

· 施 工 ·



大型绞吸船开挖深水航道艉吹装驳工艺

刘斌¹, 肖典雅¹, 曹永港², 戴稳¹

(1. 中交天航南方交通建设有限公司, 广东深圳 518040;

2. 国家海洋局南海工程勘察中心, 广东广州 510300)

摘要: 为避免破坏疏浚区水环境, 采用大型绞吸船在不炸礁的情况下开挖深水航道岩石, 已成为现实。绞吸船通常需对接排泥管线以便将疏浚土吹填成陆域, 而在航道中使用绞吸船挖岩在无适合吹距的吹填区时, 可采用直接装驳和艉吹装驳两种施工工艺。重点阐述大型绞吸船开挖航道岩石疏浚土处理的新方法, 移动艉吹装驳工艺的产生、实施过程的优化改进, 并从中梳理、提炼、总结出绞吸船艉吹装驳的输送原理, 供类似工程施工借鉴以至推广。

关键词: 大型绞吸船; 挖岩; 直接装驳; 艉吹装驳

中图分类号: U 61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)08-0182-04

Stern blow loading barge process for large cutter suction dredger in deepwater channel

LIU Bin¹, XIAO Dian-ya¹, CAO Yong-gang², DAI Wen¹

(1. CCCC TDC Southern Communications Construction Co., Ltd., Shenzhen 518040, China;

2. South China Sea Marine Engineering Surveying Center, SOA, Guangzhou 510300, China)

Abstract: The large cutter suction dredger is employed to excavate deepwater channel rock without reef so as to avoid the damage of dredging to the environment. Cutter suction dredgers are usually needed to butt the mud pipeline so as to fill the dredged soil into land. When there is no suitable reclaimed area for blowing distance in deepwater channel, two kinds of construction technologies including the direct loading barge and stern blow loading barge can be used. This paper introduces a new excavated approach to excavate the dredged soil with channel rock by the large cutter suction dredger and discusses the generation and implementation process optimization of mobile stern blow loading barge, from which the conveying principle would be combed, refined and summarized, to serve as reference for and be popularized in similar projects.

Key words: large cutter suction dredger; dredging rock; direct loading barge; stern blow loading barge

1 工程概况

防城港20万吨级进港航道工程是在现有15万吨级进港航道的基础上浚深并向东单侧拓宽35 m而成, 航道的设计底高程由原来的-16 m浚深至-17.9 m; 设计底宽由160 m拓宽至195 m, 航道全长约17.3 km, 航道设计疏浚总工程量1262.77万m³, 其中, 风化岩373.5万m³, 占总工程量的29.6%, 开挖岩石最大抗压强度值67 MPa^[1]。

工程实施时, 现有的15万t航道处于运营阶

段, 日进出港船舶船长大于225 m的船舶4艘次, 绞吸船施工平均需避让时间50~120 min; 船长小于225 m船舶8艘次, 绞吸船施工平均需避让时间10~30 min。

综合考虑大型绞吸船的施工特点^[2]及开挖岩石特性^[3], 在本工程中, 先由抓斗船、耙吸船等进行前期覆盖层清挖, 部分风化岩由炸清礁施工, 预留约63万m³风化岩由大型绞吸船挖岩, 航道6 km以内无适合吹填的区域。

收稿日期: 2012-12-22

作者简介: 刘斌(1983—), 男, 工程师, 从事港口与航道工程施工管理工作。

影响施工的自然条件有雾、风、潮汐及波浪。年平均雾日22.2 d,多发在当年11月至次年4月,发生时每日延续2~3 h,日出雾散;防城港属季风区,冬季多偏北风,夏季多偏南风,≥6级的大风日数全年平均为31.7 d,平均每年约遭受1次台风或热带低压影响,最多3次;防城港属规则全日潮,平均潮位2.27 m,平均高潮位3.67 m,平均低潮位1.12 m;夏季多南风,易形成涌浪。

2 直接装驳工艺情况分析

采用大型绞吸船挖岩,其自身具备直接在航道内挖岩装驳工艺,即在绞吸船左右舷各靠驳一艘泥驳船装取岩石,通过泥驳自航将疏浚土抛运至设计指定的抛泥区域。图1为泥驳船直接靠泊绞吸船示意图。

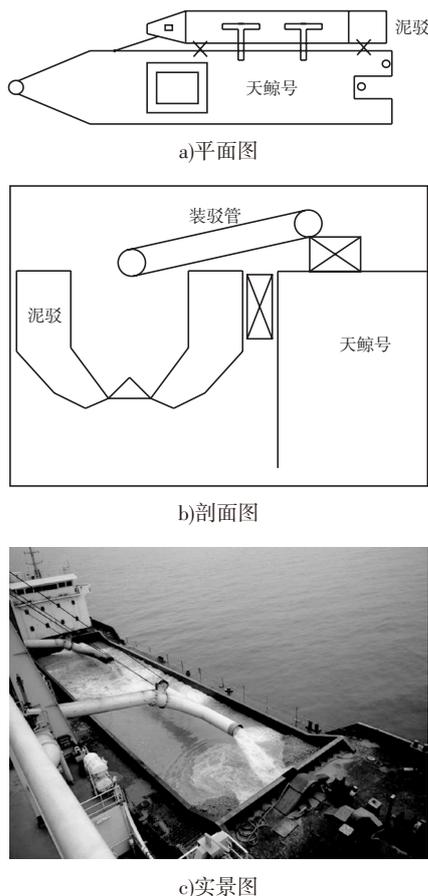


图1 泥驳船直接靠泊绞吸船示意图

根据大型绞吸船装驳管的尺寸要求,选配舱口尺寸相适应泥驳,其泥驳配备情况见表1。

直接装驳工艺具有中间环节少、需求辅助设备少的优点,但缺点有3个方面:1)溢流量大、装

表1 泥驳配备情况

泥驳名称	舱容/m ³	满载吃水/m	舱门开启方式
岭南28	2 000	4.80	自航开体
顺宏10	2 000	4.46	自航开底
广州货0489	1 500	4.00	自航开底

舱效率低于50%。2)质量难以保证。流出的泥浆在泥驳周围扩散,主要沉淀于航道内或已浚深至设计深度的边坡上,增加了重复清淤的成本,同时也影响了周边海域的环境。3)安全风险大。在进行泥驳装舱时,随着装舱量的增加,连接泥驳与主船的力矩增加,有断缆的可能性;由于泥驳靠船体一侧,增加了绞吸船占用通航航道的宽度。

3 移动舰吹装驳工艺

3.1 工艺原理

采用水下泵直接接入装驳管系(即不经过舱内泵管系)到船艏排出口,将水上浮筒管线一端连接船艏管口、另一端连接移动装驳平台。

采用抓斗船进行改造成移动装驳平台,先在平台上安装装驳架,管口位置采用自浮管和钢管连接并斜向固定在装驳架上,管口伸出抓斗船舷外,管口垂直投影位置距离泥驳纵向中线±1.2 m范围内,装驳管口断面见图2。

3.2 移动舰吹装驳平台设计

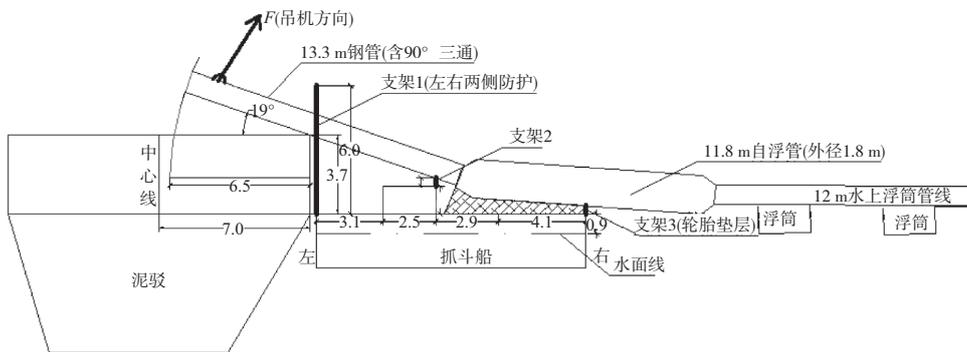
3.2.1 舰吹装驳悬吊管头钢丝绳拉力计算

舰吹装驳时,抓斗吊机通过钢丝绳悬吊管头以进行高度调整,因施工时钢管内充满疏浚物,同时加上钢管本身自重,需在管头处提供较大拉力以确保钢管受力平衡。

由图4可知,当吊机将管头拉至图示位置时,将钢管分离进行受力分析,此时钢管存在受力有钢丝绳拉力(F)、支架2支撑力(N)、管头处三通自重(G)、自重(P_1)、疏浚物自重(P_2)、自浮管变形后对钢管尾部的反作用力(T)及弯矩(M)。

为了方便计算,对受力体系进行简化,根据自浮管形变特性及实际情况,可大致将钢管与支架连接处视为铰接,且钢丝绳提供拉力 F 方向为竖直向上。

进行钢丝绳拉力计算:钢管单位长度重力



注：施工状态中，横置式浮筒吃水0.85 m。

图2 移动平台艙吹装驳管口剖面图

$P_1=5.787 \text{ kN/m}$ ；疏浚物密度约 1.15 t/m^3 ，钢管直径900 mm，单位长度疏浚物自重 $P_2=7.312 \text{ kN/m}$ ；三通自重 $G=10 \text{ kN}$ 。若要求出钢丝绳拉力 F ，则对支架2处支点采用力矩平衡进行求解，经计算 $F=86.058 \text{ kN}$ ，可视为起吊8.6 t重物，而连接钢管的抓斗吊机钢丝绳可承受至少175 kN拉力，因此，钢丝绳强度能够满足艙吹装驳期间管头高度调整时拉力需要。

3.2.2 装驳管在定位抓斗上的布设位置

水上浮筒管线的管口位置采用1节自浮管(长度11.8 m,外径1.8 m)连接1节钢管(12 m)的方式，采用90°三通作为“T”型装驳管连接在钢管的端头(图2)。

由于水上浮筒、抓斗及泥驳的吃水在不同高度，置入泥驳的钢管与自浮管连接呈一定角度，泥驳空载时钢管、自浮管、抓斗甲板、泥驳围板距离水面的高度计算见表2。

表2 水面的距离计算

部位	距离水面高度/m	说明
浮筒管钢管底部	0.40	
水上自浮管的底部	0.60	
甲板上自浮管底部	2.15	与钢管连接的法兰处
抓斗甲板	0.90	
泥驳围板	4.60	距离抓斗甲板3.7 m

由于施工期间主要依靠抓斗吊机的吊力来下放管口，因此钢管与浮筒的连接需要牢固，主要是防止钢管或自浮管在水平方向或斜向的滑移，同时要减少自浮管与抓斗甲板面的摩擦或磕碰，防止造成自浮管损坏，主要参数如下：

1) 自浮管爬上抓斗的甲板前，在连接处的上方铺设废旧轮胎作为垫层(厚度40 cm为宜)。

2) 由于钢管在转动时，自浮管上端也同步转动，钢管与自浮管连接处的法兰受力较大，在防护时采用轮胎或砂袋垫出适合自浮管存放的斜坡，斜坡角度为30°为宜。

3) 为防止钢管、自浮管在水平方向上的滑移，采用槽钢在关键部位钢管两侧焊防护支架，支架2焊在斗座右侧的圆钢上方(高度约40 cm，宽度约1.5 m)，支架1焊在抓斗船左舷上方(高度约6.0 m，宽度约1.5 m)。

3.2.3 绞吸船与装驳平台相对位置计算

1) 根据航道开挖设计深度、坡比及边坡区域的水深情况，为减少对边坡原土土的扰动，确定装驳区域的底边线距离航道东侧底边线230 m，装驳区长度与航道长度基本一致，装驳区宽度为70 m。

2) 抓斗装驳平台行进方向与绞吸船开挖方向保持一致。

3) 由于潮流较急，水上浮筒管线由管线锚进行固定，设置涨潮锚、落潮锚及防风锚，防风锚的位置与管口连线与抓斗平台垂直，距离抓斗平台50~100 m。

3.3 艙吹管线长度确定

考虑到装驳区域边界线距离航道底边线约230 m，同时考虑装驳抓斗平台可以与绞吸船同步同向实时移动、水上管线受涨落潮流影响，确定船艙管与定位抓斗船平台连线与船体施工中线夹角为60°，20 m富裕长度，确定水上管线长度为355 m。

4 岩石艇吹输送的分析

4.1 岩石浆体管路磨阻系数分析及实用流速计算

根据管路清水流速测定的结果反算, $\phi 900$ mm 管经测定清水阻力系数 $\lambda_m=0.011$, 泥浆管路沿程阻力系数 λ_m , 根据式(1)及施工过程数据, 反算分析出输送岩石时的管路沿程阻力系数 λ_m , 计算结果见表3和图3。

$$\lambda_m = \lambda_w \left\{ 1 + CK_D \left[\frac{v^2}{gD(\rho_s - 1)} \sqrt{\frac{gd_s(\rho_s - 1)}{v_{ss}^2}} \right]^{-3/2} \right\} \quad (1)$$

计算输送岩石临界流速 v_c 和实用流速 v_p 参考 Durand 临界流速计算公式:

$$v_c = (90C)^{1/3} g^{1/4} D_d^{1/2} v_{ss}^{1/2} d_s^{-1/4} \quad (2)$$

表3 输送岩石管路沿程阻力系数

泥浆密度 / (t · m ⁻³)	λ_m
1.05	0.048 4
1.07	0.051 0
1.10	0.078 7
1.14	0.167 3

取平均浓度 $C=6\%$, 将 $D_d=900$ mm, $g=9.81$ m/s², $d_s=0.15$ m 代入式(2), 经过计算输送平均粒径在 15 cm 的岩石土质时, 临界流速 v_c 为 4.2 m/s, 实用流速 v_p 与临界流速经验换算系数 1.3 倍考虑, 则实用流速 v_p 取 5.45 m/s。

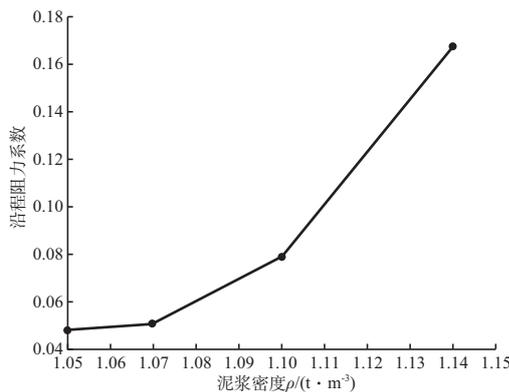


图3 泥浆密度与管路磨阻系数关系

4.2 泥泵组合方式确定

根据管路总水头损失计算公式:

$$H_m = \lambda_{md} \frac{\sum l_d}{D_d} \frac{v_d^2}{2g} + \rho_s \frac{v_d^2}{2g} + Z\varrho_m \quad (3)$$

将 $\rho_s = 2.7$ t/m³, $\lambda_{md}=0.078 7$, $\rho_m=1.1$ t/m³, ρ_w

$=1.025$, $g=9.81$ m/s², $\sum l_d=355$ m, $D=0.9$ m, $v_d=4.2$ m/s, $Z=4$ m 代入式(3), 得 $H_m=33.4$ m。

结合天鲸号船舶性能表, 单水下泵和舱内泵的参数见表4和图4。

表4 天鲸号水下泵及舱内泵泥泵性能

泵型	流量 (m ³ /h)	水头 (m)	转速 (r/min)
水下泵 VL900	18 000	33.9	220
舱内泵 VL900	18 000	58.5/69	275/295

根据船舶泥泵设计参数和实测泥泵特性数据, 经计算、拟合, 得出泥泵工况特性曲线(图4)。

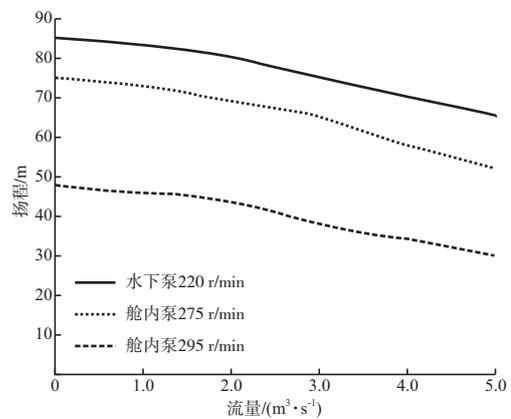


图4 泥泵流量-扬程曲线

从图4可得, 水下泵在额定转速 220 r/min 下, 施工流量为 18 000 m³/h, 扬程为 34 m。结合泥泵清水扬程和泥浆扬程换算公式

$$H_m = H_w [K_H(\rho_m - 1) + 1] \quad (4)$$

将 $\rho_m=1.1$ t/m³, $K_H=0.25$, $H_w=34$ m 代入, 计算水下泵在输送 1.1 t/m³ 泥浆时, 所需扬程为 34.85 m。

4.3 挖掘生产率和输送生产率匹配分析

结合大型绞吸船挖掘生产率计算公式

$$W = 60KDtv \quad (5)$$

计算理论生产率, 结果见表5。

结合表5计算, 天鲸号综合生产率为:

开挖强风化岩平均生产率 $W=622$ m³/h, 开挖中风化岩平均生产率 $W=403$ m³/h。

$$\text{输送生产率} = \text{流量} Q \times \text{浓度} P = 3\ 600 \pi r^2 v_p p \quad (6)$$

将 $r=45$ m, $v_p=5.45$ m/s, $p=7.7\%$ 代入式(6) 得出输送生产率 960 m³/h, 输送生产率大于挖掘生产率, 即决定该船生产率主要由挖掘因素决定。

(下转第 190 页)