



烟台港龙口港区 27[#]~29[#] 通用泊位 疏浚工程绞吸船施工工艺优化

张亚楠¹, 刘昊²

(1. 中交天津航道局有限公司, 天津 300461; 2. 中交(天津)疏浚工程有限公司, 天津 300450)

摘要: 烟台港龙口港区 27[#]~29[#] 通用泊位疏浚工程土质主要为起球的黏性土, 混有少量粗砂, 绞吸船在施工时受黏土起球及黏性等影响, 容易出现堵管、绞刀糊堵、输送困难等情况, 施工作业关键参数波动幅度较大, 作业人员操作控制难度高, 平均生产效率低。重点围绕绞吸船的挖掘和输送分析, 确定关键施工参数, 优化施工工艺, 指导作业人员施工。优化后的施工工艺使烟台港龙口港区 27[#]~29[#] 通用泊位疏浚工程绞吸船施工产能提高 20% 以上, 节约了施工成本。

关键词: 黏性土; 绞吸船; 粗砂; 输送; 挖掘

中图分类号: U616

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)01-0226-04

Optimization of cutter suction dredger construction process for dredging project of general berths 27[#]~29[#] in Longkou Port Area of Yantai Port

ZHANG Yanan¹, LIU Hao²

(1. CCCC Tianjin Dredging Co., Ltd., Tianjin 300461, China;

2. Tianjin International Marine Engineering Co., Ltd., Tianjin 300450, China)

Abstract: The soil quality of the dredging project for the 27[#]~29[#] general berths in the Longkou Port Area of Yantai Port is mainly composed of cohesive soil mixed with a small amount of coarse sand. During the construction of this soil quality, the cutter suction dredger is affected by clay pilling and viscosity, which can easily lead to pipe blockage, cutter sticking, and transportation difficulties. The fluctuation of key parameters in the construction operation is large, and the operators control are difficult, resulting in low average production efficiency. This article focuses on the excavation and transportation analysis of cutter suction dredger, determining key construction parameters, optimizing construction processes, and guiding operators in construction. The optimized construction process has increased the construction capacity of the cutter suction dredger for the general berths 27[#]~29[#] in the Longkou Port Area of Yantai Port by more than 20%, saving construction costs.

Keywords: clay; cutter suction dredger; coarse sand; transportation; cut

1 工程概况

烟台港龙口港区 27[#]、28[#]、29[#] 通用泊位工程位于山东半岛西北岸、渤海莱州湾东侧之龙口湾内, 3 个泊位岸线连续布置在 24[#]、25[#]、26[#] 泊位

背侧, 成为龙口港中港区规划中的第一批泊位。

工程分为港池泊位疏浚和基槽疏浚, 港池泊位疏浚面积 47.34 万 m², 基槽疏浚面积 6.60 万 m²。工程量分别为 413.31 和 147.37 万 m³, 设计疏浚

收稿日期: 2023-04-27

作者简介: 张亚楠 (1986—), 女, 高级工程师, 从事疏浚科学研究和管理等工作。

深度为-16.0 m, 边坡坡比为 1:5。泊位长 769 m、宽 65 m。港池为不规则形状, 其东西向最长距离为 895 m, 南北向最长距离为 887 m。

根据工程范围内的钻孔资料显示, 5 级黏性土占比 68.4%, 可塑偏硬塑状态, 黏性较大, 塑性指数大于 17, 标贯击数 15 击, 硬度中等。8 级粗砂占比 18%, 标贯击数 8.4~12.8 击, 平均标贯击数 9.4 击, 饱和, 稍密^[1]。

2 绞吸船施工情况

2.1 设备性能及吹距

工程采用绞吸船“天柏”船施工, 该船舶总装机功率 12.6 MW, 绞刀功率 1.4 MW, 泥泵流量 1.10 万 m³/h, 泥泵扬程 58 m, 最大挖深 28 m。

3 施工工艺优化

3.1 泥泵与管路输送

工程土质黏性大, 成球直径 15~30 cm 较大(图 2), 黏土球在管线的底部流动^[2], 与管壁形成的摩擦力具有极大的输送阻力, 输送极为困难, 施工作业时出现堵管现象(图 3)。为更好地了解输送规律及控制堵管风险, 开展输送分析研究, 确定施工浓度、流速等关键施工参数。



图 2 成球的黏土

工程吹填管线长度共 4 370 m, 管径 800 mm, 其中水上管线长度 800 m, 水下管线长度 1 770 m, 陆地管线长度 1 800 m。

2.2 施工工艺及参数

绞吸船施工作业时, 采用三泵串联施工, 挖宽 100 m、挖深-16 m, 采用台阶法分 3 层开挖, 见图 1。主要施工参数控制见表 1。

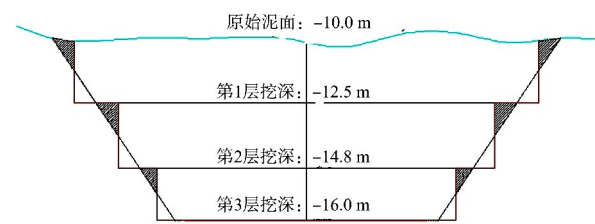


图 1 挖泥分层

表 1 绞吸船施工参数

绞刀转速/(r·min ⁻¹)	真空/kPa	总排压/MPa	浓度/%	流速/(m·s ⁻¹)	前移距/m	分层厚度/m
28	55~85	1.5	10	4.5	正刀 0.7	1.2~2.5



图 3 黏土堵管线

3.1.1 临界流速计算

通过 Zandi 模型计算黏土的临界流速^[3]:

$$v_c = (40C_{vd})^{1/2} g^{1/4} D^{1/2} v_l^{1/2} d^{-1/4} \tag{1}$$

式中: C_{vd} 为浓度, g 为重力加速度, D 为管线直径, v_l 为静水颗粒沉降速度, d 为颗粒粒径。

通过 Zandi 模型计算临界流速结果见表 2, 随着浓度的升高, 需要的临界流速也相应提高, 因此施工作业高浓度时尤其应注意堵管风险。

表 2 体积浓度和临界流速的关系

浓度/%	8.46	11.21	13.97	16.73	19.49	22.25	25.01	27.77
临界流速/(m·s ⁻¹)	3.66	4.22	4.71	5.15	5.56	5.94	6.30	6.64

3.1.2 泥泵吸入端消耗阻力计算

为进一步分析真空度在不同流速和浓度下的消耗程度，需要计算泥泵吸入端的阻力消耗^[4]，根据达西公式(2)计算出阻力见表 3。

$$H=\lambda \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g}$$
 (2)

式中： H 为扬程， λ 为阻力系数， l 为管线总长， D 为管线直径， v 为流速， g 为重力加速度。

表 3 泥泵吸入端管路阻力

$v/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	泥浆管路损失/m							
	$C_{\text{vd}}=8.46\%$	$C_{\text{vd}}=11.21\%$	$C_{\text{vd}}=13.97\%$	$C_{\text{vd}}=16.73\%$	$C_{\text{vd}}=19.49\%$	$C_{\text{vd}}=22.25\%$	$C_{\text{vd}}=25.01\%$	$C_{\text{vd}}=27.77\%$
0.5	10.50	12.28	13.89	15.38	16.78	18.10	19.37	20.59
1.0	5.73	6.77	7.74	8.64	9.50	10.33	11.12	11.90
1.5	4.24	5.05	5.80	6.52	7.20	7.87	8.51	9.14
2.0	3.58	4.27	4.92	5.54	6.14	6.73	7.30	7.85
2.5	3.27	3.89	4.48	5.04	5.59	6.13	6.65	7.16
3.0	3.14	3.71	4.26	4.79	5.31	5.81	6.30	6.79
3.5	3.13	3.67	4.19	4.69	5.18	5.67	6.14	6.60
4.0	3.21	3.72	4.22	4.71	5.18	5.64	6.10	6.55
4.5	3.35	3.85	4.33	4.80	5.26	5.71	6.15	6.59
5.0	3.55	4.04	4.51	4.96	5.41	5.85	6.28	6.72
5.5	3.81	4.28	4.73	5.18	5.62	6.05	6.48	6.90
6.0	4.10	4.56	5.01	5.45	5.88	6.31	6.73	7.14
6.5	4.44	4.89	5.33	5.77	6.19	6.61	7.02	7.44
7.0	4.82	5.27	5.70	6.12	6.54	6.96	7.37	7.77
7.5	5.24	5.68	6.10	6.52	6.94	7.35	7.75	8.16
8.0	5.69	6.12	6.55	6.96	7.37	7.78	8.18	8.58
8.5	6.18	6.61	7.03	7.44	7.84	8.25	8.65	9.04
9.0	6.71	7.13	7.54	7.95	8.35	8.75	9.15	9.54

3.1.3 作业工况区计算

通过 Durand 模型公式计算作业工况区的管路泥浆水力梯度^[5]：

$$\frac{I_{\text{m}}-I_{\text{f}}}{I_{\text{f}}C_{\text{vd}}}=K_{\text{D}}\left[\frac{v_{\text{m}}^2}{gD(S_{\text{s}}-1)}\frac{\sqrt{gd(S_{\text{s}}-1)}}{V_{\text{t}}}\right]^{-1.5}$$
 (3)

式中： I_{m} 为管路泥浆水力梯度， I_{f} 为管路清水水力梯度， v_{m} 为流速， C_{vd} 为浓度， D 为管路直径， V_{t} 为颗粒沉降速度， S_{s} 为颗粒比重， K_{D} 为模型系数， g 为重力加速度。

计算采用了输送 5%~15% 浓度范围的工况，泥泵的转速控制在额定转速的 95%，三泵串联的状态，施工工况区见图 4，施工工况区范围内的泥泵扬程达到 150 m 以上，对应的流速为 4.4~5.0 m/s，

可以看出黏土的输送阻力较大。

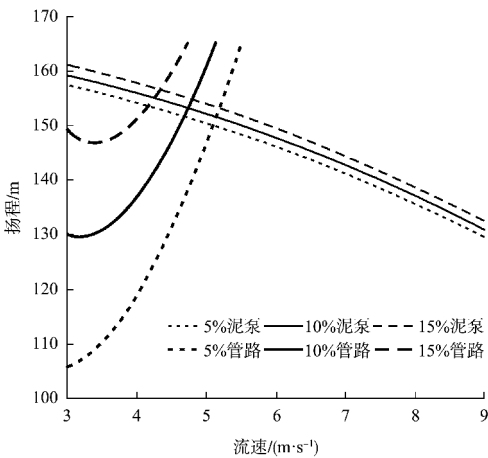


图 4 施工工况区流速-扬程关系

综上,施工流速需控制在 4.7 m/s 以上,浓度控制在 $10\%\sim 15\%$,既满足工况区要求,又能保障泥泵吸入端阻力可控,很好地控制了堵管问题的发生,并提高了施工产量。

3.2 挖掘工艺优化

工程土质黏性大易出现绞刀糊堵情况(图5)。每次绞刀糊堵1次,需 $4\sim 5\text{ h}$ 清理,严重影响了船舶时间利用率。



图5 黏土糊堵绞刀

黏土糊堵绞刀是由于切削过程中泥块过大,无法有效通过刀臂之间的缝隙而造成的。切削泥块的大小与绞刀转速、刀臂数量以及横移速度3个参数有关,绞刀转速越快,切削下的泥块越小,越不容易糊堵绞刀;刀臂数量越多,刀臂之间的缝隙就越小,越容易糊堵绞刀;横移速度越快,切削的泥块越大,越容易糊堵绞刀。因此施工作业时,可以通过增加绞刀转速、降低横移速度以降低糊堵绞刀情况发生,但横移速度的降低也会影响产量,可以通过增加进尺、适当降低分层厚度的方式提高产量。

采用小分层厚度、大进尺的施工作业,将原有的分3层,调整为4层,前3层的分层厚度控制在 2 m 以内,最后1层的分层厚度控制在 1 m 以内,进尺由 0.7 m 增加到 1.2 m ,经过调整,有效解决了黏土糊堵绞刀的问题。

4 效果分析

通过模型计算,对泥泵和管路输送进行工艺优化,确定了合适的施工浓度和流速,将施工浓度由 $8\%\sim 12\%$ 提高到 $10\%\sim 15\%$,施工流速由 4.5 m/s 提高到 4.7 m/s 以上,生产率由原来的 $750\text{ m}^3/\text{h}$ 提高到 $900\text{ m}^3/\text{h}$,提高幅度达到 20% ,提高了施工产量的同时降低了堵管的风险。

通过将分层厚度从原来的 $1.2\sim 2.5\text{ m}$ 调整为 $1.0\sim 2.0\text{ m}$,进尺从原来的 0.7 m 提高到 1.2 m ,绞刀转速由 28 r/min 提高到 30 r/min ,降低了糊堵绞刀的频次,时利率由原来的 60% 提高到 67% 。

5 结论

1) 糊堵绞刀情况发生时,需围绕挖掘施工参数进行优化,采用降低分层厚度、增加进尺的方式解决,辅以提高绞刀转速,降低横移速度,分层厚度不超过 2 m ,进尺可达 1.2 m 。

2) 为降低堵管现象的发生,同时最大化地追求产量,在工程 4 km 距离的吹距下,施工流速控制在 4.7 m/s 以上,浓度控制在 $10\%\sim 15\%$,管线越短,施工浓度可以越高,但流速也要进一步提高。

3) 临界流速的计算公式采用了颗粒在静水中的沉降速度,实际施工过程中为非静水状态,颗粒沉降速度会降低变慢,因此计算出的结果与时间偏于保守,对控制堵管有利。

参考文献:

- [1] 王小弟,陶冲林.新海鳄轮挖吹硬塑性亚粘土施工分析[J].中国港湾建设,2007(6):43-46.
- [2] 郗夏楠.不同雷诺数条件下筒装料管道水力输送的水力特性研究[D].太原:太原理工大学,2012.
- [3] 宁德志.沉降性浆体倾斜管道水力坡度的研究[D].阜新:辽宁工程技术大学,2002.
- [4] 天津航道局.疏浚工程技术规范:JTJ 319—99[S].北京:人民交通出版社,1999.
- [5] 李炜.水力计算手册[M].2版.北京:中国水利水电出版社,2006.

(本文编辑 赵娟)