

# 长江南京以下深水航道维护疏浚 船舶选型及设计分析

杨守威, 李 昕, 张博文

(长江航道规划设计研究院, 湖北 武汉 430011)

**摘要:** 长江南京以下 12.5 m 深水航道的进一步上延, 对维护疏浚船舶装备提出了新的要求。针对长江下游深水航道维护疏浚特点、疏浚船舶船型适应性、技术特点进行分析和研究, 提出以大中型耙吸挖泥船为基础的适应下游深水航道维护疏浚的船型配置方案, 并对主力船型——大型耙吸挖泥船的设计和疏浚效率改进进行探讨。

**关键词:** 维护疏浚船; 船型特点; 选型分析; 耙吸挖泥船

中图分类号: U 616

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)12-0196-05

## Selection and design of maintenance dredge vessels used in deepwater channel of Yangtze River below Nanjing

YANG Shou-wei, LI Xin, ZHANG Bo-wen

(Changjiang Waterway Planning, Design and Research Institute, Wuhan 430011, China)

**Abstract:** The deepwater channel of the Yangtze River will be continue upward to Nanjing, and need much more dredge vessels. This paper studies the Yangtze River deepwater channel maintenance dredging and dredging ship characteristics, and puts forward configuration scheme based on the medium and large trailing suction hopper dredger, and then probes into the design of trailing suction hopper dredger and the means to improve the dredging efficiency.

**Keywords:** maintenance dredge vessel; ship characteristics; type selection analysis; trailing suction hopper dredger(TSHD)

长江南京以下深水航道是长江黄金水道中含金量最高的河段之一, 在促进沿江区域经济快速发展中扮演重要的角色, 尤其是对江苏省依托和融入长江经济带实现持久高效增长至关重要。随着长江下游南京以下深水航道建设的推进, 12.5 m 深水航道将向上延伸至南京, 航道维护标准大幅提高对航道维护管理提出了更高的要求。虽然南京以下河段航道自然条件相对较好, 但也有部分浅水航段在部分年份无法满足航道维护尺度要求, 仅靠航道整治工程难以持续稳定地提高和保持航

道水深, 还必须辅助以疏浚等手段方能维持 12.5 m 深水航道的持续贯通。建设适合深水航道维护的疏浚挖泥船至关重要。

### 1 长江南京以下深水航道维护疏浚特点

南京—浏河口段共有 12 个水道, 其中主要碍航浅水道有仪征、和畅洲、口岸直、福姜沙、通州沙、白茆沙等 6 处, 是航道维护重点水域。总结历年来长江航道维护疏浚实际情况, 具有如下特点<sup>[1]</sup>:

收稿日期: 2014-10-06

作者简介: 杨守威 (1985—), 男, 工程师, 从事船舶工程相关专业研究。

1) 土质以细沙为主: 长江南京以下河段为冲积性平原和现代沉积的三角洲平原, 土质具有二元相结构特征, 上层为河漫滩相细粒层, 多为细颗粒亚黏土、亚砂土, 下层为河床相沉积层, 一般为粗颗粒粉砂, 除个别山矾临江外, 大部分河段河床、洲滩及河岸为现代沉积物, 河床质基本上为细沙组成, 其中值粒径为  $0.013 \sim 0.25 \text{ mm}$ , 结构松散, 抗冲性较差。

2) 淤积的不确定性: 由于航道来水、来沙时变化, 航槽具有不稳定性, 故每年维护区域内发生淤积的地点、时间以及淤积量具有不确定性, 航道维护疏浚的点多线长面散。因此, 在船舶数量有限的情况下, 必须要求提高船舶的快速调遣和应急反应能力。

3) 疏浚时间紧、强度大: 根据多年资料分析, 随着航道维护尺度的逐步提升, 航道维护疏浚量显著增加。以福姜沙南水道为例: 2001—2004 年, 福南水道维护水深  $10.0 \text{ m}$ , 年维护疏浚量  $17 \text{ 万} \sim 23 \text{ 万 m}^3$ , 年均维护疏浚量约  $19 \text{ 万 m}^3$ ; 2005 年提升至  $10.5 \text{ m}$  后, 至 2010 年福南水道维护疏浚量为  $41 \text{ 万} \sim 97.8 \text{ 万 m}^3$ , 年均维护疏浚量约  $82 \text{ 万 m}^3$ , 较维护水深为  $10 \text{ m}$  时增加约  $330\%$ 。目前,  $10.5 \text{ m}$  水深时期每年还需通过疏浚来维护,  $12.5 \text{ m}$  深水航道开通后, 疏浚量将进一步大幅增加, 而年疏浚作业时间有限, 疏浚强度也必将大幅上升, 要求维护疏浚船舶的大型化和高效化。

4) 航道尺度提高后带来维护疏浚压力增加: 尽管本河段采取了相应的航道整治措施, 以改善和维持良好的河势, 但工程效能的发挥还需时间去检验、适应和调整, 航道维护尺度提高后, 除原有航道尺度时重点维护的浅水道外, 局部可能出现不满足新的航道维护水深的浅区, 甚至还会出现多处出浅、挖不胜挖的现象<sup>[2]</sup>。如浏河水道在航道维护水深提高到  $10.5 \text{ m}$  时尚可自然维持, 极少疏浚; 但航道维护水深提高到  $12.5 \text{ m}$  以来, 每年都需要挖泥船进行维护疏浚。航道维护疏浚需要同时应对原有浅险水道以及可能出现的新的浅水道的维护疏浚任务, 对疏浚船舶的调度反应

能力和疏浚施工效率提出了更高的要求。

5) 疏浚施工与通航矛盾突出: 长江南京以下河段是目前世界上通航密度最大、通航环境最复杂的航段。据 2011 年统计, 镇江、江阴、南通等断面船舶日均流量达  $2\,000$  艘次左右, 高峰时期日均流量达到近  $3\,500$  艘次, 也就意味着平均每分钟经过施工区域的船舶数量约  $1.5$  艘次, 高峰时期可能达到  $2.5$  艘次。疏浚作业区域大多是繁忙的航运通航水域, 这些川流不息的船舶, 与疏浚船舶的作业运行之间的相互影响, 成为潜在的不安全因素。

6) 疏浚与环保的矛盾突出: 疏浚离不开水下大量的挖泥、抛填等作业, 对疏浚区和抛泥区的水下生态会产生一定的影响。随着环保要求越来越高, 传统的边抛及深水区抛泥方式将逐步侧重于应急疏浚情况下, 日常维护性疏浚将更多的采取定点排放, 通过艏喷或绞吸挖泥船转吹至岸上, 减少施工对江水产生的污染。而本河段两岸经济发达, 城镇星罗棋布、码头摩肩接踵, 很难觅到岸上抛泥区, 即使有也是偏远区域, 这就要求航道维护疏浚船舶舱容大、航速高。

## 2 挖泥船特点及选型分析

目前, 长江航道上用于航道维护疏浚的船型主要有抓斗挖泥船、吸盘挖泥船、绞吸挖泥船以及耙吸挖泥船等。

抓斗挖泥船通过抓斗切削破土, 适应的土质主要为砂卵石, 很显然抓斗挖泥船不适应下游深水航道维护的要求; 虽然吸盘、绞吸、耙吸挖泥船都能够满足对南京以下疏浚土质适应性的要求, 但是吸盘挖泥船排距较小, 边抛只能达到  $60 \text{ m}$  左右, 在长江下游至少  $200 \text{ m}$  宽甚至  $500 \text{ m}$  宽的航道, 无法将疏浚土抛至主航道外, 即使通过尾排的方式作业, 在大幅牺牲效率的情况下其排距最大也只能达到  $2\,500 \text{ m}$  左右, 因此, 吸盘挖泥船用于水面宽阔的南京以下航道疏浚存在较大的局限性。下面对耙吸挖泥船和绞吸挖泥船进行比较。

绞吸挖泥船，由于施工锚缆定位，作业面占用水域较大，在内河航道中施工与通航矛盾突出，对通航影响极大，故一般不用于主航道施工；耙吸挖泥船为自航船型，调遣灵活，应急反应能力强，且作业过程由单船完成，对航道通航影响小，疏浚土的排放不受距离限制，且完全适应南京以下深水航道土质要求，同时考虑河段内疏浚强度大，对船舶效率要求高，故大中型耙吸挖泥船是首选类别。

### 3 耙吸挖泥船设计分析

#### 3.1 舱容

根据长江深水航道的维护特点，要求疏浚船舶不宜多、单艘船舶疏浚效率高，因此为完成维护疏浚任务，拟考虑采用大型耙吸挖泥船。由于14万m<sup>3</sup>以上的超大型耙吸挖泥船的船长一般为140~200m，吃水一般在10.4~15m，尺度相对较大，对其本身的操纵性和航道影响很大，因此在南京以下航道的适用性不佳。而0.6万~14万m<sup>3</sup>的耙吸挖泥船的主尺度和疏浚性能等能够较好地满足上述长江航道特点和维护疏浚要求，比较适合长江航道的疏浚作业。典型耙吸挖泥船主要参数见表1。

表1 典型耙吸挖泥船主要参数

舱容/万 m <sup>3</sup>	总长/m	船宽/m	型深/m	吃水/m	航速/kn
0.6	100~110	21~22	≤8.5	≤7.5	≤14.0
0.8	110~120	22~24	≤10.0	≤8.5	≤14.0
1.0	120~130	24~26	≤10.0	≤8.5	≤15.0
1.3	135~145	26~28	≤10.0	≤9.5	≤15.0
1.4	140~150	27~28	≤11.0	≤10.0	≤15.0
1.8	150~160	28~30	≤12.0	≤11.0	≤15.5
>2.0	160~210	31~36	13.0~19.0	11.5~14.5	16.0~17.5

根据初步测算，“三沙”河段（福姜沙、通州沙、白茆沙水道）开通12.5m深水航道后一般年份年疏浚总量约0.8亿~1.0亿m<sup>3</sup>，汛期（6—9月）为全年重点维护疏浚时间，平常水文年最大日均疏浚量约5万m<sup>3</sup>。其疏浚强度基本与1.2万~1.4万m<sup>3</sup>耙吸挖泥船的疏浚能力相当。本

节将以这一级别对船舶尺度、船体线型、动力配置方案、总布置方案、疏浚设备配置及疏浚性能方案进行。

#### 3.2 主尺度的选取

##### 1) 基本原则。

作为在长江航道内进行维护疏浚的耙吸挖泥船，其作业受到水域条件（尤其是吃水）的限制，为尽可能增大作业水域施工范围、提高船舶的利用率，应在提高装载能力的同时，对吃水给予严格的限制。因此在船型选择方面可以采用浅吃水、肥大船型，同时通过论证确定合理的主尺度，即合适的长宽比L/B、宽度吃水比B/d、方形系数C<sub>b</sub>等，以尽可能提高疏浚效率和降低装机功率，从而降低单方土的成本，提高船舶经济性。图1显示大型耙吸挖泥船尺度随舱容增大的变化趋势。

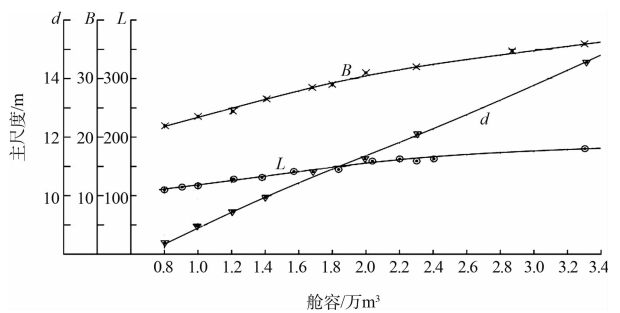


图1 大型耙吸挖泥船尺度随舱容增大的变化趋势

##### 2) 船长。

由于耙吸挖泥船布置有大量的疏浚作业设备，因此它不仅是载重型船舶，也是布置地位型船舶，船长需满足主要舱室的需求，同时作为用于长江深水航道维护疏浚的耙吸挖泥船，经常需在航道内回转调头，因此在船长选择时，应充分考虑航道宽度的影响，尽可能减小船长。尽管从船长与阻力之间的关系来看，在设计航速附近船体阻力随船长的增大而减小，但由于此类船型属低速船，且多处于挖泥作业工况下运行，故船长的确定主要考虑装载量及总布置，而速长比的取舍退而其次。根据本船的初步布置，舵机舱、机舱、泥舱（主要由泥舱舱容决定其长度）、泵舱、电机舱、

艏侧推舱等主要舱室的长度总和约 130 m, 再加上艏压载水舱等其他舱室的长度, 因此从布置的角度看船长为 130 ~ 145 m。

### 3) 船宽。

船宽的选择主要是为了满足装载量、稳性和布置等诸方面的要求。根据国内外同量级船舶的统计资料, 船宽 25 ~ 30 m。

### 4) 吃水。

为尽可能增大耙吸挖泥船的作业水域施工范围、使疏浚船舶能在范围更大的浅水区域挖泥和卸泥, 或缩短泥砂排岸距离、提高船舶的利用率, 因此在满足装载能力要求的情况下, 应尽可能采用浅吃水设计。本船维护航道水深 12.5 m, 考虑施工区实际水深大于 12 m, 另外考虑船舶富余水深为 20% 的船舶吃水, 船舶纵倾 0.5 ~ 1.0 m, 因此本船的平均吃水应不大于 9.50 m。

## 3.3 航速及线型分析

### 1) 航速选取。

航行时间是影响整个挖泥周期的重要因素, 也即满载运泥时间和空载返航时间, 是影响耙吸挖泥船整体经济性能的重要因素之一。提高自由航速, 能缩短挖泥周期、提高疏浚效率, 但较高的航速又导致装机功率和营运成本增加。对大型耙吸挖泥船而言, 根据测算, 减少整个挖泥周期内的自由航行时间可使得单方土的成本降低, 所以应尽可能地提高大型耙吸挖泥船的自由航速。经过对本船基本尺度、舱容、载质量以及本船线型的优化及动力的合理配置等综合分析得出, 船舶较合理的自由航速约 15 kn。

### 2) 线型分析。

船舶拟采用浅吃水、肥大船型以提高装载系数, 提升经济性, 因此平行中体的相对长度大, 给首尾形状的处理及线型的过渡带来困难, 所以在在线型设计时必须对首尾线型给予更多的关注。为减小在浅水航道中航行时的埋艏现象、降低阻力、提高航速, 船艏部拟采用球鼻艏, 同时还有

利于减小航行时兴波对堤岸的冲刷以及纵向浮态调整。

艏部拟采用双尾鳍线型<sup>[3]</sup>, 主要有以下优点:

1) 有利于改善尾流, 使螺旋桨具有良好的推进性能; 2) 双尾鳍结构可采用轴包架的形式与轴系中的齿轮箱匹配, 使相关设备能更加靠后布置, 有助于泥舱布局的向后推移, 从而获得更长的泥舱长度, 使泥浆重力分布更广, 降低船体的弯矩, 节约钢材; 3) 有利于船舶的纵向浮心后移, 从而降低波浪阻力; 4) 双尾鳍结构具有良好的水动力特性, 对尾部振动的改善十分有利。

通过采用球鼻艏和双尾鳍线型, 在同等推进功率、同等装载量下提高了船舶自由航速, 缩短了挖泥周期, 提高了疏浚效率。

## 3.4 动力配置

从目前世界上建造的大型耙吸挖泥船来看, 复合驱动主要围绕推进螺旋桨、泥泵、轴带发电机组和高压冲水泵等几个大功率设备进行, 变化形式很多, “一拖二” (主机驱动螺旋桨、轴带发电机, 变频电机驱动泥泵) 和 “一拖三” (主机驱动螺旋桨、轴带发电机及泥泵) 形式是目前主流的动力配置形式<sup>[4]</sup>。根据本船的特点, 结合目前国内外的发展趋势, 对这两种主流配置进行对比。采用 “一拖二” 的动力配置形式, 各工况下的动力分配更加灵活, 在不同工况下均能充分利用主机功率, 因此可以降低运营费用。由于泥泵由电机变频驱动, 泥泵转速可以任意调节, 因此可以适应不同挖泥和排岸工况的要求, 大大提高了疏浚效率。另外, 由于主机不驱动泥泵, 因此主机运行平稳, 可稳定在 100% 转速, 轴带发电机输出的频率稳定, 动力系统设备及其他设备的参数配置都可按常规考虑。同时, 由于 “一拖二” 的全船重力分布比较均匀, 船舶在轻载、满载时没有很大的纵倾, 所以能够适应长江深水航道的疏浚维护。因此对于内河航道维护疏浚船, 推荐采用 “一拖二” 的动力配置方案。

### 3.5 提高疏浚效率措施

从疏浚土质来看,长江下游深水航道的疏浚层土质的共同点都是颗粒细小、流动性能好、易悬浮、沉淀性能差等特点。根据长江航道疏浚的土质情况,需从增大装舱泥浆浓度、降低溢流损失等方面提高疏浚效率,在设计中可采取以下措施:

1) 选用配备带宽齿的主动耙头,耙头安装足够多密集排列耙齿,以便挖泥时,泥泵在耙头吸口附近产生真空,使耙头周围的水高速从齿间缝隙中进入耙头内,高速运动的水流带动泥砂形成冲刷,这种方式在挖掘淤泥、松散砂时可十分有效的提高泥浆浓度。

2) 调整高压冲水压力和流量。根据土质易挖的特点,为提高挖泥浓度,施工作业时可以调整高压冲水压力和流量,尽量减少对原始土层的扰动,通过耙头真空直接高浓度的挖泥。

3) 降低泥浆流速。长江深水航道挖深较小、土质沉降速度低,只要保证最低的临界流速,就可以达到降低泥浆流量、改善装舱溢流损失的目的。经过优化论证,在长江下游航道施工时的将流量由的 $2.2 \text{万 m}^3/\text{h}$ 可降低至 $1.9 \text{万 m}^3/\text{h}$ ,则排管内泥浆流速约 $5.56 \text{ m/s}$ ,高于该土质和浓度下的最低临界速度,可有效提升沉淀效果,减少溢流损失。

4) 装舱消能箱的位置和结构的优化设计以及溢流筒的优化设计。溢流损失与泥舱形状、装舱消能箱的位置以及结构形式紧密相关,合理分配好消能箱的位置以及尽量减少消能箱的格栅开口尺寸可以让泥浆的动能最大的损失在消能箱处,消能装置还可采用溜泥槽的形式。对于溢流筒,目前国外出现了溢流筒内部带阻流装置,有称溢流筒环保阀,即在溢流筒中单独设置一套油缸驱动的阻流装置。阻流装置控制溢流筒下部的过流截面尺寸,当泥沙在泥舱内不容易沉淀时减

少溢流筒过流尺寸,溢流筒在通道上有阻力之后,溢流筒盆口溢流速度大大降低,可以改善溢流效果。

## 4 结语

1) 从南京以下深水航道维护疏浚土质特性、高强度、高机动性要求、施工与通航、环保矛盾突出等因素看,结合各型疏浚船舶的作业特点,认为最适应该河段主航道维护疏浚的船型应首选大中型耙吸挖泥船;

2) 虽然耙吸挖泥船的尺度和舱容越大效率越高,但是受长江航道宽度和水深的限制,挖泥船的船长和吃水不宜过大,为保证船舶在航道内操纵灵活、顺利进入浅区作业,船长不宜超过 $145 \text{ m}$ ,吃水不宜超过 $9.5 \text{ m}$ ;

3) 结合南京以下维护疏浚的特点,对耙吸挖泥船线型和动力配置进行分析,并探讨提高疏浚效率的相关措施,为下一步实船设计奠定了一定的基础;

4) 由于耙吸挖泥船是一项复杂的专业装备,其设计中涉及的问题繁多,本文仅仅是从船舶尺度、提高疏浚效率等方面进行了探讨,尚需深入研究,才能找准最佳设计点,设计出完全适应内河深水航道疏浚要求的挖泥船。

## 参考文献:

- [1] 长江航道规划设计研究院. 长江下游12.5米深水航道维护疏浚需求分析[R]. 武汉: 长江航道规划设计研究院, 2012.
- [2] 邹祝, 陈源华, 李昕, 等. 长江下游深水航道维护疏浚量的预测和分析[J]. 水运工程, 2013(8): 136-140.
- [3] 纪凯.  $16\ 888 \text{ m}^3$ 耙吸挖泥船设计简介[J]. 上海造船, 2007(4): 24-31.
- [4] 沈志平, 程峰, 胡敏芝, 等. “长鲸2”号大型耙吸挖泥船开发设计[J]. 船舶, 2008(5): 1-5.

(本文编辑 郭雪珍)