

## 绞吸挖泥船疏浚能力提升的技术路径与实践分析

李焕章

长江南京航道工程局, 江苏 南京 211800

**[摘要]**绞吸挖泥船是当前水利疏浚、港航建设以及河道治理等工程中主要使用的设备之一, 而它的挖掘性能好坏则直接影响着整个施工项目的工期长短、费用多少乃至施工的安全性能。面对日益增加的疏浚项目体量以及愈加复杂的施工条件, 依靠人工操作与个人经验的传统疏浚方式越来越无法适应现代化建设所需要的高标准作业速率、精准度以及低耗能的要求。围绕着如何提高绞吸挖泥船的挖掘性能这个课题进行探究, 了解并梳理挖掘性能所涵盖的内容及其评估方法, 进而分析挖掘性能的影响因素, 据此再针对装置升级、参数调控, 智能化技术等方面给出具体的实现手段, 并在此基础上整合系统, 构建整体优化方案并制定配套措施。结论能够为提高绞吸式挖泥船工作效率及相关工程建设提供技术支持。

**[关键词]**绞吸挖泥船; 疏浚作业; 技术路径

DOI: 10.33142/ec.v8i12.18777

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

### Technical Path and Practical Analysis of Improving Dredging Capacity of Cutter Suction Dredger

LI Huanzhang

Changjiang Nanjing Waterway Engineering Bureau, Nanjing, Jiangsu, 211800, China

**Abstract:** The cutter suction dredger is one of the main equipment used in current water conservancy dredging, port and waterway construction, and river management projects. Its excavation performance directly affects the duration, cost, and safety performance of the entire construction project. Faced with the increasing volume of dredging projects and increasingly complex construction conditions, traditional dredging methods relying on manual operation and personal experience are increasingly unable to meet the high standard operating speed, accuracy, and low energy consumption requirements of modern construction. Exploring the topic of how to improve the excavation performance of cutter suction dredgers, understanding and sorting out the content and evaluation methods covered by excavation performance, analyzing the influencing factors of excavation performance, and providing specific implementation methods for device upgrades, parameter regulation, intelligent technology, etc. Based on this, the system is integrated, an overall optimization plan is constructed, and supporting measures are formulated. The conclusion can provide technical support for improving the efficiency of cutter suction dredgers and related engineering construction.

**Keywords:** cutter suction dredger; dredging operation; technical pathway

### 引言

由于绞吸挖泥船具有适用范围广泛、连续生产性好等特点, 被广泛应用于沿海港口航道的疏浚以及河流治理、水利建设等方面。随着疏浚项目朝着规模化、深水化以及高精度的方向转变, 施工的土质及作业海况变得越来越复杂, 挖泥船必须具备更好的挖掘性能和更高的可靠性以应对复杂的工况。对于绞吸式挖泥船而言, 挖掘性能不仅仅指每小时所挖掘并输送的数量, 还包括了机组间的配套程度、作业可靠性以及功率匹配情况等诸多因素。如何使其在恶劣的施工环境下保持较高的挖掘性能已经成为现代绞吸式挖泥船的技术难题之一。因此需要通过系统的思

维厘清影响绞吸式挖泥船挖掘性能的因素及其提高的方法。

### 1 绞吸挖泥船疏浚能力的内涵及评价体系

绞吸挖泥船疏浚能力是在某种作业工况下挖泥船利用绞刀切割、泥泵吸取、管线输送等一系列持续工作环节所能实现的整体作业效能。其既体现了设备的瞬时工作效率, 也是对包括设备稳定持续工作的能力和应对复杂土层环境的能力在内的整个系统的综合素质体现。而从设备的应用角度来看, 疏浚能力应是综合考量了单位时间内疏浚土方量、泥浆固液比、机器稳定性和能耗情况等多个因素指标后的结果, 一个合理有效的评估方法可以完整反映挖

泥船的工作状况,为机器的技术升级和运转调节方案提供参考。而在具体的工程实践中,疏浚能力往往是多个工作参数相互制约的结果,且评价结果具有显著的工况依赖特点,在研究中需要基于同一技术背景加以考察。

## 2 绞吸挖泥船疏浚能力的关键影响因素分析

### 2.1 土质条件和施工环境

土质等级是选择绞吸挖泥船的首要依据。淤泥、砂土等软质土层适合标准绞吸船;而硬质土、岩石则需配备冲击式绞刀或挖岩绞刀。泥层厚度和均匀性影响绞刀切削深度与横移速度。若泥层过厚,需分层开挖以避免绞刀过载;若泥层过薄,则需调整横移速度以防止漏挖。施工环境是疏浚能力的外部挑战。水深、风浪、流速、气温、通航干扰、障碍物等决定绞吸挖泥船的适应性。水深决定绞刀的切削角度;涌浪会导致船体晃动,增加绞刀头撞击河床的风险;流速影响船舶偏移和横移锚抓底效果;低温可能导致泥浆结冰,高温则影响设备散热;繁忙航道需频繁避让,缩短有效施工时间;水下电缆、沉船等需提前探测并标记,施工时绕行或采用精准开挖技术。

### 2.2 绞刀系统结构与切削性能影响因素

绞刀装置是绞吸式挖泥船实现挖掘工作的主要部件,不同的绞刀功率、绞刀构造及切割能力直接影响着碎石的效果、切削时的进尺情况及后续的输送状况。合适的绞刀功率、绞刀构型可以更好地适应不同的地质环境,在不断均匀作用下对泥土进行切割搅动,节省单位体积内泥土所需消耗的能量,减少无用功的产生与能量损耗。而在实际工作中,绞刀的功率、转速、刀齿布设样式与数量、刀齿切割角度及所选用材质的抗磨等级等都会影响其切割效率。过快的转速会导致泥土扰动严重并加大能耗,过低的速度则会造成挖掘不完全,致使入土困难。此外若刀齿排位不当或者材料耐磨性能不佳,则容易出现局部磨损严重,随之带来切割效率降低等情况。一旦发生绞刀形状不适合地层的情况,则会经常面临到切割阻力大、负荷变动剧烈等问题,从而限制整船的产量水平。因此,针对绞刀装置的构造特点及切割原理与其所对应的地质情形之间的契合程度进行有针对性的研究和改进也是提高绞吸式挖泥船产能的前提步骤。

### 2.3 泥泵性能与输送系统匹配因素

泥泵与输送系统负责把挖掘切割下来的泥浆从工作点运输到排出处或者沉淀区,泥泵及输送系统的性能好决定了绞吸挖泥船是否能连续、稳定地工作,同时也关系到整艘船舶的工作效率。泥泵的相关参数(如功率、

流量、排距、扬程、吸入性能、耐磨蚀性)必须与所处的绞吸式疏浚环境相适应,才能使泥浆在管路内顺畅流过而不致停滞及波动。在具体施工过程中,一旦选择的泥泵动力不够或者整个泥泵、管路系统配置不当,就会出现输送功率低、管道阻塞、局部磨损严重甚至泥泵超载等情况,导致疏浚作业时断时续、机器故障频发。输送系统的设计除需考虑泥泵与管道的直径大小、管道的长短与弯头的数量多少、沿程阻力损失等参数要考虑之外还必须综合考虑泥浆的浓度,粒度大小以及含水率等条件来相互配合,降低系统的能耗及运行阻力,泥泵装置与输送管线之间的联合调节对节省能源、提高使用寿命和保持系统正常作业都起着举足轻重的作用,在复杂的流态环境中远距离的输送情况下合理匹配并协调控制好泥泵的各项性能指标与输送系统参数的关系,对于发挥出最大的疏浚生产力、提高整个绞吸挖泥船的生产速率有着至关重要的影响。

### 2.4 船舶定位与作业稳定性因素

绞吸式挖泥船工作时,必须维持一定的船位和作业状态,才能够保证绞刀挖泥及泥浆吸取过程的连贯性,而定位系统直接决定了挖泥船对其作业地段的掌控效果。如果不能有效控制好船位,那么很可能出现由于绞刀挖泥轨迹发生偏离而导致的生产效率下降以及施工质量降低的情况;尤其是在具有复杂流速或者水较深的情况下进行作业的过程中,船舶稳定性的好坏也成为了影响其疏浚性能的关键因素。所以想让船舶有持久稳定的生产能力,就必须要有准确的定位与可靠的稳定性作为支撑。

### 2.5 作业参数与施工组织因素

绞吸挖泥船的挖掘过程其实是多个参数共同作用的结果,绞刀转速、下切深度、吸入流量等参数组合的优化与否与绞吸船的生产能力有着非常大的关系。此外,在具体施工过程中,如何合理有序地组织工作也是影响其工作效率的重要因素。若挖泥工作中前后工序衔接不当或者相关参数调节不够及时,都会导致机器空耗或者负荷起伏很大的情况发生,而合理的作业参数以及良好的施工组织则可以使得机器充分发“挥”出自己的工作效率,减少不必要的消耗,从而提升自身的疏浚生产力。由此可见,从运营方面对各操作参数及施工组织加以改进是非常有必要的。

## 3 绞吸挖泥船疏浚能力提升的主要技术路径

### 3.1 绞刀结构优化与切削效率提升技术

面对不同地层条件下提出的绞刀切割要求,在绞刀

结构的设计上加以改进,可极大地提高其切割效率,增加系统的作业可靠性。对于硬质土与岩石,可设计液压冲击式绞刀与高强度合金挖岩绞刀,通过脉冲破碎与旋转切削协同作业,提升破岩效率;针对软质土层,采用可变切削角绞刀,通过液压调节装置实时调整切削角度,优化切削力分布。实践中,适当调节刀齿排列组合形式、所处位置的倾斜度及齿顶距离等参数,能够有效地削减切割阻力,使土壤粉碎更均匀,促进泥浆化成型,避免不必要的局部淤塞及能耗损失。另外,作为直接影响切削效率的因素之一,绞刀的物料磨损耐受性、机械结构强度都至关重要,应用高性能耐磨合金或表面硬化技术手段等方法以期提升刀齿使用寿命,延缓时间推移带来的切割性能退化;同时优化生产加工工艺,比如严格规范刀间距尺寸、刀片体刚度、动态平衡性等方面,减少工作中出现的震动幅度和局部应力点分布,保证绞刀在长时间的高负载、高强度磨损状况下的连续稳定作业。在复杂的地层情况或者海洋深处的工作环境下,结构与材料相配合的优化设计能让整个绞刀系统保持良好的高效、可靠的切割特性,成为整艘绞吸式挖泥船挖掘实力增强的强大支持与基础条件,也为后期泥泵传输和系统整合提供了有力支撑。同时,集成智能分层开挖控制系统,利用激光扫描与超声波测厚技术实时监测泥层厚度,自动匹配切削深度与横移速度,避免过载或漏挖。例如,在泥层厚度突变区域,系统可动态调整绞刀转速与泵吸流量,确保施工连续性。

### 3.2 泥泵与管路系统协同优化技术

泥泵与管路系统的联合优化,是提高绞吸挖泥船挖掘生产能力的重要技术措施之一,其本质在于追求泵的性能与输送管道特性之间的最佳匹配。具体来讲,在使用时首先要依据开挖深度和输送距离,以及泥浆的颗粒大小、浓度等情况来科学选用泥浆泵的类型及其容量,以保证所使用的泥泵的排量和扬程能满足具体的工况要求;同时,对于输泥管线的铺设方式也是非常重要的因素,比如管线的直径、线路长度、弯头数量,以及整个管线的高度分布等,这些都是影响泥浆输送阻力大小和系统压力损耗情况的主要原因,进而决定了泥浆能否顺利通过管线输送出去。而通过联合优化的方式,在此基础上结合在线检测的数据及时对泥泵的工作状况(如转速等)加以调节,使得泵一直保持高效率的工作状态,则可以最大程度地防止出现因排量不够或者系统压力太大而导致的送泥管道堵塞和局部磨损,以及不必要的能量损失;并且这样的联合优化措

施,一方面可以在泵、管的选择和工作参数方面相互配合获得更大的泥浆排出率,另一方面也减少了整个系统的能耗并提高了机器使用寿命,这样不仅改善了生产效益,而且优化了经济性能,从而能更好地保证了绞吸式挖泥船持续高效的生产作业。

### 3.3 作业参数优化与工况自适应控制技术

施工参数优化是对挖掘能力的一种有效的提升方式,也是保障高效、持续施工的基础条件。通过对绞刀转速、下切深度、下切速度、吸入流量、泥浆浓度等一系列主要参数进行合理搭配,在不同的地质情况和流速的情况下,都可以达到最佳工作状态,进而确保了单位时间内最大的挖掘量和泥浆运输效率。引入工况自适应控制策略之后,整套挖泥船系统就可以根据即时检测反馈结果对相关参数实施调节,自动适应土层变化、流体扰动和机器负荷改变等情况,使得机器总运行在高效、稳定的模式之下。这种智能化控制方式减少了人为操控失误的可能,避免了单纯依靠经验的不足,并大幅提高了设备工作的连续性和可靠性。对于远距离或者深水航道疏浚来讲,自适应调节参数可以克服复杂地质环境下挖掘阻力、泥浆管路输运阻力的变动问题,保障整个系统的能量使用效率,并且还能降低机器磨损程度,增加使用寿命,提高了整个工作过程的速度与经济价值。参数选择优化加上自适应策略的应用,可以使绞吸式挖泥船无论在什么情况下都能够高效地工作,真正意义上挖掘出最大化的挖掘潜能。

### 3.4 智能化监测与自动控制技术

智能检测和自动控制系统的使用,为绞吸式挖泥船挖掘能力增强带来了新的技术支持和安全保障措施。对绞刀部分、泥泵、管路以及船上定位仪器等重要部件安装不同类型传感器,在工作中可获取作业参数、机器状况和周围环境等参数信息如泥浆流速与压力、土质、船舶姿态和震动。这些现场获得的数据不仅能显示机械状态,还能用于预测可能发生的故障并提前对其进行维护修理。自动控制系统通过连接传感器数据,在工作中能准确调节绞刀转数,切割深度,进浆量和船只的姿态角度,让机器一直处于最佳工作范围,加快了系统的反应时间,提高精确度和生产率。同时,智能化减少了人为操控的介入和产生的错误,简化了施工过程中的管理工作,提升了工作的整体可靠程度和安全性。而在长时间作业或者复杂地质环境下,智能化监控以及自动化的运作不但能维持连续性的挖掘,还能节约能源,增加机器使用寿命,智能操作为挖泥船的有效

性和精准性提供了有效的保障,也为项目管理向量化,规范化转变提供了依据。

#### 4 绞吸挖泥船疏浚能力提升的系统集成与保障措施

##### 4.1 技术集成与系统协同优化

绞吸挖泥船挖掘性能的提升需要各个子系统的共同促进,而技术集成下的系统整体优化就是有效的保证策略。对绞刀系统、输送系统以及控制系统的协调统筹安排,可以降低系统之间的相互影响与限制,达到取长补短的效果<sup>[1]</sup>。系统的协同优化可以提高整体的工作效率,可以让各种技术手段在工程使用过程中得到充分发挥。

##### 4.2 标准化作业流程与管理支撑

制定标准化的操作流程是对疏浚产能可靠发挥的主要管理制度保证,统一的操作流程及参数设定有利于避免人员造成的生产能力波动<sup>[2]</sup>。标准化管理提高了作业行为的均一性以及可控度,为推进技术管理措施的出台提供了机制上的支持;健全的管理体系可以强化对技术成果的应用,使技术创新更好地服务于工程建设。

##### 4.3 信息化平台与数据支撑体系

信息化平台的构建也为疏浚能力建设提供了数据支持基础。对工作数据统一记录、研究可实时了解机器的工作状况及作业实效<sup>[3]</sup>。数据支撑体系有助于发现潜在问题,并为技术改进提供科学依据。信息化手段的应用使疏浚作业由经验驱动向数据驱动转变,提高了管理决策的科学性。

##### 4.4 运维保障与人员技术能力提升

机器运维及人员技术水平是提升疏浚能力强有力的支持条件,完善的运维机制能够保证机器长期可靠地工作,降低机器故障导致的作业中断,与此同时,强化人员学习,增强员工对于新型技术和机器的理解有利于促进技术手段的有效落实。运维支持与人员技能相辅相成,成为疏浚能力不断提升的坚实后盾。

#### 5 结束语

绞吸挖泥船疏浚能力提升是集设备技术、运维管理以及系统集成等为一体的难题,通过对疏浚能力概念的剖析以及影响因素的研究,并结合关键技术路线和支撑保障等策略的进一步探索,对提高绞吸挖泥船的疏浚效率与可靠性有重要的借鉴意义和指导作用。在智能化、信息化发展背景下,对于绞吸船疏浚能力提升研究也趋向于系统性和精细化特征。

#### [参考文献]

- [1]刘荣振,王道甲,陈九肖,等.超大型自航绞吸挖泥船发展现状及设计特点[J].船舶工程,2023,45(1):220-223.
  - [2]刘荣振,李晓磊,陈九肖,等.新一代超大型自航绞吸挖泥船性能论证及设计方案[J].船舶工程,2023,45(1):398-402.
  - [3]毛建辉,费龙,王显力,等.天鲲号绞吸挖泥船挖岩作业配套船舶技术研究[J].中国港湾建设,2024,44(1):93-97.
- 作者简介:李焕章(1972.1—),男,重庆江津人,汉族,中专学历,沿海一等船长,从事船舶管理和航道疏浚施工工作。