

文章编号:1005-9865(2017)03-0083-06

# 长航道乘潮水位计算新方法研究及应用

黄志扬,徐 元

(中交上海航道勘察设计研究院有限公司,上海 200120)

**摘 要:**随着航道建设规模和航道里程增加,长航道乘潮水位的计算成为航道设计遇到的新技术难题之一。针对多潮位站控制长航道乘潮水位计算问题,提出了乘潮水位计算的多站联合典型潮曲线法。通过构建典型潮曲线,使乘潮累积频率、乘潮历时、潮波传播延时和潮波变形等关键要素同时呈现。基于构建的典型潮曲线,进一步探讨了长航道全程同一乘潮水位、分段变乘潮水位,以及进港、出港等不同情况下乘潮水位的设计取值方法,并以珠江崖门航道为例进行了实例分析,进一步说明了本方法的实用可行。

**关键词:**航道工程;潮波变形;乘潮水位;多站联合典型潮曲线;长航道

**中图分类号:**U612.32      **文献标志码:**A      **DOI:**10.16483/j.issn.1005-9865.2017.03.011

## Research and application of a new method for the calculation of rideable high tide level

HUANG Zhiyang, XU Yuan

(Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

**Abstract:** As the scale of navigation channel becomes larger, the calculation of rideable high tide level for long navigational channel is a new problem encountered. According to the calculation of rideable high tide level for the long navigational channel, the united multi-stations typical tidal curves based on the statistical analysis are presented. Many key elements such as cumulative frequency, tide rising duration, tidal propagation delay and deformation are showed in the working drawing. By the method, the same or variable rideable high tide levels for the long navigational channel are presented. The example of Yanmen Approach Channel shows the calculation method is practical and feasible.

**Keywords:** waterway engineering; transformation of tide wave; rideable high tide level; united multi-stations typical tidal curves; long navigational channel

沿海航道设计中,为了减小疏浚工程量,大型船舶往往采取乘潮通航方式,因此乘潮水位是沿海航道设计的关键参数之一<sup>[1-3]</sup>。目前,关于乘潮水位计算主要采用《港口与航道水文规范》<sup>[4]</sup>中介绍的单站乘潮水位算法。该方法为静态法,没有考虑潮波传播相位差和潮波变形,其对短航道乘潮水位的计算是适用的。但对于长航道而言,潮波传播相位差和潮波变形对潮位利用产生明显影响,潮波传播对通航的影响不可忽略<sup>[5-6]</sup>,此时规范方法存在明显不足。

在沿海长航道的设计中,设计工作者一直在寻找乘潮水位计算的新方法。2012年徐元等<sup>[7]</sup>提出了潮汐河口长航道乘潮水位计算的多站联合法,该方法通过试算,寻求每个潮过程的最优乘潮过程和最优乘潮水位,然后通过频率分析得到不同累积频率对应的乘潮水位。该方法一方面计算过程是通过程序实现,计算过程和结果不够直观,另一方面其只适用于航道全程采用同一乘潮水位的情况,没考虑长航道分段变乘潮水位的设计问题。

针对长航道乘潮水位计算中遇到的问题和目前研究存在的不足,在此提出了长航道乘潮水位计算的典

收稿日期:2016-08-19

作者简介:黄志扬(1980-),男,湖北赤壁人,高级工程师,主要从事港口航道设计研究工作。E-mail:shhuangzhiyang@163.com

型潮曲线法,并以珠江崖门进港航道为例进行了实例分析。

1 典型潮曲线的构建

长航道乘潮水位计算要考虑的要素比短航道复杂得多,主要有航道、船舶和潮波三方面关键因素,其中航道方面要素为航道乘潮段长度和设计要求的乘潮累积频率;船舶方面要素为设计船型的航速和航行方向;潮波方面要素为潮高、潮波传播相位差和传播变形等。

为了将以上诸多要素在航道设计中直观呈现,在此提出了长航道乘潮水位计算的典型潮曲线法。所谓典型潮曲线,就单站而言是根据潮位站完整 1 年或多年潮位资料进行统计分析后,得到航道设计乘潮累积频率对应的乘潮历时与乘潮水位之间的关系曲线,该曲线形似一个涨落潮过程曲线。就多站联合典型潮而言,是在单站典型潮曲线的基础上,进一步考虑相邻控制潮位站间的相位差,将沿程各站典型潮联合呈现。

1.1 单站典型潮曲线的构建

1) 收集潮位站完整 1 年或多年的潮位资料,首先对全年每个高潮位 ( $T=0$ ) 进行累积频率分析,得到高潮累积频率曲线;其次按单站乘潮水位计算法<sup>[4]</sup>,统计不同乘潮历时  $T$  对应的乘潮累积频率曲线,如图 1 所示。

2) 统计潮位的平均涨潮历时  $T_f$  和平均落潮历时  $T_e$ 。

3) 根据设计船型的到港情况,确定航道设计所需的乘潮累积频率  $P^{[8]}$ ;在图 1 中可以得到,相同乘潮累积频率  $P$ 、不同乘潮历时  $T_i$  对应的乘潮水位  $h_i$ 。

4) 以时间为横轴,乘潮水位为纵轴,在坐标系中点绘乘潮累积频率  $P$  对应的典型潮曲线,其中乘潮历时  $T=0$  对应坐标为  $(0, h_0)$ ,乘潮历时  $T_i$  (如  $T_i=1, 2, 3, \dots, 10$ ) 对应坐标点  $(-\frac{T_f}{T_f+T_e}T_i, h_i)$ 、 $(\frac{T_e}{T_f+T_e}T_i, h_i)$ ,将控制点依次连接得到的曲线即为乘潮累积频率  $P$  对应的典型潮曲线。

按照上述方法得到某站乘潮累积频率分别为 50%、70% 和 90% 对应的典型潮曲线,如图 2 所示。

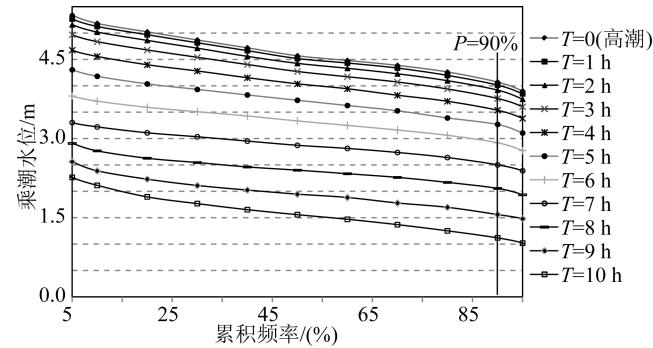
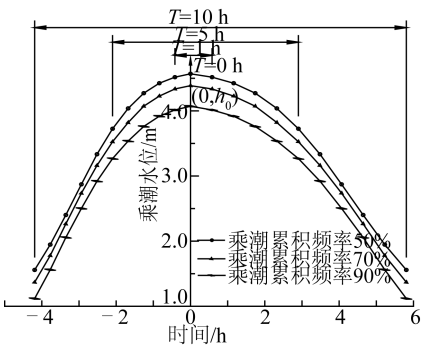


图 1 不同乘潮历时对应的乘潮水位累积频率曲线

Fig. 1 Cumulative frequency curve of rideable high tide level



注:横轴(时间轴)主要体现两个点之间乘潮历时的绝对时段,横轴原点可以自定义;本图以高潮位时间为横轴原点。

图 2 单站典型潮曲线的构建

Fig. 2 Construction of typical tidal curve for one tidal station

1.2 长航道多站联合典型潮曲线的构建

长航道乘潮分析,首先需对航道进行合理的乘潮分段。乘潮分段需综合考虑航道沿程水深分布和乘潮浅段的长度,如果浅滩中部无需乘潮深槽段较长,则深槽段不考虑乘潮;另外单个乘潮分段的乘潮历时不宜过长,一般不宜大于 4 h。

以图 3 概化的航道为例,该长航道有两段浅滩(AC 段、DE 段)和一段深槽(DE 段),其中 AC 浅段相对较长。乘潮分段时,结合乘潮时间将 AC 段进一步分为 AB 和 BC 两个乘潮段,则乘潮计算时依次分为 AB、BC 和 DE 三个乘潮段。

就潮位资料而言,比较理想的是每个乘潮段中部均有长期潮位资料。但实际上往往难以满足上述要求,对此需要结合乘潮段的划分在乘潮段中部设置虚拟潮位站。虚拟站的潮位通过短期潮位资与长期站长期潮位相关分析得到。在此假设在图 3 所示的三个乘潮段中部分别有甲、乙、丙三个长期潮位站。

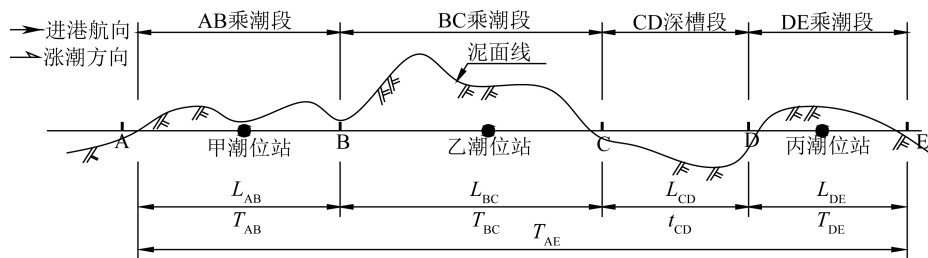


图 3 长航道乘潮段划分及潮位站点位置示意

Fig. 3 Schematic diagram for the segment of rideable high tide level and the location of tidal observatories

甲、乙、丙三站联合典型潮曲线构建方法如下：

1) 确定航道的乘潮累积频率  $P$  (如乘潮累积频率 90%), 按照前述单站典型潮曲线的构建方法, 分别绘制甲、乙、丙三站累积频率  $P$  对应的典型潮曲线;

2) 统计甲、乙、丙三站相邻站点高潮位时间差的年平均值  $t'$ 、 $t''$ ;

3) 以时间为横轴, 乘潮水位为纵轴, 将三个站点典型潮曲线绘制在同一图上, 并使相邻站点乘潮高潮位间的时间差分别为  $t'$ 、 $t''$ , 从而得到本航道乘潮累积频率  $P=90\%$  对应的联合典型潮曲线如图 4 所示。

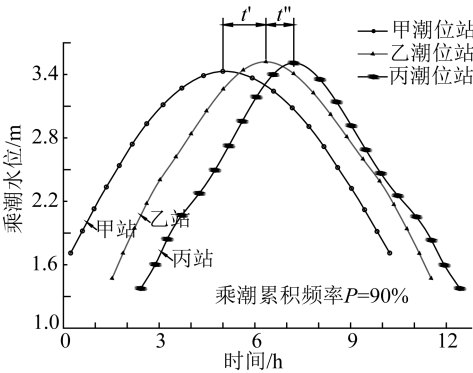


图 4 多站联合典型潮曲线的构建

Fig. 4 Construction of united multi-stations typical tidal curves

2 长航道乘潮水位设计取值

2.1 分段变乘潮水位取值

长航道采取分段变乘潮水位设计的出发点是, 尽量利用高潮位通过关键性乘潮段, 从而减少航道基建疏浚和后期维护疏浚费用。因此, 合理确定关键性乘潮段是长航道变乘潮水位设计考虑的重点问题之一。关键性乘潮段的确定不仅要考虑水深及疏浚量的分布, 而且要考虑不同区段疏浚土处理成本和后期回淤强度等因素。另外, 工程经验和统计分析均表明, 长航道大型船舶进港 (船舶航行方向与涨潮方向一致) 和出港 (船舶航行方向与涨潮方向相反) 潮位利用存在明显差异<sup>[7]</sup>, 因此长航道乘潮水位计算进港、出港要分别计算。

就进港而言, 以构造的多站联合典型潮曲线为工作图, 将通过各乘潮段的乘潮历时  $T_{AB}$ 、 $T_{BC}$  和  $T_{DE}$  和通过深槽的通航历时  $t_{CD}$ , 沿船舶进港方向依次连续布置在横向时间轴上, 平移调整时间尺, 使  $T_{BC}$  刚好平截关键乘潮段 (BC 段) 乙站典型潮曲线, 即在起点时刻与涨潮过程相交的同时, 终点刚好与乙站落潮过程相交, 此时  $T_{BC}$  平截得到的潮位  $h_{BC}$  为 BC 乘潮段的乘潮水位,  $T_{AB}$  起始时刻对应甲站典型潮曲线的潮位  $h_{AB}$  为 AB 乘潮段的乘潮水位,  $T_{DE}$  终点时刻对应丙站典型潮曲线的潮位  $h_{DE}$  为 DE 乘潮段的乘潮水位, 如图 5 所示。

通过上面的分析, 得到进港时三个乘潮段的乘潮水位  $h_{AB}$ 、 $h_{BC}$  和  $h_{DE}$  后, 结合设计船型的设计水深, 进而可以分别得到各乘潮段的设计底标高。根据初步确定的航道设计底标高, 核算原乘潮段的长度和乘潮历时, 并与前期计算采用的乘潮段长度和乘潮历时进行比较, 决定是否需要继续试算。

与进港乘潮水位计算类似, 在计算出港乘潮水位时, 按出港顺序将时间  $T_{ED}$ 、 $t_{DC}$ 、 $T_{CB}$  和  $T_{BA}$  依次连续布置在横向时间轴上, 同样保证高潮位时通过关键乘潮段 CB 段, 即  $T_{CB}$  平截乙站典型潮曲线。通过图 6 的分析得到出港时乘潮段 AB、BC 和 DE 的乘潮水位分别为  $h_{BA}$ 、 $h_{CB}$  和  $h_{ED}$ 。对比图 5 和图 6 可知, 受船舶航行与潮波传播方向影响, 各段进港乘潮水位总体大于出港。

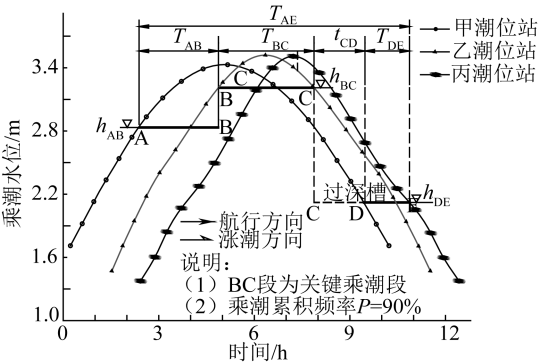


图 5 长航道进港变设计乘潮水位计算示意  
Fig. 5 Variable rideable high tide levels for the long navigational channel while entering port

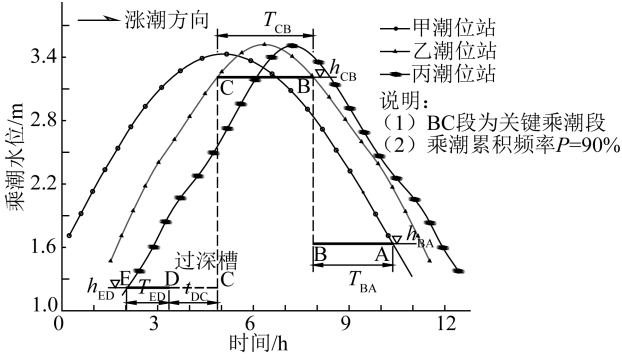


图 6 长航道出港变设计乘潮水位计算示意  
Fig. 6 Variable rideable high tide levels for the long navigational channel while leaving port

2.2 全程同一乘潮水位取值

全程同一乘潮水位设计时,在多站联合典型潮曲线上水平量取总乘潮历时  $T_{AE}$  对应的潮位,进港时  $T_{AE}$  起点位于甲站典型潮曲线的涨潮过程,终点位于丙站典型潮曲线的落潮过程,得到进港时乘潮水位如图 7 中的  $h_{AE}$  所示。

出港乘潮水位计算时,  $T_{EA}$  起点位于丙站乘潮的涨潮过程,终点位于甲站的落潮过程,对应的乘潮水位为图 7 中的  $h_{EA}$ ,出港乘潮水位  $h_{EA}$  明显小于进港乘潮水位  $h_{AE}$ 。

3 案例分析

崖门进港航道设计船型为 5 000 吨级散货船,主要为从口外到双水电厂的 5 000 吨级运煤船,货运主要为“重载进、轻载出”(如图 8 所示)。航道建设规模按满足 5 000 吨级散货船单向乘潮通航考虑,乘潮累积频率取 90%。本航道自黄茅海口外至崖门水道(银洲湖)双水电厂,长度约 78 km,全程总的乘潮历时约 6.3 h。

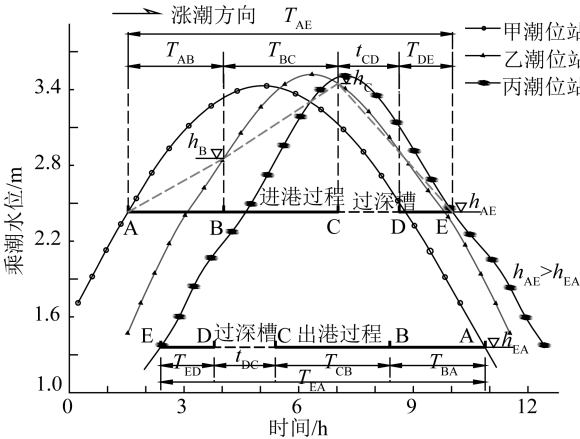


图 7 长航道进、出港全程同一乘潮水位取值示意  
Fig. 7 The same rideable high tide levels for the long navigational channel while entering port or leaving port

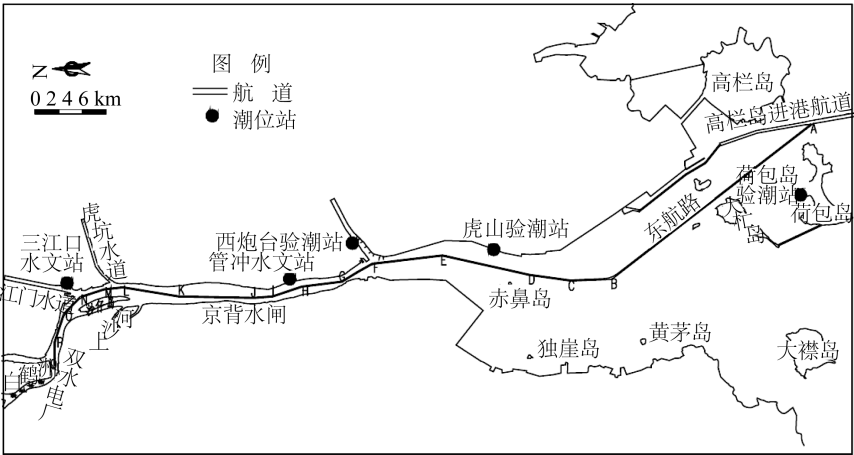


图 8 崖门进港航道平面布置及沿程潮位站概位  
Fig. 8 Schematic diagram of Yanmen Approach Channel and the location of the tidal observatories

从图 9 所示的航道沿程水深分布来看,航道主要浅段为河口拦门沙段和上游京背水闸~双水电厂河段,其中拦门沙段为关键疏浚段。从航道浅段与潮位站之间的位置来看,拦门沙河段长期潮位站有荷包岛站和虎山站,但这两个站点均不位于拦门沙浅段中部。为了满足典型潮曲线法计算的需要,在拦门沙中部位置增设拦门沙段虚拟潮位站;该站潮位根据荷包岛站和虎山站 2002 年全年潮位资料插值得到。上游京背水闸~双水电厂河段控制潮位站为三江口站,该站基本处于上游浅段中部,在此直接采用其 2002 年实测资料。根据潮位资料,统计得到两站涨、落潮历时,以及两站高潮位出现平均时间差如表 1 所示。

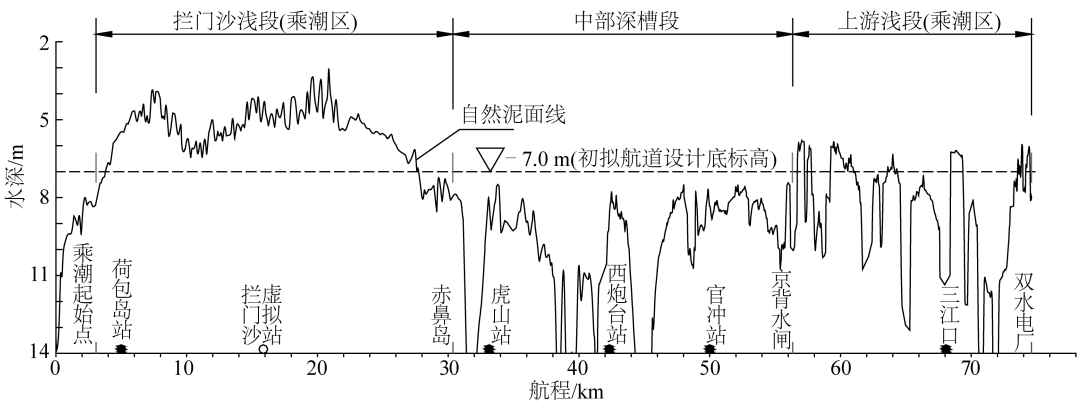


图 9 航道沿程水深分布及潮位站位置

Fig. 9 The depth distribution along the channel and the location of the tidal observatorys

表 1 拦门沙段虚拟站和三江口站涨落潮历时和高潮位时差

Tab. 1 The flood/ebb duration and tidal propagation delay for virtual station and Sanjiangkou Station

| 特征值         | 荷包岛站 | 三江口站 |
|-------------|------|------|
| 涨潮历时/h      | 5.97 | 5.07 |
| 落潮历时/h      | 6.53 | 7.43 |
| 两站高潮位年均时差/h | 1.9  |      |

按前述方法,绘制崖门进港航道两站联合典型潮曲线,如图 10 所示。采用分段变乘潮水位设计时,利用高潮位时段通过拦门沙段(关键疏浚段),得到拦门沙段和上游浅段乘潮水位分别为 1.78 m 和 1.25 m。设计船型 5 000 散货船的设计水深为 8.3 m,则结合各浅段的乘潮水位值得到拦门沙段、上游浅段的设计底标高分别为-6.5 m 和-7.1 m。

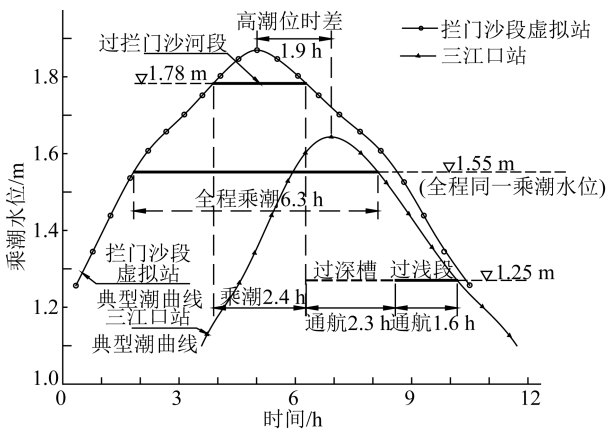


图 10 崖门航道分段乘潮水位取值(乘潮累积频率 90%)

Fig. 10 The design value of the rideable high tide level for variable channel bed elevation of Yanmen Approach Channel (cumulative frequency of high tide level equal to 90%)

对于崖门航道,若航道全程采用同一乘潮水位,则在图 10 所示的联合典型潮曲线工作图上量取乘潮历时 6.3 h 对应的乘潮水位为 1.55 m,结合船舶设计水深进而得到设计底标高为-6.8 m。

同样满足设计船型乘潮累积频率 90%,采用分段变乘潮水位设计和全程同一乘潮水位设计的疏浚工程量分别为  $315 \times 10^4 \text{ m}^3$  和  $429 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,前者比后者小  $114 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,即采取分段变乘潮水位设计后基建疏浚工程量减小约 27%。根据测算,本工程疏浚综合单价约 32 元/ $\text{m}^3$ 计,采取分段变乘潮水位设计能减小疏浚工程费约 3 600 万元。另外,采取分段变乘潮水位设计后,由于拦门沙河段水深减小,也有利于减小航道后期维护性疏浚工程量。由此可见,本航道工程采取分段变乘潮水位方案的经济效益明显。

## 4 结 语

针对目前长航道乘潮水位计算遇到的问题,首次提出了长航道乘潮水位计算的典型潮曲线法。该方法不仅考虑了船舶航行过程,而且考虑了潮波传播延时和传播变形对潮位利用的影响。通过该方法探讨了航道采用全程同一乘潮水位、分段变乘潮水位,以及进港、出港不同情况下的乘潮水位设计取值方法,并以崖门进港航道为例进行了实例分析。

通过方法研究和实例分析表明,长航道采取分段变乘潮水位方案,合理安排船舶高潮位通过关键性乘潮段,能在不降低设计船型乘潮累积频率的情况下,有效的减小工程基建投资和后期维护费用,其经济效益明显。

另外,长航道进港乘潮水位明显大于出港,且航道里程越长,两者差别越明显。因此,长航道设计底标高的确定需根据设计船型重载货物的流向,区分进港和出港不同情况。

**致谢:**在本文撰写过程中,资料收集方面得到了中交上海航道勘察设计院有限公司唐臣高级工程师的帮助,在此表示感谢。

## 参考文献:

- [1] 朱国贤. 潮汐港口设计乘潮水位和航槽浚深[J]. 水运工程,1984(3):1-7. (ZHU G X. The riding high tide level and waterway dredging in tidal estuary port[J]. Port & Waterway Engineering,1984(3):1-7. (in Chinese))
- [2] 符宁平,余祈文. 钱塘江河口段通航能力的初步分析[J]. 东海海洋,1993,11(3):10-16.(FU N P, YU Q W. Preliminary analysis of navigation capacity of Qiantang Estuary [J]. Donghai Marine Science, 1993, 11(3): 10-16. (in Chinese))
- [3] 黄蕴和. 大型船舶进出港安全乘潮计算模式的研究[J]. 中国航海,1989(1):30-40. (HUANG Y H. A study on calculation modes of large safely entering or leaving harbor in higher tide[J]. Navigation of China, 1989(1): 30-40. (in Chinese))
- [4] JTS 145-2015, 港口与航道水文规范[S]. 北京:人民交通出版社,2015.(JTS 145-2015, Code of hydrogy for harbor and waterway[S]. Beijing: China Communication Press, 2015. (in Chinese))
- [5] 李俊娜. 湛江港长距离进港航道乘潮水位分析[J]. 水运工程,2014(10):126-128. (LI J N, Analysis of riding high tide level in a long-distance entrance channel at Zhanjiang port [J]. Port & Waterway Engineering, 2014(10): 126-128. (in Chinese))
- [6] 罗刚. 直线长航道设计水深的确定[J]. 港工技术,2004(4):11-12.( LUO G. Calculation of design depth of long waterway [J]. Port Engineering Technology, 2004(4):11-12. (in Chinese))
- [7] 徐元,黄志扬,龚鸿锋. 潮汐河口长航道乘潮问题研究[J].水运工程,2011(5):1-6.(XU Y, HUANG Z Y, GONG H F. On riding high tide level in a long waterway at a tidal estuary[J]. Port & Waterway Engineering, 2011(5):1-6. (in Chinese))
- [8] JTS 165-2015, 海港总体设计规范[S]. 北京:人民交通出版社,2015.(JTS 165-2015, Design code of general layout for sea ports[S] Beijing: China Communication Press, 2015. (in Chinese))
- [9] 吴今权,刘春炜. 扩建天津港航道的设计研究[J]. 港工技术,2000(3):4-7.(WU J Q, LIU C W. The study on the design of expanding tianjin port channel[J]. Port Engineering Technology, 2000(3):4-7. (in Chinese))