



3种用于绞吸船杂物集中区施工的防杂装置

王晓萌

(中交(天津)疏浚工程有限公司, 天津 300450)

摘要: 针对绞吸船施工杂物集中区的防杂装置选择问题, 从防杂装置的结构设计、适用条件及施工工艺参数方面进行研究, 根据杂物的种类、分布区域特点、尺寸对防杂装置的结构进行详细设计, 并通过对3种防杂装置施工参数、生产效能的统计, 得出其适用范围。结果表明, 在绞吸船在施工杂物集中区时, 选择合理的防杂装置能减小杂物对船舶施工的影响, 提高工程经济效益。

关键词: 防杂装置; 杂物区; 绞吸船; 生产效能

中图分类号: U 616

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)04-0203-04

Three kinds of anti-impurity equipments for construction of debris concentration area of cutter suction dredger

WANG Xiao-meng

(China Communications(Tianjin)Dredging Engineering Co., Ltd., Tianjin 300450, China)

Abstract: In view of the selection of anti-impurity equipments in the construction debris concentration area of the cutter suction dredger, this paper studies the structural designs, applicable conditions and construction process parameters of anti-impurity equipments, carries out the detailed designs of the structure of the anti-impurity equipments according to the type, the characteristics of the distribution area, and the size of debris, and obtain the application scopes of three kinds of anti-impurity equipments through the statistics of the construction parameters and production efficiency. The results show that when the cutter suction dredger constructions in the debris concentration area, choosing a reasonable anti-impurity equipment can minimize the impact of debris on ship construction and improve the economic benefits of the project.

Keywords: anti-impurity equipment; debris area; cutter suction dredger; production efficiency

1 工程概况

工程疏浚区位于吕四港环抱式港池西侧, 吹填区位于西港池北侧, 吕四港地理位置见图1。

新进绞吸船施工区设计底高程-11.5 m, 边坡1:5, 超深0.4 m, 为保持港池围埝安全稳定, 围埝侧边坡禁止超挖。吹填区呈梯形, 长度为

3.5 km, 宽度为834 m, 面积308万 m^2 。目前吹填区平均高程为7.1 m, 设计吹填高程为9.0 m, 纳泥量约580万 m^3 。根据土质勘察资料, 在设计挖深以内, 拟定施工区的土质自上而下主要分3层: ①粉土、②₁淤泥质土与粉砂互层、②₂粉质黏土, 按照《疏浚岩土分类标准》^[1], 各层土质级别见表1。

收稿日期: 2021-07-29

作者简介: 王晓萌(1993—), 男, 工程师, 从事水利与疏浚工程施工管理。



图1 吕四港地理位置

表1 各层土质级别

土层	判别指标		
	标贯击数 $N/\text{击}$	天然密度 $\rho/(t \cdot m^{-3})$	疏浚级别
①粉土	9.4	1.88	8
② ₁ 淤泥质土与粉砂互层	5.3	1.80	4
② ₂ 粉质黏土	6.8	1.84	4

2 施工背景

2018-06-06 安排 $3\,500\text{ m}^3/\text{h}$ 绞吸船进行拆坝区施工,总工程量约 80 万 m^3 ,其原始泥面高,部分区域泥面高度在 2 m 左右(按吕四理论最低潮面),拆坝区杂物较多,主要包含抛石、水泥板、土工布以及钢丝绳等。2018-06-16—2018-06-19 期间,绞吸船在吸口安装格栅进行施工时,受拆坝区杂物影响,船舶掏口 34 次、掏泵 5 次,最低时间利用率仅 40% 左右,较计划严重滞后。经研究决定分别试验软格栅、双防石环以及防石板 3 种防杂装置,并从挖掘、输送以及时间利用率等方面展开分析^[2],研究各种防杂装置的结构特点、适用的土质及杂物类型。

3 防杂装置分析

3.1 结构设计

3.1.1 双防石环

双防石环是焊接在绞刀内部距吸泥口较近的环状防石结构,根据其结构又可分为单环和双环防石环,其中双环防石环是由两个环状结构之间加焊圆钢形成的结构较为复杂的防石环。

双防石环具体尺寸可根据绞刀直径利用相似三角形原理进行设计。例如,已知双绞刀环直径分别为 $1\,710$ 、 $1\,200\text{ mm}$,为保证一次安装成型,利用相似三角形原理计算所得大环距离大圈高度 260 mm ,小环距离大圈高度为 530 mm 。其中大圈与绞刀锥体的间距为 60 mm ,小圈与绞刀锥体的间距为 $10\sim 60\text{ mm}$,该防石环过流通道最宽处为 270 mm ,可保证直径 $\geq 270\text{ mm}$ 的杂物无法通过防石环进入绞吸船的过流通道,而绞刀、泥泵过流通道最大宽度分别为 385 、 340 mm ,理论上不会发生堵口、堵泵现象,双防石环结构见图 2。



图2 双防石环结构

3.1.2 软格栅

软格栅在绞刀吸口下沿采用挂钩形式,上沿采用卡环形式,中间格栅使用铁链, $3\,500\text{ m}^3/\text{h}$ 绞吸船绞刀口长度为 $1\,800\text{ mm}$,设置 5 组铁链,铁链间距为 400 mm 。铁链下端挂在挂钩上,上沿用卡环固定。当杂物堵口后,将软格栅卸掉与杂物同时掏出吸泥口,只需将备用软格栅装上后即可恢复施工,软格栅结构见图 3。



图3 软格栅结构

3.1.3 改进防石板绞刀

为了将大石块挡在绞刀外,将钢板焊在刀臂背面,形成刀臂防石板,而改进防石板是在原防

石板绞刀的钢板上加焊圆钢以减小板间的孔隙。

以 38DS 型绞刀为例，改进防石板是在绞刀的每叶刀臂加装 5 块钢板，当刀臂长距为 1 600 mm 时，防石板与前一刀臂间隔为 200~230 mm，该防石板过流通道最宽处为 230 mm，可保证直径 ≥ 230 mm 的杂物无法通过防石环进入绞吸船的过流通道，而绞刀及泥泵过流通道最大宽度分别为 385、340 mm，理论上不会发生堵口、堵泵现象，另外在绞刀第 1 圈和第 3 圈防石板上焊接圆钢，改进防石板绞刀结构见图 4。



图 4 改进防石板绞刀结构

3.2 土质与杂物类型分析

残坝区域施工土质主要为细粉砂，坝体结构为充沙袋，固结较好，土质较硬；杂物主要包括土工布、块石、混凝土块，另存在少量钢丝绳、尼龙绳、木桩，具体性质为：

1) 土工布为机织布，抗拉强度较大，为 8 kN/m，缠绕防杂装置、绞刀，撕扯破坏难度大，清理困难。

2) 混凝土碎块、块石粒径为 50~460 mm，抗压强度为 30 MPa，施工船舶无法将其破碎，且绞刀口径为 385 mm、泥泵流道宽度为 340 mm，部分块石粒径大于绞刀口径及泥泵流道宽度，极易造成堵口、堵泵，并且造成防杂装置损坏。

3) 钢丝绳、尼龙绳主要在绞刀和防杂装置上缠绕，清理困难。

3.3 各类防石装置的优缺点

根据各类防石设备的结构特点，可以分析出相应的防杂原理以及优缺点，见表 2。

表 2 各类防杂装置对比

防石装置	防石原理	优点	缺点
双防石环	使用圆钢在绞刀大圈上焊制两道防石环，并在两环之间设置圆钢格挡，防石环紧贴吸泥口和锥体，达到防石、防杂效果	块石堵塞在防石环之间后，随防石环转动而脱落，防石环间距较小，较大块石、混凝土块通过吸口，堵口、堵泵次数明显减少	①为减小防石环间距，焊制多道格挡，吸口截面积减少较多，造成真空较大，浓度较低；杂物较少时真空仍较高，生产率受到较大限制； ②土工织物、尼龙绳等杂物缠绕在防石环上极难清理，单次清理时间约为 2 h
软格栅	吸口下沿采用挂钩形式，上沿采用卡环形式，中间格栅使用铁链。铁链下端挂在挂钩上，上沿用卡环固定。中间铁链格栅备用 3~4 组	拆卸方便，清理杂物快	①强度较弱，遇到块石等铁链易受冲击断裂； ②杂物较多时，造成频繁堵口
改进板式绞刀	由于绞刀刀臂中部至绞刀大圈附近，焊制防石板后，间距仍较大，且板装块石、混凝土块易通过斜向空当通过，因此加焊圆钢将斜向空当分割	①堵泵次数较改进前减少；②杂物清理方便，清理杂物时间为 40 min 左右； ③相对防石环吸入真空得到改善，生产率得到提高	①堵泵次数较双防石环有所提高； ②使用同类型绞刀齿，绞刀压力有所增加； ③施工块石集中区域，防石效果较双防石环差

3.4 各类防石装置施工参数分析

3.4.1 防石装置局部阻力系数

根据文献[3]可得出各种防杂装置的局部阻力系数，见表 3。

表 3 防杂装置局部阻力系数

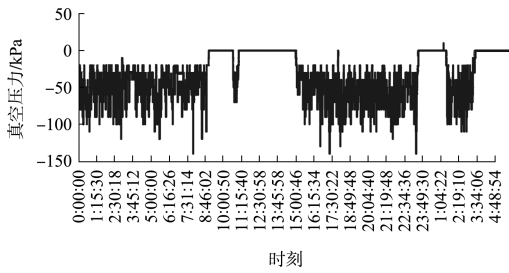
防石设备	双防石环	单防石环	防石网	格栅	马蹄	犬牙
局部阻力系数	0.67	0.15	0.69	0.25	0.27	0.15

3.4.2 施工吸入真空

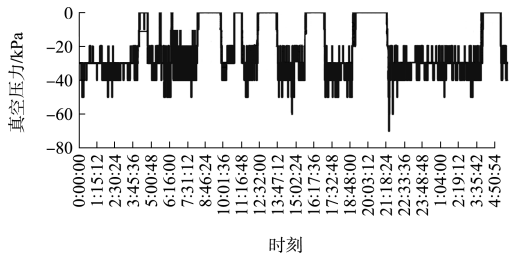
根据天禹船的施工数据可以得出软格栅、双防石环、防石板的真空压力，见图 5。

由图 5a)可知，天禹船在使用软格栅和双防石环时，水下泵吸入真空值较大，平均在 -80~-70 kPa，吸入阻力大，出现较多闷口现象；由图 5b)可知，天禹船在使用防石板时，水下泵吸入真空值较小，

平均为 50 kPa, 较双防石环明显下降, 吸入阻力降低, 极少发生闷口现象。



a) 使用软格栅和双防石环真空压力



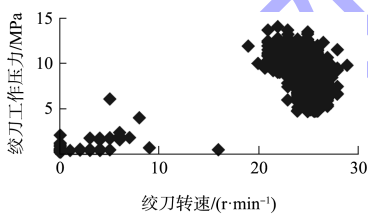
b) 使用防石板

图5 真空压力

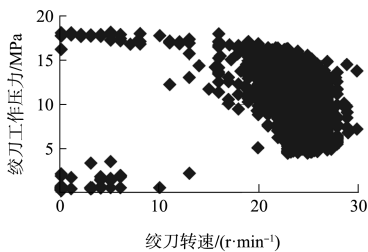
根据防杂装置真空压力得出, 相对于双防石环和软格栅, 防石板真空压力最小, 绞刀闷口发生频率较少。

3.4.3 施工挖掘分析

根据天禹船施工数据可以得出使用软格栅、双防石环、防石板的绞刀压力与转速关系, 见图6。



a) 使用软格栅和双防石环



b) 使用防石板

图6 绞刀压力与绞刀转速散点图

由图6可看出, 使用软格栅和双防石环时, 船舶绞刀压力大部分集中在 8~12 MPa, 波动较小; 使用防石板时, 船舶绞刀压力大部分集中在

8~17 MPa, 压力较高且波动较大。其主要原因是相对于格栅和防石环, 防石板增大绞刀的受力面积, 会引起刀具表面正压力上升^[4], 可以得出: 防石板相对于软格栅和双防石环绞刀阻力大, 不利于挖掘, 但绞刀压力在作业允许范围内。

4 结语

1) 从绞吸船挖掘及输送的角度, 在施工杂物区时, 使用软格栅以及双防石环比防石板更有利于减小绞刀阻力, 适用于挖掘中密和密实性土, 而防石板适用于挖掘松散砂及流动性淤泥等高流动性、密实性较小的土质; 另外相对于软格栅以及双防石环, 防石板吸口局部水力损失小, 更有利于土质的吸入, 提高船舶输送产能, 减小施工土质残留, 质量易保证。

2) 3 500 m³/h 绞吸船在块石、混凝土块杂物区施工时, 防石板过流通道较双防石环小 40 mm, 且防石钢板外伸于绞刀壁, 更有利于拨石、防止块石堵住绞吸船的过流通道, 防石板绞刀为最优的防杂装置。根据吕四港西港池疏浚工程绞吸船在块石集中区的施工统计, 使用防石板比防石环的平均时间利用率可提高 34%。

3) 3 500 m³/h 绞吸船在渔网、钢丝绳杂物区施工时, 软格栅为最优防杂装置, 由于其具有易拆卸的特点, 每次清理杂物可减少约 40 min。在吕四港西港池疏浚工程中, 绞吸船由于钢丝绳堵口最多达 4 次, 故使用软格栅时间利用率可提高 11.1%。

参考文献:

- [1] 交通部上海航道局. 疏浚岩土分类标准: JTJ/T 320—1996[S]. 北京: 人民交通出版社, 1997.
- [2] 中交上海航道勘察设计院有限公司, 中交天津港航勘察设计院有限公司. 疏浚与吹填工程设计规范: JTS 181-5—2012[S]. 北京: 人民交通出版社, 2012.
- [3] 周志强, 杨正军, 文栋. 基于 CFD 的绞吸船绞刀防石设备水力性能研究[J]. 水运工程, 2014(8): 163-167.
- [4] 李章超. 粘土二维与三维切削实验研究[C]//世界疏浚协会联合会东部疏浚协会. 第 22 届世界疏浚大会论文集. 北京: [出版者不详], 2019: 411-420.