

文章编号:1005-9865(2018)03-0104-06

考虑潮流影响的航道乘潮水位计算方法研究与应用

黄志扬,曾建峰

(中交上海航道勘察设计研究院有限公司,上海 200120)

摘 要:乘潮水位是沿海航道设计的重要参数之一,然而现有乘潮水位的计算方法只考虑了潮汐这一因素,往往忽视潮流因素。随着船舶大型化和航道建设条件复杂化,潮流也成为部分航道乘潮水位计算必须考虑的要素之一。在分析潮位、流速相关关系的基础上,基于乘潮水位计算的典型潮曲线法,提出了考虑“潮流窗口”后乘潮水位的计算方法,以舟山岛礁海域的鱼山 10 万吨级进港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:航道设计;乘潮水位;潮流;典型潮曲线法

中图分类号:U612 **文献标志码:**A **DOI:**10.16483/j.issn.1005-9865.2018.03.014

Research and application of ridable tide level considering the effect of tide current

HUANG Zhiyang, ZENG Jianfeng

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

Abstract: The ridable tide level is one of the important parameters in large-scale coastal waterway design. However, the existing ridable high tide level calculation method only considers the single factor of tidal level. As the large-scale ship building and waterway construction conditions are complicated, the tidal current has become an important factor to be considered in the calculation of the ridable tide level. At present, there is still no mature calculation method for the ridable tide level considering both the tidal level and tidal currents. Based on the analysis of the correlation between tidal level and velocity, and the method of typical tidal curves, this paper presents a method to calculate the ridable tide level considering “tidal current window”. The example of Yushan 100000-DWT Approach Channel at Zhoushan-Ningbo Port shows the calculation method is practical and feasible.

Keywords: channel design; ridable tide level; tidal current; typical tidal curves

为了减少疏浚工程量、节省工程投资,大型航道往往采取乘潮通航,因此乘潮水位的合理取值是沿海航道设计的关键技术问题之一^[1-3]。目前乘潮水位的计算仅仅考虑了潮汐这一单因素^[3-4],这对船舶航行不受潮流影响或潮流影响较小的海域是可行的。然而随着航道建设条件趋于复杂化,对于需通过岛礁狭口、防波堤口门等大流速或差流态的航道,潮流对船舶通航的影响不可忽视。

为了改善或减弱潮流对船舶航行的不利影响,通常有两类措施:一是采取工程措施,如岛礁海域局部炸礁、优化防波堤口门布置等;二是采取管理措施^[5-6],在通航管理上考虑“潮流窗口”的影响,如避开高流速时段、选择合理通航时机通航。为实现措施二,乘潮水位计算应同时考虑潮汐、潮流双因素,但目前尚无成熟计算方法。

潮汐和潮流是潮波运动的两种不同形式,二者之间具有强烈的周期规律,这为航道设计乘潮水位的计算综合考虑双因素创造了必要条件。在潮位、流速相关分析的基础上,提出了考虑“潮流窗口”后乘潮水位计算的典型潮曲线法。该方法让船舶航行、潮波传播两个动态过程,以及潮流影响窗口呈现于同一工作图上,

收稿日期:2017-06-06

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

使得航道设计乘潮水位的取值更为直观。最后,基于提出的计算方法,以岛礁海域的宁波舟山港鱼山进港航道为例进行了实例分析。

1 考虑“潮流窗口”典型潮曲线的构建

1.1 通航过程及乘潮时间尺

乘潮水位计算的关键是在保证船舶安全通过浅段的前提下,潮位利用最优,计算方法综合考虑船舶航行和潮波传播两个动态过程。考虑潮流影响择机通航后,乘潮水位的计算需同时考虑潮流影响的空间和时间两方面因素,接下来结合图 1 的示例进行具体分析。

图 1 所示某进港航道 AD 段为乘潮区段,其中 BC 段受岛礁影响,部分时间流速较大,船舶需避开高流速时段择机通航。综合考虑乘潮区段浅段分布和潮流限制段位置,将航道分为 AB、BC 和 CD 三个区段,对应长度分别为 L_{AB} 、 L_{BC} 和 L_{CD} 。根据船舶进港设计航速,并考虑一定的时间富裕,得到三个区段的乘潮历时分别为 T_{AB} 、 T_{BC} 和 T_{CD} ,如图 1 所示。将各区段的乘潮时间,按进港方向依次连续布置在后文介绍的典型潮曲线时间轴上,得到进港乘潮时间尺。通过乘潮时间尺概化了船舶(或船队)乘潮通航的物理过程。

同样,根据出港设计航速,并考虑一定的时间富裕,可得到出港不同区段的乘潮历时分别为 T_{DC} 、 T_{CB} 和 T_{BA} 。将各区段的乘潮时间按出港方向依次布置在典型潮曲线的时间轴上即得到出港乘潮时间尺。

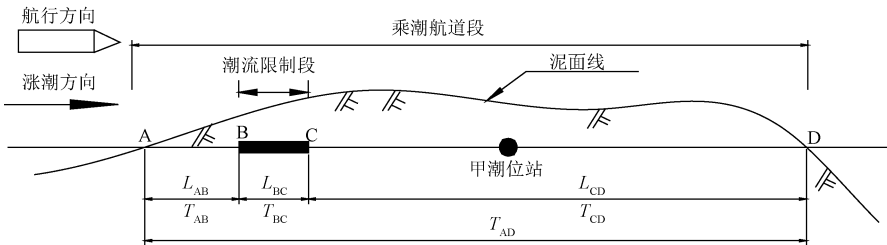


图 1 船舶乘潮进港航行示意

Fig. 1 Schematic diagram for the ship sailing into port

1.2 构建考虑“潮流窗口”的典型潮曲线

典型潮曲线并非实际发生的潮过程曲线,而是根据长期站 1 年及以上长期资料统计得到的对应某一乘潮累积频率,与潮过程形状类似的曲线^[7]。图 1 示例中,甲站为长期潮位站、且位于航道乘潮中部附近。首先根据甲潮位站完整 1 年及以上的潮位资料统计其不同乘潮历时、不同乘潮保证率对应的乘潮水位;然后按照文献[7]介绍的方法,绘制考虑潮汐单因素情况下设计要求乘潮累积频率 P (如 P 取 90%) 对应的典型潮曲线。

在乘潮水位的计算中考虑潮流影响,其中关键一步是明确潮流限制条件与潮流限制时段,以及潮流限制时段相对于高潮位出现的时间。就潮流限制条件而言,主要是大流速或大横流对船舶操纵的不利影响。按照《海港工程设计手册》^[8] 的相关要求,沿海航道一般有掩护的港内航道横流流速不应超过 0.5 m/s、顺流流速不应超过 2.0 m/s;防波堤口门航道和港外开敞航道横流流速不应超过 1.0 m/s、顺流流速不应超过 2.0 m/s。此外,船舶操纵模拟试验也是确定潮流对航行影响的重要手段之一。

潮流限制时段相对于高潮位的时间而言,主要通过潮位、流速同步过程曲线或潮流数值模拟计算确定。图 2 为前述示例 BC 潮流限制航段实测潮位、流速同步过程线。若限制流速 V_0 取 2.0 m/s,则通过潮位、流速同步过程统计分析,可得到潮流限制时段为高潮前 $t_2 \sim t_1$ 和高潮后 $t'_1 \sim t'_2$ 两个时段。当然图 2 只是单个潮过程的潮位、流速同步分析,工程设计中潮流限制时段尽量综合不同时期、不同潮型的实测资料统计确定。

由于潮位、潮流两者周期性关系密切,潮流限制时段相对于高潮的时间往往比较固定。在通过实测资料分析得到潮流限制时段相对于高潮位出现时间后,在前述仅考虑潮汐单因素的典型潮曲线上,进一步标绘出潮流限制或可通航时段,如本示例 BC 段潮流限制时段为高潮前 $t_2 \sim t_1$ 和高潮后 $t'_1 \sim t'_2$ 两个时段,从而得到考虑“潮流窗口”后的典型潮曲线,并作为后续乘潮水位设计取值分析的工作底图,如图 3 所示。

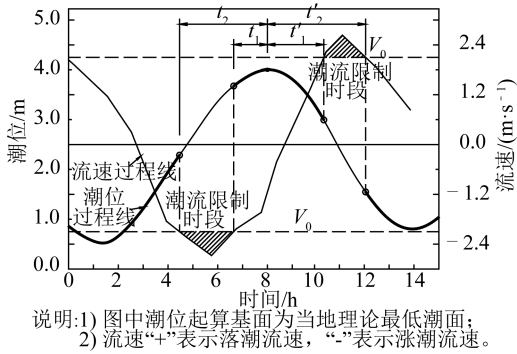


图 2 潮流速同步过程曲线及潮流限制时段的确定
Fig. 2 Schematic diagram of tidal level and velocity synchronous process curve and the limiting period of tidal velocity

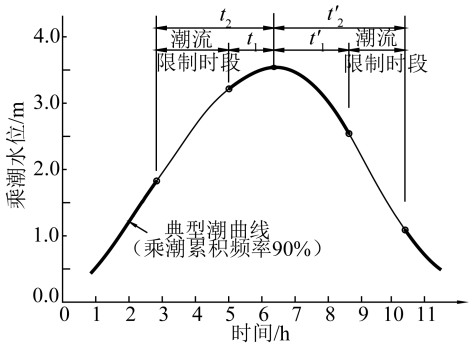


图 3 考虑潮流影响后的乘潮典型潮曲线
Fig. 3 Typical tidal curves of ridable tide level considering tidal current

2 乘潮水位设计取值

2.1 进港乘潮水位设计取值

根据图 1 的通航过程分析,已经得到设计船型进港依次通过三个航段的乘潮时间尺,要满足设计船型通过 BC 航段时避开高潮前 $t_2 \sim t_1$ 时段和高潮后 $t'_1 \sim t'_2$ 两个潮流限制时段,则在图 4 中体现为平移乘潮时间尺的过程中,通过狭口段的时间 T_{BC} 与两个潮流限制时段在时间上不能有交叉。

在此首先分析仅考虑潮位利用最优的情况,其乘潮水位取值为图 4 中情况①对应的平行截取典型潮曲线对应的乘潮水位 h_1 。显然情况①通过狭口时间 T_{BC} 与高潮前的潮流限制时段 ($t_2 \sim t_1$ 时段) 在时间上有交叉。说明此时尽管潮位利用最优,但未能避开 BC 段潮流限制时段,即 h_1 不能作为本航道进港乘潮水位的设计取值。

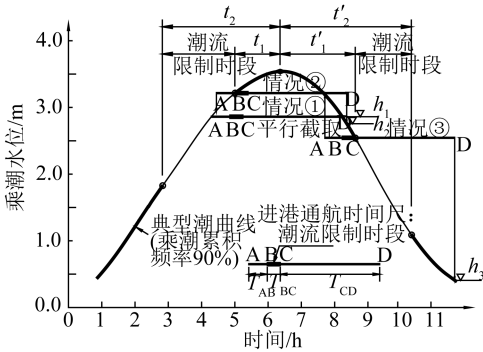


图 4 考虑潮流影响后进港乘潮水位取值分析示例

Fig. 4 The obtained value of ridable tide level considering tidal current while entering port

在情况①对应通航过程不能同时满足潮位利用最优且避开 BC 段潮流影响的情况下,继续移动图 4 的乘潮时间尺,分析如下两种典型情况:

1) 图 4 中情况②对应的航行过程:涨潮期间,船舶(或船队)在 BC 段流速限制时段末期(高潮前 t_1 时刻)驶入潮流限制航段,此时航道乘潮水位 h_2 为该通航过程乘潮时间尺各时刻对应典型潮曲线潮位的最小值,即图 4 乘潮时间尺 D 点对应的潮位。

2) 图 4 中情况③对应的航行过程:落潮期间,船舶(或船队)在 BC 段流速限制时段初期(高潮后 t'_1 时刻)驶出潮流限制航段,此时航道乘潮水位 h_3 为该通航过程乘潮时间尺各时刻对应典型潮曲线潮位的最小值,即图 4 乘潮时间尺 D 点对应的潮位。

综合潮位和潮流两方面因素后,航道乘潮水位设计值取图 4 中情况②乘潮水位 h_2 和情况③乘潮水位 h_3 两者中的较大值,即取 h_2 。显然,考虑潮流影响后的乘潮水位 h_2 小于不考虑潮流影响时的乘潮水位 h_1 。

2.2 出港乘潮水位设计取值

同样,出港若仅考虑潮位利用最优,乘潮水位则为图 5 中情况①平行截取典型潮曲线对应的乘潮水位 h_1' 。从图 5 的分析来看,情况①通过狭口段的时间 T_{CB} 与高潮前 $t_2 \sim t_1$ 和高潮后 $t_1' \sim t_2'$ 两个潮流限制时段在时间上均无交叉,即出港时平行截取典型潮曲线的通航过程既能达到潮位利用最优,也能避开 BC 段潮流限制。因此,情况①平行截取典型潮曲线对应的乘潮水位 h_1' 为本航道出港乘潮水位的设计取值。

如果出港时平行截取典型潮曲线的通航过程不能避开 BC 段潮流限制,则需与前述进港分析类似,进一步移动图 5 的乘潮时间尺,考虑以下两种典型情况:

- 1) 图 5 情况②对应的航行过程:涨潮期间,船舶(或船队)在 BC 段流速限制时段末期(高潮前 t_1 时刻)驶入潮流限制航段,此时航道乘潮水位 h_2' 为该通航过程乘潮时间尺各时刻对应典型潮曲线的潮位最小值,即图 5 乘潮时间尺 D 点对应的潮位。
- 2) 图 5 情况③对应的航行过程:落潮期间,船舶(或船队)在 BC 段流速限制时段初期(高潮后 t_1' 时刻)驶出潮流限制航段,此时航道乘潮水位 h_3' 为该通航过程乘潮时间尺各时刻对应典型潮曲线的潮位最小值,即图 5 乘潮时间尺 A 点对应的潮位。

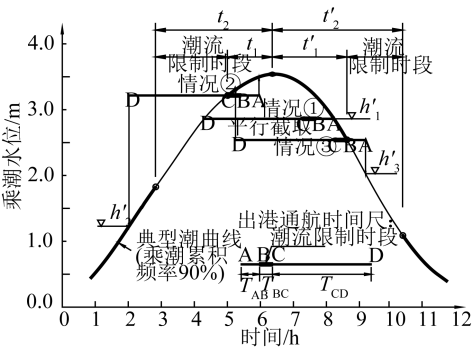


图 5 考虑潮流影响后出港乘潮水位取值分析示例

Fig. 5 The obtained value of rideable tide level considering tidal current while leaving port

出港时,如若图 5 中情况①平行截取典型潮曲线不能避开 BC 段流速限制时段,则航道乘潮水位设计取值取图 5 中情况②对应乘潮水位 h_2' 和情况③对应乘潮水位 h_3' 两者的较大值,即 h_3' 。当然,本例中情况①平行截取典型潮曲线避开了 BC 段流速限制时段,乘潮水位设计取值为 h_1' 。

就潮流限制段和乘潮浅段的空间相对位置而言,上述示例分析的是潮流限制段位于乘潮浅段中部的情况。当然,航道设计中也经常出现潮流限制时段在乘潮浅段以外的情况,其计算方法与上述方法类似,对此情况结合下面工程实例进行分析。

3 案例分析

3.1 航道概况及通航分析

宁波舟山港鱼山作业区进港航道位于舟山中部,航道规划为 10 万吨级油船乘潮双向航道。航道东接沿海东航路,西至鱼山作业区港池水域,进港船舶依次通过马岙口外公共航道、灌门航道、马岙内航道和鱼山航道,航道全长约 72.1 km。本航道沿程岛屿、礁石众多,在灌门粽子山~龙王跳咀段有长约 2.5 km 的狭口段,该段水深条件良好,但局部时段流速较大,最大流速达 2~3 m/s,当地俗语称“小鬼难缠比不过灌门难过”^[9]。从航道沿程水深来看,全程有两处不连续浅段,一处为秀山西浅段,最浅水深 13.0 m;另一处为鱼山东南侧浅段,最浅水深 14.9 m,航道乘潮浅段总长约 18 km,如图 6 所示。

本航道设计船型为 10 万吨级油船,主要考虑重载进港。为了满足乘潮分析通航时间尺拟定的需要,将潮流限制段至乘潮航段分为三个区段,按进港方向依次为狭口区潮流限制段、中部深槽段、乘潮浅段。按 8 kn(4.116 m/s)设计航速考虑,并考虑一定的时间富裕,得到设计船型通过三个区段的历时依次为 0.5、0.8 和 1.5 h,如图 7 所示。

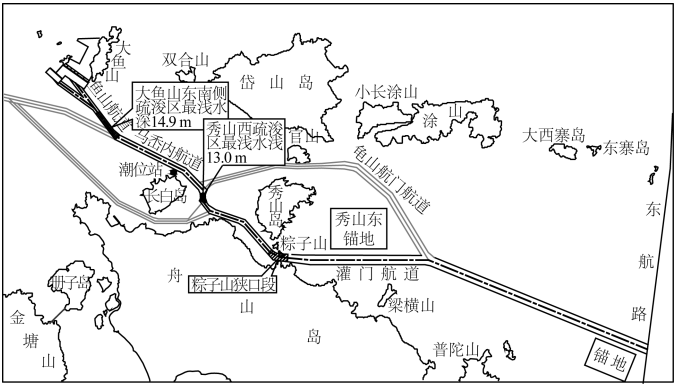


图 6 宁波—舟山港鱼山作业区进港航道平面布置

Fig. 6 Plane layout of Yushan approach channel at Zhoushan-Ningbo Port

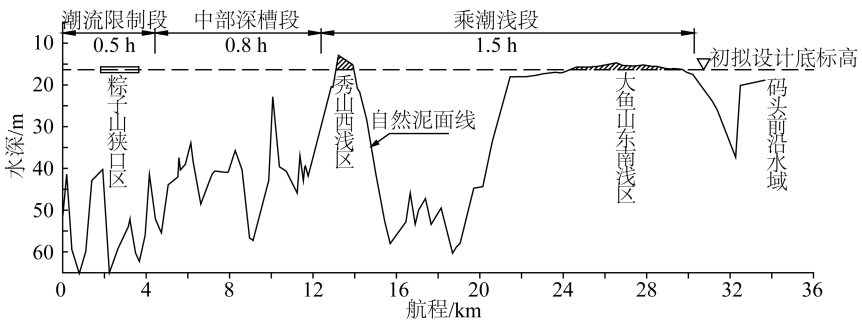


图 7 航道狭口段~码头前沿水深分布及通航分段

Fig. 7 The depth distribution along the channel and the segment for the analysis of navigation

3.2 典型潮曲线构建及乘潮水位设计取值

首先,采用乘潮区段附近长白岛北潮位站(站点概位见图 6)的潮位资料,统计得到该站不同乘潮历时对应的乘潮累积频率曲线如图 8 所示。

其次,在图 8 统计的基础上,根据文献[7]的方法,可得到仅考虑潮汐单因素,航道设计要求乘潮累积频率 90%对应的典型潮曲线。接下来需确定潮流限制条件,潮流限制时段或允许通航时段。根据《舟山灌门航道及附近海域通航安全管理规定》大吨位船舶必须选择流速小于 1.5 kn(0.772 m/s)的缓流时段通过灌门航道狭口段。另外,根据《马岙航道窄口处缓流通航专用预报表》分析成果,灌门狭口段流速小于 1.5 kn(0.772 m/s)的可通航缓流时段出现在高潮前 4.3~3.3 h,以及高潮后的 1.2~2.3 h,其它时段为潮流限制时段。据此得到考虑狭口段潮流影响后的典型潮曲线如图 9 所示。由于潮波传播速度远大于船舶航行速度,且本工程从狭口段至乘潮浅段里程不长,在此未考虑狭口段至乘潮浅段的潮波传播延时。

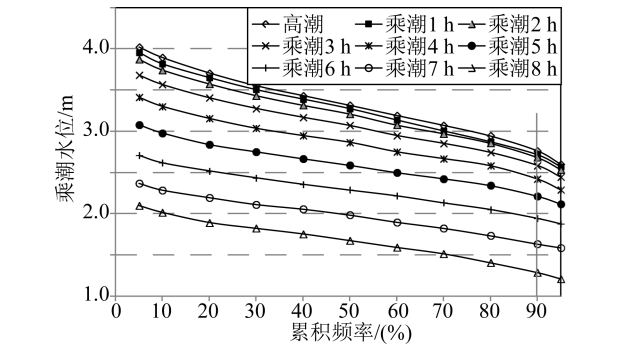


图 8 航道乘潮浅段不同乘潮历时对应的乘潮累积频率曲线
Fig. 8 Cumulative frequency curve of rideable tide level in the shallow area

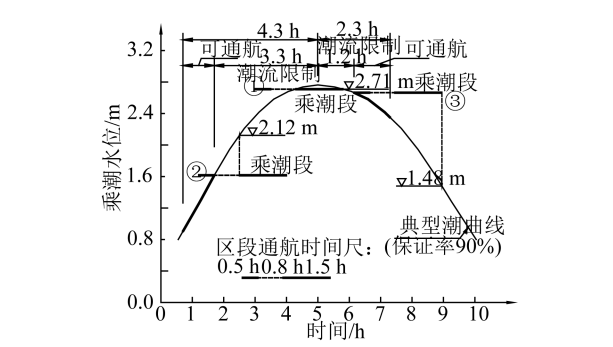


图 9 考虑流速影响后典型潮曲线及乘潮水位设计取值分析
Fig. 9 Analysis on the obtained value of rideable tide level

就乘潮水位设计取值而言,首先分析图9情况①中乘潮浅段历时1.5 h平行截取典型潮曲线对应的乘潮通航过程。该过程乘潮浅段的潮位利用最优,为2.71 m;但该通航过程设计船型通过狭口段时没能避开潮流限制时段,因此对应的乘潮水位不能作为本航道进港乘潮水位的设计取值。在此,平移通航时间尺,进一步考虑如下两种通航过程:

1)图9中情况②对应的通航过程:涨潮期,设计船型在狭口段潮流允许通航时段末期驶出潮流限制航段,对应的乘潮水位为通航过程中乘潮浅段历时(非全部通航时间)各时刻对应典型潮曲线潮位的最小值,即图9情况②对应的乘潮水位2.12 m。

2)图9中情况③对应的通航过程:落潮期,设计船型在狭口段潮流允许通航时段初期驶入潮流限制航段,对应的乘潮水位为通航过程中乘潮浅段历时各时刻对应典型潮曲线潮位的最小值,即图9情况③对应的乘潮水位1.48 m。

本工程航道乘潮水位设计取值取以上两种典型情况下乘潮水位的较大值,即取2.12 m;该合理乘潮水位取值明显小于不考虑狭口段时的乘潮水位2.71 m。按乘潮水位设计取值2.12 m,10万吨油船设计水深17.8 m,得到航道设计底标高为-15.7 m。当然在设计中,有必要根据计算得到设计底标高进一步核算乘潮长度和乘潮历时,并确定是否要进一步试算。

4 结 语

针对目前航道设计中乘潮水位的计算往往只考虑潮汐这一单因素的情况,在潮位、流速相关分析的基础上,提出了考虑“潮流窗口”后乘潮水位计算的典型潮曲线法,并以岛礁海域的宁波舟山港鱼山进港航道为例进行实例分析。

研究表明,考虑“潮流窗口”后乘潮水位的计算方法较仅考虑潮汐单因素复杂,且考虑潮流影响与否的乘潮水位设计取值往往明显不同。另外,对于乘潮历时不长的航道,不考虑潮流影响时进、出港乘潮水位往往一致;然而在考虑潮流影响后,受潮流限制段空间位置的影响,进港、出港乘潮水位往往不一致,乘潮水位需根据设计船型重载货物的流向加以分别计算。

致谢:论文撰写过程中,得到中交上海航道勘察设计研究院有限公司徐元教授级高级工程师的指导,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 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))
- [2] 赵美英.湄洲湾25万吨级航道设计乘潮水位的选取[J].台湾海峡,1999,18(4):445-449. (ZHAO Meiyang. Selection of designed level of 250 000 ton-grade navigational channel in Meizhou Bay[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 1999, 18(4):445-449. (in Chinese))
- [3] 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))
- [4] 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))
- [5] 解鸣晓,张玮,李国臣.双导堤口门航道横流特性对通航影响研究[J].武汉理工大学学报,2009(5):968-971. (XIE Mingxiao, ZHANG Wei, LI Guochen. Three dimensional features of cross flow in approach channel and its effect on navigation [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2009(5): 968-971. (in Chinese))
- [6] 李冰绯,施凌.非天然水深大型开敞式码头靠泊时机与乘潮水位的确定[J].水运工程,2011,33(9):77-81. (LI Bingfei, SHI Ling. On berthing time and tide-bound water level for non-natural deep water & large open wharf[J]. Port & Waterway Engineering, 2011,33(9): 77-81. (in Chinese))
- [7] 黄志扬,徐元.长航道乘潮水位计算新方法的研究及应用[J].海洋工程,2017,35(3):83-88. (HUANG Zhiyang, XU Yuan. Research and application of a new method for the calculation of riding high tide level[J]. The Ocean Engineering, 2017, 35(3): 83-88. (in Chinese))
- [8] 交通部第一航务工程勘察设计院.海港工程设计手册[M].北京:人民交通出版社,2001. (The First Design Institute of Navigation Engineering. Handbook for design of sea harbor[M]. Beijing: The People's Communications Publishing House, 2001. (in Chinese))
- [9] 王志军.大型满载油轮舟山灌门航道顺流航行操纵要点[J].港口经济,2012(4):58-59. (WANG Zhijun. Control points for large tanker sailed through Zhoushan Guanmen Channel[J]. Port Economy, 2012(4): 58-59. (in Chinese))