



# 大型耙吸式挖泥船精挖施工工艺 在湄洲湾航道工程中的应用

葛新兴, 王林, 姜忠, 宋大军, 陈欢

(长江武汉航道工程局, 湖北 武汉 430014)

**摘要:** 为解决大型自航耙吸式挖泥船在航道疏浚施工、特别是在跨度较大的深水航道疏浚施工中存在的严重超挖废方问题, 依托大型自航耙吸式挖泥船“长鲸6”在湄洲湾30万吨级主航道疏浚施工中采取RTK无验潮、多波速测量和分层定深开挖等技术, 对潮位数据、动态分层定深和测量成果等进行分析, 对潮位观测站数据与施工船舶RTK无验潮实时数据进行对比纠正, 探讨自航耙吸式挖泥船挖深精确控制施工技术及管理措施。

**关键词:** 自航耙吸式挖泥船; 精挖; RTK无验潮; 定深开挖

中图分类号: U 616

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2017)02-0186-05

## Application of precise dredging construction technique of large trailing suction hopper dredger in Meizhou bay waterway dredging engineering

GE Xin-xing, WANG Lin, JIANG Zhong, SONG Da-jun, CHEN Huan  
(Changjiang Wuhan Waterway Engineering Bureau, Wuhan 430014, China)

**Abstract:** To solve the problem of serious extra-dredging by the large self-propelled trailing suction hopper dredger in channel dredging construction, especially in the large-span deepwater channel dredging construction, we adopt RTK non-tide technology, multi-beam sounding system and layered excavation technology in the dredging engineering of 300 000 DWT main channel of Meizhou bay by the large self-propelled trailing suction dredger the Long Whale 6 to explore the technologies in precise control of dredging depth as well as the management measures by analyzing the tidal data, dynamic hierarchies and measurement results, especially by comparing and calibrating the tidal observation station data with GPS RTK tidal observation data.

**Keywords:** self-propelled drag-suction dredger; precise dredging; RTK non-tide; depth-keeping dredging

大型自航耙吸式挖泥船在跨度较大的深水航道进行疏浚施工时受潮位、风浪、地质、施工技术和操作人员水平等因素影响较大, 往往为满足竣工验收设计水深达标要求致使开挖深度严重超挖, 不仅降低施工效能, 而且造成极大的浪费。大型自航耙吸式挖泥船“长鲸6”(13 280 m<sup>3</sup>/舱)在湄洲湾30万吨级主航道疏浚工程施工时, 通过引进较先进的RTK无验潮控制潮位技术和多波速测量方法, 结合科学合理的施工方案以及动态化管理指导自航耙施工, 通过精细化的指导挖深和管理办

法以及相关的激励措施, 在满足交工验收标准的前提下达到严控挖深、减少废方, 节约施工成本的目的<sup>[1]</sup>。

### 1 工程概况

湄洲湾航道三期工程(II阶段)MZW-HD01标段疏浚总工程量约619万m<sup>3</sup>, 疏浚土质主要为淤泥, 部分为细砂混贝壳; 泥层开挖厚度1.0~2 m, 平均厚度1.5 m(包含超深), 泥层较薄, 施工难度大, 耙吸船开挖易严重超深, 造成较大浪费。

收稿日期: 2016-06-23

作者简介: 葛新兴(1964—), 男, 成绩优异的高级工程师, 从事港口与航道工程研究。

该项目疏浚区航道总长约 10 km, 航道宽 500 m, 设计底高程 -23.0 m, 超宽 3 m, 超深 0.4 m, 其

中超宽超深方量约 145 万  $m^3$ , 约占总疏浚方量的 25%, 为本项目质量和成本控制研究的重点(图 1)。

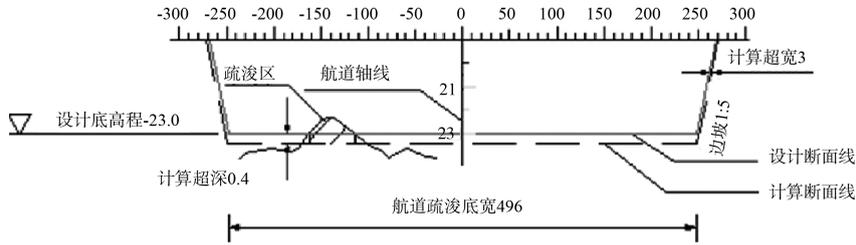


图 1 设计开挖标准断面 (单位: m)

## 1.1 工况

### 1) 水文。

湄洲湾潮汐属正规半日潮, 典型往复流, 流向较稳定, 潮流急; 高潮位由口外向口内逐渐增高, 低潮位由口外向口内逐渐降低, 潮汐日不等现象低潮较高潮明显, 低潮不等最大差值可达 1.0 m 以上, 高潮不等最大差值为 0.5 m; 潮差大, 平均潮差 4.65 m 以上, 最大潮差 7.0 m 以上, 潮差由口外向口内逐渐增大。湾顶附近与口外相比, 最大潮差增加 0.9 m, 最小潮差增加 0.4 m, 平均潮差增加 0.7 m 左右, 潮位数据变化快。各潮位站基面关系见图 2。

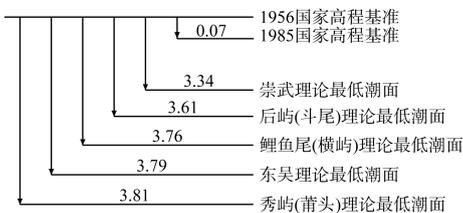


图 2 潮位基面关系 (单位: m)

### 2) 气象。

台风为本海区主要灾害性天气, 7—9 月为台风季节, 台风期间海域将出现大风天, 最大风力在 12 级以上。每年 10 月至次年 3 月是季风季节, 每月风力达 8 级天数超过 1/3。

湄洲湾的波浪是由风生浪和涌浪组成的混合浪。湾口外和湾口附近因受外海风浪影响, 涌浪显著, 多年平均涌浪出现的频率高达 91%, 崇武站实测最大波高达 6.5 m。

综上所述, 疏浚区在湾口外海无掩护区域, 工况条件恶劣, 风浪大, 且施工区潮差大, 潮流

急, 最大潮差超过 7.0 m, 施工区周边适合设置潮位站的地方在最低潮时会出现露滩情况, 潮位站布设困难, 且施工区跨度较大, 一个潮位站不能覆盖整个施工区, 设置 2~3 个潮位站时潮位站之间潮差并非线性关系, 涨落潮时均会变化, 内插法计算潮位疏浚误差较大, 影响船舶挖深精度控制; 因施工区域面积较大, 施工期过程测量采用传统的单波束测量无法满足施工需要, 无法保证船舶施工质量和效率, 进而影响项目成本控制<sup>[2]</sup>。

## 1.2 船机

“长鲸 6”轮为双桨、双机复合驱动超大型自航耙吸式挖泥船, 主要用于沿海港口、航道疏浚和吹填作业。船舶总长约 157.80 m, 设计吃水(国际载重线, 国际干舷)7.50 m, 挖泥吃水(挖泥标志、国际半干舷)9.00 m, 舱容 13 280  $m^3$ , 可载泥 19 250 t, 自持力 8 000 n mile, 吸泥管内径 1 200 mm。在淤泥类土质施工每耙挖深达 40~50 cm, 设计超深为 40 cm, 施工开挖深度控制困难; 其优点为抗风浪能力强, 疏浚开挖深度大, 施工能力强。由于“长鲸 6”轮整体施工计划安排及业主建设任务需要, 疏浚施工期须跨越台风季, 风大流急, 施工潮位数据采集难度大, 对船舶控制挖深影响大。

## 2 RTK 无验潮

### 2.1 RTK 无验潮原理

RTK(real-time kinematic)实时动态控制系统, 是一种新的常用 GPS 测量方法, 能够在野外实时得到厘米级定位精度的测量方法, 它采用载波相位

动态实时差分技术，极大地提高了外业作业效率。

RTK 无验潮实时潮位控制技术引用目前已经比较成熟的无验潮水深测量技术，其基本原理是利用已知控制点在岸上设置基站，在施工船舶设置移动站，利用 RTK 高程数据和已知船舶参数求得船舶实时、实地高程，从而求得水面高程与设计高程的高差，决定实时下耙深度。如图 3 和 4 所示，在某一时刻 RTK 高程数据位  $H$ ，如果能够利用船舶某些固定参数求得海水面到 GPS 接收机高程，就可以计算出此时高程数据<sup>[3]</sup>。

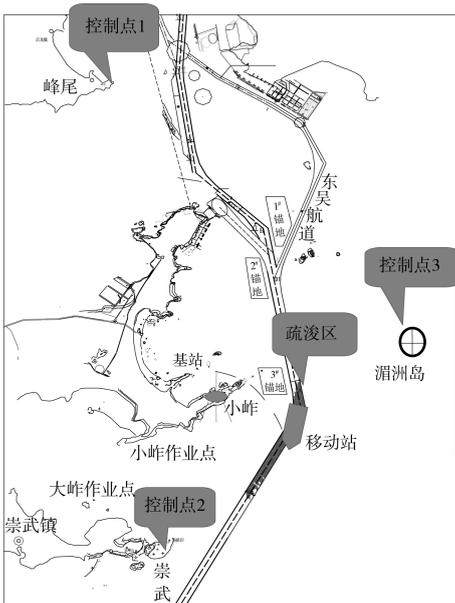
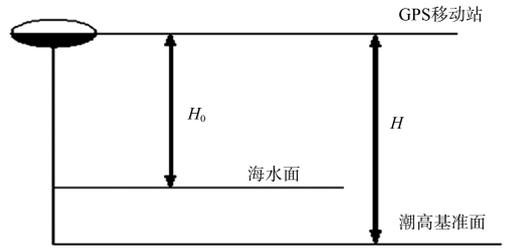


图 3 RKT 控制网布设



注： $H$  为 RTK 读数，即潮高基准面到 GPS 天线的高程；  
 $H_0$  为海水面到 GPS 天线的高程。

图 4 无验潮数学模型

2.2 自航耙吸式挖泥船 RTK 无验潮技术施工布置  
施工定位控制网采取与水深测量同步方法，共用一个基站：即利用控制点布设覆盖整个施工区的控制网(表 1)，在离施工区最近的小岞村架设基站，为测量和“长鲸 6”施工定位共用基站，解决了两套设备的兼容问题。移动站布置在“长鲸 6”驾驶台外部中间位置，可以减小船舶摆动对数据采集的影响。利用船舶型深求得潮位对船舶的相关参数(图 5)。

表 1 平面控制坐标

高程/m	平面坐标 (CGCS2000)/m	位置	备注
5.13(85)	2 779 788.56 395 876.36	峰尾	
5.166(85)	2 752 942.15 390 879.21	崇武	验潮站
24.097(85)	2 776 355.07 412 816.11	湄洲岛	
11.655(56)	2 762 250.80 400 980.20	小岞	验潮站 RTK 基站

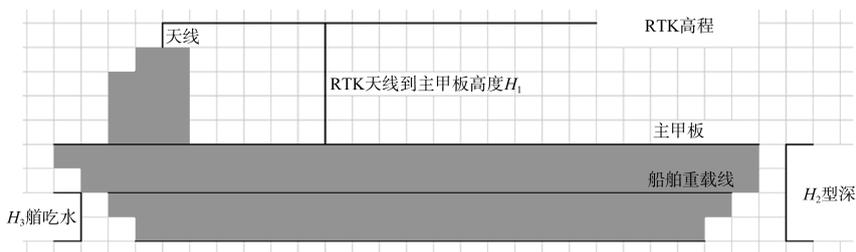


图 5 “长鲸 6” 实时潮位换算

仪器调试完毕后，分析船舶相关参数，利用船舶型深求得实时高程差计算公式：

$$H_c = H - (H_1 + H_2 - H_3) \quad (1)$$

式中： $H_c$  为 RTK 无验潮计算实时高程差； $H$  为潮高基准面到 RTK 天线顶高程； $H_1$  为 RTK 天线到主甲板高程； $H_2$  为船舶型深； $H_3$  为船首吃水。

### 2.3 RTK 无验潮实时数据对比分析

为验证 RTK 无验潮计算的实时高程差的准确性，设立岸上潮位观察站和 RTK 无验潮实时数据船上移动站，并对两者收集的数据进行对比。考虑疏浚区离岸距离及现场条件等因素，分别在小岞和崇武设立潮位观测站(与疏浚区平均距离分别

为 4.5 和 15 km), 作为施工船舶 RTK 无验潮实时数据(移动站)参考对比的依据。以 2014 年 8 月小岞、崇武现场采集的潮位数据与施工船舶 RTK 无验潮实时数据对比为例。因小岞观测站位于湄洲湾湾口, 湾口内外潮水涨落存在时间差, 故该站潮位数据与 RTK 无验潮数据相差较大, 暂不做比较。而崇武验潮站因与疏浚区同处于湄洲湾口外段, 潮位涨落速度一致, 潮位差值比较接近, 但两者之间的平均差值为:

$$S = \frac{\sum_{i=1,2,3,\dots,n} |\Delta H_i|}{n} \quad (2)$$

式中:  $\Delta H_i$  为各时刻潮位差值;  $n$  为潮位观测次数。

潮位过程见图 6。

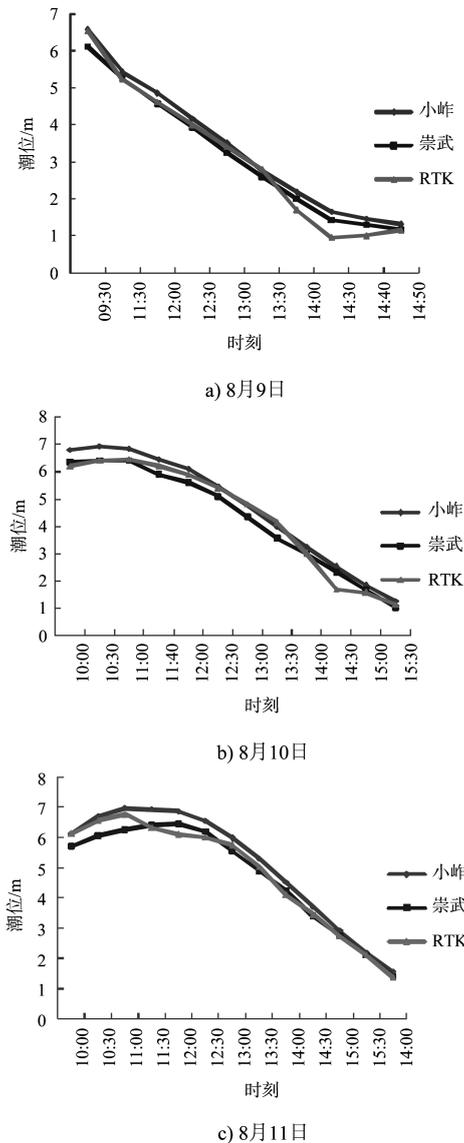


图6 潮位过程对比

由图 6 可知: 8 月 9 日小岞潮位数据 10 次, 小岞与移动站潮位平均差值  $S$  为 25 cm; 8 月 10 日观测数据 12 次,  $S$  为 28 cm; 8 月 11 日观测数据 13 次,  $S$  为 21 cm。综合上述数据得知, RTK 无验潮实时潮位与崇武站平均高差约为 25 cm。受施工区离岸距离的远近以及湾内外潮位涨落高差影响, 无验潮数据与潮位观测站差值相差较大, 故 RTK 无验潮实时潮位数据对施工船舶定深施工的重要意义。“长鲸 6”疏浚区面积超过 4 km<sup>2</sup>, 潮位误差  $\pm 25$  cm, 则疏浚方量可节约或超挖 100 万 m<sup>3</sup> 以上。

### 3 大型自航耙吸挖泥船精挖技术及管理措施

#### 3.1 机具配备及施工方式

1) 本工程标段疏浚土质主要为淤泥, 2 类土占 80%, 8 类土占 20%, 部分为细砂混贝壳。根据工程土质选择带有高压冲水的冲刷型耙头使开挖淤泥和细砂的破土能力大幅提升。耙齿根据施工的不同阶段调整平齿和尖齿的交替使用, 特别是在收尾阶段, 由原尖齿改为平齿, 耙齿密度增加 1 倍, 且把耙齿排列方式由原“一字”型平行排列改为前后交错排列, 有效避免了垄、沟现象的出现, 疏浚基槽表面相对平整, 且可一次扫除浅点。

2) 疏浚区泥层开挖厚度 1.0~2.0 m, 平均厚度 1.5 m, 泥层较薄。通过提高“长鲸 6”下耙精度, 湄洲湾航道三期工程(II 阶段) MZW-HD01 标段湾外段疏浚减少废方开挖工程达 100 万 m<sup>3</sup> 以上, 不仅可加快施工进度、保证施工质量, 同时可大幅提高经济效益。

#### 3.2 多波速测量控制

多波速测深系统是当今水底地形勘测和水深测量的最先进的设备之一, 具有精度和密度高, 以及覆盖无遗漏的优点, 比较客观地反映所测水域的海底地形; 而单波速水深测量方式单一, 只能测量换能器垂直下方的水深, 无法快速有效地测量特殊水底地形或有突出障碍物的相邻 2 条测线。多波速测深系统覆盖面较宽, 是测量水深的 4~10 倍, 能提高测量效率。多波束测深系统的突出特点是高效率、全覆盖及高精度。

本工程施工区区域大、外海大风浪天气多，对测量质量要求高，提高检测频率可以保证疏浚开挖质量。采用单波束分段测量和船舶分段施工，及时动态调整施工方案的办法远不能满足施工需要，采用多波速提高测量质量和频率，可以及时全面地掌

握施工情况，更准确地指导施工船舶挖深控制<sup>[4]</sup>。

采用 RTK 无验潮和潮位观测站潮位数据相结合的方法，保证测量精度，不仅解决了测量及时准确的问题，而且对船舶控制挖深和平整度起到很大的作用(图 7)。

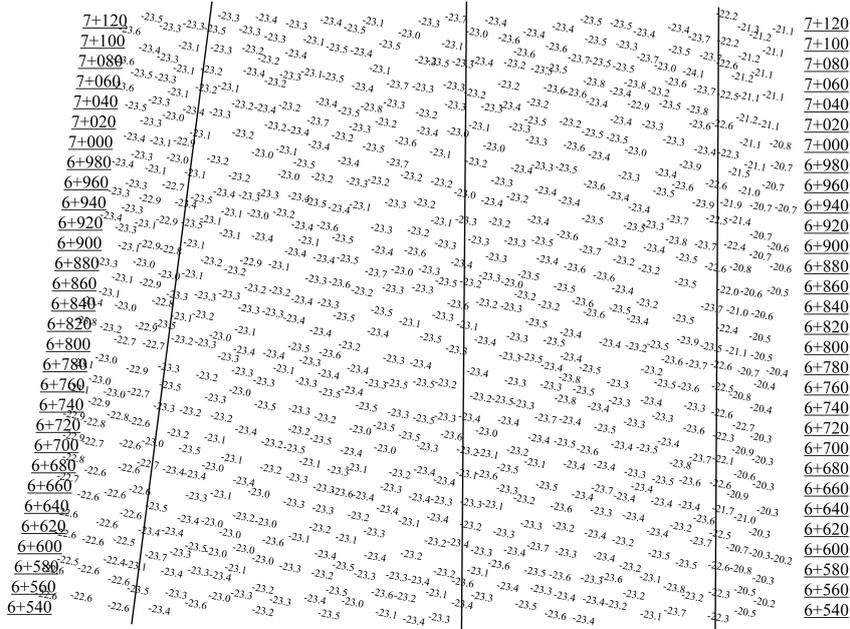


图 7 浚后局部水深平面

### 3.3 RTK 无验潮精挖动态管理

通过精挖动态管理，结合最新的疏浚区水深测量图纸，根据泥层厚度和施工区宽度进行分层和分条施工，特别是对泥层厚度不均匀、起伏较大的区域，通过动态控制下耙深度达到控制挖深的效果，结合施工船舶性能及设计断面要求进行分层开挖，严格控制浚后平整度，尤其是对总体工程量浚后扫浅大型自航耙吸式挖泥船下耙定深的控制，尽量做到精细化控制达到最终工程交工验收合格标准，并减少废方开挖以减少超深超宽工程量。

## 4 结语

1) GPS-RTK 技术具有受自然条件影响小、作用距离远、精度高、自动化程度高、效率高和劳动强度小等优点，不仅可以加快施工进度，还可提高施工质量和效率；

测效率和精度，及时准确地指导施工；

3) 提高耙吸船开挖精度，降低超标疏浚和疏浚深度不足的风险；

4) 科学合理的施工方案、动态化管理严控挖深、减少废方及超深超宽工程量，达到节约施工成本的目的。

## 参考文献:

[1] 王望金.耙吸式挖泥船施工工艺及管理[J].中国水运, 2007(9): 24-25.  
 [2] 谢继泽.关于提高耙吸式挖泥船疏浚效率的探讨[J].中国水运, 2014(12): 42-44.  
 [3] 包江, 行莉.RTK 在自航耙吸式挖泥船上应用的原理和意义[C]// 中国测绘学会科技信息网分会.2009 全国测绘科技信息交流会文集.北京: 中国测绘学会科技信息网分会, 2009.  
 [4] 王春晓.自航耙吸式挖泥船推进性能研究[D].哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2012: 34-36.