



# 长江南京以下 12.5 m 深水航道一期 疏浚施工中的难点与对策

朱时茂<sup>1</sup>, 郭素明<sup>2</sup>

(1. 中港疏浚有限公司, 上海 200120; 2. 中交上海航道局有限公司, 上海 200002)

**摘要:** 长江南京以下 12.5 m 深水航道一期疏浚工程作为国内首个长江内河疏浚吹填工程, 在施工期间遇到了前所未有的困难和技术难题。基于对长江内河、细粉砂和亚黏土土质等复杂工况条件的分析, 改进耙头和耙齿, 优化挖泥施工工艺参数和舱吹方案, 提高施工效率, 为今后大型自航耙吸挖泥船在长江内河疏浚和舱吹施工提供借鉴。

**关键词:** 长江; 疏浚; 细粉砂; 亚黏土; 舱吹

中图分类号: U 615.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)04-0007-06

## Construction difficulties and countermeasures of dredging project in the first phase of 12.5 m deepwater channel of the Yangtze River below Nanjing city

ZHU Shi-mao<sup>1</sup>, GUO Su-ming<sup>2</sup>

(1. CHEC Dredging Co., Ltd., Shanghai 200120, China; 2. CCCC Shanghai Dredging Co., Ltd., Shanghai 200002, China)

**Abstract:** In the first dredging and pumping ashore project in the Yangtze River, unprecedented difficulties and technical problems were encountered during the construction. Based on the analysis of the Yangtze River, fine silt, clay and other complex project conditions, the drag head and teeth were improved, the craft parameters of dredging and the program of pumping ashore were optimized, which improved the construction efficiency and provided reference for the future dredging and pumping ashore construction of self-propelled trailing suction hopper dredger in the Yangtze River.

**Keywords:** the Yangtze River; dredging; fine silt; clay; pumping ashore

在港口及航道疏浚工程中, 国内外普遍采用挖泥船来进行施工。挖泥船根据结构性能的不同分为挖斗式、链斗式、绞吸式、耙吸式和铲斗式挖泥船等<sup>[1]</sup>。其中, 耙吸挖泥船由于具有操作性能强、调遣灵活、施工效率高等优点, 在疏浚施工中应用范围最广。耙吸挖泥船施工作业流程分为上线、挖泥装舱、重载航行、抛泥或舱吹(喷)施工、轻载航行 5 个环节。对于疏浚土的处理方法大致分为水中抛卸和舱吹(喷)上岸<sup>[2]</sup> 2 种。水中抛卸是指耙吸挖泥船将疏浚土装运至指定抛泥区直接抛卸; 舱吹(喷)上岸是指耙吸挖泥船

采用舱吹或者舱喷技术, 将疏浚土输送上岸, 进行吹填造陆等再利用。

长江南京以下 12.5 m 深水航道建设工程是列入国家“十二五”发展规划的重点工程, 也是江苏“十二五”期间最重要的基础设施建设工程之一。其中一期疏浚工程(简称“本工程”), 是对长江太仓至南通段的通州沙和白茆沙水道进行疏浚, 并将疏浚土舱吹至铁黄沙整治工程吹填区进行造陆再利用, 达到洪季试运行期航道 100% 通航保证率, 是打通 12.5 m 深水航道的重要一步。

收稿日期: 2015-09-21

作者简介: 朱时茂(1987—), 男, 助理工程师, 从事大型自航耙吸挖泥船施工管理工作。

## 1 工程概况

### 1.1 工程简介

本工程上起南通天生港区华能电厂5万吨级煤码头,与福姜沙河段航道端顺接,下至太仓荡茜闸,与长江口深水航道向上延伸至太仓航道工程上游衔接,航道全长57.2 km,其中疏浚施工区长约6 km,分为A、B、C 3个施工区<sup>[3]</sup>(图1)。

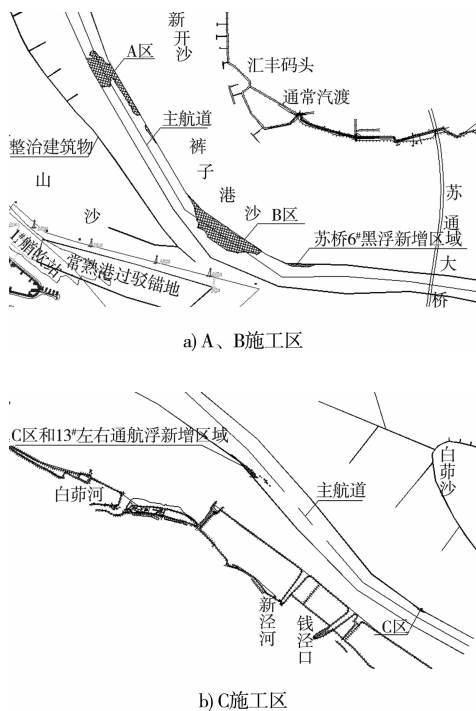


图1 一期疏浚工程总平面布置

通州沙河段航道北侧2处疏浚区域:一处在航道轴线H点下游附近水域,即A施工区,长约2.0 km;另一处在航道边线(G点至F点)附近,即B施工区,长度为2.5 km。C施工区包括白茆沙南水道进口段航道北侧(B点下游1.5 km范围内)和上段航道南侧(C点下游约3.1 km处)2处局部疏浚区域,长度分别为0.8 km和0.3 km。

整体上,航道挖槽底宽为500 m,最小转弯半径为1 500 m,设计深度为12.5 m(理论最低潮面下),航道边坡为1:10,计算超宽取3 m,计算超深取0.4 m,基建期总工程量约为208.4万 $m^3$ 。

### 1.2 水文条件

#### 1.2.1 潮汐与潮流

本工程统一采用当地理论最低潮面,工程河段自上而下以天生港、徐六泾和杨林站为代表。

其中,6—9月平均潮位较高,12月至翌年3月平均潮位较低。年内平均潮位最大变幅自上而下递减,其中天生港为1.16 m,徐六泾为1.02 m,杨林为0.70 m。

从2013年洪季和枯季水文测验资料对比来看,通州沙河段洪季大潮涨潮平均流速0.31~0.61 m/s,落潮平均流速0.26~0.89 m/s。枯季大潮涨潮平均流速0.29~0.69 m/s,落潮平均流速0.17~0.77 m/s。白茆沙河段洪季大潮涨潮平均流速0.44~1.02 m/s,落潮平均流速0.7~0.93 m/s。枯季大潮涨潮平均流速0.47~1.06 m/s,落潮平均流速0.46~0.96 m/s。

#### 1.2.2 风况与波浪

南通地区常风向为E,频率约占9%,次常风向为ESE和ENE;强风向为ESE,次强风向为NW。多年平均风速为3.26 m/s,最大风速为24.0 m/s,全年大于6级风天数为17.7 d。

根据徐六泾波浪观测站1986—2001年波浪观测资料,工程河段实测波高 $H_{1/10}$ 最大值为1.8 m,波向NW-NNW。

## 2 施工方案

本工程投入一艘舱容为1万 $m^3$ 的耙吸挖泥船新海马轮,其特点是主机功率大、操纵性能优良,可在无限航区航行、沿海航区作业,且适应受限水域施工作业,具有开底抛卸、接管吹岸、艏喷3种作业模式。新海马轮主要性能参数见表1。

表1 “新海马”轮主要性能参数

总长/m	134.4
型宽/m	25.32
型深/m	10
满载吃水/m	8.5
自由航速/kn	15
泥舱容量/ $m^3$	10 000
最大挖深/m	32
主机功率/kW	8 700 × 2
全船总功率/kW	19 161
泥泵机功率/kW	1 532 × 2
制造年份	2010
制造厂	广州文冲船厂

在本工程中, 新海马轮首先进行航道疏浚, 然后将土方运至铁黄沙北侧的艏吹站, 最后在那里将疏浚土吹至纳泥区。根据常熟市港区开发建设有限公司2013年12月18日《关于结合铁黄沙整治工程处理长江南京以下12.5 m深水航道一期工程疏浚土实施方案的函》, 本工程疏浚土可全部处理至铁黄沙整治工程吹填区IV围区(对应2<sup>#</sup>艏吹站)

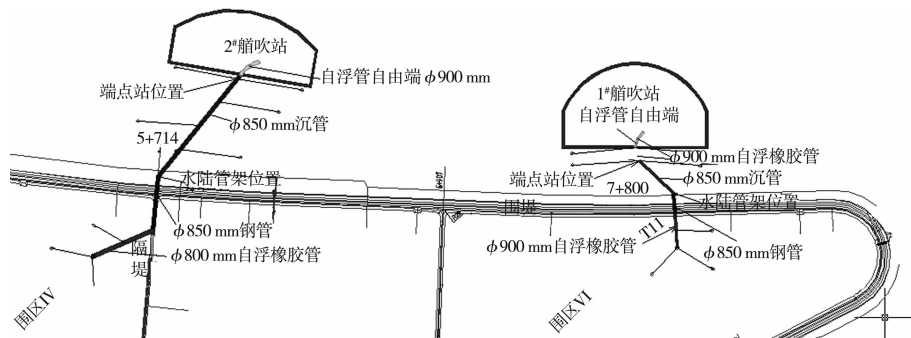


图2 艏吹管线平面布置

### 3 施工难点及对策

新海马轮长期在长江口深水航道进行维护疏浚施工, 此次进入长江内河施工, 由于施工区航道内各类船舶进出频繁, 航行安全形势严峻; 再加上复杂的内河施工环境、特殊的土质条件及特定的施工工艺, 因此新海马轮遇到了许多困难和技术难题。

#### 3.1 土质特性与机具改进

新海马轮装备了2个标准25 t液压主动威龙耙头, 适配28DS双销冲水平齿和尖齿, 适合挖掘颗粒沙等<sup>[4]</sup>。新海马轮进场时, 耙头满排安装28DS双销冲水平齿和尖齿(图3)。B施工区土质为细粉砂, 极易沉淀板结, 施工初期由于平齿间缝隙过小, 挖泥接触面积大, 经常造成齿缝堵塞, 进舱流速过低, 进而造成闷耙和闷泵等现象。根据这个情况并考虑到细粉砂的特点, 将后排尖齿和平齿相隔安装, 保证有效挖掘面积的同时使齿缝间隙不均匀, 减少了齿缝堵塞; 同时, 改进前排耙齿安装方式, 将尖齿加长, 且每2个尖齿之间安装1个加套短齿, 增加前排耙齿破土能力的同时畅通了挖掘通道, 减少齿缝堵塞, 提高了浓度(图4)。



图3 B施工区施工前耙齿安装情况



图4 B施工区施工后改进的耙齿安装情况

在A施工区南槽疏浚过程中, 发现其土质组成以亚黏土为主, 经常出现黏土堵塞耙头造成闷耙, 致使泥浆浓度降低、流量减小, 严重影响了施工效率(图5)。



图5 A 施工区亚黏土造成耙头堵塞

针对 A 施工区亚黏土的特点, 经过研究发现, 常用的尖齿和平齿已经失去了其在疏浚细砂时良好疏浚能力的优势, 破土能力减弱, 甚至还会加剧耙头堵塞。而犁型齿对亚黏土具有良好的挖掘效果<sup>[5]</sup>。因此, 改为四型双销冲水犁型齿, 并且将犁型齿与齿托间隔安装, 发挥犁型齿对亚黏土良好的破土能力。同时, 创新性地加工了一批加长型带破土钢板的耙齿, 在前期改进的基础上进行组合安装, 使耙齿在破土过程中, 将亚黏土受力破开, 而不是粘连在耙齿上; 另外, 在耙颚加烧一排耙齿作为切割器, 使耙头一着地就起到提前破土的作用, 提高耙齿的破土能力(图6)。

### 3.2 挖泥施工工艺

在本工程施工中, 新海马轮延续了在长江口深水航道工程施工的工艺, 采用了 3.0~3.8 kn 的挖泥航速、3~3.5 MPa 的波浪补偿器压力和 900~1 000 r/min 的高压冲水转速等, 未能因地制



c) 耙颚加烧一排耙齿

图6 A 施工区耙齿改进

宜的进行合理的优化和改进, 这导致有效挖泥时间不长、进舱浓度较低、疏浚平整度差等问题, 严重影响了挖泥效率, 甚至威胁到了按期完成基建期 208.4 万 m<sup>3</sup> 总疏浚方量和 30.35 万 m<sup>3</sup> 总吹填方量的目标, 必须尽快提高挖泥效率。在 2014 年 4 月 15—20 日的施工中, 采用正交矩阵试验法<sup>[6]</sup>, 选取挖泥航速、波浪补偿器压力和高压冲水转速作为试验因子(代码分别为 S、P、R), 在保证挖泥区域、航行条件、风浪状况等因素接近的情况下, 对新海马轮进行了挖泥效率试验, 试验结果见表 2。

表2 挖泥工艺试验因子及其结果

试验序号	测试因子			试验结果 平均进舱 浓度/(t/m <sup>3</sup> )
	挖泥航速 S	波浪补偿器 压力 P	高压冲水 转速 R	
	1	2	3	
1	1(2 kn)	1(2.3 MPa)	1(1 000 r/min)	1.19
2	1(2 kn)	2(2.8 MPa)	2(1 100 r/min)	1.26
3	1(2 kn)	3(3.2 MPa)	3(1 200 r/min)	1.24
4	2(3 kn)	1(2.3 MPa)	2(1 100 r/min)	1.18
5	2(3 kn)	2(2.8 MPa)	3(1 200 r/min)	1.25
6	2(3 kn)	3(3.2 MPa)	1(1 000 r/min)	1.17
7	3(4 kn)	1(2.3 MPa)	3(1 200 r/min)	1.22
8	3(4 kn)	2(2.8 MPa)	1(1 000 r/min)	1.18
9	3(4 kn)	3(3.2 MPa)	2(1 100 r/min)	1.15
K <sub>1</sub>	3.69	3.59	3.54	T = 10.84
K <sub>2</sub>	3.60	3.69	3.59	
K <sub>3</sub>	3.55	3.56	3.71	
k <sub>1</sub> (=K <sub>1</sub> /3)	1.23	1.20	1.18	
k <sub>2</sub> (=K <sub>2</sub> /3)	1.20	1.23	1.20	
k <sub>3</sub> (=K <sub>3</sub> /3)	1.18	1.19	1.24	
R	0.05	0.04	0.06	
最优工艺	S <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	

注: K<sub>i</sub>表示相应组别试验结果之和; R 表示某因子 k<sub>i</sub>值的极差。



a) 间隔安装的犁型齿与齿托



b) 加长型带破土钢板的耙齿

从表1中的数据可以发现,第2组试验结果最大,为 $1.26 \text{ t/m}^3$ ,与之对应的挖泥工艺为2 kn的挖泥航速、2.8 MPa的波浪补偿器压力和1 100 r/min的高压冲水转速。而对数据的进一步处理得到 $K_{S_1}$ 、 $K_{P_2}$ 、 $K_{R_3}$ 分别在各自因子组别中数值最大,与之对应的挖泥施工工艺为2 kn的挖泥航速、28 MPa的波浪补偿器压力和1 200 r/min的高压冲水转速。与此同时,极差越大,说明该因子的水平改变时对试验指标的影响越大。极差最大的那一列,就是该因素的水平改变时对试验指标的影响最大,该因素即为要考虑的主要因素。通过分析可以得出:各因素对试验指标(进舱泥浆浓度)的影响按大小次序应当是 $R$ (高压冲水转速) $>S$ (挖泥航速) $>P$ (波浪补偿器压力);最好的方案应当是 $R_3 S_1 P_2$ ,即2 kn的挖泥航速、2.8 MPa的波浪补偿器压力和1 200 r/min的高压冲水转速。通过挖泥工艺的优化,使得施工效率得到明显提高,保证了船舶在较短工期内按时保质保量完成了工程。

### 3.3 舢吹方案

本工程的疏浚土需舢吹排岸到规定的纳泥区,因此舢吹效率直接影响到整体施工效率。舢吹施工包含锚泊接管和舢吹2个环节,舢吹施工效率=舢吹土方/(锚泊接管时间+舢吹时间),本文将锚泊接管和舢吹一并归入舢吹施工来考虑。根据对2014年3月15—31日共计17 d 50个船次的统计发现,舢吹土方量为 $30.35 \text{ 万 m}^3$ ,平均舢吹效率为 $3\,326 \text{ m}^3/\text{h}$ ,相较于 $3\,800 \text{ m}^3/\text{h}$ 的测算值有一定的差距。需要尽快找出造成舢吹效率不高的原因,并制定相应的改进措施。

#### 3.3.1 接管效率

调查发现,在正常情况下,拥有多年工作经验的水手长和浚工长能够根据现场的自然环境做出合理的判断,熟练的操控绞车起吊雄头,提高管线对接成功率从而缩短接管时间,平均用时13 min;但是,当班浚工员和年轻水手由于经验不足,操作不熟练,容易造成雄头雌头对接不到位,抱箍不紧,需要放下钢丝重新对接,这增加

了不必要的时间,降低了接管效率,普遍用时超过18 min。

为此,对负责管线对接的浚工员和年轻水手进行了现场操作培训和技术指导,通过协调接管人员之间的合作,提高接管熟练度。通过对培训后50船次舢吹接管时间的统计发现,接管时间与前期相比大幅缩短,其中超过90%的接管时间可控制在15 min以内。

#### 3.3.2 绞车影响

钢丝绞车速度的快慢在两方面影响舢吹接管效率,上绞过程影响舢吹接管效率,下放过程影响拆管效率。通过现场测试,钢丝绞车转速为上绞速度约 $20 \text{ m/min}$ ,下放速度约 $12 \text{ m/min}$ ,涉及的牵引钢丝和起吊钢丝总长度为120 m。

在上绞过程中从启动绞车到雌雄头接好平均用时6.9 min,拆管时绞车下放用时为10.8 min。上绞过程中速度不能太快,否则钢丝绳在滚筒中容易杂乱缠绕,对钢丝绳的磨损严重,而且极易造成钢丝绳划出滚筒外,不仅缩短使用寿命也容易发生安全事故。经过多次试验,发现上绞速度设为 $25 \text{ m/min}$ 为最佳控制时间。在寻找绞车钢丝最佳下放速度时发现,速度也不能过快,因为在雄头下放没入水中时钢丝绳处于松弛状态,如果速度过快钢丝容易卷曲,经过试验找到了钢丝绳最佳下放速度为 $18 \text{ m/min}$ 。优化钢丝绞车转速后,接管和拆管时间均有一定幅度的提升,通过对优化钢丝绞车速度后10船次绞车钢丝上绞和下放所需时间的统计发现,上绞时间平均为5.7 min,缩短了1.2 min;下放时间为8.3 min,缩短了2.5 min,效果显著。

#### 3.3.3 风浪影响

通过现场观察,在风浪天气下,由于船位无法控制到位,加大了接管的难度,延长了接管时间。通过统计发现,风浪天气对接管效率影响较大,接管平均时间为0.35 h。

为此,根据潮汐规律合理备锚,使船舶在接管过程中顶水操作,保证船舶的平稳,同时根据涨落潮对船舶的受力,合理抛锚,使船舶左右受

力均衡,有效减少风浪天气带来的影响。

通过采取以上措施及对策,4月份30d完成艖吹船次为119船,艖吹土方量为86.65万m<sup>3</sup>,平均艖吹施工效率为3822m<sup>3</sup>/h,比3月份3326m<sup>3</sup>/h的艖吹施工效率提高了15%。

#### 4 结语

1)本工程针对易板结的细粉砂,选取适合开挖的尖齿和平齿,把2种耙齿相隔安装,延长尖齿长度,减少齿缝间的堵塞,提高挖泥浓度;针对难开挖的亚黏土土质,选取适合开挖的犁型耙齿,并且在耙颚焊烧切割器,提高破土能力。

2)挖泥施工参数要结合施工区域的自然环境和工况条件,制定符合实际的挖泥施工工艺参数。利用正交矩阵试验法,以挖泥航速、波浪补偿器压力和高压冲水转速作为试验因子,通过对施工实测数据的分析,确定了2kn挖泥航速、2.8MPa波浪补偿器压力和1200r/min高压冲水转速的最优挖泥施工工艺参数。

3)针对影响艖吹效率的接管因素,加强操作人员培训,提高业务熟练程度,减少接管时间;针对绞车因素的影响,经过多次试验比对,确定25m/min的上绞速度和18m/min下放速度为最优绞车速度,减少绞车消耗时间;针对风浪情况对

艖吹作业可能造成的影响,根据潮汐规律合理备锚,使船舶在接管过程中顶水操作,同时根据涨落潮对船舶的受力,合理抛锚,有效减少风浪天气带来的影响。整体上,切实提高艖吹效率。

4)对于疏浚吹填施工工程,针对陌生、复杂的自然环境和工况条件,要结合实际,选取合适的机具,优化施工工艺,最大限度地满足安全、高效和低耗能的施工要求,保障工程的顺利圆满完工。

#### 参考文献:

- [1] 高伟.国内外疏浚挖泥设备的对比与分析[J].中国港湾建设,2009(2):63-67.
- [2] 林风.大型耙吸挖泥船的发展动向[J].中国港湾建设,2001(4):1-7.
- [3] 交通运输部水运科学研究院.长江南京以下12.5m深水航道一期工程航道疏浚通航安全评估报告[R].北京:交通运输部水运科学研究院,2013.
- [4] 王振瑯.浅述耙头[J].船舶,2004(4):48-51.
- [5] 丁勇,王忠贤.新型主动耙头的开发和应用[J].船舶,2005(1):52-55.
- [6] 靳晓兵,张玉成,杨光华,等.基于正交分析法的边坡稳定影响因素敏感性分析[J].广东水利水电,2011(7):20-23.

(本文编辑 郭雪珍)



## · 消 息 ·

### 亚洲最大原油码头竣工

日前,三航院设计的宁波-舟山港大榭港区实华二期45万t原油码头工程顺利通过竣工验收。此工程是目前亚洲最大的原油码头,也是我国发改委批复建设的首个45万t原油中转码头。工程的建设规模为:年设计通过能力1800万t,泊位长490m,采用蝶形布置。

(来源:三航院)