

# 绞吸式挖泥船产量优化研究\*

王其松<sup>1</sup>, 严军<sup>2</sup>, 邓家泉<sup>1</sup>

(1. 珠江水利科学研究院, 广东广州 510610; 2. 华北水利水电学院, 河南郑州 450011)

**摘要:** 在总结绞吸式挖泥船产量影响因素的基础上, 通过分析绞吸式挖泥船实际作业的大量数据, 探讨了一种施工经验与施工数据分析相结合的产量优化方法。经过实际工程检验, 该方法具有较大的应用价值。

**关键词:** 绞吸式挖泥船; 数据分析; 经验优化法; 产量优化

中图分类号: U 616<sup>+.5</sup>

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)03-0048-08

## On high yield of cutter suction dredger

WANG Qi-song<sup>1</sup>, YAN Jun<sup>2</sup>, DENG Jia-quan<sup>1</sup>

(1. The Pearl River Hydraulic Research Institute, Guangzhou 510610, China;

2. North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450011, China)

**Abstract:** Based on the summary of the influential factors of CSD and analysis of a large number of data about cutter suction dredger, this paper discusses a yield optimizing method combining with the balance of construction experience and data analysis. This method has been proved of great practical value by the real engineering.

**Key words:** cutter suction dredger; data analysis; experience optimization method; yield optimization

绞吸式挖泥船是目前港口、航道疏浚和陆地吹填工程中运用较广泛的一种船舶。它具备了其他类型挖泥船的一些优点, 在疏浚施工中连续作业, 将挖掘、输送、排出和泥浆处理等工序一次完成, 效率高, 成本较低。产量是评价挖泥船性能最重要的指标之一, 也是绞吸式挖泥船研究的重点问题。

绞吸式挖泥船疏浚作业是一个多因素相互作用、相互影响的过程, 产量的影响因素非常多且复杂。在现阶段疏浚施工中, 主要还是以人工优化为基础, 依靠以往经验判断疏浚施工的主要作业参数, 施工效率较低。以现有科技手段短时间内实现疏浚的智能操作又不现实, 故把施工经验与施工数据分析相结合, 以施工经验为基础, 通过分析工况数据提出产量的优化方法是在现有条

件下可行可靠的方法。

本文在总结绞吸式挖泥船产量影响因素的基础上, 通过分析绞吸式挖泥船实际作业的大量数据, 探讨了一种施工经验与施工数据分析相结合的产量优化方法, 经过实际工程检验, 该方法具有较大的应用价值。

### 1 绞吸船产量影响因素分析

绞吸船的产量(不考虑非施工时间)通常用下式表示:

$$W=QP=(\pi r^2v)P \quad (1)$$

式中:  $W$ 为产量( $m^3/h$ );  $Q$ 为泥浆流量( $m^3/h$ );  $P$ 为泥浆浓度(%);  $r$ 为排泥管半径( $m$ );  $v$ 为泥浆流速( $m/h$ )。

泥浆浓度可以用下式表示:

收稿日期: 2012-07-21

\*基金项目: 长江武汉航道工程局项目“绞吸挖泥船挖掘硬质黏土工艺优化研究”

作者简介: 王其松(1987—), 男, 硕士研究生, 研究方向为港口海岸近海工程。

$$P = \frac{\rho_s - \rho_w}{(\rho_n - \rho_w)(1 - \varepsilon)} \quad (2)$$

式中:  $\rho_s$ 为泥浆密度;  $\rho_w$ 为水的密度;  $\rho_n$ 为泥沙的密度;  $\varepsilon$ 为泥沙孔隙率。

故施工效率可以表示为:

$$W = QP = \frac{(\pi r^2 v)(\rho_s - \rho_w)}{(\rho_n - \rho_w)(1 - \varepsilon)} \quad (3)$$

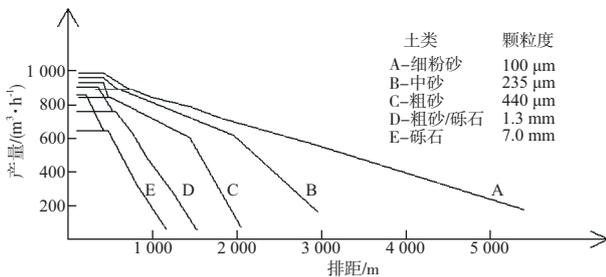
由式(3)可知, 产量与泥浆流量、泥浆浓度、泥沙孔隙率等有关, 式中泥浆流量、浓度与泥泵功率和绞刀性能密切相关。

影响施工效率的因素可以归纳为以下几个方面。

### 1.1 疏浚土级别

疏浚土的级别和工程特性会直接影响绞吸式挖泥船的施工效率。疏浚工程地质分为土类和岩石类两大类。又可分为有机土及泥炭、淤泥土类、黏性土类、粉土类、砂土类、碎石土类及岩石类等小类, 共可分为15个级别<sup>[1]</sup>。当挖泥船挖掘硬质黏土时, 绞刀挖掘性能、泥泵的吸入性能都会受到很大限制, 造成输出流量较少, 泥浆浓度降低, 产量降低。

挖掘不同级别的疏浚土时, 产量变化很大。如设计产量为3 850 m<sup>3</sup>/h的绞吸式挖泥船, 疏浚4类土时效率仅为900 m<sup>3</sup>/h; 疏浚6类土时效率更低, 仅为600 m<sup>3</sup>/h。图1为海狸1600型绞吸式挖泥船挖掘不同类型疏浚土时的产量变化。



注: 排泥管直径500 m, 挖深14 m, 饱和容量1.85 t/m<sup>3</sup>, 计算容积浓度20%。

图1 海狸1600型绞吸式挖泥船产量曲线

### 1.2 排距

排距与绞吸式挖泥船产量的关系非常密切。长排距施工导致泥泵输送阻力增加同时使泥泵排出压力增大, 所需的压能只能由动能转化而来, 相应会出现流速降低及流速下降等, 使产量降低。

排泥管泥浆摩阻与排距的关系可用下式表示<sup>[2]</sup>:

$$h = m \left( 0.02 + \frac{0.0018}{\sqrt{vD}} \right) \frac{Lv^2}{2gD} \quad (4)$$

式中:  $h$ 为排泥管泥浆摩阻(m);  $L$ 为排距(m);  $D$ 为排泥管内径(m);  $v$ 为泥浆流速(m/s);  $m$ 为根据土质和泥浆浓度所得的系数。

公式(4)也可证明: 随着排距增大, 排泥管泥浆摩阻变大, 造成排泥管输送效率降低, 影响挖泥船的产量。当排距过大时, 可采取多泵串联接力吹泥的模式, 保证泥浆的安全输送。

在实际生产中, 当施工排距远小于设计排距时, 由于泥浆在排泥管中的能量沿程损失减小, 从而使泥浆动能增大, 在排泥管口, 泥浆会以很高的流速排出, 使得泥泵的排出流量远远大于设计流量, 这样泥泵及主机的输出功率增加, 造成主机超负荷运行, 这同样会影响挖泥船的生产效率。排距对产量的影响见图1。

### 1.3 泥泵性能

泥泵的主要性能参数流量、扬程、功率、转速、泥浆浓度与泥浆密度等都会影响挖泥船疏浚施工效率。泥泵在某固定转速工作时, 各参数的变化范围与关系呈一定规律, 一般采用曲线来表示, 通常称这种表示各泥泵性能变化规律的曲线为泥泵的特征曲线。图2是泥泵定速时的特征曲线, 一般以流量为参照, 主要包括流量-扬程( $Q-H$ )曲线、流量-功率( $Q-N$ )曲线、流量-效率( $Q-\eta$ )曲线、最大真空限制曲线与真空曲线( $Q-M$ )。

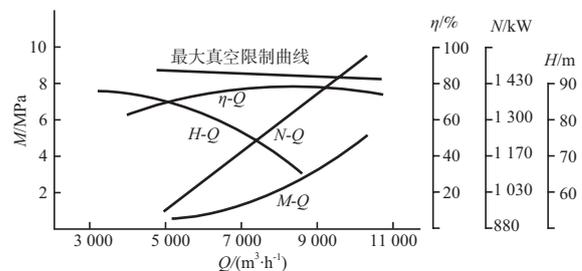


图2 泥泵定速特性曲线

### 1.4 输泥管路

泥泵的运行不仅与泥泵性能有关, 而且与输泥管路的布置及工况变化有关, 如排泥管长段不同、浮管打弯等, 输泥管路输泥阻力的变化必然

会影响泥泵的输出扬程和流量。管路特征曲线反映的是一定长度的排泥管路扬程损失与流量的关系,如图3。泥泵特征曲线( $Q-H$ )与管路特征曲线( $Q-h$ )的交点称为泥泵的运行工作点。正常施工状态下,受多种因素影响,特征曲线一般都处于变动状态,这就需要调整排泥管路,使泥泵工况点位于高效区内。

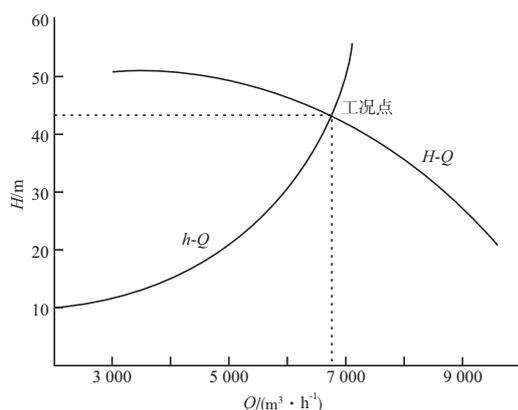


图3 管路特征曲线

### 1.5 其他因素

包括人为因素、绞刀选择、挖掘深度及施工地点的水流速度、方向等。

## 2 产量的经验优化法

挖泥船的生产量可以用下式表示

$$M=QP \quad (5)$$

式中: $Q$ 为流量; $P$ 为泥浆浓度<sup>[3]</sup>。流量与泥浆浓度是影响挖泥船瞬时产量的决定性因素。另外必须要注意的因素就是施工时间,总挖方是一定的情况下,施工时间越短,对应的产量越高。

### 2.1 提高输送流量

由泥泵的特征曲线可知:流量与泥泵功率、扬程及泥泵效率有关。要提高输送流量,一是提高泥泵功率,即主机输出功率;二是降低挖泥船扬程;三是提高泥泵效率。

绞吸式挖泥船的原动机在建船之前就已经确定,即主机输出功率是一定的,故泥泵的功率是无法提高的。

疏浚工程确定后,相应的工况也已经确定,包括土质、排距、挖深等,其扬程也就确定了。

泥泵的效率可以通过以下几个方面来改善:

1) 改善泵壳流道。不合理的泥泵泵壳流道会使流道磨损严重,不但使泵的水力效率下降,而且还使泥泵的使用寿命缩短,造成叶轮吸入性能恶化等。

2) 确定合理的泥泵入口直径。入口直径的确定很重要,它关系到泥泵的吸入性能、通过能力、磨损和效率等。

3) 选择合适的耐磨材料。施工时泥泵中会通过高浓度的泥沙、砂石、树枝甚至是一些铁质硬异物,故泥泵外壳、泵轴及叶轮材料的选择会直接关系到泥泵的效率及使用寿命。以上都是机械疏浚行业科研机构的重要研究课题。

综上所述,泥泵输送流量的提高相对较难,但在实际施工中,泥泵输送流量较少的情况却时有发生,有以下几方面的原因:

1) 泥泵吸入能力受阻,使排出流量下降。表现为真空度表读数明显增大,压力表明显下降。此时应停止挖泥动作,使泥泵处于抽清水状态,再次观察真空表和压力表读数,如果与清水状态仍不同,应该停止挖泥船主机工作,将绞刀桥架提升至水面以上进行清除。

2) 泵内部泄漏量增加,使得泥泵的效率降低。这是由于泥泵使用时间过长,泵内磨损严重造成的。

3) 排泥管出现堵塞,导致泵内流速变小,使得流量变小。堵塞严重时压力表读数明显偏大,真空表读数趋于零,当完全堵塞时,只能拆卸排泥管进行处理。

挖泥船操作人员必须密切注意真空度表和压力表的读数变化,及时发现并防止流量下降情况的产生,是提高疏浚效率的关键。如何充分利用真空度表和压力表,保证泥泵系统保持均衡的泥浆浓度,在泥泵不超载的情况下发挥最大的经济效益,这是挖泥船操作人员必须具备的技能。

### 2.2 提高泥浆浓度

控制泥浆浓度大于平均浓度,并接近最大浓度,同时保持整个系统处于稳定的工作状态,对提高产量具有重要的意义。

提高泥浆浓度并不是盲目追求过高的泥浆浓度,当泥浆浓度过高时,泥泵的排出压力会变大,超过泥泵负载的压能必须由动能转化而来,

这会使泥泵的流速变小,导致输送流量降低,反而会影响挖泥船的产量。同时浓度变大、流速变小容易造成泥泵堵塞及排泥管堵塞。另外,当真空度增大一定程度后也很容易造成泥泵气蚀,缩短泥泵的寿命。

对于一般的绞吸式挖泥船开挖常见的黏性土时,无水下泥泵泥浆浓度最大可达到30%,平均浓度为20%~24%,有水下泥泵最大浓度可达到35%,平均浓度为20%~24%;开挖常见砂性土时,无水下泥泵泥浆最大浓度可达到25%,平均浓度为15%~18%,有水下泥泵最大浓度可达20%,平均浓度为10%~14%<sup>[4]</sup>。

维持泥浆浓度还必须考虑疏浚土的因素,当开挖的疏浚土级别较低时,可适当提高泥浆浓度,当疏浚土级别较高时,要酌情降低泥浆浓度,以防止泥砂沉淀。具体船型可通过现场试验来确定泥浆浓度及真空度的最佳值、控制的最大值。

### 2.3 缩短施工时间

缩短施工时间即保证挖泥船持续作业的时间,缩短施工时间包括以下几个方面:

1) 合理操作,减少挖泥船的机械故障。这些故障包括泥泵堵塞、排泥管堵塞、拔管,绞刀损坏等,维修这些故障会耗费大量时间,但这都可以通过合理的施工操作来减少甚至避免。

2) 减少移船时间。在施工中移船会浪费大量的时间,尤其是不合理的频繁移船。减少移船时间,可以通过合理规划施工区域来尽量减少移船次数,然后通过辅助船只和挖泥船设备仪表的密切配合并可借助天气条件(风力)来缩短每次移船的时间。

3) 缩短移锚时间。在施工中移锚是比较频繁

的,减少移锚时间同样会缩短施工时间。

在实际的施工操作中,必须把提高输送流量、泥浆浓度有机结合起来,并保证设备运转稳定,同时减少施工过程中挖泥船的维护、修理时间,以达到提高挖泥船产量的目的。

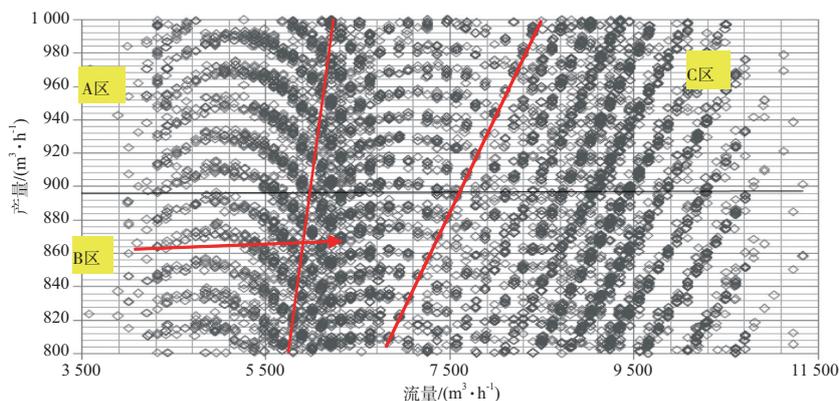
## 3 施工数据分析

为具体分析流量、浓度等因子对产量的影响,文中搜集某3 850 m<sup>3</sup>/h绞吸式挖泥船在疏浚4类土30 d的数据(每5 s一组、每组10个参数,有效数据约500万个)。

### 3.1 产量与流量的关系

通过分析流量为3 500~11 500 m<sup>3</sup>/h、瞬时产量为0~6 500 m<sup>3</sup>/h的数据表明,产量与流量呈现两类明显的关系:1)产量随流量的增大而线性递增;2)产量随流量的增大曲线递增至最大值后减小。

图4是流量为3 500~11 500 m<sup>3</sup>/h,瞬时产量为800~1 000 m<sup>3</sup>/h时产量与流量的关系。由图4可见,可将图由左至右分为3个区域,产量与流量呈现以下5种明显的关系:1)A区,流量在3 500~6 500 m<sup>3</sup>/h时,产量随流量的增大曲线递增至最大值(对应的流量约为4 800 m<sup>3</sup>/h)后减小。2)B区,流量在6 000~8 000 m<sup>3</sup>/h时,产量随流量的增大曲线递增至最大值(对应的流量约为7 000 m<sup>3</sup>/h)后减小。3)C区,流量大于8 000 m<sup>3</sup>/h时,产量随流量的增大而线性递增。4)同一瞬时产量对应至少3个流量。5)同一流量对应的瞬时产量差别很大。其他产量段对应的流量与产量关系规律也近似如此。



注:流量为3 500~11 500 m<sup>3</sup>/h,瞬时产量为800~1 000 m<sup>3</sup>/h。

图4 产量与流量的关系

这种规律的出现有以下3个原因:

1) 泥沙的粒径及土力学特性。

当疏浚较松软土质(流塑性淤泥、松散的细粉砂及沙壤土等)时,泥浆的浓度会很高,用较小的流量就可达到最大的瞬时产量,当达到最大瞬时产量后继续增大流量,会同时伴随着浓度下降,产量反而呈下降趋势,由于泥浆浓度很大,泥泵也不会达到很高的流量,即如图4中A区所示;当疏浚较坚硬的黏性土壤、砂石及卵石时,由于泥浆的浓度很低且比较稳定,泥泵可以达到很高的流量,随着流量的增加,产量也会增加,由于泥泵有最大的流量上限,所以这种产量的增大也不会是无限的,如图4中C区所示;当介于前两种情况中间时会出现图4中B区所示的情况,达到最大瞬时产量时对应的流量较A区变大,是由于泥浆的浓度降低了,且达到最大瞬时产量后继续增大流量,产量也会降低。不规律的疏浚土质变化是同一流量对应产量变化很大原因之一。

2) 施工方法。

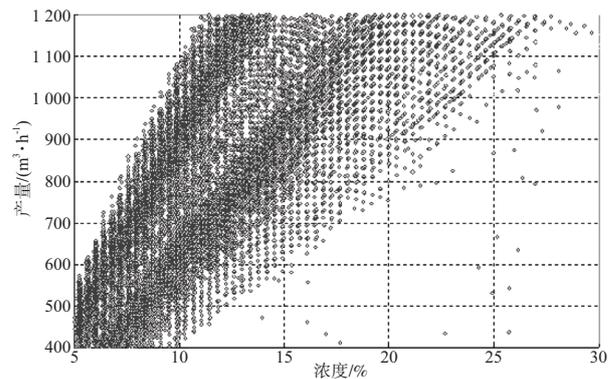
在同一工地施工时,疏浚土质变化很大的情况不是特别常见,开挖方式因素的影响更为显著。施工时,开挖泥土的厚度一般都比较大,需要挖掘2层以上,加上必要的扫浅作业,所以一般需要开挖3遍以上才能达到规定的疏浚深度。当开挖第1层或前几层时,绞刀可以达到最佳的开挖厚度,泥浆浓度会保持在较高的状态,用较小的流量就可达到最大的瞬时流量,当达到最大瞬时产量后继续增大流量,会同时伴随着浓度下降,产量就会呈下降趋势,如图4中A区所示;当剩余的泥土厚度达不到绞刀适合的开挖厚度时,泥浆的浓度会降低,达到最大瞬时产量需要的流量就会变大,达到最大瞬时流量后继续增大流量,随着泥浆浓度的降低,产量也会减少;最后扫浅时,开挖的是淤积和未达到规定深度的部分,开挖深度很小,泥浆的浓度一般会很低,此时的流量会很大,产量会随着流量的增大而变大,如图4中C区所示。施工中长时间高浓度的泥浆很容易堵塞管道,所以在施工人员经常需要拉高绞刀、提高流量,以冲刷输泥管道,这也是同一流量对应产量变化很大原因之一。

3) 施工操作技巧,天气条件、输泥管道距离变化等因素的影响。

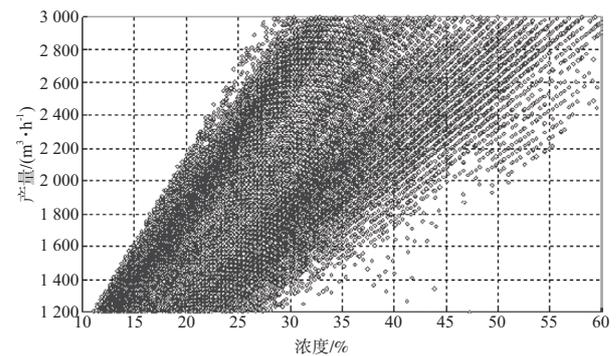
除了施工土质变化外,施工操作技巧,天气条件、输泥管道距离变化等因素的影响也是同一流量对应产量差别很大的原因。施工中一般实行6人3班6h轮班制,施工人员的操作合理、熟练程度对产量的影响很大;同一工况下,顺风逆风、潮汐变化、水流速度变化都会使施工产量变化;时刻在变化的输泥管道距离也是产量变化的原因。

3.2 产量与浓度的关系

浓度是影响产量最重要的因素之一,选取400~3000 m<sup>3</sup>/h典型产量段产量与浓度的关系进行分析,如图5所示。



a) 浓度为5%~30%, 瞬时产量为400~1200 m<sup>3</sup>/h



b) 浓度为10%~60%, 瞬时产量为1200~3000 m<sup>3</sup>/h

图5 产量与浓度的关系

1) 产量随浓度的提高呈整体增大趋势。

一般地,  $浓度 = \frac{产量}{流量} \times 100\%$ , 所以浓度越大, 对应的产量越大。

2) 随浓度的增加, 产量增大到一定值后呈减小趋势。

JTJ 319—1999《疏浚工程技术规范》说明绞吸式挖泥船泥浆最大浓度为30%~35%，平均浓度为15%~24%。当泥浆浓度过高时，泥泵的排出能力也需增强，所需要的压能就相应增加，这时只能靠泥泵内部的动能转换而来，造成泥泵的排出流量降低，总的输送土方量会出现不增反降的情况。

3) 最高浓度为34%，平均产量对应的浓度超过12%。

由《疏浚工程技术规范》可知，超过35%的产量数据是不合理的，可以忽略；挖泥船的平均产量仅为1 217 m<sup>3</sup>/s，超过3 000 m<sup>3</sup>/h的产量数据较少且与浓度的关系杂乱无章，所以也可以忽略掉。由图5b)可知，最大产量3 000 m<sup>3</sup>/h对应的浓度在34%附近，可以认定在此工程中，绞吸船的最高浓度为34%，平均产量1 217 m<sup>3</sup>/h对应的浓度超过12%。

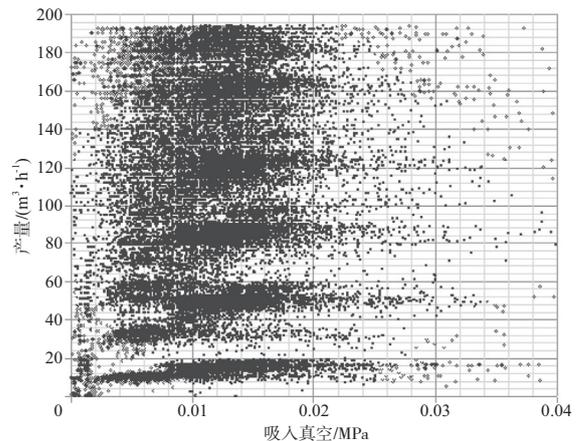
在施工中，对操作人员来说，使泥浆浓度处在平均浓度以上、接近最高浓度，并保持稳定的工作状态，具有非常重要的现实意义。在本工程中，最高浓度可控制在34%附近，平均浓度控制在12%以上。

### 3.3 产量与吸入真空的关系

通过分析吸入真空为0~0.06 MPa、瞬时产量为0~6 500 m<sup>3</sup>/h时的数据表明，产量与吸入真空呈现两类明显的关系：1) 产量随吸入真空的增大曲线递增至最大值后趋于定值；2) 产量随吸入真空的增大整体呈现递增趋势。

以瞬时产量0~200 m<sup>3</sup>/h产量与吸入真空的关系为例进行分析，如图6，其他产量与吸入真空的关系与图6相似。由图6可见：吸入真空小于0.01 MPa时，产量随吸入真空的增大缓慢增加；吸入真空大于0.01 MPa时，产量随吸入真空的增大没有明显变化。吸入真空小于0.025 MPa时，产量随吸入真空的增大缓慢增加；吸入真空大于0.025 MPa时，产量随吸入真空的增大没有明显变化。

吸入真空度是泥泵吸入能力的标志，吸入真空度越高，泥泵的吸入能力越强，对应的产量会相应的变高，受泥浆浓度、流量等因素的影响，吸入真空度达到一定的数值后，吸入能力就不会



注：吸入真空为0~0.06 MPa，瞬时产量为0~200 m<sup>3</sup>/h。

图6 产量与吸入真空的关系

直接产量的大小；影响吸入真空的因素很多，如树枝、大颗粒砂石等杂物随时可能堵塞入口，所以吸入真空的变化比较频繁，甚至显得很凌乱；每个泥泵都有对应的允许吸入真空度，所以在施工中吸入真空一般不会超过允许吸入真空度，以防止出现气蚀。

### 3.4 产量与各因素的综合关系

根据流量大小将产量段大致分为3部分，分别为3 500~6 000，6 000~8 000，8 000~11 500 m<sup>3</sup>/h。对各流量段产量与各系数的关系进行对比分析，产量分别定为600，1 000，1 200，1 500，1 800，2 000，2 200，2 500，2 800，3 000，3 200，3 500，3 800，4 000 m<sup>3</sup>/h，偏差为±3 m<sup>3</sup>/h，选出各产量对应的参数值（流速、流量、密度、绞刀压力、吸入真空）各50组，对各参数值进行加权平均计算，进行对比。

由表1可得，在3 500~6 000 m<sup>3</sup>/h流量段，最大的产量对应最大的流量，密度随着产量的增加一直增大，绞刀压力与吸入真空与产量呈近似的正比例关系，所以在3 500~6 000 m<sup>3</sup>/h流量段，可以适当增大密度、绞刀压力和吸入真空度，绞刀转速控制在9.0~9.6 r/min附近，吸入真空控制在0.2~0.6 bar附近。在6 000~8 000 m<sup>3</sup>/h流量段，产量与密度成正比，产量达到2 200 m<sup>3</sup>/h后，绞刀转速由递增变为递减，吸入真空在0.018 9~0.021 5 bar范围内产量较高，绞刀转速可控制在8.0~8.5 r/min左右。在8 000~11 500 m<sup>3</sup>/h流量段，产量与密度

表1 各产量段参数

| 流量段/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ) | 产量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ) | 流速/(m·s <sup>-1</sup> ) | 流量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ) | 密度/(t·m <sup>-3</sup> ) | 绞刀转速/(r·min <sup>-1</sup> ) | 吸入真空/bar |
|--|---------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------|
| 3 500~6 000                            | 600                                   | 2.42                    | 4 952                                 | 1.12                    | 7.62                        | 0.014 0  |
|  | 1 000                                 | 2.74                    | 5 598                                 | 1.17                    | 8.67                        | 0.015 7  |
|  | 1 200                                 | 2.75                    | 5 612                                 | 1.19                    | 9.06                        | 0.017 2  |
|  | 1 500                                 | 2.66                    | 5 430                                 | 1.24                    | 8.67                        | 0.020 0  |
|  | 1 800                                 | 2.71                    | 5 543                                 | 1.28                    | 9.08                        | 0.023 4  |
|  | 2 000                                 | 2.70                    | 5 514                                 | 1.31                    | 9.57                        | 0.025 2  |
|  | 2 200                                 | 2.63                    | 5 371                                 | 1.34                    | 9.30                        | 0.023 5  |
|  | 2 500                                 | 2.71                    | 5 537                                 | 1.37                    | 9.56                        | 0.026 0  |
|  | 2 800                                 | 2.72                    | 5 563                                 | 1.41                    | 8.94                        | 0.025 9  |
| 6 000~8 000                            | 600                                   | 3.19                    | 6 511                                 | 1.10                    | 8.85                        | 0.014 0  |
|  | 1 000                                 | 3.10                    | 6 329                                 | 1.15                    | 8.4                         | 0.016 0  |
|  | 1 200                                 | 3.37                    | 6 876                                 | 1.16                    | 8.93                        | 0.018 3  |
|  | 1 500                                 | 3.23                    | 6 596                                 | 1.20                    | 9.33                        | 0.018 2  |
|  | 1 800                                 | 3.28                    | 6 702                                 | 1.23                    | 9.15                        | 0.020 5  |
|  | 2 000                                 | 3.31                    | 6 758                                 | 1.26                    | 9.14                        | 0.021 5  |
|  | 2 200                                 | 3.25                    | 6 632                                 | 1.29                    | 9.54                        | 0.020 5  |
|  | 2 500                                 | 3.30                    | 6 741                                 | 1.30                    | 9.12                        | 0.020 2  |
|  | 2 800                                 | 3.54                    | 7 239                                 | 1.32                    | 8.46                        | 0.019 5  |
|  | 3 000                                 | 3.52                    | 7 198                                 | 1.35                    | 8.11                        | 0.021 0  |
|  | 3 200                                 | 3.57                    | 7 287                                 | 1.36                    | 8.26                        | 0.018 9  |
| 3 500                                  | 3.63                                  | 7 412                   | 1.39                                  | 8.03                    | 0.021 5                     |          |
| 8 000~11 500                           | 600                                   | 4.44                    | 9 062                                 | 1.07                    | 9.06                        | 0.017 2  |
|  | 1 000                                 | 4.52                    | 9 227                                 | 1.11                    | 8.97                        | 0.020 8  |
|  | 1 200                                 | 4.48                    | 9 156                                 | 1.13                    | 9.49                        | 0.022 4  |
|  | 1 500                                 | 4.48                    | 9 147                                 | 1.15                    | 9.39                        | 0.023 5  |
|  | 1 800                                 | 4.39                    | 8 977                                 | 1.18                    | 8.88                        | 0.024 2  |
|  | 2 000                                 | 4.45                    | 9 092                                 | 1.19                    | 9.82                        | 0.027 5  |
|  | 2 200                                 | 4.45                    | 9 100                                 | 1.21                    | 10.72                       | 0.029 0  |
|  | 2 500                                 | 4.49                    | 9 163                                 | 1.23                    | 10.55                       | 0.030 0  |
|  | 2 800                                 | 4.64                    | 9 481                                 | 1.25                    | 9.41                        | 0.027 5  |
|  | 3 000                                 | 4.37                    | 8 919                                 | 1.29                    | 9.88                        | 0.021 4  |
|  | 3 200                                 | 4.51                    | 9 203                                 | 1.29                    | 10.45                       | 0.031 2  |
|  | 3 500                                 | 4.44                    | 9 078                                 | 1.32                    | 9.92                        | 0.027 8  |
|  | 3 800                                 | 4.32                    | 8 823                                 | 1.35                    | 9.56                        | 0.029 4  |
| 4 000                                  | 4.43                                  | 9 040                   | 1.36                                  | 10.56                   | 0.033 7                     |          |

成正比，流量在9 000 m<sup>3</sup>/h附近、产量较高，绞刀转速可控制在10.5 r/min附近，吸入真空可控制在0.03 bar附近。

#### 4 施工参数优化

通过以上的分析可知，影响产量的因素非常多，规律复杂，提高产量并不是单独提高某一个或几个参数就能达到的，而是需要多个参数的协调来实现。提高产量的方法可以总结一下几个方

面，这几个方面是相互联系、相互制约的：

1) 合适、均衡的泥浆浓度。具体就是使泥浆浓度处在平均浓度以上、接近最高浓度，并保持稳定的工作状态，防止浓度过高发生堵管子或泥泵气蚀，本工程的最高浓度为34%，平均浓度控制在12%以上。

2) 稳定的流量。在浓度相对固定的情况下，较高的流量对应较高的产量，但流量超过一定数值后，产量反而会出现下降的情况，减少流量的

频繁变化,也是防止发生堵管子现象的方法,本工程中建议流量控制在 $9\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$ 附近。

3) 熟练控制吸入真空度。真空度反映了开挖断面的泥水混合物在压力差作用下进入泥泵的吸入扬程耗损情况。当挖深加大、泥土含量增多时,需要的吸入扬程耗损就高,真空度就表现为增大现象。通过真空度的变化可以判断吸泥口堵塞、泥泵堵塞、排泥管堵塞、排泥管拔脱及吸空现象,以上任何一个现象发生都会导致产量下降,施工人员需要通过真空度及时判断、防止这种现象发生,所以熟练控制真空度是提高产量的关键点。本工程建议真空度控制在 $0.03\ \text{bar}$ 附近。

本部分的各参考值应用在该工程绞吸式挖泥船施工中,生产效率有较明显提高。

### 5 结语

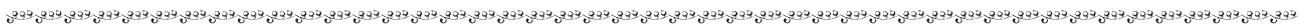
提高挖泥船产量研究具有重要的意义,但由

于影响绞吸式挖泥船产量的因素很多,包括船体配置、工况、操作人员水平甚至是气候条件,故挖泥船产量的研究也一直是难点问题。在实际工程中,挖泥船的施工数据可以通过试挖取得,通过分析这些实际作业数据,用施工经验与施工数据分析相结合的方式提出产量优化的方法是在现阶段可行可靠的方法。

### 参考文献:

- [1] JTJ 320—1996 疏浚岩土分类标准[S].
- [2] 布雷(英). 疏浚工程手册[M]. 上海: 上海航道局, 1982.
- [3] Ir W J Vlasblom. Dredge Pumps[M]. Delft: Delft University of Technology, 2004.
- [4] 刘守金. 绞吸式挖泥船的施工与管理[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.

( 本文编辑 武亚庆 )



( 上接第14页 )

3) 对于排体设计和铺排施工的优化建议。

①目前工程中采用的软体排,其加筋带均为丙纶材料,相应拉力负荷值较小,在进行深水铺排时,排体需承受较大的拉力,相应需要加筋带的根数会成倍增加,无论是对排体强度的消弱还是缝纫费用的增加,都是不利的,因此建议采用涤纶材质的加筋带,可有效提高排体强力,减少加筋带根数。两种材质加筋带拉力值比较见表3。

表3 加筋带技术指标

| 材料    | 宽度/<br>cm | 抗拉负荷/<br>kN | 伸长率/<br>% | 单位长度质量/<br>( $\text{g}\cdot\text{m}^{-1}$ ) |
|-------|-----------|-------------|-----------|---|
| 涤纶加筋带 | 5         | >35         | <25       | >70   |
| 丙纶加筋带 | 5         | >20         | <25       | >70   |

②本地区的施工条件比较困难,在狼山沙左缘铺设 $30\ \text{m}$ 深水排体时,应充分比较施工工期、船机设备情况、流场情况等,结合整体工期进度

计划,确定合理的移船距离。

致谢: 在该项目设计工作和本文的撰写过程中得到了中交一航院有限公司王美茹顾问总工和李元音总工的精心指导,在此表示衷心感谢。

### 参考文献:

- [1] 刘颖, 杨平. 软体排沉排受力分析与非线性有限元计算[J]. 船海工程, 2011(6): 52-55.
- [2] 朱宪武. 混凝土联锁块软体排的受力分析和计算[J]. 水运工程, 2000(12): 21-26.
- [3] 顾宝健, 孟相国, 张香月. 深水无掩护海区联锁块软体排结构优化分析[J]. 水运工程, 2012(2): 30-34.
- [4] 中交一航局长江南京以下 $12.5\ \text{m}$ 深水航道一期工程项目部. 长江南京以下 $12.5\ \text{m}$ 深水航道一期工程通州沙整治建筑物工程II标段软体排铺设典型施工方案[R]. 天津: 中交一航局, 2012.

( 本文编辑 武亚庆 )