

· 施 工 ·



华能曹妃甸煤码头工程绞吸船施工工艺优化

刘昊¹, 张亚楠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: 曹妃甸围海造陆吹填工程土质具有颗粒细、吹距长等特点, 绞吸船产能较低, 为提高绞吸船施工产能、降低施工成本, 采用对绞吸船挖掘和输送分析、泥泵气蚀点分析等方法研究绞吸船施工, 优化其施工工艺。优化后的施工工艺使曹妃甸围海造陆吹填工程绞吸船施工产能提高了15%, 节约施工成本的同时也缩短了工期。

关键词: 绞吸船; 施工产能; 输送分析; 气蚀; 施工工艺

中图分类号: U 616+.21

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)05-0213-03

CSD construction process optimization for Huaneng Caofeidian coal terminal project

LIU Hao¹, ZHANG Ya-nan²

(1. CCC-C-TDC Binhai Environmental Channel Dredging Co., Ltd., Tianjin 300461, China; 2. CCC-C Tianjin Dredging Co., Ltd., Tianjin 300461, China)

Abstract: Caofeidian reclamation engineering is characterized by fine grain and long blowing distance, and the production capacity is low. In order to improve the construction productivity and reduce the construction cost, we analyze the CSD mining and transport data, and mud pump cavitation point to study the optimization of the construction technology. By the optimized construction technology, the construction productivity of Caofeidian reclamation land reclamation project is increased by 15%, the construction cost is cut down and the construction period is shortened.

Keywords: CSD; construction productivity; transport analysis; cavitation; construction technology

1 工程概况

1) 曹妃甸港位于渤海湾西岸(图1), 地处唐山市滦南县曹妃甸岛, 毗邻京津冀城市群, 北距唐山60 km, 西距北京210 km、天津110 km, 东距秦皇岛150 km。本工程位于曹妃甸港池岛南侧, 在已建的国投煤码头工程以南、防波堤外侧。本工程造陆区域总面积约131.9 m², 吹填高程5.0 m, 总吹填量1 651.82 万 m³, 吹距10~12.6 km, 吹填至华能煤码头造陆区域, 平均挖泥底高程为-12 m。

2) 土质条件。根据工程区域钻孔资料, -7.95 m 以上为粉细砂, 松散-稍密状, 土质较均匀, 标贯击数≤10, 土质级别为8级; -7.85~-15 m 为粉细砂, 中密状; -13 m 以下为夹粉质黏土薄层, 标贯击数≤30, 土质级别为9级^[1]。



图1 曹妃甸港位置

2 绞吸船施工情况

2.1 施工基本数据

绞吸船施工华能曹妃甸煤码头工程, 吹距为10 792 m (水下管线5 718 m; 陆地管线4 740 m; 水上管线334 m), 挖宽100 m, 挖深-12 m, 分2层开挖, 施工参数统计见表1^[2]。

收稿日期: 2014-07-25

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

表1 绞吸船施工参数

| 绞刀转速/ ($r \cdot \min^{-1}$) | 绞刀 电流/A | 水下泵吸入 真空/bar | 总排 压/bar | 浓度/ % | 流速/ ($m \cdot s^{-1}$) | 横移速度/ ($m \cdot \min^{-1}$) | 前移 距/m | 1#舱内泵 柴油机转速/ ($rad \cdot \min^{-1}$) | 2#舱内泵 柴油机转速/ ($rad \cdot \min^{-1}$) | 水下泵 电机转速/ ($rad \cdot \min^{-1}$) |
|----------------------------------|------------|-----------------|-------------|----------|-----------------------------|----------------------------------|-------------|--|--|---|
| 30 | 80 ~ 120 | 0.55 ~ 0.85 | 16 | 15 ~ 20 | 5.0 ~ 5.2 | 10 ~ 15 | 正刀0.6;反刀0.7 | 920 | 910 | 950 |

2.2 影响生产率的主要因素

通过对船舶施工数据分析和实船调研跟踪, 查找出在华能曹妃甸煤码头施工的绞吸船限制船舶产能发挥的主要因素:

1) 由于土质颗粒极细, 船舶施工时泥泵容易发生气蚀现象, 造成船舶剧烈震动、水下泵排压急剧下降, 出现泥浆短时间断流现象^[3], 影响船舶产能, 而且对泥泵叶轮损坏也较大(图2)。

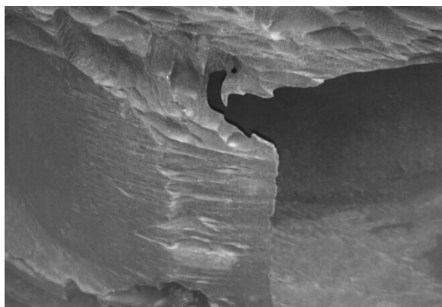


图2 受损伤的叶轮

2) 该工程绞吸船输送是关键问题, 对输送缺少理论计算分析, 过于经验化。

3) 对挖掘生产率的分析过于笼统, 没有深入研究相关因素的影响。

3 解决方案

1) 针对船舶施工时泥泵容易发生气蚀现象, 对泥泵(标称流量 $12\ 000\ m^3/h$, 扬程 $38\ m$, 额定转速 $278\ r/min$) 的吸入性能进行分析, 分别分析了不同浓度、流速下泥泵气蚀临界点。在泥泵转速开到额定转速的90%时, 水下泵吸口前消耗的扬程情况如表2所示^[3]。

绘制泥浆浓度在5%、10%、15%、20%、25%、30%, 流速在 $3 \sim 9\ m/s$ 的气蚀临界点(图3), 图中气蚀余量(NPSH)曲线与各浓度阻力消耗曲线的交点即为气蚀临界点。

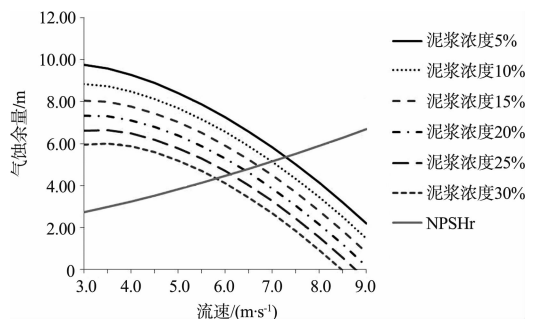


图3 气蚀临界点的判定

表2 不同速度、不同浓度下, 泥泵吸入前端扬程消耗量

| 流速/($m \cdot s^{-1}$) | 扬程消耗量/m | | | | | |
|-------------------------|-----------|-----------|---------------|-----------|------------|------------|
| | 5% | 10% | 15% | 20% | 25% | 30% |
| 3.0 | 9.574 426 | 8.731 163 | 7.987 697 691 | 7.297 063 | 6.640 526 | 6.008 348 |
| 3.5 | 9.277 304 | 8.482 537 | 7.774 897 731 | 7.113 381 | 6.481 633 | 5.871 152 |
| 4.0 | 8.889 183 | 8.129 185 | 7.446 490 968 | 6.804 719 | 6.189 360 | 5.592 870 |
| 4.5 | 8.419 908 | 7.684 786 | 7.019 129 617 | 6.390 247 | 5.785 099 | 5.196 906 |
| 5.0 | 7.875 720 | 7.158 011 | 6.503 370 384 | 5.882 116 | 5.282 411 | 4.698 099 |
| 5.5 | 7.260 767 | 6.554 624 | 5.906 228 469 | 5.288 403 | 4.690 308 | 4.106 308 |
| 6.0 | 6.577 912 | 5.878 603 | 5.232 547 156 | 4.614 682 | 4.015 011 | 3.428 339 |
| 6.5 | 5.829 196 | 5.132 784 | 4.485 777 664 | 3.864 925 | 3.260 954 | 2.669 042 |
| 7.0 | 5.016 115 | 4.319 242 | 3.668 445 597 | 3.042 041 | 2.431 380 | 1.831 965 |
| 7.5 | 4.139 786 | 3.439 530 | 2.782 441 678 | 2.148 205 | 1.528 717 | 0.919 766 |
| 8.0 | 3.201 063 | 2.494 835 | 1.829 209 407 | 1.185 078 | 0.554 819 | -0.065 530 |
| 9.0 | 2.200 610 | 1.486 077 | 0.809 869 887 | 0.153 951 | -0.488 870 | -1.122 340 |

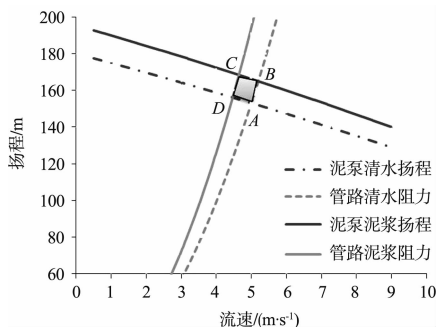
2) 针对缺少输送理论计算分析的问题, 对该工况条件下进行泥泵与管路工况区计算, 形成可参考的工况区范围。

由于工程土质颗粒较细, 可以采用准均匀牛顿流体模型进行计算^[4]:

$$\frac{I_m - I_f}{C_D(S_s - 1)} = \frac{I_m - I_f}{S_m - 1} = I_f \quad (1)$$

式中: I_m 为泥浆水力梯度; I_f 为清水水力梯度; C_D 为颗粒浓度; S_s 为混合物密度; S_m 为颗粒密度。

计算从清水到泥浆的泥泵与管路工况区范围(图4)。



注: ABCD 所围成的阴影区域为绞吸船施工时的输送工况区。

图4 泥泵与管路输送工况区

3) 针对挖掘生产率的分析过于笼统的问题, 进一步分析绞吸船挖泥过程包括的挖掘动作: 横移、换向、进尺、倒桩、倒锚、退收台车、起落桥梁、移船定位。挖掘时间的计算为:

$$\begin{aligned} \text{挖掘时间} = & \sum \text{横移时间} + \sum \text{换向时间} + \\ & \sum \text{进尺时间} + \sum \text{倒桩时间} + \sum \text{倒锚时间} + \\ & \sum \text{退收台车时间} + \sum \text{起落桥梁时间} + \sum \text{移船} \\ & \text{定位时间} - \sum \text{合并动作时间} \end{aligned} \quad (2)$$

对于挖泥层厚度较大的工程, 绞吸船施工一般从定性上考虑为了节省倒桩及移锚时间, 采用每一进步都挖到底层或来回进退台车的小分层施工工艺。根据前面的施工动作分析, 以上施工方法在挖掘施工层面显然一定程度上忽略了起落桥梁速度、退台车速度、不同层的横

移速度、不同层的进尺等因素的影响。在施工区域相同的情况下, 挖掘生产率的大小就决定于不同施工方法的施工总时间, 包括每一进步直接到底、来回进退台车的拉抽屉施工、大分层施工这3种方法。

4 效果分析

经过工艺优化, 绞吸船的施工产能从原来的 $1\,700\text{ m}^3/\text{h}$ 提高到 $1\,950\text{ m}^3/\text{h}$ 。同时, 发生气蚀的现象进一步减少。挖掘和输送的规范研究更好地指导操作人员控制, 施工工况区表明施工流速在 $4.5 \sim 5.2\text{ m/s}$, 扬程最大值为 170 m 。

4 结论

通过分析挖掘和输送、泥泵气蚀点等深入研究绞吸船施工工艺, 可提高施工产能, 节约施工成本, 缩短工期。

1) 施工土质颗粒细、松散的粉细砂时, 对泥泵气蚀临界点进行研究十分必要, 该土质输送不同浓度时气蚀临界点流速最低在 5.5 m/s 。

2) 绞吸船长管线施工粉细砂时, 输送工况区范围较小, 流速在 $4.5 \sim 5.2\text{ m/s}$, 浓度在 $10\% \sim 25\%$ 。

3) 绞吸船挖掘要充分考虑起落桥梁速度、退台车速度、不同层的横移速度、不同层的进尺等因素的影响。

参考文献:

- [1] 白玉川. 河口泥沙运动力学[M]. 天津: 天津大学出版社, 2011.
- [2] 高伟. 绞吸船施工要点及措施[J]. 中国港湾建设, 2011(1): 66-69.
- [3] JTJ 319—1999 疏浚工程技术规范[S].
- [4] 李炜. 水力计算手册[M]. 武汉: 中国水力水电出版社, 2006.

(本文编辑 郭雪珍)