

连云港某无围堰通航构筑物设计要点

周旋，顾宽海，叶上扬，张晶

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司，上海 200032)

摘要：为保障沿海海湾区域游艇通航、水体交换需要等，常需新建船闸或设置通航孔等通航构筑物。随着近年海洋生态环保力度加大，用海指标越加紧张，传统的大型围堰干地施工工艺越来越不能适应新的形势。结合连云港连云新城基础工程，针对用海受限、自然条件恶劣、地质条件差以及工期紧张等复杂条件，开展结构选型、止水防渗等关键技术研究，提出装配式预制闸室设计技术、装配式翼墙设计技术等，较好地解决了相关的技术难题，可为相关工程的设计和施工提供借鉴。

关键词：无围堰；装配式；通航构筑物；翼墙；止水

中图分类号：U 64

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2023)05-0101-05

Key points of design for navigable structure without cofferdam in Lianyungang

ZHOU Xuan, GU Kuanhai, YE Shangyang, ZHANG Jing

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: To ensure the navigation of yachts and water exchange in coastal areas, it is often necessary to build new locks or set up navigable structures such as navigable holes. With the intensification of marine ecological and environmental protection in recent years, the use of sea indicators has become more and more tense, and the traditional construction technology of large cofferdams on dry land is increasingly unable to adapt to the new situation. For this reason, this paper combines the basic engineering of Lianyun New City, and conducts research on key technologies such as structure selection, water and seepage prevention in view of the complex situations such as limited sea use, harsh natural conditions, riprap foundations and tight construction periods, and the design technology of prefabricated gate chamber and prefabricated wing wall are proposed, which can solve the relevant technical problems well and provide references for the design and construction of related projects.

Keywords: non-cofferdam; prefabricated; navigable structure; retaining wall; water-stop

随着沿海经济的高速发展，近海工程以及水陆交界区域工程越来越多，特别是在港口、水利等工程领域涌现出越来越多近海工程建设项目。在海中兴建水工构筑物通常需要构筑围堰进行干地施工，工程造价较高，尤其是遇到软土条件时，围堰在工程总造价中占比大，施工难度和风险大，施工工期长，工程占地范围大。在近年来用海指

标趋紧、环保压力增加的形势下，大围堰干地施工工艺的缺陷更加突出。

为解决上述难题，近年来也有不少学者运用装配化的思路进行相关研究。顾宽海等^[1-2]提出了装配式护岸结构成套技术，在多个护岸工程中取得成功，拓宽了装配式结构在水运工程中的新思路。王星球等^[3]介绍了一种在没有围堰条件下，

收稿日期：2022-11-15

作者简介：周旋（1989—），男，硕士，从事港口工程及水利工程设计。

在水中直接建坞的新方法。吕昌等^[4]在大连新船重工 30 万 t 船坞扩建工程中采用湿法施工, 为地质条件比较复杂、施工场地狭小的船坞工程创造了条件。张志荣^[5]介绍了装配式海闸在浙江沿海的应用情况, 但闸身高度普遍在 3.0 m 左右。张少卿^[6]对田间装配式涵闸进行了初步探索, 研究了小流量情况下装配式涵闸的断面定型设计。

综上, 现有的研究成果大多集中在护岸、船坞等领域, 对装配式无围堰通航构筑物的研究较少, 尚未形成较成熟的技术体系和技术方法。为此, 本文以连云港新城基础工程为例, 针对其特点、难点, 提出装配式通航构筑物的设计关键技术要点, 可为相关工程的设计和施工提供借鉴。

1 工程案例

1.1 工程概况

连云港新城位于连云港东部海岸, 为了丰富现状岸线景观层次, 提出“蓝色海湾”构想, 以海堤线为轴, 构建“一弧一带两绿岛”的生态空间格局。其中, “一弧”为环抱堤形成生态堤线, 是连云港新城蓝色海湾项目的重要基础工程, 呈半圆形环抱布置, 分二期建设, 一期工程建设东、西潜堤总长 9 266 m, 改善掩护水域的风浪条件; 二期工程在预留 400 m 口门处新建通航构筑物, 维持湾内正常水深、满足游艇的通航, 同时兼顾区域排涝与挡潮, 见图 1^[7]。

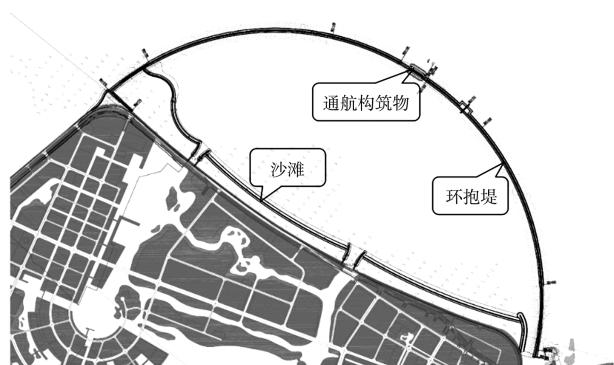


图 1 工程平面布置

本工程位于自然环境条件相对恶劣的海上, 直接遭受波浪、潮流的影响, 波浪较大, 常浪向为 NE(ENE) 向, 波浪要素见表 1。

表 1 50 a 一遇设计波要素

水深/ m	波高 $H_{1\%}/m$	波高 $H_{5\%}/m$	波高 $H_{13\%}/m$	周期 \bar{T}/s	波长 L/m
-3.9	4.7 *	4.3	3.8	8.8	71.4
-2.9	4.2 *	4.2 *	3.7	8.8	67.2
-1.9	3.6 *	3.6 *	3.6 *	8.8	62.5

注: “*”表示波浪已破碎。

1.2 工程特点及难点

1) 用海受限, 工期紧张。本工程通航构筑物建设时尽量少占海, 最好建设在已获批潜堤用海红线范围内, 以减少用海手续办理、加快建设。方案上要求尽量不采用大围堰干地施工方式, 工期要求在 12 个月内完工, 时间紧张增加了建设方案选择难度。

2) 水文条件复杂。与陆域建设面临静荷载条件不同, 本工程建设需要在自然环境相对恶劣的海中进行, 连云港海州湾波高浪急, 常受台风侵袭, 最大潮差为 5.61 m, 波高 $H_{1\%}$ 达到 4.7 m, 给工程的建设造成极大困难。

3) 环境条件差, 防渗难度大。本工程地质、水文等环境条件相对恶劣, 且在强透水性的抛石基础上建设, 防渗处理难度大。通航构筑物建成后将直接遭受外海波浪、潮流的影响, 稳定性和防渗处理成为工程难点之一。

4) 海洋生态保护要求高。为达到遏制生态湿地退化、改善海水水质环境的工程目标, 要求工程引入绿色生态的发展理念, 同时缩短施工工期, 尽量减少对海洋生态系统的破坏。

2 设计方案

2.1 阀室设计

通航构筑物建设方案的选择将直接影响工程进度和造价, 关乎工程成败, 其与地形、地质条件、与相邻建筑物的关系以及围填海限制条件等

密切相关。根据本工程特点、难点,通航构筑物施工需在用海、工期、浪潮等诸多限制条件下进行,经多方分析研究,最终提出较适合的装配式预制方案和干地现浇方案进行比选。

方案1采用装配式预制方案。常用的装配式预制方案有钢壳沉箱法和整体预制浮运法,但受限于施工难度、工期、造价等因素,本工程采用整体预制浮运法^[9]。经过船型、运量分析,通航构筑物采用16孔通航孔形式,单孔净宽10 m,整体预制规模太大,结构制作、浮运均有困难,需分段浮运安装。若采用三孔一联的分段方案,经计算,箱体质量仍然较大,对预制厂、半潜驳、航道深度等的要求较高,会增加航道的挖泥量,同时闸室灌水下沉时有较大偏心,安装定位困难。综合考虑现状水文条件、浮运稳定性及安装便利性等条件,采用二孔一联的分段方案。经计算,浮运箱体总质量2 765 t,箱体吃水5.08 m,可乘潮浮运安装。

具体方案:闸室高10.1 m,中墩厚1.5 m,边墩厚1.0 m,底板厚2.8 m。闸室二孔一联,长23.0 m,宽23.5 m。闸室箱体由预制厂预制,闸室底板先预制0.8 m厚,边墩、中墩先预制8.0 m高,两端用封门板临时封堵,形成可浮运的预制闸室箱体,通过半潜驳运至施工现场附近,再浮运至闸室位置,向闸室灌水下沉,最后现场现浇剩余结构部分。预制闸室箱体平面、断面见图2。

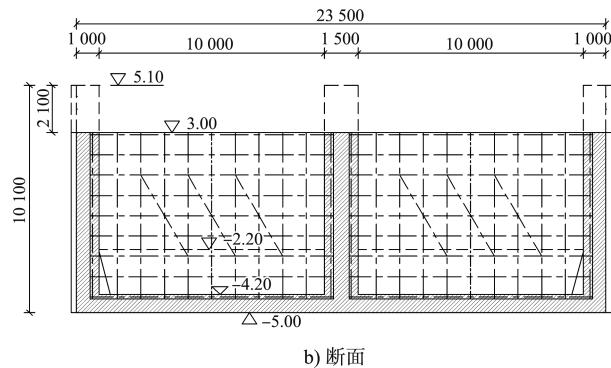
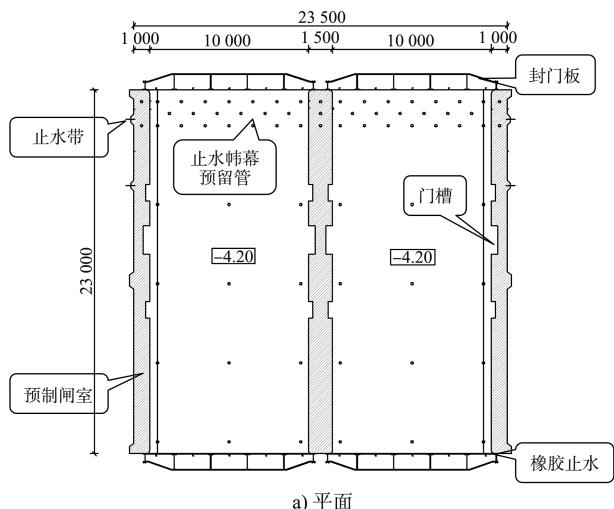


图2 预制闸室箱体(高程:m;尺寸:mm)

方案2采用干地现浇方案。先期设置充泥管袋围堰形成干地施工条件,闸室采用整体式U形结构,分段现浇。由于没有浮运限制,可增大分缝距离,减少分缝数量,降低止水难度。但是受限于用海红线,闸室南北侧围堰间距离过小,为满足闸室施工要求,围堰内侧高程1.2 m平台上施打高压旋喷桩,套打成墙挡土后,将围堰内坡脚开挖以施工闸室。

具体方案:中间段为三跨一段,共4段;其余为二跨一段,共2段。闸室顺水流向长23.0 m,垂直水流向宽182.8 m,底板面高程-2.2 m,底板厚2.8 m。围堰断面见图3。

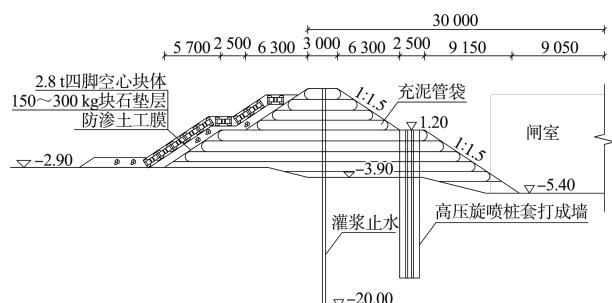


图3 围堰断面(高程:m;尺寸:mm)

上述2种方案在技术上均能满足结构安全和使用要求,但考虑到地质条件、水文、用海红线限制以及造价等因素,方案2工期较长,污染较重,施工风险和造价较高,难以满足项目要求,因此推荐选用方案1装配式预制方案。

2.2 消力池设计

本工程兼顾排涝、挡潮和防浪,兼以维持湾内水位的功能,水流条件复杂,过闸室水流有较

大动能，闸下易形成波状水跃和折冲水流，因此需设置消能防冲措施。

装配式闸室结构方案没有统一形成消力池的干地施工条件，常用的结构有预制钢筋混凝土、水下混凝土消力池结构。前者需要水下拼装^[9]，施工工序复杂，消力池长 21~26 m，宽 190~225 m，工程量较大，分段较多，且有不少异形分段，水下拼装不便，因此推荐采用水下混凝土消力池结构，其工序简单、工艺成熟、施工速度快，施工质量和进度更易得到保证。消力池断面见图 4。

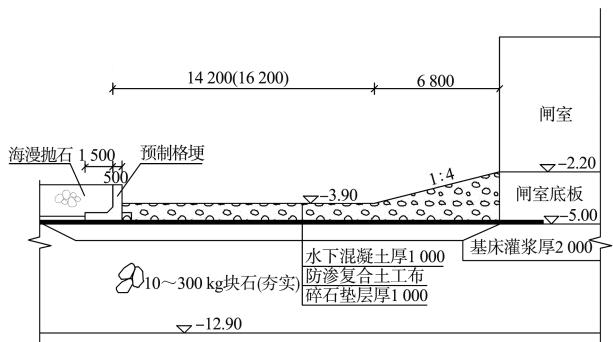


图 4 水下混凝土消力池结构断面 (高程: m; 尺寸: mm)

2.3 翼墙设计

为使通航构筑物与左右岸潜堤平顺衔接，需在闸室上下游设置翼墙。翼墙不具备干地施工条件，也考虑采用装配式施工工艺。

现有装配式挡墙研究多针对挡土高度较低、分段较小、自重较轻的挡墙，便于陆上运输。考虑到本工程挡土高度较高，设计推荐采用预制扶壁式钢筋混凝土结构。可由于翼墙平面为曲面，结构面有直线段、圆弧段等，为便于结构施工和安装、降低止水难度、保障止水效果，分段长度不宜太小，经综合考虑挡墙分段宽度选为 8~10 m，接缝采用凹凸榫槽连接，缝内填充耐腐蚀的聚乙烯低发泡板。经验算，此时各分段质量将达到 170 t 以上，明显不适宜采用陆上运输、吊装，因此采用水上船舶运输、吊装的施工方案。为确保翼墙吊装时的稳定性，在肋板中预埋 φ325 mm 钢管吊杆，具体位置根据计算确定。翼墙结构见图 5。

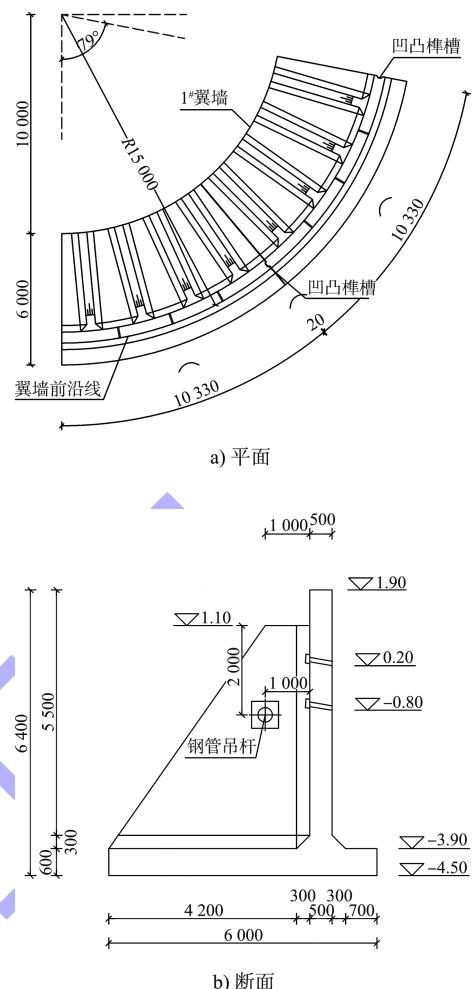


图 5 预制扶壁式挡墙结构 (高程: m; 尺寸: mm)

2.4 防渗设计

防渗措施常采用水泥搅拌桩、高压旋喷桩、钢板桩、防渗墙以及帷幕灌浆等。考虑到本工程闸底板下为抛石基础，水泥搅拌桩和钢板桩无法实施，高压旋喷桩、冲孔桩等防渗墙止水施工速度慢且工程投资高。因此，综合比选后本工程闸底板下垂直防渗采用帷幕灌浆止水墙。

为保证帷幕灌浆的海上施工，同时保障防渗止水设施与主体结构底板的可靠连接，本工程闸室施工期预留 3 排止水帷幕灌浆管，孔距 1.5 m，排距 0.75 m，灌浆帷幕顶伸入底板 0.3 m。闸室安装就位后，通过预留管进行帷幕灌浆，灌浆深度进入粉质黏土层不小于 2 m，要求灌浆后的渗透系数不大于 10^{-5} cm/s ，渗透坡降不小于 50，灌浆压力等参数根据试验确定。闸室防渗见图 6，施工期止水帷幕预留管见图 7。

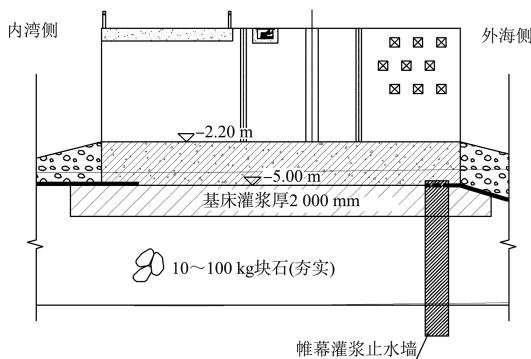


图6 阀室防渗

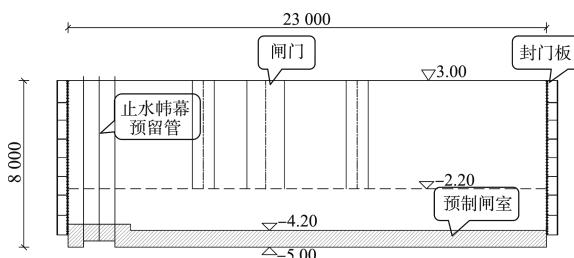


图7 阀室施工期止水帷幕预留管(高程:m;尺寸:mm)

3 结构计算

3.1 模型的建立

本工程阀室顺水流方向长 23.0 m, 垂直水流方向长 23.5 m, 双孔布置, 净宽 10.0 m。阀室底板厚 2.8 m, 顶高程 -2.2 m, 底高程 -5.0 m。考虑到通航构筑物结构空间构造较为复杂, 为准确计算结构内力, 进一步优化结构布置, 采用竖向弹性地基梁法, 利用 Autodesk Robot 软件进行建模计算, 阀室底板和立板采用板单元模拟。

在抛石基床的底板上设置竖向弹性约束, 地基基床系数 $K = 50 \text{ MN/m}^3$, 在垂直水流方向的板边缘中心设置 y 方向的约束 U_y , 在顺水流方向板边缘中心设置 x 方向的约束 U_x , 计算模型见图 8。

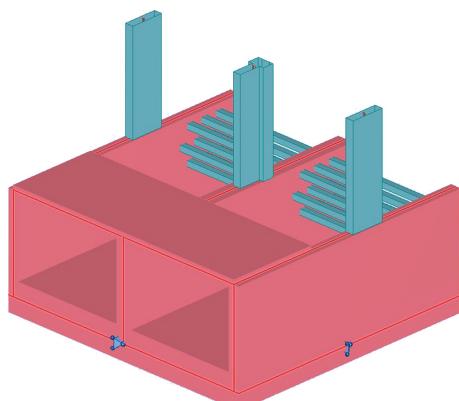


图8 阀室结构三维模型

3.2 计算结果

通航构筑物整体稳定性和结构内力有限元计算结果见表 2、3。计算结果显示阀室整体稳定, 地基应力以及内力强度、裂缝宽度均满足规范和使用要求。

表2 整体稳定计算结果

工况	抗滑稳定安全系数		抗浮稳定安全系数		基底应力/kPa
	计算值	允许值	计算值	允许值	
海侧 50 a — 遇高水位, 内侧常水位	1.37	1.30	1.72	1.10	101.61

表3 结构内力计算结果

位置	弯矩/(kN·m)				最大剪力/kN	
	垂直水流方向 M_{yy}		顺水流方向 M_{xx}			
	最大值	最小值	最大值	最小值		
底板	823.2	-788.9	143.9	-154.3	715.4	
边墩	485.1	-108.3	210.0	-120.2	327.7	
中墩	116.5	-116.5	15.0	-15.0	63.6	
交通桥	300.0	-402.1	88.4	-150.0	597.0	

4 结语

1) 针对用海受限、工期紧张的通航构筑物项目, 提出装配式预制闸室设计技术、装配式翼墙设计技术等, 丰富了通航构筑物设计技术, 为类似工程的设计和施工提供借鉴。

2) 无围堰通航构筑物采用装配式预制方案是合适、可行的, 具有用海范围小、造价低、施工进度快等优点, 但其对航道水深有一定要求, 设计时应结合船机性能进行分析。

3) 在海上抛石地基中采用帷幕灌浆止水墙是合适的, 解决了抛石地基中防渗止水的难题, 但在开展大面积施工前需要进行现场典型施工试验, 以便得到合理的施工工艺参数, 从而更好地控制止水墙的施工质量。

参考文献:

- [1] 顾宽海, 汪涛, 陈明阳, 等. 装配重力式混凝土护岸结构的设计及施工[J]. 水运工程, 2021(6): 6-12, 19.
- [2] 顾宽海, 陈浩群, 张逸帆, 等. 装配式低桩承台护岸结构设计[J]. 水运工程, 2018(12): 186-192.
- [3] 王星球, 胡小明. 无围堰湿法施工建船坞技术研究与应用[J]. 水运工程, 2009(S1): 37-42.

(下转第 110 页)