



潮位潮流关系及靠离泊窗口 对港池航道乘潮历时的影响

谭 凤, 宋 鹏, 王 硕, 张延辉, 张 鹏

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 针对大型开敞式港池及航道水域设计水深的取值问题, 以宁波某工程为例, 论述了基于潮流潮位关系及靠离泊窗口影响下的乘潮历时取值过程, 采用规范公式计算设计水深, 并以航行实践规定的安全富余水深辅以分析合理性。提出大型开敞式港池及航道水域可根据当地海区的潮流潮位关系、靠离泊窗口、通航要求及通航组织方案确定乘潮历时, 研究方法可为类似港口设计提供思路。

关键词: 潮位潮流关系; 靠离泊窗口; 乘潮历时; 港池; 航道

中图分类号: U652

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)11-0065-06

Influence of tidal level and current relationship and berthing and unberthing time on ridable tide duration of harbor basin and channel

TAN Feng, SONG Peng, WANG Shuo, ZHANG Yanhui, ZHANG Peng

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: To calculate the designed depth of large open harbor basin and channel waters, this paper takes a project in Ningbo as an example and analyzes the ridable tide duration acquired according to the influence of tidal level and current relationship and berthing and unberthing time. The paper calculates the designed depth using the specification formula and applies the safe surplus water depth stipulated by navigation practice to supplement the analysis rationality. The paper suggests that the ridable tide duration of large open harbor basin and channel waters can be determined according to the tidal level and current relationship, berthing and unberthing time, navigation requirements, and navigation organization scheme of the local marine area. The research method can provide ideas for similar port designs.

Keywords: tidal level and current relationship; berthing and unberthing time; ridable tide duration; harbor basin; channel

沿海大型开敞式码头船舶满载吃水大, 为节省疏浚投资, 港池与航道水域一般考虑乘潮通航。开敞式码头船舶靠离泊受制于雨、风、雾、潮位、浪、流、冰等条件, 因潮流潮位变化大且呈周期性规律, 为保障船舶尤其是大型船舶的安全通航及靠离泊, 除满足潮位条件外, 还需选择合适的靠离泊窗口, 利用缓流期靠离泊, 因此对潮流潮位的研究

显得尤为关键^[1-2]。我国沿海港口分布范围广, 其潮位潮流关系差异甚大, 经常存在潮位满足但潮流不满足的情况, 再加上各地引航、海事部门要求尺度各异, 因此各个港区大型船舶靠离泊窗口的选择差异大。在进行港口设计尤其单独进行航道工程设计时, 常常重点关注潮位是否满足要求, 容易忽略靠离泊窗口对港池及航道乘潮历时的影响, 本文以

收稿日期: 2023-02-06

作者简介: 谭凤 (1988—), 女, 硕士, 高级工程师, 研究方向为港口航道工程咨询和设计。

宁波舟山港某大型开敞式码头及航道工程为例分析靠离泊窗口对乘潮历时取值的影响。

1 工程概况

工程位于宁波舟山港梅山港区，分 2 个阶段投产，第 1 阶段投产 4 个 10 万~20 万吨级泊位，第 2 阶段投产 2 个 20 万吨级泊位。码头最大设计船型为 20 万吨级集装箱船，设计最大吃水为 16 m。本工程码头船舶进出港有 2 条航线，航线 1 经由虾峙门水道、1 号警戒区、双屿门航道、7 号警戒区，由本工程进港支航道至港池水域；航线 2 经由条帚门水道、7 号警戒区，由本工程进港支航道至港池水域，见图 1、2。从通航水深而言，7 号警戒区局部存在 -15.6 m 浅点，条帚门水道存在 -17.0 m 及 -18.2 m 两处浅点；航线 1 其余水域可满足 20 万吨级集装箱船舶全潮通航，航线 2 目前最大允许 15 万吨级集装箱航行。

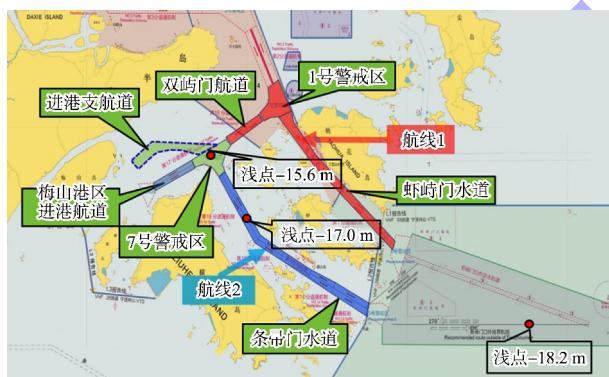


图 1 本工程船舶航线

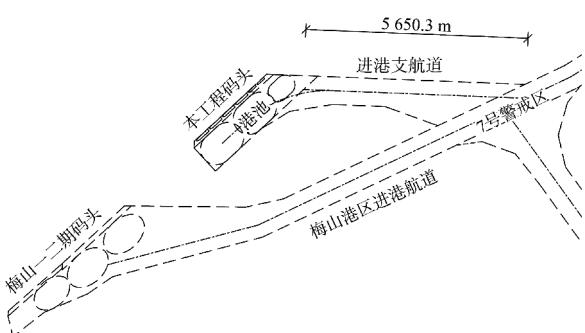


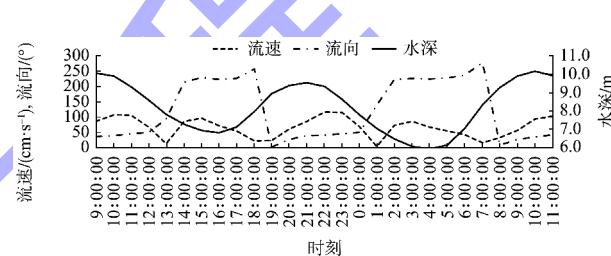
图 2 港池航道水域布置

2 影响分析

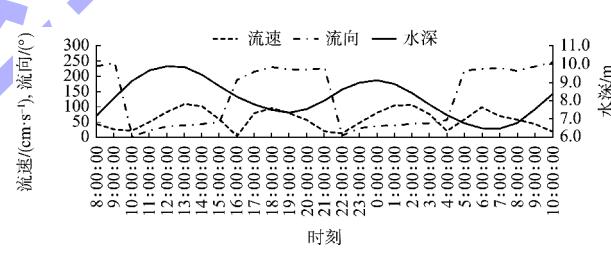
2.1 潮位与潮流关系

分析潮位-潮流关系即了解潮流的特征时刻如

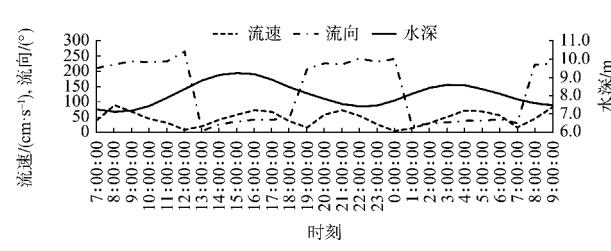
涨急、落急、转流(憩流)与潮位的特征时刻如低潮、高潮、半潮面之间的相位关系，是港口工程设计的重要前提。工程海域为正规浅海半日潮海区，潮位-潮流关系是以前进波为主的复合波形态。工程实施前后码头航道水域流场变化小，采用工程前实测数据进行分析。码头前沿及航道的典型潮位过程见图 3，大、中、小潮期间，落急流出现在低平潮前 1 h 左右，涨急流出现在高平潮后 1 h 左右。落转涨出现在低潮后 3.3 h 左右或高潮前 3~3.3 h，涨转落出现在高潮后 3.3 h 或低潮前 3.3 h 左右，大、中、小潮最大流速递减趋势明显。



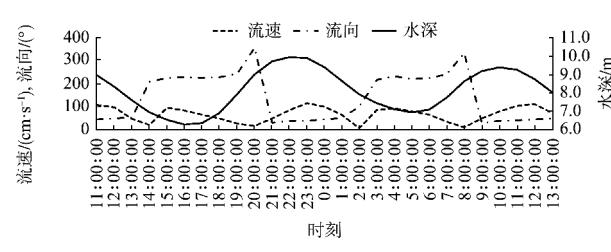
a) 码头测站，冬季大潮垂向平均



b) 码头测站，冬季中潮垂向平均



c) 码头测站，冬季小潮垂向平均



d) 码头测站，夏季大潮垂向平均

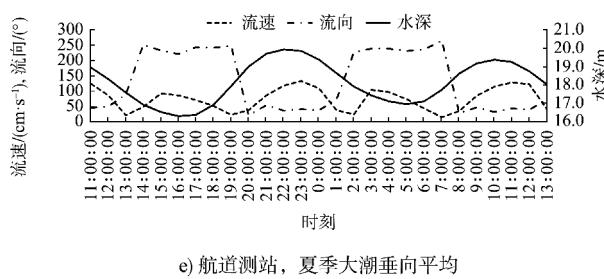


图 3 码头和航道的潮位与潮流同步过程曲线

码头轴向为 $N46^{\circ}30'—N226^{\circ}30'$ ，最大涨潮垂线平均流速 122 cm/s ，与码头前沿线夹角为 2.5° ；最大落潮垂线平均流速 115 cm/s ，与码头前沿线夹角为 1.5° 。码头前沿实测最大推开横向分量 19 cm/s ，出现在低潮前 2 h 的初落流时段；最大压拢分量 19 cm/s ，出现在高潮前约 1.5 h 。潮流横向分量较小，码头走向与潮流流向基本一致。

航道轴向为 $N91^{\circ}30'—N271^{\circ}30'$ ，与码头前沿线呈 45° 夹角，限于水域条件，无法缩小夹角。航道水域实测大潮期最大垂线平均流速横向分量 118 cm/s ，对应垂线平均流速 134 cm/s ，与航道走向夹角达 61.5° ，出现在高平潮后 1.5 h ；落潮流垂线平均横向分量 71 cm/s ，出现在低平潮前 0.5 h ，对应垂线平均流速 87 cm/s ，与航道走向夹角达 55.5° 。大潮期航道水域高平潮前、后各 2 h 涨潮流横向分

量达 $51\sim118\text{ cm/s}$ ；低平潮前 $0.5\sim2.5\text{ h}$ 落潮流横向分量可能短时间超 51 cm/s 。

2.2 靠离泊窗口

大型集装箱船舶一般为班轮运输，对潮位、潮流的限制较少，但集装箱船舶在实际运营过程中由于亏箱、亏重及空箱等情况存在，使得集装箱船舶基本达不到最大载质量，从而导致集装箱船舶的营运吃水小于满载吃水^[3-4]。在实际集装箱港口的设计中，可采用乘潮通航来降低工程投资，既能确保船舶满载情况下乘潮通航需要，亦可使绝大部分集装箱船舶在营运吃水下受潮位影响较小。

梅山港区靠离泊时，顶流靠泊流速应小于 102 cm/s ，顺流靠泊流速应小于 26 cm/s 。码头水域大、中潮期间涨落急时段最大流速超 102 cm/s ，船舶靠离泊需尽量避开高平潮至高潮后 2 h 的涨急时段及低平潮前 $1\sim2\text{ h}$ 的落急时段；中、小潮限制时段可结合实际适当缩短。航道水域横流较强，船舶进出港需尽量避开急流时段。船舶靠离泊宜选择高平潮前 2.5 h 至高平潮前 0.5 h 、高潮后 2 h 至高潮后 3.5 h 及低平潮至低潮后 3 h 的 3 个窗口期，整个窗口期对应的乘潮历时分别为 5 h 及全时段，见图 4。

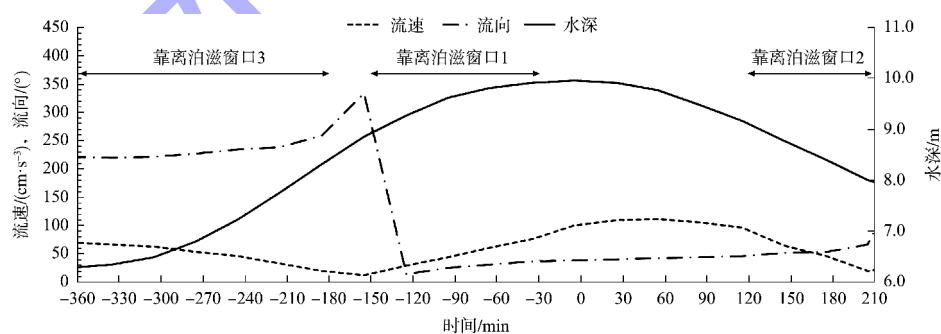


图 4 靠离泊窗口与潮位潮流相对关系

2.3 乘潮历时

营运吃水较大的船舶需乘高潮进出港，码头停泊水域不受潮位限制，但受靠离泊窗口限制，船舶靠离泊需选择高平潮前 3 h 至高平潮前 0.5 h 的高潮窗口，港池及航道受潮位限制。本工程大

型集装箱船采用右舷直靠、掉头离泊的方式。分析高潮窗口单艘船进港、单艘船出港、两艘船进港、两艘船出港、两艘船先进后出、两艘船先出后进 6 种通航组织方案，船舶进出港持续时间见图 5。

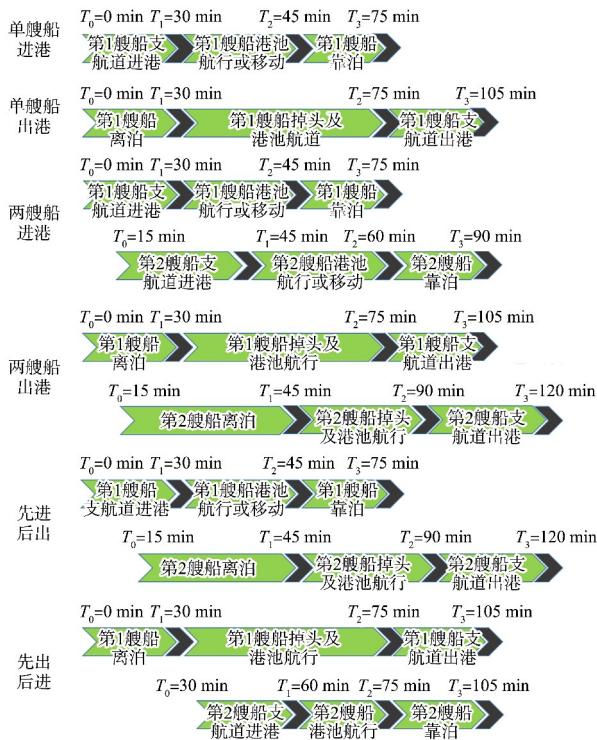
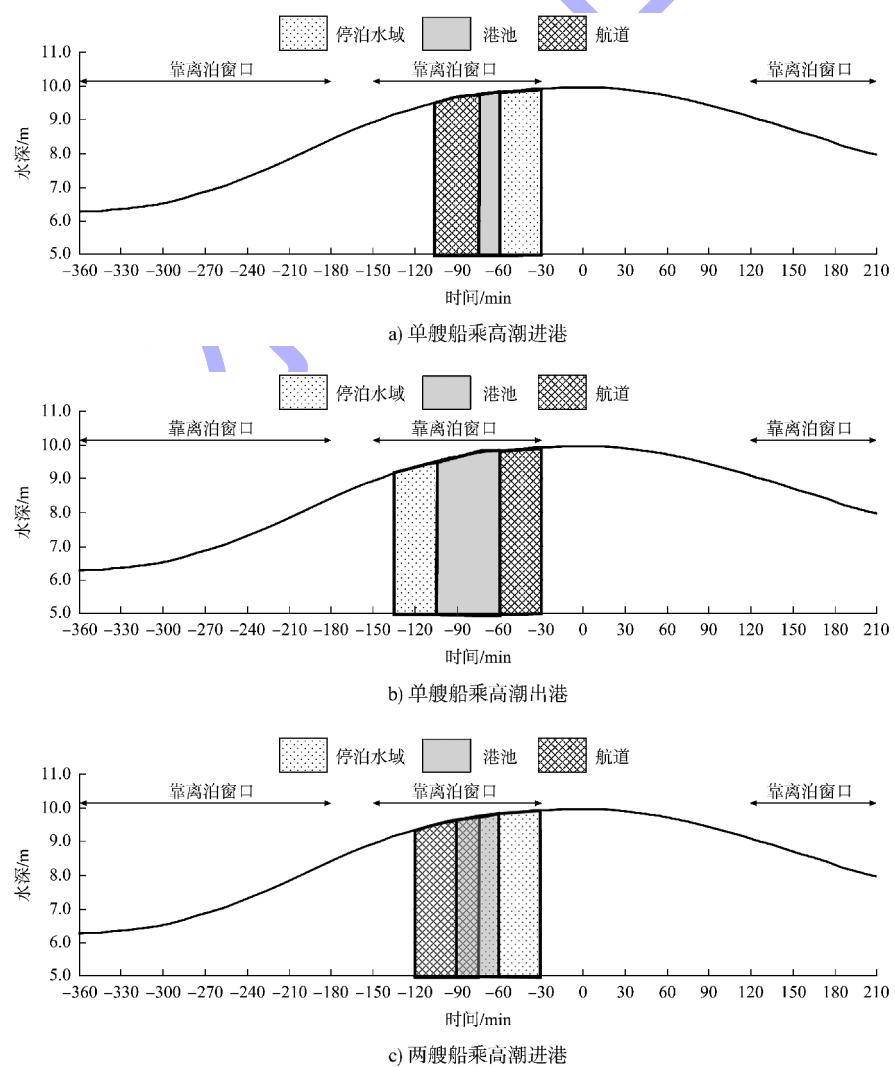


图 5 船舶进出港持续时间

船舶靠离泊作业时对流速敏感度比航道通航时要高, 从安全通航而言, 宜尽量利用高潮窗口的低流速段靠离泊。基于梅山港区的潮位-潮流关系, 要求水域乘潮历时宜取大, 但乘潮历时增大将增加疏浚投资, 两者相互矛盾, 因此合理权衡好两者关系至关重要。考虑尽可能乘高潮位, 各方案持续时间分布见图 6, 各方案乘潮历时见表 1。

表 1 乘潮历时

方案	航道乘潮 历时/h	航道乘潮 历时/h	港池乘潮 历时/h	港池乘潮 历时/h
单艘船进港	3.50		2.50	
单艘船出港	2.00		3.50	
两艘船进港	4.00		3.00	
两艘船出港	5.00		4.00	
先进后出	5.00		4.00	4.00
先出后进	3.50			3.50



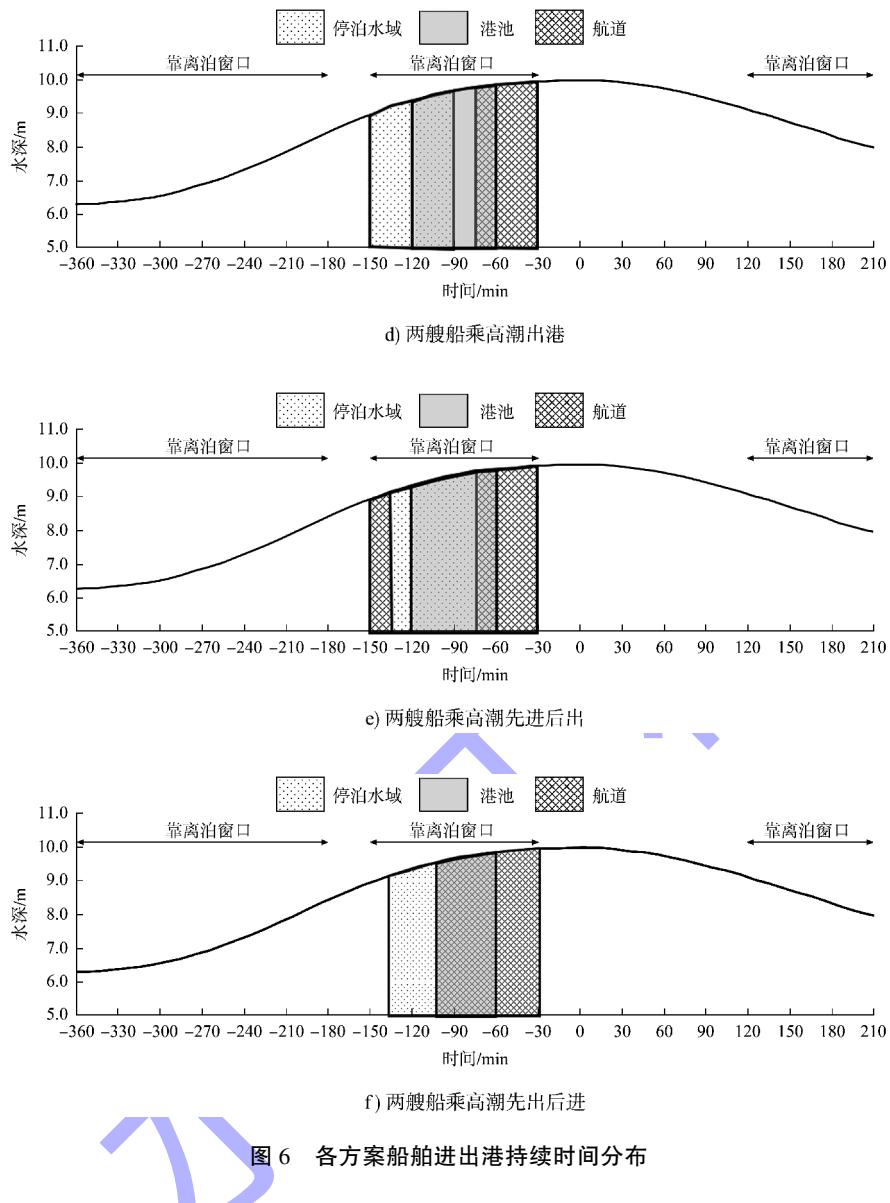


图 6 各方案船舶进出港持续时间分布

2.4 港池航道设计水深

梅山港区设计低水位 0.27 m, 1、3.5、6、8 h 乘潮保证率 90% 的水位分别为 3.02、2.68、2.42、1.69 m。港池航道设计底高程见表 2。

工程第 1 阶段建设考虑以下因素: 1) 工程分期投产, 建设总时间较长, 第 1 阶段投产初期进出港船舶数量较少; 2) 港池水域泥沙回淤较严重, 初期疏浚过深将导致更多的维护性疏浚量; 3) 集装箱船舶的营运吃水一般小于满载吃水; 4) 在同一潮周期中有 3 个靠离泊窗口, 可满足不同营运吃水的船舶进出港需求。港池航道按照同一高潮满足单艘满载船舶进港或出港, 乘潮历时取 3.5 h, 设计底高程取 -15.6 m, 见表 2。在此水深条件

下, 营运吃水 13.6 m 的船舶可满足全潮通航及利用 3 个窗口靠离泊, 营运吃水 15.1 m 的船舶可满足 2 个乘潮窗口时段通航及靠离泊。

工程第 2 阶段建设考虑以下因素: 1) 集装箱船舶大型化及营运吃水增大趋势明显, 码头进出港船舶增多; 2) 浙江沿海西航路穿越本工程航道, 多为 5 000 吨级及以下小型船舶, 水域通航环境复杂; 3) 参考梅山港区一、二期集装箱泊位通航经验, 增加港池的调度冗余度, 港池满足临时锚泊要求。综上, 工程水域按照两艘满载船舶乘同一高潮进或出港较为适宜, 航道乘潮历时取 6 h, 航道设计底高程取 -15.8 m(表 2); 港池设计水深取值与停泊水域一致, 反算出乘潮水位 1.15 m。

在此水深条件下, 营运吃水 13.8 m 的船舶可满足全潮进出港, 营运吃水 15.3 m 的船舶可满足两个

乘潮窗口时段进出港; 营运吃水 14.9 m 吃水的船舶可满足 3 个窗口靠离泊。

表 2 不同阶段港池航道设计底高程

阶段	设计船型	设计船型 满载吃水 T/m	船舶安全 富余水深 h/m	通航水深 D_0/m	备淤深度 Z_4/m	航道设计 水深 D/m	乘潮水位 H_{nav}/m	设计底高程 Z/m
1	港池	16	1.85	17.85	0.4	18.25	2.68	-15.57
	航道	16	2.00	18.00	0.2	18.20	2.68	-15.52
2	港池	16	1.85	17.85	0.4	18.25	1.15	-17.10
	航道	16	2.00	18.00	0.2	18.20	2.42	-15.78

注: 航道仅靠近港池的局部水域需疏浚, 疏浚量小, 基本不淤, 从减小工程投资角度备淤取 0.2 m。

2.5 船舶航行安全富余水深

实际运营中, 船舶进出港时机需根据当天的潮位过程、船舶吃水及船舶航行安全富余水深确定:

$$U = H + H_t - D - S \quad (1)$$

式中: U 为富余水深, H 为海图水深, H_t 为根据潮汐表推算的当时当地的海图基准面上的潮高, D 为静止时船舶的实际最大吃水, S 为船体下沉量。

富余水深对保障船舶安全通航至关重要, 各地港口、航道、锚地等通航水域的安全富余水深有具体规定, 但要求迥异^[5-6]。梅山港区航海实践中船舶最小安全富余水深取船舶吃水的 12%, 按照最大吃水 16 m 计算, 为 1.92 m, 与《海港总体设计规范》计算的港池、航道的船舶安全富余水深 1.85、2.00 m 数值相当。

梅山港区进港航道的建设标准为通航水深 18.3 m, 满足 20 万吨级满载集装箱船乘潮双向通航要求(乘潮历时 1 h、保证率 90%)。根据前文分析的乘潮历时统计, 乘潮历时 1 h 不能满足 16 m 吃水船舶进出港作业, 航道设计时未考虑码头靠离泊对乘潮历时的影响。但多年的生产运营经验显示梅山港区进港航道能较好地适应船舶进出港需要, 主要原因为: 1) 梅山港区进港航道通航水深由 7 号警戒区局部-15.6 m 浅点控制, 实际运营中 16 m 吃水船舶需要的通航水深为 17.92 m, 对应乘潮水位 2.32 m, 对应乘潮历时超 6 h; 2) 集装箱船舶营运吃水基本不超过 15.5 m, 实际乘潮历时会更大; 3) 梅山港区一、二期港池设计底高程考虑了临时锚泊要求, 取值与停泊水域一致, 船舶进出港冗余度更高。

梅山港区进港航道-15.6 m 浅点不需要考虑备淤, 本工程进港支航道设计底高程-15.8 m(考虑 0.2 m 备淤)与梅山港区进港航道的通航标准一致, 能较好地延续梅山港区现有通航习惯。

3 结论

- 1) 在进行大型开放式码头水域港口设计时, 分析工程水域潮位-潮流关系, 并根据潮位-潮流关系及当地引航海事的通航习惯与要求, 确定合适的船舶通航及靠离泊窗口, 是港口工程设计的重要前提。
- 2) 港池及航道乘潮历时的确定除按照规范要求计算外, 还需结合港口水域的通航及靠离泊窗口、码头船舶通航要求及通航组织方案综合确定。
- 3) 工程设计时, 应统筹好通航安全与基建及维护疏浚费用的关系, 以较小代价解决较大问题。
- 4) 港口水域规定的船舶航行安全富余水深要求对港口水域设计有重要的参考价值, 亦有利于验证港口水域取值的合理性。
- 5) 梅山港区海域为正规浅海半日潮海区, 潮位潮流关系为以前进波为主的复合波形态, 落急流出现在低平潮前 1 h 左右, 涨急流出现在高平潮后 1 h 左右。
- 6) 梅山港区船舶靠离泊时, 顶流靠泊流速应小于 102 cm/s, 顺流靠泊流速应小于 26 cm/s, 宜尽量利用高潮窗口的低流速段靠离泊。工程水域有 3 个靠离泊窗口期, 分别为高平潮前 2.5 h 至高平潮前 0.5 h、高潮后 2 h 至高潮后 3.5 h 及低平潮至低潮后 3 h。

(下转第 93 页)