱加压载水的技巧,增加船舶吃水,提高静水压力,提升泥泵的吸入能力,增加真空度,原理如下^[6]:

$$P_s = P_{atm} + \rho_f g h_{s,pipe} - \rho_m g (h_{s,pipe} - h_{s,pump}) - \rho_f g H_{totloss,S,m} - \frac{\rho_f v_s^2}{2} \quad (1)$$

式中: P_s 为泥泵绝对吸压 (Pa); P_{atm} 为标准大气压 (Pa); ρ_f 为海水密度 (kg/m^3); $h_{s,pipe}$ 为吸口至水面距离 (m); ρ_m 为泥浆密度 (kg/m^3); $h_{s,pump}$ 为泥泵中心线距水面距离 (m); $H_{totloss,S,m}$ 为吸入管路阻力消耗水头 (m); v_s 为吸入管路混合物流速 (m/s)。泥泵原理见图 3。

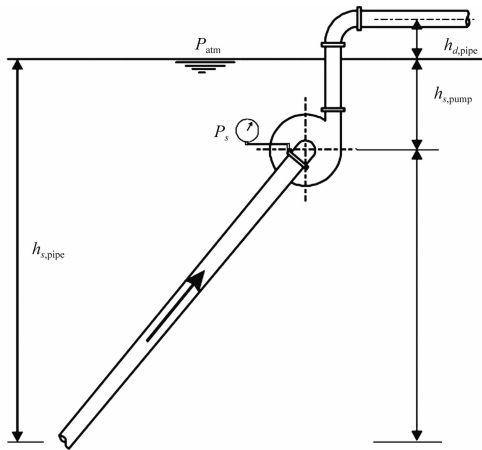


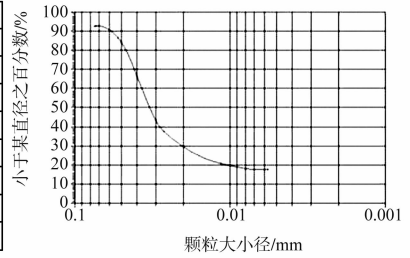
图3 泥泵原理

4) 土质难以沉淀,装舱困难,对土质进行颗粒分试验^[7]。

根据颗粒分析试验结果(图4),确定耙吸船

施工时各个挖泥时期的控制方式^[8]:

粒径/mm	占比/%
20~>2	
2~>0.5	
0.5~>0.25	
0.25~>0.075	7.5
0.075~>0.05	8.4
0.05~>0.01	64.5
0.01~>0.005	1.2
≤0.005	18.4



注:平均粒径 $d_{50}=0.033\text{ mm}$,界限粒径 $d_{60}=0.037\text{ mm}$ 。

图4 颗粒分析试验级配

1) 挖泥初期:是指从开始装舱到满舱,即从泥浆液面到达溢流液面。这一阶段,所有疏浚物料和水都留在舱内,过泵量等于装舱量,所以这一阶段的装舱应采用前装舱、高浓度、高流量的装舱方式,尽快建立起土方量。

2) 挖泥中期:是指从满舱开始溢流到装舱土方量没有显著增加(也就是装舱曲线的最佳装舱点)。这一阶段中,进舱泥浆密度大于溢流泥浆密度,随着时间推进,泥舱中土方量沉积面逐渐抬高,这一阶段的装舱应采用四角装舱、高浓度、较低流量的装舱方式,适当控制过流速对舱内的搅动。

3) 挖泥后期:泥舱中沉积泥面抬高到一定程度,泥面上流速很大,除了泥浆中部分沉降的颗粒外,沉积土的上层发生冲刷,溢流损失急剧增加,进舱泥浆密度略大于溢流泥浆密度,土方量上涨缓慢。这一阶段的装舱应采用后装舱、高浓度、低流量的装舱方式,严格控制流速对舱内的搅动。

4 前后效果对比

经过工艺优化,耙吸船的施工生产率有了大幅度提高,施工数据见表2。

表2 优化后施工数据

船次	挖泥时间/h	吹填时间/h	挖泥航速/kn	左泥泵转速/($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	右泥泵转速/($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	左活动罩角度/($^\circ$)	右活动罩角度/($^\circ$)	生产率/($\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$)
1	2.2	1.0	2.9	133	133	-2	0	1 247
2	2.3	1.1	2.8	134	135	-2	1	1 211
3	2.1	1.0	3.1	133	133	1	3	1 350
4	2.4	0.8	3.2	135	134	0	2	1 270
5	2.5	0.9	2.9	135	135	-1	-2	1 110
6	2.0	1.1	3.1	135	135	-2	1	1 213
7	2.1	1.0	2.9	132	133	-1	-1	1 200
平均	2.2	1.0	3.0	134	134	-1	0.6	1 228

耙吸船平均生产率由原来的 $898 \text{ m}^3/\text{h}$ 提高到 $1\,228 \text{ m}^3/\text{h}$, 提高了 37%。从表 2 数据来看, 施工周期和施工参数的变化幅度较大, 也是生产率提高的主要因素。

5 结论

随着疏浚耙吸船施工的增多, 优化耙吸船施工工艺的必要性越发明显。从分析耙吸船施工数据、进行土质采样试验、分析机具性能等方面深入研究耙吸船施工工艺, 可提高耙吸船生产率、降低施工成本。

1) 施工砂土较密实时, 机具的性能要深入研究, 充分保障其能力。

2) 施工砂土颗粒较细时, 应按照挖泥初期、挖泥中期、挖泥后期分阶段控制泥泵流量、装舱口的开启顺序。

参考文献:

- [1] JTJ 319—1999 疏浚工程技术规范[S].
- [2] 马长宏. 青岛前湾三期 1# ~ 2# 泊位疏浚工程施工工艺分析与探讨[D]. 南京: 河海大学, 2005.
- [3] 刘厚恕. 国外挖泥船发展新态势[J]. 船舶, 2009(6): 7-13.
- [4] 王培胜, 江万, 陈伟里, 等. 耙吸挖泥船施工产量优化的原理和方法[J]. 中国港湾建设, 2004(5): 8-24.
- [5] 林吉良. 耙吸式挖泥船疏浚仿真[D]. 常州: 河海大学疏浚实验室, 2004.
- [6] Wangli D. Intelligent data analysis and control of a hopper dredger[M]. Netherlands: Delft University of Technology, 2006: 42-169.
- [7] 林风, 史美祥, 寿顺宝, 等. 耙吸挖泥船溢流土方量测定方法研究[J]. 水运工程, 2000(12): 35-41.
- [8] 李云旺, 王玉铭. 耙吸挖泥船溢流损失的分析[J]. 船舶, 2005(6): 16-22.

(本文编辑 武亚庆)

(上接第 145 页)

3 结语

1) 对于标准叉桩来说, 无论是压桩 D 还是拉桩 Z , 桩身通常仅受轴向力的作用; 而对于非标准叉桩而言, 桩身除受到轴向力作用外, 还受到桩顶切向力的作用。

2) 由于非标准叉桩在桩顶切向力作用下桩身产生弯矩和剪力, 因此, 对于非标准叉桩来说, 除需进行桩基承载力复核外, 还需进行桩身截面抗弯和抗剪强度复核。

3) 根据算例 1 和算例 2, 在拉杆拉力 R 、桩帽上垂直力 W 以及叉桩的斜度 α_D 和 α_Z 均相同的条件下, 非标准叉桩的轴向力较标准叉桩的轴向力明显减小, 尤其是后斜桩 Z , 其受力状态有可能发生由拉桩变为压桩的受力 ($N_Z > 0$ 为拉桩, $N_Z < 0$ 为压桩)。

4) 本文侧重对非标准锚碇叉桩的结构受力进行分析, 并对非标准叉桩轴向力 N_D 和 N_Z 以及桩顶切向力 H_D 和 H_Z 的计算式进行推导, 由于以上公式

的推导是以锚碇叉桩与桩帽呈铰接为基本假定的, 因此, 本文所推导的叉桩轴向力和桩顶切向力计算式仅适用于锚碇叉桩与桩帽为铰接的情况。此外, 由于标准叉桩为非标准叉桩的一种特殊工况, 因此, 公式(15) ~ (19)和公式(20) ~ (23)同样适用于标准叉桩的内力计算。

参考文献:

- [1] JTS 167-3—2009 板桩码头设计与施工规范[S].
- [2] 江祖铭, 王崇礼. 墩台与基础(公路桥涵设计手册)[M]. 北京: 人民交通出版社, 1991.
- [3] 许庆春. 理论力学[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [4] JTJ 254—1998 港口工程桩基规范[S].
- [5] 韩理安. 港口水工建筑物[M]. 北京: 人民交通出版社, 2008.
- [6] 顾民权. 海港工程设计手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 1997.

(本文编辑 武亚庆)