



东非某港改扩建工程狭窄港池布置特点

吕 威¹, 崔维康²

(1. 中国港湾工程有限责任公司, 北京 100027;
2. 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510290)

摘要: 以东非某港改扩建工程为例, 阐述狭窄港池中水域平面尺度的设计方法, 包括兼顾航行通道功能的港池宽度、回旋水域直径、口门宽度等。对国内外相关规范关于水域平面尺度的计算方法进行对比研究, 结合经验确定水域平面尺度的初步设计方案, 并开展船舶操纵模拟试验对设计方案的合理性进行验证。结果表明, 本工程的水域尺度布置合理, 能够满足船舶通航及靠离泊要求, 并有效减少疏浚量、控制工程投资。

关键词: 狹窄港池; 水域设计方法; 国内外规范; 水域平面尺度; 船舶操纵模拟试验

中图分类号: U656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)04-0082-06

Layout characteristic of narrow harbor basin for port expansion project in East Africa

LYU Wei¹, CUI Weikang²

(1. China Harbor Engineering Co., Ltd., Beijing 100027, China;
2. CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China)

Abstract: Taking the expansion project of a port in East Africa as an example, we elaborate the design method of water area dimensions in the narrow harbor, including basin width with the navigational channel function, turning basin diameter, and entrance width. We conduct a comparative study on domestic and foreign standards regarding the calculation methods of water area dimensions, determine the preliminary design scheme for water area plan dimensions based on the experience, and carry out a ship maneuvering simulation test to verify the rationality of the design scheme. The results show that the water area layout of this project is reasonable, which can meet the requirement of ship navigation, and effectively reduce dredging volume and control engineering investment.

Keywords: narrow harbor basin; design method for water area; domestic and foreign standards; dimension of water area; ship maneuvering simulation test

近年来, 随着亚非拉国家经济的发展, 老港升级改造的需求不断增加。但这些港口普遍建成年代久远, 水深不足、水域狭小等问题已经成为制约其发展的瓶颈因素。水域平面尺度大小决定了港口的服务水平, 较大的平面尺度有利于通航效率和作业安全, 但建设及维护成本也随之增加。因此, 合理地确定港内水域布置对于水域狭窄港口的升级改造具有重要的工程及经济意义。此类

境外港口改造工程由于水域狭窄、泊位数量众多、船舶通航密度大, 港池往往需要承担内航道功能, 且回旋圆及口门宽度的扩展常受到限制, 水域平面尺度的合理取值需要结合多方因素综合考虑。当前国内对港池尺度研究主要集中在港池宽度对港口通航安全和港口服务水平的影响、各国规范和通用规定对比参数取值、基于船舶操纵模拟试验对部分港口水域优化等领域^[1-3]。但上述研究均

收稿日期: 2023-08-02

作者简介: 吕威 (1985—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口与航道工程设计及施工管理。

基于常规港池, 缺乏针对狭窄港池, 特别是空间受限的港口改造工程水域布置的分析研究, 现有成果难以满足境外狭窄水域类港口设计的需求。

本文以东非某港口改扩建工程为例, 阐述在狭窄港池中水域平面尺度的设计方法, 包括兼顾航行通道功能的狭长港池宽度、回旋水域直径、口门宽度取值等重点问题。除根据设计经验参照国内外规范选取合适计算方法确定水域平面尺度外, 还结合船舶操纵模拟试验进行验证, 使设计的水域平面尺度既能够满足安全作业、高效通航, 又能够减少疏浚量、控制工程投资, 开拓了狭窄港池工程水域平面布置思路, 可为境外类似工程设计提供参考。

1 工程概况

拟建工程为东非某港口升级改造工程。该港位于天然泻湖内, 通过长 2.8 km 的外航道与外海相连, 港口内外水域连接处为天然泻湖口, 当前宽度约 140 m, 港口内航道长度约 1.8 km, 位于天然深槽内, 现有泊位沿内航道西侧顺岸布置, 岸线全长 1.6 km。拟建工程位于航道最末端, 拟扩建长 1.2 km 集装箱码头岸线, 未来将承接港口全部集装箱运输业务。港口总体布置见图 1。



图 1 东非某港口总体布置

该港为所在国的最大港口, 属于综合性港口, 年吞吐量超 1 500 万 t, 日常运营非常繁忙。但该港现有天然水域较为狭窄, 目前仅港池前端布置 1 个回旋圆, 船舶难以实现港池内掉头作业, 限制了

港口的运营效率。为了满足新建码头的通航作业, 需增加港池宽度并在港池末端增加 1 个回旋圆。考虑到内港池狭长, 现有港池边界外天然水深较浅, 部分区域已不足 8 m, 港池扩宽将带来较大疏浚量。此外, 现有港池东侧远期规划建设码头, 需结合规划考虑为远期岸线预留一定发展空间, 加之新建码头对岸为石化罐区, 港池水域拓展空间有限。港内水域已经成为港口升级改造的瓶颈因素。因此该港池水域尺度的确定就显得十分重要, 它将直接影响本工程的投资规模及船舶靠离港安全。

设计船型为 8 万 DWT 超巴拿马型集装箱船, 载箱量 6 500 TEU, 船长 305 m、宽 40 m、最大吃水 14.5 m。

2 港池水域平面尺度的规范界定

2.1 港池水域平面尺度影响因素

1) 到港船型尺度。其对港池的长度、宽度、回旋水域面积及水深有直接影响。

2) 船舶在码头前的操作方式。引水、导航设施、协助作业拖轮的数量和型号、引航员和船长的操作习惯等对港池及回旋水域平面尺度均有影响。

3) 船舶操纵性能。艏舵和侧推器的配置情况及船舶推进器功率等影响船舶回转运动轨迹。

4) 港区自然条件。港区的潮流、波浪、风速、水位、潮差、水深等自然条件影响水域平面尺度。

5) 水域边界限制条件。码头与防波堤的相对位置、与周边码头的距离等地形边界条件限制水域尺度。

2.2 港池宽度

本工程港内泊位数量较多, 但受限于港池水域较为狭长, 除港池两端单独设置的回旋水域外, 其余码头前水域均不考虑掉头作业, 本工程码头前沿水域须兼作内航道。且新码头建成后, 内航道长度接近 3 km, 对通航效率有一定要求。因此, 港池宽度的计算应考虑内航道宽度、停泊水域宽

度以及船舶间安全富余间距要求。

中国的 JTS 165—2013《海港总体设计规范》^[4]规定码头前沿停泊水域宜取码头前 2 倍设计船宽的水域范围，对于多泊位顺岸码头前方水域，不考虑转头作业的码头前水域总宽度不应小于 0.8 倍设计船长。该规范还指出对兼有航行通道功能的港池，应根据需要加宽港池宽度。因此，结合本工程实际使用需求，可推导出使用该规范计算的港池宽度最少应为航道宽度与码头前沿停泊水域宽度(2.0 倍设计船宽)之和。

西班牙规范 ROM 3.1-99^[5]特别指出如果交通密度大于 1 艘船/h，则要求港池内设置航道。如果在航道两侧布置有泊位，则通航船舶与靠泊船舶之间安全富余间距至少应为 2.5 倍最大设计船宽。此种情况下，港池宽度为内航道宽度、安全富余间距(2.5 倍设计船宽)、码头前沿停泊水域宽度(1.5 倍设计船宽)三者之和。

英国规范 BS 6349-1-1：2013^[6]指出兼作航道的港池宽度应不小于 0.7~1.0 倍设计船长，同时应考虑停泊水域宽度外加内港航道宽度。其中，码头前沿泊位停泊水域宽度应不小于 1.5 倍最大设计船宽。但该规范对航道宽度仅提供了一般性的指导意见，认为单向航道宽度一般为 4~6 倍船宽。此外，该规范指出对于 4 kn 航速以下的船舶，船与船之间的安全间距应大于 2 倍设计船宽。因此，港池宽度为内航道宽度、安全富余间距(2.0 倍设计船宽)、码头前沿停泊水域宽度(1.5 倍设计船宽)三者之和。

美国规范 EM 1110-2-1100^[7]和 *Design of Marine Facilities for the Berthing, Mooring, and Repair of Vessels*^[8]都规定，兼具船舶通航功能的港池，航道边线距离船舶不小于 1.2 倍设计船宽。当有拖轮协助时码头前沿停泊水域最小宽度为 1.25 倍设计船宽。因此，港池宽度为内航道宽度、安全富余间距(1.2 倍设计船宽)、码头前沿停泊水域宽度(1.25 倍设计船宽)三者之和。

国际航运协会(PIANC)规范^[9]研究了兼顾通航功能的港池航行船舶对两侧靠泊船只作业的影

响，具体影响因素包括航行船舶的航速、安全距离、航行及靠泊船只的尺寸、港池水深、港池断面形式等。该规范建议在概念设计阶段通航航道距离两侧靠泊船只的安全距离取值如下：1) 航行船只航速 $\leq 4 \text{ kn}$ 时，船舷到船舷间安全距离取 2 倍船宽；2) 航行船只航速 $\leq 6 \text{ kn}$ 时，取 4 倍设计船宽。在详细设计阶段，则建议通过数学模型分析水动力影响确定安全距离。此外，该规范建议码头前沿停泊水域最小宽度为 1.5 倍设计船宽。因此，港池宽度为内航道宽度、安全富余间距(2.0 倍设计船宽)、码头前沿停泊水域宽度(1.5 倍设计船宽)三者之和。

综上，中国规范对兼有航行通道功能的狭长港池的宽度并无明确规定，且缺乏对船舶安全间距的规定，而西班牙、英国、美国、PIANC 等国外规范均对船舶安全间距有相关要求。因此，在计算本工程港池宽度时，国外规范考虑更为全面，更推荐使用。根据当地水文气象条件，使用西班牙、英国、美国、PIANC、中国规范计算的港池最小宽度分别为 360、300、258、276、260 m。综合考虑天然地形、投资预算、安全作业等因素，并结合远期港口规划，为港池东侧岸线发展预留空间，因此港池设计宽度初步确定为 280 m。

2.3 回旋水域尺度

中国的 JTS 165—2013《海港总体设计规范》规定在无侧推及拖轮协助的情况下，回旋圆直径取 2.0~3.0 倍设计船长；在掩护条件好、水流不大及拖轮协助时，回旋圆直径取 1.5~2.0 倍设计船长；掩护条件差的码头取 2.5 倍设计船长，允许借助码头转头时可取 1.5 倍设计船长，受水流影响较大时，通过操船试验确定，若无数据，可考虑沿水流方向长度取 2.5~3.0 倍设计船长。

英国规范 BS 6349-1-1：2013 及 *Port Designer's Hand Book*^[10]认为在无拖轮、无侧舵协助的情况下，回旋圆直径应大于 4 倍设计船长；在拖轮协助转头情况下，回旋圆直径可采用 2 倍设计船长；掩护条件非常好时可减少至 1.6~3.0 倍设计船长；在拖轮、侧舵及船舶推进器均可使用的情况时可

取1.5倍设计船长; 另在码头可协助掉头情况下, 回旋水域直接可取1.2倍设计船长。

美国规范EM 1110-2-1100规定当没有拖轮协助时, 回旋圆直径宜为4倍设计船长; 当有拖轮协助时, 回旋圆直径宜为2倍设计船长; 当借助码头或转头墩协助转头时, 回旋圆直径最小可为1.2倍设计船长。

国际航运协会(PIANC)规范规定在概念设计阶段, 回旋圆直径应大于2倍设计船长, 尤其对于小型无拖轮作业的港口, 回旋圆直径应取3倍设计船长, 在港区风浪流环境相对较好条件下, 风险级别较低时, 直径可减少。

综上, 回旋水域平面尺度设计各国规范的规定比较相似, 在掩护条件较好、水流不大且有拖轮协助的工况下, 回旋水域直径基本上可设计为1.5~2.0倍设计船长。综合考虑天然地形、对岸石化罐区的边界限制、投资预算、安全作业等因素, 本工程回旋水域直径设计取值初步确定为500 m, 约1.6倍船长。

2.4 口门宽度

中国的JTS 165—2013《海港总体设计规范》指出口门的有效宽度应根据航道近远期发展规模、当地波浪条件、水流条件、港内泊稳条件、航行安全条件等因素综合确定, 不宜小于设计船长。

美国规范EM 1110-2-1100规定口门宽度不应小于0.8~1.0倍设计船长。西班牙规范规定口门宽度不应小于设计船长。国际航运协会(PIANC)规范规定口门宽度不小于设计船长。根据

Port Designer's Hand Book, 口门宽度一般应为0.7~1.0倍设计船长。

综上, 口门宽度一般应不小于0.7~1.0倍设计船长。但本工程如按照上述规范要求方法设计, 洄湖口处水域宽度取值应为214~305 m, 远大于现有140 m, 将极大增加投资规模。由于洄湖口处水域掩护良好, 横流横浪较小, 因此本工程洄湖口处水域宽度建议仍按照航道设计方法计算, 初步确定为170 m, 与外航道一致。

3 船舶操纵试验验证

基于上述规范考虑因素及计算, 本工程进一步通过船舶操纵试验验证水域布置的合理性。船舶操纵试验将运用船舶操纵模拟器, 通过计算机实时模拟船舶在设计水域模型中的操纵, 综合评价、研究系统的变化过程, 模拟多种设计方案及其工况, 验证实际操纵的可行性。

本工程船舶操纵试验模型水域布置包括外航道宽度(包含口门, 170 m)、回旋圆直径(500 m)、内港池宽度(280 m)及连接水域。试验中水域布置平面模型见图1。

为保证试验的完整性, 针对不同设计船型、不同气象组合情况共试验模拟了27组工况, 其中针对最大设计船型(8万DWT超巴拿马型集装箱船)共设计了9组试验工况, 见表1。所有模拟工况均在充分考虑了当地引航条件及船舶操作习惯的影响。船舶操纵试验中典型船舶航行轨迹如图2所示。

表1 船舶操纵试验(最大设计船型)工况

工况	行驶方向	有效波高/m	波浪周期/s	波向/(°)	风力/级	风向/(°)	流类型	工况类型
1	进港	0	-	-	0	-	-	标定工况
2	进港	2.9	8.2	40	6	40	最大落潮	极端工况
3	出港	2.9	8.2	40	6	40	最大涨潮	极端工况
4	进港	3.4	8.4	140	6	140	最大落潮	极端工况
5	出港	3.4	8.4	140	6	140	最大涨潮	极端工况
6	进港	0	-	-	4	40	最小落潮	通常工况
7	出港	0	-	-	4	40	最小涨潮	通常工况
8	进港	0	-	-	4	140	最小落潮	通常工况
9	出港	0	-	-	4	140	最小涨潮	通常工况

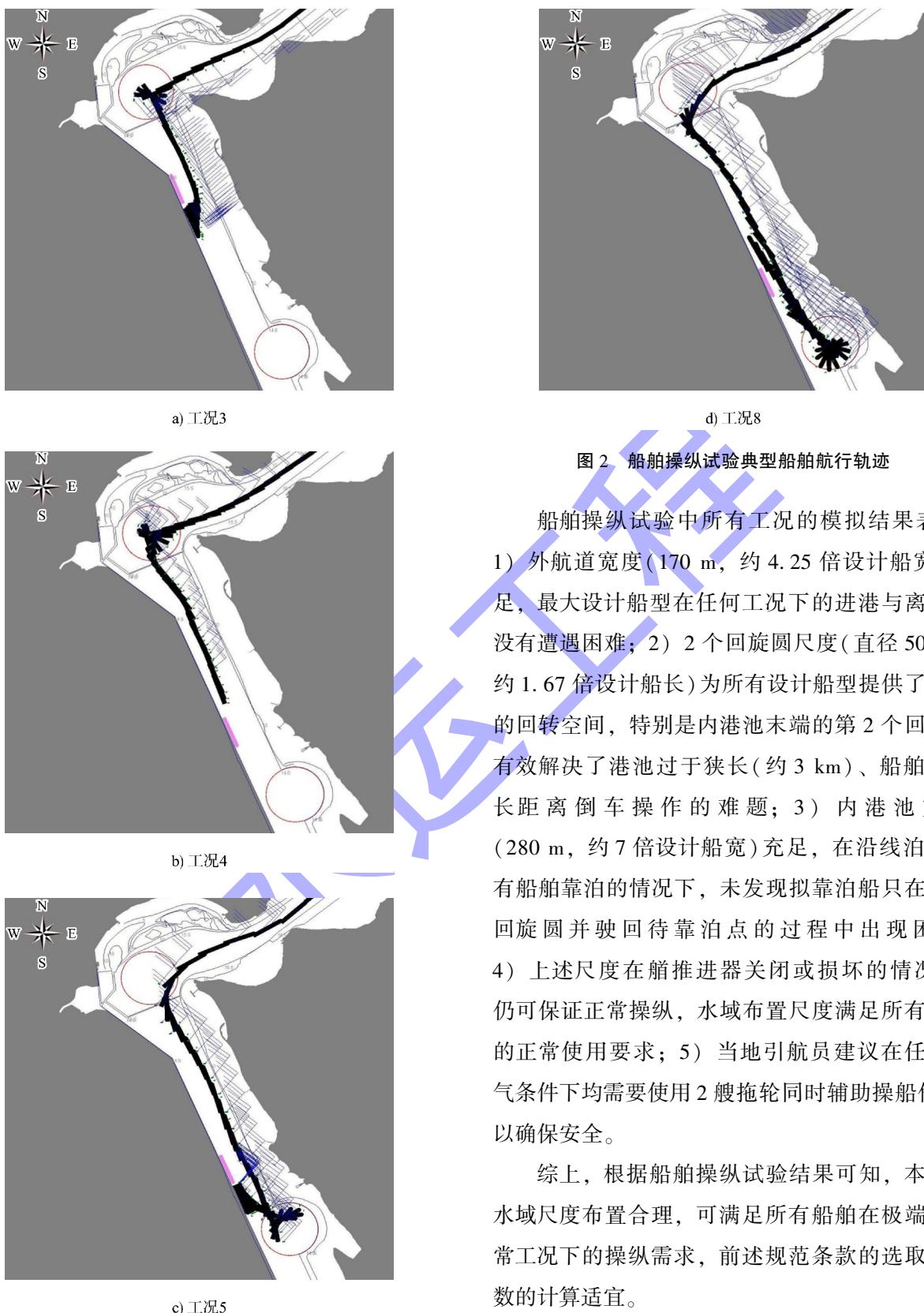


图 2 船舶操纵试验典型船舶航行轨迹

船舶操纵试验中所有工况的模拟结果表明：

- 1) 外航道宽度(170 m, 约 4.25 倍设计船宽)充足, 最大设计船型在任何工况下的进港与离港均没有遭遇困难; 2) 2 个回旋圆尺度(直径 500 m, 约 1.67 倍设计船长)为所有设计船型提供了足够的回转空间, 特别是内港池末端的第 2 个回旋圆有效解决了港池过于狭长(约 3 km)、船舶需要长距离倒车操作的难题; 3) 内港池宽度(280 m, 约 7 倍设计船宽)充足, 在沿线泊位已有船舶靠泊的情况下, 未发现拟靠泊船只在到达回旋圆并驶回待靠泊点的过程中出现困难;
- 4) 上述尺度在艏推进器关闭或损坏的情况下, 仍可保证正常操纵, 水域布置尺度满足所有船只的正常使用要求; 5) 当地引航员建议在任意天气条件下均需要使用 2 艘拖轮同时辅助操船作业, 以确保安全。

综上, 根据船舶操纵试验结果可知, 本工程水域尺度布置合理, 可满足所有船舶在极端及通常工况下的操纵需求, 前述规范条款的选取及参数的计算适宜。

4 结语

1) 基于对东非某港口改扩建工程中狭窄水域设计与船舶操纵试验的探讨,通过对比国内外规范条款及参数的选取与操船试验的结果,表明对于水域受限的狭窄港池升级改造工程,水域尺度的布置应结合工程特点合理选择适宜的条款进行计算,并通过船舶操纵模拟试验验证布置的合理性,在保障安全操纵的前提下,避免过度扩大水域,造成工程浪费。

2) 对于类似本工程的须兼顾通航功能的狭长港池,相较于普通港池应适当加宽。相关宽度计算中,国外规范考虑的因素较中国规范更为全面,在航道宽度、停泊水域宽度基础上加设了通行船舶与停泊船舶间安全距离的考虑因素。建议对于境外类似工程在采用中国规范进行设计时适当参考国外规范,同时考虑内航道、船舶安全间距、码头前沿停泊水域等因素综合论证港池宽度。

3) 对于类似本工程的水域条件受限,但又掩护良好的区域,进出港口门宽度可以考虑根据实际情况参照航道设计方法进行计算,但必须通过船舶操纵模拟试验对水域布置的可行性进行验证。

(上接第 81 页)

- [7] 郭杨,崔伟. PHC 管桩在老黏土地区应用的试验研究[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(S2): 108-115.
- [8] 宗钟凌. 海淤地质条件下 PHC 管桩荷载传递机理研究[J]. 建筑科学, 2011, 27(7): 22-24, 21.
- [9] 程韶琨. 地基检测及其在全过程工程咨询中的作用研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2020.
- [10] 中国建筑科学研究院. 建筑桩基技术规范: JGJ 94—2008[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [11] 韩冉冉, 徐满意, 乔小利, 等. 水下超软土地基振冲碎石桩试验及参数控制[J]. 岩土工程学报, 2013, 35 (S2): 612-616.
- [12] 白晓宇, 张明义, 朱磊, 等. 强风化花岗岩中嵌岩短桩承载特征原位试验与有限元分析[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2017, 48(2): 512-524.
- [13] 蔡建. 南通地区静压桩单桩承载力分析计算[J]. 建筑结构, 2004(5): 63-65.

参考文献:

- [1] 王文渊, 李实博, 田琦, 等. 基于系统仿真的港池宽度对港口服务水平的影响[J]. 水运工程, 2018(1): 160-165.
- [2] 梅蕾, 汪峰, 姜俊杰. 海港港池和回旋水域平面尺度研究[J]. 水运工程, 2015(7): 102-107.
- [3] 刘洪波, 彭再华, 汪峰. 巴拿马某港口工程水域尺度探讨[J]. 水运工程, 2011(9): 133-135.
- [4] 中交水运规划设计院有限公司, 中交第一航务工程勘测设计院有限公司. 海港总体设计规范: JTS 165—2013 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2013.
- [5] Puertos del Estado. Recommendations for the design of the maritime configuration of ports, approach channels and harbor basins: ROM 3.1-99 [S]. Madrid: Puertos del Estado, 2007.
- [6] British Standards Institution. Maritime works-part 1-1: general-code of practice for planning and design for operations: BS 6349-1-1: 2013 [S]. London: BSI, 2013.
- [7] US Army Corps of Engineers. Coastal engineering manual: EM 1110-2-1100 [S]. Washington: USACE, 2006.
- [8] American Society of Civil Engineers. Design of marine facilities for the berthing, mooring, and repair of vessels [S]. Virginia: ASCE Press, 2004.
- [9] PIANC. Harbor approach channels-design guidelines, report of working group 49 [S]. Brussels: PIANC, 2014.
- [10] THORESEN C A. Port designer's hand book [S]. 3rd ed. London: ICE Publishing, 2014. (本文编辑 王璁)
- [14] WHITE D J. Field measurements of CPT and pile base resistance in sand: CUED/D-SOILS/TR327 [R]. Cambridge: Cambridge University, 2003.
- [15] MAHLER A. Use of cone penetration test in pile design [J]. Periodica polytechnic, 2003, 47(2): 189-197.
- [16] ABU-FARSAKH M Y, TITI H H. Assessment of direct cone penetration test methods for predicting the ultimate capacity of friction driven piles [J]. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, 2004, 130(9): 935-944.
- [17] 武汉港湾工程设计研究院. 港口工程桩基动力检测规程: JTJ 249—2001 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [18] 中交四航工程研究院有限公司, 广州港湾质量检测有限公司. 水运工程基桩试验检测技术规范: JTS 240—2020 [S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2020. (本文编辑 王璁)