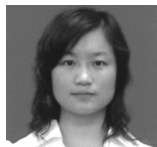


· 施 工 ·



装舱溢流施工在航道疏浚工程中的应用

郭飞燕¹, 李 军², 谢丽娜², 刘东征¹

(1. 中交天津港航勘察设计研究院有限公司, 天津 300461; 2. 中交天津航道局有限公司, 天津 300461)

摘要: 装舱溢流施工工艺是耙吸挖泥船最常采用的施工方法, 该方法可增大挖泥船的装舱浓度, 以提高其挖泥效率、降低疏浚费用。基于装舱溢流施工工艺特点及固体颗粒在液体中的沉降运动规律研究, 以工程实例为依据, 分析溢流施工工艺在航道疏浚工程中的适用性。

关键词: 耙吸挖泥船; 溢流施工; 航道疏浚工程; 沉降运动

中图分类号: U 616⁺.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)07-0187-03

Application of overflow through intentional overloading in waterway dredging project

GUO Fei-yan¹, LI Jun², XIE Li-na², LIU Dong-zheng¹

(1. CCCC Tianjin Port & Waterway Prospection & Design Research Institute Co., Ltd., Tianjin 300461, China;

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

Abstract: The overflow through intentional overloading is the most common construction method adopted in the trailing hopper suction dredger (TSHD). It can improve the loading density of dredger, which will lead to a higher dredging efficiency and lower dredging cost. According to the construction characteristics of the overflow through intentional overloading and the regular pattern of sedimentation movement of the solid particles in the liquid, we analyze the applicability of this method in the waterway dredging projects based on the actual projects.

Keywords: TSHD; overflow construction; waterway dredging project; sedimentation movement

在航道疏浚中, 为了避免挖泥船施工对正常通航造成影响, 大型港口航道的增深拓宽工程多采用自航式耙吸挖泥船进行施工。我国沿海港口航道的底质以细颗粒泥沙为主, 在自航式耙吸挖泥船施工过程中, 细颗粒泥沙很难挖掘, 进舱浓度较低; 同时, 泥舱内细颗粒泥沙沉速很小, 较难沉积。为增大挖泥船的装舱浓度, 提高其挖泥效率, 降低疏浚费用, 在可能的情况下需要利用装舱溢流施工工艺以提高有效装载量^[1]。

1 装舱溢流施工工艺的特点

所谓装舱溢流施工工艺, 是指当泥舱装满后仍继续泵吸泥浆进舱, 使泥舱上层低浓度泥浆不

断通过溢流筒溢出(耙吸挖泥船的泥舱前部设有溢流筒, 当泥浆水位超过溢流高度时, 低浓度泥浆即从溢流筒中溢出), 待运转生产率最高时停止挖装, 移船至抛泥区抛泥。

在航道内水流条件适宜的情况下, 为加快项目进度, 多会采用装舱溢流施工的方法。采用该方法所溢流出去的细泥沙可能随水流流到航槽以外, 这样既增大了成槽效果, 又增加了单船次实载土方量, 提高了船舶的施工效率。采取这一施工工艺必须对溢流时间加以控制, 根据不同土质控制不同溢流时间, 以尽可能使泥舱装载量达到最大。

但是, 采用装舱溢流施工时, 溢流损失量受到泥舱结构、泥沙组分等多重因素的影响, 很难

收稿日期: 2014-11-28

作者简介: 郭飞燕(1983—), 女, 硕士, 工程师, 从事环境工程及施工工艺研究。

准确预测,致使何种情况下才适用溢流装舱方案难以确定。

2 国内外装舱方案研究进展

目前国际上对于装舱的研究很多,Paris 等提出了计算装舱效率的理论计算方法,用于决定装舱过程的控制参数;Ooijens 还通过大比尺模型试验测量了装舱过程中的流速和浓度等;lasblom 等做了关于泥沙沉降的理论研究;Sergio 在坎普模型中加入了动力学计算;Cees 提出了装舱过程的一维计算模型。

国内一些学者对耙吸挖泥船的溢流施工也做了研究,戴礼承等^[2]研究了自航耙吸挖泥船装舱溢流施工对附近水域环境的影响;朱剑飞等^[3]通过采用耙吸船施工资料分析、三维数模及 ADCP 悬沙浓度观测等手段,对不同溢流方式、不同区段施工时溢流疏浚土的扩散范围及规律开展研究;张忱等^[4]使用 4 500 m³ 自航耙吸挖泥船 1:8 装舱溢流物理模型进行试验,通过舱内不同测点的分层流速测试,对两种装舱结构及两种溢流装置的 4 种组合形式进行比较,同时采用二维流体动力学理论对装舱溢流过程进行数值模拟,验证物模试验成果。

但是,这些研究多数集中在通过动力学计算或数学物理模型对溢流施工的过程进行研究,主要研究溢流疏浚土的扩散范围进而判断溢流施工对附近水域环境的影响,但对于在何种工况下适宜采用溢流施工工艺以提高单船土方量及运转生产率一直未曾研究。本文选用得到广泛应用的固体颗粒沉降公式以及悬浮颗粒在动水输移中的扩散公式计算疏浚物的运移距离,以工程实例论证,分析溢流施工工艺在航道疏浚工程中的适用性。

3 研究方法

3.1 固体颗粒沉降速度计算

对颗粒沉降速度的研究从 19 世纪开始至今,有很多学者相继给出了确切的计算方法和计算公式,也正因为如此,从中选择最适合公式的工作变得非常困难。通过比较,选用 SL 42—2010《河

流泥沙颗粒分析规程》(简称规程)中的泥沙沉速公式计算沉降速度。

1) 当粒径不大于 0.062 mm 时,应采用司托克斯沉速公式推算泥沙颗粒的沉降粒径:

$$\omega = \frac{g}{1800} \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \right) \frac{D^2}{\nu} \quad (1)$$

式中: ω 为沉降速度 (cm/s); D 为沉降粒径 (mm); ρ_s 为泥沙密度 (g/cm³),测定可按规程附录 F 的规定执行(其他用到 ρ_s 之处同); ρ_w 为清水密度 (g/cm³),水的密度值见规程附录 G 的规定执行(其他用到 ρ_w 之处同); g 为重力加速度 (cm/s²); ν 为水的运动黏滞系数 (cm²/s),数值见规程附录 G (其他用到 ν 之处同)。

2) 当粒径为 0.062 ~ 2.0 mm 时,应采用沙玉清的过渡区沉速公式间接推算泥沙颗粒的沉降粒径:

$$(\lg S_a + 3.665)^2 + (\lg \varphi - 5.777)^2 = 39.00 \quad (2)$$

$$S_a = \frac{\omega}{g^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right)^{\frac{1}{3}} \nu^{\frac{1}{3}}} \quad (3)$$

$$\varphi = \frac{\omega g^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right)^{\frac{1}{3}} D}{10 \nu^{\frac{2}{3}}} \quad (4)$$

式中: S_a 为沉速判数; φ 为粒径判数。

3) 悬移质中有粒径大于 2.0 mm 的成分,在推算断面平均沉速等有关计算中,对粒径大于 2.0 mm 的沉速可采用牛顿紊流区沉速公式计算:

$$\omega = 0.577 \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} g D} \quad (5)$$

3.2 悬浮颗粒在动水中的扩散输移计算

固体颗粒在水体中的疏浚泥沙在风、浪和潮流的联合作用下向周围输运,根据沉降速度,可结合水动力边界条件和扩散输移方程联合求解悬浮颗粒在动水中扩散距离^[5]。

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial(uS)}{\partial x} + \frac{\partial(vS)}{\partial y} = \frac{F_s}{H} + D_x \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 S}{\partial y^2} \quad (6)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial(uS)}{\partial x} + \frac{\partial(vS)}{\partial y} + \frac{\rho'_s \partial \zeta}{H \partial t} = 0 \quad (7)$$

式中: S 为平均含沙量 (kg/m^3); t 为时间 (s); u 、 v 为 x 、 y 方向上的垂线平均流速分量 (m/s); F_s 为源汇项 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), $F_s = F'_s + F''_s$, F'_s 为沉降项, $F'_s = -\alpha\omega S$, $\alpha = 0.15 \sim 0.4$ 为泥沙沉降机率, ω 为泥沙沉速 (m/s), F''_s 为挖泥源项; H 为水深 (m); D_x 、 D_y 为 x 、 y 方向上的泥沙紊动扩散系数 (m^2/s); ρ'_s 为淤积泥沙的干密度 (kg/m^3); ζ 为泥沙覆盖层的厚度 (m)。

式(6)为悬沙输移方程, 式(7)为悬沙落淤后引起的泥沙覆盖厚度计算方程。以耙吸挖泥船泥舱中心为坐标原点, 挖泥源项取船舶边界 2 m 处泥沙浓度, 在一定的水力边界条件和施工工况条件下, 假设扩散边界处泥沙覆盖厚度、水中含沙量均为 0, 计算方程的 x 和 y 的极值, 即可得出悬浮物的扩散距离。

如果该距离大于挖槽的长度, 即颗粒可随水流漂到航槽以外, 那么此时溢流施工对提高生产率是有利的; 另一方面, 如果施工周边区域对环境要求较高, 则可以根据颗粒的输移距离判断疏浚影响区域, 确定这一工艺是否可行。当然, 由于颗粒及水流的运动具有复杂性, 计算得出的漂移距离与实际距离会存在误差, 但可用此方法初步判断是否适合采用装舱溢流施工工艺。

4 工程实例

4.1 天津港 30 万吨级航道一期工程施工

天津港 30 万吨级航道一期工程施工时, 施工土质为粉质黏土, 挖深 21 m, 运距 26 km, 往返一次航行耗时 3.5 h, 每天以 3 艘船计算, 仅航行与吹填时间共计 16.5 h, 挖泥时间明显不足。在此种条件下, 考虑采用船舶溢流施工工艺, 提高装舱效率进而提高生产率。

施工区挖槽长约 2 000 m, 宽度 401 m, 水流与航道夹角约 60° , 粒径在 0.01 ~ 0.03 mm, 水流速度约为 1 kn (1.852 km/h), 水深 18.5 m, 平均含沙量取 $0.26 \text{ kg}/\text{m}^3$, 挖泥源项处泥沙质量浓度约 2%, 泥沙沉降机率取 0.3, 忽略悬浮物的紊动扩散因素, 根据本文方法计算泥沙的漂移距离约为 5 400 m, 远大于挖槽长度, 因此可采用装舱溢流施工工艺。

表 1 是采用溢流施工和未采用溢流施工的产量对比情况, 未采用溢流施工时 3 艘船/d, 平均日产量 1.055 万 m^3 , 采用溢流施工以后 2 艘船/d, 延长船舶的挖泥时间, 日平均产量提高到 1.75 万 m^3 , 比原来提高了 65.9%。由此可知, 本文方法的判断是准确的。

表 1 溢流施工前后产量对比

方案	每天 船数/艘	时间/h					平均日产量/ 万 m^3
		每船挖泥时间	每船重载航行时间	每船空载航行时间	每船吹填时间	挖泥周期	
溢流	3	2.5	1.83	1.67	2	8	1.055
不溢流	2	6.5	1.83	1.67	2	12	1.750

4.2 莱州港施工

莱州港施工土质为细粉砂, 含少量粉土, 粒径在 0.01 ~ 0.03 mm, 运距 15 km, 水深 9.2 m。在施工区外 2 ~ 2.5 km 处有渔民养殖区, 为了估算挖泥船施工对于养殖区是否有影响, 采用本文方法估算细粉砂的漂移距离, 结果见表 2。

表 2 漂移距离估算值

流速/kn	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
漂移距离/m	358	712	1 167	1 531	1 826	2 331

注: 粒径为 0.01 mm, 水流与航道夹角取涨潮流 65° 方向。

由表 2 可知, 在流速 0.6 kn 的情况下, 疏浚物可随潮流流到 2 km 以外, 即渔民养殖区的位置, 这样对渔民的养殖环境会造成影响, 本项目不适合采用装舱溢流施工。

事实上, 开始为缩短工期的需要, 采用了装舱溢流施工。施工一段时间以后, 有专业的勘测队在对水质进行检测时, 在养殖区检测到了疏浚的泥沙, 证明了本方法判断装舱溢流施工工艺适用条件的正确性。

(下转第 202 页)