

连云港徐圩港区码头及驳岸结构选型

庞 亮^{1,2}, 李 武^{3,4}

(1. 河海大学 港口海岸及近海工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 连云港港口集团有限公司, 江苏 连云港 222042; 3. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029; 4. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 通过对连云港徐圩港区驳岸结构选型的研究, 讨论影响驳岸结构型式的主要因素。对比爆破挤淤堤、全清淤抛石堤、塑料排水板+砂被抛石斜坡堤和桶式基础结构堤等4种驳岸结构的特点、适用条件、对应码头的结构形式和主要经济技术指标, 认为桶式基础结构组合高桩梁板结构方案最适宜徐圩港区的建造发展, 而且该方案在资源节约和保证投资效益等方面也有优势。为实现工程综合投资成本最低、效益最大化的目标, 基于可行的驳岸结构, 比较了与斜坡堤和直立堤分别对应的3种码头结构形式, 结果表明, 满堂码头桶式基础方案投资效益最优。研究结果可供淤泥质海岸挖入式港区的驳岸结构选型借鉴参考, 为浅水深用海域的水工结构设计提供新视角。

关 键 词: 徐圩港区; 驳岸结构; 码头结构; 结构选型; 斜坡堤; 直立堤; 桶式基础

中图分类号: U656.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2014)02-0060-06

徐圩港区是连云港规划发展的重点, 以干散货、液体散货和件杂货运输为主, 逐步发展集装箱运输。港区规划采用环抱式防波堤掩护, 通过回填疏浚土填海形成陆域面积近 50 km²、码头岸线 33.5 km^[1], 港区平面布置见图 1。徐圩港区建设的关键技术之一是确定港区驳岸的结构型式。对该港区而言, 港区驳岸的结构型式与地质条件、材料来源、陆域形成方式、工程投资、工程进度、施工工艺等因素有关, 且直接影响码头布置形式、结构方案、陆域面积、水域面积和工程投资等。因此, 如何统筹考虑驳岸结构型式与后方陆域形成、码头结构, 以及陆域面积和水域面积的关系等^[2-4], 将决定着工程投资能否实现综合效益最大化。为科学合理地推进工程建设, 统筹考虑驳岸结构型式与前方码头结构和后方陆域形成的关系, 降低工程投资, 本文拟对徐圩港区驳岸结构选型进行研究, 探讨淤泥质海岸挖入式港区驳岸结构的最优型式, 为港区规划和建设提供参考。

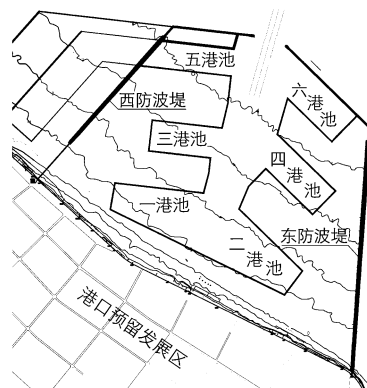


图1 港区平面图

Fig. 1 Port layout

1 码头及驳岸结构选型原则与影响因素

码头及驳岸结构的选型应充分体现“安全可靠、技术先进、施工方便、经济适用”的总体原则, 符合“有利于规避风险、有利于施工、有利于陆域形成”的技术思路; 主要影响因素有地质条件和陆域形成要求等。

收稿日期: 2013-10-24

基金项目: 南京水利科学研究院博士后基金资助项目 (BH31202)

作者简介: 庞 亮 (1981-), 男, 江苏连云港人, 硕士研究生, 主要从事港口水运工程研究和管理工作的。

E-mail: lygpl@sohu.com

在本区域勘察所揭露的孔深 60.4 m 深度范围内,各层土均为第四系冲洪积物。浅部土层自上而下主要分为淤泥、黏性土、砂性土层。其中,淤泥层厚度约 10.0 m,底面标高为 $-17.3 \sim -13.0$ m;黏性土层与砂性土层交替出现,钻孔范围内未见基岩;黏性土层与砂性层的工程性质中等,黏性土层标贯击数 12,砂性土层标贯击数 23。驳岸所在位置属典型淤泥质海岸,浅部淤泥土层物理力学指标较差,至黏土层、粉砂层物理力学指标相对较好。驳岸结构选型应重点考虑表层淤泥土层的处理问题。

港区后方主要通过回填疏浚土成陆。在软土地基上吹填成陆,会使软土地基产生较大的水平力,水平力大小与软土层的厚度近似成正比,对围堰或驳岸的稳定性有较高要求。为满足整体稳定要求,应对软弱土层进行地基加固处理,同时,驳岸选型和建设还应满足陆域形成和后方地基处理的技术要求。

2 驳岸结构选型研究

徐圩港区驳岸结构可选择以下型式:爆破挤淤堤、全清淤抛石堤、塑料排水板+袋装砂堤芯堤、直立堤,见图 2。但是徐圩港区驳岸结构型式的选择除应考虑上述几种因素外,还必须考虑与之匹配的码头结构的型式、造价及其所形成的陆域面积和水域面积的利用情况,以保证综合投资成本最低。为便于对比分析,驳岸结构的天然泥面高程取 -4.0 m,陆域形成高程取 8.0 m。下面从方案特点、适用条件和主要经济指标来对比各类结构型式。

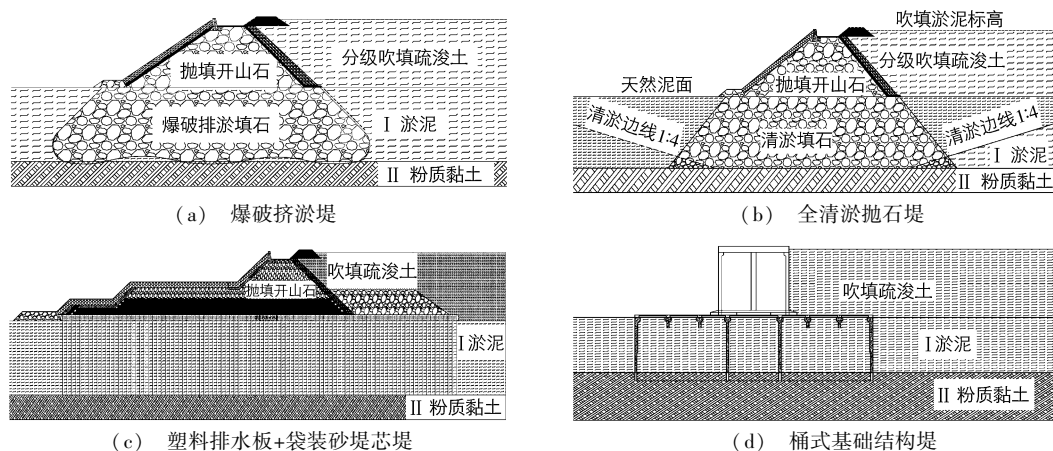


图2 几种驳岸结构型式

Fig. 2 Different bulkhead structures

2.1 爆破挤淤堤

爆破挤淤法无需大型施工机械和复杂的施工技术,施工速度快、投资省、见效快。但该方案施工期受石料供应和施工方法的影响,工期不可控。

由于爆破所需石料量较大,且需由陆上推进施工,根据徐圩港区规划平面布置图,爆破抛石斜坡堤方案适用于一、二港池的驳岸。通过陆上抛石爆破推进形成驳岸,爆破速度快,与在建的东、西防波堤(包括隔堤)一起形成一、二港池后方围区,有利于尽快形成港池及航道疏浚土的吹填条件。

参考徐圩港区现有的石料供应情况和施工条件,即东西防波堤建设长度超过一、二港池,为爆破挤淤堤提供施工通道条件下的造价估算,本方案每延米造价为 14.3 万元。

2.2 全清淤抛石堤

本方案特点是清淤换填在水上进行,比只能由陆上单点推进的爆破法灵活,可水上多点铺开施工。该方案施工期受石料供应的影响,工期不可控。

根据清淤换填法筑堤的特点分析,若徐圩港区一至六港池采用满膛式结构码头,则后方围堤和驳岸均具备采用清淤换填筑堤的条件,相对而言,对于水深较深、满足施工开挖作业条件、淤泥厚度适中的区域,更利

于采用清淤换填工艺。因此,如前所述,若一、二港池采用抛石爆破斜坡堤接岸结构,则在三至六港池的斜坡堤驳岸中,适宜采用清淤换填斜坡堤结构方案。

参考徐圩港区现有石料供应情况和施工条件,即全清淤堤一部分采用水抛石施工,另一部分在东西防波堤建设进度满足为全清淤堤提供陆上抛部分施工通道条件下进行的综合造价估算,本方案每延米造价为 16.60 万元。

2.3 塑料排水板+砂被抛石斜坡堤

本方案思路是将土体中的孔隙水排出,逐渐固结,使地基发生沉降,同时土体强度逐步提高,主要解决沉降和稳定问题。该方案施工期受地基处理方式的影响,工期不可控。

根据徐圩港区规划平面布置图,由于排水板+砂被抛石斜坡堤方案不受接岸推进施工的影响,具备水上多点作业的条件,因此,该方案在一至六港池的栈桥式码头驳岸中均适用。根据一至六港池软土分布的特征,参照国内类似工程的经验,软土厚约 15.0 m,爆破抛石的置换量越大,本方案的价格优势就越明显。徐圩港区软土最厚的区域集中于中部地区,三、四港池的天然淤泥厚度达 12 ~ 18 m,且中部港区与陆地脱离,因此,本方案最适宜在三、四港池的栈桥式码头驳岸中采用。

参考徐圩港区现有砂料供应情况和施工条件,即塑料排水板+砂被抛石斜坡堤一部分采用水上施工,另一部分在东西防波堤建设进度满足该堤提供陆上抛部分施工通道条件下进行综合造价估算,本方案每延米造价为 13.8 万元。

2.4 桶式基础结构堤

该结构方案主要采用钢筋混凝土材料,可采用工厂化生产,投资造价可控。该结构本身不会产生大的沉降,且该结构还采用负压下沉工法,对地基起到真空预压的效果,进一步减小工后沉降^[5-14]。该结构方案的试验工程已经在徐圩港区取得了成功,验证了结构方案和施工方案的合理性。

桶式基础结构驳岸根据自身特点,适用条件受水深和淤泥层厚度限制,通过经济性分析,认为该方案在淤泥层厚度 5 ~ 15 m,水深超过 7 m 的淤泥质海岸使用时,造价比较理想。在徐圩港区三至六港池区,淤泥层厚度为 8 ~ 12 m,水深 7 ~ 11 m,符合桶式基础结构的使用条件,在该区采用本方案可以节省投资和工期。

参考徐圩港区防波堤工程,进行综合造价估算,本方案每延米造价为 12.1 万元。

2.5 驳岸结构方案比较

从建设时序、建设工期、建设条件及投资造价等方面对比以上 4 种方案后认为:直立堤每延米造价最低,投资可控性最优,工期有保证;在施工通道顺畅和石料供应充足的条件下,爆破挤淤堤优于塑料排水板+袋装砂堤芯堤;在施工通道顺畅和砂料供应充足的条件下,塑料排水板+砂被抛石斜坡堤可以替代爆破挤淤堤;全清淤堤造价最高,石料用量最多,投资可控性最差,要谨慎使用。针对徐圩港区驳岸结构,考虑港区建设时序、建设工期和材料供应,建议首选方案为桶式基础直立堤,其次为爆破堤,再次为塑料排水板+砂被抛石斜坡堤,不推荐全清淤堤。

3 码头结构选型

对于连云港徐圩港区工程建设来说,驳岸结构先于码头结构建设,因此,为实现工程综合投资成本最低、效益最大化的目标,驳岸结构的选择还应充分考虑今后码头布置和结构选型这一重要因素。基于上述可行的驳岸结构,通过综合技术经济对比,分析徐圩港区码头结构型式的最优组合。

3.1 码头使用条件

按照规划安排,本港区将建设大型通用码头、液体散货码头、干散货码头、集装箱码头。为利于对比分析,码头使用条件按轨距 30 m 考虑,码头面高程为 7.0 m,前沿水深按 -16 m 考虑,天然泥面高程取 -4 m,陆域形成标高 8.0 m。

3.2 与斜坡堤对应的码头结构型式

根据经验,在软土地基上建造码头,一般采用高桩梁板结构最为经济,所以本次研究采用高桩梁板码头

结构。码头考虑宽 36 m, 码头面标高 7.0 m, 装卸船机采用 30 m 轨距。引桥结构考虑码头每 300 m 长设一座引桥, 引桥宽 20 m, 桥面设计标高 7.0~8.0 m, 采用简支板连接驳岸, 结构断面见图 3。

该方案中, 码头结构离驳岸结构较远, 基槽开挖对驳岸结构使用功能没有影响。但是引桥增加了港池无效水域面积, 减少了港区陆域面积, 每延米浪费了 80 m² 以上面积, 影响投资效益。

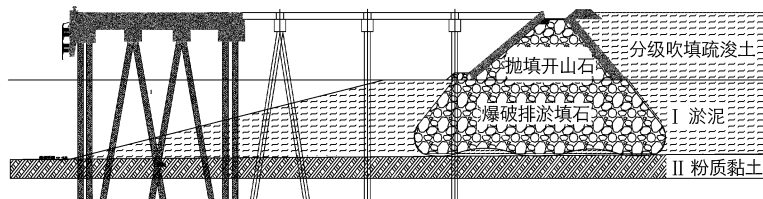


图3 爆破堤+引桥+高桩梁板码头结构断面

Fig. 3 Blasting compaction breakwater + bridge approach + high pile beam slab wharf

参考连云港地区已建高桩梁板码头的造价, 给出徐圩港区码头结构和引桥结构的综合造价(未计码头前沿挖泥费用), 本方案每延米造价为 37.5 万元。

3.3 与直立堤对应的码头结构型式

与直立堤对应的码头结构型式, 在港区建设中常采用的是引桥码头和满堂码头。分析徐圩港区的自然条件和功能要求, 两种型式都可以使用。

3.3.1 引桥码头 码头结构及引桥结构同 3.2 节。结构断面见图 4。

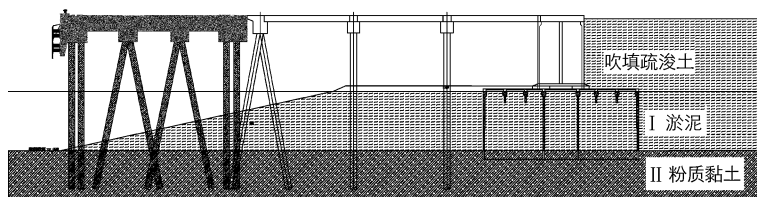


图4 桶式基础驳岸+引桥+高桩梁板码头结构断面

Fig. 4 Bucket-based structure breakwater + bridge approach + high pile beam slab wharf

码头结构通过短引桥离开直立式驳岸结构, 消除了码头的基槽开挖对驳岸结构使用功能的影响。同样浪费了港池的空间, 每延米浪费 20 m² 以上的面积, 但相对于长引桥方案而言, 其对投资效益的影响较小。

参考连云港地区已建高桩梁板码头的造价, 给出徐圩港区码头结构和引桥结构的综合造价(未计码头前沿挖泥费用), 本方案每延米造价为 36.1 万元。

3.3.2 满堂码头 码头结构同长引桥码头结构, 只是在桩基打设完成后, 二次抛填一个小棱体, 弥补驳岸前挖除的土体。码头结构与直立式驳岸结构通过简支板连接。结构断面见图 5。

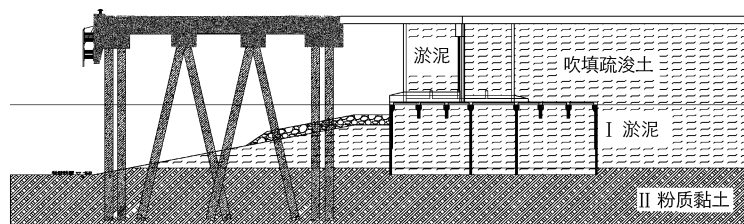


图5 桶式基础结构+高桩梁板结构断面

Fig. 5 Bucket-based structure breakwater + high pile beam slab wharf

码头与后方场地连成一片, 具有操作使用方便、交通组织流畅、陆域面积大、适应性强等优点, 使围海造陆投资效益最大化。

参考连云港地区已建高桩梁板码头的造价,给出徐圩港区码头结构、码头前沿挖泥费用和驳岸前二次抛填费用的综合造价,本方案每延米造价为 37.0 万元。

3.4 综合比选分析

综合考虑工程造价和投资效益,对比以上 3 种方案,斜坡堤的引桥方案工程投资效益损失过大,从长期投资考虑,满堂码头桶式基础方案投资效益最优。而桶式基础+引桥+高桩梁板码头方案的长期投资效益略低于满堂方案。

4 结 语

(1)在大规模陆域形成之初,徐圩港区驳岸结构的选型和建设应该统筹考虑其与后续码头结构选型的关系,处理好这个关系,可以实现港区开发建设综合效益最大化。

(2)根据港区地质条件、施工工艺、工程造价初步分析,适合于徐圩港区的驳岸结构有爆破挤淤堤、全清淤抛石堤、塑料排水板+袋装砂堤芯堤、直立堤等。根据初步拟定的驳岸断面综合分析认为:直立堤最优,其次为爆破挤淤堤,再次为塑料排水板+砂被抛石斜坡堤,最差为全清淤抛石堤。

(3)为实现工程综合投资成本最低、效益最大化的目标,应根据驳岸结构型式和码头使用要求配备相应的码头结构,经技术经济对比,桶式基础结构+高桩梁板结构方案较优,其次为桶式基础驳岸+引桥+高桩梁板码头结构方案。

参 考 文 献:

- [1] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 连云港徐圩港区防波堤工程可行性研究报告[R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2012. (CCCC Third Harbor Consultants Co Ltd. Lianyungang Port Xuwei harbour breakwater project feasibility study report of the project[R]. Shanghai: CCCC Third Harbor Consultants Co Ltd, 2012. (in Chinese))
- [2] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 连云港旗台港区 25 万吨级矿石接卸码头工程初步设计[R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2008. (CCCC Third Harbor Consultants Co Ltd. Lianyungang port Qitai harbour 250,000 tons ore dock project preliminary design[R]. Shanghai: CCCC Third Harbor Consultants Co Ltd, 2008. (in Chinese))
- [3] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 连云港连云港区大堤作业区一期工程可行性研究报告[R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2011. (CCCC Third Harbor Consultants Co Ltd. Feasibility study report of Lianyungang port Lianyungang harbour operation area of the first phase of the project engineering[R]. Shanghai: CCCC Third Harbor Consultants Co Ltd, 2011. (in Chinese))
- [4] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 连云港旗台港区新世纪液体化工泊位工程初步设计[R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2010. (CCCC Third Harbor Consultants Co Ltd. Preliminary design of Lianyungang port Qitai harbour new century liquid chemical berth project[R]. Shanghai: CCCC Third Harbor Consultants Co Ltd, 2010. (in Chinese))
- [5] 孙曦源, 栾茂田, 唐小微. 饱和软黏土地基中单桶形基础水平承载特性有限元研究[J]. 大连理工大学学报, 2010, 50(5): 702-707. (SUN Xi-yuan, LUAN Mao-tian, TANG Xiao-wei. Finite element study of horizontal bearing characteristics of single-bucket foundation on saturated soft clay ground[J]. Journal of Dalian University of Technology, 2010, 50(5): 702-707. (in Chinese))
- [6] 王元战, 肖忠, 迟丽华, 等. 筒型基础防波堤稳定性简化计算方法[J]. 岩土力学, 2009, 30(5): 1367-1372. (WANG Yuan-zhan, XIAO Zhong, CHI Li-hua, et al. A simplified calculation method for stability of bucket foundation breakwater[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30(5): 1367-1372. (in Chinese))
- [7] 蒋敏敏, 蔡正银, 徐光明, 等. 软土地基上箱筒型基础防波堤静力离心模型试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(增 2): 3865-3870. (JIANG Min-min, CAI Zheng-yin, XU Guang-ming, et al. Experimental study of centrifugal model of bucket foundation breakwater on soft soil foundation under static load[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, 29(Suppl2): 3865-3870. (in Chinese))
- [8] 茅加峰, 顾行文, 徐光明, 等. 波浪荷载对箱筒型基础防波堤作用的拟静力模拟研究[J]. 中国港湾建设, 2010(增 1): 105-109. (MAO Jia-feng, GU Xing-wen, XU Guang-ming, et al. Working performance of a cylindrical breakwater under pseudo-static wave loading[J]. China Harbour Engineering, 2010(Suppl1): 105-109. (in Chinese))

- [9] 文靖斐, 徐少鲲, 别社安. 箱筒型基础承载力研究[J]. 水运工程, 2011(6): 136-142. (WEN Jing-fei, XU Shao-kun, BIE She-an. Analysis of bearing capacity for box and bucket foundation[J]. Port & Waterway Engineering, 2011(6): 136-142. (in Chinese))
- [10] 蔡正银, 徐光明, 顾行文, 等. 波浪荷载作用下箱筒型基础防波堤性状试验研究[J]. 中国港湾建设, 2010(增1): 90-94, 99. (CAI Zheng-yin, XU Guang-ming, GU Xing-wen, et al. Behavior investigation on a cylindrical breakwater during wave loading[J]. China Harbour Engineering, 2010(Suppl): 90-94, 99. (in Chinese))
- [11] 李元音, 谢世楞, 王元战, 等. 箱筒型基础防波堤断面稳定计算方法[J]. 中国港湾建设, 2010(增1): 95-99. (LI Yuan-yin, XIE Shi-leng, WANG Yuan-zhan, et al. Stability calculation methods for the cylindrical caisson breakwater[J]. China Harbour Engineering, 2010(Suppl): 95-99. (in Chinese))
- [12] 李武, 吴青松, 陈甦, 等. 桶式基础结构稳定性试验研究[J]. 水利水运工程学报, 2012(5): 42-47. (LI Wu, WU Qing-song, CHEN Su, et al. Stability tests of bucket-based structure[J]. Hydro-Science and Engineering, 2012(5): 42-47. (in Chinese))
- [13] 李武, 陈甦, 程泽坤, 等. 水平荷载作用下桶式基础结构稳定性研究[J]. 中国港湾建设, 2012(5): 14-18. (LI Wu, CHEN Su, CHENG Ze-kun, et al. Stability study of bucket-based structure on horizontal loading[J]. China Harbour Engineering, 2012(5): 14-18. (in Chinese))
- [14] 高志伟, 陈甦, 李武, 等. 桶式基础结构土压力分布规律[J]. 中国港湾建设, 2013(1): 18-21. (GAO Zhi-wei, CHEN Su, LI Wu, et al. Pattern of distribution of soil pressure on bucket foundation[J]. China Harbour Engineering, 2013(1): 18-21. (in Chinese))

Wharf and bulkhead structure selection of Xuwei harbor district in Lianyungang port

PANG Liang^{1,2}, LI Wu^{3,4}

(1. College of Harbour, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Lianyungang Port Group Co., Ltd., Lianyungang 222042, China; 3. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 4. CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: Based on studies of the bulkhead structure selection for Xuwei port area of Lianyungang harbor, the main factors affecting bulkhead structure types are discussed in this paper. Comparing basic characteristics, applicable conditions, structure types corresponding to the wharf and the main economic and technologic indicators of four kinds of the bulkhead structures such as the blasting compacted breakwater, the full-dredging riprap breakwater, the plastic drainage board + sand bedding with riprap sloping breakwater and the bucket-based structure breakwater, it is found that the bucket-based infrastructure in combination with the open type wharf with standing piles is most suitable for construction and development of the Xuwei port area, and this structure type has the advantage in resources saving and guarantee of investment benefits. Based on the available bulkhead structure, three kinds of wharf structure forms respectively corresponding to the sloping and vertical-wall breakwaters have been analyzed and compared in order to reach the goal of the lowest cost and the maximum efficiency. The analysis results show that the bucket-based structure breakwater is the most optimal structure. These research findings can be used as references in selecting the bulkhead structure types for the dredged port area situated at the muddy coast, thus providing a new perspective for the design of harbor structures placed at shallow sea-waters planned as deep port areas.

Key words: Xuwei harbor district; bulkhead structure; wharf structure; structure selection; sloping breakwater; vertical-wall breakwater; bucket-based structure foundation