

· 施工 ·



绞吸挖泥船施工经济性选型分析

刘海民, 姜兴良

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 为合理控制投资, 需根据项目施工条件合理选择疏浚船型。以绞吸挖泥船为基础, 依据现行疏浚定额, 分析疏浚价格组成及影响因素, 通过分析不同疏浚船型在不同吹距时的价格曲线得到单价的变化趋势, 找出吹距相同时的经济船型; 总结得出大中型绞吸挖泥船的经济适用的疏浚工程量范围。结果表明, 当吹距相同时, 采用大型绞吸挖泥船成本优势明显, 更适合远距离吹填; 当疏浚工程量较小时, 中小型绞吸船疏浚成本优势明显; 当工程量大于 200 万 m³ 时, 大型船舶具有成本优势; 当运(吹)距超过 14 km 时, 选用抓斗挖泥船比耙吸挖泥船经济性更优。

关键词: 疏浚工程; 绞吸挖泥船; 控制投资; 疏浚船舶选型

中图分类号: U 616

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)04-0191-05

Economy selection of cutter suction dredger construction

LIU Haimin, JIANG Xingliang

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: To reasonably control the investment, the dredging ship types should be reasonably selected according to the project construction conditions. Based on the cutter suction dredger, according to the current dredging quota, this paper analyzes the composition and influencing factors of dredging price. By analyzing the price curve of different dredging ship types at different blowing distances, the changing trend of unit price is obtained and the economic ship types with the same blowing distances are found out. The economic and applicable dredging project scope of large and medium-sized cutter suction dredgers is summarized. The results show that when the blowing distance is the same, the large cutter suction dredger has obvious cost advantage and is more suitable for long distance blowing and filling. When the amount of dredging is small, the cost advantage of small and medium-sized cutter suction dredger is obvious. When the amount of dredging is more than 2 million m³, the cost advantage of large dredger is obvious. When the transport distance is far, it is better to choose grab dredger than rake suction dredger.

Keywords: dredging engineering; cutter suction dredger; investment control; selection of dredging ship

水运工程建设日益大型化、远海化、国际化的发展趋势对港口、航道建设特别是施工设备选型提出新的要求。国内大型施工企业相继建造或购置了大量高效率的施工船舶和设备, 特别是以水上施工作业为主的疏浚企业, 更是对疏浚船舶及疏浚施工技术进行了升级。绞吸式挖泥船是水力式挖泥船中较普遍的一种, 施工范围较广, 适用于港口、河道、湖泊的疏浚工程, 特别适合吹

填造陆工程, 基本适用于各种岩土挖泥工况, 是目前世界上使用较为广泛、拥有数量最多的一种挖泥船。

交通运输部 2019 年颁布新版《水运建设工程概算预算编制规定》^[1] 及疏浚定额^[2-3], 根据现有水运工程建设实际施工中的疏浚船型对 1997 版疏浚定额进行全面修订, 其中的最大施工船型均有较大的变化, 自航耙吸挖泥船最大施工船型由 6 500 m³

收稿日期: 2022-07-24

作者简介: 刘海民 (1980—), 男, 高级工程师, 从事水工设计及造价工作。

升级到 1.3 万 m^3 ；抓斗挖泥船最大施工船型由 13 m^3 升级到 30 m^3 ；绞吸挖泥船最大施工船型由 2 500 m^3/h 升级到 4 500 m^3/h 。本文依据 2019 现行疏浚定额，结合市场主力疏浚船型，测算分析不同规格绞吸挖泥船在不同吹距下的综合单价变化情况，为咨询、设计和施工阶段的疏浚船舶选型及投资控制提供参考。

1 疏浚综合单价测算依据

依据交通运输部 2019 年第 57 号文发布的 JTS/T 116—2019《水运建设工程概算预算编制规定》《疏浚工程预算定额》和《疏浚工程船舶艘班费用定额》，疏浚工程费用由定额直接费、其他直接费、企业管理费、利润、规费、增值税等组成。1)定额直接费包括基价定额和市场价定额直接费，分别是以工料机基价和市场价单价为基础，按定额规定计算的挖泥、运泥、吹泥费，开工展布、收工集合费，施工队伍调遣费，管架安拆费之和。2)其他直接费主要包括安全文明施工费、卧冬费、疏浚测量费、施工浮标抛撤及使用费等，一般是以基价定额直接费为基数，按编规规定的相应费率进行费用计价。3)企业管理费主要包括施工单位为组织施工生产和经营管理所需的费用，以基价定额直接费与其他直接费之和为基础进行取费。4)利润是施工企业从事疏浚与吹填工程施工所获得的盈利，以基价定额直接费、其他直接费、企业管理费之和为基础进行取费。5)规费主要包括社会保险费、住房公积金等，主要以船员人工费为基础按照规定标准进行取费。6)增值税以税前工程造价为基础，即以不含税市场价定额直接费、其他直接费、企业管理费、利润、规费之和为基础，按规定的增值税税率进行计算。

市场价定额直接费费用占比较大，是决定疏浚工程单价指标的主要因素，因此疏浚船舶挖泥、运泥和吹泥等施工工序影响着疏浚综合单价的高低。

2 绞吸挖泥船施工特点

2.1 施工方式

绞吸式挖泥船是利用安装在艏部开槽中绞刀

架前段的绞刀进行松土的吸扬式挖泥船。船体装有泥泵和吸泥装置，挖泥时用绞刀绞松泥土，再用泥泵将泥浆从吸泥管吸入，经过排泥管送到岸上或排入泥驳运走。绞吸式挖泥船的施工特点是挖掘与吸输工作同时完成，通过管道输送，对环境影响较小，效率较高。施工适应范围广，主要用于港口、航道等疏浚工程，特别适用于吹填造地工程，适用于挖掘砂、砂质黏土、砂砾、黏土等土质。一些装有较大功率带齿绞刀装置的绞吸式挖泥船甚至可挖掘硬黏土、胶结砂、砾石、珊瑚礁和一定强度的岩石等。

绞吸式挖泥船主要由船体、桥梁(桥架)、绞刀、绞刀马达、泥泵、定位装置(钢桩或三缆)等组成^[4]，见图 1。

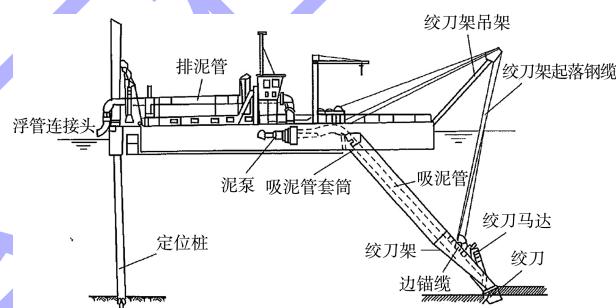


图 1 绞吸式挖泥船组成

2.2 绞吸挖泥船船型

对国内主要大型疏浚企业的调研表明，目前绞吸挖泥船船型的效率主要为 40、60~80、90、120、200、350、400、1 000、1 250、1 450、1 600~2 000、2 500~4 500 m^3/h 等，其中主力船型的效率为 2 500~4 500 m^3/h 。

2.3 施工条件

2.3.1 施工工况

根据施工所在地(自取泥地点至卸泥地点的整个作业面)的条件和施工船舶的适应能力，按客观影响时间占施工期总时间的百分率确定工况级别，应综合考虑风、浪、雾、水流、冰棱与潮汐等自然因素，以及施工干扰等其他客观因素对挖泥船施工的影响。

2.3.2 疏浚土分级

根据《疏浚与吹填工程设计规范》^[5]和《疏浚工

程预算定额》，疏浚岩土主要分为13级:1、2级为淤泥质土,3~5级为黏性土,6~8级为砂土,9~10级为碎石土,11~13级为岩石。通过选用不同规格的绞吸挖泥船,针对不同岩土选用合适的绞刀。对于上述1~13级岩土,绞吸挖泥船均具有可挖性。

2.3.3 疏浚挖深

根据《疏浚工程预算定额》,挖泥船施工平均挖深应根据施工期的平均水位、设计底高程、计算超深值及平均泥层厚度等要素计算:

$$H=h_1-h_2+\Delta h-t/2 \quad (1)$$

式中: H 为平均挖深; h_1 为平均水位; h_2 为设计底高程; Δh 为计算超深值; t 为平均泥层厚度。

挖深不同时,疏浚单价也不同。挖深越深,疏浚单价越高。不同规格绞吸挖泥船有适用的最大挖深,施工作业时,不能超过其最大挖深。

2.3.4 疏浚运(吹)距

根据《疏浚工程预算定额》,运(吹)距指挖泥船由挖泥中心(按疏浚土方量分布计算)至卸泥(吹泥)区中心的航程,按照疏浚土方移动路线距离计算。绞吸挖泥船吹填主要通过浮管、岸管等管线输送,某些船型绞吸船施工作业的实际输送距离较远即大于其标准岸管长度上限参考值时,可通过增开1台舱内泵进行长距离输送,也可配接力泵船进行长距离输送。

3 绞吸挖泥船经济性分析

3.1 研究思路

路萍等^[6]利用2019年发布的疏浚定额对绞吸挖泥船在不同工程量条件下的疏浚价格进行分析,当疏浚工程量在50万m³以上时,单价较为稳定。本研究以不小于50万m³的某一工程量为基础,选择吹距作为主要影响因素,其他影响因素选择常规可能数值,根据2019版《水运建设工程概算预算编制规定》及相关疏浚定额,计算不同规格绞吸挖泥船在不同吹距下的疏浚综合单价。以吹距为横坐标,疏浚综合单价为纵坐标,通过分析曲线走势得出各种船型的疏浚单价变化情况。

3.2 基本假设

1)常规施工条件,各船型均能正常施工;2)施工工况取4级,工程量取200万m³;3)疏浚土级别取3级,即中等硬度的黏性土;4)挖深取10m,排高取6m,泥层厚度取3m;5)不含税柴油价格8500元/t;6)水下管和浮管长度取0m,采用标准岸管,长度基本与吹距相等。

3.3 吹距对疏浚综合单价的影响

3.3.1 2 000 m³/h 以下绞吸挖泥船

选择2 000 m³/h以下的绞吸挖泥船如:200、400、1 000、1 450和2 000 m³/h绞吸挖泥船在不同吹距时的疏浚综合单价进行计算,结果见图2。不同船型有各自适合的最大吹距,2 000 m³/h以下船型一般只设1个舱内泵,无法通过增加舱内泵数量延长吹距。由图2可知,400 m³/h以下吹距较短,一般小于2.0 km;1 450 m³/h以上吹距较长,可达4.0~5.0 km;在适合的吹距范围内,当吹距相同时,大型绞吸挖泥船疏浚单价更低,有较好的成本优势。

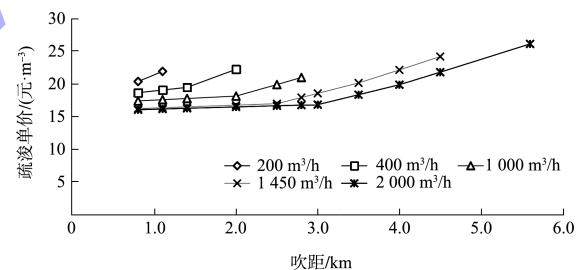


图2 2 000 m³/h以下绞吸挖泥船疏浚综合单价随吹距变化曲线

3.3.2 2 000 m³/h 以上绞吸挖泥船

选择2 000 m³/h以上的绞吸挖泥船如3 000、4 500 m³/h绞吸挖泥船在不同吹距时疏浚综合单价进行计算,结果见图3。2 000 m³/h以上船型一般设2个舱内泵,当吹距大于6.5 km时,可增加舱内泵;当吹距大于11.0 km时,可通过连接接力泵船延长吹距。由图3所知,当吹距小于4.5 km时,2 000 m³/h以上船型疏浚综合单价相当;当吹距大于4.5 km时,大型绞吸挖泥船疏浚单价更低,且吹距越远,单价差距越大,大型绞吸挖泥船的价格优势越明显。

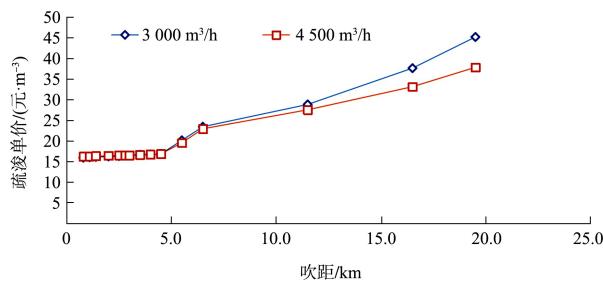


图 3 2000 m³/h 以上绞吸挖泥船疏浚综合单价随吹距变化曲线

3.3.3 各规格绞吸挖泥船

对图 2、3 所有疏浚船型进行整合分析可知, 在达到一定疏浚工程量和相同的吹距情况下, 大型绞吸船疏浚综合单价较低, 且船型规模越大, 单价越低, 大型绞吸挖泥船疏浚价格具有绝对优势, 应优先选用。4 500 m³/h 绞吸挖泥船为最经济的疏浚船型。

3.4 工程量对疏浚综合单价的影响

选择大中型绞吸挖泥船船型, 排距取 2.0 km, 对 2 000、3 000、4 000、4 500 m³/h 绞吸挖泥船在不同疏浚工程量时疏浚综合单价进行计算, 结果见图 4。由图 4 可知, 当疏浚工程量小于 100 万 m³ 时, 船型越大, 疏浚单价越高, 经济船型为 2 000 m³/h 绞吸船, 采用小型船舶的成本优势明显; 当工程量在 200 万 m³ 左右时, 各船型疏浚单价趋于一致; 当工程量大于 200 万 m³ 时, 大型船舶具有成本优势, 但总体较稳定, 疏浚单价相差不大。

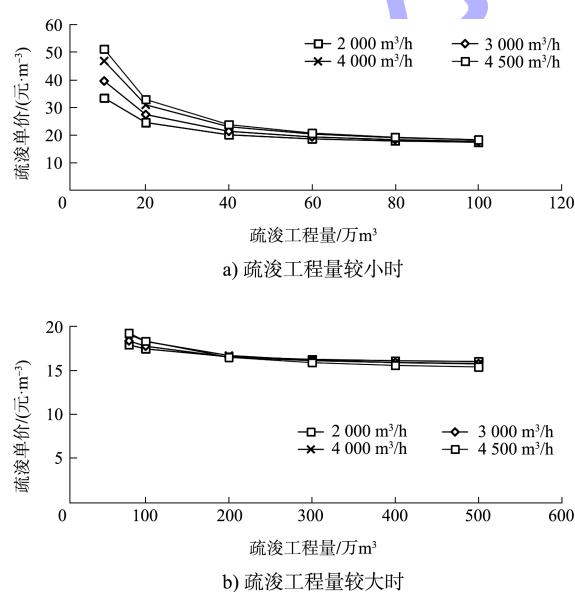


图 4 各规格绞吸挖泥船疏浚综合单价随疏浚工程量变化曲线

4 不同类型挖泥船经济船型对比分析

除绞吸挖泥船外, 把吸挖泥船和抓斗挖泥船的施工应用也较为广泛。路萍对把吸挖泥船和抓斗挖泥船的船型经济性进行了分析, 得出最经济的船型分别是 1.3 万 m³ 把吸挖泥船和 30 m³ 抓斗挖泥船。对 3 种挖泥船的最经济船型在不同的吹(运)距下的疏浚综合单价进行分析计算, 结果见图 5。

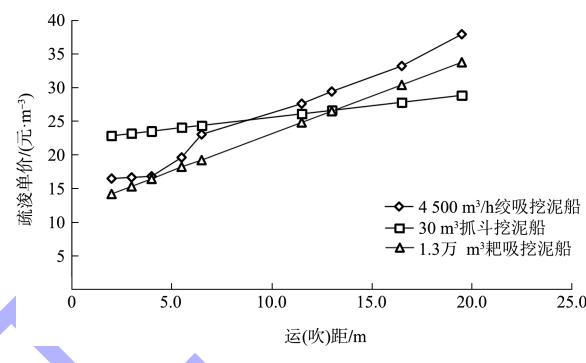


图 5 不同类型挖泥船最经济船型疏浚综合单价随吹距变化曲线

由图 5 可知: 1) 当吹距小于 9.0 km 时, 30 m³ 抓斗挖泥船单价最高, 其次是 4 500 m³/h 绞吸挖泥船, 再次是 1.3 万 m³ 把吸挖泥船; 在接近 5.0 km 时, 4 500 m³/h 绞吸挖泥船单价增速较快, 已同 30 m³ 抓斗挖泥船单价相当, 达到平衡点。2) 当吹距大于 9.0 km 且小于 14.0 km 时, 4 500 m³/h 绞吸挖泥船单价最高, 其次是 30 m³ 抓斗挖泥船, 再次是 1.3 万 m³ 把吸挖泥船; 在接近 14.0 km 时, 1.3 万 m³ 把吸挖泥船单价增速较快, 已同 30 m³ 抓斗挖泥船单价相当, 达到平衡点。3) 当吹距大于 14.0 km 时, 4 500 m³/h 绞吸挖泥船单价最高, 其次是 1.3 万 m³ 把吸挖泥船, 再次是 30 m³ 抓斗挖泥船。

综上所述, 在 3 种疏浚船型均方便施工且其它因素影响不大的情况下, 当吹距小于 14.0 km 时, 均宜选用 1.3 万 m³ 把吸挖泥船施工; 当吹距大于 14.0 km 时, 宜选用 30 m³ 抓斗挖泥船施工。

5 结论

- 1) 当工程量达到一定规模后, 疏浚单价较为稳定, 此时, 当疏浚吹距相同时, 采用大型绞吸挖泥船的疏浚单价较低, 成本优势明显。
- 2) 采用大型绞吸挖泥船疏浚效率高、单价低且吹填距离更远, 更适合远距离吹填。
- 3) 当疏浚工程量较小时, 小型船舶疏浚成本优势明显, 当工程量大于 200 万 m^3 , 大型船舶具有成本优势, 但总体价格差异不大。
- 4) 当运(吹)距较小时, 抓斗挖泥船单价较高, 宜选择绞吸挖泥船和耙吸挖泥船施工。随着运距的增加, 绞吸挖泥船和耙吸挖泥船单价增速较快, 且绞吸挖泥船单价维持最高; 当耙吸挖泥船和抓斗挖泥船达到运距平衡点时, 耙吸挖泥船单价超过抓斗挖泥船单价, 宜选用抓斗挖泥船施工。

(上接第 95 页)

参考文献:

- [1] 李中华, 胡亚安. 水力浮动式升船机设计原理 [J]. 水运工程, 2010(7): 116-120.
- [2] 胡亚安. 景洪水力式升船机充、泄水阀门常(减)压模型试验研究 [R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2014.
- [3] 何维华. 活塞阀在给水工程中的应用 [J]. 给水排水, 1997(8): 48-50.
- [4] 乌晓明. 新型阀门在水库放水系统中的应用 [J]. 水利水电工程设计, 2010, 29(1): 28-30.
- [5] 李博. 活塞式调流阀在大伙房水库输水工程中的应用 [J]. 科技传播, 2013, 5(7): 153, 136.
- [6] 杨富超, 马韧韬, 高普新, 等. 套筒式调流调压阀在水利水电工程中的应用 [J]. 水利水电工程设计, 2018, 37(2): 33-35.
- [7] 邓君. 活塞式调节阀流场特性分析与结构优化 [D]. 株洲: 湖南工业大学, 2015.
- [8] 李燕辉, 廖志芳, 蒋劲, 等. 大口径活塞套筒式调流调压阀流动特性分析 [J]. 水利学报, 2019, 50(4): 516-523.
- [9] LAKEHAL D, THEODORIDIS G S, RODI W. Three dimensional flow and heat transfer calculations of film cooling at the leading edge of a symmetrical turbine blade model [J]. International journal of heat and fluid flow, 2001, 22(2): 113-122.
- [10] GILDEH H K, MOHAMMADIAN A, NISTOR I, et al. Numerical modeling of turbulent buoyant wall jets in stationary ambient water [J]. Journal of hydraulic engineering, 2014, 140(6): 1-17.
- [11] 龙新平, 姚鑫, 杨雪龙. 多孔喷嘴射流泵流动模拟与涡结构分析 [J]. 排灌机械工程学报, 2012, 30 (2): 136-140, 152.
- [12] 王晓鹏, 范晏岗, 郑铁刚. 多股射流入流间距对下游水力特性影响分析 [J]. 水利水电技术, 2016, 47(4): 52-57.
- [13] 牛万芬. 船闸输水系统三维多孔壁面射流消能特性研究 [D]. 重庆: 重庆交通大学, 2017.
- [14] 高猛, 槐文信, 曾玉红. 横流中垂直出流式多孔射流稀释特性研究 [J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2018, 46(6): 94-98.
- [15] 王福军. 计算流体动力学分析-CFD 软件原理与应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [16] 王蛟, 胡亚安, 薛淑, 等. 水力式升船机组合阀运行方式优化 [J]. 水运工程, 2020(9): 6-13.

(本文编辑 王璁)