



# 基于 MATLAB 的接力泵船施工 辅助设计软件的应用

赵丽娜

(中交天津航道局有限公司, 天津 300450)

**摘要:** 介绍基于 MATLAB 的接力泵船施工辅助设计软件的应用, 通过计算分析合理布设接力泵船的位置, 避免了绞吸船施工多级泥泵串联后局部排出压力过高的问题, 解决了绞吸船由于泥浆输送距离受限而无法进行超长排距施工的技术难题。研究成果成功应用于曹妃甸 5 000 万 t/a 煤码头项目围海造陆工程中。

**关键词:** 接力泵船; MATLAB; 辅助设计

**中图分类号:** U 656.1; TP 31

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1002-4972(2017)02-0178-04

## Application of aided design software based on MATLAB for construction of floating booster station

ZHAO Li-na

(CCCC Tianjin Dredging Co., Ltd., Tianjin 300450, China)

**Abstract:** This paper introduces the application of aided design software based on MATLAB for the construction of floating booster station. Rationally designed of the floating booster station by the calculation results can avoid partial discharge pressure being too high after series connection of multistage mud pump of cutter suction dredger. It solves the technological problems that cutter suction dredger can't construct in long-distance discharge because of the limitation of conveying distance. The research result has been successfully applied to the reclamation project of 50 million t/a coal wharf in Caofeidian.

**Keywords:** floating booster station; MATLAB; aided design

绞吸式挖泥船挖掘能力强、施工效率高, 是目前世界上数量最多的一种挖泥船, 在疏浚行业中发挥着重要作用。近年来, 施工环境越来越复杂, 常常出现排泥场距离施工区较远的情况, 此时若采用绞吸船单船施工, 由于受到设备扬程的限制, 难以将泥浆直接输送到排泥区域。接力泵船的应用很好地解决了这一问题。接力泵船, 即安装有泥泵、能与挖泥船排泥管串联接力的工作船。通过在绞吸挖泥船排泥管线的合理位置串联接力泵船, 增加整个系统泥泵串联数量, 提高泥泵机组的有效总扬程和泥浆输送距离, 从而大幅

度提高绞吸挖泥船的施工适应性和设备利用率。绞吸船与接力泵船串联超长排距施工, 改变了以往在超长排距施工中采用泥沙二次运转的施工方法, 不仅节能降耗, 而且避免了施工区海域污染。

国内学者进行了大量研究, 将接力泵船配合绞吸挖泥船施工的技术逐渐应用到长排距施工中。谷银远<sup>[1]</sup>介绍了新海燕轮与航绞接一号轮组在曹妃甸工业区仓储区及仓储区西区围海造地工程施工中的船位布设及效能分析, 对长排距施工具有指导意义。刘心胜等<sup>[2]</sup>介绍了绞吸式挖泥船+接力

收稿日期: 2016-06-03

作者简介: 赵丽娜 (1982—), 女, 工程师, 从事航道疏浚工程施工及管理工作。

泵船串联施工工艺在连云港 30 万吨级航道一期疏浚工程中的应用, 较好地解决了在吹距长、高程大、土质硬等不利条件下吹填上陆的施工难题。

本文基于 MATLAB 软件对接力泵船施工进行辅助设计, 该软件可以根据吸入压力准确计算接力泵船的位置, 同时可以根据泵船位置反推管线中的流速及流量、主船排压、接力泵船吸入压力和排出压力等参数, 对施工参数的控制以及确保设备的安全运转具有指导意义。

## 1 计算公式及软件主要功能

### 1.1 公式

根据主船及泵船在给定转速条件下的流量扬程对应关系换算出工作状态下的流量扬程曲线, 计算公式如下:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad (1)$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2)$$

式中:  $H$  为扬程(m);  $Q$  为流量( $\text{m}^3/\text{s}$ );  $n$  为转速( $\text{r}/\text{min}$ )。

泥泵串联时, 泥泵特性拟合:

$$Q = Q_1 = Q_2 \quad (3)$$

$$H = H_1 + H_2 \quad (4)$$

管线阻力由达西-维斯巴赫公式<sup>[3]</sup>计算, 公式如下:

$$h = \lambda \frac{1}{2g} \cdot \rho v^2 \frac{L}{D} \quad (5)$$

式中:  $h$  为管线阻力;  $\lambda$  为阻力系数;  $L$  为管线长度(m);  $D$  为管径(m);  $v$  为有限截面上的平均流速( $\text{m}/\text{s}$ );  $g$  为重力加速度( $\text{m}/\text{s}^2$ );  $\rho$  为密度( $\text{t}/\text{m}^3$ )。

### 1.2 软件主要功能

本软件的主要功能有: 1) 建立接力泵船输送模型; 2) 绘制流量-扬程曲线; 3) 已知泵船位置求各施工参数; 4) 已知泵船吸入压力时确定泵船位置。

## 2 工程实例

### 2.1 工程概况<sup>[4]</sup>

华能曹妃甸 5 000 万 t/a 煤码头项目围海造陆

工程位于曹妃甸港池岛南侧, 已建的国投煤码头工程以南, 防波堤外侧的无掩护区域。造陆区域总面积约 131.9 万  $\text{m}^2$ 。吹填高程按 5.0 m 控制, 吹填总方量约 1 800 万  $\text{m}^3$ 。本工程施工分为 D、E 2 个标段, 取砂量均为 900 万  $\text{m}^3$ , 吹距 12 km。平均挖泥底高程为 -12 m, 超深 3 m。整个吹填区平均划分为 3 个宽度约 658 m 的区域。

对现场钻孔采样进行土工试验, 结果表明: -7.95 m 以上为粉细砂, 松散-稍密状, 土质较均匀, 标贯击数  $\leq 10$  击, 土质级别为 8 级; -15 ~ -7.85 m 土质为粉细砂, 中密状; 深度 13 m 以下夹粉质黏土薄层, 标贯击数  $\leq 30$  击, 土质级别为 9 级。

### 2.2 原施工参数分析

船舶 4<sup>#</sup>取砂区施工期间: 浮管 600 m, 5 号岛西侧水下管线 2 600 m, 5 号岛岸管 3 700 m, 跨二港池航道水下管线 1 200 m, 二港池东侧岸管 4 200 m。4<sup>#</sup>取砂区管线最大用量约 12 300 m。

由于吹距超长, 使用单一绞吸船已经无法满足施工要求, 故采用绞吸船串联接力泵船的方法实施。

工程前期, 使用手动计算的方法对泵船位置进行测算, 根据图 1 所示, 保证接力泵吸入端压力  $\geq 0.1$  MPa。首先设定了以下参数:

- 1) 施工流速控制在 4.0~4.5 m/s;
- 2) 天然土平均密度取 1.8  $\text{t}/\text{m}^3$ ;
- 3) 平均浓度控制在 30%, 则泥浆密度为 1.26  $\text{t}/\text{m}^3$ ;
- 4) 主船与接力泵船的间距按 6 800 m 计算。

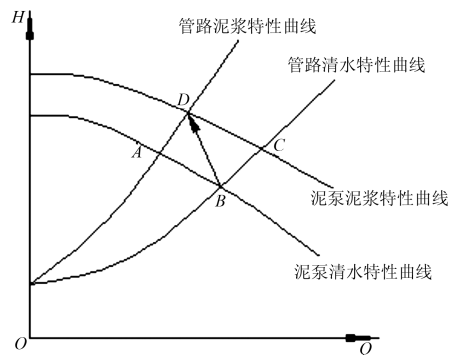


图 1 泥泵管路曲线

但是施工情况不容乐观, 收集典型施工期间的数据见表 1。

表 1 调整前主船施工情况

区域	时间段	船报工程量/m <sup>3</sup>	实测工程量/m <sup>3</sup>	运转时间	吹水时间	时利率/%	船报生产率/(m <sup>3</sup> /h)	单船生产率(扣除吹水时间)/(m <sup>3</sup> /h)	实测生产率/(m <sup>3</sup> /h)	单船油耗/t	泵船油耗/t	油耗/(t/万 m <sup>3</sup> )	管线长度/m
3#	11-25—12-11	438 457	318 522	249 h 05 min	6 h 35 min	58	1 761	1 313	1 279	351.51	98.26	14.12	10 164
4#	12-12—12-25	441 553	340 663	219 h 55 min	10 h 45 min	65	2 007	1 628	1 548	303.14	104.62	11.97	10 916

主船 3 台泵 90% 的运转转数，平均浓度 20% ~ 30%，主船排压为 12 kg/cm<sup>2</sup>，船上流速显示 3.5 ~ 4 m/s，实测生产率在 1 413 m<sup>3</sup>/h。

从以上数据可以看出，主船尚未完全发挥出产能优势，主要是由于主船与接力泵船间的距离过大，在各种排距施工条件下，各泥泵机组应具有一定的调速范围，且能够得到合理使用，满足整个系统安全、高效和低耗的施工要求。

### 2.3 研究成果的应用

根据主船和泵船前段时间的典型施工数据，通过对现场工况的了解，使用本软件对主船与泵船之间的距离进行优化，并根据现场情况综合考

虑。在保证接力泵船前压力不小于 0.1 MPa 的前提下，尝试提升接力泵船前的压力值，此数值要控制在合理范围内，才能充分发挥主船和泵船的功效。经过距离的测算，同时结合对施工各个参数的匹配，最终决定把泵船与主船的距离调短至 6 000 m 左右。测试界面见图 2。同时，计算出工作状态下各参数值，见图 3。

为将主船和接力泵船之间的互相影响降至最低，主船和接力泵船制定了合/脱泵流程、加转流程、主船和接力泵船在施工中的注意事项，保证船舶的时利率。一段时间施工数据统计见表 2。

表 2 调整后主船施工参数

区域	时间段	船报工程量/m <sup>3</sup>	实测工程量/m <sup>3</sup>	运转时间	吹水时间	时利率/%	船报生产率/(m <sup>3</sup> /h)	单船生产率(扣除吹水时间)/(m <sup>3</sup> /h)	实测生产率/(m <sup>3</sup> /h)	单船油耗/t	泵船油耗/t	油耗/(t/万 m <sup>3</sup> )	管线长度/m
4#	01-27—03-10	874 606	741 574	520 h 45 min	37 h 40 min	50	1 680	1 535	1 424	802	362	15.70	12 000
4#	03-11—03-24	462 311	480 313	218 h 45 min	21 h 55 min	65	2 113	2 440	2 196	338	166	10.48	12 000

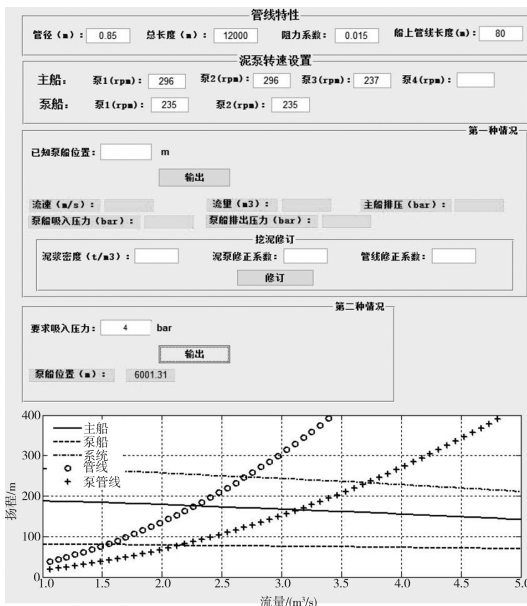


图 2 接力泵船位置计算

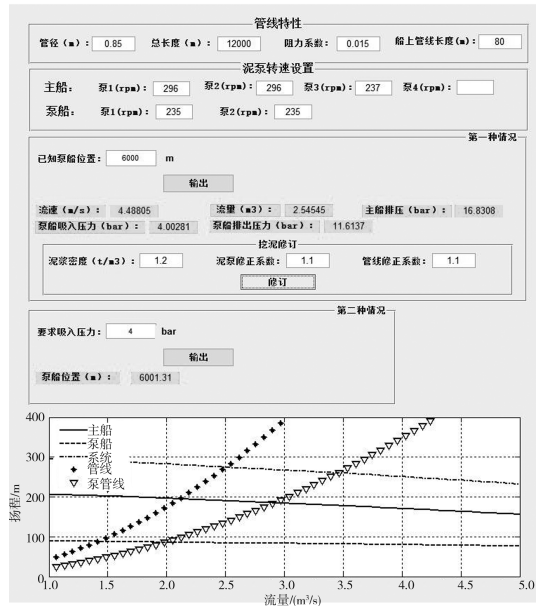


图 3 工作点参数计算

从表 2 可以看出, 通过 2 个月左右的实际应用, 在本段施工期内, 生产率从原来的平均  $1\,413\text{ m}^3/\text{h}$  提高到平均  $1\,810\text{ m}^3/\text{h}$ , 增幅 28%。

在主船和接力泵船的通力配合下, 采用适宜的施工工艺, 主船施工产量创造了  $5.5\text{ 万 m}^3/\text{d}$  的最高产量, 并且船舶时利率达 92%, 船舶平均生产率  $2\,292.5\text{ m}^3/\text{h}$ , 创造了多项曹妃甸工地施工记录。

### 3 结论

1) 基于 MATLAB 软件对接力泵船施工进行辅助设计, 根据计算结果合理布设接力泵船, 避免绞吸船多级泥泵串联后局部排出压力过高的问题, 解决了在疏浚工程超长排距施工中所遇到的工艺技术难题。

2) 该成果已经应用于华能曹妃甸 5 000 万 t/a 煤码头项目围海造陆工程中, 验证结果较好, 对施工参数控制及设备安全运转具有指导意义。

### 参考文献:

- [1] 谷银远. 大型绞吸船与接力泵船在超长排距施工中的效能分析[C]//中国交通建设集团股份有限公司. 2011 年现场技术交流会论文集. 北京: 中国交通建设集团股份有限公司, 2011.
- [2] 刘心胜, 周林根, 王建平. 接力泵船在连云港 30 万吨级航道疏浚硬质土中的应用[J]. 中国港湾建设, 2014(8): 74-78.
- [3] 彭跃胜. 基于清水流量测验法的绞吸挖泥船吹填效率的计算分析[J]. 水运工程, 2009(6): 51-54.
- [4] 杨建民, 吴会明, 刘文. 浅谈曹妃甸大型绞吸船串联接力泵船长距离施工工艺[J]. 天津航道, 2014(1): 53-56.

(本文编辑 郭雪珍)

## · 消 息 ·

### 天津航道局环保公司通过国家级高新技术企业认定

日前, 天津航道局环保公司顺利通过 2016 年国家级高新技术企业认定。

国家级高新技术企业的成功认定, 是天津航道局环保公司继成为天津市高新技术企业、天津市企业技术中心之后的又一次突破, 是对天津航道局环保公司快速发展、科技创新能力的肯定。天津航道局环保公司将继续面向市场需求, 进一步提高自主创新能力和服务水平, 充分发挥高新技术企业的优势和模范带头作用, 推动天津航道局环保产业又好又快发展。

[http://en.ccccltd.cn/cccltd/news/jcxw/jx/201701/t20170117\\_87335.html](http://en.ccccltd.cn/cccltd/news/jcxw/jx/201701/t20170117_87335.html) (2017-01-17)

### 贵州省贵安新区海绵城市试点两湖一河 PPP 项目开工

日前, 由中交第四公路工程局有限公司作为牵头单位, 中交第一公路勘察设计研究院有限公司等单位共同组成联合体进行投资建设的贵州省贵安新区海绵城市试点两湖一河 PPP 项目开工。该项目是首批国家海绵城市试点项目, 总投资额约 20.9 亿元, 项目采用“增量 BOT+整体运营模式”建设, 建设期不超过 1 年, 运营期 12 年, 主要包括月亮湖公园和星月湖公园建设。其中月亮湖公园位于贵安新区中心区南部, 总规划用地面积  $468.1\text{ 万 m}^2$ , 水体面积  $141\text{ 万 m}^2$ , 分两期实施; 星月湖公园位于贵安新区中心区核心区域, 总规划用地面积  $198.8\text{ 万 m}^2$ , 水体面积  $58.8\text{ 万 m}^2$ , 分三期实施。项目建成后将成为整个贵安新区的雨水调蓄湿地和绿色安全生态屏障, 对营造水清岸绿的水系环境、建设生态宜居的城市空间具有重要意义。

[http://en.ccccltd.cn/cccltd/news/jcxw/jx/201702/t20170208\\_87496.html](http://en.ccccltd.cn/cccltd/news/jcxw/jx/201702/t20170208_87496.html) (2017-02-08)